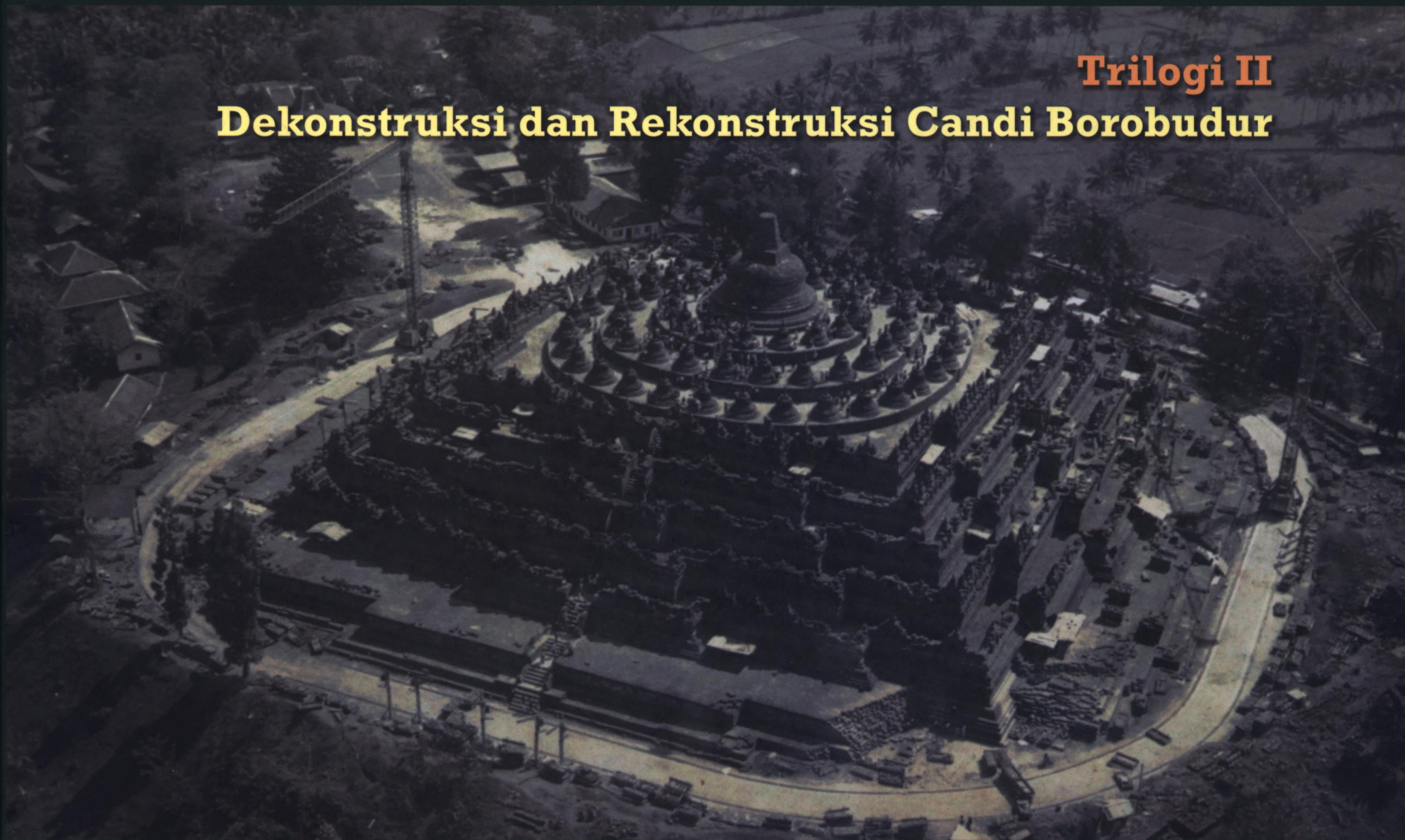


ISBN 978-979-19227-6-0

100 TAHUN PASCAPEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

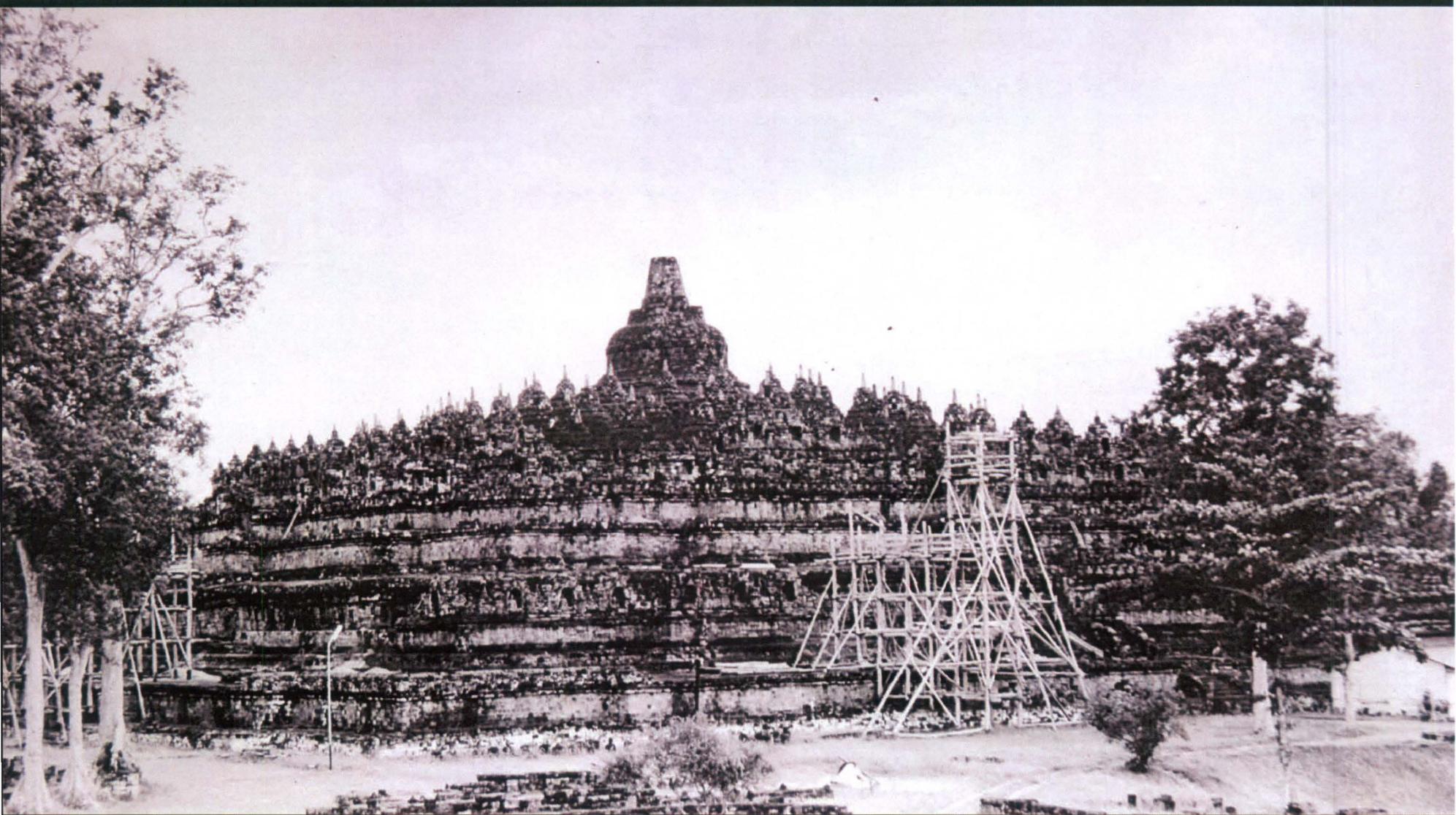
Trilogi II
Dekonstruksi dan Rekonstruksi Candi Borobudur



Balai Konservasi Borobudur
2012

100 TAHUN PASCAPEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

**Trilogi II
Dekonstruksi dan Rekonstruksi Candi Borobudur**



100 TAHUN PASCAPEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

Trilogi II
Dekonstruksi dan Rekonstruksi Candi Borobudur

Balai Konservasi Borobudur

100 TAHUN PASCAPEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

Trilogi II: Dekonstruksi dan Rekonstruksi Candi Borobudur

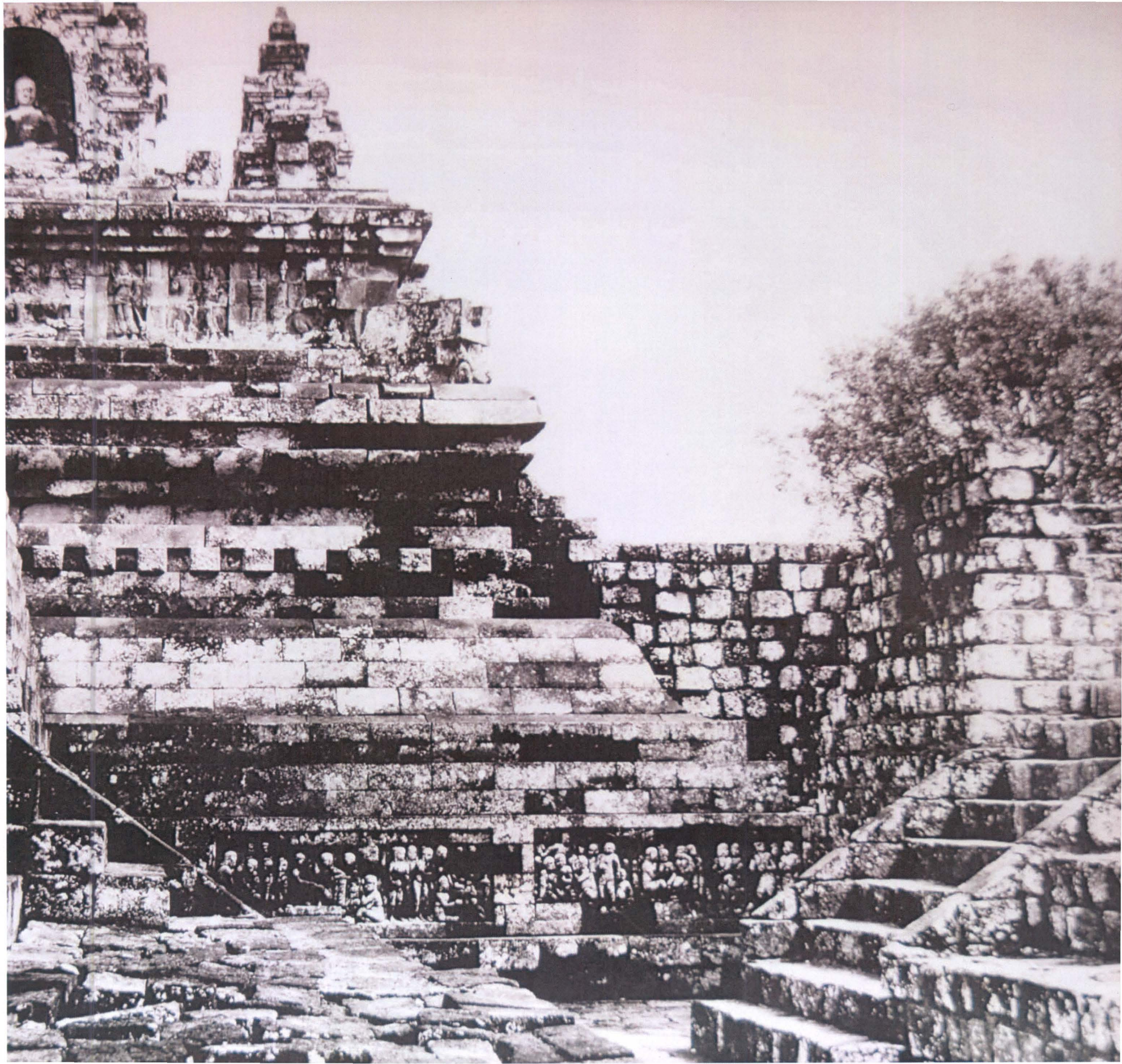
Diterbitkan oleh :

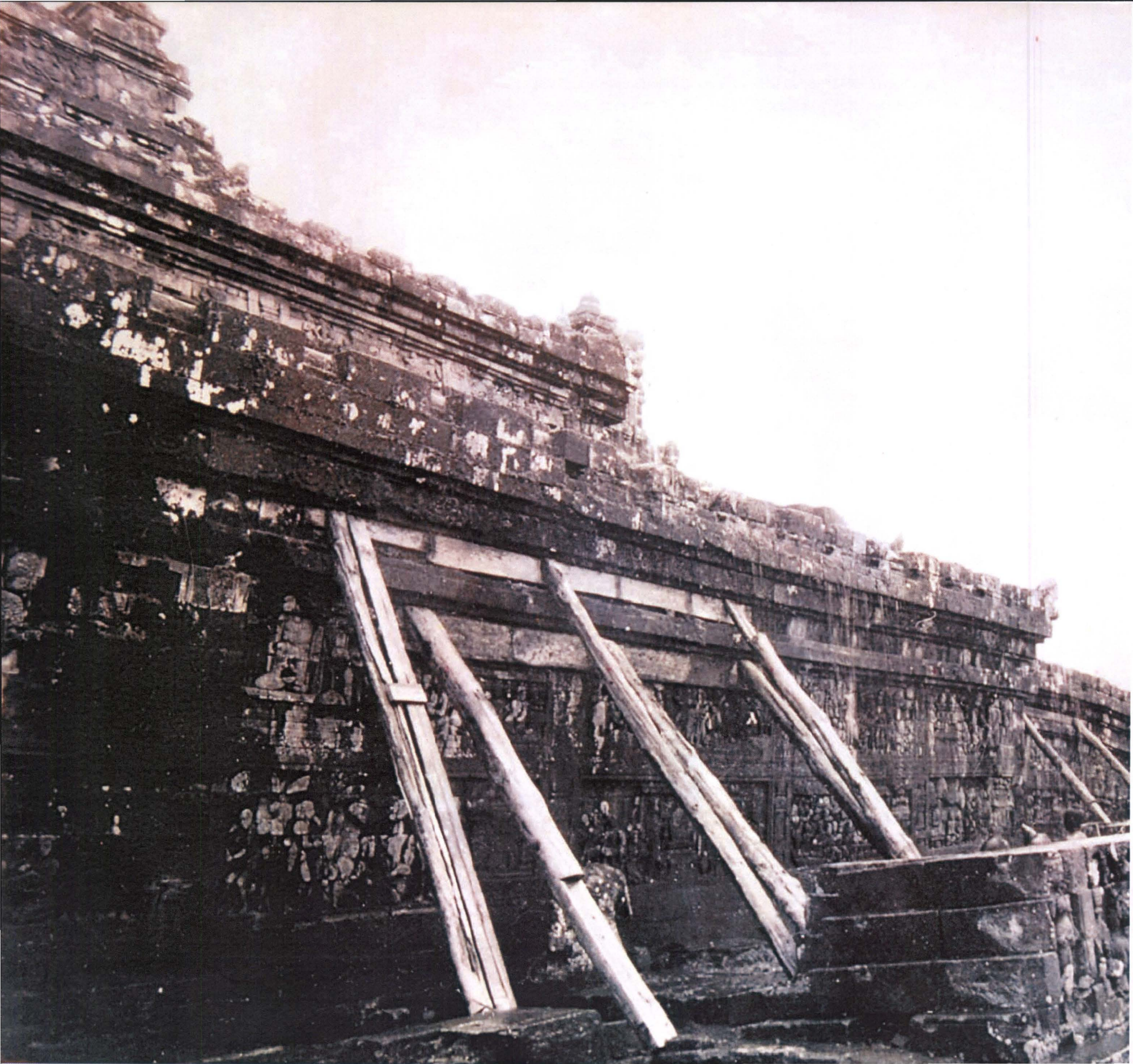
Balai Konservasi Borobudur
Jalan Badrawati Borobudur Magelang 56553
Telp. (0293) 788225, 788175
Fax. (0293) 788367
e-mail : balai@konservasiborobudur.org
website : www.konservasiborobudur.org

TIM PENYUSUN

Pengarah	Drs. Surya Helmi (Direktur Pelestarian Cagar Budaya dan Permuseuman)
Penanggung Jawab	Drs. Marsis Sutopo, M.Si (Kepala Balai Konservasi Borobudur)
Editor	Prof. Dr. Hariani Santiko
Tim Redaksi	Iskandar M. Siregar, S.Si. Yudi Suhartono, M.A. Henny Kusumawati, S.S. Panggah Ardiyansyah, S.S.
Desain Grafis	Dian Eka Puspitasari, S.T.
Penulis	Prof. Constantino Meucci Prof. Toshiya Matsui Prof. Dr. Ir. Kabul Basah Suryolelono, Dip.HE, DEA Prof. Dr. Sutikno Dr. Ichita Shimoda Dr. I.G.N. Anom Dr. Ir. Subagyo Pramumijoyo, DEA Ir. Djawahir Fahrurrazi, M.Sc. Ir. Sri Hartadi Drs. H.M. Romli Drs. Marsis Sutopo, M.Si. Drs. Hr. Sadirin Ismijono Subagjo R. Aris Munandar Budjono Mulyono Supardi Bambang Widyanoro Iskandar M. Siregar, S.Si. Yudi Suhartono, M.A.







Daftar Isi

ix	Sambutan Kepala Balai Konservasi Borobudur
x	Pengantar Editor

DEKONSTRUKSI

1	Dekonstruksi Candi Borobudur Karena Faktor Biologi (Sri Hartadi)
15	Keletakan Candi Borobudur di Cekungan Kedu dan Ancamannya (Sutikno)
29	Ancaman Gempabumi Terhadap Candi Borobudur (Subagyo Pramumijoyo dan Pyi Soe Thein)
37	Struktur Tanah Dasar Fondasi dan Stabilitas Bangunan Candi Borobudur (Kabul Basah Suryolelono)
53	Monitoring Deformasi Candi Borobudur Dengan Pendekatan Geometrik (Djawahir Fahrurrazi dan Dwi Lestari)
65	Candi Borobudur: Stone Degradation Mechanisms and Conservation Methodology (Costantino Meucci)
77	Studies on The Vibration by Tourists and Ephyptes on Stone at The Borobudur (Toshiya Matsui, Emi Kawasaki, Yosuke Atomi)
93	Architecture and Foundation Stucture of The Two Matchless Buddhist Temples in Southeast Asia - Borobudur and Bayon - (Ichita Shimoda)
115	Ketika Candi Borobudur Dibom (Marsis Sutopo, Iskandar M. Siregar, Yudi Suhartono)

REKONSTRUKSI

137	Pemugaran Borobudur dengan Konsep Sarwamuka (I.G.N. Anom)
155	Tekno Arkeologi Pemugaran Candi Borobudur (Ismijono)
191	Sistem Dokumentasi pada Pemugaran Candi Borobudur (M. Romli)
199	Penggambaran Pemugaran Candi Borobudur (Budjono)
215	Peranan Fotogrammetri Pada Pemugaran II (Subagjo R.)
225	Khemiko Arkeologi Pemugaran Candi Borobudur (Hubertus Sadirin)
245	Komputerisasi Pemugaran Candi Borobudur (Mulyono Supardi)
267	Buffer Storage (Aris Munandar)

TOKOH PEMUGARAN

279	Sepenggal Kenangan Obituari Prof. Soekmono (Bambang Widyanoro)
-----	--





Sambutan

Kepala Balai Konservasi Borobudur

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya, sehingga Buku Trilogi II “Dekonstruksi dan Rekonstruksi Candi Borobudur” ini dapat tersusun. Buku ini merupakan buku kedua setelah buku pertama diterbitkan pada tahun 2011 dengan judul 100 Tahun Pascapemugaran Candi Borobudur, Trilogi I “Menyelamatkan Kembali Candi Borobudur”.

Candi Borobudur yang dibangun pada sekitar abad VIII Masehi, sudah melalui perjalanan waktu yang sangat panjang. Lebih-lebih sebagai bangunan candi di tempat yang terbuka, tentunya keberadaannya sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, baik faktor fisik, faktor biotis, maupun manusia. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh faktor fisik, biotis, dan manusia terhadap kelestarian candi, selanjutnya dibahas pada bagian pertama. Pada bagian kedua menyajikan tentang upaya-upaya rekonstruksi, khususnya restorasi Candi Borobudur yang pernah dilakukan pada tahun 1973-1983.

Buku ini dapat terwujud berkat kerjasama dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu kami memberikan penghargaan dan ucapan terima kasih, khususnya kepada para Penulis yang telah menyumbangkan tulisannya.

Penghargaan dan terima kasih juga kami sampaikan kepada segenap Tim Redaksi, yang telah merancang isi, menghubungi para Penulis, mengkompilasi naskah, melacak foto-foto lama, dan meramunya sampai menjadi sebuah buku.

Akhirnya kami berharap, semoga buku ini bermanfaat untuk semua pihak dan semakin memberikan pengetahuan untuk masyarakat tentang Candi Borobudur.

Borobudur, Desember 2012
Kepala Balai Konservasi Borobudur

Drs. Marsis Sutopo, M.Si

Pengantar Editor

Dalam rangka memperingati 100 tahun pasca pemugaran Candi Borobudur, Balai Konservasi Borobudur menerbitkan buku **100 Tahun Pascapemugaran Candi Borobudur**. Buku ini direncanakan akan diterbitkan dalam bentuk Trilogi. Trilogi I terbit tahun 2011 dengan judul ***Menyelamatkan Kembali Candi Borobudur***, berisi 14 artikel dengan topik yang berbeda-beda, mulai dari penyelamatan Candi Borobudur oleh Th. van Erp tahun 1907-1911, kemudian dilanjutkan dengan berbagai karangan mengenai candi.

Buku Trilogi II selanjutnya diberi judul ***Dekonstruksi dan Rekonstruksi Candi Borobudur***, berisi berbagai artikel dan berdasarkan topiknya dijadikan 3 kelompok. Kelompok pertama ada 9 artikel yang diberi judul **Dekonstruksi**. Kelompok kedua terdiri atas 8 artikel diberi judul **Rekonstruksi**. Selanjutnya terdapat satu artikel lepas tentang **Tokoh Pemugaran**, dengan judul **Sepenggal Kenangan: Orbituari Prof. Soekmono**.

Kelompok **Dekonstruksi**, diawali oleh Sri Hartadi dengan artikelnya yang berjudul **Dekonstruksi Candi Borobudur Karena Faktor Biologi**. Candi Borobudur merupakan bangunan yang tersusun atas blok batuan yang dapat mengalami kerusakan oleh agensia abiotik dan biotik seperti halnya pelapukan batu secara alami. Kerusakan abiotik adalah peristiwa kimia dan fisika karena adanya garam yang masuk ke pori-pori batu. Sedangkan kerusakan biotik disebabkan adanya jasad renik, tumbuhan, dan hewan. Penelitian sejak tahun 1968 menunjukkan pelapukan batuan di Candi Borobudur sangat kompleks. Walaupun dapat terlihat bahwa ada korelasi antara tipe vegetasi yang tumbuh dan tipe kerusakan, tetapi suatu kesimpulan yang tegas sukar ditarik. Berbagai jenis lumut, terutama lumut kerak yang akarnya masuk ke pori-pori batu dapat menyebabkan kelapukan batuan. Air dan kelembaban merupakan “*trigger*” pengembangan berbagai jasad perusak batu-batuan, sehingga tata air harus menjadi perhatian terpenting dalam usaha melestarikan Candi Borobudur.

Disamping berbagai jenis lumut tersebut di atas, ancaman lain yang masih mengintai Candi Borobudur adalah yang disebabkan oleh keletakannya. Hal ini dikemukakan oleh Sutikno dalam artikelnya yang berjudul **Keletakan Candi Borobudur di Cekungan Kedu dan Ancamannya**. Pertama-tama dijelaskan bahwa Cekungan Kedu adalah DAS Progo, tetapi tidak sampai ke muara Kali Progo. Pemilihan tempat atau letak suatu bangunan membawa konsekuensi bagi keamanan serta keawetan bangunan dan lingkungannya terhadap ancaman atau bahaya. Ancaman atau bahaya yang mungkin terjadi tergantung pada karakteristik lingkungan. Karakteristik lingkungan DAS Progo terbatas pada komponen iklim, geologi, geomorfologi, hidrologi,

dan penggunaan lahan. Dari karakteristik tersebut dapat menimbulkan ancaman bagi Candi Borobudur, misalnya kondisi iklim, curah hujan, dan suhu besar pengaruhnya terhadap proses eksogen seperti pelapukan, erosi, dan longsor. Ancaman lainnya adalah gempabumi, karena kawasan Candi Borobudur dan sekitarnya terletak pada jalur gempabumi. Hal ini karena kedudukannya tidak jauh dari pertemuan dua lempeng tektonik besar, yaitu lempeng dasar Samudra Hindia-Australia dan lempeng kontinen Eurasia. Kemudian ancaman hujan piroklastika (abu hingga pasir), ancaman awan panas, lahar dingin (lahar hujan), dan banjir bandang. Akan tetapi, dikatakan oleh Sutikno, tinjauan geomorfologis menunjukkan bahwa keletakan Candi Borobudur secara umum sudah tepat dan aman terhadap ancaman atau bahaya alam. Ancaman tetap ada, namun dalam skala dan probabilitas kecil.

Ancaman gempabumi terhadap Candi Borobudur dikemukakan oleh Subagyo Pramumijoyo dan Pyi Soe Thein dalam artikelnya yang berjudul **Ancaman Gempabumi Terhadap Candi Borobudur**. Keletakan candi yang ada di sekitar gunung berapi, dengan sendirinya memberikan ancaman bencana gunung meletus dan gempabumi. Gempa di Borobudur terjadi sejak 1006, dan bahkan melihat kerusakannya waktu candi ditemukan tahun 1814, Candi Borobudur rusak karena gempa. Ancaman gempabumi untuk wilayah Borobudur secara empiris dapat didekati antara lain dengan mempergunakan *Peta Zonasi Gempa Bumi 2010*, yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum.

Selanjutnya pembahasan yang menarik diberikan oleh Kabul Basah Suryolelono, dalam artikelnya yang berjudul **Struktur Tanah Dasar Fondasi dan Stabilitas Bangunan Candi Borobudur**. Sebelum pemugaran II (1973-1983) diperkirakan kemiringan dinding candi diduga kuat akibat kandungan air yang meningkat di belakang dinding candi. Dari penelitian Kabul Basah Suryolelono diketahui bahwa tanah dasar fondasi candi yang terdiri dari berbagai lapisan tanah (tanah urug dan lapisan tanah asli yang berbeda jenis tanahnya, dinamai horison A, B, dan C), tidak mungkin terjadi kembang susut selamanya akibat penambahan kadar air tanah.

Kemudian artikel dengan judul **Monitoring Deformasi Candi Borobudur Dengan Pendekatan Geometrik**, ditulis oleh Djawahir Fahrurrazi dan Dwi Lestari. Artikel ini membahas tentang program pemantauan deformasi Candi Borobudur pascarestorasi 1963 dengan menggunakan pendekatan geometrik. Pemantauan deformasi candi menggunakan metode sipat datar untuk memantau deformasi pada arah vertikal dan metode poligon untuk memantau deformasi pada arah horisontal,

telah dilakukan dua kali pada sebelum dan sesudah tahun 2000, dengan hasilnya dinilai kurang meyakinkan. Pasca tahun 2000 desain jaring kontrol diperbaiki oleh Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM bergabung dengan Balai Konservasi Borobudur dengan menggunakan metode baru yaitu teknologi *Global Positioning Sistem* (GPS) dan *fotogrametri* jarak dekat serta *laser scanning*. Salah satu hasil penelitiannya ternyata Candi Borobudur masih dalam status aman ditilik dari data perubahan posisi titik-titik kontrol yang terpantau tidak menunjukkan deformasi yang signifikan.

Costantino Meucci dari University of Rome, Italia, menulis tentang **Candi Borobudur: Stone Degradation Mechanisms and Conservation Methodology**, dibahas tentang kehati-hatian memilih bahan-bahan kimia untuk menghilangkan “penyakit” bebatuan, dan juga cara mengawetkan batu-batu tersebut. Oleh karenanya perlu dilakukan suatu percobaan pada beberapa batu sebagai percontohan pengawetan sebelum bahan tersebut dipakaikan untuk keseluruhan. Terutama pemakaian air penyebab kerusakan candi, harus dilakukan secara hati-hati, demikian pula diusahakan agar air jangan sampai masuk di sela-sela bebatuan.

Topik yang berbeda dibicarakan oleh Toshiya Matsui, Emi Kawasaki, dan Yosuke Atomi, dengan artikel mereka yang berjudul **Studies on The Vibration by Tourists and Epiphytes on Stone at The Borobudur**. Mendayagunakan suatu bangunan tua secara tidak sadar kita akan merugikan bangunan tersebut. Misalnya Candi Borobudur, sebuah bangunan kuno yang dahulunya dipergunakan untuk upacara pemujaan Buddha, sekarang menjadi objek wisata. Kalau dahulu tidak banyak pengunjung, maka sekarang pengunjung berlimpah. Secara tidak sengaja kita “merusak” candi dengan kehadiran pengunjung, getaran-getaran yang ditimbulkan oleh hentakan-hentakan kaki (dengan berbagai jenis alas kaki), oleh berbagai suara, terlebih lagi getaran yang ditimbulkan oleh kendaraan. Getaran-getaran tersebut mempercepat kerusakan pada relief, pada bebatuan (batu kulit dan batu isian). Tim mencoba membandingkan besaran getaran pada tangga sebelah barat antara tingkat 2 dan 3, sebelah selatan pada tangga tingkat 6, dan sebelah selatan di antara tingkat 6 dan 7, dengan memasang alat khusus (*Keyenne NR-600 system*). Seharusnya getaran pada tangga yang terletak di atas akan lebih besar daripada getaran pada tangga yang lebih bawah, tetapi di Candi Borobudur perbedaan tidak terasa. Mungkin disebabkan Candi Borobudur tidak mempunyai ruangan (*internal space*).

Ichita Shimoda dalam artikelnya yang berjudul **Architecture and Foundation Structure of The Two Matchless Buddhist**

Temples In Southeast Asia – Borobudur and Bayon-, membicarakan Candi Borobudur yang dibandingkan dengan bangunan Buddhis di Kamboja, yaitu Candi Bayon. Kedua bangunan tersebut berbeda dalam beberapa hal, yakni berbeda pada struktur, gaya seni, keletakan dan sebagainya. Misalnya Bayon yang dibangun pada awal abad XII Masehi dibangun di pusat kota kuno Angkor Thom, pada tanah yang datar, sedangkan Candi Borobudur dibangun di atas bukit, di antara gunung-gunung, dan sebagainya. Persamaan hanya terletak pada ukuran dan kemegahan kedua bangunan tersebut, berbentuk bangunan “terbuka” (tanpa ruangan dalam), serta sifat keagamaan yaitu agama Buddha. Selanjutnya Ichita Shimoda memonitor apa yang dilakukan oleh Balai Konservasi Borobudur setelah selesainya pemugaran tahun 1983.

Kejadian yang sangat mengguncang dunia Arkeologi terjadi pada tanggal 21 Januari 1985, dikemukakan oleh Marsis Sutopo, Iskandar Mulia Siregar, dan Yudi Suhartono dalam artikelnya yang berjudul **Ketika Candi Borobudur Dibom**. Kesedihan yang tidak terhingga meliputi dunia Arkeologi ketika ada orang yang tak bertanggung jawab meledakkan Candi Borobudur dengan memasang 13 buah bom di stupa teras pada tingkat *Arupadhatu*. Dari 13 buah bom yang dipasang yang meledak 9 buah, merusakkan beberapa stupa dan arca Buddha yang berada di dalam stupa. Bahkan ada 2 arca Buddha pecah berkeping-keping tidak bisa diperbaiki lagi. Beberapa orang menceritakan kembali kejadian yang tidak akan terlupakan tersebut. Perbaikan candi yang rusak akibat bom memakan waktu 3 bulan.

Setelah 9 artikel kelompok pertama, maka 8 artikel kelompok kedua yang diberi judul **Rekonstruksi** diawali oleh artikel yang berjudul **Pemugaran Borobudur Dengan Konsep Sarwamuka**, ditulis oleh IGN Anom. Konsep Sarwamuka (*multifaces*), menurut Anom, mendasari pemugaran Candi Borobudur, karena yang dipugar bukan hanya candi secara fisik, tetapi juga berbagai pengetahuan budaya dan nilai-nilai yang dikandungnya. Demikian pula dengan dibangunnya Taman Wisata Candi Borobudur yang menambah, tidak saja daya tarik candi meningkat di bidang kepariwisataan yang memberi keuntungan, tidak saja menambah *income* negara dan pemerintah daerah tetapi juga untuk masyarakat di sekeliling candi. Dipertahankannya persawahan yang selain memberi hidup kepada masyarakat, juga dapat menstabilkan iklim. Borobudur selanjutnya dilengkapi dengan 5 zona, yang mencakup Candi Pawon, Candi Mendut, hingga ke wilayah Palbapang, dengan tujuan mengatur pembangunan di wilayah tersebut agar harmonis dengan arsitektur candi. Keadaan semacam ini mengingatkan kita akan konsep *Trihita Karana*, yaitu *parhyangan*, *pawongan*, *palemahan*. Candi Borobudur, Mendut, dan Pawon sebagai zona inti (*parhyangan*), dikelilingi tempat tinggal penduduk (*pawongan*), di luar itu arena persawahan (*palemahan*).

Pembicaraan tentang pemugaran Candi Borobudur dilanjutkan dalam artikel Ismijono yang berjudul **Tekno Arkeologi Pemugaran Candi Borobudur**. Secara panjang lebar dibahas tentang tugas pemugaran II Candi Borobudur yang merupakan tugas Sektor Tekno Arkeologi. Untuk keperluan tersebut sejak tahun 1971 telah dididik tenaga ahli pemugaran yang berasal dari lulusan SMA dan STM, sebanyak 40 orang, yang dibantu oleh para tukang bahkan mendatangkan tenaga kerja berpengalaman dari Prambanan. Disamping menyempurnakan pekerjaan van Erp, Sektor Tekno Arkeologi bertugas melakukan pembongkaran dan pemasangan kembali batu-batu candi secara hati-hati dan sesuai dengan norma-norma dan etika pelestarian Cagar Budaya yang bersifat rapuh dan tak terbaharui. Rencana pelaksanaan pemugaran II yang disusun oleh *Nederland Engineering Consultant* (NEDECO) tahun 1972, dapat diselesaikan dalam waktu 10 tahun.

Suatu tugas yang sangat diperlukan dalam proses pemugaran adalah pendokumentasian, yang telah ditulis oleh M. Romli dengan judul **Sistem Dokumentasi Pada Pemugaran Candi Borobudur**. Ada 3 subsektor dalam Sektor Dokumentasi yaitu Subsektor Fotografi, Subsektor Data Arkeologi, dan Subsektor Kehumasan. Dokumentasi menunjang Sektor Tekno Arkeologi dan Sektor Khemiko Arkeologi, dan pendokumentasian perlu dilakukan sebelum pekerjaan pemugaran dimulai. Kegiatan ini diperlukan untuk mengetahui apabila ada penyimpangan-penyimpangan, penemuan-penemuan baru, atau merencanakan bagian yang akan dipugar.

Di samping pemotretan, penggambaran fisik candi perlu dilakukan. Hal ini dikemukakan dalam artikel yang ditulis oleh Budjono yang berjudul **Penggambaran Pemugaran Candi Borobudur**. Penggambaran termasuk sebagai salah satu kegiatan yang cukup penting dan memakan waktu lama, karena hasilnya akan dijadikan sebagai pedoman dan acuan untuk melakukan pembongkaran maupun pemasangan kembali susunan batu-batu candi. Oleh karenanya semua gambar sudah harus siap sebelum pemugaran. Misalnya gambar-gambar penelitian dan pengeboran tanah untuk pemugaran II, sudah dilaksanakan sebelum tahun 1971.

Artikel yang berjudul **Peranan Fotogrametri Pada Pemugaran II** yang ditulis oleh Subagjo R., membicarakan teknik menggambar Fotogrametri yang memberi hasil ukuran gambar yang akurat. Proyeksi pada Fotogrametri bersifat orthogonal di mana proyeksi setiap titik pada objek saling sejajar dan tegak lurus dengan bidang gambar yang ada di depan dan belakang

akan tergambar dengan skala yang sama. Subagio memberi contoh pada pemugaran candi yang kecil ukurannya, yang dipugar dengan sistem *anastilosis*, pemakaian teknik menggambar ini tepat, karena dalam susunan percobaan dalam bentuk terbalik, akan memudahkan dalam pengukuran titik-titik.

Selanjutnya Hubertus Sadirin dari Sektor Khemiko Arkeologi yang menangani batu-batu yang “sakit”, menulis artikel dengan judul **Khemiko Arkeologi Pemugaran Candi Borobudur**. Penanganan batu-batu candi yang dilakukan atas prosedur diagnostik baku di bidang konservasi cagar budaya, dengan tujuan “menyehatkan kembali” batu-batu yang “sakit”. Akan tetapi dalam usahanya tersebut harus diingat pemakaian bahan-bahan kimia harus dibatasi dan diteliti dengan cermat, agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap batuan dan lingkungannya.

Uraian yang tidak kalah menarik dilakukan oleh Muljono Supardi dalam artikelnya yang berjudul **Komputerisasi Pemugaran Candi Borobudur**. Selain dipakai untuk pengontrolan pekerjaan Proyek, pemakaian komputer sangat membantu dalam sistem registrasi batu (*Stone Registration System*) yang belum diketahui posisinya. Dengan memakai Program Pencocokan Batu Lepas (*Matching Missing Stone/MMS*) diusahakan mencocokkan kepala-kepala Buddha, *antefiks*, *jaladwara*, fragmen-fragmen batu, dan sebagainya. Sebagai contoh bagaimana mencocokkan 50 kepala Buddha tanpa tubuh, dengan tubuh Buddha tanpa kepala yang berjumlah 280 buah. Program ini melengkapi kegiatan yang telah dilakukan secara manual.

Aris Munandar mengakhiri kelompok **Rekonstruksi** dengan artikelnya yang berjudul **Buffer Storage**. *Buffer Storage* yang diartikan sebagai “(tempat) Penampungan Batu” merupakan pintu utama batu-batu yang jumlahnya ribuan, dibongkar untuk menjalani terapi konservasi. Dua “macam batu” yaitu batu kulit (*outer stones*) dan batu elemen yaitu komponen candi seperti arca, stupa, *jaladwara*, dan sebagainya ditempatkan terpisah. Batu kulit diletakkan di kotak kayu (*pallet*) maksimal 9 batu untuk satu *pallet*. Setelah selesai dibersihkan dan dikeringkan *pallet-pallet* diletakkan di *Final Storage* menunggu giliran untuk dikembalikan ke susunan semula di candi. Organisasi dijalankan dengan rapi, karena kalau tidak, bisa mengacaukan proses pemugaran. *Buffer Storage* tidak beratap, hanya bagian tengah, tempat untuk membersihkan batu yang diberi atap.

Kemudian sebuah karangan tentang **Tokoh Pemugaran**, disusun oleh Bambang Widyanoro, dkk dengan judul **Sepenggal Kenangan: Orbituari Prof. Soekmono**. Pak Soek itulah panggilan akrab kami kepada Prof. Dr. R Soekmono, seorang Arkeolog,

yang paling berperan dalam restorasi II Candi Borobudur, seorang suami dari ibu R.R. Maryati Dewi Parwati, seorang ayah dari 11 putra/putri, 30 cucu, beberapa cicit, seorang yang sabar tetapi penuh tanggung jawab. Beliau pernah mendapat Penghargaan Hamengku Buwono IX di Bidang Pendidikan dan Kebudayaan. Beliau adalah seorang Guru Besar dalam Bidang Arkeologi, seorang dosen di Jurusan Arkeologi, baik di UGM maupun di UI. Dalam usaha memajukan keahlian di bidang pemugaran dan sudah tentu arkeologi, telah dididik 40 ahli pemugaran. Pemugaran II tahun 1973-1983, terdapat 600 pekerja/karyawan pemugaran. Dapat pula kami tambahkan, karena keinginan beliau memajukan keahlian dalam bidang Arkeologi, pak Soek telah “merekrut” kami, yang baru lulus sebagai Sarjana Arkeologi, magang di kantor Proyek Pemugaran Candi Borobudur di Jakarta.

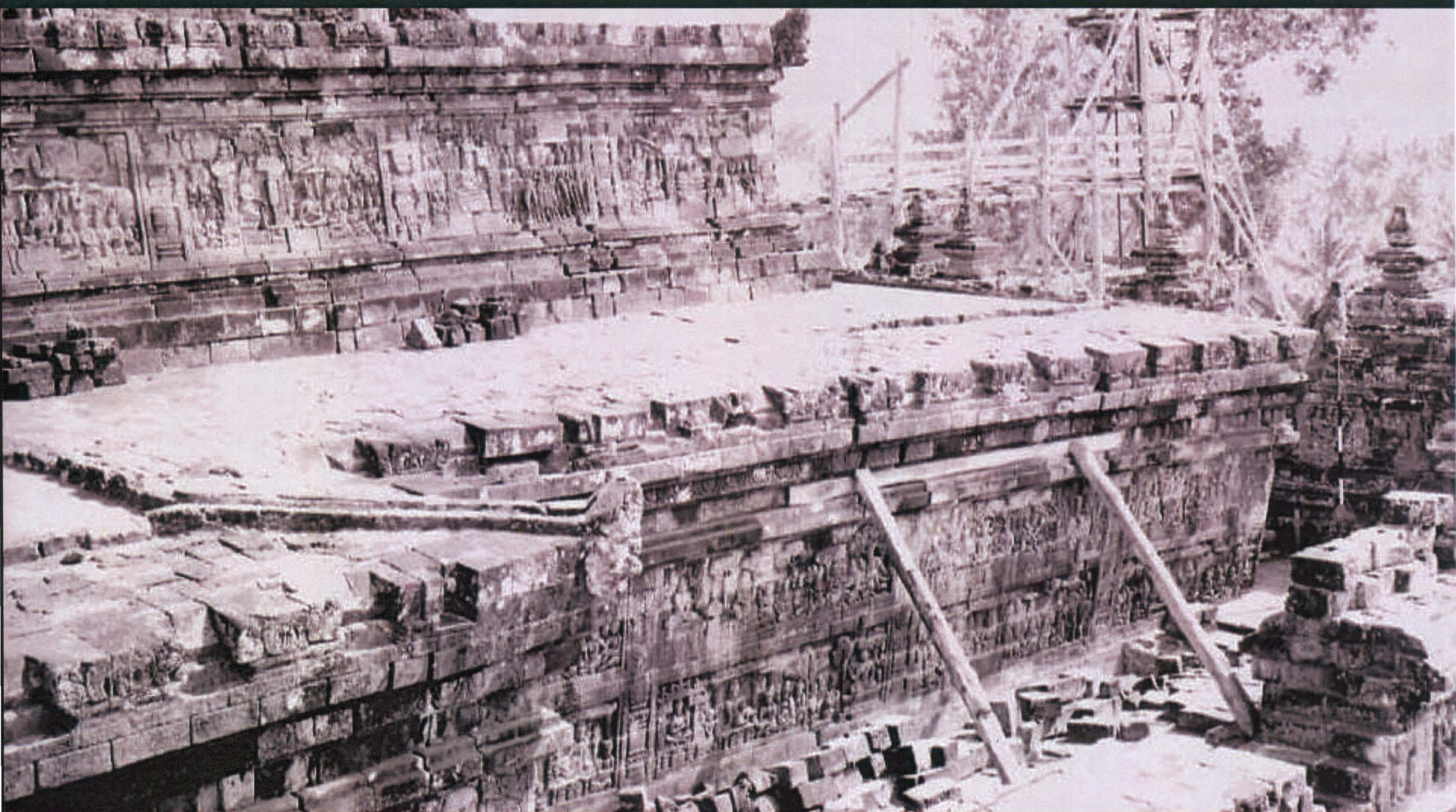
Dengan mencermati berbagai artikel untuk Trilogi II, 9 buah artikel yang masuk kelompok pertama adalah hasil studi tentang penyebab kerusakan Candi Borobudur, baik kerusakan yang disengaja maupun tidak, yang terjadi pada struktur bangunan maupun kerusakan pada relief candi. Kemudian dicari penyebab kerusakan tersebut, karena hal itu bisa menjadi ancaman kelestarian Candi Borobudur. Kecuali pengeboman candi yang dilakukan oleh orang yang tidak bertanggung jawab, beberapa ancaman mungkin masih bisa terjadi apabila tidak diupayakan menahan laju kerusakan bangunan candi. Hal-hal apa yang perlu dilakukan untuk mencegah kerusakan candi yang kita banggakan itu, telah dibahas pada 8 artikel pada kelompok kedua.

Jakarta, Desember 2012

Prof. Dr. Hariani Santiko



DEKONSTRUKSI



DEKONSTRUKSI CANDI BOROBUDUR KARENA FAKTOR BIOLOGI

Oleh:
Sri Hartadi
Staf Ahli

Proyek Restorasi Candi Borobudur

PENDAHULUAN

Candi Borobudur merupakan bangunan monumen yang tersusun atas blok batuan yang dapat mengalami kerusakan oleh agensia abiotik dan biotik seperti halnya pelapukan batu secara alami di alam.

Kerusakan abiotik merupakan peristiwa kimia dan fisika karena adanya pembentukan garam yang semula tercuci, mengkristal selanjutnya ukurannya membesar, mengecil, terlarut, airnya menguap yang berulang-ulang dalam pori batu karena perubahan suhu, tekanan dan sebagainya.

Kerusakan biotik disebabkan oleh adanya pertumbuhan dan aktivitas jasad tingkat tinggi berupa tumbuhan, hewan dan jasad renik (mikrob, mikroorganisme). Aktivitas jasad dapat diakibatkan oleh pertumbuhan maupun metabolisme yang dapat dipercepat kondisi lingkungan fisik dan kimia yang mendukung. Kerusakan batuan candi semakin parah

karena merupakan bangunan yang terbuka di alam sehingga dapat mengalami kerusakan karena faktor fisik (mekanik), kimia dan biologi yang dapat berdiri sendiri maupun kombinasi lebih dari satu faktor. Proses pertumbuhan dan metabolisme organisme memerlukan air, kelembaban relatif tinggi, nutrisi dan untuk jasad fotosintetik memerlukan cahaya.

Tipe-tipe kerusakan yang dapat terlihat sebagai hasil proses biologis ialah proses yang bersifat mekanis, proses kimia disimilatif dan proses pencemaran permukaan (*soiling*). Kekeringan dan kelembaban yang silih berganti dapat menimbulkan kekuatan yang cukup besar pada jasad, misalnya pengerutan dan pengembangan jasad yang tumbuh erat di permukaan batu oleh beberapa jenis alga dan lumut kerak (*lichen*) tipe butiran (*crustaceous*).

Proses kimia disimilatif dapat menghasilkan suatu proses korosi. Mikrob mengambil hara dari

batuan, dimetabolisme atau hasil ekskresinya membentuk senyawa korosif, misalnya asam organik yang melarutkan kalsium bebas, kalsium karbonat dan sebagainya. Pencemaran dapat terjadi karena sisa pertumbuhan jasad pada permukaan batu yang tidak mengalami perombakan lebih lanjut.

Alga ototrof yang tumbuh di tempat lembab, berair dan terkena cahaya matahari termasuk penyebab pencemaran. Fungi yang tumbuh pada sisa-sisa bahan organik walaupun sedikit jika kelembaban cukup tinggi dapat mencemari permukaan batuan. Pengendapan senyawa yang berwarna (misalnya senyawa Fe) dan pengendapan kristal garam yang

semula meresap ke dalam pori-pori batuan setelah airnya menguap juga dapat mencemari permukaan batuan.

Dari segi proses pelapukan batuan (tingkat pertama proses pembentukan tanah) telah diakui peran penting dari lumut kerak, lumut, alga dan beberapa mikrob lain. Lumut kerak sering menjadi penghuni pertama permukaan batuan. Alga *pleurococcoid* dapat hidup bersama dengan jamur yang membentuk lendir dan merupakan awal simbiosis (protoliken).

Lumut kerak dapat merusak batuan dengan beberapa cara antara lain karena penambahan massa selama pertumbuhan di celah atau retakan batuan. Dengan daya mekanik akibat perentangan dan pengerutan koloni terutama pada lumut kerak tipe *crustaceous* serta ekskresi asam-asam organik dapat merusak batuan (Jutono & Sri Hartadi, 1973).

Hasil penelitian BRGM (di Paris) menunjukkan bahwa *rhizin* (akar) lumut kerak tipe *crustaceous* yang tumbuh di batuan Candi Borobudur ada yang masuk ke dalam batu sehingga memperhebat proses pengikisan batuan karena ekskresi asam-asam. Penyelidikan dengan defraksi sinar X memastikan adanya kristal-kristal asam oksalat (*hydrated calcium oxalate*) yang dibentuk lumut kerak sebagai hasil ekskresi (Hyvert, 1972).

Hasil penelitian sejak tahun 1968 menunjukkan bahwa pelapukan batuan di Candi Borobudur sangat kompleks (Jutono & Sri Hartadi, 1973). Walaupun dapat terlihat bahwa ada korelasi antara tipe vegetasi yang tumbuh dan tipe kerusakan yang tampak, tetapi



Kondisi stupa Candi Borobudur yang dipenuhi oleh lumut kerak

suatu kesimpulan yang tegas sukar ditarik. Pertumbuhan jasad di permukaan batuan yang terlihat merupakan hasil rentetan proses yang telah berlangsung lama sebagai proses pelapukan batuan dan pembentukan tanah. Adanya jasad tertentu pada bagian batuan yang lapuk belum tentu tipe jasad itu yang menjadi agensia perusak utamanya.

Diduga jasad ototrof termasuk alga berperan penting dalam daur pelapukan batuan yang menyebabkan perubahan-perubahan pada keadaan lingkungan, yang memberi kesempatan perkembangan jasad heterotrof (bakteri, fungi, aktinomisetes, lumut kerak serta lumut). Untuk mendapatkan jasad penyebab utama pada pelapukan diperlukan studi ekologi yang mendalam. Kesulitan yang besar dihadapi pada penelitian tipe mikrob tertentu yang diduga penyebab kerusakan. Karena kecilnya ukuran mikrob maka hanya dapat mengandalkan hasil teknik isolasi, kultur dan uji aktivitas pada mikrob tipe tertentu. Kenampakan yang dijumpai di batuan atau celah batuan candi adalah hasil pertumbuhan jasad dalam jangka waktu lama dalam bentuk koloni, hasil simbiosis fungi dengan alga (pada lumut kerak), dan antara lumut dengan alga lainnya.

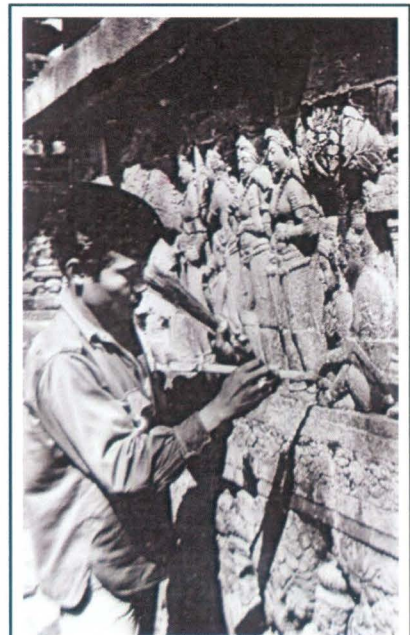
Dengan mempertimbangkan hasil-hasil penelitian yang diperoleh dan masalah yang diutarakan dapat ditarik kesimpulan bahwa usaha untuk menghambat serta mengurangi pertumbuhan jasad di permukaan batuan apalagi untuk mencegah pertumbuhan jasad merupakan pekerjaan yang tidak mudah dan diperlukan biaya yang sangat mahal.

Air dan kelembaban harus mendapat perhatian utama karena kerusakan abiotik maupun biotik memerlukan air dalam prosesnya, sehingga dalam pemugaran Candi Borobudur pengaturan (tata) air perlu mendapat perhatian. Dalam rencana (*design*) pemugaran Candi Borobudur hal ini telah diperhatikan (de Beaufort *et al.*, 1970).

Penghambatan atau pemberantasan pertumbuhan jasad dengan menggunakan bahan kimia hanya merupakan usaha pelengkap, karena pengaruh zat tersebut sangat terbatas dan zat kimia dapat mengalami degradasi secara kimia, fisika, biologi, fotokimia, pencucian dan lainnya. Penghambatan atau pemberantasan pertumbuhan jasad dalam rangka pembersihan batuan secara mekanis dan manual juga telah dicoba (Jutono *et al.*, 1972, Sri Hartadi & Jutono, 1974).

DASAR-DASAR UNTUK MENCEGAH KERUSAKAN BIOLOGI

Jasad yang tumbuh di atas batuan tidak dapat dihentikan sama sekali tanpa usaha tertentu. Pada keadaan alami, air dan kelembaban merupakan faktor utama untuk pertumbuhan jasad tertentu yang merupakan perintis pertumbuhan jasad lainnya. Dari hasil penelitian biologi di Candi Borobudur dapat disimpulkan bahwa proses pelapukan yang berlangsung pada batuan candi sangat kompleks. Karena bukan saja faktor iklim yang memegang peranan, tetapi juga air rembesan



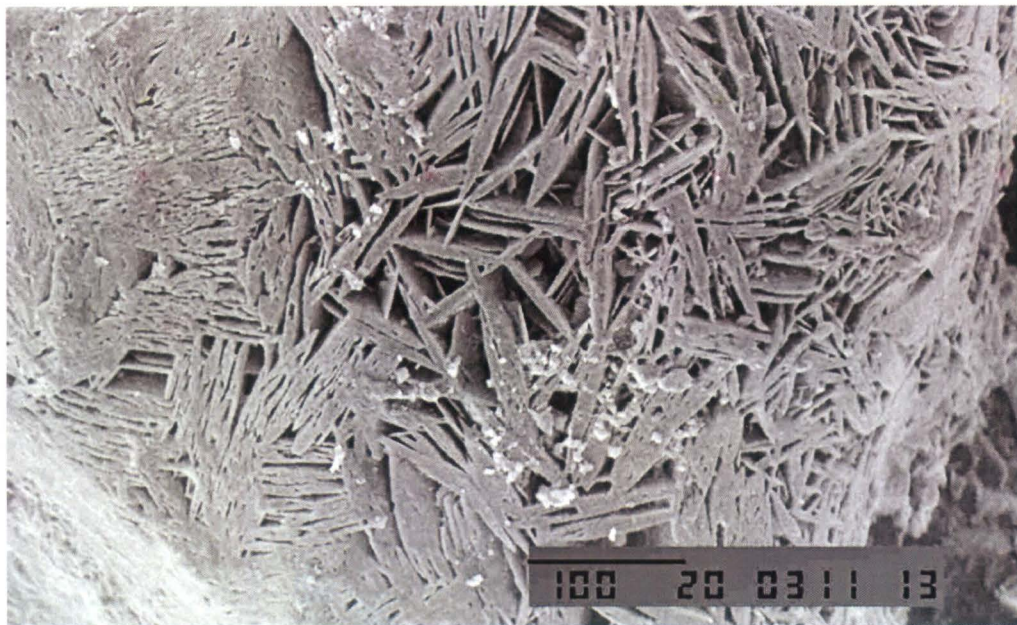
*Pembersihan secara manual
pada dinding relief*

yang membawa bahan terlarut (Voute, 1969). Air hujan yang mencapai ke dalam tubuh candi dapat membawa senyawa dari batuan atau tanah. Sebagian air mengalir atau menetes melalui celah atau retakan batuan dengan membawa senyawa kimia yang terlarut. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa air yang merembes atau menetes ke luar melalui celah atau retakan batuan mengandung senyawa CO_2 , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- dan senyawa lain lebih tinggi bila dibandingkan dengan air hujan (Notohadiprawiro & Soekodarmodjo, 1972). Hal ini berarti air menyebabkan terlarutnya senyawa dari batuan atau tanah. Senyawa yang terlarut ini selanjutnya akan membentuk endapan di permukaan, antara retakan, celah batuan

atau dalam pori pada waktu air menguap. Air menyebabkan kelembaban batuan dan kelembaban udara cukup tinggi sehingga memungkinkan pertumbuhan jasad.

Faktor-faktor tersebut di atas yang lebih mempercepat proses pelapukan karena memberi kemungkinan untuk berkembangnya jasad, termasuk lumut kerak dan lumut. Pertumbuhan lumut yang lebih lebat memang terdapat pada tempat lembab yang mengandung lempung, debu atau hidroksida besi. Penelitian pada irisan batu Borobudur yang ditumbuhi lumut maupun alga menyimpulkan bahwa *rhizin* (akar lumut) masuk ke dalam batu melalui pori-pori yang ada, bahkan dapat pula menembus dinding antar pori batuan. Adanya garam di sekitar jasad termasuk *rhizin* dapat dilihat dengan pengamatan mikroskop elektron Subagjo R. (2012).

Jasad yang tumbuh di permukaan batuan dapat dilihat secara makroskopik (tanpa alat perbesaran) dan mikroskopik. Dengan melihat kenampakan makroskopik dapat diduga merupakan pengaruh pertumbuhan dan aktivitas jasad terhadap pelapukan batuan. Pengamatan makroskopik dapat dilakukan dengan pengamatan pertumbuhan jasad yang tumbuh di permukaan batuan dan di antara blok batuan. Pengamatan batuan meliputi batuan yang terdapat pada bagian yang kering, lembab maupun basah berikut jasad yang tumbuh di sekitarnya. Berdasarkan kenampakannya dapat disimpulkan bahwa sebagian batuan telah mengalami pelapukan secara mekanis, kimia, fisikokimia maupun biologis.



Pengamatan garam pada batu candi menggunakan Scanning Electro Microscope (SEM) dengan perbesaran 200x

Jasad mikroskopik hanya dapat dilihat dengan mikroskop setelah contoh batuan, tanah yang terdapat di antara batuan atau *kerikan* batuan dianalisis di laboratorium, ditentukan jumlah dan aktivitasnya pada medium khusus. Dengan cara tersebut dapat ditentukan jumlah bakteri, aktinomisetes, alga, mikrob yang aktif dalam amonifikasi, penambat nitrogen secara aerob, anaerob dan nitrifikasi. Mineralisasi senyawa belerang (S) organik, pereduksi sulfat anaerob, pengoksidasi belerang dan pengoksidasi H_2S juga dapat ditentukan. Penentuan jumlah dan aktivitas mikrob yang aktif dalam daur belerang ditentukan seperti yang telah dilakukan oleh Krumbein (1966) pada penelitiannya dengan dimodifikasi.

Jasad yang Tumbuh di Batuan atau Sela Batuan

Pertumbuhan jasad makroskopik antara lain alga, lumut kerak (*lichen*), lumut (*Bryophyta*), tumbuhan paku (*Pteridophyta*) dan tumbuhan berbiji (*Spermatophyta*) dapat dijumpai di hampir semua tempat.

Alga dijumpai pada lingkungan berair. Pada lingkungan ini pertumbuhan *Nostocaceae* sangat lebat. Di musim kering alga mengering dan mengelupas. Lumut kerak juga terdapat di mana-mana, terutama di bagian yang kering. Berdasarkan kenampakan makroskopik dapat dibedakan adanya beberapa jenis lumut kerak.

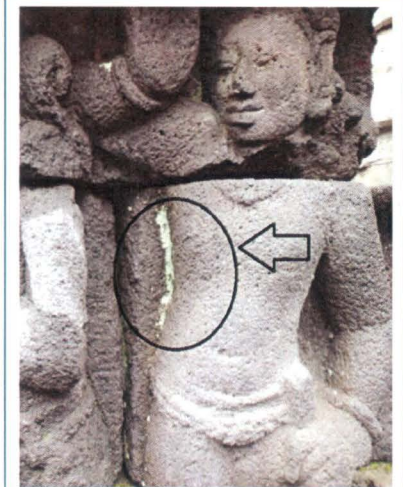
Lumut dapat dibedakan atas lumut hati (*Hepaticae*) dan lumut daun (*Musci*). Lumut

hati tumbuh di sela-sela blok batuan atau di batuan yang telah lapuk yang mengandung sedikit tanah dan keadaannya lembab. Pertumbuhan mulai dari sela-sela batuan atau lekuk-lekuk relief, selanjutnya menjalar ke bagian lain pada permukaan batuan. Salah satu spesies yang sering dijumpai adalah *Haplozia javanica*. Lumut hampir terdapat di semua permukaan batuan dan permukaan relief yang poreus dan lembab. Lumut petama-tama dapat dilihat pertumbuhannya setelah rekonstruksi blok batuan candi, hal ini menunjukkan bahwa hasil pembersihan kurang sempurna atau telah terkontaminasi dari lingkungan sekitarnya.

Tumbuhan paku biasanya tumbuh di sela-sela blok batuan atau di dalam lekukan relief yang telah lapuk dan banyak mengandung timbunan tanah atau debu. Sedikitnya lima marga (genus) dapat dijumpai yaitu *Adiantum*, *Lycopodium*, *Notholaena*, *Ophioglossum* dan *Pityrogramma*.

Tumbuhan berbiji kadang-kadang terdapat di sela blok batuan dan bagian lekukan relief yang lapuk, mengandung tanah atau debu terutama yang lama tidak dibersihkan. Yang sering dijumpai adalah *Piper roosea*, *Euphorbia* sp. dan beberapa jenis rumput.

Pada batuan kering terdapat endapan karbonat dan silikat yang semula terlarut dalam air rembesan selama musim hujan. Di beberapa tempat terjadi pembentukan endapan karbonat oleh air kapiler yang mengandung karbonat. Endapan karbonat juga sering terdapat di permukaan koloni alga dan koloni lumut. Pada batuan basah juga sering dijumpai endapan



Pertumbuhan jasad makroskopik di sela batuan Candi Borobudur. Terlihat adanya lichen (lumut kerak) di lekukan relief

karbonat di sepanjang aliran air rembesan atau air kapiler yang mengandung karbonat. Pada batuan yang lembab atau berair, lumut dan alga *Nostocaceae* merupakan jasad yang tumbuh dominan.

Dari pengamatan jasad yang dijumpai hampir di seluruh batuan Candi Borobudur adalah:

- a. **Lumut:** jenis lumut hati yang sering dijumpai adalah *Haplozia javanica*, sedangkan lumut yang sering dijumpai adalah *Aoengstroemia orientalis*, *Barbula javanica*, *Bryum coronatum*, *Hyophila involuta*. *B. javanica* sering tumbuh berasosiasi dengan alga *Anabaena anomala*, *Nostoc minutissima* dan *N. calcicola*.



Pertumbuhan alga berbentuk lendir (pada bagian berair), lumut kerak (warna putih pada bagian kering, lembab) kanan atas, lumut dan tumbuhan paku.

Peranan lumut:

Lumut biasanya baru berkembang setelah adanya pertumbuhan jasad lain terlebih dahulu. Lumut mempunyai kemampuan untuk menahan debu, selanjutnya dapat menjadi tempat pembenihan untuk spora tumbuhan paku dan biji tumbuhan berbiji lain. Lumut dan *Nostocaceae* dapat mengadakan asosiasi jika kelembaban cukup tinggi dan persyaratan terpenuhi. Lumut menyebabkan pelapukan dan terkikisnya batuan karena pada bekas tumbuhan lumut dapat terjadi lubang atau cekungan yang besar karena *rhizin* lumut dapat masuk ke pori-pori batuan dan membentuk senyawa yang menyebabkan batu lapuk sehingga mudah terkikis oleh adanya aliran air maupun perawatan batu yang tidak hati-hati.

- b. **Lumut kerak:** yang dijumpai terdiri dari tipe butiran (*crustaceous*) dan tipe lembaran (*foliaceous*). Tipe butiran terutama dijumpai pada batuan relief, dinding, dan patung sedangkan tipe lembaran dijumpai pada batuan pagar langkan dan kaki candi. Jenis yang dijumpai antara lain: *Basidia rosella*, *Biatoria immersa*, *Endocarpon fusitum*, *Ephebe pubescens*, *Laboria pulmonia*, *Perina faginea*, *Peltigera malacea*, *Placynthium nigrum*, *Rocella fuciformis*, *Septotema pseudoferemula*, *Thermuthis velutina*, dan *Verrucaria rupestre*.

Peranan lumut kerak:

Lumut kerak mampu melakukan fotosintesis, *rhizin* dapat masuk ke dalam pori-pori dan retakan batuan, dari hasil ekskresi asam-asam terjadilah pelapukan batuan. Adanya pertumbuhan lumut kerak yang lebat dapat menyebabkan timbunan bahan organik di celah batuan sehingga memungkinkan pertumbuhan jasad lain misalnya lumut. Kadang-kadang pengaruhnya sukar diamati karena akibat pelapukannya tipis merata di seluruh permukaan batuan, berbeda dengan akibat pelapukan yang oleh oleh alga dan lumut lain.

c. **Alga:** alga yang tergolong filum *Cyanophyta* terdapat lebih banyak bila dibandingkan dengan yang lain. Beberapa famili (suku) dan spesies (jenis) yang dijumpai ialah:

1. *Nostocaceae*: *Nostoc calcicola*, *N. microscopium*, *N. ellipsosporum*, *N. minutissima*, *Nostoc* spp. dan *Anabaena anomala*.
2. *Scytonemataceae*: *Aulosira fertilissima*, *Scytonema julianum*, *S. mirabile*, *Scytonema* spp., *Tolypothrix conglutinata*, *T. camphylonemoides*.
A. fertilissima dan *T. camphylonemoides* berwarna kehitam-hitaman dan berlendir. *T. conglutinata* secara makroskopik berwarna kecoklat-coklatan dan berlendir. *Scytonema* sp. merupakan jasad spesifik di tempat-tempat yang berair.
3. *Entophyalidaceae* terdiri dari

Heterohormogonium spp. dan *Enthophysalis* spp. dijumpai di tempat berair atau lembab dan *Enthophysalis* spp. terutama pada bisul.

4. *Stygonemataceae*: jenis *Stygonema hormoides* dan *S. minutum* dijumpai di tempat lembab.
5. *Chroococcaceae*: *Apanothece castagnei*, *A. pallida*, *Gloeocapsa magna*, *G. punctata* dan *Synechocystis aquatilis* dijumpai hampir di semua tempat yang lembab dan berair. Di tempat yang berair *S. aquatilis* mudah diketahui berdasarkan warnanya yang kehijau-hijauan.
6. Beberapa jenis dari filum *Chlorophyta* dijumpai terutama di tempat berair dan di batuan yang telah lapuk, antara lain jenis *Chlorococcum humicola*, *Gongrosira* spp. dan *Trentopohlia* spp.
7. Diatom: klas *Bacillariophyceae* filum *Chrysophyta* banyak dijumpai di permukaan batuan, tanah di antara blok batuan dan contoh air yang dikumpulkan dari beberapa tempat antara lain: *Achnanthes lanceolata*, *Cymbella ventricosa*, *Caloneis bacillum*, *Navicula brekkaensis*, *N. minima*, *N. mutica*, *Nitzchia amphibia*, *Ni. denticola*, dan *Ni. frustulum*.

Peranan alga:

Pertumbuhan alga dimulai pada bagian permukaan batuan yang kasar dan pada celah retakan batu yang keadaannya cukup

lembab. Dari kemampuan fotosintesisnya dibentuk sejumlah besar bahan organik, sedangkan sebagian mineral yang diperlukan diambil dari ekskresi yang dihasilkan alga. Beberapa jenis alga mempunyai kemampuan membentuk lendir yang dapat melindungi alga dari kekeringan. Terdapat bakteri di tempat-tempat yang ditumbuhi alga karena adanya bahan organik yang dihasilkan alga serta kelembaban yang cukup.

- d. **Fungi:** beberapa jenis fungi yang telah diidentifikasi dari contoh batuan dan tanah (yang diidentifikasi di Laboratorium *Cryptogamic* Paris dan Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian UGM) antara lain: *Aspergillus elegans*, *A. flavus*, *A. niger*, *Cladosporium cladosporoides*, *Cunninghamella echinulata*, *Curvularia lunata*, *Fusarium roseum*, *Gliocladium virens*, *Penicillium lilacinum*, *P. multicolor* dan fungi termasuk *Aspergillus* spp., *Rhizopus* spp., *Mucor* spp. Diantara fungi tersebut ada yang menghasilkan asam oksalat dan atau asam sitrat dalam jumlah besar (Hyvert *cit de Beaufort et al*, 1970).

Peranan fungi:

Adanya bahan organik dari hasil pertumbuhan dan metabolisme jasad sebelumnya memungkinkan perkembangan fungi, bakteri dan aktinomisetes. Peranan fungi dan bakteri dapat disebabkan oleh hasil metabolisme yang membentuk berbagai asam organik, asam anorganik

maupun enzim. Asam yang berperan penting dalam proses pelapukan batuan ialah asam karbonat, nitrat, nitrit, fosfat, sulfat, asetat, sitrat, oksalat, laktat, butirat, asam lemak dan asam nukleat. Fungi ada yang dapat bersimbiosis dengan alga yang membentuk lumut kerak.

- e. **Aktinomiwsetes:** dapat dijumpai (diisolasi) di hampir semua tempat, baik di batuan maupun tanah yang keadaannya kering maupun lembab. Berdasarsifat morfologinya dapat dibedakan atas beberapa marga (genus) dan jenis.

Peranan aktinomisetes:

Jumlah aktinomisetes menunjukkan angka yang besar (Sri Hartadi & Jutono, 1972), yang hasil metabolismenya berperan utama pada pelapukan batuan basis dan batuan kapur. Mungkin adanya akumulasi nitrat dalam endapan karbonat dapat menerangkan hal tersebut.

- f. **Bakteri:** seperti halnya aktinomisetes, bakteri juga dapat dijumpai disemua tempat juga pada bisul batuan. Berdasarkan pengecatan gram dan pengamatan mikroskopis dapat dibedakan atas bentuk dan sifat gram, yaitu bentuk batang, kokus, elips, bakteri pembentuk spora yang bersifat gram positif (+) dan gram negatif (-).

Peranan bakteri:

Berdasarkan perhitungan jumlah dan aktivitas bakteri dari contoh bahan batuan

(kerikan batuan), tanah, air dan contoh tanah yang diambil dari beberapa lokasi di Candi Borobudur menunjukkan bahwa bakteri penambat nitrogen dalam jumlah banyak dan mudah diisolasi hampir di semua tempat (antara lain *Azotobacter* spp.). Mikrob penambat nitogen besar peranannya dalam proses pelapukan batuan. Dengan memperhatikan kecepatan amonifikasi dapat disimpulkan cukup besarnya peranan perombakan bahan organik pada batuan.

Kecepatan amonifikasi tergantung pada pH dan jenis batuan (Krumbein, 1966). Krumbein menunjukkan bahwa pada batuan kapur dan batuan basis kecepatan amonifikasinya tinggi. Hasil yang diperoleh dari batuan Candi Borobudur menunjukkan kecepatan amonifikasi tinggi sesuai dengan sifat batuan yang digunakan untuk penyusun Candi Borobudur.

Daya korosi asam sulfat terhadap batuan sangat besar, tetapi hasil analisis mikrobiologi pada batuan Borobudur hasilnya kecil karena tidak ada (sedikit) sumber belerang, hal ini berbeda dengan Candi Kalasan karena adanya kotoran burung. Hasil analisis kimia berbagai contoh air dari beberapa tempat di Borobudur tidak menunjukkan adanya sulfat (Notohadiprawiro & Soekodarmodjo, 1972).

Hasil analisis mikrobiologi dari beberapa contoh tanah dan kerikan batuan yang diambil di beberapa tempat menunjukkan jumlah mikrob yang cukup besar (Sri Hartadi & Jutono,

1972, Jutono & Sri Hartadi, 1973). Mikrob yang aktif dalam daur Nitrogen besar perannya sedangkan yang aktif dalam daur belerang kurang berarti. Adanya variasi jumlah mikrob cukup besar disebabkan keadaan lingkungan dan tingkat pelapukan batuan berbeda.

Pengamatan dan aktivitas jasad, akibat dan penyebabnya terhadap kerusakan berbagai bahan dan bangunan secara mendalam telah ditinjau (review) oleh Jain *et al.* (1993).

Penyebaran jasad maupun jumlah mikrob yang tumbuh di berbagai tempat dan keadaan lingkungan di batuan Candi Borobudur telah dibahas juga secara ringkas oleh Subagjo (2012).

Pengamatan Khusus Jasad yang Dijumpai di Dinding Relief maupun Dinding Utama

Jasad penghuni dinding relief dan atau dinding utama (tidak berrelief) dipengaruhi oleh keadaan fisik dinding.

Daerah yang mendapatkan air aliran (*run off*) pada waktu musim hujan penghuni utamanya adalah alga (antara lain *Aulosira fertilissima*, *Chlorococcus turgidus*, *Chlorococcum humicola*, *Gloeocapsa punctata*, dan *G. magma*). Lumut dan lumut hati dijumpai di tempat lembab dan lapuk antara lain *Barbula javanica*, *Ectropothecium monumentum* dan *Haplozia javanica*.

Daerah yang mendapatkan air rembesan dan keadaannya selalu basah penghuninya



Pertumbuhan lumut (pada relief yang kering, lembab), lumut kerak (warna putih pada bagian kering, lembab), lumut dan tumbuhan lain. Terlihat adanya bisul, lubang-lubang bekas bisul dan endapan garam berwarna putih.

dapat berbeda-beda tergantung lingkungan spesifiknya. Selain alga, lumut dengan lumut hati dapat dijumpai pula asosiasi antara lumut dengan *Nostocaceae* (*Barbula javanica* dengan *Nostoc* sp., *B. javanica* dengan *Nostoc microacopicum*, atau *B. javanica* dengan *Anabaena anomala*), asosiasi antara lumut dengan bukan *Nostocaceae* (*H. javanica* dengan *Scytonema julianum*, *Scytonema* sp., *Oocystis* spp., *Stigonema rupestris*, *Gloeotheca rupestris* dan *N. microscopicum*) dan asosiasi antara lumut dengan alga bukan *Nostocaceae* dan *Nostocaceae* (*N. calcicola*, *N. microscopicum* dengan *Aphanothece castagnei*, *Synechocystis* spp. dan diatome).

Jasad penghuni lekukan relief umumnya alga, lumut dan protonema lumut. Alga yang sering dijumpai ialah *Scytonema javanica*, *S. mirabile*, *Stigonema hermoides*, *S. minutum*, *Plectonema wollei*, *Gloeotheca rupestris* dan *Myxosarcina* sp. Lumutnya adalah *Haplozia javanica*.

Jasad penghuni bisul yang terbentuk di permukaan batuan merupakan akibat pertumbuhan bersama atau asosiasi antara alga dan lumut. Mula-mula protonema lumut tumbuh di batuan, diikuti pertumbuhan alga dan selanjutnya tertutup oleh karbonat atau silikat sehingga membentuk bisul. Kadang-kadang bisul tersebut lepas hingga menimbulkan luka pada batuan. Biasanya di sekitar luka terjadi pelapukan atau berlubang. Jika bisul tersebut dilihat secara mikroskopik dijumpai protonema lumut, bermacam marga alga (*Anacystis*, *Aphanothece*, *Cosmarium*, *Gloeodinium*,

Gloeocapsa, *Gloetheca*, *Oocystis*, *Schizothrix*, *Trentepohlia*, bermacam diatome) dan bakteri yang bersifat gram positif (+) dan gram negatif (-).

Jasad yang dijumpai di pagar langkan (*balustrade*) seperti halnya penghuni dinding utama yaitu alga, lumut dan lumut kerak. Lumut dan lumut kerak merupakan penghuni utamanya. Alga yang banyak dijumpai terutama suku *Chroococceae*, *Scytonemataceae* dan *Stigonemataceae*. *Nostocaceae* hanya dijumpai dalam jumlah terbatas. Lumut yang dijumpai antara lain *Aongstroemia orientalis*, *Bryum coronatum*, *Ectroothecium monumentum* dan *Haplozia javanica*. Lumut kerak terutama dari tipe *crustaceous*. Adanya perbedaan penghuni relief dinding utama dengan yang di pagar langkan karena umumnya pagar lebih kering.

Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dikemukakan oleh Braun-Blanquet, Hueck-van der Plas (1968) dan Krumbein (1966) (*cit.* Sri Hartadi & Jutono, 1972) maka hasil yang diperoleh dapat menjelaskan adanya proses pelapukan batuan yang berlangsung pada batuan Candi Borobudur.

USAHA PEMBERANTASAN DAN PENCEGAHAN

Dari hasil penelitian yang diperoleh dan aktivitas yang dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perawatan batuan candi tidak hanya pembersihan dari pertumbuhan jasad dan

endapan garam, tetapi juga mematikan dan atau menghambat pertumbuhan penghuni batuan tersebut.

2. Perawatan batuan secara mekanis maupun kimia harus hati-hati, untuk mencegah kerusakan batuan lebih lanjut.
3. Pembersihan batuan blok demi blok sangat menguntungkan dalam usaha perawatan batuan. Caranya tergantung pada macam batuan, jasad penghuni dan derajat kelapukannya.
4. Penggunaan pestisida dalam perawatan batuan pengaruhnya hanya dalam waktu singkat, karena dapat terjadi pertumbuhan kembali (*regrowth*) jika pembersihan kurang baik. Jika batuan menjadi lembab atau basah kontaminan spora atau jasad yang belum mati dari lingkungan dapat tumbuh. Penggunaan pestisida perlu dibatasi macam dan jumlahnya seoptimal mungkin mengingat pengaruhnya hanya dalam waktu relatif pendek atau perlu diulangi secara periodik.
5. Penggunaan campuran bahan pasta (sebagai bahan perekat) dengan pestisida atau bahan kimia menyebabkan kontak jasad dengan pestisida lebih baik sehingga penggunaan pestisida atau bahan kimia dapat dikurangi.
6. Dalam usaha perawatan batuan maka jasad yang termasuk lumut dan lumut kerak butiran perlu mendapat perhatian khusus.
7. Pada waktu pembersihan batuan secara mekanis maupun kimia tidak boleh merusak



Pertumbuhan lumut (pada relief yang kering, lembab), batu yang mengelupas bekas bisul, dan endapan garam berwarna putih. Sekitarnya berwarna coklat muda karena sisa oker

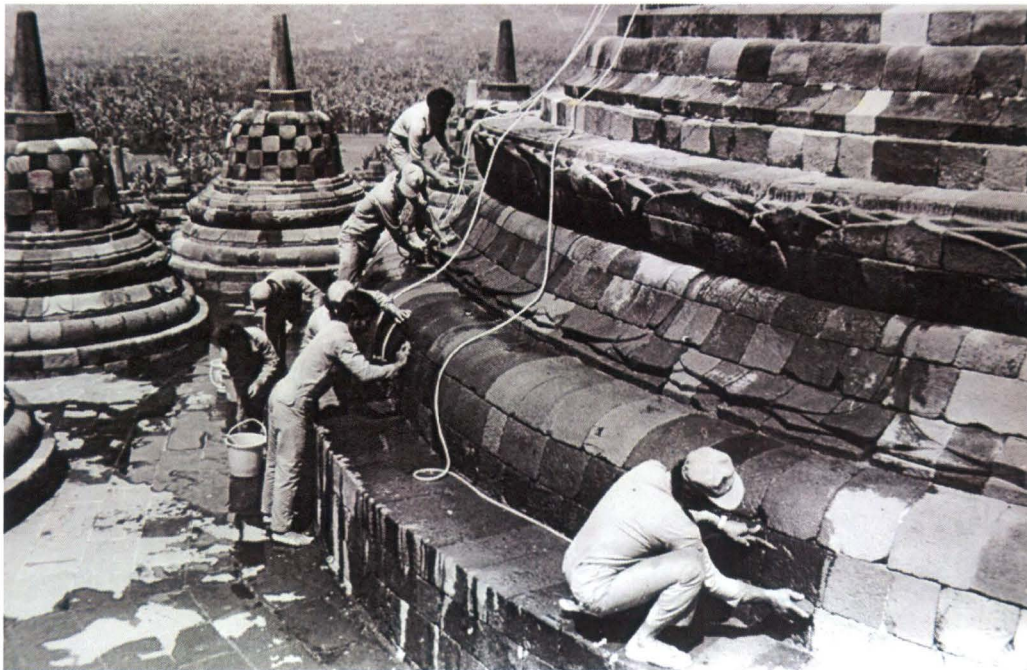
patina batuan.

8. Air dan kelembaban tinggi merupakan faktor penting untuk pertumbuhan kembali jasad yang telah diperlakukan, oleh karena itu perbaikan pengatusan (drainase) mutlak diperlukan dalam usaha perawatan batuan.

Dari beberapa kesimpulan tersebut telah dipakai sebagai bahan pertimbangan dalam proses pembersihan dan perawatan batuan Candi Borobudur. Dalam pelaksanaannya telah mengalami perbaikan dan penyempurnaan sesuai dengan situasi dan kondisi selama pemugaran Candi Borobudur.

DAFTAR PUSTAKA

- & Soejono. 1972. *Experiments on the Stone Treatment*. Unpublished Report.
- , 1973. *Usaha Pencegahan Kerusakan Biologis Pada Batuan (Penelitian Pendahuluan di Candi Borobudur)*. Kongres Mikrobiologi I di Bandung (September 1973).
- , 1974. *Penelitian Suatu Proses Geomikrobiologi pada Batuan dan Usaha-usaha Pencegahannya (Usaha untuk Mencegah atau Mengurangi Pelapukan lebih lanjut pada Batuan Candi Borobudur)*. Laporan Proyek Peningkatan Mutu Perguruan Tinggi Universitas Gadjah Mada Bidang Penelitian.
- Beaufort, C.C.T. de, P.H. Deibel, C. Voute & G. Hyvert. 1970. *The Restoration of Borobudur*. UNESCO Serial No. 1726/BMS/RD/C/T.
- Hartadi, Sri & Jutono. 1972. *Penelitian Suatu Proses Geomikrobiologi pada Batuan dan Usaha-usaha Pencegahannya (Penelitian Terhadap Agensia Biologi pada Pelapukan Batuan Candi Borobudur)*. Laporan Proyek Peningkatan Mutu Perguruan Tinggi Universitas Gadjah Mada Bidang Penelitian.
- Hyvert, G. 1972. *The Conservation of Borobudur Temple*. UNESCO RMO. RD/2646/CLT.
- Jain, K.K. , A.K. Mishra & Tej Singh. 1993. *Biodeterioration of Stone : A Review of Mechanisms involved*. In *Recent Advances*



Pembersihan secara manual pada stupa induk

in *Biodeterioration and Biodegradation* by K.L. Garg, Neelima Garg and K.G. Mukerji. Eds. Vol I : 323-354.

Jutono & Sri Hartadi. 1972. *Report on the Biodeterioration Processes of Borobudur Stones (A Study on the Biological Factors)*. PELITA Borobudur Seri B No. 2. Proyek PELITA Restorasi Candi Borobudur. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Krumbein, W. 1966. *Zur Frage der Gesteinverwitterung (Über geochemische und mikrobiologische Bereiche der exogenen Dynamik)*. Inaugural-Dessertation zur Erlangung der Doktorwurde der Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität in Würzburg.

Notohadiprawiro, T & S. Soekodarmodjo. 1972. *The application of water analysis to study stone deterioration of Borobudur*. Unpublished Report.

Subagjo R. 2012. *Kondisi Batu Penyusun Candi Borobudur Sebelum Pemugaran II (1973-1983)*. Dalam Haryani Santiko (Ed.). 100 Tahun Pasca Pemugaran Candi Borobudur. Trilogi I Menyelamatkan Kembali Candi Borobudur Edisi Kedua. Magelang: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. Hal. 221 - 231.

BIODATA PENULIS

Ir. Sri Hartadi, dilahirkan di Solo 8 Juli 1938, lulus dari SMA Negeri I Bagian B Surakarta tahun 1957 dan lulus dari Fakultas Pertanian UGM tahun 1966. Mulai tahun 1963 bekerja di Fakultas Pertanian UGM sampai pensiun pada tahun 2003. Mulai tahun 1968 mengadakan penelitian tentang biodegradasi batuan Candi Borobudur. Mulai tahun anggaran 1971/1972 sampai dengan tahun 1978 diangkat sebagai tenaga pengajar tidak tetap peserta *upgrading* karyawan (tenaga teknisi menengah) pada Proyek Restorasi Candi Borobudur. Mulai 1 Januari 1971 sampai dengan tahun Anggaran 1980/1981 sebagai Staf Ahli pada Proyek Restorasi Candi Borobudur.



Lichen yang tumbuh di permukaan relief Candi Borobudur sebelum dilaksanakan pemugaran II



KELETAKAN CANDI BOROBUDUR DI CEKUNGAN KEDU DAN ANCAMANNYA

Oleh:
Sutikno

Jurusan Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi
Universitas Gadjah Mada

PENGANTAR

Letak suatu fenomena di permukaan bumi, baik fenomena alam maupun fenomena artifisial tidak dapat dipisahkan dari komponen pembentuk bentanglahan (*landscape*). Komponen bentanglahan yang dimaksud terdiri atas aspek iklim, topografi, geologi, geomorfologi, tanah, hidrologi dan penggunaan lahan. Semua komponen bentanglahan tersebut bersifat dinamik, saling berinteraksi dan saling tergantung, dan dalam jangka panjang membentuk satu sistem alamiah yang mantap. Apabila salah satu dari komponen bentanglahan tersebut mengalami perubahan, maka akan diikuti oleh perubahan komponen lainnya untuk menuju ke keseimbangan baru. Dalam proses menuju ke keseimbangan baru tersebut sering menimbulkan ancaman/bahaya bagi kehidupan manusia. Konsep dasar dinamika bentanglahan tersebut dijadikan dasar untuk mendiskusikan keletakan Candi Borobudur yang terletak pada

Cekungan Kedu dalam kaitannya dengan ancaman yang mungkin terjadi.

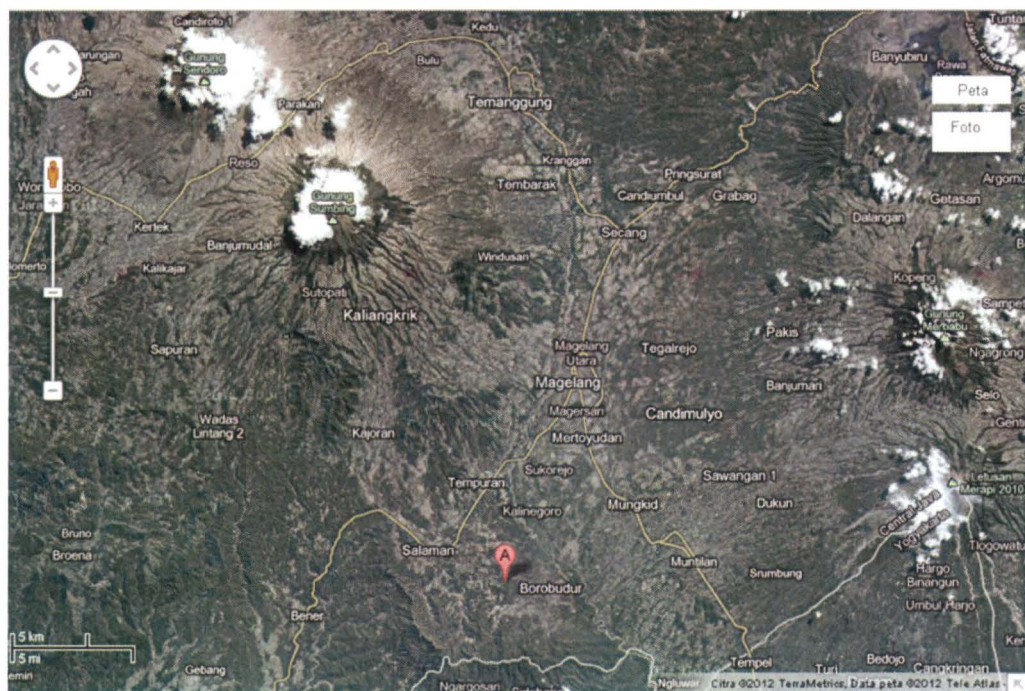
Sebelum masuk ke inti substansi dalam artikel ini, perlu kiranya diawali dengan pemahaman terhadap tiga kata kunci dalam judul yaitu: cekungan, Cekungan Kedu, dan ancaman. Cekungan dalam kehidupan sehari-hari adalah bagian dari permukaan Bumi yang lebih rendah dari daerah di sekitarnya, dengan bentuk bervariasi mulai dari melingkar hingga memanjang; istilah lain untuk cekungan adalah ledokan atau depresi. Dalam keilmuan geografi, geomorfologi, dan hidrologi, cekungan adalah padanan dari: *depression*, *river basin*, *drainage basin*, *catchment area*, *watershed* atau daerah aliran sungai. Padanan kata cekungan yang dipilih dan digunakan dalam artikel ini adalah daerah aliran sungai (DAS). Daerah aliran sungai (DAS) adalah bagian permukaan Bumi tempat

tertampungnya air hujan, mengalirkannya ke dalam alur-alur sungai dan mengeluarkannya melalui outlet tunggal. Batas daerah aliran sungai adalah igir-igir topografi.

Kedu merupakan kata yang dapat ditinjau dari sudut pandang kewilayahan dan kesejarahan. Kedu ditinjau dari kewilayahan administratif adalah nama desa, kecamatan dan karesidenan yakni Desa Kedu, Kecamatan Kedu, yang termasuk Kabupaten Temanggung, dan Karesidenan Kedu. Cekungan Kedu berarti cekungan atau daerah aliran sungai (DAS), dimana Desa Kedu dan Kecamatan Kedu terletak, jika dilihat pada peta, maka Cekungan

Kedu yang dimaksud tidak lain adalah DAS Progo. Dengan demikian Cekungan Kedu yang dimaksud dalam artikel ini tidak lain adalah DAS Progo, tetapi tidak sampai ke muara Kali Progo, batasnya hingga bagian sempit, paling dekat dengan tebing Pegunungan Menoreh. Ditinjau dari kesejarahan Indonesia, Kedu merupakan bagian penting dalam sejarah Kerajaan Medang, yang menjadi tempat awal perkembangan peradaban Jawa Kuno dari Dinasti Syailendra. Salah satu tinggalan peradaban dari Dinasti Syailendra yang monumental dan menjadi warisan dunia adalah Candi Borobudur. Hingga abad ke-17, Kedu menjadi salah satu kadipaten dari Kasultanan Mataram. Pada abad ke-18, diserahkan kepada VOC sebagai balas jasa atas bantuan VOC dalam melawan pemberontakan, yang kemudian mengubah, Kedu menjadi Karesidenan Kedu. Dalam kepurbakalaan dan kesejarahan Dataran Kedu disanjung sebagai Taman Pulau Jawa karena keindahan alam dan kesuburan tanahnya (Soekmono, 1976). Kiranya tidak berlebihan Dataran Kedu disebut sebagai Taman Pulau Jawa, karena letaknya pada dataran dari daerah aliran sungai yang luas dan memanjang, yaitu DAS Progo, yang dikelilingi oleh gunungapi aktif dan pegunungan. Gunungapi yang mengelilingi DAS Progo adalah: Gunungapi Merapi, Merbabu, Sumbing, dan Sundoro, sedang pegunungan yang membatasinya adalah Pegunungan Menoreh. Dengan demikian Cekungan Kedu yang dimaksud dalam artikel ini adalah sebagian dari DAS Progo.

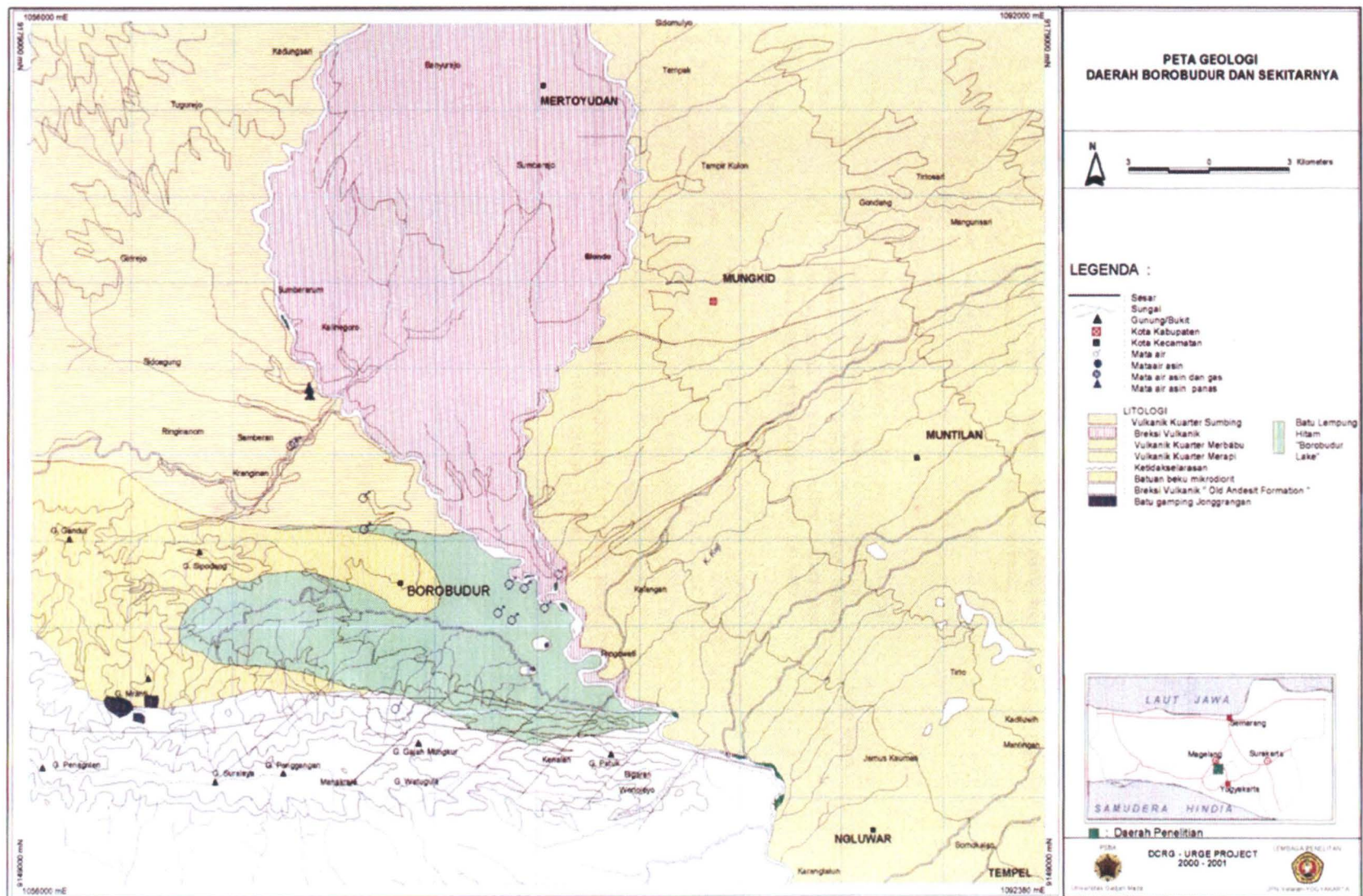
Kata kunci ketiga dalam judul artikel adalah



Citra dari Cekungan Kedu (sebagian DAS Progo), batasnya adalah igir topografi Gunungapi Merapi, Merbabu (sisi timur-ke utara), Sundoro, Sumbing dan Pegunungan Menoreh (sisi barat- ke utara) (Google, Oktober 2012)

ancaman. Ancaman atau bahaya (*hazard*) adalah suatu kejadian atau fenomena yang berpotensi menyebabkan gangguan terhadap kehidupan, kerusakan dan kehilangan harta benda, serta kerusakan lingkungan. Ancaman

adalah proses alam yang terjadi di biosfer yang dapat menyebabkan kerusakan. Bahaya alam dapat ditinjau dari penyebabnya, yakni bahaya geologi, bahaya geomorfologi, bahaya hidrometeorologi, bahaya biologi dan bencana



Peta Geologi Daerah Borobudur dan Sekitarnya (Murwanto, 1996)

antropogenik. Kejadian ancaman bervariasi menurut ruang dan waktu, yang tingkatannya tergantung pada besaran, intensitas, frekuensi, durasi, luasan, dan kecepatan. Dengan demikian ancaman dalam artikel ini adalah ancaman atau bahaya yang mungkin atau diperkirakan terjadi di Cekungan Kedu atau di DAS Progo, termasuk ancaman terhadap Candi Borobudur dan lingkungannya.

Artikel ini disusun berdasarkan data: sekunder, historis, peta tematik, interpretasi citra penginderaan jauh, dan beberapa pengamatan lapangan. Pendekatan geomorfologi digunakan dalam kajian ini, dan difokuskan pada aspek bentuklahan (*landform*), yang dicirikan oleh relief (konfigurasi permukaan), material penyusun (batuan dan struktur), dan proses geomorfik. Unsur pembentuk bentuklahan tersebut menjadi salah satu pertimbangan untuk meletakkan suatu aktivitas (bangunan) yang terletak di permukaan Bumi. Dengan kata lain, bentuklahan merupakan wadah atau tempat dari semua fenomena ancaman di permukaan Bumi, termasuk situs Candi Borobudur. Pemilihan tempat atau letak suatu bangunan, dalam hal ini Situs Candi Borobudur, membawa konsekuensi bagi keamanan dan keawetan bangunan dan lingkungannya terhadap ancaman atau bahaya. Ancaman atau bahaya yang mungkin terjadi tergantung pada karakteristik lingkungan, termasuk karakteristik lingkungan daerah aliran sungainya. Analisis interpretatif dan kualitatif digunakan dalam membahas ancaman terhadap kawasan Candi Borobudur. Berikut disampaikan secara garis

besar karakteristik lingkungan Cekungan Kedu yang merupakan bagian dari DAS Progo, sebagai dasar untuk memperkirakan ancaman yang mungkin terjadi.

KARAKTERISTIK LINGKUNGAN CEKUNGAN KEDU (DAS PROGO)

Uraian garis besar karakteristik lingkungan Cekungan Kedu (DAS Progo) terbatas pada komponen iklim, geologi, geomorfologi, hidrologi dan penggunaan lahan. Komponen lingkungan tersebut sangat dimungkinkan menjadi bagian penyebab ancaman terhadap Candi Borobudur dan sekitarnya. Kondisi iklim khususnya curah hujan dan suhu, besar pengaruhnya terhadap proses eksogen, seperti pelapukan, erosi dan longsor. Curah hujan rata-rata tahunan pada dua kabupaten di Cekungan Kedu, yaitu untuk Kabupaten Temanggung berkisar 1334-2550 mm/tahun, dan di Kabupaten Magelang berkisar 2396-3267 mm/tahun; sedang suhu udara berkisar 18°C – 39°C (BPDAS Serayu-Progo, 2009). Kondisi curah hujan dan suhu yang relatif tinggi tersebut, jika terdukung oleh kondisi geologi, geomorfologi dan penggunaan lahannya, maka sangat potensial mengakibatkan proses pelapukan, erosi permukaan dan longsor.

Komponen geologi yang dapat dijadikan sebagai sidik cepat terhadap bahaya pada suatu daerah adalah batuan dan struktur geologi. Batuan di Cekungan Kedu yang dominan adalah material vulkanik, utamanya piroklastika dan lava andesit, yang berasal dari

Gunungapi Merapi, Merbabu, Sundoro dan Sumbing. Tipe dari gunungapi tersebut adalah strato, berarti mempunyai struktur berlapis, dan merupakan hasil erupsi yang berulang. Selain berstruktur berlapis, pada gunungapi tersebut juga terdapat sesar-sesar (Bemmelen, 1949; Thaden dkk., 1975). Struktur berlapis dan sesar umumnya berasosiasi dengan munculnya mata air, dan sebagai pemicu bagi gerakan masa batuan/tanah (longsor). Batuan berikutnya adalah batuan sedimen dari Formasi Kebobutak dan batuan intrusif (andesit-hipersteen-andesit-augit-horblende, andesit trakiandesit), yang terdapat di Pegunungan Menoreh. Formasi Kebobutak tersusun dari breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat dan sisipan lava andesit; selain itu di Pegunungan Menoreh terdapat Formasi Jonggrangan (terdiri dari konglomerat, napal tufan, batupasir gampingan dengan sisipan lignit batugamping berlapis dan batugamping koral), dan Formasi Sentolo (terdiri dari batugamping dan batupasir napalan), yang arealnya lebih sempit daripada Formasi Kebobutak (Rahardjo, dkk., 1995). Struktur geologi utama di Pegunungan Menoreh adalah struktur sesar bertingkat (Bemmelen, 1949; Murwanto, 1996). Batuan berikutnya adalah endapan aluvial (aluvium) yang terdapat pada lembah-lembah sungai, dataran aluvial, dataran fluvio-gunungapi, dan endapan danau purba.

Komponen geomorfologi yang dapat dijadikan sebagai indikator terhadap ancaman atau bahaya alam adalah karakteristik bentuklahan yang terdiri dari konfigurasi permukaan, material penyusun dan proses

geomorfik (Verstappen, 1983; Sutikno, 1995, 2007). Satuan bentuklahan di Cekungan Kedu adalah bentuklahan asal gunungapi, bentuklahan asal struktural, bentuklahan asal denudasional dan bentuklahan asal fluvial. Secara garis besar bentuklahan asal gunungapi di Cekungan Kedu dari masing-masing gunungapi (Merapi, Merbabu, Sundoro, Sumbing) dapat dibedakan menjadi kerucut, lereng, kaki dan dataran gunungapi. Karakteristik umum dari masing-masing satuan bentuklahan asal vulkanik adalah sebagai berikut:

1. Kerucut gunungapi: terdapat kubah lava dan kawah; lereng sangat curam, material penyusun lava dan piroklastika sangat kasar, proses geomorfiknya adalah erupsi, guguran lava dan longsor.
2. Lereng gunungapi: berlereng curam, material penyusun piroklastika kasar, proses geomorfiknya longsor dan erosi.
3. Kaki gunungapi: berlereng landai, material penyusun piroklastika sedang hingga halus, proses geomorfiknya adalah erosi dan longsor.
4. Dataran gunungapi: lereng datar-landai, material penyusun piroklastika halus, proses geomorfiknya adalah deposisi dan erosi.

Satuan bentuklahan asal struktural di Cekungan Kedu terdapat pada sisi utara dari Pegunungan Menoreh yang terletak di sebelah selatan Candi Borobudur, merupakan perbukitan bentuklahan blok sesar, dicirikan oleh variasi lereng terjal hingga sangat terjal,

dengan material penyusun Formasi Kebobutak. Proses geomorfik yang dominan adalah erosi dan longsor. Peralihan antara perbukitan blok sesar terdapat lerengkaki dengan material penyusun fragmen batuan yang berasal dari Pegunungan Menoreh.

Bentuklahan asal denudasional di Cekungan Kedu berupa perbukitan denudasional berbatuan intrusif andesit. Lereng dari perbukitan intrusif andesit landai-hingga terjal, hasil pelapukan tebal, proses erosi dan longsor aktif. Dataran aluvial di Cekungan Kedu merupakan hasil pengendapan sedimen yang berasal dari betuklahan asal gunungapi, pegunungan struktural, dan perbukitan denudasional

bertopografi datar-landai, berkembang di sepanjang sungai-sungai utama. Oleh karena sumber material pembentuknya berasal sebagian besar dari material gunungapi maka tanah pada dataran aluvial di Cekungan Kedu sangat subur, sehingga sesuai untuk kegiatan pertanian. Dikarenakan kesuburan tanahnya, sangat rasional apabila Dataran Kedu pada masa sejarah menjadi awal pusat peradaban Jawa Kuno.

Sistem sungai dan pola aliran sungai merupakan komponen hidrologi yang dijadikan dasar untuk memperkirakan ancaman/bahaya terhadap situs Candi Borobudur dan sekitarnya. Sistem sungai dan pola aliran sungai berperan sebagai penyumbang debit air dan sedimen sebagai penyebab salah satu ancaman, yakni banjir. Di Cekungan Kedu (DAS Progo) terdapat lima sistem sungai yaitu: Sistem Sungai Merapi, Sistem Sungai Merbabu, Sistem Sungai Sundoro, Sistem Sungai Sumbing dan Sistem Sungai Menoreh. Sistem Sungai Merapi terdiri dari Sungai Pabelan, Sungai Senowo, Sungai Batang dan Sungai Putih, yang merupakan anak sungai K. Progo. Sungai-sungai yang termasuk Sistem Sungai Merapi termasuk sungai laharik, yaitu sungai yang secara periodik dilewati lahar. Sifat sungainya dinamik, gradien sungai relatif besar, sering berubah alur sungai, sungai baru terbentuk dan sungai lama tertimbun atau ditinggalkan. Pola alirannya radial, dan secara lokal terdapat kelokan sungai. Kelokan sungai terbentuk karena halangan batuan atau adanya struktur sesar.

Sistem Sungai Merbabu terdiri dari K.



Peta udara yang memperlihatkan cekungan aliran sungai di daerah sekitar Candi Borobudur

Balang, K. Segoro, K. Mejing, K. Pucung, dan K. Capak, yang merupakan anak sungai dari K. Elo, dan K. Elo itu sendiri merupakan anak sungai K. Progo. Sifat sungainya berbeda dengan sungai dari Sistem Sungai Merapi. Sebagian besar sungainya termasuk sungai perenial. Sistem Sungai Sundoro terdiri dari K. Bangkongan, K. Getur, K. Dasar dan K. Groboh, pola aliran radial dengan kepadatan aliran sedang. Sungai dari Sistem Sungai Sundoro merupakan hulu dari DAS Progo. Sistem Sungai Sumbing terdiri dari K. Klegung, K. Merawu, K. Ketekan, K. Gintung, K. Pacar, K. Galeh, K. Semawang dan K. Kanci. Sistem Sungai Sumbing termasuk yang paling banyak anak sungai dari DAS Progo.

Sistem Sungai Menoreh terdiri dari K. Sileng dan K. Tangsi; sumber air dari K. Tangsi sebagian berasal dari Pegunungan Menoreh dan sebagian dari Gunungapi Sumbing. Penyimpangan arah alur sungai terjadi pada K. Tangsi, yang awalnya mengalir ke timur, kemudian belok ke arah timur laut, menyatu dengan K. Merawu kemudian mengalir ke K. Progo. Penyimpangan arah alur sungai yang relatif lurus tersebut diakibatkan oleh sesar (Murwanto, 1996). Sifat aliran air sungai dari sistem Sungai Menoreh sebagian besar adalah intermiten (berair hanya pada musim penghujan).

Penggunaan lahan di Cekungan Kedu sebagian besar berupa lahan pertanian (persawahan, perkebunan, tegalan/lahan kering), permukiman dan lahan hutan. Daerah tersebut terkenal sebagai penghasil sayur-mayur, tembakau dan hasil pertanian lain. Hal tersebut menunjukkan bahwa penutup lahan

hutan relatif sempit. Lahan dengan kemiringan lereng miring hingga terjal yang dijadikan kebun sayur-sayuran (kentang, kobis, wortel) rawan terhadap erosi dan longsor, karena sistem bercocoktanamnya searah kemiringan lereng.

Uraian kondisi lingkungan di atas, mulai dari kondisi iklim, geologi, geomorfologi, sistem sungai dan penggunaan lahan mengisyaratkan bahwa Cekungan Kedu, termasuk di dalamnya kawasan Candi Borobudur dan sekitarnya, berpotensi menjadi sasaran ancaman/bahaya alam. Berikut ini uraian tentang perkiraan ancaman/bahaya alam yang mungkin pada kawasan Candi Borobudur dan sekitarnya.

ANCAMAN ALAM DI KAWASAN CANDI BOROBUDUR DAN SEKITARNYA

Uraian sebelumnya menyebutkan bahwa ancaman alam dapat disebabkan oleh faktor geologi, geomorfologi dan hidrometeorologi. Suatu ancaman itu mempunyai pengertian bahwa suatu peristiwa belum terjadi tetapi sewaktu-waktu berpotensi akan terjadi. Ancaman yang terjadi disebut dengan bencana, ancaman alam jika terjadi menjadi bencana alam. Bencana alam dapat terpicu oleh akibat aktivitas manusia, yang disebut bencana alam antropogenik. Data yang digunakan untuk memperkirakan macam ancaman dan intensitasnya terhadap Candi Borobudur dan sekitarnya adalah kondisi lingkungan dan data historis yang tersedia. Kondisi lingkungan yang dimaksud adalah kondisi geologi, geomorfologi, dan iklim (hidrometeorologi). Atas dasar data tersebut,

ancaman alam yang mungkin terjadi terhadap Candi Borobudur dan sekitarnya adalah: gempabumi, hujan piroklastika (hujan abu), timbunan awan panas, lahar hujan/lahar dingin, banjir bandang dan longsor.

Ancaman Gempabumi

Gempabumi menjadi ancaman terhadap kawasan Candi Borobudur dan sekitarnya didasari oleh faktor letak, kenampakan bekas proses tektonik dan kenampakan bekas kerusakan pada candi. Kawasan Candi Borobudur dan sekitarnya terletak pada jalur gempabumi, karena kedudukannya tidak jauh dari pertemuan dua lempeng tektonik yang besar, yakni lempeng dasar Samudera Hindia-Australia dan lempeng kontinen Eurasia. Daerah yang terletak pada zona pertemuan lempeng tektonik menjadi pusat gempa. Data gempabumi yang pernah terjadi di Yogyakarta dan Jawa Tengah semenjak tahun 1817 hingga

tahun 2006 terjadi 8 kali gempabumi dengan skala 5,5 SR hingga 6,5 SR, pusat gempabumi semuanya di dasar Samudera Hindia. Jumlah korban dan kerusakan besar terjadi tahun 1943 dengan korban 213 orang meninggal dunia, 2.096 luka-luka, dan sekitar 2.800 rumah hancur, kemudian tahun 2006 dengan korban 6.234 orang meninggal dunia, 37.229 orang luka-luka, ratusan ribu rumah hancur dan rusak (Anonim, 2012). Dengan data tersebut sangat dimungkinkan gempa tetap menjadi ancaman di kawasan Candi Borobudur. Sebelum dipugar pertamakali, Candi Borobudur kondisinya seperti pada gambar. Kerusakannya diinterpretasikan sebagai akibat dari gempabumi. Indikatornya adalah serakan batu candi di Candi Borobudur yang tertumpuk, mirip seperti yang terjadi di Candi Prambanan akibat gempa tahun 2006.

Kerusakan Candi Borobudur sebelum dipugar, kemungkinan akibat gempabumi, kerusakannya mirip yang terjadi di Candi Prambanan, yang rusak akibat gempabumi 2006.

Fenomena pendukung lain bahwa kawasan Candi Borobudur rawan terhadap ancaman gempabumi adalah struktur sesar bertingkat yang terdapat di lereng utara Pegunungan Menoreh, dan sesar yang terdapat pada jalur sungai K. Tangsi. Sesar bertingkat yang terdapat di Pegunungan Menoreh tentu diakibatkan oleh tenaga tektonik yang kuat, dan disertai oleh gempabumi. Sesar di K. Tangsi dicirikan oleh perubahan alur sungai yang tajam, yang semula mengalir ke arah timur kemudian membelok tajam menjadi alur lurus ke arah timur laut.



Kondisi Candi Borobudur sebelum dipugar pertama kali



Kondisi Candi Borobudur akibat gempa 2006

Secara empiris pembelokan arah alur sungai yang tajam dan lurus merupakan sesar. Sesar merupakan hasil proses tektonik, yang umumnya disertai gempa bumi. Kapan gempa bumi terjadi dan besarnya belum dapat diprediksi secara tepat, maka mitigasi terhadap ancaman gempa bumi adalah pencegahan terhadap kejadian yang meningkatkan kerentanan.

Ancaman Hujan Piroklastika

Gunungapi Merapi sangat terkenal dengan letusannya yang periodik, dengan periode ulang 2-8 tahun. Setiap kali terjadi letusan besar, disertai dengan hujan piroklastika (hujan abu). Pada saat Gunungapi Merapi meletus dengan kuat/dahsyat seperti terjadi tahun 2010, dan arah angin ke barat, Candi Borobudur tentu tertutup oleh bahan piroklastika, mulai dari abu hingga pasir, yang ketebalannya tergantung pada besaran letusan dan kecepatan anginnya. Ancaman tutupan bahan piroklastika yang masih panas akan mempengaruhi kondisi batu candi, kemungkinan merusak reliefnya, dan dapat menutup saluran drainase pada bangunan candi. Sewaktu musim hujan tiba, jika pengatusan/drainase pada bangunan candi tidak baik, maka akan terjadi genangan yang dapat memicu ambrolnya dinding candi. Mitigasi terhadap ancaman hujan piroklastika adalah dengan menutup candi, segera membersihkan bahan piroklastika, dan menjaga sistem drainase.

Ancaman Awan Panas

Karakteristik letusan Gunungapi Merapi, selain hujan piroklastika adalah awan panas (istilah lokal *wedhus gembel*). Awan panas belum tentu terjadi disetiap letusan, tetapi telah berulang kali terjadi. Luncuran awan panas yang pernah terjadi bervariasi jangkauan jaraknya, terkadang hanya sampai di lereng tengahnya (seperti terjadi tahun 1994), terkadang sampai jauh seperti terjadi tahun 2010. Arah luncuran bervariasi, tergantung pada posisi dari *vent*-nya. Meskipun jarak Candi Borobudur masih di luar



Kondisi Candi Borobudur pada saat tertutup abu Merapi, November 2010

jangkauan awan panas yang pernah terjadi, tetapi dalam letusan yang ekstrim, kemungkinan masih menjadi ancaman dengan probabilitas rendah.

Lahar Dingin (Lahar Hujan)

Lahar dingin atau lebih tepatnya lahar hujan menjadi ancaman yang serius bagi daerah di lereng Gunungapi Merapi setiap musim hujan tiba. Bahan piroklastika hasil erupsi yang tertimbun di puncak dan lereng atas masih banyak (jutaan meter kubik) dalam kondisi lepas-lepas. Ketika hujan lebat dan dalam waktu lama (dua hari berturutan) maka lahar

hujan akan terjadi. Aliran cukup deras hingga sangat deras dengan kandungan material sedimen sangat tinggi, berukuran abu hingga bongkah-bongkah batu besar. Lahar hujan mengalir melalui alur-alur sungai. Pola alur sungai di lereng Gunungapi Merapi kebanyakan lurus dengan gradien yang relatif tinggi, pada penggal alur sungai tertentu terdapat kelokan atau tikungan. Ketika terjadi aliran lahar hujan dengan kecepatan tinggi dan sarat dengan konsentrasi massa sedimen tinggi, tanggul pada kelokan alur sungai terterjang, sehingga jebol dan membentuk alur sungai baru, seperti yang terjadi di Kali Putih pada tahun 2010. Daerah yang terterjang aliran lahar hujan mengalami kerusakan berat.

Aliran lahar hujan yang diperkirakan mempunyai ancaman (meskipun kecil kemungkinannya), terhadap Candi Borobudur berasal dari alur sungai di bagian lereng sisi barat dan barat laut Gunungapi Merapi, seperti dari K. Pabelan, K. Blongkeng, K. Putih dan K. Batang. Ancaman lahar hujan yang melalui empat sungai tersebut tidak secara langsung mengancam Candi Borobudur, karena terhalang K. Progo yang bertebing curam dan dalam. Meskipun demikian, ada kemungkinan akan terkena dampak sampingannya. Ketika aliran lahar dengan muatan sedimen dalam jumlah besar mencapai K. Progo, maka akan mengubah pola arus sungainya. Perubahan pola arus sungai dapat mengakibatkan erosi dan longsor tebing sungai. Apabila erosi dan longsor tebing berlangsung lama, daerah yang terpengaruh akan lebih luas, ada kemungkinan



Kondisi Kali Putih tahun 2010 setelah terjadi aliran lahar dingin merapi, tampak material lahar dingin merusak lingkungan sekitarnya.

meskipun kecil dapat mencapai kawasan Candi Borobudur. Candi Mendut dan Candi Pawon mempunyai kemungkinan terpengaruh lahar hujan lebih besar, mengingat lokasinya yang lebih dekat dengan alur sungai laharik. Di sisi timur K. Progo tampak sisa alur-alur sungai lama, sebagai indikator pernah dilalui aliran lahar hujan. Berdasarkan analisis proses geomorfik dan analisis lokasi tersebut dapat dinyatakan bahwa Candi Borobudur mempunyai ancaman lahar hujan sangat kecil dan bahkan cenderung aman terhadap lahar hujan yang berasal dari lereng Gunungapi Merapi. Selama Gunungapi Sumbing masih istirahat (tidak aktif) kawasan Candi Borobudur aman dari ancaman lahar hujan.

Banjir Bandang

Banjir bandang di Cekungan Kedu dimungkinkan dapat terjadi, berdasarkan kondisi lingkungan alamnya antara lain curah hujan tinggi, sebagian besar daerahnya berrelief tinggi, berlereng curam, lahan pertanian intensif, dan tutupan hutan relatif sempit. Banjir bandang yang kemungkinan dapat mengancam kawasan Candi Borobudur berasal dari DAS Sileng. Kondisi fisik lahan pada DAS Sileng yang terletak pada Pegunungan Menoreh membuat sebagian besar faktor pendukung terjadinya banjir bandang terpenuhi yaitu lereng curam, merupakan lahan pertanian intensif, dan tutupan hutan relatif sempit. Faktor yang belum dengan nyata terpenuhi adalah intensitas curah hujan. Kejadian banjir bandang memerlukan intensitas

curah hujan yang tinggi. Akibat perubahan iklim global terjadi kecenderungan jumlah hari hujan lebih pendek, intensitas curah hujan tinggi. Atas dasar kecenderungan perubahan hujan tersebut sangat dimungkinkan banjir bandang berasal dari Pegunungan Menoreh.

Longsor

Sebagian besar daerah Cekungan Kedu termasuk daerah yang rawan longsor, termasuk daerah di sekitar kawasan Candi Borobudur. Ancaman longsor yang mungkin terjadi di kawasan Candi Borobudur berasal dari Pegunungan Menoreh. Kondisi fisik Pegunungan Menoreh seperti diuraikan dalam ancaman banjir bandang juga merupakan faktor terjadinya ancaman longsor. Sesar bertingkat di Pegunungan Menoreh merupakan fenomena yang memungkinkan terjadi longsor yang besar. Setiap blok sesar pada sesar bertingkat terdapat takik lereng pada garis sesarnya, yang dapat menjadi media masuknya air permukaan. Air permukaan yang masuk melalui takik lereng pada blok sesar kemungkinan dapat memicu terjadinya longsor. Meskipun kejadian longsor besar yang berasal dari Pegunungan Menoreh probabilitasnya kecil, namun jangan diabaikan. Sesar bertingkat di Pegunungan Menoreh merupakan hasil dari proses tektonik, yang proses kejadiannya sering terulang. Proses tektonik sering diikuti dengan gempabumi, dan salah satu pemicu longsor adalah gempabumi. Ancaman longsor di kawasan Candi Borobudur tetap perlu diwaspadai.

Salah satu tipe longsor lain yang kemungkinan terjadi di kawasan Candi Borobudur adalah amblesan (*subsidence*). Lahan di sekeliling bangunan Candi Borobudur tertutup oleh rumput yang rapat dan ditata dengan teras-teras. Lahan berteras dan tertutup rumput yang rapat mampu meresapkan air hujan ke dalam tanah dengan efektif. Air hujan yang masuk ke dalam tanah dalam jumlah besar, sangat baik untuk menjaga kondisi hidrologinya, dengan syarat drainase atau pengatusannya baik. Tanpa pengatusan yang baik, jumlah air yang besar dalam tanah akan menambah beban, yang menjadi salah satu penyebab longsor. Pada lahan yang proses infiltrasinya bagus dan material pembentuklahannya adalah tanah material urugan dengan berbagai ukuran, maka sangat dimungkinkan memicu proses amblesan. Material urugan yang beragam ukurannya, menyebabkan porositas yang beragam. Keragaman pori-pori dalam material urugan memberikan peluang infiltrasi air yang lebih cepat. Infiltrasi yang cepat dapat melepas dan mengangkut material urugan di bawah permukaan lahan. Akibat yang mungkin timbul adalah amblesan, jika terjadi dalam jangka panjang maka menjadi ancaman bagi bangunan candi. Oleh sebab itu, apabila di sekeliling bangunan candi terdapat aliran cepat masuk ke dalam tanah, hal tersebut perlu dicegah.

Selain ancaman yang bersumber dari kondisi fisik lingkungan Cekungan Kedu, banyak ancaman antropogenik, akibat ulah manusia. Hal tersebut sangat dimungkinkan mengingat jumlah dan pertumbuhan penduduknya relatif

tinggi. Penambangan pasir dan batu yang marak di dasar sungai dan di perbukitan, penggunaan lahan tidak sesuai dengan peruntukannya dapat menjadi ancaman kawasan Candi Borobudur, yang memerlukan kajian lebih lanjut.

KESIMPULAN

1. Cekungan Kedu merupakan bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Progo, yang tersusun oleh bentanglahan gunungapi, pegunungan struktural dan dataran. Bentanglahan gunungapi merupakan bagian yang terluas, meliputi sebagian dari: Gunungapi Merapi, Merbabu, Sundoro dan Sumbing. Oleh karenanya menjadi daerah yang subur dan pernah mendapat julukan Taman Pulau Jawa, dan menjadi pusat awal peradaban Jawa Kuno. Kondisi lingkungan fisik Cekungan Kedu, meskipun kesuburan tanahnya yang tinggi, sangat mendukung timbulnya ancaman alam.
2. Ancaman alam yang mungkin terjadi di kawasan Candi Borobudur adalah gempabumi, hujan piroklastika, lahar hujan, banjir bandang, longsor dan amblesan. Diantaraancamantersebutyangmempunyai probabilitas yang relatif tinggi adalah hujan piroklastika dan gempabumi, karena hal tersebut pernah terjadi. Proses yang pernah terjadi umumnya akan terulang. Ancaman yang lain probabilitasnya lebih rendah, tetapi tetap perlu diwaspadai, terutama

kecenderungan perubahan kondisi iklim akibat perubahan iklim global.

3. Tinjauan geomorfologis menunjukkan bahwa keletakan Candi Borobudur secara umum sudah tepat aman terhadap ancaman/bahaya alam. Aspek lingkungan fisik telah dipertimbangkan dengan baik untuk mendukung kehidupan dan untuk mengurangi risiko ancaman sekecil mungkin. Ancaman tetap ada, namun dalam skala dan probabilitas kecil.

DAFTAR PUSTAKA

-----, 2012. *Sejarah Gempabumi Yogyakarta dan Jawa Tengah*. www.pu.go.id/publik/produk/info-peta/rawanbanjir/bencana2006/334/gempa_sejarah.htm. 15 Oktober 2012.

Bemmelen, R. W. Van. 1949. *The Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. Vol.I A. The Hague: Government Printing Office, Martinus Nijhoff.

BPDAS Serayu-Progo. 2009. *Data Statistik Daerah Aliran Sungai Serayu-Opak*. <http://www.dephut.go.id>. 15 Oktober 2012.

Murwanto, H. 1996. *Pengaruh Aktivitas Gunungapi Kwarter terhadap Perubahan Lingkungan Danau di Daerah Borobudur dan Sekitarnya, Jawa Tengah*. Tesis S2. Geografi UGM. Yogyakarta. Tidak Diterbitkan.

Rahardjo, W., Sukandarrumidi, H.M.D. Rosidi. 1997. *Peta Geologi Lembar*

Yogyakarta. Skala 1: 100.000. Direktorat Geologi. Bandung.

Soekmono, 1976. *Candi Borobudur*. PT Dunia Pustaka.

Sutikno, 1995. *Geomorfologi dan Prospeknya di Indonesia*. Pidato Pengukuhan Guru Besar. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Tidak Diterbitkan.

Sutikno, Langgeng WS., Widiyanto., Andri Kurniawan., Taufik Hery Purwanto. 2007. *"Kerajaan Merapi" Sumberdaya Alam dan Daya Dukungnya*. BPFG. UGM Yogyakarta.

Thaden, R.E, Harli Sumadirdja, Paul W. Richards. 1975. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang*. Bandung: Direktorat Geologi.

Verstappen, H.Th. 1983. *Applied Geomorphology for Environmental Development*. Amsterdam: Elsevier.

BIODATA PENULIS

Prof. Dr. Sutikno, lahir di Tulungagung pada tanggal 1 Maret 1943. Menyelesaikan S3 ilmu Geomorfologi di Pascasarjana UGM pada tahun 1981 dengan judul disertasi *Pattern of Water Supply System for Domestic Purposes in the Serayu River Basin*. Menjadi Guru Besar pada tahun 1995 dengan pidato pengukuhan berjudul *Geomorfologi dan Prospeknya di Indonesia*. Aktif menulis di berbagai jurnal mengenai bidang geografi dan sumber daya alam. Pernah menjabat sebagai Kepala Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada.



ANCAMAN GEMPABUMI TERHADAP CANDI BOROBUDUR

Oleh:

Subagyo Pramumijoyo dan Pyi Soe Thein
Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

PENDAHULUAN

Candi Borobudur terletak di suatu bukit di utara Bukit Menoreh di Bumisegoro (Mundarjito, 2011), Desa Borobudur, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Candi Borobudur yang dibangun pada tahun 824 M pada masa pemerintahan Rakai Pikatan (Mundarjito, 2011), berbentuk persegi dengan sisi-sisinya memiliki panjang 123 m dan tinggi mencapai 35,40 meter (Soekmono, 1976).

Secara morfologi Candi Borobudur terletak pada suatu dataran dengan ketinggian 225-240 m di atas permukaan laut yang disebut sebagai dataran Kedu, dikelilingi oleh Perbukitan Menoreh yang berketinggian sampai dengan 1000 m di atas permukaan laut di bagian barat-selatan, kompleks Gunungapi Merapi-Merbabu di bagian timur-timur laut, Gunungapi Sumbing di bagian barat laut yang berketinggian lebih dari 2900 m di atas permukaan laut dan Gunung Tidar atau Gunung Paku yang ketinggiannya 500-an m di atas permukaan laut, di sebelah utara. Pada dataran Kedu tersebut

mengalir Sungai Progo sebagai sungai utama yang membelah dari barat laut ke tenggara dan merupakan sungai dengan lembah yang cukup dalam, dan di samping itu juga terdapat sungai yang lain seperti Sungai Elo dan Sungai Sileng.

Secara geologi, dataran Kedu tersusun oleh endapan aluvial dan material dari gunungapi yang terdiri dari abu gunungapi, lapili dan berangkal andesit yang dibawa oleh lahar (Voûte, 1973). Candi Borobudur terletak pada dataran aluvial yang terdiri dari endapan pasir halus sampai dengan lempung berumur Kuartar (van Bemmellen, 1949), sedang di sekitarnya dijumpai endapan danau (endapan lempung hitam) (Murwanto, 2011) yang menurut hasil penanggalan radio karbon C^{14} berumur antara 22130 ± 400 tahun yang lalu sampai dengan 660 ± 100 tahun yang lalu atau abad ke 12 (Newhall dkk., 2000). Jika dilihat dari hasil rekonstruksi endapan danau mulai 20.000 tahun yang lalu sampai dengan 660 tahun yang lalu (Murwanto,

2011), Candi Borobudur dibangun pada batuan yang kering, jadi tidak pada danau purba.

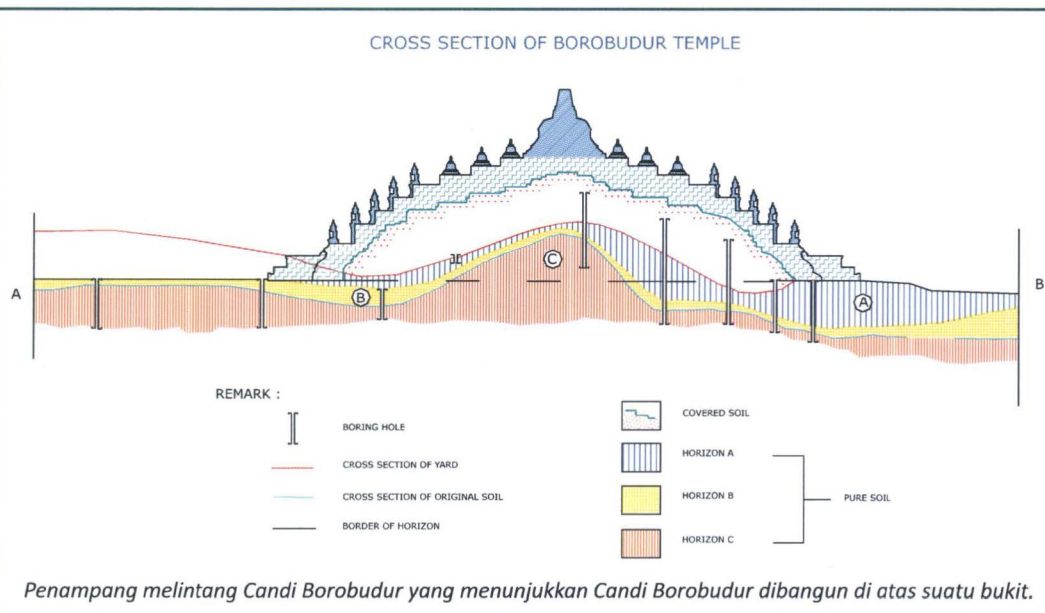
Dari data pemboran di Candi Borobudur, menunjukkan bahwa Candi Borobudur dibangun pada puncak bukit buatan dengan inti bukit tersebut terdiri dari andesit dan tuf yang mungkin berumur Miosen dan merupakan bagian utara dari bukit Menoreh yang terpisah akibat pensesaran sepanjang 20 km berarah barat-timur (Voûte, 1973; Murwanto, 2011). Seperti diketahui bahwa perbukitan Menoreh di selatan tersusun oleh batupasir yang telah mengalami pensesaran berasosiasi dengan lava, breksi gunungapi dan tuf yang berumur Miosen.

Gunungapi Sumbing di barat dan kompleks Gunungapi Merapi-Merbabu di timur merupakan gunungapi Kuartir yang terjadi akibat penunjaman kerak Indo-Australia di selatan

terhadap kerak Asia di sebelah utara, sehingga wajar Candi Borobudur selalu mendapat ancaman bencana letusan gunungapi dan sekaligus gempabumi. Kerusakan Borobudur pada saat ditemukan kembali pada tahun 1814 adalah disebabkan oleh gempabumi (lihat foto 1, diambil dari ilustrasi pada buku 100 Tahun Pascapemugaran Candi Borobudur, Trilogi I: Menyelamatkan Kembali Candi Borobudur, 2011).

SEJARAH GEMPABUMI DI WILAYAH BOROBUDUR

Untuk melihat ancaman gempabumi terhadap wilayah Borobudur dapat didekati dari bermacam-macam cara, antara lain untuk suatu bangunan akan dilihat seberapa besar gempabumi tersebut mengguncang bangunan dan berapa lama guncangan tersebut berlangsung. Guncangan gempa diekspresikan dengan kecepatan (cm/detik) dan percepatan (cm/detik²). Satuan percepatan adalah g (dihubungkan percepatan gravitasi); $1g = 980 \text{ cm/detik}^2 = 980 \text{ gal}$, sehingga $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/detik}^2$ (Hunt, 2007), oleh karena itu untuk Indonesia telah dibuat Peta Zonasi Gempa Indonesia (SNI-1726-2002) yang kemudian diperbaharui dengan Peta Zonasi Gempa Indonesia yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2010. Perbedaan antara kedua peta tersebut adalah yang tahun 2002 dibagi menjadi 6 zona, sedangkan yang tahun 2010 dibagi menjadi 15 zona. Pada peta tersebut digambarkan bahwa zonasi gempa



dibagi menjadi beberapa zona percepatan gempa dan dinyatakan dalam satuan g yang berlaku untuk batuan dasar (*bed rock*). Untuk daerah Borobudur, pada Peta Zonasi Gempa Indonesia tahun 2010 masuk ke dalam wilayah berrespon spektra pada percepatan selama 1 detik di batuan dasar antara 0,25 – 0,30 g (untuk selang waktu ulang 500 tahun), sedangkan pada peta SNI-1726-2002, wilayah Borobudur masuk ke dalam percepatan untuk batuan dasar sebesar hanya 0,15 g. Pemutakhiran data ini dilakukan mengingat frekuensi gempa yang meningkat semenjak tahun 2000-an.

Selain cara tersebut di atas dilakukan pendekatan dengan melihat sejarah kegempaan yang memiliki episentrum di dalam radius 200 km dari lokasi Candi Borobudur. Gempa yang dipertimbangkan adalah yang memiliki hiposentrum kurang dari 300 km dan berbesaran gempabumi (*magnitude*) 6 ke atas.

Candi Borobudur pernah diguncang gempa kuat paling tidak pada tahun 1006, 1546 (dirujuk dari catatan peristiwa sejarah, Voute, 1973), 4 Januari 1840, 20 Oktober 1859, 10 Juni 1867 (MM>VIII), 28 Maret 1875 (MM: V-VII), 12 November 1924, 2 Desember 1924, 27 September 1937 (Ms: 7,2), 23 Juli 1943 (Ms: 8,1), 12 Oktober 1957 (Mw: 6,4), 2 November 1979 (Ms: 6), 14 Maret 1981 (Mw: 6), 9 Juni 1992 (Mw: 6,5), 25 Mei 2001 (Mw: 6,2), 19 Agustus 2004 (Mw: 6,3), 19 Juli 2005 (Mw: 5,5), 27 Mei 2006 (Mw: 6,3) (dari berbagai sumber: Newcomb & McCann, 1987; Engdahl & Villasenor, 2002; Utsu, 2002; Elnashai dkk., 2006; USGS, 2007, di dalam Husein dkk., 2008).

MELACAK JEJAK GEMPA BUMI

Di samping uraian di atas, dari sesar-sesar aktif yang data kegempaan belum terekam oleh seismometer, karena seismometer baru ada pada tahun 1901, dapat pula untuk memperkirakan ancaman gempabumi. Sesar-sesar aktif yang dimaksud bercirikan kenampakan geomorfologi muda yang diakibatkan oleh peristiwa tektonik; sebagai contoh: gawir sesar, kenampakan bukit terpotong oleh sesar (faset segitiga), rekahan yang lurus, sungai yang berpindah alur (*offset*

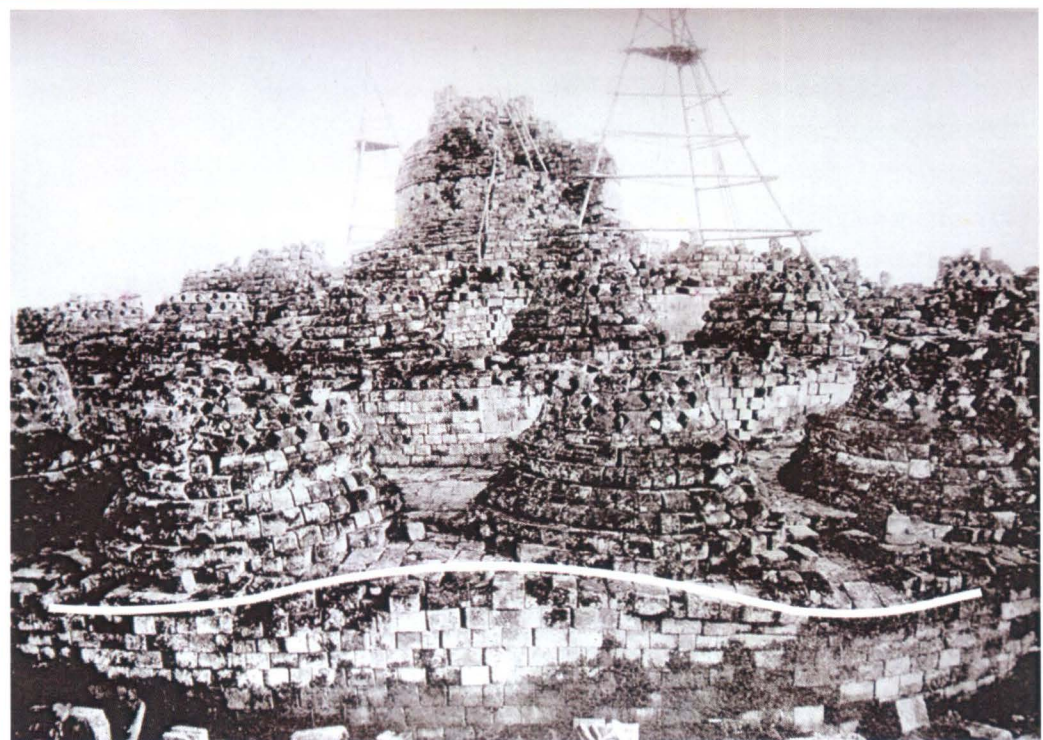


Foto 1. Keadaan candi pada saat sebelum pemugaran oleh van Erp, bentuk undulasi (garis putih) diperkirakan karena guncangan gempabumi.

stream), dan juga dilakukan pentarikan umur antara lain dari sedimen penutup sesar (Yeats dkk., 1997). Disamping itu panjang sesar juga berhubungan dengan besaran gempa yang terjadi saat pensesaran. Hal tersebut tercermin di dalam rumus yang diajukan oleh Wells & Coppersmith (1994, di dalam Hunt, 2007): $M_w = a + b \log (L)$, dengan M_w : besaran gempabumi, a dan b : konstanta, L : panjang sesar. Oleh penulis yang sama diajukan pula bahwa besar pergeseran (*displacement*) suatu sesar juga bisa untuk memperkirakan besaran gempabumi, yaitu dengan rumus: $M_w = a + b \log (D)$, dengan M_w : besaran gempabumi, a dan b : konstanta, D : besar pergeseran.

Jika sesar Menoreh masih aktif, maka bisa dihitung besaran gempabumi yang menyebabkan pensesaran, yaitu dengan memasukkan panjang sesar: 20 km, maka

$$\begin{aligned} M_w &= a + b \log L \\ &= 5,08 + 1,16 \log 20 \\ &= 6,5 \end{aligned}$$

Dari sejarah kegempaan yang menyangkut besaran gempabumi dan kedalamannya, secara statistik bisa dicari selang waktu ulangnya. Hubungan selang waktu ulang dengan besaran gempabumi dapat digambarkan bahwa semakin pendek selang waktu ulang gempabumi pada segmen sesar yang sama akan semakin kecil besaran gempabumi yang terjadi.

PERAN SOIL PENUTUP

Jika di wilayah yang dicari ancaman gempabuminya terdapat soil penutup, maka

kehadiran soil tersebut harus dipertimbangkan, karena gelombang gempa jika melalui soil bisa jadi akan mengalami peningkatan daya rusak (amplifikasi). Perbedaan antara Peta Zonasi Gempa Indonesia dengan yang mempertimbangkan kehadiran soil penutup adalah pada skala petanya, pada Peta Zonasi Gempa Indonesia berskala kecil dan dianggap semuanya terdiri dari batuan dasar, sedangkan pada peta yang mempertimbangkan kehadiran soil berskala besar. Dari perbedaan skala tersebut, suatu daerah masih memerlukan peta yang lebih rinci untuk memahami ancaman gempabumi, yaitu dengan menyusun mikrozonasi gempabumi.

Untuk menyusun mikrozonasi diperlukan data ketebalan sedimen, hidrogeologi dan jenis soil yang terdiri dari: soil halus, soil medium dan soil keras. Guna memperoleh jenis soil, di dalam setiap pemboran dilakukan juga *Standard Penetration Test* (SPT). Kecuali data hidrogeologi, data yang lain dapat diperoleh dengan cara melakukan pengukuran mikrotremor. Pendekatan ini disebut sebagai pendekatan geoteknik dan geofisik. Jika gelombang gempabumi sekunder memasuki soil medium, amplitudonya akan lebih besar dari pada besar amplitudo saat melewati batuan dasar atau pun soil keras, dan jika melewati soil lunak amplitudonya akan lebih besar dari pada besar amplitudo saat melewati soil medium.

ANCAMAN GEMPABUMI

Ancaman gempabumi untuk wilayah Borobudur secara empiris dapat didekati antara lain dengan Peta Zonasi Gempa Indonesia 2010, yaitu ancaman gempa yang memberikan percepatan sebesar 0,30 g dan jika dimasukkan tabel hubungan besaran gempa dengan percepatan gempabumi (Faccioli & Resendiz, 1976, di dalam Hunt, 2007), maka masuk besaran gempa = 6,5 atau MM = VIII, dengan selang waktu ulang 500 tahun.

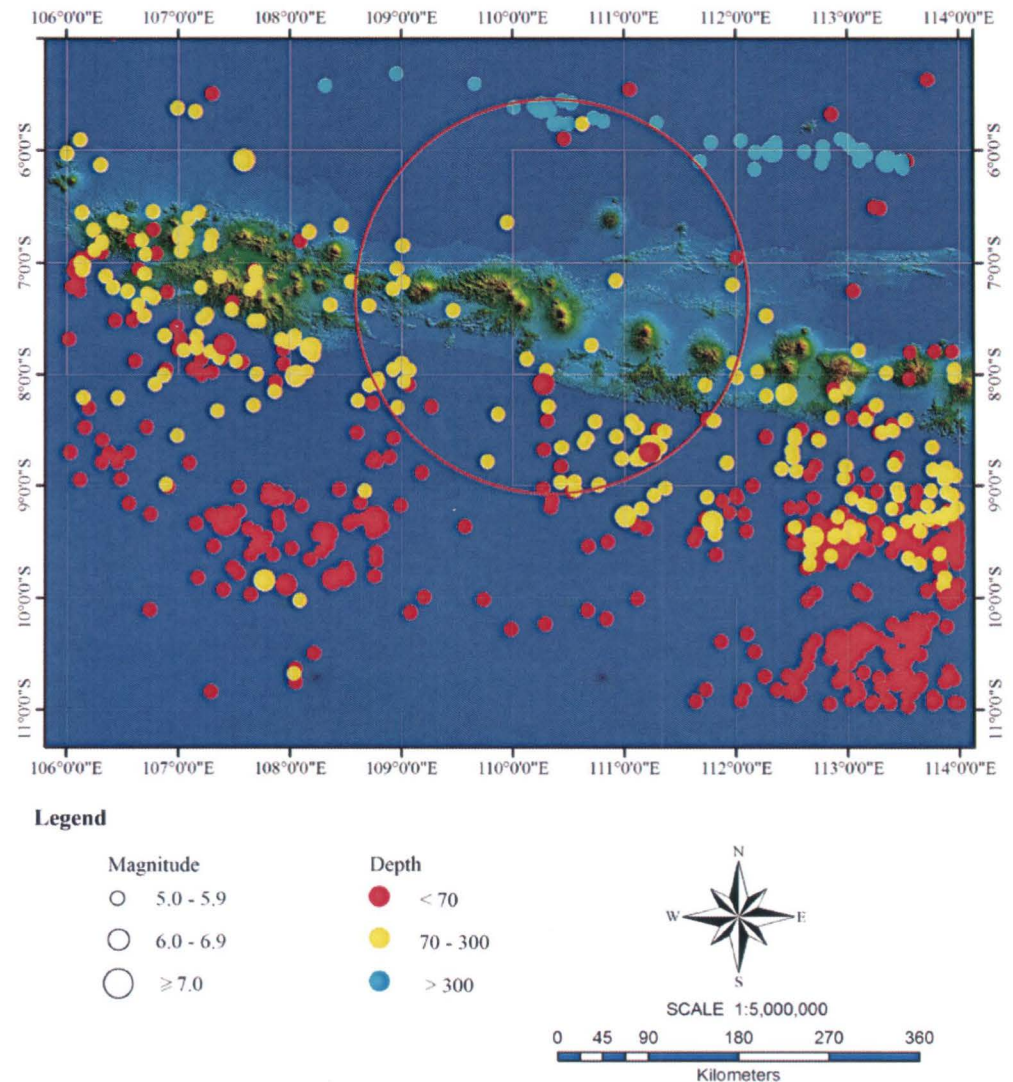
Dengan mempertimbangkan jarak dan besaran gempabumi yang diperkirakan dari sesar Menoreh (M_w : 6,5) dan jika dibandingkan dengan besaran gempabumi yang diambil dari data seismisitas di dalam radius 200 km yang terbesar adalah M_w : 6,9, ketika dicoba dimasukkan ke dalam grafik yang dibuat oleh Abrahamson & Silva (1987) akan diperoleh percepatan puncak sebesar 400 cm/detik² yang masuk ke dalam intensitas gempabumi MM=IX.

Semua perhitungan di atas hanya bersifat pendekatan empiris belaka dan untuk lebih detil bisa dibuat peta mikrozonasi gempabumi dengan skala paling tidak sama dengan 1:50.000.

PENUTUP

Dari uraian di atas jelas bahwa Candi Borobudur, karena letaknya yang berada di atas zona subduksi, akan selalu diancam oleh

THE EPICENTERS DISTRIBUTION OF THE HISTORICAL EVENTS (1964-2012) HAPPENED AROUND YOGYAKARTA REGION



Hiposentrum dan besaran gempa di dalam radius 200 km dari Candi Borobudur.

bencana gempabumi. Ancaman gempabumi tersebut diperkirakan memiliki besaran gempabumi Mw: 6,9 atau MM: IX dengan selang waktu ulang diperkirakan 500 tahun. Jika selang waktu ulang semakin pendek, besaran gempabuminya semakin kecil, dan jika selang waktu ulang semakin panjang, maka besaran gempabuminya semakin besar.

Walaupun Candi Borobudur saat ini telah memenuhi kriteria bangunan tahan gempa, tetapi jika berulang kali memperoleh guncangan gempabumi, secara akumulasi akan memperlemah bangunan Candi Borobudur terhadap guncangan gempabumi berikutnya.

Seperti saat ditemukan, Candi Borobudur porak poranda diguncang gempabumi, sehingga diperlukan inspeksi atau pemeliharaan

yang baik terhadap Candi Borobudur setiap terjadi gempabumi.

Catatan: MM: Mercalli Modified Intensity, besaran gempa yang berdasarkan guncangan yang dirasakan manusia, **Ms:** besaran gempa berdasarkan gelombang permukaan, **Mw:** besaran gempa berdasarkan energi yang dilepaskan.

DAFTAR PUSTAKA

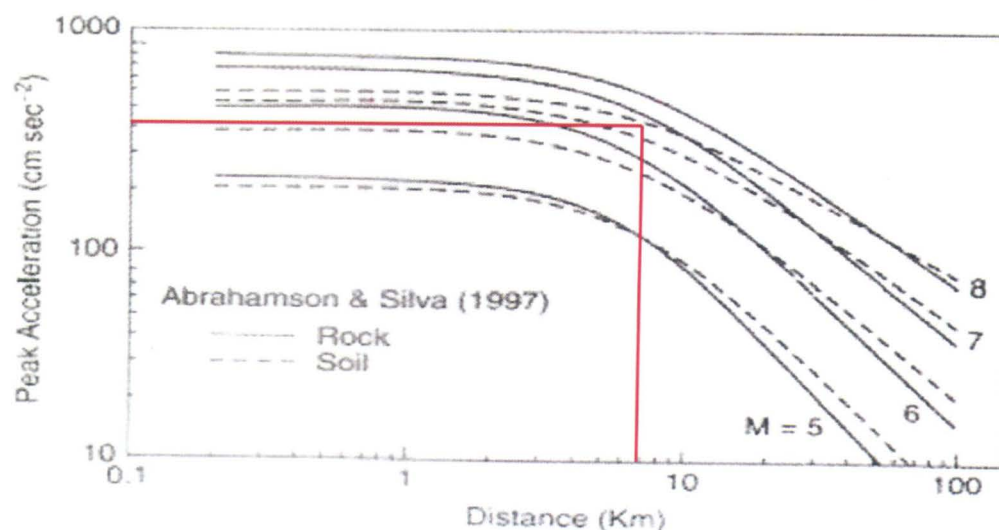
Fathani, T.F., Adi, A.D., Pramumijoyo, S. & Karnawati, D. 2008. *The Determination of Peak Ground Acceleration at Bantul Regency, Yogyakarta Province, Indonesia*, dalam Karnawati, D., Pramumijoyo, S., Anderson, R., & Husein, S. 2008. *The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006*. Belmont, CA 94002: Star Publishing Company, Inc.

Hunt, R.H. 2007. *Geologic Hazard, A Field Guide for Geotechnical Engineers*. Boca Raton: CRC Taylor & Francis.

Husein, S., S. Pramumijoyo, M. Thant, T. Naing & J. Murjaya. 2008. *A short Note on the Seismic History of Yogyakarta Prior to the May 27, 2006 Earthquake*, dalam Karnawati, D., Pramumijoyo, S., Anderson, R., & Husein, S. 2008. *The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006*. Belmont, CA 94002: Star Publishing Company, Inc.

Irsyam M., W. Sengara. 2010. *Peta Zonasi Gempa Indonesia*. Kementerian Pekerjaan Umum.

Kementerian Pekerjaan Umum. 2002. *Peta Zonasi Gempa Indonesia*, SNI-1726-2002.



Hubungan antara jarak sesar terhadap lokasi dengan percepatan
(Abrahamson & Silva, 1997 di dalam Fathani dkk., 2008)

Mundarjito. 2011. *Borobudur: Masalah Puncak Stupa Induk*, dalam Santiko, H. Editor, *100 Tahun Pascapemugaran Candi Borobudur, Trilogi 1: Menyelamatkan Kembali Candi Borobudur*. Magelang: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.

Murwanto, H. 2011. *Situs Danau di Sekitar Bukit Borobudur*, dalam Santiko, H. Editor, *100 Tahun Pascapemugaran Candi Borobudur, Trilogi 1: Menyelamatkan Kembali Candi Borobudur*. Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.

Newhall C.G., Bronto S., Alloway, B., Banks, N.G., Bahar, I., del Marmol M.A., Hadisantono, R.D., Holcomb, R.T., McGeehin, J., Miksi, J.N., Rubin, M., Sayudi, S.D., Sukhyar, R., Andreastuti, S., Tilling, R.I., Torley, R., Trimble, D., & Wirakusumah, A.D. 2000. *10,000 Years of explosive eruptions of Merapi Volcano, Central Java: archaeological and modern implications*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100 (2000) 9–50.

Soekmono. 1976. *Chandi Borobudur a Monument of Mankind*. Paris: UNESCO Press.

van Bemmellen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, vol. IA. The Hague: Gov. Printing Office Martinus Nijhoff.

Voûte, C. 1973. *The Restoration And Conservation Project Of Borobudur Temple, Indonesia Planning - Research – Design*. *Studies in Conservation*, 18 (1973), pages 113-130.

Yeats, R.S., Sieh, K. & Allen, C.R. 1997. *The Geology of Earthquakes*. New York: Oxford

University Press.

Websites BMKG, ISC & USGS, diunduh tanggal 15 Oktober 2012.

BIODATA PENULIS

Dr. Ir. Subagyo Pramumijoyo, lahir di Kediri pada tanggal 8 April 1952. Pendidikan S1 Teknik Geologi diselesaikan di Jurusan Teknik Geologi FT UGM pada tahun 1980, sedang S2 Tectonophysique (selesai tahun 1986) dan S3 Geodynamique (selesai tahun 1991) ditempuh di Universite de Paris-Sud, Orsay, Perancis. Mulai 1980 sampai sekarang bekerja sebagai dosen pemegang mata kuliah: Geologi Fisik, Geologi Struktur dan Tektonika. Untuk penelitiannya lebih ditekankan pada masalah geodinamika terutama pada tektonika aktif dan pada bidang *earthquake geology*. Di samping itu juga tertarik pada bidang geoarkeologi.

Pyi Soe Thein, lahir di Mandalay, Myanmar, pada tanggal 3 Maret 1977. Pendidikan S1 Geologi ditempuh di Universitas Yadanabon, Myanmar, dan selesai pada tahun 2001. S2 bidang geologi ditempuh di Universitas Kyaukse, Myanmar, selesai tahun 2005 dan S2 di bidang ilmu komputer di Yangon University, selesai pada tahun 2008. Sampai dengan saat ini sebagai asisten dosen pada Departemen Geologi, Universitas Yangon, Myanmar dan saat ini sebagai mahasiswa S3 di Universitas Gadjah Mada, menagambil topik Mitigasi Bencana Gempabumi di daerah Palu dengan beasiswa dari AUN/SEED-Net - JICA.



STRUKTUR TANAH FONDASI DAN STABILITAS BANGUNAN CANDI BOROBUDUR

Oleh:

Kabul Basah Suryolelono
Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

Candi Borobudur merupakan salah satu warisan budaya Indonesia, bahkan telah diakui sebagai salah satu dari tujuh warisan budaya internasional yang merupakan tempat pemujaan bagi pemeluk agama Buddha, dibangun sekitar tahun 800 oleh raja Samaratungga (Murtijpto dan Prasetyo, 1993; dalam Sukandarrumidi, 1993). Bangunan candi merupakan susunan batu andesit dengan volume batu keseluruhan 55.000 m³ (Marzuki dan Heraty, 1993) dan berat bangunan candi lebih kurang 3.500.000 ton (Anonim, 1991; dalam Sukandarrumidi, 1999). Bangunan ini mempunyai bentuk denah bujur sangkar dengan ukuran lebar dasar 123 meter, tinggi asli 42 meter, dan kini tingginya tinggal 31,5 meter, dengan 504 patung Buddha.

Sebanyak 72 patung terdapat di dalam stupa berterawang dan 432 patung terdapat di dalam relung terbuka. Bangunan ini terdiri dari tiga tingkat yaitu *Arupadhatu* menggambarkan unsur tak berujud berada di bagian atas meliputi lantai lorong lima sampai teras tiga berupa

lingkaran-lingkaran selasar yang terdiri dari stupa dan dinding teras dengan stupa besar sebagai stupa pusat, *Rupadhatu* terletak di bawah *Arupadhatu* menggambarkan unsur berujud meliputi lorong 1-4, dan paling bawah disebut *Kamadhatu* menggambarkan unsur nafsu dan bagian ini terpendam (Marzuki dan Heraty, 1993). Konstruksi fondasi bangunan Candi Borobudur khususnya maupun candi-candi lainnya di Indonesia, menggunakan tipe fondasi langsung (Krom, 1923 dalam Atmadi, 1979), dan berfungsi mendukung seluruh beban candi (Atmadi, 1979) menumpang di atas perbaikan tanah dasar fondasi yang merupakan tanah pasir kasar atau campuran pasir kerikil yang dipadatkan (Suryolelono, 2007).

Secara geografis, candi ini terletak pada 110°. 12'. 29,71" bujur timur, dan 7°.36'.24,58" lintang selatan, terletak pada ketinggian 265 m dari permukaan laut rerata, tepatnya di wilayah kabupaten Magelang, berdekatan dengan sungai Progo dan gunung Merapi. Suhu rerata

bulanan minimum $21,1^{\circ}\text{Celcius}$, dan maksimum $32,8^{\circ}\text{Celcius}$, dengan curah hujan rerata dalam setahun lebih dari 2000 mm.

Kondisi geologi di daerah Candi Borobudur merupakan bangunan candi terletak di atas batuan vulkanik yang berumur tersier (Anonim, 1963; dalam Sukandarrumidi, 1999; Murwanto, 2012). Batuan jenis ini umumnya terdiri dari batuan aglomerat dan batuan pasir

yang berkedudukan relatif masih horisontal dan cukup mantap dari gejala pelongsoran, walaupun kondisi tanah dasar memungkinkan terjadinya deformasi yang secara keseluruhan akan berpengaruh terhadap stabilitas bangunan candi.

Sejak diketemukannya Candi Borobudur, telah dilakukan upaya pemeliharaan dan pelestarian dari tahun ke tahun. Pertama kali



Candi Borobudur yang tersusun dari batu andesit dengan volume 55.000 m^3

usaha pemeliharaan dan pelestarian ini dilakukan oleh Sir Thomas Stamford Raffles pada tahun 1814 dengan melakukan pembersihan akibat tertutup semak belukar agar bangunan candi tampak ujud aslinya. Pada tahun 1907 dilakukan pemugaran Candi Borobudur yang pertama kali oleh van Erp dengan melakukan restorasi pagar langkan, dinding lorong pertama, saluran air di lereng bukit, tangga bagian bawah, gapura, relung, dan stupa kecil, sedangkan untuk menjaga keseimbangan antara dinding dan langkan dilakukan dengan cara melapisi lantai lorong candi dengan beton. Pekerjaan ini selesai pada tahun 1911, meskipun demikian kemiringan dinding lorong candi belum dapat diperbaiki, sehingga masih perlu diadakan pengamatan dan perbaikan lebih lanjut.

Kerusakan batu candi akibat korosi, pengaruh mekanis dan kekuatan tekanan dari dalam candi, serta kemiringan dinding lorong candi yang diduga kuat akibat kandungan air yang meningkat di belakang dinding candi, sehingga tanah menjadi kenyang air dan mengalami *swelling* (mengembang) akibatnya dinding candi terdesak ke arah luar (Soekmono, 1972). Oleh karena itu, dilakukan pemugaran kedua pada tahun 1973–1983, yang persiapannya telah dimulai dari tahun 1965, yaitu pembongkaran pagar langkan dan dinding candi dengan tujuan untuk melengkapi dan membenahi peletakan bagian bangunan yang pada pemugaran sebelumnya diperkirakan adanya kesalahan pemasangan, serta penempatan pelat beton yang mempunyai tebal berbeda untuk setiap lantai lorong antara 22–64 cm dan berbentuk

cincin, untuk perataan beban batu candi dan pelaksanaannya pada tahun 1975. Sampai saat ini pemugaran tersebut merupakan pemugaran terakhir dan telah diresmikan pada tahun 1983.

Sejak Candi Borobudur selesai dipugar tahun 1983, pemantauan keamanan/kelestarian bangunan candi terus dilakukan. Pantauan meliputi bidang sosial-budaya, arkeologi, bidang teknik: geoteknik dan struktur candi, sedang untuk bidang geoteknik meliputi kondisi tanah dasar fondasi termasuk pengaruh muka air tanah dan bukit asli sebagai penopang dan stabilitas bangunan candi.

BUKIT ASLI

Candi Borobudur berdiri di atas bukit kecil berbatuan beku dan vulkanik yang sangat lapuk berumur terzier (Murwanto, 2012) dan penempatan candi ini di atas bukit yang dipotong, namun masih disisakan sebagian berupa bukit asli. Bukit asli ini nantinya sebagai inti Candi Borobudur. Dari tampang candi yang telah dibuat (Sampurno, 1969) tampak bukit asli berada tepat di bawah stupa besar yang ada di puncak. Puncak bukit asli ini digunakan untuk membuat pola bentuk segiempat dan lingkaran di dasar candi, maupun lantai setiap tingkatan candi. Selain itu, puncak bukit asli ini juga digunakan untuk menentukan arah timur-barat dan selatan-utara. Metode yang digunakan sangat sederhana dengan memanfaatkan saat-saat matahari terbit di sebelah timur dan tenggelam di sebelah barat dengan cara di atas

bukit asli ini ditempatkan tonggak kayu untuk menentukan arah mata angin. Tampaknya arah barat-timur ditentukan terlebih dulu, berdasarkan bayang-bayang tonggak yang dipancang di puncak bukit di saat pagi hari (arah barat) dan sore hari (arah timur), sedangkan arah selatan-utara ditentukan pada saat matahari benar-benar membentuk bayang-bayang tonggak paling pendek (letak Candi Borobudur berada di selatan ekuator), dengan demikian arah selatan-utara dapat ditentukan. Sesuai dengan ajaran Buddha, untuk mencapai kesempurnaan dapat dilakukan dari empat arah (penjuru) mata angin. Oleh karena itu, ke empat arah mata angin ini, nantinya sebagai pintu masuk candi. Untuk membuat dasar candi dengan bentuk segiempat, maupun lingkaran digunakan seutas tali yang diikatkan di bagian tonggak kayu yang berada di puncak bukit, dan berdasarkan sifat-sifat limas beraturan dengan alas bujur sangkar maupun kerucut dengan alas lingkaran, maka bentuk segi-empat maupun lingkaran untuk dasar candi dapat ditentukan, demikian pula untuk dasar lantai setiap lorong.

STRUKTUR TANAH DASAR FONDASI

Bangunan Candi Borobudur yang berintikan bukit terdiri atas tanah dan batuan. Tanah atau batuan ini disebut sebagai tanah dasar fondasi (Sampurno, 1969). Tanah dasar fondasi dibedakan menjadi tanah urug dan tanah asli yang membentuk bukit asli. Tanah asli merupakan lapis-lapis tanah dengan

karakteristik fisis maupun mekanis berbeda dan terletak hampir horisontal disebut sebagai horison A, B, dan C. Tanah urug adalah tanah yang ditambahkan di atas bukit asli sebagai pengisi dan pembentuk morfologi yang sesuai bangunan candi, selain itu tanah ini sebagai usaha perbaikan tanah dasar fondasi seperti pada umumnya bangunan-bangunan candi di Indonesia, berupa tanah lempung pasir atau pasir, kerakal, dan pecahan batu andesit (berasal dari pecahan-pecahan batu candi), berwarna coklat tua kehitam-hitaman atau campuran tanah berwarna kuning. Permeabilitas tanah ini sedang, tetapi kadang-kadang mempunyai nilai besar tergantung komposisi batuanannya. Ketebalan lapis tanah urug tidak merata, berkisar antara 0,5 – 8,5 meter. Di bawah lapisan tanah urug, dijumpai sebagai lapisan tanah asli atau dikenal horison A, B, dan C dengan letak horison A berada paling atas langsung di bawah tanah urug, selanjutnya dijumpai horison B, dan paling bawah horison C.

Horison A merupakan lapisan tanah lempung pasir atau pasir lempungan, warna coklat tua sampai kehitam-hitaman. Prosentase distribusi butirannya adalah lempung 10%, lanau 35%, dan pasir 45%. Lapisan ini mempunyai ketebalan berkisar 1,5–13,5 m, dan merupakan hasil pelapukan lanjut dengan warnanya hitam, tanpa dijumpai pecahan-pecahan batuan segar. Permeabilitas horison A sangat besar (pada orde 10-4 cm/s) dibanding dengan horison-horison lainnya.

Horison B merupakan lapis tanah berwarna merah bata atau merah kecoklat-coklatan atau

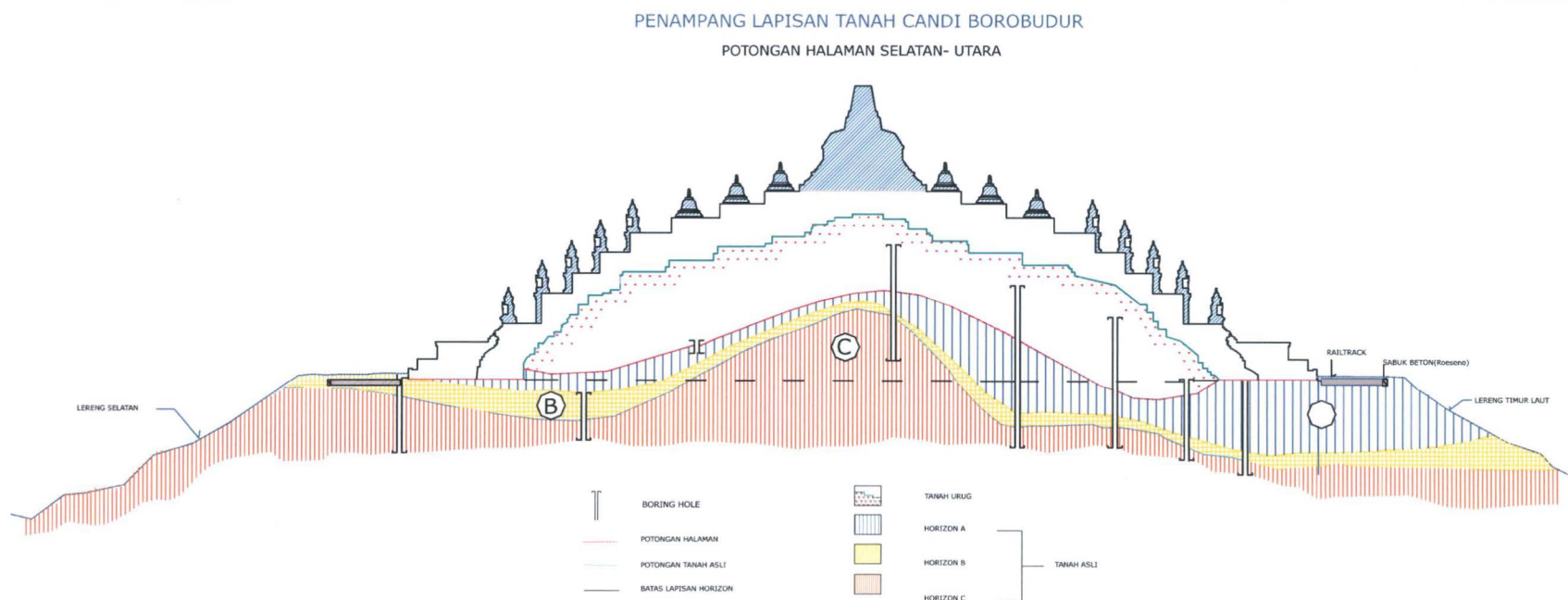
kekuning-kuningan, sehingga mudah dibedakan dengan horison A. Tanah ini merupakan lempung pasir dengan prosentase distribusi butiran lempung 31%, lanau 44%, dan pasir 23%. Permeabilitas horison B ini rendah dan cenderung kedap air (pada orde 10-6 cm/s), hal ini terlihat dari komposisi prosentase lempung dan lanau lebih besar dari komposisi horison A. Tebal lapisan ini berkisar 0,5 – 3,5 meter.

Horison C terdiri dari batu pasir tufa berbutir sedang, warna kuning keputih-putihan, berbutir lepas. Prosentase distribusi butiran lempung 26%, lanau 51% dan pasir 20%. Pada lapisan ini dijumpai pula batu keras yang merupakan komponen breksi vulkanis dalam batuan pasir tufa. Permeabilitas horison C pada umumnya

cukup besar dan tebal lapisan ini lebih dari 13,5 m.

Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Dasar Fondasi

Struktur dan komposisi tanah tersusun dari butiran atau partikel butiran dan rongga pori di antara partikel butiran. Rongga-rongga ini terisi sebagian atau seluruhnya dengan air dan rongga yang tidak terisi air ditempati udara (gas). Umumnya untuk menyatakan sifat fisis tanah digunakan sifat-sifat indeks (*index properties*) yang mengindikasikan jenis dan kondisi tanah, serta memberikan hubungan terhadap sifat-sifat mekanis (*engineering properties*)



Candi Borobudur yang memperlihatkan penampang lapisan tanah Candi Borobudur

seperti kekuatan (*strength*) dan pemampatan (*compressibility*) atau kecenderungan untuk mengembang (*swelling*) dan permeabilitas. Sifat-sifat ini umumnya dinyatakan sebagai parameter fisis dan mekanis tanah. Tanah dasar fondasi Candi Borobudur mempunyai sifat-sifat fisis yang dinyatakan sebagai batas Atterberg

(indek plastisitas-IP), kadar air (w_n), kadar pori (n) dan distribusi butiran tanah sedang sifat mekanis dinyatakan dalam sudut gesek internal tanah (ϕ), kohesi tanah (c) dan kuat dukung tanah (q_u). Sifat-sifat inilah yang nantinya digunakan untuk evaluasi kondisi tanah dasar fondasi dan stabilitas bangunan Candi Borobudur. Tabel 1 dan Tabel 2 merupakan parameter tanah yang diperoleh dari hasil uji tanah terdahulu (Sampurno, 1969; Ambraseys (1974), dan uji tanah terbaru (Balai Studi dan Konservasi Borobudur, 2000).

Sifat Kembang Susut Tanah Dasar Fondasi Candi Borobudur

Tanah dasar fondasi Candi Borobudur yang terdiri dari berbagai lapisan tanah (tanah urug, horizon A, horizon B, dan horizon C) mempunyai nilai *activity* (A) hampir semuanya berada di bawah 0,75 dan sebagian kecil ada di atas nilai 0,75 (Wangsadinata & Djayaputra, 1977). Nilai A (*activity*) merupakan rasio indeks plastisitas (I_p) dengan (%) fraksi partikel ukuran lempung, digunakan untuk mengetahui sifat tanah terhadap perubahan volume akibat penambahan kandungan air dalam tanah, dengan kriteria bila tanah mempunyai nilai A kurang dari 0,75 dikatakan tanah tidak aktif (sensitif), nilai A diantara 0,75 – 1,25 dikatakan tanah normal, dan tanah dengan nilai A lebih besar dari 1,25, maka tanah mempunyai sifat sensitif terhadap perubahan volume akibat penambahan kadar air dalam tanah. Selain itu, untuk mengetahui potensi kembang tanah,

Tabel 1. Parameter sifat fisis dan mekanis tanah dasar fondasi

Keterangan	Tanah urug	Horison A	Horison B	Horison C
Kadar air - w_n (%)	39,75	45,96	38,39	40,65
Indeks plasitisitas - I_p (%)	32,04	26,15	33,50	28,21
Kadar pori - n (%)	57,91	60,19	51,56	53,88
Distribusi butiran tanah	Lempung (%)	-	10	31
	Lanau (%)	-	35	44
	Pasir (%)	-	45	23
Kuat dukung tanah - q_u (kN/m ²)	144,16	110,81	292,24	162,80
Sudut gesek internal tanah - ϕ (°)	16,3	14,3	21,1	13,6

Sumber: Sampurno, 1969; Balai Studi dan Konservasi Borobudur, 2000

Tabel 2. Parameter sifat mekanis tanah dasar fondasi

Lokasi	Sisi utara			Sisi barat			Sisi selatan			Sisi timur		
	γ	ϕ'	c'	γ	ϕ'	c'	γ	ϕ'	c'	γ	ϕ'	c'
Tanah urug	17,4	29,3	27	16,8	19,3	51	-	-	-	16,6	25	56
Horison A	17,6	27,0	20	14,0	38,3	14	-	-	-	17,3	20	30
Horison B	17,8	36,0	26	17,6	17,0	20	-	-	-	18,0	26,7	72
Horison C	18,3	25,0	54	17,9	25,0	28	-	-	-	18,7	25	80

Sumber : Ambraseys, 1974; Balai Studi dan Konservasi Borobudur, 2000

Catatan : γ (kN/m³); ϕ' (...°); dan c' (kN/m²).

Tabel 3. Parameter sifat mekanis batu candi dan tanah urug Candi Borobudur

Material	Sudut gesek internal (...°)	Kohesi (c – kN/m ²)	Keterangan
Batu candi dengan tanah urug	35	5,88	
Batu candi	40	0,29	
Tanah urug	38	0,00	

Sumber: Supriadi dan Suryolelono, 2005

digunakan hubungan antara nilai *A* (*activity*) dengan prosentase kandungan butiran lempung (*C*). Tampak bahwa tanah dasar fondasi Candi Borobudur mengidentifikasi sebagai tanah tidak sensitif terhadap perubahan volume (Wangsadinata & Djayaputra, 1977), sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah dasar fondasi Candi Borobudur ini tidak terjadi perubahan volume dan tidak mungkin terjadi kembang susut selamanya akibat per-tambahan kadar air tanah. Hal ini berbeda dengan yang diungkapkan oleh Soekmono (1972), bahwa tanah dasar fondasi menjadi kenyang air dan mengalami *swelling* (mengembang) akibatnya dinding candi terdesak ke arah luar.

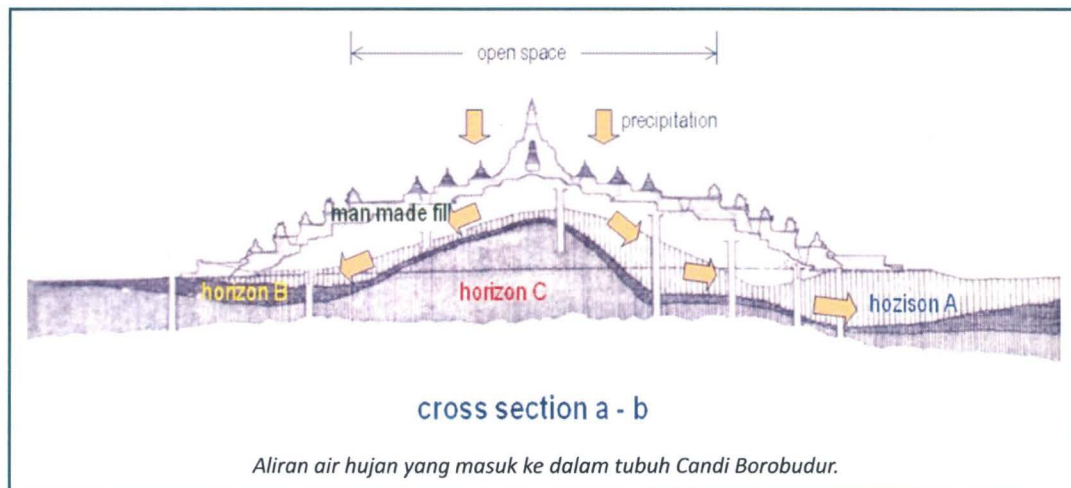
AIR TANAH

Kedalaman muka air tanah yang diperkirakan berada pada 20 – 25 m di bawah permukaan halaman candi (Sampurno, 1969), jauh di bawah horison B yang mempunyai sifat kedap air. Hal ini menunjukkan bahwa air tanah sama sekali tidak mempengaruhi kondisi tanah di atas horison B atau kondisi tanah di atas horison B yaitu horison A dan tanah urug dengan karakteristik mempunyai permeabilitas cukup besar, dan hanya dipengaruhi oleh air infiltrasi yang berasal dari air hujan. Dari tinjauan topografi, Candi Borobudur berada di atas bukit asli yang dikupas sebagian dan secara geologis struktur pelapisan tanah di bawah candi ini terdiri dari tanah urug, horison A, B, dan C. Horison-horison ini dapat dikatakan hampir mendatar pelapisannya, namun tepat di bawah

Candi Borobudur, pelapisan ini membentuk bukit. Horison B yang merupakan lapisan tanah dengan permeabilitas ($k \approx 10^{-6}$ cm/s) merupakan lapisan tanah kedap air (Cedergren, 1977), dan air infiltrasi sebagai air rembesan mengalir di atas permukaan horison B.

Luknanto (2000) memprediksi elevasi muka air tanah pada musim hujan dan musim kemarau di bawah bangunan candi berdasarkan pengamatan elevasi muka air di inclinometer yang dipasang di Candi Borobudur seperti pada gambar di bawah ini.

Tampak prediksi letak muka air tanah di bawah Candi Borobudur dapat terjadi sebelum candi ini mengalami pemugaran, karena terjadi hambatan aliran air tanah di bawah bangunan candi, sehingga muncul rembesan air melalui dinding candi (Cahyandaru, 2012). Pada kondisi setelah dipugar ditempatkan sistem drainase pada dinding candi di sebelah dalam, yang berfungsi mengurangi air yang terjebak dalam tanah dasar fondasi, selanjutnya dialirkan



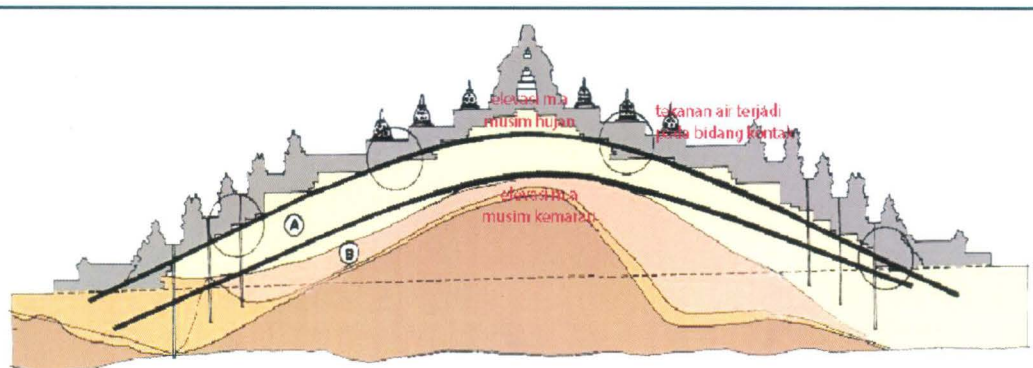
ke sumur resapan. Sebagian air berupa air rembesan muncul di bagian lereng bukit sisi tenggara dan dimanfaatkan oleh tanaman di lereng-lereng bukit sekitar candi. Hal ini dapat dilihat dari gambar foto udara maupun gambar dari citra satelit.

Kandungan air tanah pada tanah dasar fondasi sangat berpengaruh terhadap kekuatan tanah (kuat dukung tanah) dalam mendukung beban di atasnya. Tampak pada kondisi Candi Borobudur sebelum dilakukan pemugaran, dinding candi miring, terjadi kemelesakan pada lantai candi, akibat menurunnya sifat-sifat mekanis tanah yang terlihat dari menurunnya parameter mekanis tanah akibat kandungan air dalam tanah. Selain itu, keluarnya air dari dinding candi, miringnya dinding candi (Cahyandaru, 2012) ini disebabkan oleh tingginya tekanan hidrostatik pada dinding candi, akibat sistem drainase alami pada tanah dasar fondasi candi mengalami kegagalan, karena terjadinya sumbatan (*clogging*) pada pori-pori tanah selama terjadi aliran air rembesan pada tanah dasar fondasi.

STABILITAS BANGUNAN CANDI

Stabilitas bangunan candi didasarkan pada stabilitas lereng yang terbentuk dari bangunan candi dan telah dilakukan oleh Begemann dan Hoogkamer (1973) selama dilakukan restorasi dengan memperhitungkan pengaruh tegangan air pori (pengaruh letak muka air tanah) tanpa pengaruh gempa, menyimpulkan bahwa lereng candi aman terhadap bahaya longsor, apabila bagian selasar tidak dibuka dan menjadi tidak aman apabila bagian selasar dibuka. Ambraseys (1974) merekomendasikan bahwa bangunan Candi Borobudur aman terhadap pengaruh gempa, apabila terjadi gempa besar deformasi pada permukaan di bagian utara akan terjadi sebesar 50 cm, dan di sebelah barat tidak lebih dari 30 cm. Wangsadinata & Djayaputra (1979) melakukan evaluasi terhadap stabilitas lereng candi dengan memperhitungkan pengaruh gempa dengan *ground acceleration* sebesar 0,15g, dan kejadian diperkirakan terulang selama 300 tahun, bangunan candi tetap aman. Metode yang digunakan sama (metode Bishop disederhanakan), namun dengan anggapan tanah dasar fondasi bangunan candi adalah homogen.

Evaluasi stabilitas bangunan candi setelah candi direnovasi dilakukan dengan meninjau lapisan tanah dasar fondasi berlapis-lapis sesuai dengan kondisi tanah dasar fondasi bangunan candi, pengaruh tegangan air pori, pengaruh beban gempa, serta beban candi dianggap sebagai beban merata (beban batu candi), beban pelat beton dan pelat timah dikonversikan



Prediksi letak muka air tanah di musim hujan dan kemarau (Luknanto, 2000).

dengan berat batu candi, sedangkan untuk beban stupa dan langkan dinyatakan sebagai beban garis.

Konversi Beban Struktur Bangunan Candi

Bagian bangunan candi terbagi dalam delapan lantai terdiri dari tiga lorong (*gallery*) dan tiga teras (*terrace*). Pada dinding lorong terdapat langkan dan pada teras terdapat stupa. Dalam tinjauan evaluasi stabilitas bangunan candi, berat dinding dianggap sebagai beban merata sepanjang lereng, sedangkan langkan dan stupa dianggap sebagai beban garis. Selain itu, beban akibat pelat beton, pelat timah, dan beban pengunjung perlu diperhitungkan pula. Tabel 4 dan Tabel 5 merupakan konversi beban yang bekerja pada bangunan candi.

Gempa

Dalam penentuan beban gempa digunakan koefisien percepatan tanah yang didasarkan pada Peta Zona Gempa (2010) dan Pedoman Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004) akibat beban gempa dengan anggapan struktur bangunan candi sebagai sebuah bangunan timbunan tanah sebagaimana halnya bangunan tanggul atau bendungan. Dari peta zona gempa lokasi Candi Borobudur terletak di zona dengan percepatan gempa di batuan dasar sebesar 0,25g, setara dengan koefisien gempa (k) sebesar 0,15 dengan kala ulang 500 tahun, sedangkan analisis yang dilakukan Wangsadinata & Djayaputra (1979) menghasilkan koefisien gempa untuk periode ulang 300 tahun sebesar 0,15. Tampak kekuatan gempa dengan percepatan gempa di batuan dasar sebesar 0,25g merupakan gempa dengan klasifikasi tingkat beban kuat, menghasilkan koefisien gempa sebesar 0,15,



Foto Kiri :
Hasil foto satelit (Google Earth)
download tgl. 02 September 2012)

Foto Kanan:
Hasil foto udara (Balai Konservasi
Borobudur, 2006)

Lokasi air rembesan yang muncul pada
lereng bukit, tampak tanaman tumbuh
subur.

Tabel 4. Beban merata batu candi

N o	Pembebanan		Tinggi dinding h_s (m)	Tinggi (*) pelat beton h_{cs} (m)	Tinggi (*) pelat timah h_{ps} (m)	Tinggi beban h (m)
1.	Counterweight (selasar) Kamadhatu	a. undag	1,35	0	0	1,35
		b. selasar	3,57	0	0	3,57
		h_{rerata}				2,46
2.	Rupadhatu	a. kaki terpendam	3,57	0	0	3,57
		b. kaki atas	1,94	0	0	5,51
		c. dinding lorong 1	3,90	0,768	0,0114	4,68
		d. dinding lorong 2	3,08	0,768	0,0114	3,86
		e. dinding lorong 3	2,67	0,528	0,0114	3,21
		f. dinding lorong 4	2,55	0,528+0,264	0,0114	3,35
		h_{rerata}				4,03
		3.	Arupadhatu	Bagian berm dinding teras 1	2,84	0
Bagian miring a. dinding teras 2	2,66 2,60			0 0	0 0	2,66 2,60
b. dinding teras 3						
h_{rerata}				2,63		

Catatan: (*) Tinggi konversi. Sumber : Balai Studi dan Konservasi Borobudur, 2000

Tabel 5. Konversi beban stupa dan langkan sebagai beban garis

No.	Pembebanan		Bagian Batu				Bagian Pelat Timah			P _{total} kN/m
			h (m)	b _b (m)	b _a (m)	p kN/m	b _t (m)	t (m)	p kN/m	
1.	Counterweight Kamadhatu									
2.	Rupadhatu	langkan lrg 1	3,73	1,66	0,8	91,18	1,66	0,002	0,38	92,14
		langkan lrg 2	2,70	1,46	0,8	61,02	1,46	0,002	0,33	61,35
		langkan lrg 3	2,88	1,46	0,8	65,09	1,46	0,002	0,33	65,42
		langkan lrg 4	2,87	1,58	0,8	68,31	1,58	0,002	0,36	68,67
		langkan lrg 5	3,07	1,58	0,8	73,07	1,58	0,002	0,36	73,43
			Diameter (m)				Berat total Q (kN)			kN/m
3.	Arupadhatu	36 stupa 1	3,8				287,31			75,61
		24 stupa 2	3,6				253,79			70,50
		16 stupa 3	3,3				202,99			61,51
		stupa pusat	16,15				17453,18			1080

Sumber : Balai Studi dan Konservasi Borobudur, 2000; Catatan : lrg – lorong

hingga terjadi akumulasi air infiltrasi dalam tanah dasar fondasi.

Tinjauan Stabilitas Bangunan Candi Borobudur

Dalam analisis stabilitas bangunan candi digunakan berbagai metode (Bishop *simplified*, 1955; Janbu, 1973; Spencer 1973; Morgenstern & Price 1965, GLE-General Limit Equilibrium, 1986 dalam Abramson, dkk., 1996) dan dipilih metode yang paling cocok dengan kondisi di lokasi Candi Borobudur. Dua metode digunakan untuk analisis stabilitas bangunan candi, dengan pertimbangan bidang gelincir yang terjadi untuk metode Bishop disederhanakan (*simplified*) adalah tampang lingkaran, dan metode Janbu, bila bidang gelincir berbentuk kombinasi bentuk tampang lingkaran dan garis lurus.

Dari hasil analisis tersebut (Tabel 5), tampak metode analisis yang paling sesuai adalah metode Bishop disederhanakan dengan memberikan angka aman yang signifikan. Pada kondisi beban normal yang merupakan beban tanpa beban gempa dan pengaruh muka air tanah memberikan angka aman (SF) $\geq 1,50$ (SF $> 1,25$, keruntuhan/kegagalan lereng hampir tidak pernah terjadi, Bowles (1984)), sedangkan untuk kombinasi dengan beban gempa diperoleh angka aman (SF) $\approx 1,2$ (untuk koefisien beban gempa (k) $\approx 0,15$ angka aman (SF) harus > 1 Abramson, dkk., 1995), kesemuanya ini dengan kondisi selasar tidak dibuka. Untuk lereng di sisi barat perlu mendapatkan perhatian serius,

karena mempunyai angka aman (SF) terendah dibanding dari sisi lainnya. Hasil analisis stabilitas bangunan Candi Borobudur dan perbandingan dengan hasil analisis yang telah dilakukan dalam menentukan nilai angka aman (SF) dapat dilihat dalam Tabel 5.

Secara umum stabilitas bangunan Candi Borobudur dapat dikatakan aman akibat

keruntuhan/kegagalan lereng bangunan candi, apabila selasar (*counterweight*) tidak dibuka dan sistem drainase baik permukaan (*surface drainage*) maupun bawah permukaan (*sub drainage*) tetap berfungsi dengan baik, sehingga perawatan ke dua sistem drainase ini (drainase permukaan dan bawah permukaan) terutama di sisi barat mutlak diperlukan untuk menjaga

Tabel 6. Perbandingan tinjauan angka aman (SF) stabilitas bangunan candi

No.	Parameter/asumsi	Begeman & Hoogkamer (1973)	Wangsadinata & Djayaputra, (1976)	Suryolelono & Kingkin (2000) diperbaharui 2012		Keterangan
1.	Metode analisis	<i>Bishop simplified</i>	<i>Bishop simplified</i>	<i>Bishop simplified</i>	<i>Janbu</i>	
2.	Lapisan tanah	Homogen $\phi' = 27^\circ$ dan 35° $c' = 9,81 \text{ kN/m}^2$ $\gamma = 18,1 \text{ dan } 15,7 \text{ kN/m}^3$	Homogen $\phi' = 26^\circ$ $c' = 19,6$; $29,4 \text{ dan } 39,2 \text{ kN/m}^2$ $\gamma = 17,7 \text{ kN/m}^3$	Berlapis-lapis dengan nilai ϕ' , c' , dan γ tergantung lapis (horison) tanah		
3.	Pembebanan	Beban terbagi rata	Beban terbagi rata	Beban terbagi rata dan beban garis		
4.	Batuan candi	$\phi' = 30^\circ$ $c' = 0$; $19,6$; $39,2 \text{ kN/m}^2$ $\gamma = 19,6 \text{ kN/m}^3$	$\phi' = 30^\circ$ $c' = 19,6 \text{ kN/m}^2$ $\gamma = 19,6 \text{ T/m}^3$	$\phi' = 45^\circ$ (*) $c' = 0 \text{ kN/m}^2$ $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$		
5.	SF _{minimum}					
	a. ada selasar	1,28 (utara)	-	1,49 (barat)	1,33 (barat)	tanpa gempa & pengaruh muka air tanah
	b. tanpa selasar	0,99 (utara)	-	1,23 (utara)	1,10 (utara)	
	a. gempa & pengaruh muka air tanah	-	1,2	0,95 (barat)	0,83 (barat)	ada selasar
	b. tanpa gempa & pengaruh muka air tanah	-	1,5	1,49 (barat)	1,33 (barat)	
	a. ada selasar			1,16 (barat)	1,03 (barat)	dengan gempa, tanpa pengaruh muka air tanah
	b. tanpa selasar			1,01 (barat)	0,89 (barat)	

Catatan: (*) – evaluasi didasarkan hasil uji th 2005; pengaruh muka air tanah, bila terjadi kegagalan sistem drainase bawah permukaan (*sub drainage*).

kelestarian bangunan Candi Borobudur. Selain itu, penempatan bangunan di kaki lereng bukit agar dihindari, untuk menjaga sistem drainase alami tetap berfungsi dengan baik.

Gejala keruntuhan lereng bangunan candi pernah akan terjadi pada saat pelaksanaan pembangunan lantai lorong (teras) 1 – 3 dengan kemiringan rerata $26,8^\circ$, namun pada saat itu segera diantisipasi dengan penempatan selasar (*counterweight*), sehingga tidak terjadi keruntuhan lereng yang lebih fatal. Pembangunan lantai lorong 4 sampai stupa pusat (induk) di puncak candi dengan kemiringan rerata $10,9^\circ$ (kemiringan lebih landai) merupakan antisipasi agar tidak terjadi keruntuhan lereng berikutnya. Hal ini membuktikan bahwa para ahli (leluhur) di saat itu sudah memperkirakan kemungkinan yang akan terjadi di masa mendatang, sehingga pemilihan lokasi dilakukan dengan sangat cermat (teliti). Misteri inilah yang membuat rasa bangga terhadap para leluhur bangsa Indonesia di dalam menentukan lokasi, kondisi struktur pelapisan tanah (bidang geologi), dan tinjauan stabilitas bangunan candi terhadap keruntuhan lereng (bidang geoteknik) yang tampak sudah demikian maju pada saat itu. Selain itu, di bidang matematika demikian pula, antara lain dalam menentukan sudut siku-siku pada bentuk bujur sangkar serta tampang lingkaran pada stupa pusat dan lainnya dengan peralatan sangat sederhana di saat itu.

DAFTAR PUSTAKA

- , 1999. *Letak Bidang Longsor Lereng Candi Selogriyo Kabupaten Magelang*, Journal Forum Teknik Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Vol. 23, No. 3 November.
- , 2000. *Pengaruh Air dalam Reservoir Bendungan Koto Panjang terhadap Kelestarian Situs Muaratakus*, Journal Media Teknik Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, No. 3, th XXII, Agustus.
- , 2002. *Evaluation of The Slope Stability Borobudur Temple*, UNESCO Meeting on Evaluation of Borobudur Temple Post Restoration, Kementerian Kebudayaan dan Pariwisata, Borobudur, Magelang, 23-25 Oktober.
- , 2003, *Stabilization Analysis and Monitoring of The Borobudur Temple*, Proc. Of the Fourth International Expeth Meeting on Borobudur, 2 – 7 July 2003, Borobudur, Indonesia.
- , 2006. *Mystery of the Borobudur Temple: Geotechnical Review to the Slope Stability Analysis*, Proc. Of the Sixth Japan-Korea-France Joint Seminar on Geo-environmental Engineering, Geo-Environmental Engineering 2006, Kyoto University, Kyoto, Japan.
- Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S., dan Boyce, G.M. 1996. *Slope Stability and Stabilization Methods*. New York, USA: John Wiley and Sons.

- Ambraseys, N.N. 1974. *Review of The Seismic Stability of The Borobudur Temple, Indonesia, Pelita Borobudur, Report CC/III/4/1974*, Jakarta: Depdikbud RI.
- Atmadi, P. 1979. *Beberapa Patokan Perencanaan Bangunan Candi, Pelita Borobudur, Seri C No. 2*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Balai Studi dan Konservasi Borobudur. 2000. *Laporan Penyelidikan Tanah untuk Penelitian Tanah Dasar Fondasi Candi Borobudur*. Laporan Studi. Magelang: Tidak Diterbitkan.
- Begemann, H.K.S., dan E. Hoogkamer. 1974. *Stability Calculations the Restoratoin of Borobudur, Report CC/III/2/1974*. Jakarta: Depdikbud RI.
- Bowles, J.E. 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soil*. Singapore: McGraw-Hill Int. Ed.
- Cahyandaru, N. 2012. *Material Konservasi pada Pemugaran Van Erp, 100 Tahun Pasca Pemugaran Candi Borobudur, Trilogi I: Menyelamatkan Kembali Candi Borobudur Edisi Kedua*. Magelang: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.
- Cedergren, H.R. 1977. *Seepage, Drainage and Flow Nets*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2004. *Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan akibat beban gempa*, Kep. Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah No. 360/KPTS/M/2004.
- Irsyam, M., W. Sengara, F. Aldinar, S. Widiyantoro, W. Triyono, D. Hilman, E. Kertapati, I. Meilano, A. Suhardjono, N. Asrurifak, dan M. Ridwan. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Marzuki, Y. dan Heraty, T. 1993. *Borobudur*. Jakarta: PT Penerbit Djambatan.
- Murwanto, H. 2011. *Situs Danau di Sekitar Bukit Borobudur, Jawa Tengah, 100 Tahun Pasca Pemugaran Candi Borobudur, Trilogi I: Menyelamatkan Kembali Candi Borobudur*, Magelang: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.
- Sampurno. 1969. *Penelitian Tanah Dasar Candi Borobudur, Pelita Borobudur, Report B no. 3*. Jakarta: Depdikbud RI.
- Soekmono, R. 1972, *Riwayat Usaha Penyelamatan Candi Borobudur, Report B No. 1*. Jakarta: Depdikbud RI.
- Sukandarrumidi. 1999. *Natural Cementation of Temple's Building Stone Case Study : The Borobudur Temple*, Journal Media Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Suryolelono, K.B. 2007. *Geotechnical Investigation of the Prambanan Temple after the May 27, 2006 Yogyakarta Earthquake, the Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006*. USA: Star Publishing.

Wangsadinata, W. dan A. Djayaputra, FX Toha dan I. Djati. *Stability of Candi Borobudur, Report CC/V/5/1976*. Jakarta: Depdikbud RI.

Wangsadinata, W. dan A. Djayaputra. 1977. *Report on The Possible Shrinkage and Swelling of The Borobudur Soil, Report CC/VI/4/1977*. Jakarta: Depdikbud RI.

Wangsadinata, W. dan A. Djayaputra. 1979. *Analitical Assessment of Seismic Risks for Candi Borobudur, Report CC/VIII/5/1979*. Jakarta: Depdikbud RI.

BIODATA PENULIS

Prof. Dr. Ir. Kabul Basah Suryolelono, Dip. H.E., D.E.A., lahir di Madiun pada tanggal 11 Februari 1946, setelah lulus SMA melanjutkan pada program sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada (JTSL FT UGM). Gelar insinyur diperolehnya tahun 1978 dan sejak itu menjadi asisten tetap di JTSL FT UGM. Tahun 1981 memperoleh Diploma Hydraulic Engineering (Dip. H.E.) dari The International Institute for Hydraulics and Environmental Engineering (IIHE) Delft, The Netherlands. Tahun 1988 mendapatkan Diplome d'Etudes Approfondies (D.E.A) dari Université Joseph Fourier Grenoble 1, Grenoble, France, dan tahun 1991 memperoleh Docteur Université di bidang geoteknik pada universitas yang sama. Jabatan utama sebagai Professor diperoleh pada tahun 2003. Aktif mengajar dan membimbing di JTSL FT UGM untuk program sarjana (S1), pasca sarjana (S2) dan doktor (S3) sampai sekarang, mengajar di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali tahun 1978-1980, dan mengajar di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram Lombok tahun 1993-1996. Sebagai wakil bidang akademis di JTSL FT UGM tahun 1982-1986, wakil bidang kemahasiswaan tahun 1996-1999, dan anggota BAN PT (Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi) tahun 2005-2010. Tahun 1995-2007, sebagai tenaga ahli pada Balai Studi dan Konservasi Candi Borobudur, Magelang, dan tahun 2006 pada BP3 DIY dalam menangani Prambanan pasca gempa tahun 2006.





MONITORING DEFORMASI CANDI BOROBUDUR DENGAN PENDEKATAN GEOMETRIK

Oleh:
Djawahir Fahrurrazi dan Dwi Lestari
Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

Intisari

Tulisan ini menyajikan uraian tentang program pemantauan deformasi candi Borobudur menggunakan pendekatan geometrik pascarestorasi candi tahun 1983. Selama dua dekade, pemantauan deformasi candi menggunakan metode sipat datar untuk memantau deformasi pada arah vertikal sementara metode poligon digunakan untuk memantau deformasi pada arah horizontal. Pemantauan deformasi candi dapat dibagi dalam dua periode, yaitu sebelum dan sesudah tahun 2000. Hasil pemantauan sebelum tahun 2000 menunjukkan terjadinya deformasi namun setelah dievaluasi secara seksama data besaran deformasi dinilai kurang meyakinkan karena prosedur pengamatan lapangan serta pengolahan data belum dilaksanakan secara baik menurut prosedur standar survei geodesi. Pasca tahun 2000 desain jaring kontrol diperbaiki dan teknologi Global Positioning Sistem (GPS) mulai diterapkan untuk memantau deformasi candi pada arah horizontal disamping metode jaring segitiga dan poligon, sedangkan metode sipat datar tetap digunakan untuk memantau deformasi candi pada arah vertikal.

PENDAHULUAN

Menyusul restorasi Candi Borobudur tahun 1973-1983, Balai Konservasi Borobudur mendesain beberapa program pemantauan deformasi candi. Salah satu program tersebut ialah pemantauan deformasi candi dengan metode sipat datar untuk memantau deformasi candi pada arah vertikal dan metode poligon untuk memantau deformasi candi pada arah

horizontal. Untuk keperluan pemantauan deformasi ini maka dipasang sejumlah 97 titik kontrol dengan sebaran 9 titik pada zona 1 halaman candi dan 88 titik pada bangunan candi. Sebanyak 88 titik kontrol tersebut terdistribusi pada Lorong I (36 titik), Lorong IV (20 titik), Plateau (8 titik), dan tangga candi (24 titik). Sejumlah 44 titik dari 88 titik kontrol

merupakan titik detil yang difungsikan sebagai titik pantau untuk deformasi vertikal dengan distribusi 20 titik pada dinding candi Lorong I, 12 titik pada dinding Lorong IV, 8 titik pada tangga *Arupadhatu*, dan 4 titik pada Lorong V.

Pengukuran sipat datar dan poligon dimulai pada tahun 1982 dengan rute pengukuran dari titik kontrol Pdi halaman candi, kira-kira 150 meter di sebelah barat laut Stupa. Titik P ini difungsikan sebagai titik referensi yang dianggap tetap baik posisi horizontal maupun vertikalnya. Pengukuran sipat datar dan poligon dilakukan pada jaring titik kontrol yang sama, sementara titik-titik pantau diukur dari atau “diikatkan” pada titik kontrol terdekat. Pengukuran sipat

datar dilakukan dengan alat ukur Topcon AT-G2 dan pengukuran poligon dilakukan dengan alat ukur Wild-T2 dan Total Station Sokkia Set 5E. Perhitungan atau pengolahan data pengukuran dilakukan secara manual yaitu dengan algoritma perhitungan tinggi untuk data sipat datar dan algoritma Bowdith untuk data poligon. Pengolahan data sipat datar menghasilkan data ketinggian atau posisi vertikal (H) dan pengolahan data poligon menghasilkan data posisi horizontal (X, Y) titik-titik kontrol dan titik-titik pantau. Pengukuran sipat datar dan poligon ini dilaksanakan secara berkala (tahunan) dan perbedaan data posisi vertikal dan horizontal antara dua epok pengamatan dianalisis untuk mengidentifikasi dan menilai deformasi candi yang terjadi. Pada tahun 1991 titik referensi P terlindas bulldozer sehingga posisinya berubah. Dengan posisi titik referensi P yang baru (setelah pemasangan tugu GPS, titik ini dikenal dengan nama titik E atau BORE), mulai tahun 1992 pemantauan deformasi candi dengan metode sipat datar dan poligon dilanjutkan secara periodik (tahunan).

Pada awal tahun 2000, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM bergabung dengan Balai Konservasi Peninggalan Borobudur dalam program pemantauan deformasi Candi Borobudur. Langkah pertama yang dilakukan ialah mengevaluasi metode pemantauan deformasi yang telah dilakukan. Evaluasi menyimpulkan bahwa beberapa teknik dan prosedur pengamatan lapangan serta pengolahan data belum dilaksanakan secara sempurna menurut prosedur standar survei



Pengukuran titik poligon menggunakan teodolit

geodesi seperti pendefinisian titik datum, desain jaring kontrol, peralatan survei, pengolahan dan analisis data. Solusi yang kemudian diusulkan ialah:

1. Perbaikan desain jaring kontrol, baik untuk pemantauan deformasi vertikal maupun horizontal;
2. Melanjutkan program lama (sipat datar) dengan perbaikan peralatan dan penggunaan metode jaring segitiga untuk menggantikan metode poligon;
3. Penggunaan metode baru yaitu GPS dan fotogrametri jarak dekat dan/atau *laser scanning*.

Diusulkan pula agar dilakukan analisis deformasi candi menggunakan model deformasi standar berdasarkan data sipat datar dan poligon yang ada.

EVALUASI DEFORMASI CANDI TAHUN 1982-2000

Deformasi candi yang berlangsung dari tahun 1982 sampai 2000 dapat dilihat dari hasil evaluasi/penelitian yang dilakukan oleh Siswoyo dkk. (2000), Thohir (2000), dan Variawati (2000). Berdasarkan data pengamatan sipat datar dan poligon selama 19 tahun dari tahun 1982-2001, Siswoyo dkk. mengevaluasi deformasi horizontal dan vertikal delapan titik pantau, empat titik di masing-masing pojok Lorong I dan empat titik di masing-masing pojok Lorong IV. Dari analisis regresi terhadap perubahan posisi titik-titik pantau dari tahun ke

tahun, diperoleh kesimpulan bahwa deformasi horizontal dan vertikal rerata yang terjadi pada kedelapan titik pantau bervariasi dalam besar maupun arahnya seperti disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Deformasi pada titik-titik pojok Lorong I dan Lorong IV dari tahun 1982 sampai 2000

Titik pojok	Horizontal		Vertikal (mm)
	Magniude (mm)	Arah (U-T) (derajat)	
Selatan-BaratL I	3,82	147,96	-0,22
Utara-Barat L I	5,06	270,27	+1,14
Utara-Timur L I	7,23	170,96	-7,14
Selatan-Timur L I	4,28	268,34	+2,03
Selatan-BaratL IV	7,56	260,61	+5,56
Utara-Barat L IV	9,97	169,72	+6,79
Utara-Timur L IV	1,35	45,75	+3,36
Selatan-Timur L IV	5,56	262,09	-0,77

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa deformasi horizontal selama 19 tahun bervariasi antara 1,35 mm (terkecil) sampai 9,97 mm (terbesar), sementara deformasi vertikal bervariasi dari -7,14 mm (turun) sampai +6,79 mm (naik).

Deformasi horizontal candi juga dikaji oleh Thohir (2000) dengan mengambil sampel data pengukuran poligon epok 1992 dan 1995. Jaring poligon yang dievaluasi terdiri dari 12 titik yang diikatkan pada dua titik referensi (titik I dan titik II) di zona1 halaman candi. Perataan kuadrat terkecil dilakukan terhadap masing-masing data epok 1992 dan 1995 untuk menghitung koordinat titik-titik poligon beserta varian-kovariansinya. Dari analisis statistik terhadap kedua himpunan

data koordinat beserta varian-kovariansinya disimpulkan bahwa tidak ada pergeseran atau deformasi horizontal yang signifikan pada 12 titik poligon selama 3 tahun, dari 1992 sampai 1995.

Deformasi vertikal candi juga dikaji oleh Variawati (2000) dengan mengambil sampel data pengamatan sipat datar epok 1994 dan 1999 yang meliputi jaring 83 titik. Perataan kuadrat terkecil dilakukan terhadap masing-masing data epok 1994 dan 1999 dengan titik V (depan tangga utara halaman candi) sebagai referensi yang dianggap tetap. Hitung perataan ini menghasilkan data posisi vertikal ke 83 titik beserta besaran varian-kovariansinya. Pergeseran atau deformasi vertikal dalam selang waktu 5 tahun pada titik-titik tersebut kemudian dievaluasi dengan menggunakan model kinematik (Bolodimos, 1994). Kesimpulan yang diperoleh ialah terdapat 38 titik yang bergeser (turun) secara signifikan dengan variasi penurunan antara -10 mm sampai -22 mm. Angka-angka ini mengejutkan banyak orang. Namun kemudian hasil kajian ini dinilai tidak cukup handal setelah disadari bahwa desain jaring sipat datar tidak cukup baik, terutama desain titik pengamatan (*turning point*) yang tidak sesuai standar dan pengukuran sipat datar tidak menggunakan rambu invar.

PERBAIKAN DESAIN JARING KONTROL

Aplikasi teknologi GPS untuk memantau deformasi struktur (candi) mensyaratkan suatu desain jaring kontrol yang handal. Persyaratan

geometrik bagi jaring kontrol horizontal khususnya jaring kontrol GPS berbeda dari jaring kontrol sipat datar. Pemasangan jaring kontrol GPS untuk pemantauan deformasi Candi Borobudur dilaksanakan pada bulan Agustus 2000. Jaring kontrol ini terdiri dari 9 titik dengan sebaran 4 titik pada zona 2 halaman candi, satu titik pada zona 1 halaman candi, dan 4 titik pada Plateau. Keempat titik pada zona 2 halaman candi ditandai dengan pilar beton konstruksi standar tipe NRC. Sketsa jaring kontrol GPS disajikan pada Gambar 3.

Evaluasi terhadap jaring sipat datar pada tahun 2000 merekomendasikan untuk memperbaiki jaring kontrol sipat datar, termasuk desain titik kontrol (*turning point*). Perbaikan desain jaring sipat datar ini selesai pada September 2002, meliputi 53 titik kontrol dengan sebaran 9 titik pada zona 1 halaman candi, 4 titik pada *encasement*, 32 titik pada keempat Lorong (masing-masing lorong 8 titik), dan 8 titik pada Lorong V (Plateau). Sketsa jaring kontrol sipat datar disajikan pada Gambar 2.

Selain GPS dan metode sipat datar, metode jaring segitiga dan poligon juga diprogramkan untuk memantau deformasi horizontal. Untuk keperluan ini maka 8 titik jaring sipat datar pada zona 1 halaman candi difungsikan sebagai bagian dari jaring segitiga, sedangkan titik yang ke-9 dipasang pada Stupa. Dengan demikian maka jaring segitiga berupa suatu bangun *central figure* dengan delapan segitiga dan titik pusatnya pada stupa. Sementara itu jaring poligon terdiri dari 59 titik yang tersebar di zona 1 halaman candi, Lorong I, dan Lorong

V. Delapan titik poligon di halaman candi juga merupakan titik-titik jaring segitiga. Peta jaring kontrol segitiga dan poligon disajikan pada Gambar 1.

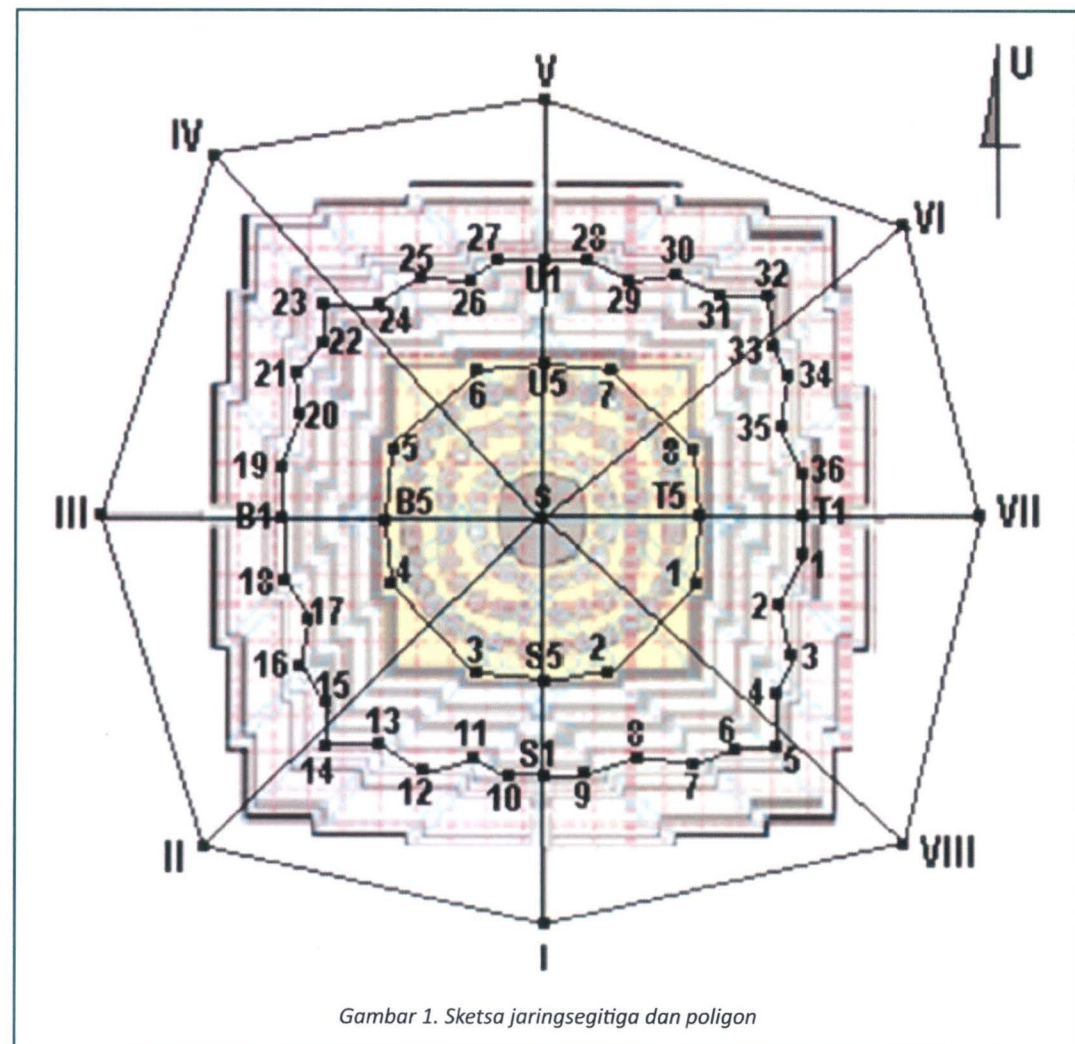
EVALUASI DEFORMASI CANDI PASCA 2000

Metode Jaring Segitiga Dan Poligon

Mulai tahun 2001 metode jaring segitiga diterapkan untuk memantau deformasi horizontal candi. Widyaningsih (2006) mengkaji deformasi horizontal candi dengan mengambil sampel data pengukuran jaring segitiga epok 2001, 2001, dan 2004. Seperti disebutkan di depan, jaring segitiga terdiri dari 9 titik dengan sebaran 8 titik di zona 1 halaman candi dan satu titik S di Stupa (lihat Gambar 1). Besaran yang diukur dengan teodolit Wild T2 ialah 24 sudut dalam jaring segitiga dan jarak serta azimuth sisi I-II. Analisis terhadap hasil perataan metode *minimal constraint* dengan titik I dan jarak serta azimuth sisi I-II sebagai referensi memberikan kesimpulan bahwa selama 3 tahun, antara tahun 2001 sampai 2004, titik S mengalami pergeseran rerata kearah sumbu X sebesar $+0,078 \pm 0,013$ mm/bulan dan kearah sumbu Y sebesar $+0,036 \pm 0,012$ mm/bulan.

Evaluasi pergeseran horizontal dengan metode poligon dilakukan pada titik-titik kontrol di lorong-lorong candi seperti yang dilakukan oleh Sumarno (2012). Evaluasi dilakukan berdasarkan data pengamatan jarak dan sudut

horizontal jaring poligon pada tahun 2004, 2006, dan 2008. Poligon yang dievaluasi terdiri dari 59 titik yang tersebar di zona 1 halaman candi, Lorong I, dan Lorong V (lihat Gambar 1). Berdasarkan uji statistik dengan tingkat kepercayaan 99% pada hasil hitungan perataan disimpulkan tidak ada kesalahan kasar pada ukuran sehingga estimasi posisi titik-titik untuk masing-masing titik pantau dapat diterima. Hasil



Gambar 1. Sketsa jaring segitiga dan poligon

analisis uji pergeseran titik menerangkan bahwa semua titik kontrol tidak mengalami pergeseran secara signifikan.

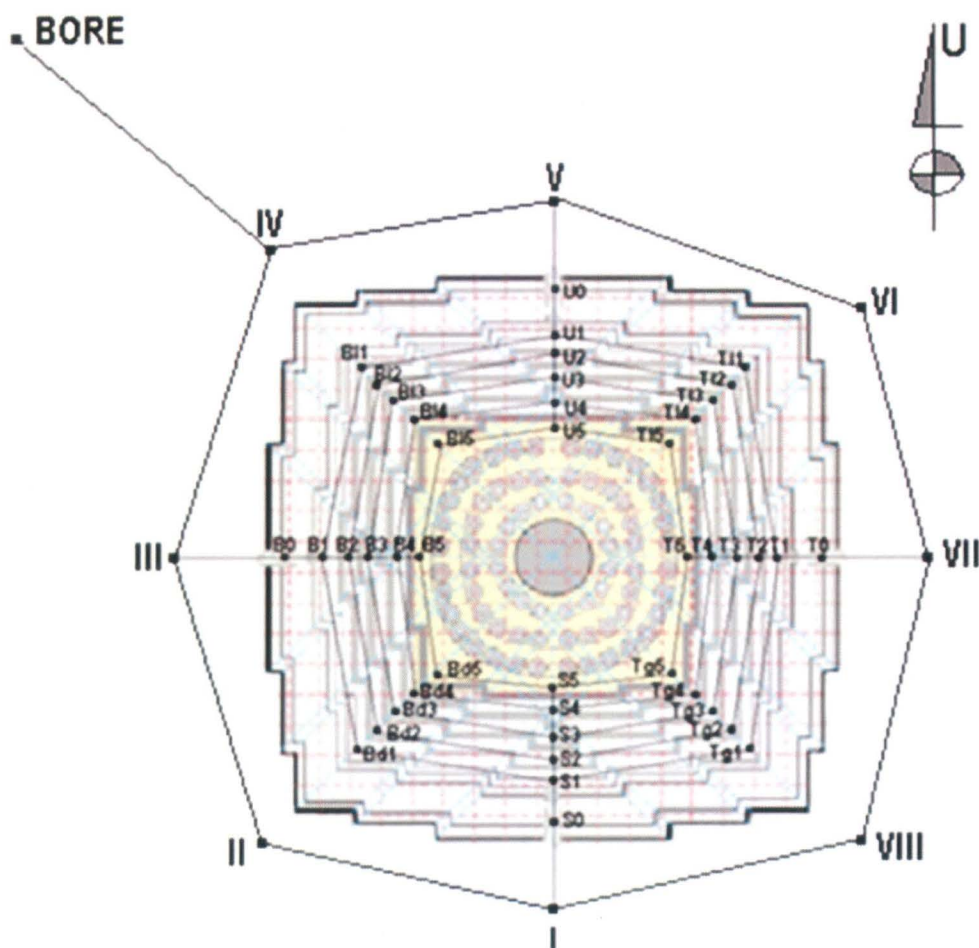
Metode Sipat Datar

Koesumakristi (2005) melakukan evaluasi perpindahan vertikal data pengamatan sipat

datar tahun 2002, 2003, dan 2004 pada jaring kontrol vertikal yang sudah diperbarui. Hasilnya adalah dalam kurun waktu November 2002 sampai November 2003, Candi Borobudur mengalami kenaikan rerata sebesar 2,245 mm dengan rerata kecepatan 0,187 mm/bulan, kurun waktu November 2003 – November 2004 di sisi Timur, Tenggara, Selatan dan Barat Daya candi mengalami kenaikan rerata sebesar 0,815 mm dengan rerata kecepatan 0,068 mm/bulan, sedangkan sisi lainnya relatif stabil. Secara umum kurun 2002-2004 candi mengalami kenaikan rerata 2,551 mm dengan kecepatan 0,106 mm per bulan.

Metode GPS

Dibandingkan dengan metode teristris, metode pengukuran dengan GPS mempunyai kelebihan antara lain dapat diperoleh posisi 3D secara langsung, antar titik GPS yang satu dengan yang lain tidak perlu saling terlihat, pengukuran tidak tergantung cuaca, dan dengan tersedianya data pengamatan GPS di stasiun-stasiun global secara kontinyu, titik-titik pengamatan GPS lokal dapat dihubungkan ke sistem acuan global. Pengukuran GPS pertama kali dilakukan pada Agustus 2001 menggunakan tiga receiver Leica *single frequency* dengan tujuan untuk menguji kekuatan jaring GPS (Ma'ruf, dkk., 2001). Pada pengukuran ini ditentukan posisi sembilan titik GPS A (BORA), B (BORB), C (BORC), D (BORD), E (BORE), F (BOSW), G(BONW), H(BONE), dan I(BOSE) (lihat Gambar 3).

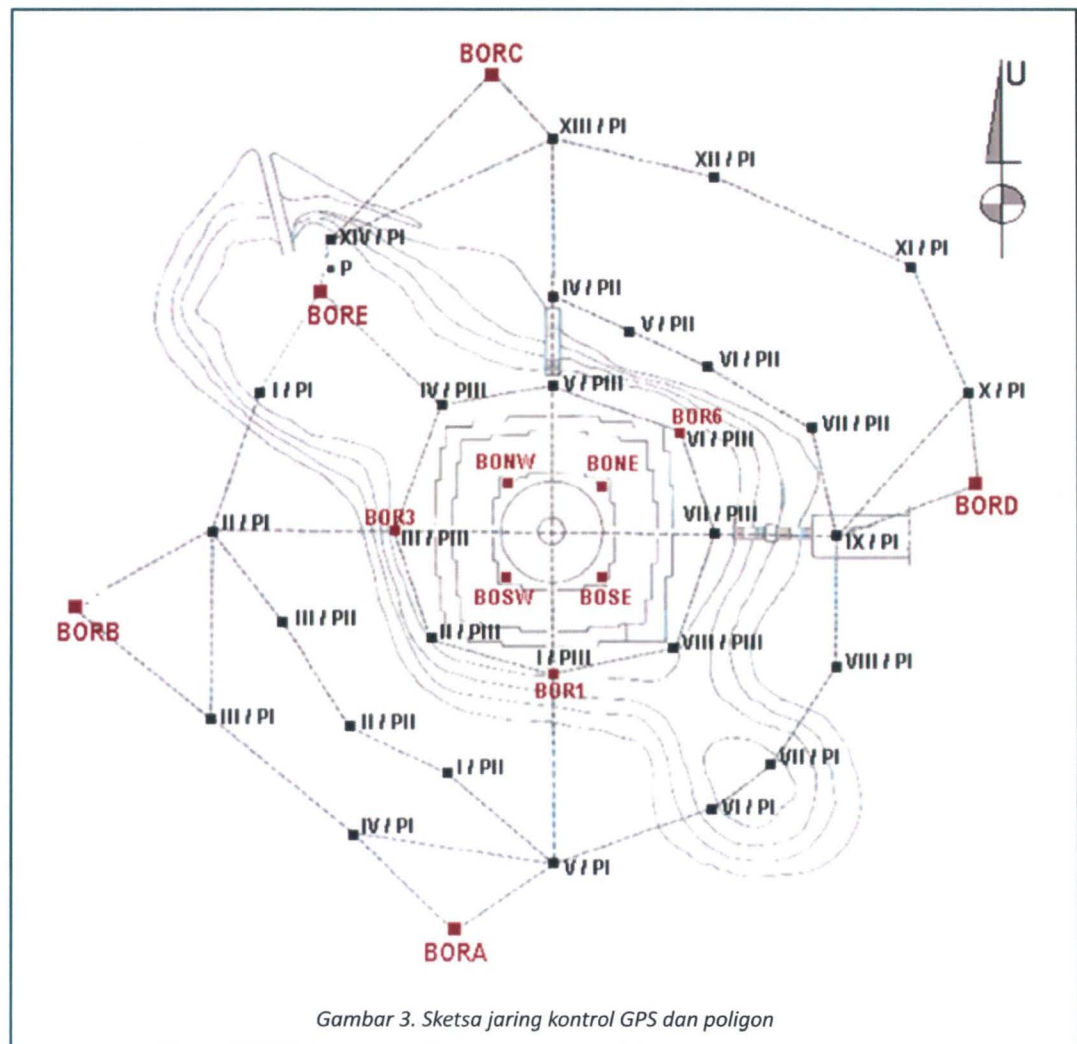


Gambar 2. Sketsa jaring sipat datar

Pengukuran dan studi awal pemanfaatan teknologi GPS untuk pemantauan stabilitas candi dilakukan pada tahun 2002 dan 2003 (Lestari, 2006). Pada studi ini, pengukuran GPS tidak hanya dilakukan di sembilan titik GPS yang ada, namun ditambahkan tiga titik lagi di halaman candi (Poligon III) yang diperlakukan sebagai titik GPS. Pengukuran tahun 2002 dilakukan dengan menggunakan receiver GPS *dual frequency* Leica CRS1000 dengan antenna *chokering* (tipe AT504) dan Leica SR530 dengan antenna tipe AT502, sedangkan pengukuran tahun 2003 menggunakan receiver Leica MC500 dan Leica SR530 dengan antenna tipe *chokering* (AT504) dan antenna tipe AT502 yang dipasang di 8 titik secara simultan. Jumlah titik GPS yang diamat sebanyak 12 titik dengan distribusi 4 titik di area taman candi (Zona 2), 4 titik di halaman candi (termasuk BORE), dan 4 titik di lorong stupa. Pemberian identitas nama titik-titik kontrol GPS dan distribusinya disajikan pada Gambar 3. Adapun metode pengamatan yang digunakan adalah metode statik secara kontinyu selama 8 hari berturut-turut untuk titik-titik kontrol di taman (BORA, BORB, BORC, BORD) dan 4 hari untuk titik-titik kontrol di halaman candi (BOR1, BOR3, BORE, BOR6) dan 4 hari untuk titik di lorong stupa (BOSE, BOSW, BONW, BONE).

Hasil pengamatan GPS kemudian diolah menggunakan perangkat lunak saintifik (GAMIT) untuk menentukan posisi titik-titik kontrol. Prosedur pengolahan dilakukan dalam dua tahapan utama, pertama adalah mengolah titik-titik GPS BORA, BORB, BORC, BORD dengan

pengikatan ke titik-titik IGS terdekat, yaitu BAKO (Bakosurtanal), COCO (Cocos Island), KARR, JAB1, DARW (Australia) dan NTUS (Singapore). Setelah posisi empat titik di taman diperoleh, selanjutnya titik-titik tersebut dijadikan titik-titik ikat pada tahapan pengolahan kedua untuk menentukan posisi titik-titik GPS di halaman dan lorong stupa. Posisi 12 titik GPS dalam sistem Kartesian 3D mengacu pada ITRF2000



disajikan pada Tabel 2 dan 3. Hasil studi ini menunjukkan bahwa desain survei GPS yang dilakukan sudah dapat memberikan informasi posisi titik-titik pantau dengan tingkat ketelitian mendekati 1 mm untuk posisi horisontal dan 2-3 mm pada posisi vertikal, relatif terhadap jaring kontrol fidusial regional. Ketelitian ini relatif lebih baik dibandingkan dengan ketelitian hasil pengukuran metode terestrial yang lain, disamping waktu pengukuran yang lebih pendek

Berdasarkan analisis pergeseran 12 titik GPS untuk selang waktuantara Oktober 2002 dan Oktober 2003, uji statistik dengan tingkat kepercayaan 95% menyatakan empat titik GPS di taman (BORA, BORB, BORC, dan BORD) tidak mengalami pergerakan internal arah horisontal

maupun vertikal, sehingga dapat disimpulkan dalam kondisi stabil. Perbedaan posisi horisontal yang terpantau lebih disebabkan oleh faktor eksternal, yaitu aktivitas lempeng tektonik Blok Sunda yang berupa pergerakan serentak ke arah Tenggara (Lestari, 2006). Sementara itu, untuk titik-titik di halaman maupun di stupa diidentifikasi mengalami pergerakan internal posisi horisontal yang cukup signifikan (dalam fraksi centimeter) ke arah utara namun tidak signifikan untuk arah timur. Titik-titik ini juga mengalami penurunan yang signifikan (kecuali titik BORE, BONE dan BOSE) dalam fraksi 1 s.d. 4 cm. Meskipun demikian data pergeseran tersebut belum diyakini sebagai akibat dari deformasi candi. Pergerakan vertikal titik-titik BOR1, BOR3 dan BOR6 kemungkinan disebabkan oleh kondisi lokasi titik-titik yang tidak stabil (dekat lereng bukit) dan desain pemasangannya tidak cukup “aman” seperti desain sembilan titik GPS yang lain. Hasil studi ini masih belum final karena masih memerlukan analisis lebih mendalam untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya deformasi candi dan merumuskan model deformasi candi. Kondisi ini memerlukan penambahan data pengamatan epok baru untuk meningkatkan kehandalan hasil analisisnya.

Pengukuran GPS untuk epoh ke-3 sudah dilaksanakan pada bulan Juli 2012. Saat ini proses pengolahan data sedang berjalan. Analisis deformasi 3D dari data pengamatan GPS akan dilakukan kembali untuk mengevaluasi stabilitas titik-titik kontrol GPS yang terpasang di tubuh candi.

Point	X(m)	Y(m)	Z(m)	$\sigma_x(m)$	$\sigma_y(m)$	$\sigma_z(m)$
BORA	-2183526.0539	5933589.5150	-839076.2343	0.0020	0.0037	0.0011
BORB	-2183339.6359	5933688.7469	-838881.7076	0.0021	0.0037	0.0011
BORC	-2183587.6861	5933636.9468	-838627.5204	0.0029	0.0053	0.0014
BORD	-2183796.1080	5933529.8756	-838816.1678	0.0021	0.0035	0.0010
Rerata:				0.0024	0.0040	0.0012
BOR1	-2183592.6629	5933607.3651	-838931.0424	0.0019	0.0017	0.0006
BOR3	-2183522.4787	5933643.2794	-838859.5112	0.0021	0.0019	0.0007
BOR6	-2183659.5130	5933600.2717	-838808.2978	0.0028	0.0027	0.0002
BORE	-2183494.3969	5933668.5975	-838751.4061	0.0022	0.0020	0.0008
BONW	-2183582.3630	5933643.2958	-838839.0600	0.0018	0.0015	0.0005
BONE	-2183623.6883	5933628.0078	-838839.4940	0.0020	0.0016	0.0006
BOSE	-2183621.5755	5933622.5568	-838883.5066	0.0018	0.0015	0.0006
BOSW	-2183579.9217	5933637.7819	-838884.4790	0.0019	0.0016	0.0006
Rerata:				0.0021	0.0018	0.0006

Tabel 2. Koordinat titik-titik GPS pengamatan tahun 2002 (Lestari, 2006)

Tabel 3. Koordinat titik-titik GPS pengamatan tahun 2003 (Lestari, 2006)

Point	X(m)	Y(m)	Z(m)	$\sigma_x(m)$	$\sigma_y(m)$	$\sigma_z(m)$
BORA	- 2183526.0761	5933589.5028	-839076.2413	0.0016	0.0022	0.0011
BORB	- 2183339.6591	5933688.7401	-838881.7179	0.0018	0.0026	0.0012
BORC	- 2183587.7105	5933636.9274	-838627.5306	0.0017	0.0023	0.0011
BORD	- 2183796.1287	5933529.8723	-838816.1759	0.0016	0.0021	0.0011
Rerata:				0.0017	0.0023	0.0011
BOR1	- 2183592.6784	5933607.3294	-838931.0343	0.0013	0.0012	0.0004
BOR3	- 2183522.4866	5933643.2242	-838859.5020	0.0016	0.0014	0.0005
BOR6	- 2183659.5398	5933600.2520	-838808.2849	0.0029	0.0026	0.0012
BORE	- 2183494.4197	5933668.5948	-838751.4028	0.0019	0.0017	0.0007
BONW	- 2183582.3903	5933643.2737	-838839.0532	0.0012	0.0010	0.0004
BONE	- 2183623.7133	5933627.9892	-838839.4952	0.0015	0.0014	0.0005
BOSE	- 2183621.5967	5933622.5436	-838883.50609	0.0014	0.0013	0.0005
BOSW	- 2183579.9512	5933637.7692	-838884.4775	0.0014	0.0012	0.0005
Rerata:				0.0016	0.0015	0.0006

KESIMPULAN

Secara umum pemantauan deformasi Candi Borobudur pascapemugaran 1983 dengan pendekatan geometrik menyimpulkan:

1. Candi Borobudur masih dalam status aman ditilik dari data perubahan posisi titik-titik kontrol yang terpantau ternyata tidak menunjukkan deformasi yang signifikan.
2. Metode GPS memberikan ketelitian hasil pengamatan yang memadai dengan waktu pengamatan yang jauh lebih singkat dibandingkan dengan pengamatan metode terestrial.
3. Empat titik yang berada di area taman candi dalam posisi stabil, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai titik kontrol acuan dalam pemantauan deformasi candi selanjutnya.
4. Pengikatan jaring kontrol GPS Candi Borobudur ke titik-titik referensi geodetik global maupun regional digunakan untuk menganalisis komponen perubahan posisi jaring kontrol GPS secara global.
5. Penambahan epok pengamatan GPS diperlukan untuk meningkatkan kehandalan hasil analisis deformasi candi.

DAFTAR PUSTAKA

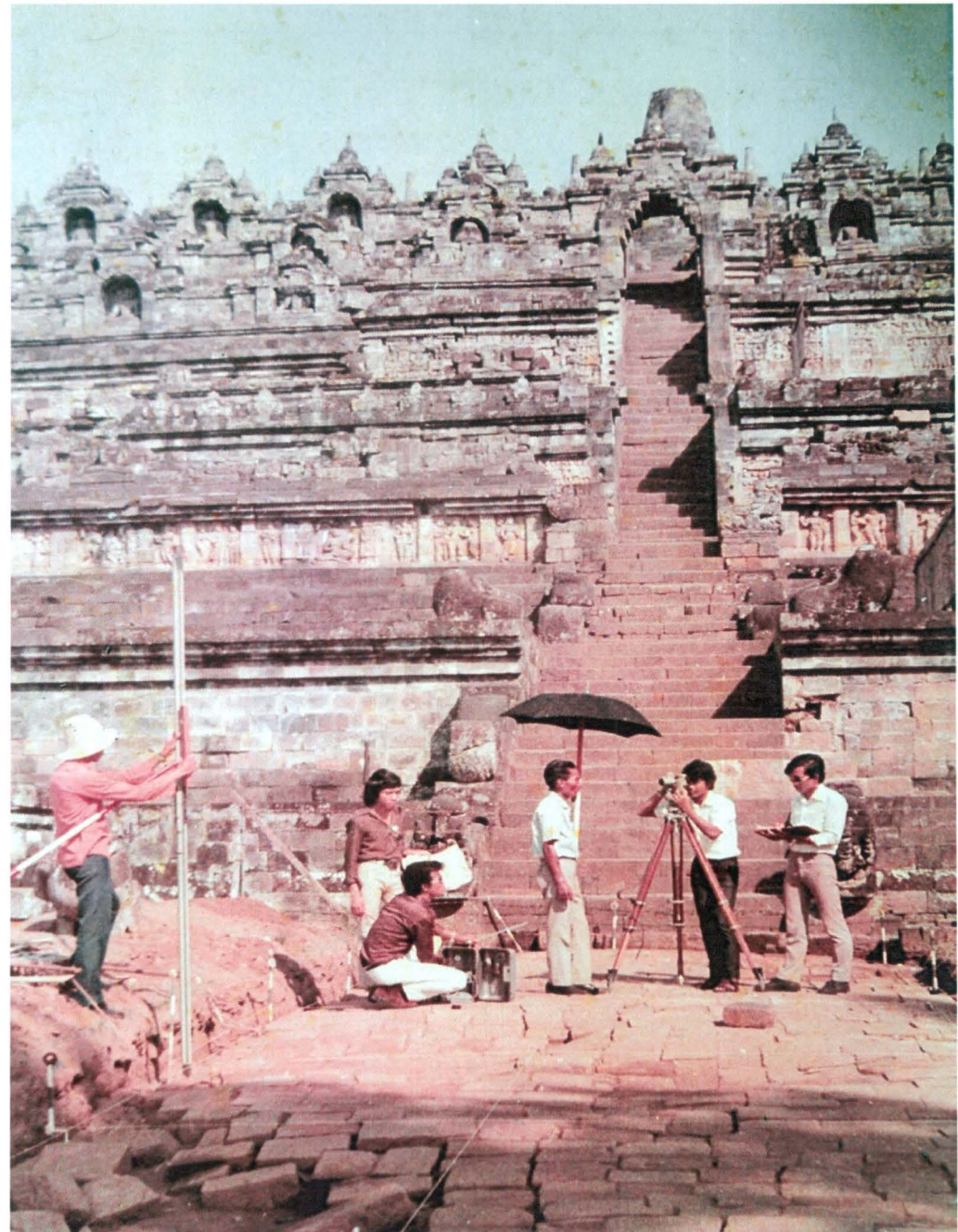
- Fahrurrazi, D. dkk. 2003. *Report on the Monitoring of Borobudur Temple Deformation using Geometric Approach*. The Fourth International Experts Meeting on Borobudur, July, 4-8, 2003, Borobudur, Magelang.
- Lestari, D. 2006. *GPS Study for Resolving The Stability of Borobudur Temple Site*, ME Thesis, School of Surveying & SIS, UNSW. Sydney.
- Ma'ruf, B., Djawahir, Sunantyo, A., Parseno, Widjajanti, N., Yulaikhah, Nasihun, M., Armein, F., & Zaim, M., 2001, *Pengadaan Jaring Kontrol Deformasi dengan Menggunakan GPS di Kawasan Candi Borobudur*, Jurnal Surveying & Geodesi, Vol. XI. No. 2, Mei 2001, Jurusan Teknik Geodesi ITB. Bandung.
- Sumarno, G. 2012. *Analisis Pergeseran Horizontal Candi Borobudur Berdasarkan Data Pengamatan Tahun 2004, 2006, dan 2008*, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Thohir, M. 2000. *Studi Deformasi Status Geometrik Dua Dimensi pada Candi Borobudur*, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Variawati. 2000. *Studi Penentuan Gerakan Vertikal pada Candi Borobudur*, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Widyaningsih, R. 2006 *Evaluasi Hitungan Perataan Jaring Triangulasi Candi Borobudur*, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta

BIODATA PENULIS

Ir. Djawahir Fahrurrazi, M.T, lahir di Magelang pada 9 Oktober 1950. Pendidikan S1 di tempuh di jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM tahun 1979 dan S2 Geodetic Science di Ohio State University USA tahun 1985. Menjadi dosen di jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM sejak tahun 1977 sampai sekarang. Banyak menekuni bidang ilmu Geodesi untuk aplikasi astronomi dan Space Geodesy. Saat ini tercatat sebagai anggota Badan Hisab dan Rukyat Kementerian Agama DIY. Aktif dalam diskusi dan studi tentang monitoring Candi Borobudur ditinjau dari aspek Geodetik bersama Balai Konservasi Borobudur sejak tahun 2000.

Dwi Lestari, S.T, M.E, menyelesaikan pendidikan S1 pada tahun 1998 di jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM. Mendapatkan beasiswa ADS untuk program master di University of New south Wales Australia pada tahun 2002-2006 dengan judul Tesis *GPS Study for Resolving the Stability of Borobudur Temple Site*. Mendalami keahlian dalam bidang *deformation study geodinamic geodesy*, dan *GNSS application*. Saat ini menjadi dosen di jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM.



Pengukuran titik poligon menggunakan teodolit



CANDI BOROBUDUR: STONE DEGRADATION MECHANISMS AND CONSERVATION METHODOLOGY

By:
Costantino Meucci
Scientific Adviser
University of Rome

INTRODUCTION

The 2006 survey made it possible noticing that some of the chemical and chemical-physical alteration mechanisms were active, also contributing to increase the stone degradation rate. All alteration patterns observed on the stone blocks, such as scaling, pustules, cementation and efflorescence, can be referred both to the chemical action of rainwater and to the mechanical stresses induced by the environment. In order to define the degradation mechanism and to individuate the best conservation treatment, several samples were taken from different locations on the Temple (Table 1) also taking into account the orientation, while six original stone fragments labeled with letters from A to F, with different color and texture were collected both as reference samples and to carry out the conservation test. Several monitoring activities were contemporary planned and carried out by the local team to

Side	Panel N°	Kind of sample	Terrace		
			1 st	2 nd	4 th
North	58	Cementation			T4 D-17
	91	Efflorescence	T1 F-1		
	91	Alveolus	T1 F-2		
	91/57	Patina	T1F-3		T4 D-21
West	58	Stone		T2 J-16	
	28	Cementation			T4 A-18
	51	Efflorescence		T2 A-11	
	5	Alveolus	T1 A-9		
	51	Patina	T1 C-10		
	51	Stone		T2 A-12	
South	18	Cementation	T1 A-7		
	43/17	Efflorescence	T1 J-8		T4 C-22
	41	Alveolus		T2 H-13	
	18	Patina			T4 C-19
	45	Stone		T2 J-14	
East	13	Cementation		T2 J-15	
	109	Efflorescence	T1 A-5		
	66	Alveolus			T4 A-20
	109	Patina	T1 A-4		
	109	Stone	T1 A-6		
	13	Patina	T1F-1, 2		

Table 1. List of samples

verify the trend of the degradation processes (Meucci 2006).

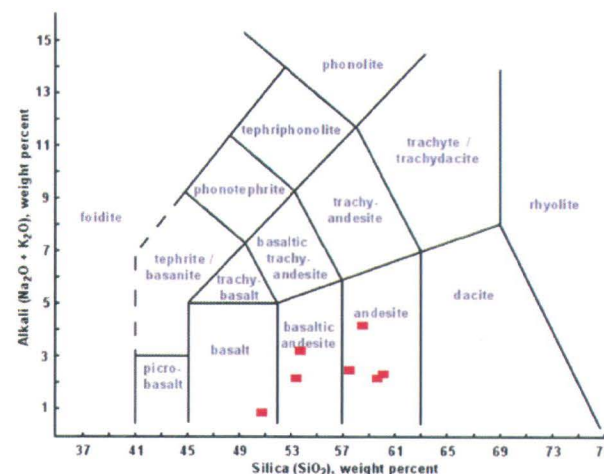
STONE CHARACTERIZATION AND DEGRADATION MECHANISMS

The stones employed for the building show similar mineralogical and petrographic composition owing to the same provenance from the Merapi Volcano district; however, their textural characteristics slightly vary according to the peculiarities of the deposition mechanism that influences the properties of the rock in term of porosity, crystal size and shape, as well as the color of the matrix. Petrography and mineralogical analyses show that the stone matrix is constituted by a mixture of amorphous hyaline glass highly vacuolated and of minute crystals of pyroxenes and plagioclases; reddish-brown aggregates of iron oxides are present in different concentration determining the color of the stones. The skeleton is mainly made of plagioclase crystals (Figure 1), which pertain to the albite-andesine series, and of augite; olivine is also present often in association with magnetite and ilmenite, while muscovite is generally present as isolated pale brown flakes. The chemical quantitative analyses performed by SEM/EDS show that all samples pertain to the andesite-andesitic basalt (Figure 2) confirming the common origin of the building stones. The mineralogical composition of the reference stones (Table 2) shows that albite is the most abundant plagioclase often in association with oligoclase and andesine, confirming that the



Figure 1. x40; Crossed Nichols. Stone texture showing simply geminated plagioclase crystals and olivine crystals including opaque minerals.

Figure 2. TAS chart showing the location of some of the analyzed stone samples



calcium content of the crystalline fraction is low. The pyroxene fraction is referable to augite, while olivine is generally ferric fayalite. Finally, the presence in the matrix of small quantities of hematite explains the marked reddish-brown color of the matrix of all stones except samples B and D that are gray, owing to the presence in the matrix of magnetite and ilmenite crystals that are black opaque minerals.

Comparing the mineralogical composition of the degraded stone samples with that of the reference stones allows verifying the presence in the degradation samples of high concentration of calcite and dolomite. XRD analyses also confirm that calcite is the most abundant component among the new compounds, but also show that different carbonates, such as siderite and dolomite, formed owing to the degradation mechanisms. While dolomite might be produced by the chemical degradation of pyroxenes induced by the circulating carbonic

Table 2. Mineralogical composition of the reference stones

Stone	Plagioclase	Pyroxene	Olivine	Opaque Minerals	Micas	Glass
A	Ab - An	Au		Ma - Il - Ox	Mu	Hy
B	An	Au		Ox		
C	Ab - An	Au	Ol	Ma - Il - Ox	Mu	Hy
D	Ab - An	Au	Ol	Ma - Il - Ox	Mu	
E	An	Au	Ol	Ma - Il - Ox	Mu	Hy
F	Ab - Olg - An	Au	Ol	Ma - Il - Ox	Mu	Hy

Legend: Ab=Albite; An=Andesine; Olg=Oligoclase; Au=Augite; Ol=Olivine; Ma=Magnetite; Il=Ilmenite; Ox=Iron Oxides; Mu=Muscovite; Hy=Hyaline Glass.

solutions, and siderite may results from the reaction of iron compounds with hydrocarbon ions, the presence of calcite is anomalous because of the low calcium concentration detected in the reference stones.

From the chemical point of view, all alterations may be referred to the salt crystallization processes both inside the stone porosity and to the external surfaces, but the deposition mechanisms slightly differ owing to the salt composition and sun exposure. The petrographic analyses show that only calcite crusts affect the stone surfaces, but the peculiar shape of this layer makes it possible to hypothesize different deposition mechanism: sample T2J-16a shows a multilayered crust (Figure 3) where calcite crystals are compact and transparent, because the deposition occurred in a relatively long time owing to the continuous flowing of calcium hydrocarbon solutions from the inside of the stone blocs. On the contrary, the deposition of microcrystalline calcite implies that the solutions occasionally wet the stones and quickly evaporate producing a softer and lesser compact white efflorescence. The unusual

data is the presence in all samples related to the deterioration processes of traces of ettringite, the calcium aluminum sulfate hydroxide, whose formula is $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26(\text{H}_2\text{O})$, which forms in the Portland cement during the setting of the concrete and that represents one of the most dangerous causes of degradation of the reinforced concrete structures in contact with water (Collepardi 1993). The damages are due both to the increasing of the molecular volume of the ettringite crystals due to the high number of bound water molecules, and to its solubility. Thus, the occurrence of ettringite in the analyzed samples explains the heavy decay of the stones. On the other hand, no different sulfate compounds were detected by XRD analyses, so that the high content of sulfates in some of the samples tested by HPLC technique can be ascribed to the presence of this compound.

Observing the trend of the salt concentrations (Figure 4) allows verifying that sulfates mainly concentrate in pustules while are very low in the detached chips of stone. The chloride content is constant in all samples taken from the degraded surfaces confirming its provenance from the



Figure 3. Sample T2J-16a; x100, Nichols +. The crust of calcite is due to several deposition mechanisms.

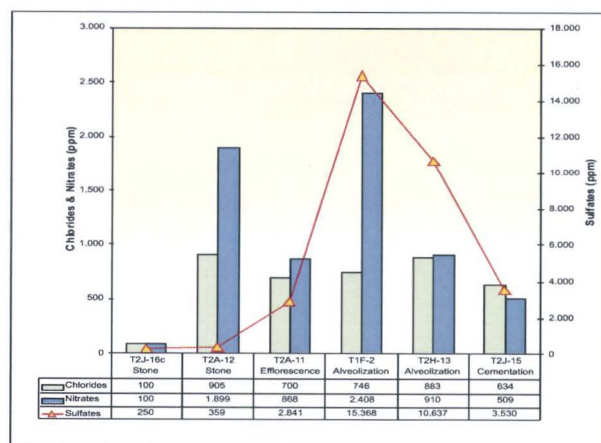


Figure 4. Distribution of soluble salts in the degradation samples.

environment, whilst nitrate concentration varies according to the biological pollution of the surfaces. The ionic concentration increases in the efflorescence since the evaporation of the solutions deposits a thin layer of salts, which are easily removed by both the rains and running waters, reducing the compactness and the thickness of the layer. On the contrary, when the evaporation rate is higher and the salts crystallize inside the stone porosity, the ion concentrations increase according to the solubility of the salts. Taking into account the solubility of each ion makes it possible to hypothesize that crystalline sulfates form inside the pustules while chlorides and nitrates preferably deposit outside. The cementation crusts contain low quantities of the most soluble anions because the flowing of the saline solutions through the stone fissures and the failures between the blocks favors the precipitation of calcium carbonate and sulfates, while nitrates and chlorides deposit as efflorescence. FTIR analysis of the efflorescence

sample T1F-1 confirms this hypothesis because of the lack of calcite and the contemporary presence of nitrates and ettringite.

As regard as the presence of calcium oxalates, which crystallize both as whewellite and weddellite, we notice that they can have a double origin to be related to the degradation of the organic components of the restoration patinas and to the metabolic activity of lichens as well. The restoration made by van Erp was probably accomplished using first a phosphoric acid solution to clean the surface, as the Ransom method suggests and the traces of phosphorus in the patina samples prove; this cleaning treatment aimed to remove all organic and inorganic contaminants from the surfaces in order to increase the adhesion of the patina to the stone, but do not avoid that lichens growth again. Nevertheless, the absence of lichens on the sculptured panel induces to accept that the oxalate compounds, which are minority components of the artificial restoration patinas, originate from the ancient conservation treatments. Thus, the characterization of the patina layers was necessary both in order to recognize the real nature of the van Erp treatment already known to be a mixture of clay, lime and yellow ochre (Anom 2005) and to ascertain the role that the film plays in the degradation since each material layered on the stone surface changes the substratum porosity modifying the water exchange mechanism. The direct observation of the sculptures shows a thin bright film directly applied on the yellow layer, whose hardness and transparency recall the orange-

yellow patinas that cover many of the ancient stone monuments in Europe. It is to be noticed that from the second half of the XIX century the members of the *Society for the Protection of Ancient Buildings*, like J. Ruskin, W. Morris and F. Ransom, used to apply on the degraded monuments calcium hydroxide and soluble silicate solutions to improve the hardness and the water-repellence of the stones (Guidobaldi *et al* 1982). In order to both increase the thickness of the layer and generate an artificial patina on the original surfaces, some other chemical compounds such as calcium carbonate and iron pigments were added to the treatment solutions. Table 3 summarizes the stratigraphy of the patinas as ascertained by petrography. The presence of the white layer, whose optical properties induce to assume that it is made of kaolin, is probably due to an ancient surface treatment almost completely lost because of the monument degradation. On the contrary, the yellow opaque patina is present in many of the samples analyzed and is covered by a second thin and transparent organic patina as figure 5 shows, while the thick and often multi-layered calcite incrustation results from the cementation process.

The mineralogical composition of the yellow layers confirms the presence of abundant calcite and stone components such as plagioclases and micas, but also shows that the patina contains calcium oxalates and synthetic pigments that are typical components of the artificial patinas. The Ransom's patent in fact declares the addition of sugars and molasses to increase the

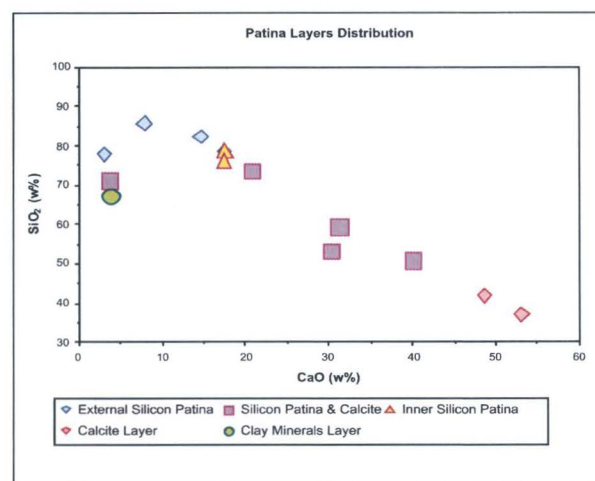


Figure 5. Patina layers distribution in the analyzed samples.

concentration of the lime solution, but zinc or lead salt may also be added to vary the density as reported in the British Patent n° 3279, October 26, 1868 by Frederick Ransom (Guidobaldi *et al* 1984). Thus, the presence of traces of massicot (the yellow lead oxide pigment PbO) confirms that the intervention was carried out applying one of the commercial European patents for the building restoration. Furthermore, all superficial samples analyzed by FTIR show the presence of traces of an organic compound, identifiable

Table 3. Stratigraphy of the patina layers

Layer N°	Layer Composition	Samples					
		T1C-10b	T4C-19	T1A-6b	T2J-14	T2A-12	T2J-16a
1	Stone substratum						
2	White of Kaolin						
3	Yellow, opaque and containing pigments						
4	Yellow, transparent and amorphous						
5	Calcite						

Table 4. Oxide composition (W%) of the patina layers from inside to outside.

Sample	Layer	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	SnO ₂	ZnO
T4C-19	SP&CAL		3,45	3,97	50,80		0,28	39,92	1,57		
	ESP		1,81	1,33	82,25			14,61	0,00		
T2J-16a 3	CAL	1,16	0,75	4,27	36,78	1,66	0,98	53,09	0,00		
	SP&CAL	0,94	0,63	2,38	73,53		0,58	20,69	0,90		
	ISP	0,77	0,76	1,45	78,57		0,46	17,60	0,00		
T2J-16a 2	CLAY	1,50	1,90	15,22	67,11	2,00	2,14	3,78	6,34		
	SP&CAL	1,03	0,82	7,44	53,10	2,75	1,14	30,33	3,39		
	ESP	0,87	0,57	2,12	78,44		0,58	17,43	0,00		
T1C-10b	SP&CAL	1,15	0,71	15,96	71,15		2,66	3,66	4,26		0,29
	ESP	0,85	0,52	8,34	77,66		1,08	3,05	7,21		1,31
T1A-6b	CAL	1,40	0,00	4,11	41,63		0,98	48,62	1,75		
	ISP	0,80	0,37	3,24	75,98		0,63	17,44	1,12		
	SP&CAL	1,31	0,57	4,18	59,25		0,88	31,14	1,83	1,02	
	ESP	0,87	0,13	3,56	85,43		0,63	7,89	1,48		

Table 5. Parameters characterizing the reference stones

SAMPLE	A	B	C	D	E	F	Average
Total Porosity (%)	24,05	28,74	15,39	29,63	17,81	25,28	23,48
Apparent Density (g/cm ³)	2,58	3,16	2,57	2,87	2,55	2,47	2,70
AC x 10 ⁻² (g/cm ² x sec ^{1/2})	1,55	1,85	0,46	0,21	0,99	3,91	1,50

Table 6. Values of the reference parameters of the treated stones

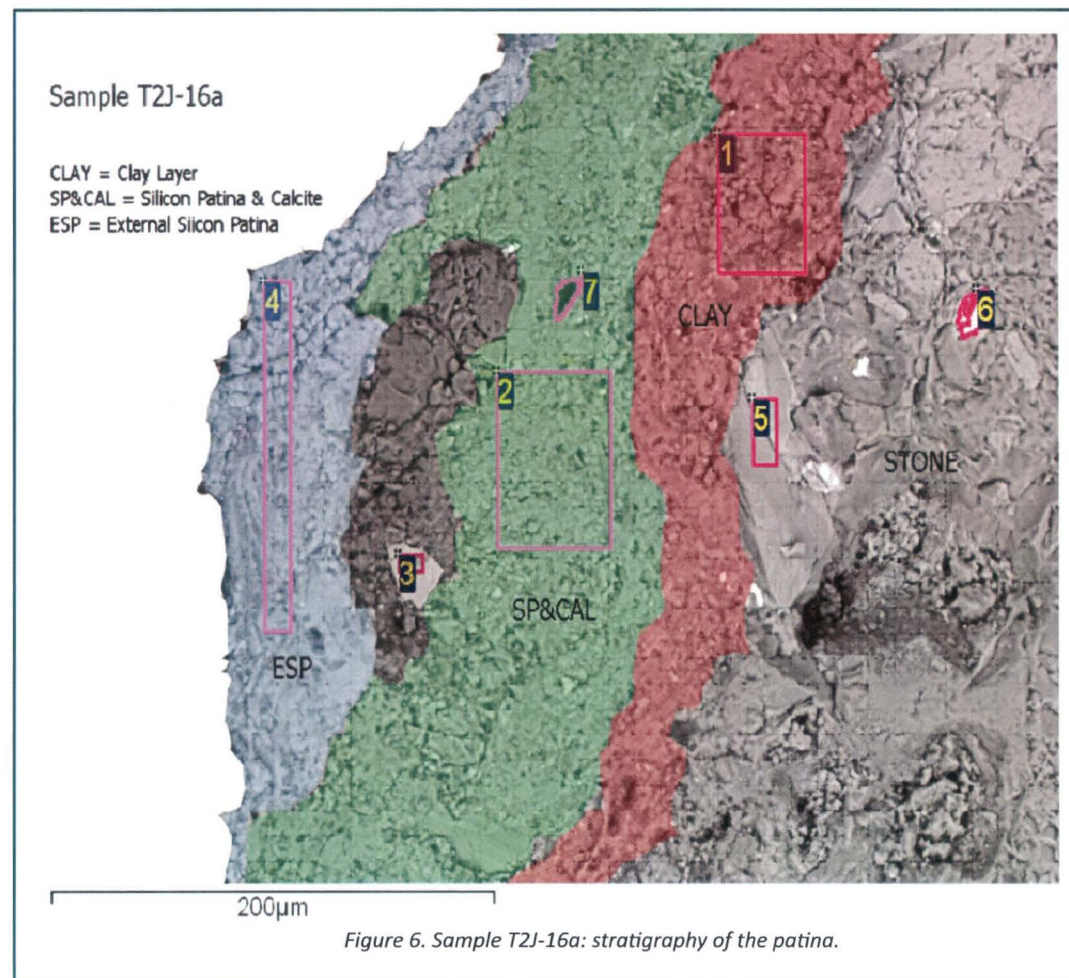
Treatment	Absorption Coefficient x10 ²	Stone A				Stone B				Stone F			
		Total Porosity %	Color values in the CIELab System			Total Porosity %	Color values in the CIELab System			Total Porosity %	Color values in the CIELab System		
			L	a	b		L	a	b		L	a	b
Untreated	1,55	24,05	48,98	1,75	6,97								
RC-70	0,02	20,15	39,25	2,46	8,06								
Silo 111	0,01	21,60	38,54	2,32	7,65								
Estel 1100	0,02	21,24	38,68	2,44	8,02								
Untreated	1,85					28,74	37,14	0,25	1,43				
RC-70	0,03					25,70	30,50	0,43	0,93				
Silo 111	0,06					26,98	27,75	0,52	2,17				
Estel 1100	0,02					25,54	32,58	0,27	1,51				
Untreated	3,91									25,28	50,44	1,44	10,82
RC-70	0,05									14,79	40,86	1,70	9,98
Silo 111	0,07									16,18	41,74	2,05	10,40
Estel 1100	0,09									14,56	42,39	1,83	10,13

as linseed oil, whose degradation in the natural environment produces calcium oxalates (Realini & Toniolo 1996). Also the presence of kaolin was confirmed by FTIR, as well as that of some silicon compounds containing Si-O-Si and of Si-OH chains referable to the polymers produced by the alkaline silicates used to make the artificial patinas according to the Ransom patent. The SEM-EDS analyses gave a fundamental contribution to the characterization of the patina layers. The stratigraphy of the samples is in fact very complex but may be defined by comparing the chemical composition of the layers that were conventionally labeled as Table 4 shows. Plotting the silica content versus calcium oxide allows obtaining the distribution of figure 5. ESP layers concentrate in a cluster ranging from 3,05% to 17,43% of CaO and from 77,66% to 85,43% of SiO₂, probably because of the calcite deposition on the exposed surfaces caused by the circulation of carbonic waters. The differences of these values from those of the ISP are very slight, owing to the composition of the silicon solutions and probably to their dilution when applied. ISP layers may be ascribed to the deep penetration of diluted silicon compound solutions during the treatment. The report between silica and CaO varies widely in the case of the SP&CAL layers depending both on the original composition of the patina and on the calcite deposition due to the stone degradation, but also to the presence of calcium oxalates. Figure 6 shows the typical stratigraphy of the yellow patinas layered on most reliefs.

CONSERVATION TREATMENTS

The study aimed to ascertain the efficacy of some conservation treatments usually employed to restore volcanic tuffs and basalts. In the case of Candi Borobudur, due to the peculiar degradation of the stones, strengthener and waterproofing treatments probably need, according to the recommendations of the UNESCO Consultative Committee. Since the impregnation with chemicals changes the textural characteristics of the stones, the final purpose of the treatment tests was to verify the capability of each product to reduce the degradation rate without affecting the appearance and the state of conservation of the monument. According to the data recorded by carrying out the characterization of the reference stones (Table 5), only stones labeled as A, B and F were selected for the tests as representatives of the different faces. On the contrary, the choice of the treatment products was based on previous conservation experiences and laboratory studies (Bianchetti *et al.* 1994; De Casa *et al.* 1999), but we notice that the chosen compounds represent different classes of chemicals and not the only product to be used. In fact, the market offers to the restorers several specialized products that may act in the same way and with similar efficacy. The tests we performed took into account the variations of three parameters: the color changes, the porosity and the water capillary absorbance of the treated stones in comparison with that of the untreated samples. The experimental data are summarized in Table 6.

After the treatment, the color of the surfaces changes both in brightness (L value) and in red and yellow components (a and b values respectively), but the decreasing of the brightness (figure 7) is low and tends to vanish in time because of the completion of the polymerization reactions of the chemicals. The decreasing of brightness means that the stones slightly darken after the treatment, while the color values *a* and *b* are similar to those of the



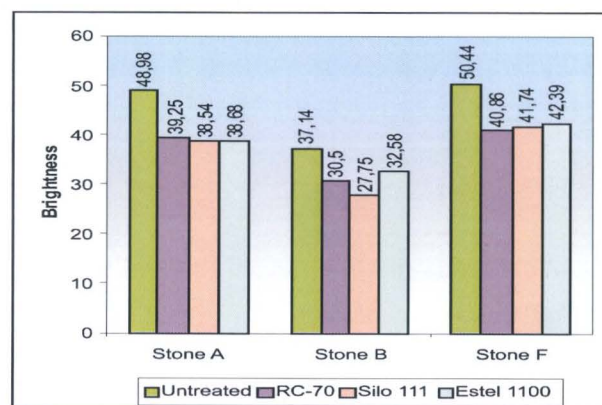


Figure 7. Variations of the brightness caused by the conservation treatments.

untreated samples. All color values range in a very restricted interval so that we can assume that the treatments do not change significantly the color of the stones.

Observing the capillary absorption curves allows determining that each stone differently behaves respect to the chemical composition of the applied product. The treatment with pure ethyl-silicate (Figure 8) implies that stone F absorbs water more rapidly than faces A and B that have similar capillary trend. The treatment with the premixed ethyl-silicate/alcoxy-silane mixture causes that the tested stones absorb water with the similar trend (Figure 9), owing to the same chemical reaction involving both products (Meucci 2012). The treatment with pure waterproofing agent SILO111 (Figure 10) modifies the behavior of the stone samples because type A absorbs lesser than two other faces owing to the different pore size distribution. As regard as the total porosity, it clearly appears that only stone F markedly reduces, while A and B faces slightly change (Figure 11). This

implies that pore size distribution changes little because of the treatments and consequently that the stone may easily absorb and release water. On the contrary, the marked decreasing of the capillary absorbance values demonstrate that the efficacy of all treatments is very high and valuable to about 97÷99% respect to the untreated samples. Thus, the treated stones do not suffer capillary when in contact with liquid water. Finally, the examination of the absorption curves makes it possible to determine the Maximum Contact Time (MCT) of each system, which represents the minimum time that the water needs to saturate the stone (Table 7). As the table shows, the MCT values increase with the treatment reaching the maximum of 240 hours in the stone B treated with Estel1100 premixed product. Stone F, on the contrary, has the lower MCT value because of the peculiar pore size distribution of the series.

CONCLUSIONS

All official documents individuate in the circulating water the origin of the damages that the temple suffers. In fact, water acts in different ways on the stone structures according to

Table 7. MCT values of the treated stones

Treatment	Maximum Contact Time (hours)		
	Stone A	Stone B	Stone F
Untreated	0,5	2,9	0,5
RC-70	49,0	48,1	75,1
Silo 111	216,1	168,1	95,1
Estel 1100	216,1	240,3	72,0

its origin. Rainwater acts in two ways: the running fraction causes the dissolution of the efflorescence, but also the chemical degradation of the basalt components (such as the glassy fraction), according to the acidity due to the gas-seous emissions of the Merapi; while the fraction flowing inside the structure extracts the soluble fraction from the concrete slabs and the restoration mortars causing both seepage water and salt deposition with formation of pustules, efflorescence and cementation. Indeed, the deposition of calcite is due to the chemical reaction between the carbonic water circulating inside the temple and the restoration mortars and concrete. The analyses performed on the alteration products confirm this deposition mechanism but also show the presence of some sulfate ions, which may pertain to ettringite crystals only. This compound, which forms in the concrete because of the setting reactions of the cement hydraulic components, is soluble

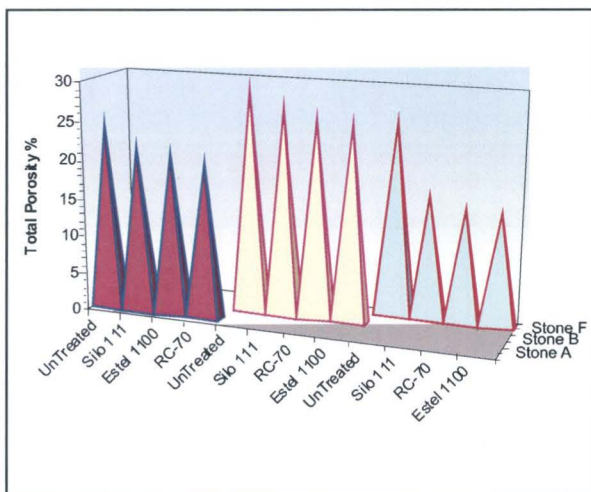


Figure 11. Total porosity variations after the conservation treatments.

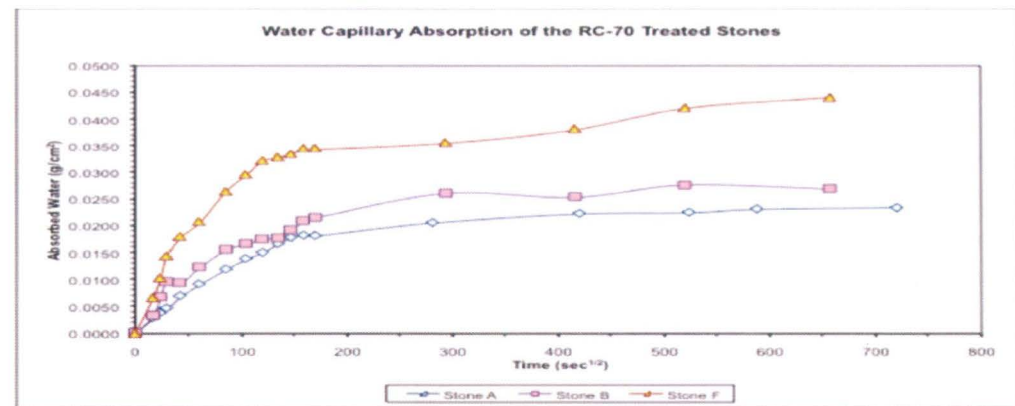


Figure 8. Capillary absorption curves for pure ethyl-silicate treatment

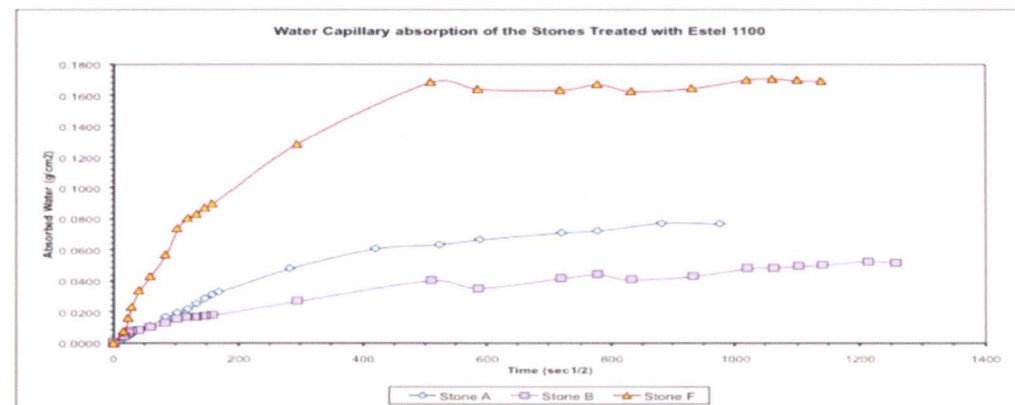


Figure 9. Capillary absorption curves for premixed ethyl-silicate/alcoxy-silane treatment

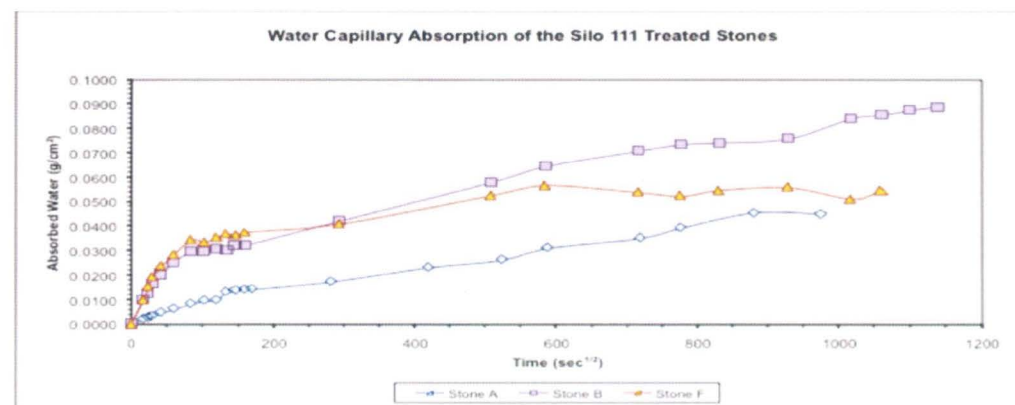


Figure 10. Capillary absorption curves for pure poly-siloxane treatment

and may precipitate in form of hydrated crystals inside the stone porosity when evaporation occurs, causing both efflorescence and pustules. Observing the distribution of the degradation patterns and monitoring for a long time their evolution made it possible individuating that rainwater enters the temple from the first stupa terrace (Meucci 2009) where the new drainage system collects all running waters.

The tests carried out confirm the high efficacy both of the strengthener and of the waterproofing products; nevertheless they cannot be used both on wet stones and in presence of water inside the temple structure because of the risk of crypto-efflorescence and alveolar degradation. Applying the chemicals on the wet stone will activate the same degradation mechanism induced by the presence of the yellow patina, owing to the retention of water and of the salt solutions below the superficial impregnated stone layer. The presence of thin and compact layer of epoxy resins used for gluing the detached chips of stone induces the same degradation mechanism. Anyway, all analytical results encourage performing both strengthening and waterproofing treatments in order to increase the durability of the stones. However, the chemical protective treatment needs that water cannot penetrate the structures to avoid the risk of new damages, according to the degradation mechanisms discussed before. Thus, to avoid the water penetration, is necessary seal the block joints by applying hydraulic mortar added with hydrophobic agent (Meucci & Nicolini 2007); then, chemical

treatments might be performed without affecting the conservation of the temple.

BIBLIOGRAPHY

- Anom 2005 - I.G.N. Anom (Ed.), *The Restoration of Borobudur*, UNESCO, 2005, 51.
- Bianchetti et al. 1994 – P.L. Bianchetti, G. Lombardi, S. Marini, C. Meucci, *The volcanic rocks of the monuments of the Forum and Palatine (Rome): characterization, alterations, and results of chemical treatments*, in: A.E. Charola, R.J. Kopestler, G. Lombardi (Eds), *Lavas and Volcanic Tuffs, Proceedings of the International Meeting Easter Island, Chile*, 25-30 Oct. 1990, Rome, 1994, pp. 83-105.
- Colleparidi 1993 – M. Colleparidi, *La produzione del calcestruzzo antico e moderno*, *Scienza e Beni Culturali*, IX, 1993, pp. 181-192.
- De Casa et al. 1999 – G. De Casa, G. Lombardi, C. Meucci, R. Galloni, P. Vitali, *Il Tufo lionato dei monumenti romani: caratteri petrografici, geomeccanici e trattamenti conservativi*, *Geologica Romana*, 35, 1999, pp. 1-25.
- Guidobaldi et al 1982 - F. Guidobaldi, C. Meucci & M. Tabasso Laurenzi, *Marble Monuments of the Roman Imperial Age: Past Surface Treatments*, in: K.L. Gauri & J. A. Gwinn (Eds), *Proceedings of the 4th International Congress on the Deterioration and Preservation of Stone Objects*, July 7-9, 1982, Louisville (USA), 175-196.

Guidobaldi *et al* 1984 - F. Guidobaldi, M. Laurenzi Tabasso & C. Meucci, *Monumenti in marmo di epoca imperiale a Roma, Indagine sui residui di trattamenti superficiali*, *Bollettino d'Arte*, 24, 1984, 121-134.

Meucci 2006 – C. Meucci, *Deterioration and Conservation of the Temple of Borobudur. Mission September 25th – October 8th, 2006, Final Report.*

Meucci 2009 – C. Meucci, *Stone Conservation in Candi Borobudur Compound: Conservation treatments, International Coordination Meeting for Safeguarding Borobudur and Prambanan World Heritage Sites*, Yogyakarta, 03 ÷ 06 November 2009.

Meucci 2012 – C. Meucci, *Chimica dei materiali*, Vol. I, Rome, 2012.

Meucci & Nicolini 2007 – C. Meucci, I. Nicolini, *Malte idrorepellenti per il restauro archeologico. Il caso della Villa di Tor Caldara ad Anzio (Roma)*, *Boll. ICR – Nuova serie*, N. 15, 2007, pp. 38-56.

Realini & Toniolo 1996 - M. Realini, L. Toniolo (Eds.), *Proceedings of the II International Symposium, The Oxalate Films in the Conservation of Works of Art*, Milan, March 25-27, 1996

ACKNOWLEDGMENT

Prof. Costantino Meucci was born in 1946 in Rome, Italy. He completed a degree in Industrial Chemistry at Rome University in 1972 and qualified as a professional chemist in 1980. He has worked on several restoration sites as a scientific adviser, and experienced on wall paintings, stone material, organic material and archaeological artefacts. He is the author of more than fifty scientific publications on Italian and foreign periodicals. He has worked in Borobudur Temple Compounds since 2006 in several UNESCO expert missions.



Figure 11. Stone degradation shown in stones of Borobudur Temple



STUDIES ON THE VIBRATION BY TOURISTS AND EPIPHYTES ON STONE AT THE BOROBUDUR

By:
Toshiya Matsui, Emi Kawasaki, Yosuke Atomi
Conservation Science Laboratory
University of Tsukuba

INTRODUCTION

The threats that endanger the Borobudur monument in Indonesia are becoming more and more diverse. Before the monument was put into use, its composing material had already suffered deterioration under various natural laws, as is the case in many old buildings. When the people started to take advantage of this monument as a resource, the deterioration rate grew faster, and unknown threats arise, presenting a great problem before our eyes. Unrelated to the diversification of the dangers revolving around this site, the techniques of conservation sciences that had been developed until this time could respond accordingly to a historically archaic weathering only. Large-dimensioned monuments experience visits from people (tourists) at dimensions never before experienced since their construction, and events to promote the apprehension of this monument are commonly held. It may be assumed that these monuments were not designed for such amounts of visits

and for events of such extent.

When performing a diagnosis on a damaged monument, it is necessary to handle correctly the damage that has been recognized through observation and such. Many buildings that are not even currently open for the public are being prepared for future utilization. In the case of the Borobudur monument, it is assumed that it was used at first for religious and ritualistic purposes, but as time passed by, this spiritual meaning faded and historical value was placed on the monument. Nowadays, it is oftentimes used as an integral part of the touristic experience. These utilization form transitions may change the way in which such a monument is to be restored, and as the uses evolve with time and change, we may assume that different types of damage pile up and may alter up the present damage status. The damage phenomena can be divided into the five categories described below. These phenomena include damage factors from the

past, the present, and the mixed factors that were taken into consideration performed in the evaluation:

1. Damage that may be ascribed to the first uses of the monument
2. New forms of damage that arose when the utilization forms were transformed
3. Degradation that has progressed further by changes in usage patterns
4. Damage that was stopped when the utilization from changed (the original damage results remain)
5. Mixed damage from the above-mentioned damage types

There are even cases where the restoration led to new and different forms of damage. For example, there are methods that were used to inhibit the growth of bio-deteriorating agents such as moss and lichens that, on the other hand, led to salt weathering in some cases. However, these were the best restoration methods that were available at the time, and damaged as the assets may be, it is recognized that it was the right thing at time to restore these assets in that way. The restoration history proves to be material of great importance when performing a damage diagnosis. This is because while conservators responded to the threats at the time correctly, other deterioration factors were developed, and if one ignores the previous restorations and devotes oneself to solve the newly developed deterioration factors, the former damage threats may reappear.

Monuments naturally suffer damages to a

lesser or greater degree and it is the conservator's role to preserve these monuments damaged as they may be. Of course, conservators have to look for the causes of damage, but this would only be in second priority given the place already evolved with the surrounding environment and has reached a state of equilibrium. The goal of conservation sciences is to prevent the current progressing damage and the new damage that will be generated.

When conserving monuments and cultural assets it is important to get to know the traditional techniques that were developed the local region or area and to respect these historically developed techniques. Take an Indonesian and a Japanese statue, for example, to understand the importance of getting to know the traditional techniques: even if these statues are made of the same material and made with a similar construction method, when engaging in their restoration, it may not prove effective to impose Japanese traditional techniques on the Indonesian figurine. For example, when restoring Japanese *urushi* objects in Japan, Japanese *urushi* is utilized, but this is not the case when restoring certain Japanese *urushi* products that were imported in Europe, where synthetic resin is preferred. The use of *urushi* is an appropriate technique in Japan, where the climate is fairly moist. In Europe, however, as the climate is rather dry, the difference of shrinkage between the restoration *urushi* and the original will generate the damage. Even though some methods may prove very successful in some places, this does not guarantee that the same positive results will

occur in other places. Ignoring the traditional manufacturing techniques according to the endemic conditions cannot be said to be part of what is called good conservation sciences.

Our team conducted research on the vibrations generated by tourists, and investigations on the elimination of epiphytes on stone reliefs of the Borobudur monument. Following are the results of these investigations.

VIBRATION AND RESONANCE BY TOURISTS

Vibration and Resonance

Damage that may affect sites can roughly be divided into two groups. The first one is the local climatic conditions that include the temperature and humidity, the weather, and other environmental factors that influence the local zone, such as earthquakes in the case of Indonesia. These damage factors cannot be controlled at huge sites such as Borobudur. The second group of damage factors consists of those that arise as consequences of the use of the site. As a site is put into use, managing staff may have the site protected, but at the same time other damages threaten to occur. From the above, the new uses of the site can be different than the uses that were given historically, thus deterioration factors may be pushed. Excessive restoration, the use and administration of modern materials, noises and exhaust gases from buses and large vehicles, the increasing visitors, the

surrounding environmental equipment, the change of vegetation and the like may be some of these occurring changes. With this research, we intended to clarify what changes of vibration occurred as a consequence of the new use of the monument.

The vibration studies done on the vibration of architectural buildings generally focus on micro tremors. These studies are usually performed for structural investigations of architectural buildings, and normally vibration measurements are performed at cycle lengths of one second every second. These vibrations may vary according to the ground materials and



Figure 1. Visitors climb up the site.

to the structure and it is quite a challenge to break them down. With these studies, the level of safety in the occurrence of natural vibrations such as earthquakes can be known, and thus, countermeasures against earthquakes as well as administrative and planning steps can be taken. Thus, the study of microtremors has an importance when considering building components and safety. At utilization sites, artificial vibration occurs as a consequence: visitors walk and jump around, airplanes fly by, buses, taxis and other vehicles drive nearby, and events take place, causing vibrations in many ways. These artificial vibrations differ from natural vibrations such as earthquakes, and their influence may be smaller, but it cannot be ignored. The route followed by the visitors is determined by the site managers, and if, according to this route, tourists are concentrated in certain areas, the concentrated stress may lead to wearing and breaking of materials. Also, the damage may occur in unexpected areas due to resonance if the vibration caused by vehicles

goes in accord to the vibration of the structural material of the site.

Characteristic frequency is the ease with which material according to its characteristics transmits vibration. When the vibration frequency that arises as a consequence of the use of the building and the characteristic frequency of the monument are in concordance, wide oscillations may occur. When the vibration occurs, energy emerges, and this energy is consumed and reducing in different ways: the structure may consume this energy forming decay, or the inner material may consume this energy, forming material decay at the inner part, or friction may occur at spots that were adhered causing damage. In most cases, the emerging vibrations are attenuated this way until they cease, but in the case that the characteristic frequency of the material and the frequency caused by the vibration go in accordance, small vibrations can turn into big vibrations. In these cases, it has to be seen that the structural material does not resound when vibrations occur due to utilization.

When vibration is evaluated, the level of acceleration is usually taken into account. It shows us the standard at which people can feel the vibration, and it is used to evaluate the deterioration of the environment. According to the Weber-Fechnerlaw, the sense of vibration felt by persons varies in proportion to the logarithm, when the rate of magnification of the vibration changes. Thus, when setting the standard for the vibration rating that can be felt, there is vibration acceleration level, called VAL,



Figure 2a. Datalogger KEYENCE NR-600



Figure 2b. Accelerate transducer TEAC 708LF

that uses a logarithmic representation. VAL is defined by the following equation:

$$\text{VAL} = 20\log (A/A_0) [\text{dB}]$$

A_0 refers to the standard acceleration value in the steady state; $A_0=10^{-5}[\text{m/s}^2]$ is the recommended value. A is the value of acceleration when vibration occurs. When the VAL rate is more than 70 dB, mild damage can be seen in the building. The 70 dB, when converted into acceleration rate, are expressed as $0.03[\text{m/s}^2]$. In this research, the $0.03[\text{m/s}^2]$ amount of vibration acceleration was taken as a standard.

Measuring Methods

The equipment used in this experiment is the Keyence NR-600 system, which works as a data logger, gathering multiple data entries (Figure 2a). A unit that responded our purposes can easily be attached to this device, and multiple input entries allow various simultaneous measurements. The measuring unit used is the acceleration measuring device NR-CA04. The sensor used was the piezoelectric control acceleration transducer 708LF of the TEAC company (Figure 2b). This sensor can detect frequency ranges from 0.3 Hz up to 10000 Hz.

As for the data analysis, vibration waveforms and frequency waveforms were employed. The vibration waveforms represent the time variation of the vibration acceleration, showing the vibration conduction of the material. The acquired frequency waveform, then goes

through Fast Fourier Transformation (FFT), shows the components of frequency and its size. We can know then easily transmitted frequencies of materials. The sampling points in Borobudur were: 1) the west side of the stairs between the second and third floor, 2) the south side of the stairs of the sixth floor and 3) the south side-stairs between the sixth and the seventh floor.

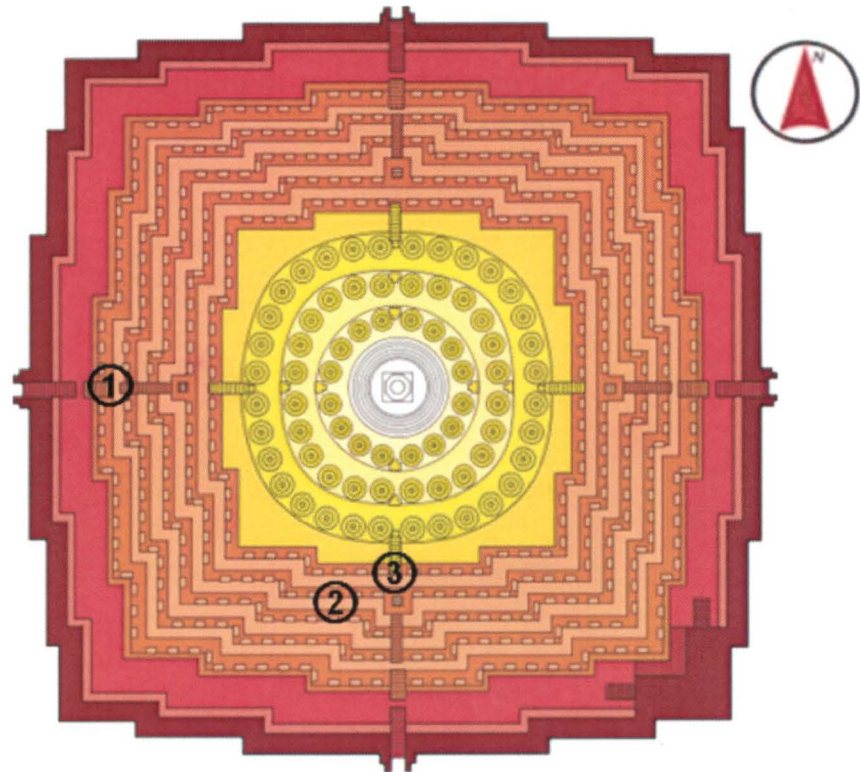


Figure 3. Sampling Points
Point 1: west side-stairs (2-3F), Point 2: south side (6F), Point 3: south side-stairs (6-7F)

Results and Discussion

Microtremors

At the measuring places 1 and 2, microtremors were detected. Of the microtremors that may be artificially propagated in the ground or that may occur as naturally various natural phenomena, in a state that is not directly affected by specific vibration sources, the microtremors refer to the various minute movements that are caused by vibration. Figure 4a shows the vibration waveforms measured in place 1 and Figure 4b shows the vibration waveforms measured in place 2.

As a result, these measurements show that

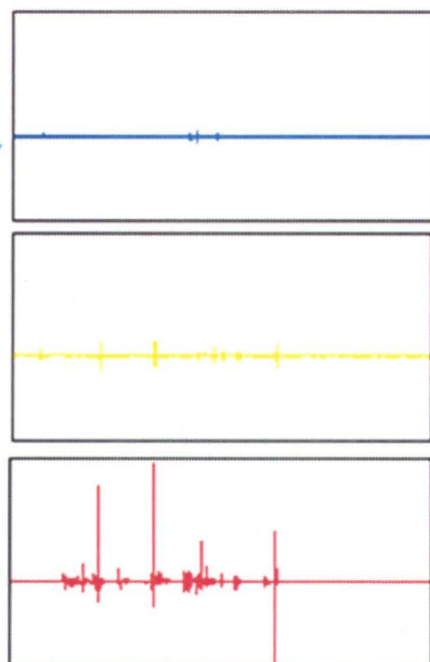
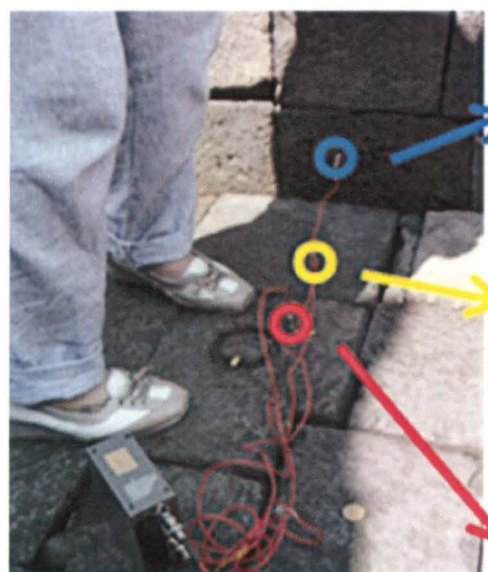


Figure 5. Measurement Conditions

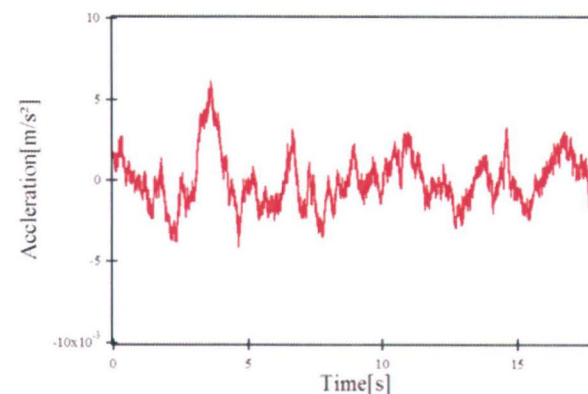


Figure 4a. Micro tremor waveform of Point1

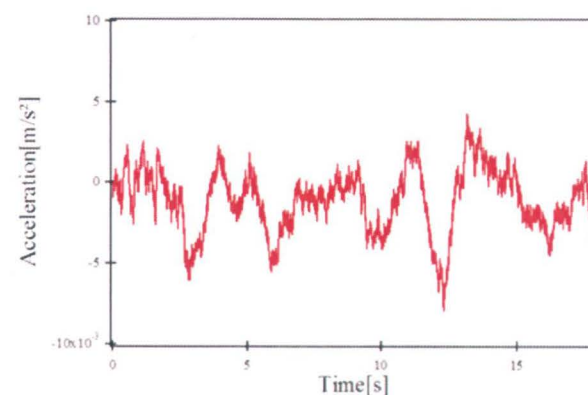


Figure 4b. Micro tremor waveform of Point2

there was no significant difference between the two places. So, it can be inferred that there is no significant difference between the microtremors generated at the upper and the lower part.

Walking Tremors

The propagation of vibrations caused by people walking by point 2 was measured. The sensor was installed at a wall further from the stone people walked on and the stone directly adjacent to it. A stone that was relatively

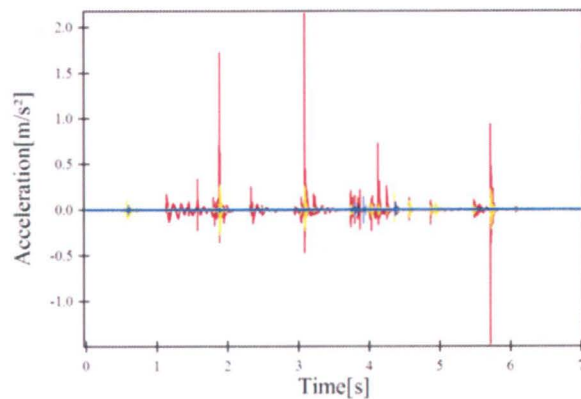


Figure 6. Waveforms of walking-generated vibration

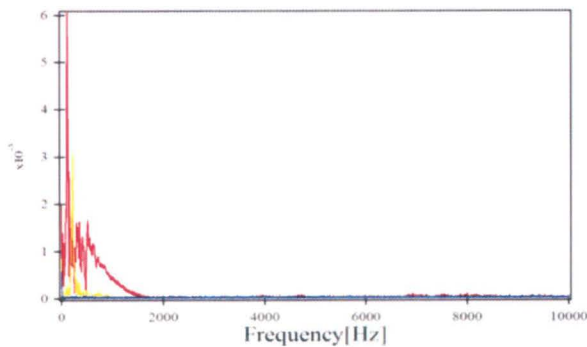


Figure 7. Frequency pattern by fast Fourier transformation at 3 seconds

unstable at present was deliberately chosen. Figure 5 shows the installing conditions. As for the direction of the wall sensor, it was horizontal, leaving the other two vertical directions.

Figure 6 shows a synthesis of the collected data. Data within close to three seconds that has undergone the FFT is shown. We have come to understand that once foot hits the stone, a big vibration occurs, which is then transmitted to the other nearby stones. Figure 7 shows the frequency-pattern undergone the FFT of a

big acceleration rate that occurred in a nearby stone at three seconds point. The FFT is an analysis method that transforms the vibration measurement data into frequency waves.

We have come to understand that the vibration generated by walking at 3 seconds point in the vicinity can reach up to 2000 Hz. Furthermore, we have come to understand that when the vibration is diffused to adjacent stones, this diffusion frequency is amplified from 150 Hz, 200 Hz below 1000 Hz. Figure 8 shows the vibration data undergone the FFT of the vibration data acquired at 4-second point. It was shown that at the 4-second vibration waveform, the placed sensor also vibrates. As a result of this, it was understood that the walking vibration generated at close to 4-second point gave form to vibrations of amplitudes as wide as 10000 Hz. It was caused by the differences of the originated frequencies. It can be attributed to the person that walks, to the materials the shoes are made of and factors alike. It was also understood that the walls undergo vibrations between 6000 and 7000 Hz in a horizontal

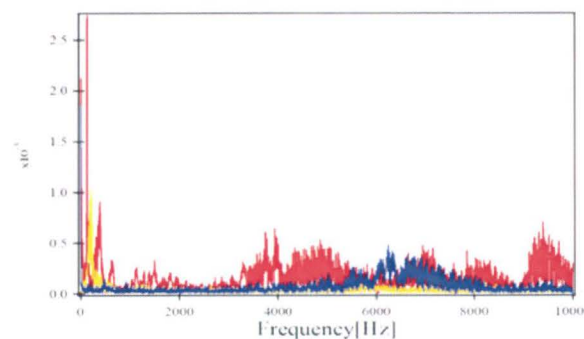


Figure 8. Frequency pattern by the FFT of 4 seconds point

direction. As the sensor was not set to detect vertical tremors, it could not be known if the walls undergo vertical movements as well, but it was understood that the vibrations at the floor level are conducted to nearby stones, and that these vibrations were conducted furthermore, even reaching the walls.

The frequency under 1000 Hz has a similar waveform to that of 3-second point of vibration (Figure 9a, 9b). This is vibration that arises mutual to the walking vibration, and amplified the frequency of from 150 to 200 Hz. It was

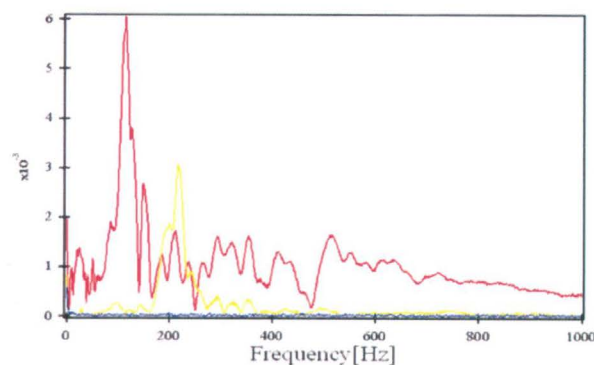


Figure 9a. Waveform of frequency data under 1000Hz of 3 second point

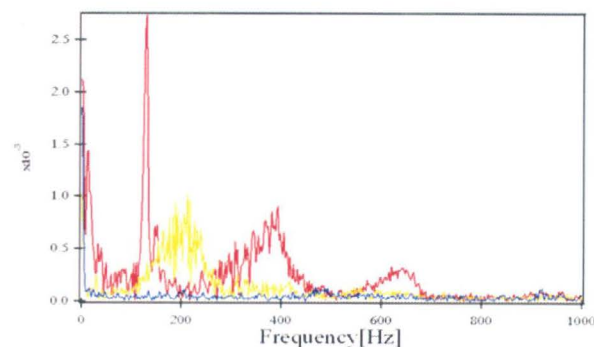


Figure 9b. Waveform of frequency data under 1000Hz of 4 second vibration

understood that resonance occurs. This shows that the andesite of which the Borobudur is made of is characterized for vibrating at this range, and shows the risk that resonance at a frequency from 150 Hz to 200 Hz may occur even in similar vibration occurrences.

Characteristic features of the vibration at the stairs

Measurements of the vibrations generated when persons go up the stairs were made through an acceleration sensor. The measurement place was point 3. Figure 10

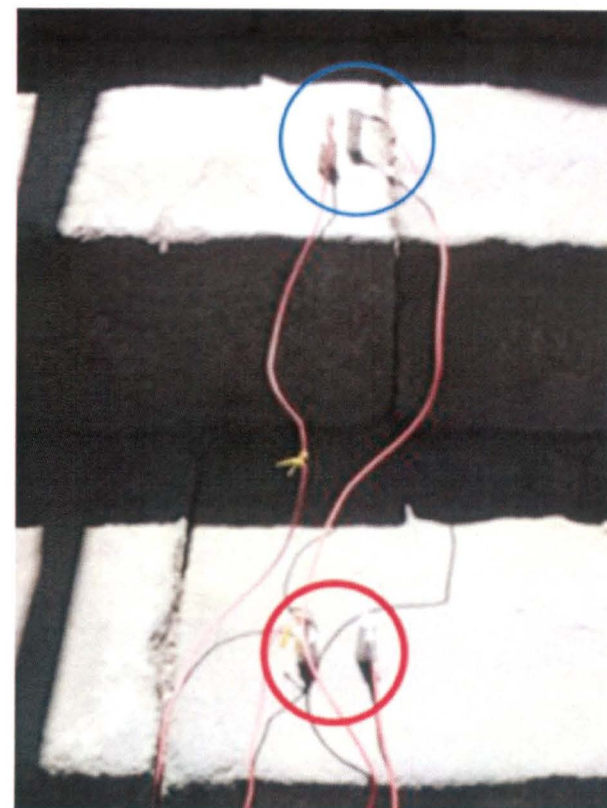


Figure 10. Placement setting of each sensor

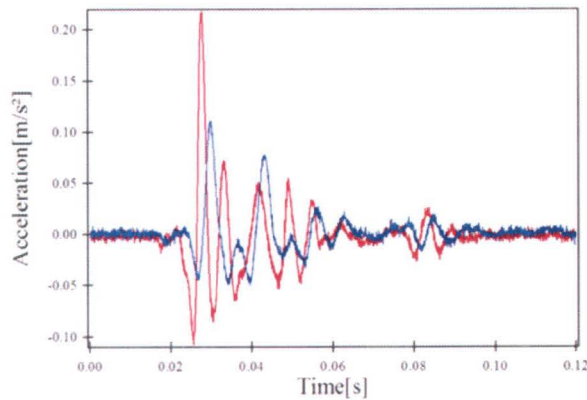


Figure 11. Waveforms of stones at steps.

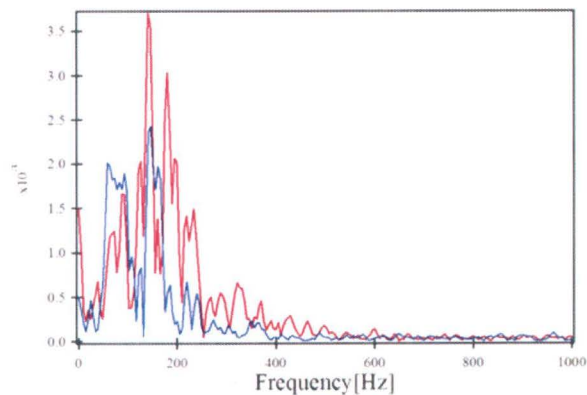


Figure 12. Frequency patterns by FFT of 4-second point

shows the placing conditions of the sensor. We focused the vibrations of the red marked sensor in Figure 10 generated by walking.

Figure 11 shows the waveforms of the vibration, while Figure 12 shows the frequency waveform measurement data of Figure 11 in waveform. It was found from these waveforms that when going up the stairs, the vibration generated in the lower stair had a delay of less than 0.01 seconds when being transmitted to

the upper stair. The transmitted frequencies measure mainly lower than 300 Hz, and the resonance phenomena were not detected.

Conclusions

The particular vibrations of the composing stone material of the Borobudur monument were investigated, and as for the microtremors, it was found that the regions of the monument do not present significant tremor differences. Usually the tremor result observed on the upper level is bigger than that of the lower level. But it can be thought that such a result was obtained because the structure of the Borobudur monument does not have internal space.

When a person walks on the stones of Borobudur Temple, various sounds are generated depending on many factors (weight, shoe style, sole material, etc.). It was understood that the resonance was generated by the tremor with about 150-200 Hz and the tremor was amplified. 200 Hz is audible and able to be produced by human voice. It can be thought that Borobudur Temple might vibrate by a large volume sound caused by, for example, public events. The stone walls sometimes make tremor when people walking. In such events, it resonates with the tremor of about 6000 Hz. The tremor with 6000 Hz is audible, but it is not possible to produce by human voice.

From these results, the risks that resonance may present to the site because of the vibration characteristics of its compounding material became clear, results that prove important for

the restoration of the monument. To get to know the characteristics such as the vibration attributes is important when using and finding the restoration materials, such as the resin that is to be used, and if these characteristics can be controlled, one can expect to diminish the occurring vibrations of the sites.

REMOVAL OF EPIPHYTES ON STONE

The Conservation Of Stone Buildings And Epiphytes

Stone monuments were constructed by people using rock material that was taken from nature. It can be said of the conservation of stone monuments, and of cultural monuments in general, that conservation is equal to the preservation of human activities. When thinking about the value of cultural heritage in the present time, the "oldness" of those assets that have experienced the pass of time since has become an important component when we get in touch with our cultural heritage and with ourselves. Most of monuments in outside has epiphytes on itself and has expressed its "oldness". From the point of view of the conservation specialists, these epiphytes have to be removed by cleaning. This cleaning is taken because these epiphytes interfere with the aesthetics of the buildings and they may accelerate the deterioration of the building substrates.

There are two main ways to approach the conservation of stone monuments. One

comprehends the direct involvement with the stone cultural monuments, which comprehends actions that range from the junction and repairing of stone, up to treatments such as substrate strengthening and water-repellency treatments. The other method consists of raising the support of these activities, such as the installation of covering roofs, the maintenance of drainage systems, cleaning and so on, by the residents of the surrounding area and the local communities. In the case of the former approach, it starts by performing a condition survey of the stone building, where its value and status are obtained. As for the value of cultural heritage, there are different types of value, such as historical or aesthetic value. The preservation and management plan can be established by deciding which types of values remain in which way. This plan is designed regarding the stone as cultural assets and not merely perceiving them as the natural stones. Some papers reports that the epiphytes on stone can provide protection of the stone material, but this approaches to "stones" and in some cases it does not apply to "stone heritage" (Chen, *et al*, 2000). The impact of epiphytes is relatively smaller than the other deteriorating agents, but even so they must be removed as long as they blemish its value of stone monument. Though the established preservation plan determines which treatments to be applied before conducting treatments such as stone junction or substrate strengthening, the cleaning has to be performed at first. The cleaning of stone increases the effect of the treatments to be applied. Dust, oily

particles and various chemicals may adhere to the stone surface, and they may stay fixed or undergo changes as time passes by. In addition to this, various organisms adhere to the stone monuments in many cases. Many types of cleaning what remove these organisms on the surface of stone have been developed, ranging from dry methods (using brushes), going through the use of chemical agents, steam, high water pressure, up to the recently method of dry ice blasting. It is necessary to consider that the selected methods will not inflict further damage to the stone monuments. In the case of cleaning of epiphytes on stone, the water and brushing method can be used in general way, but as the epiphytes are more flexible than the stone material and their rhizine and hyphae enter the stone. These methods make the fears that if treatment is not overdone under manage by conservator, it will give the further damage to the stone material. Figure 13 shows an example of cleaning treatment. In this case, the lines of the characters of an inscription carved on a stone monument have become fuzzy due to the presence of epiphytes.

When choosing the restoration material, the types of epiphytes have to be considered. Though DNA analysis is used frequently, when we analyze the epiphytes on the structural stones, the taxonomical features of them and on the fixation conditions of the precipitates are focused. For example, the “lichens” consist of an epithelial layer, an algal layer, a medulla (fungal layer) and a lower cortex. It is known that calcium oxalate crystals are formed in medulla layer.

Within the composing substances of calcium oxalate, the oxalic acid is metabolized by the lichen, and the calcium is eluted from the rock in some way. This calcium oxalate is insoluble in water and also has jamming effect when trying to clean epiphytes and when performing substrate strengthening. It was reported that the concentrations of calcium on the fungal layer is observed in medulla of lichens on tuff stone (Kawasaki and Matsui, 2011). Also, it is known that the hyphae in the lichens enter the inside of substrate stone and can invade as deep as several millimeters. When removing the lichens of the Borobudur monument, it is important to find out what removal method is appropriate for the monument and its reliefs. To do this, it is first necessary to analyze the biota and the characteristics of the epiphytes in the Borobudur monument. Figure 14 shows variety epiphytes on stone of Borobudur temple.



Figure 13. The characters that were hard to see before the cleaning (left) were made clear through cleaning (right)

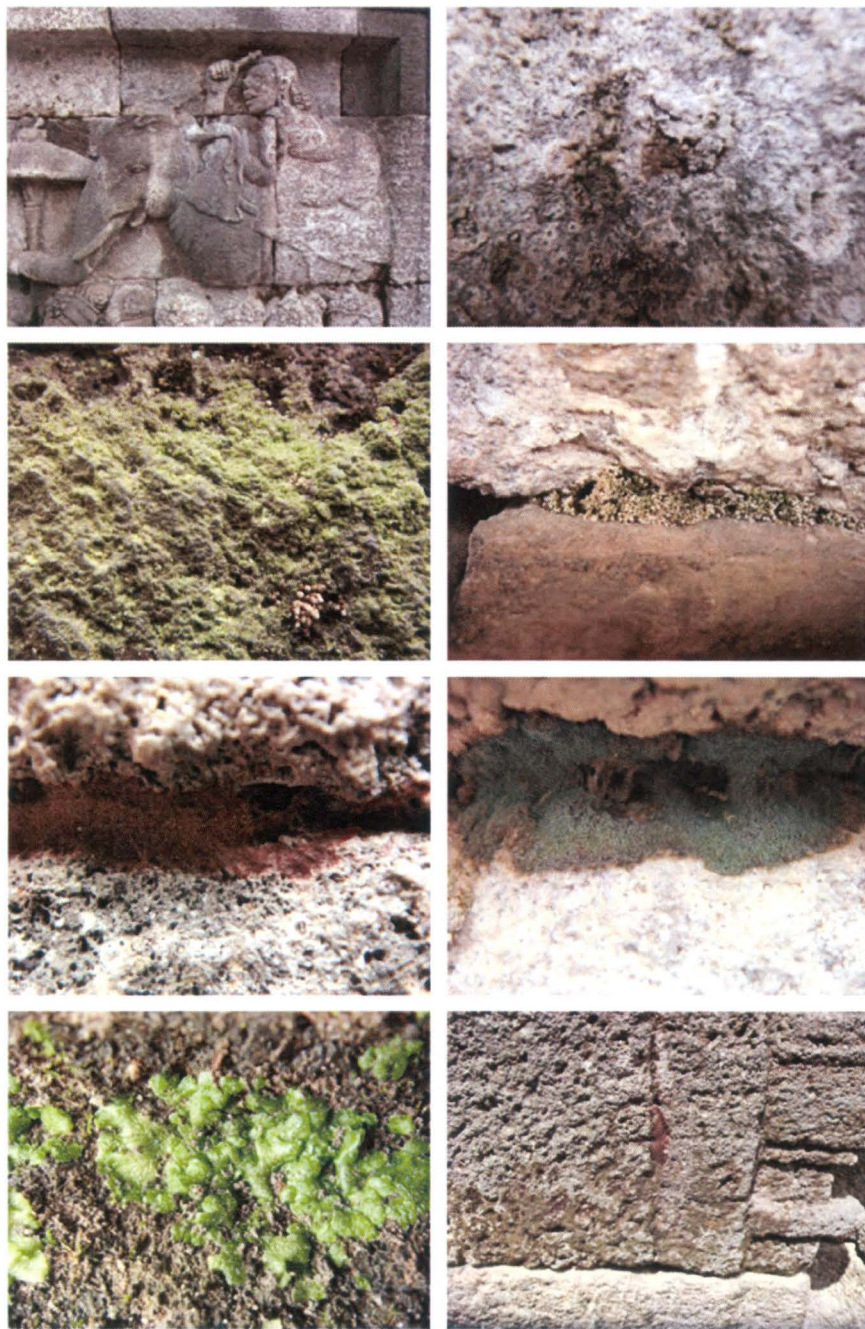


Figure 14. Epiphytes on the reliefs of Borobudur Temple



Figure 15

Upper: Stone lantern before treatment
Midle: Stone lantern after 1 month of treatment
Bottom: Stone lantern after a year of treatment

Cleaning of Epiphytes by Photosynthesis Inhibitor

As epiphytes such as lichens and algae cover the stone, the effect of treating agents such as substrate hardening substances or water repelling agents is weakened, it is necessary to clean the surface of stone. The “withering” method in the cleaning methods as milder method should be used, so we tried to test photosynthesis inhibiting agents. The main component is extracted from lichens, the active ingredient being usnic acid and usnic acid solvent. After coating the surface by spray, the crystal growth in the voids of the stone, and remain for a long term. This crystal is dissolved slowly through rainwater, for example, and inhibit the photosynthesis by the algae goes on. It was confirmed by research done at a cultural heritage restoration laboratory that there is no influence of this agent on the stone surface (Tretiach, *et al*, 2007). The inquiline organisms are weakened and withered by spraying or coating the surface with this agent, but this process may take from several months up to some years. Figure 15 shows the progress of this agent on a Japanese stone object. Blue-green algae and lichens are overgrowing the surface, but one month after the agent was sprayed on, the stone’s original color appears, and the foliose lichens and others begin to wither. After a year, the crustaceous lichens also shed and the stone’s surface becomes apparent more.

Experimental Bounding-stone In Borobudur

Experiments were conducted using a bonding stone that is located in the backyard of the Borobudur research laboratory. This bonding stone presented many epiphytes and was in a extremely weakened state (Figure 16). The photosynthetic inhibitor “Coletorel” (Tokai concrete Co., Japan) was brushed on at 200 g/m². Figure 17a shows the stone's state before treatment, Figure 17b after a year of treatment and Figure 17c after two years of treatment.

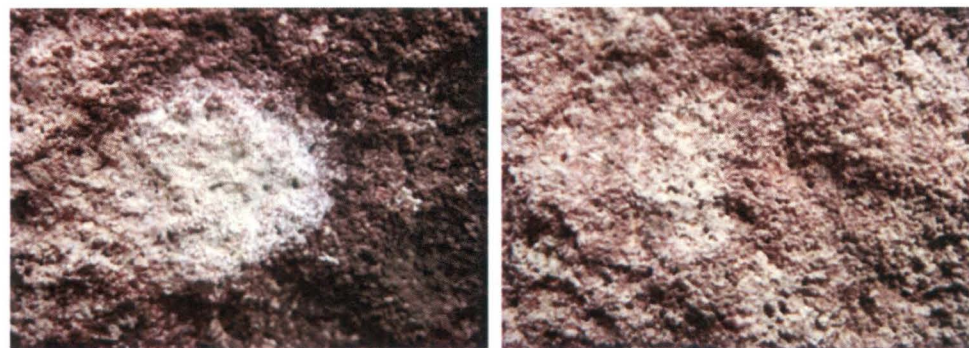


Figure 16. Epiphytes before treatment



Figure 17a.



Figure 17b.



Figure 17c.

As a result, it could be observed that the part of the stone that was coated with the photosynthetic inhibitor got cleaner every year. The details of stone surface became more clearly. This part did also not present invasion from the neighboring organisms. It was understood that the effect of this treatment extends over years. Also, the original color of the stone did not change and it was in good condition. When considering the removal of the epiphytes, however, the value and sense of stone heritage with epiphytes confer in different ways to garden stones, wall stones and, for example, statues has to be extensively discussed from different perspectives. Thus, the cleaning technique in conservation science methods for stone heritage helps to protect the true surface atmosphere of the stones. When considering how to protect a monument where the visible time traces are also of great value, the interdisciplinary perspective of various fields has become increasingly important. After cleaning, the stonework can be treated with water-repelling agents and substrate strengthening material. Usually resins are used that contain tetraethoxysilanes and siloxanes. These enter the air gaps that are found in damaged stone and thus strengthening can be achieved by filling the gap junctions. If the stones are exposed to the outdoor environment, the compatibility of the epiphytes and the conservation agent should be considered. In rare cases, cyanobacteria may flourish on the surface of stone monuments after treatment. The conservation treatment for cultural heritage may occur counterproductive

if the surrounding vegetation and environment are not taken into account.

CONCLUSION

A monument cannot be regarded as a specific closed space. Its surroundings, its climate and grounds are also part of it and may affect it directly. Old monuments are buildings established in the past, and as people live their modern lives around it, a time gap is established between the old and the modern. In order to use a monument while protecting it, this gap has to be narrowed, so that there is harmony and understanding between the monument and the people around it. One way to narrow the gap is by drawing the people closer to the site, for example through education. By learning the history of the site correctly we think about what role these monuments play in the modern society, and what role they had in the history of the region and in the history of the world. This way, we can make an effort to understand the site better. Another way to narrow the gap is rather by pulling the site closer to the people by making it not only a place to learn history, but also as place where citizens can feel free to relax, and where the heart and livelihood of the people from ancient times can be felt by touching directly and experiencing this space at a personal level.

We propose our considerations below. To use the place to enhance its appreciation and to learn its history correctly, we have to think about what role these monuments play in the

modern society, and what role they had in the history of the region and in the history of the world. In addition to the educational and awareness-rising use, the sites should be designed not only as a place to learn history, but also as a place where citizens can feel free to relax. Lastly, it is also important to create an environment where the heart and livelihood of the people from ancient times can be felt by touching directly and experiencing this space at a personal level. If the monuments and sites are used in excess, its value and charm decreases. Constant monitoring of the sites is required so that the environment surrounding them can be controlled correctly.

BIBLIOGRAPHY

- Chen, L., H.P. Blume, L. Beyer. 2000. *Weathering of rocks induced by lichen colonization - a review*, Catena 39. Pages 121-146.
- Kawasaki E., T. Matsui. 2011. *Microstructural analysis of the interface between lichens and the substrate stoneworks -for the consolidation using lichen activity and removal of lichens-* . Pages 107-108.
- Tretiach, M. et al. 2007. *Efficacy of a biocide tested on selected lichens and its effects on their substrata. International Biodeterioration & Biodegradation*. Pages 44-54.

ACKNOWLEDGMENT

Ass. Prof. Toshiya Matsui was born in 1969 in Osaka, Japan. He has been engaged in the Nara National Research Institute of Cultural Properties from 1992 to 1998 as a part-time worker. He obtained a Ph.D. degree in natural science and technology at the Okayama University in 2000. He has facility with archaeological and historical materials such as metal, bricks, stone, pigment and organic materials. He excels at in-situ treatment engineering and conservation of artifacts. He has researched in Borobudur Temple and many other sites as a conservator for restoration of stone.

Emi Kawasaki was born in 1985 in Kanazawa, Japan. She completed her B.A. degree at the Tohoku University of Art and Design in 2008, and M.A. degree in World Heritage Studies at the University of Tsukuba in 2010. She is a Ph.D. student of the World Heritage Studies Program at the University of Tsukuba. Her research focuses on the influence of lichens and other microorganisms on stone works and their removal. She has also acquired experience through many cases of artifact restoration and conservation research for heritage.

Yosuke Atomi was born in 1985 in Aichi, Japan. He completed a degree in physical engineering at the Yokohama National University in 2009 and achieved a master's degree at the University of Tsukuba in 2011. He has performed investigations not only at the Borobudur Temple since 2010 as a University of Tsukuba Ph.D. course student, but also at Angkor sites in Cambodia.



ARCHITECTURE AND FOUNDATION STRUCTURE OF THE TWO MATCHLESS BUDDHIST TEMPLES IN SOUTHEAST ASIA - BOROBUDUR AND BAYON -

By:
Ichita Shimoda
Technical Advisor
Japanese Government Team for Safeguarding Angkor

STUPA-SHAPE TEMPLE BOROBUDUR

Borobudur on the island of Java and Bayon in the mainland of Cambodia are identified as two of the matchless Buddhist temples in the Southeast Asia. It would be required weeks or months to make a visit from one to another at one time due to the 2,400 km distance between them, but today we can stand in the presence of Bayon, and the next day visit Borobudur. As we overlap one vision of temple within the clear memory of another temple, many different visual elements of these temples can be overtly understand; profile of the temple's broad view, density of the building and space, feeling of closeness and open, resemblance of the decoration motif, and plastic sense of the relief curving, among many other perceptions. We would deeply awaken our cultural expansion, acceptance, localization and/or indigenization

by the comparison between these magnificent Buddhist monuments.

Borobudur is believed to be constructed during the late 8th to mid-9th century by the Shailendra dynasty at the middle of Kedu plain of Central Java. This temple was constructed by approximately 55,000 m² andesite stone blocks, a dark volcanic rock, above artificial fill on a natural small hill (Photo 1). Length of the foot of this square temple platform is 120 m on a side. The temple consists of six lower square shape stages, three upperround stages and a bell shape stupa on the top. Top most of the stupa was decorated by a finial. The total height of the temple including this finial is estimated as 42 m but the conjectural image of this finial is still under discussion and waiting reconstruction.

A total of 1,460 Buddhist scriptures and

1,212 decorative relief panels were engraved on the wall of the square six stages, and 432 seated Buddha images were installed in each niche. Furthermore, 72 seated Buddha images were covered in the see-through lattice shaped stupas on the upper round stages surrounds the central main stupa. Buddha's prestige has been ubiquitous in the entire temple complex. The view from the top round stage is marvelous. The surrounding steep ridges of the mountain can be continuously viewed along with the edge of niche decorations on the temple walls, and we can feel that the sanctuary of this temple spread to this vast area.

¹ Casparis, J.G. de: *Inscriptiesuit de Çailendra-tijd, Prassasti Indonesia I*, 1950.

One of the ancient inscription dated 842

described the name of the temple, 'Mountain of sustenance from the earth', one of the theories said that this name was the original name of Borobudur¹. This name might be matched to the location and building type of this temple. Because avariety of the artificial objects were unearthed around the temple by previous archaeological excavation surveys this temple might be constructed at the core of the religious center and may serve the role as the landmark of the temple town.

Hindu-Buddhist temples found in Central Java were built between the years AD 680 to 930. Borobudur was constructed during this period, but there is no doubt that Borobudur was obviously unique among all the temples. The common style of the Central Java temple was shrine-type architecture that is represented by Candi Loro Jonggrang. Because there are both Hindu and Buddhist religious temples in Central Java, the Buddhist temples were constructed as stupa-type building except for Borobudur. It is very interested to contemplate why Borobudur was the single exception to the stupa-type architecture. The origin of the stupa structure can be traced back to the ancient Indian temple Sanchi that was founded in the 3th century BC. Some of the indianized southeast ancient dynasties were constructed in the stupa-type temples for the Buddhist sanctuary. Stupa was derived from the mound fill for installing the Buddha remains, and then brick or stone masonry was additionally constructed on the simple earthen mound for posterity. It can be believed that the architect of



Photo 1. General view of the Borobudur temple

Borobudur determined the stupa-type temple when the location was selected on top of a natural hill. In addition, mountain belief originated by substratum religious thought was probably one of the important factors to select the construction site on the elevated hill. In other words, Borobudur can be assumed to be a fusion of Buddhist faith and substratum beliefs.

BOROBUDUR COMPARE TO BAYON OR KHMER ARCHITECTURES

Bayon was established as the State Temple of Angkor dynasty at the center of the ancient Khmer territory in the late 12th century (Photo 2). The 9th century when Borobudur was built can be seen as the initial stage of the long Angkor history. Nevertheless, Khmer architectural history dates back to the 7th century to the Chenla dynasty which is the former constitution of the Angkor dynasty. Temple complexes were constituted by brick shrines that formed the basis for the capital city Isanapura (present name Sambor Prei Kuk) in the first half of the 7th century. The initiation of the sophisticated masonry temples in both Angkor and Central Java, starting from the temples on the Dieng plateau and Isanapura, would be almost simultaneous.

Bakong and Phnom Bakheng are large scale temples built immediately after the Angkor dynasty was established in the 9th century. The locational setting of the Phnom Bakheng which was built in AD 904 is structurally similar to Borobudur. In other words, Phnom Bakheng is also located on the top of small

hill and the stepped elevation platform was constructed directly on the cleared natural rock hill. Subsequently, numerous pyramid-shape temples were erected as State Temples by successive reigns. Angkor Wat and Bayon are two of the representative temples among the Angkorian state temple complexes. Angkor Wat is the culmination of orthodox architectural development in the long Khmer architectural history. On the other hand, the architectural expression of the Bayon is the maverick of standard religious expression. However, in terms of construction technology it is obvious that the Bayon temple was built using a long accumulation of construction experiences.



Photo 2. General view of the Bayon Temple

On the other hand, Borobudur has a very unique existence in the series of temples constructed by the Shailendra dynasty in Central Java. It would seem that Borobudur is an easy concept to conceive in the development of Khmer architecture rather than a transition of Shailendra architecture. Although the discussion on the relationship between Angkor and Shailendra is beyond the scope of this paper, this is an interesting subject to ponder.

The ground plan of the Bayon Temple complex covers an area of 144 x 288 meters and is rectangular in form that includes one srah (basin), one perceived srah and a terrace at the eastern entrance to the complex, double galleries, inner, and outer galleries, surrounded the complex with long bas-relief. The Outer Gallery reliefs are incomplete. The central group of towers is built on top of a cruciform terrace approximately 12 m in height. The height of the central tower is approximately 42 m from the surrounding ground level, which is the same total height to the conjectural height of Borobudur with its finial.

In total the shrine has 48 towers built in high density in the complex. The majority of towers have four faces, called Deity Faces, oriented towards the four cardinal directions; however some have three faces while others have two. The 48 towers do not take into consideration the three hypothetical towers on the central platform and the nine hypothetical towers on the pavilions of the Outer Gallery. Against approaching Borobudur as a massive contiguous structure, Bayon has elongated fragile masonry towers

bristling like grave posts with each monument giving a different impression of structural stability.

Many series of the Buddhist panels are curved in the gallery of Borobudur, whereas combat scenes between Khmer against Champa and engraved in the Outer Gallery walls and myths and legends are engraved on the walls of the Inner Gallery of Bayon. Bayon Temple was devoted mainly to Buddhism but, Hindu deities also appear in a blending of faiths. For example, the bas-relief on the north wall of the Inner Gallery shows many stories of Siva and on the west wall are stories of Vishnu. Hinduism was not completely excluded by Buddhism in Borobudur Temple as depictions of Siva can be seen in the panels at Borobudur. However, the tolerance of the Bayon for Hinduism and the many other gods is a significant characteristic of Bayon making it most different in features from Borobudur.

In Borobudur, the bas-relief sculpture of all panels is carefully completed. Rounding each level of gallery from bottom to upper stage and interpreting these panels may be an act of pilgrimage or practice. On the other hand, the bas-relief at the low access area, Outer Gallery, in Bayon was not completed. Noteworthy is the fact that the long bas-reliefs in the Angkor Wat Gallery where the most sensitive engraving work was initiated were not completed at the initial construction stage. In other words, circumambulation of the gallery, as a religious practice was doubtful in the Khmer temples of Angkor Wat and Bayon. The initial construction

stage of Bayon had only a cruciform gallery. L-shape corridors were constructed in a later period and changed to rectangular gallery. Therefore circumambulation and religious action in the galleries in Borobudur and Bayon was likely different.

However, principle architectural composition was probably common in both temples. In other words, a three step composition of lower platform, middle square stages, and round stages on the top in Borobudur, and level of outer gallery, level of inner gallery, and central terrace level in Bayon. Borobudur was interpreted as the architectural metaphor for the expression of the Buddhist hierarchical structure of three realms: *Kamadhatu*, the realm of desire; *Rupadhatu*, the realm of form; and *Arupadhatu*, the realm of formless. Pilgrimage action from bottom to upper stages is the transition through these three realms. We can interpret the same structure in Bayon; combat scenes in the outer gallery as the realm of desire, myths and legend scenes in the inner gallery as the realm of form, and shrines for gods in the central terrace as the realm of formless. Circular plan of the central group of towers are notably exceptional in Khmer architectural style, but we can juxtapose the similarity to the symbolic character of the circular stupa of the Borobudur.

In this manner, Borobudur and Bayon may profess the same belief in different terms while being similar in common features of architectural composition. Borobudur has a very special and unique presence in Central Java architecture while the Bayon is unique and

special in Cambodia. Taking a larger geographic view, this sharing of uniqueness characteristics joins then together in a single style exception.

PROBLEMATIC POINTS ON THE FOUNDATION STRUCTURE OF BOROBUDUR AND PREVIOUS RESTORATION WORK BY UNESCO

One of the structural differences between Borobudur and Bayon is the architectural style, 'stupa' vs 'shrine' as mentioned above. Another important difference is the foundation structure. Borobudur was constructed on a natural small hill, and natural rock layers were used as a part of the foundation structure. On the other hand, Bayon was constructed on an alluvial plain and artificial soil fill and a laterite and sandstone masonry structure supported the pyramid shape of platform.

Through the project by the Indonesian government and UNESCO in the 1960s and 70s, a variety of investigations on the foundation structure were initiated. By the many geotechnical boring surveys, various petrological data was obtained such as physical properties and intensity of the natural and man-made foundation in the platform and natural hill, and their thickness and shape.

Below the andesite structure, a man-made well compacted foundation composed of a mixture of andesite fragments in loamy soil was confirmed in 0.5 m to 8.5 m layers of thickness (Photo 3). Three natural hill layers

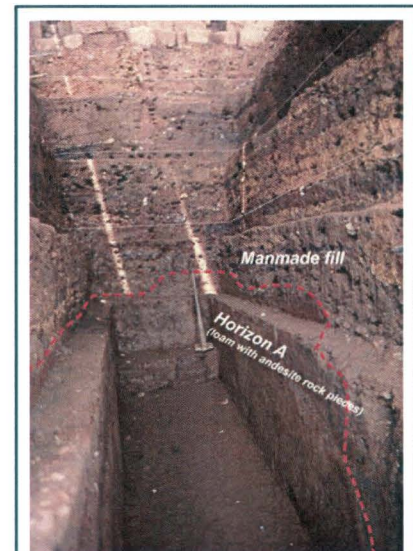


Photo 3. Excavation trench at the manmade fill and Horizon A during the second restoration work (by Chihara, D., 1977)

were confirmed under these man-made layers. Uppermost layer of the natural hill is the high permeability loam with andesite chip layer of 2.0 to 13.5 m in thickness (Horizon A). Second layer is the weathered tuff layer of 0.5 to 3.5 m

in thickness (Horizon B), and third layer is the tuff rock layer (Horizon C). As past geography of the natural hill was smaller than the designed pyramid shape, considerable thickness of the artificial foundation layer was additionally constructed on the natural hill. Through the transverse cross-section of the temple and hills, it shows that the three small hills were aligned from Northwest to Southeast before the temple construction. The central hill was selected as the primary construction site. The Horizon A and B of the top of the Northwest hill (Dagi hill) seems to be cut off and piled up on the central hill as a man-made layer (Figure 1).

Bearing capacity is the important index for evaluating the structural stability. The minimum value of the man-made foundation beneath the stone structure was recorded at 0.23 kg/cm^2 , maximum is 3.15 kg/cm^2 , and average is 1.47 kg/cm^2 (Table 1). Maximum thickness of the andesite stone blocks of the temple platform is about 8 m at the center. If the specific gravity of andesite is 2 t/m^3 , a man-made foundation that has a bearing capacity of 0.23 kg/cm^2 can support the stone blocks in only 1 m thickness. Shortage of the bearing capacity is an obvious structural weakness.

The low bearing capacity of the man-made foundation caused uneven settlement throughout Borobudur, and a tendency of the displacement is that the uneven settlement is predominant than outward sliding (Figure 2). Although there was rain water evacuation through the stepped drainage system of each pyramid stages, displacement of the foundation

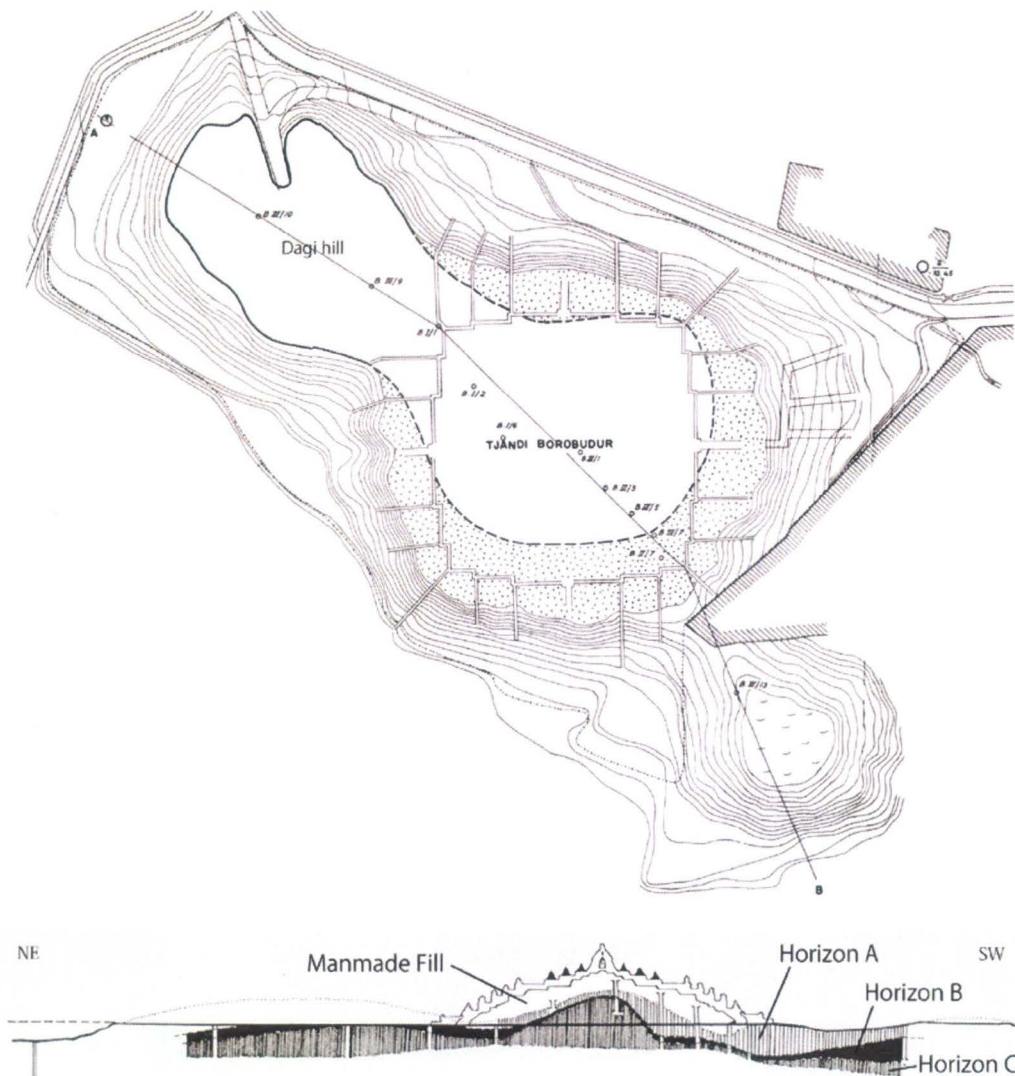


Figure 1. Topographic map and geotechnical section of the Borobudur temple and hill (Penelitian Tanah-Dasar Tjandi Borobudur, Laporan Kegiatan Proyek Restorasi Candi Borobudur, Pelita Borobudur, Seri B no.3, 1969)

Table 1. Physical characteristics and soil mechanics (The Restoration of Borobudur, UNESCO publishing, 2005)

Characteristics	Fill	Horizon A	Horizon B	Horizon C
water content (%)				
minimum	42.31	35.50	32.20	31.82
maximum	63.50	66.76	52.10	52.13
average	39.75	45.96	38.39	40.65
plasticity (%)				
minimum	17.69	17.12	22.83	14.68
maximum	39.19	38.76	43.05	44.31
average	32.04	26.15	33.50	28.21
porosity (%)				
minimum	55.75	54.71	45.92	48.21
maximum	63.34	64.99	57.95	58.54
average	57.91	60.19	51.56	53.88
bearing capacity (kg/out)				
minimum	0.23	0.58	0.37	0.45
maximum	3.15	2.28	5.83	4.60
average	1.47	1.13	2.98	1.66
angle of internal friction				
minimum	9.00	8.50	9.00	0.00
maximum	23.00	23.30	30.00	20.50
average	16.30	14.30	21.10	13.60

provoked gap openings and penetration of the rain water into the platform. Flowing water carried away the foundation soil to the outside of platform, and caused further platform displacement.

The upper natural layer Horizon A is the high permeability layer against the second layer Horizon B that consists of the low permeability soil and rock. Therefore, water content of Horizon A shows a high value. The low permeability layer of the foundation is probably one of the causes that induce the evaporation of water from the surface of relief panels on the platform.

Against these structural problems,

previous restoration work by UNESCO and Indonesian government implemented several countermeasures; new reinforcement concrete structure was installed between the stone platform and man-made foundation layer in order to support the entire load of platform and upper stone structure instead of original

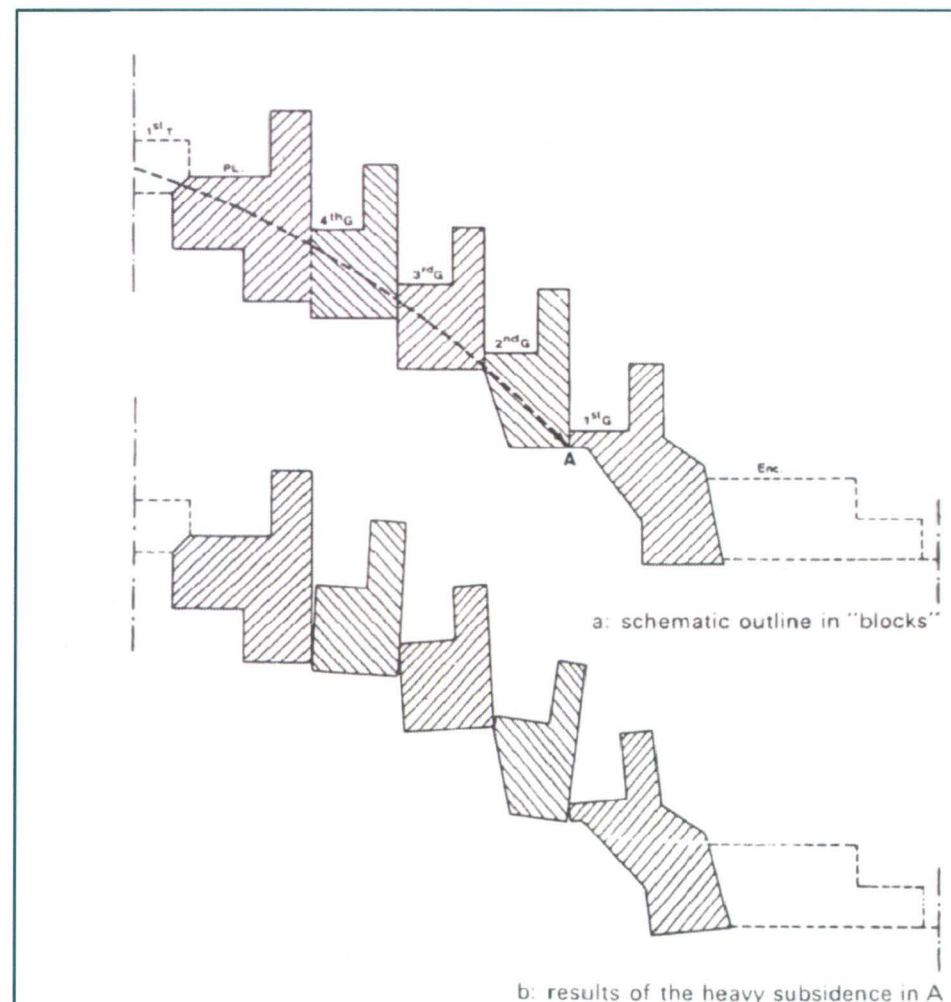


Figure 2. Schematic of the uneven sub settlement of fill caused tilting the each stages of Borobudur (Pelita Borobudur)

foundation structure that has a low bearing capacity, and to prevent the water penetration into the foundation. However, because this new RC structure was installed only beneath the lower square stages, water penetration under the upper circular stages was not included in this countermeasure. Therefore, horizontal drainage tubes were installed through this RC structure to evacuate the water from original foundation to the outside of this new structure. Monitoring

of water level was started after the restoration work, and observation of the function of this RC structure and drainage tubes was undertaken. A ring-shaped RC slab was installed around the platform on the top of hill to prevent the outward displacement of the platform and stabilize the natural hill.

MONITORING AFTER THE RESTORATION WORK AND PARTIAL DISMANTLING-RECONSTRUCTION WORK IN 2000S

Since 1983, just after the restoration project of UNESCO, several monitoring initiatives were started by the Borobudur Conservation Office (BCO). Monitoring works are done by several units; a) Stone condition monitoring unit, b) Environmental monitoring unit, c) Geo-hydrology monitoring unit, d) Structural stability of the temple and hill unit, e) Area monitoring unit. Among them, there are two units that are observing the structural stability and have a direct relation to the discussion.

Geo-hydrology Monitoring Unit

This unit monitors several important environmental elements such as, 1) rainfall/evaporation, 2) groundwater level in the temple, 3) groundwater level around the hill, 4) erosion of the hill, 5) sedimentation in the water tank from the drainage system, 6) drainage water quantity, 7) quantity and impurity of water from

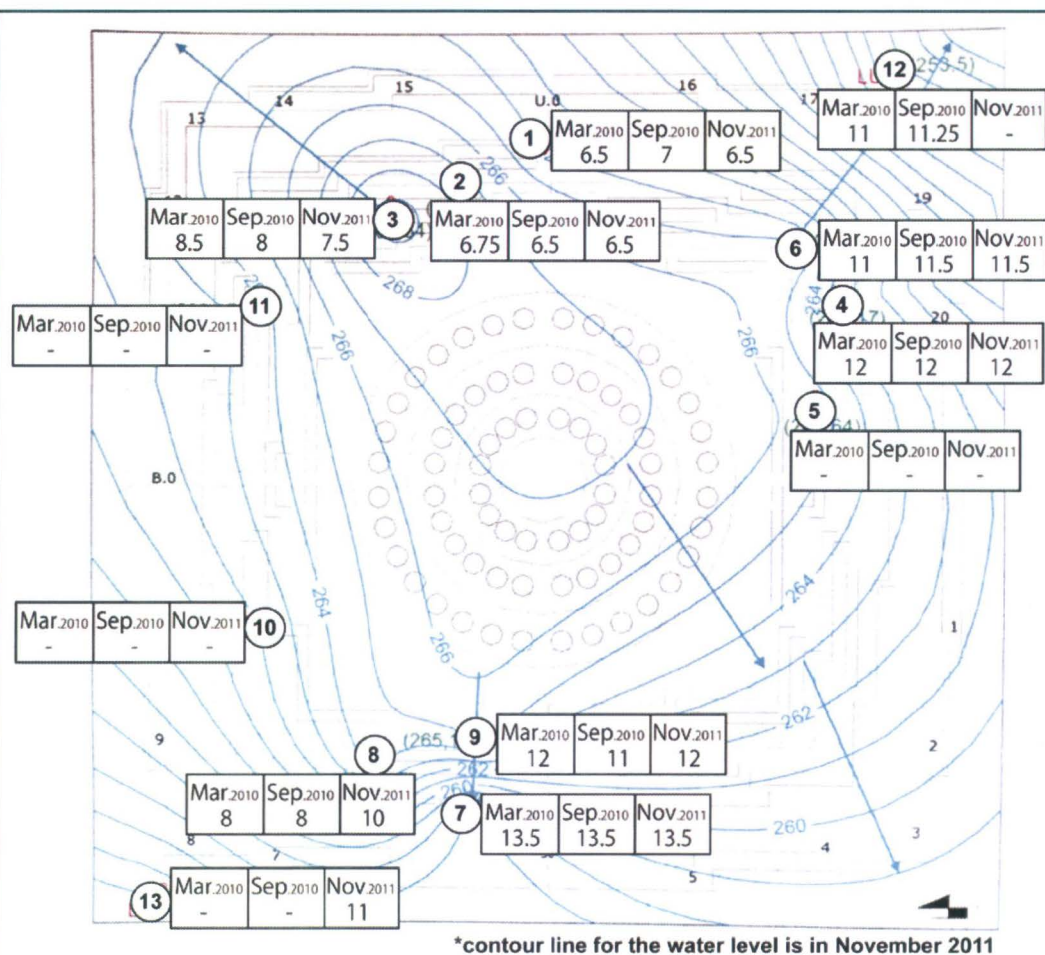


Figure 3. Seasonal water level change beneath the Borobudur temple

“filter layer”. There are several opinions on these monitoring methods and interpretations of the recorded value that should be mentioned.

Underground Water Level in the Temple

Water level is monitored at the holes drilled in the second restoration work. BCO team checks the water level twice per year, in the dry and in the rainy season. Although water level should be lower in the dry season, collected data showed a stable value between the two different seasons (Figure 3). On the other hand, the water level surrounding the temple hill changes about 3 to 5 m between dry and rainy season.

Water level at measurement points in the temple was higher than surrounding ground level even in the lowest ground water level. Experts of the BCO suspect that these water levels are not representative of the real underground water level beneath the temple, and they suspect that water is always collected in the boring hole for some reason. Setting up the new monitoring system of the underground water level in the temple should be considered.

Erosion of the Hill

BCO team records the eroded soil volume at the 18 points around the temple hill. A large quantity of eroded soil was collected at point 11. Experts of BCO speculate this point is eroded because of less tree cover at the slope of the temple hill. Even if some volume of soil is eroding

from hill surface, massive RC ring banding structure installed by the second restoration work would support the stone masonry and provide a stable condition (Photo 4). Therefore, it can be assumed that the quantity of erosion of hill is not affecting the temple directly.

Sedimentation in the Water Tank from the Drainage System

BCO team is recording the volume of soil at the drainage tank from the temple. It is

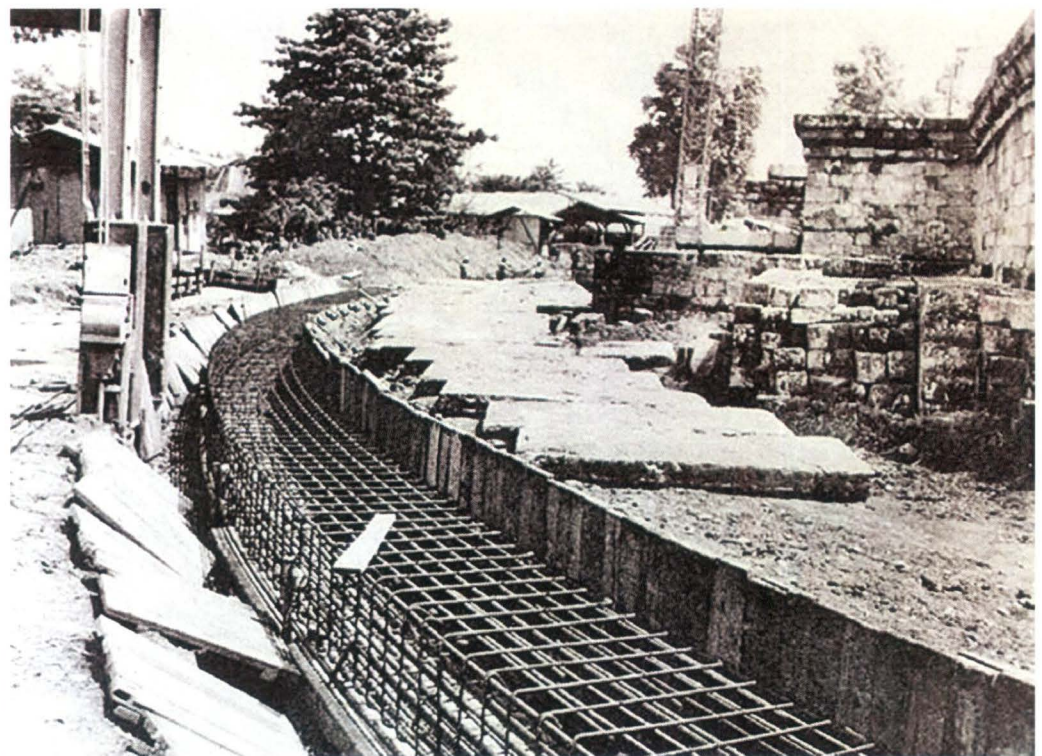


Photo 4. RC ring banding structure surround the platform of the Borobudur
(Laporan Kegiatan Proyek Pemugaran Candi Borobudur, Pelita Borobudur, Seri B no.5, 1976)

considered that the soil is derived from tourist shoes. Soil from the inside of platform might not be contained because the soil has never been confirmed in filter layers. “T tank” collected 6 cm soil sedimentation for a half year. It is an extraordinary volume compared with the other tanks. There is much soil introduced at the east side potentially because the main entrance for tourists is located in that location.

Drainage Water Quantity

This is important to monitor and evaluate the water movement in the temple structure and water seepage behind the deteriorated relief panels. A theoretical model was proposed by Dr. Djoko Luknanto, and BCO follows his mathematical estimation (Figure 4). Experts of BCO are contemplating the method for

Table 2. Ratio of the infiltration water by the rainfall in 2011
(Monitoring data by BHCO)

Month	Rainfall (mm)	Infiltration water into foundation (mm)	Ratio of the infiltration water by the rainfall (%)
January	358.0	113.0	31.6
February	139.0	21.1	15.2
March	175.5	5.3	3.0
April	193.0	43.4	22.5
May	109.0	0.0	0.0
June	0.0	0.0	0.0
July	7.5	0.0	0.0
August	0.0	0.0	0.0
September	0.0	0.0	0.0
October	72.0	0.0	0.0
November	252.0	69.5	27.6
December	182.5	8.9	4.9
Total	1488.5	261.1	17.5
Average	124.0	21.8	8.7

calculating this drainage water ratio. This value is added only after the rainfall of a two days interval. It is potentially better to consider the absorption water volume and relationship between the rain event and absorption frequency (V4).

The percent of the infiltration water is approximately 5~30% of the rainfall. Fundamentally, the month with large quantity of rainfall shows low drainage efficiency. However, the ratio is not a constant value, such as anomaly months of March and December (Table 2).

Before 2012, only 8 drainage water pipes were monitored out of a total 20 drainage pipes (Figure 5). Actual drainage water was much more than previous monitored quantity, and efficiency of the drainage system would potentially be evaluate more effectively than past estimated values. New data can be expected after the installation of new water gauges to the

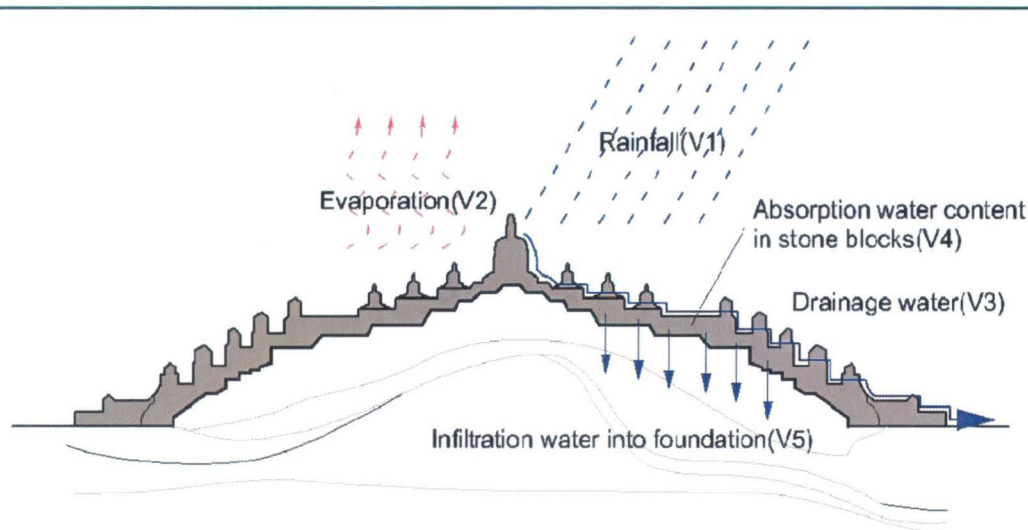


Figure 4. Diagram of the infiltration water into the foundation structure ($V5=V1-V2-V3-V4$)

all drainage pipes at the end of this year.

If possible, at least one drain pipe should be monitored by an electronic water monitoring gauge with data logger, and short interval recording capacity (2 min or 5 min). At that point evaluation of the drainage water ratio by each rain event, and relationship between ratio and rain pattern can be made.

Quantity and Impurity of Water from “Filter Layer”

Filter layers that were installed in the second restoration work are for the water removal drainage from the inner foundation to the gallery through the concrete structure. It was said that drainage water is filtered by organic materials that were installed by the past restoration but it is not clear about the composition of the material.

South side 1st level “c” and “h” drainage recorded extremely higher values than the other drainage. A large quantity of water is voided even in the dry season, and the impurity of water is very low. Experts of BCO state that water will not come out if they do not have the water from drainage. It means that water is evenly collected behind the concrete structure, and it probably does not function properly. However, the mechanism of water run off from the later filter layer is now obscured. This drainage system and the initial purpose of the ‘filter layer’ need confirmation from the previous documentation made during the second restoration work.

Monitoring Unit of the Structural Stability of the Temple and Hill

This unit conducts the periodical measurement and monitoring of the temple structure as following:

1. Polygon survey monitoring
2. Wall inclination monitoring
3. Inclinometer monitoring

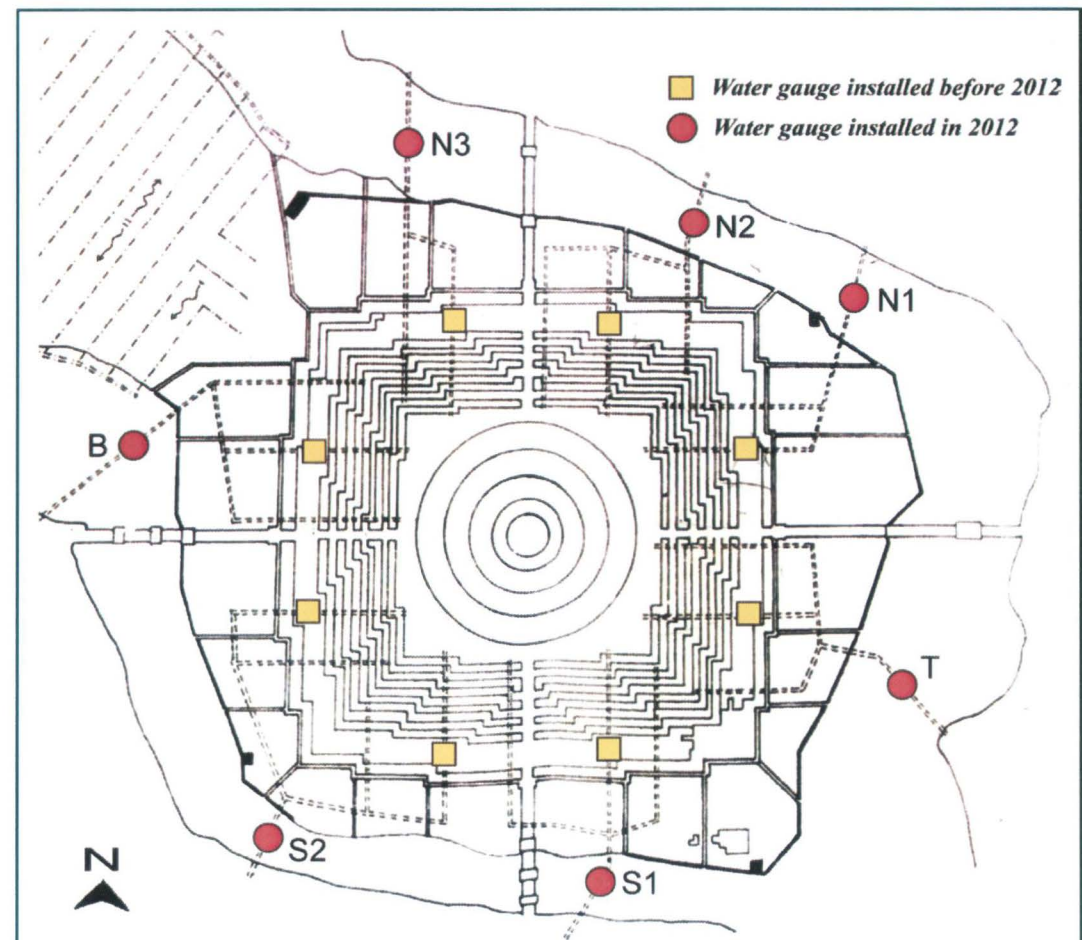


Figure 5. Location of the monitoring water gauges

Since the author could not confirm enough data on the previous monitoring of wall inclination and inclinometer measurements, this description is limited to the polygon survey monitoring.

Polygon Survey Monitoring

After the second restoration work, two circular monitoring points around the temple

and hill, and several circular monitoring points in the temple were installed (Figure 6). Experts of BCO have been measuring these points since 1984. They are using a Theodolite machine (Wild T2) for this work. Although they have a new Total Station, they continue to use this old type of machine because of higher angle accuracy. They measure the three dimensional values (X,Y,Z) by the relative positioning from the next fixed points.

Stability of the 'hill and lower level of the temple' were evaluated in 2007 by the cumulative data from 1984 to 2006. Some points recorded a dangerous value (large displacement). And many of the Z value (settlement) are over the tolerance of 6 mm that was estimated during the restoration design. However, the foundation of the temple was reinforced by the concrete ring on the hill. Therefore, a certain quantity of erosion of hill will not effect to the temple significantly because the firm RC circular structure that was installed in second restoration work is supporting the foundation structure to prevent the widening and slumping behavior at the foot of temple. Several dangerous values, especially large settlement, were recorded in the past years, but recovered in following years. This kind of variation in value potentially shows measurement error or extreme soil elasticity.

One of the reports presents the comparison study of monitoring data of the structural displacement between 1984 and 2008. Data was evaluated by the differences between initial reference value and the present value in 2008. Measurement value shows under the

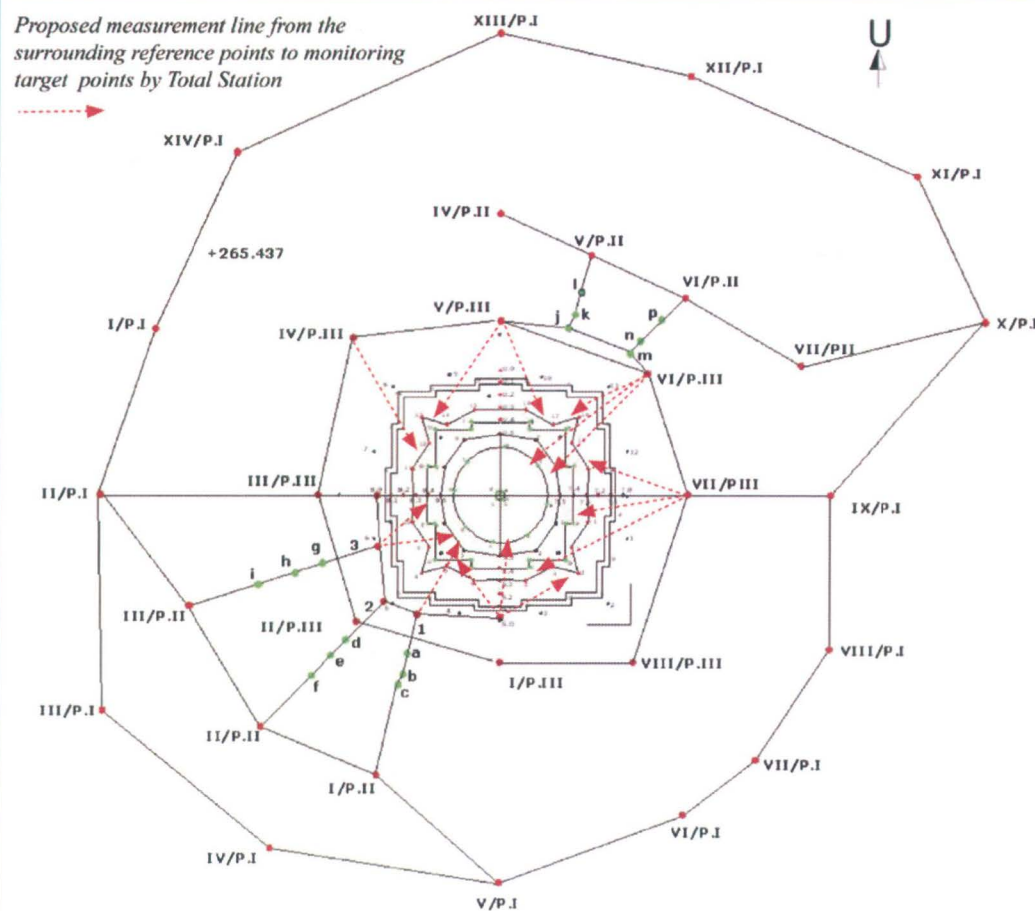


Figure 6. Monitoring points in/around Borobudur temple, and proposed new measurement lines

tolerance and confirm the expected stable condition of the temple structure. However, the traverse measurement method accumulates the error, and requires a high level of survey skill for ensuring accuracy. This method can show only the relative value from subsequent points. A steel tape for measuring distance is not recommended. Furthermore, in the last few years no expert have analyzed these data and risk of the disconnection from the old data is likely. Another report shows the differences between 1994 and 1999. Considerable settlement was confirmed at every point ².

In this situation, it is difficult to evaluate the structural deformation and stabilization. Therefore, in addition to the initial traverse measurement method, direct measurement from the reference points on the surrounding temple to new installed points on the temple surface is recommended. For this measurement, a Total Station should be used for the large distance measure. New points should be selected at the suspicious areas of the displacement. By this way, the cumulative error of the measurement can be reduced.

Current Restoration Work of the Drainage / Water Shielding System

Borobudur Conservation Office (BCO) has been conducting the third restoration work since 2003 because the stone deterioration was obviously accelerated by salt weathering. They considered the origin of the salt was derived from installed concrete and water shield

materials which had lost their effectiveness. By their monitoring work, the south side walls were experiencing the largest quantity of seepage, and the north side walls were second. By the previous restoration work in second restoration project, they started the work from south side, then north, lastly east and west. It is a possibility the first work was a trial stage and the process was not perfected sufficiently.

After 2003, BCO started the third restoration (dismantling and re-assembling work of the balustrade) from the wall that was heavy seepage area (Figure 7, 8, Photos 5-11). Only the areas 9th wall and 13th wall were conducted twice because seepage did not stop by the first restoration. All of the partial dismantling work of the decorative panels where seepage previously was observed will be completed in 2012. BCO reported that the only the “13th wall” still observed seepage after restoration work, but seepage problems were stopped on the other walls.

I would like to propose that quantitative monitoring should be continue to evaluate every individual panel and compare the situation before and after the current restoration work in order to confirm the effect of these works, and the digital mapping system that was introduced in 2007 should be applied for this monitoring.

FOUNDATION STRUCTURE OF BAYON COMPARE TO BOROBUDUR

Many towers of the upper stone structures of the Bayon was restored by The École française

² Studi deformasi arah vertikal struktur candi borobudur akibat pengaruh konsolidasi tanah dasar fondasi, 2001.

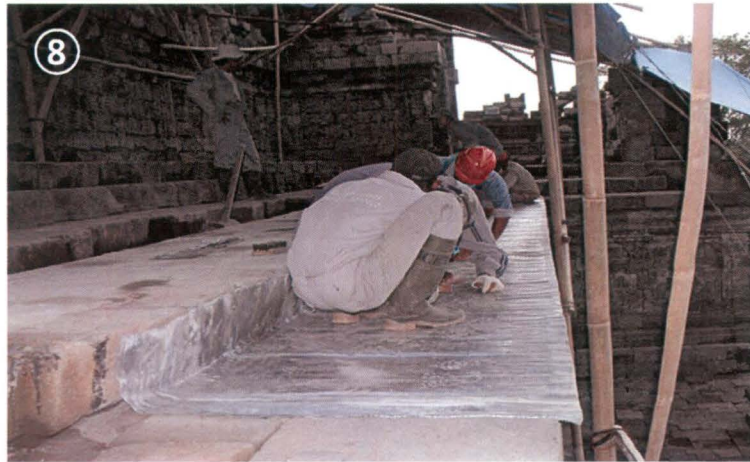


Photo 8. Re-paving the new lead plate lower layer of old lead plate level.



Photo 9. Applying Araldite Tar on the lead plate and stone.



Photo 10. Water leaking test under balustrade.

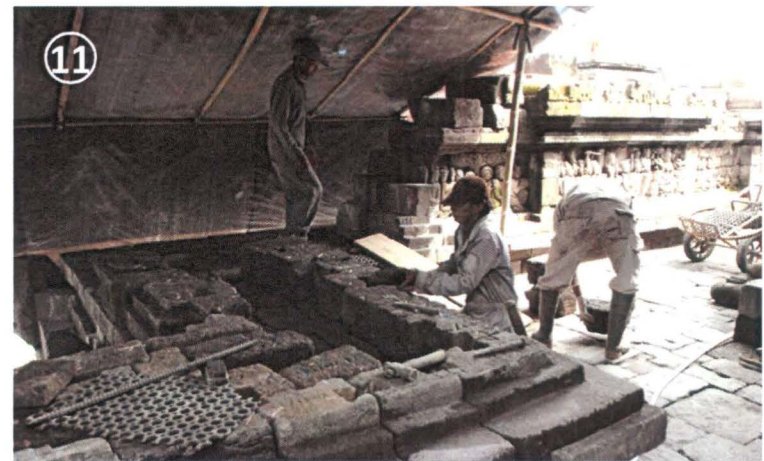


Photo 11. Reconstruction of the balustrade

d'Extrême-Orient (EFEO) at the first half of the 20th century. The study and restoration work of the platform and foundation structure has been never conducted in Bayon until the 1990s in contrast to Borobudur.

Japanese Government Team for Safeguarding Angkor (JSA/JASA) tackled this untouched subject through several restoration works; Northern Library in Bayon (1994-1999), Prasat Suor Prat (2000-2006), Southern Library in Bayon (2006-2011) and Central Tower in Bayon (2006). Through these projects, the foundation structure of the Khmer monument is under elucidation. The basic structure is consisted by three materials; sandstone layer for the exterior

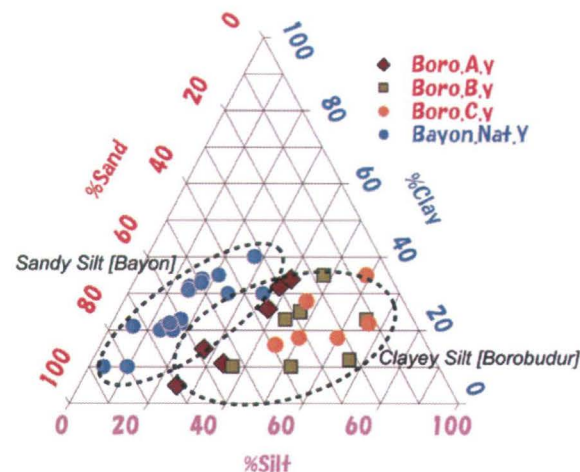


Figure 9. Grain size for natural ground of Borobudur and Bayon



Photo 12. After partial dismantling of the upper structure and corners of platform, Southern Library of Bayon, restoration by JASA in 2006-2011

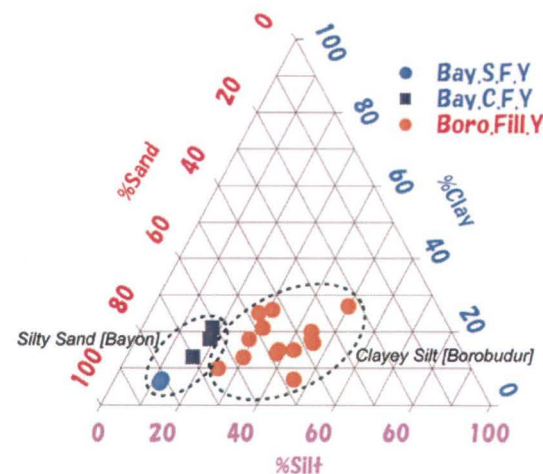


Figure 10. Grain size for fill soil of Borobudur and Bayon

material with engraved decoration, laterite layer for the back filling material of the sandstone layer, and compacted soil fill for the core of the platform and foundation (Photo 12). Because sandstone blocks were probably difficult to obtain, it was

used only for the exterior material. Although a laterite structure supports the upper structure in the platform, this material has deformed and degraded due to the long term load stress from the upper sandstone structure. In addition, laterite layering works as the retaining wall for the inner soil fill. Structural deformation has induced the leakage of the contained foundation soil. While compacted soil maintains the high bearing capacity in a dry condition, water seepage induces a radical decrease of this capacity. In some cases, termites and some insect nest are also a hazardous factor to the compacted soil structure.

Compacted soil of the Khmer monument is medium fine silty sand that has a more coarse grain size than the clayey sand of Borobudur. (Figure 9). Water content of the compacted soil at Bayon is around 10% while Borobudur is around 40%. Specific gravity is also different. The natural ground condition is also greatly different (Figure 10). These differences in soil characteristics are significant reasons affecting the stability of the foundations of Borobudur and Bayon (Table 3).

Currently, JASA is working to clarify the internal structure of the foundation in order to stabilize the Central Tower. The Central Tower is a chimney-shape structure 30 m in height, and stands on the Central Terrace which is 12 m in height. In order to assess the stability of this masonry structure and identify the causes of the deformation, JASA carried out a series of the research; behavior and climate monitoring, deformation measuring, micro vibration

survey, and structural analysis. As a result, the significant cause of the deformation and masonry displacement is not derived from the uneven subsidence, but from the high probability of the influence of strong winds. However, JASA needed to confirm the internal structure of the foundation to evaluate the stability, and specifically identify the cause and effect.

JASA applied the several research methods, 1) ground penetrating radar survey, 2) electric detection, 3) archaeological excavation survey, and 4) geotechnical boring survey. Although exploration and excavation survey did not interpreted the precise internal structure, boring surveys which were conducted from

Table 3. Characteristic of the location and foundation structure, Borobudur vs. Bayon

	<i>Borobudur</i>	<i>Bayon</i>
<i>Weather</i>	Monsoon	Monsoon
<i>Rainy season</i>	October-April	May-September
<i>Rainfall</i>	2300mm/year	1300mm/year
<i>Tectonic</i>	Volcanism	Stable
<i>Major geology</i>	Andesite and quaternary sediment	Sandstone and quaternary sediment
<i>Topology</i>	Hill	Flat
<i>Ground water</i>	GL -10m	GL0 ~-5m
<i>Stone material</i>	Andesite	Sandstone, laterite
<i>Natural ground</i>	Loam soil and tuff rock	Silty clayey sand and tuff rock
<i>Fill material</i>	Silty clay	Silty sand
<i>Clay characteristics</i>	High plasticity (ductile than brittle)	Low plasticity
<i>Fill</i>	Heterogeneous	Homogeneous
<i>Water content</i>	25-45%	7-12%
<i>Dry unit mass</i>	1.290g/cm ³	1.756g/cm ³
<i>Causes of instability</i>	Uneven settlement of ground and flow out of soil	Decay of laterite block, flow out of soil, uneven settlement by dewatering in future

2008 to 2012, revealed the constitution of the sandstone, laterite and soil fill structure in the Central Terrace and directly below the Central Tower (Photo 13).

The foundation of the Central Tower was surprising configuration of well-considered advanced characteristics of each material. In other words, laterite blocks have never used beneath the Central Tower in order to avoid the deformation by the heavy load, but were used as a retaining wall at the periphery of the Tower to prevent the outflow of the compacted soil that filled the space under the Central Tower and the surrounding peripheral chambers (Figure

11). This structure mutually complements the weakness of laterite, compacted soil elasticity, and the downward stress of the sandstone tower and chambers. Although there is no current data on the exact foundation structure of other pyramid shaped Khmer temples, this coffering-shaped retaining wall appears to be uniquely suited for the Bayon tower configuration.

In the Central Tower, an archaeological excavation survey by EFEO in 1933 dug a vertical shaft 12.5 m in depth. Although they filled back the excavated shaft after the survey, current research revealed that the strength of this back filled soil was insufficient. Since the original foundation structure was strong enough by virtue of the coffered soil configuration the present loss of strength indicates a potential high risk situation leading to additional deformation of the superstructure (Figure 12). Therefore, JASA plans to implement the stabilizing work of this loose platform soil directly below the Central Tower by installing a supporting liner plate structure in the near future.

PROPOSAL ON THE FUTURE MONITORING, MAINTENANCE, AND RESTORATION WORK IN THE BOROBUDUR

Before further conservation work on Borobudur, attention must be paid on the stone deterioration of the decoration panels. Since the major cause of the stone deterioration is derived from water evaporation on the stone



Photo 13. Boring survey at the Central Terrace of Bayon by JASA (2011)

surface, preventing the water penetration into the foundation structure is an essential measure for conservation. As mentioned above, from 2003 to 2012, BCO has conducted the partial dismantling and reconstruction work in order to install the water shielding layer. Monitoring of the effect of this water shielding layer and change in the speed of the stone deterioration are necessary for evaluating this current intervention. Based on this evaluation, further conservation work should be considered. For this consideration, target panels for digital mapping on the stone deterioration that was established in 2007 should be increased and accumulation of a record of specific change is required.

Evaluation of the stability of the supporting RC structure by the previous restoration work is also important. For this evaluation, higher accuracy behavior monitoring and its analysis are essential. As described above, direct measurement from the perimeter of the temple to each point of the risky masonry would be the recommended method. In addition, installation of the electronic opening gauge and inclinometer on the stone structure to monitor conditions with greater precision and with shorter intervals is also required. It is desirable to assess the stone deterioration by the association of the behavior monitoring and conservation mapping.

Boring survey at Borobudur was implemented in 2000 and 2001, 20 years after the restoration work by UNESCO and the Indonesian government, to evaluate the stability of the structure. However, much of the drilling

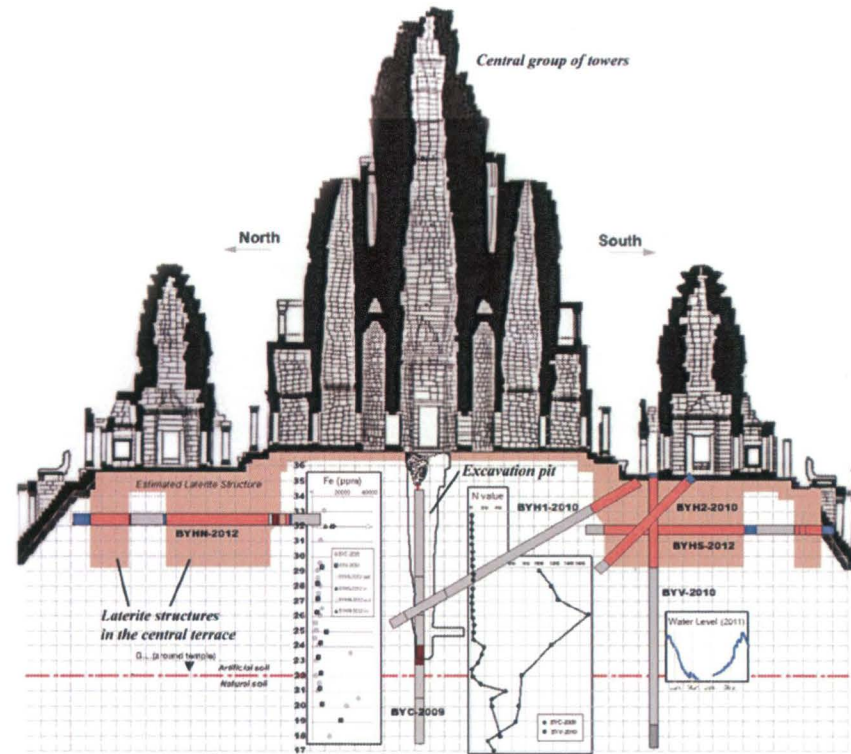


Figure 11. Schematic foundation structure in N-S section of the group of central towers and central terrace by the result of boring survey

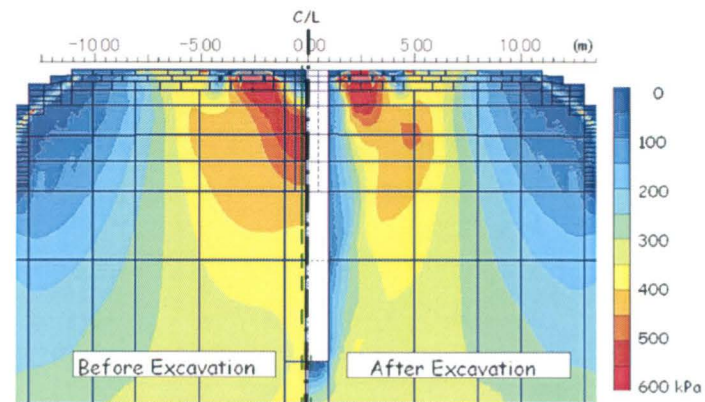


Figure 12. Change of tangential stress in the foundation mound by vertical shaft (Iwasaki Yoshinori), Safety assessment based on boring survey and structural analysis of the main chamber, Report on the conservation research of the Bayon, Angkor Thom, Kingdom of Cambodia, JASA, 2012)

locations were in the vicinity of the temple, and only a single drilling survey was conducted on the stepped temple structure. In order to evaluate the stability of the structure 30 years after the restoration work, implementation of the new boring survey would be the most effective and efficient method. Through this method of survey, BCO can confirm the shrinkage of the original man-made fill and original hill, and the existence the space between the installed RC structure and the top of the man-made fill. Strength test of each structure, deterioration of the RC structure, and study on the water contents of each layer are also possible. Installation of the monitoring equipment of the water level and inclinometer in the foundation structure are also available. Strength and physical property data can be useful to the structural analysis of the platform and foundation. In order to discuss the necessity of the future restoration work and its method, boring survey would be provided the vital evidences.

LEGACY OF GLORY FOR THE FUTURE

Each monument, Borobudur and Bayon was built to glorify the Buddha and other gods they worshiped, and was the product of powerful and benevolent kings. The monuments not only share religious scenery in bas-relief, but exemplify the ingenuity of the planners, architects, and craftsmen who took the elements of the earth and transformed them into beautiful objects. There is at least one element that highlights the

similarities very unambiguously and that is the environmental hazards of physical, chemical, and biological degradation, with water at the source, that attack the monuments constantly. While there were many suggestions and comments, they are neither all inclusive nor did they reflect entirely the similarity of problems of Bayon research, evaluation, and restoration techniques. More work is needed to be done.

In closing, while Borobudur and the Bayon are 2400 km apart from each other, they represent a religious legacy of being unique monuments built by innovative and talented craftsmen and artisans for the glory of their gods, the splendor of their kingdom, and as a lasting reminder of the creative genius of ancient civilizations. These monumental 'living' structures continue to manifest greatness and are a source of national pride through the unceasing efforts of BCO, JASA, and the professional they represent. BCO and JASA preserve the legacy not for themselves, but for future generations of Indonesians and Cambodians, and for that matter the world to experience, imagine, wonder, and enjoy the magnificent history of the achievements of ancient advanced civilizations.

ACKNOWLEDGEMENT

I would like to offer my grateful appreciation to themany experts in the Borobudur Conservation Office; Mr. Iskandar Mulia Siregar, Mr. Nahar Cahyandaru, Mr. Basuki Rachmad, Mr. Brahmantara, Mr. Rony Muhammad, Ms. Ari Swastikawati, Ms. Dian Ekarini, Mr. Panggah Ardiyansyah, Mr. Yudi Suhartono. The conversations and site visit with them were very helpful not only for understanding the complex work in Borobudur but also useful for my work in Bayon. I would like to thank to Dr. Hans Leisen, Dr. Esther von Plehwe-Leisen, and Dr. Eberhard Wendler who taught me their research methods in the conservation science field. On the geotechnical study, many thanks to Dr. Iwasaki Yoshinori who participated both restoration work in Borobudur in the 1970s and Bayon from the 1990s to today. His advice was essential to treat this complicate subject. Careful English editing and comments from Mr. Robert McCarthy were helpful for writing this paper. Finally my deepest appreciation to Mr. Nagaoka Masanori who gave me the research occasion in Borobudur as a UNESCO expert.

Dr. Ichita Shimoda was born in 1976 in Tokyo, Japan. He completed his Ph.D. in Architectural History of Southeast Asia at Waseda University. He has worked on restoration sites in cambodia as a Technical Advisor of the Japanese Government Team for Safeguarding Angkor, UNESCO Japanese Funds-in-Trust Project. In addition, he has conducted the research and conservation projects at the Sambor Prei Kuk group monuments that was the capital city of the Chenla dynasty in the 7th century at the middle of Cambodia. He has worked in the Borobudur Temple Compound since 2012 as a UNESCO expert.



Photo 14. Bayon Temple in Siem Reap Province Cambodia



KETIKA CANDI BOROBUDUR DIBOM

Oleh:

Marsis Sutopo, Iskandar M. Siregar, dan Yudi Suhartono
Balai Konservasi Borobudur
Direktorat Jenderal Kebudayaan

Masih samar-samar teringat, awal tahun 1985, waktu itu beberapa mahasiswa Arkeologi UGM melakukan survei lokasi di Kutoarjo untuk mengadakan kegiatan Kemah Kerja dan Studi Arkeologi (KKSA) yang dilaksanakan setiap dua tahun sekali oleh Himpunan Mahasiswa Arkeologi (HIMA) UGM. KKSA tersebut merupakan kegiatan lapangan yang berupa studi lapangan, diskusi lapangan, dan bhakti sosial, yang diikuti oleh HIMA yang sekaligus sebagai tuan rumah. Sebagai peserta tamu adalah perwakilan dari Keluarga Mahasiswa Arkeologi (KAMA) Universitas Indonesia, Warga Mahasiswa Arkeologi (WARMA) Universitas Udayana, dan Himpunan Mahasiswa Sejarah dan Arkeologi (HIMSA) Universitas Hasanuddin.

Tim Survei HIMA akhirnya mendapatkan lokasi yang cukup strategis di lapangan Desa Kaliglagah, Kecamatan Kemiri, sebelah utara Kutoarjo. Dalam ingatan saya waktu itu yang ikut survei tempat antara lain Hanan Pamungkas (Ketua HIMA saat itu), Septihandri (almarhum),

Tetrias Pujiyanto, Priadi Anggoro, dan saya sendiri Marsis Sutopo.

Setelah selesai mengadakan survei tempat, akhirnya Tim mampir di rumah Tri Hartono (sekarang Kepala BPCB Bogem, DIY) yang kebetulan rumahnya di Purworejo dan dijamu makan siang. Malamnya kemudian diundang ke rumah Yuniarso Kwartono Adi (Toton) yang rumahnya juga di Purworejo untuk makan malam. Pada saat menikmati makan malam, melalui Berita Nasional TVRI pukul 19.00 kami melihat tayangan berita Candi Borobudur dibom. Benar-benar berita yang mengejutkan dan menggemparkan dunia arkeologi. Bagaimana tidak, Candi Borobudur yang selama ini menjadi kebanggaan peninggalan nenek moyang bangsa Indonesia malah akan dihancurkan oleh anak cucunya sendiri.

Dengan pikiran yang berkecamuk penuh pertanyaan berkaitan dengan berita Candi Borobudur dibom, kami kembali ke rumah Tri Hartono untuk menginap. Paginya kami

dengan naik motor berboncengan langsung menuju ke Candi Borobudur melalui jalur Jalan Purworejo – Magelang. Beruntung kami karena memiliki kenalan-kenalan yang bekerja di Candi Borobudur, maka dapat dengan mudah naik ke candi langsung melihat stupa-stupa yang mengalami kerusakan akibat bom.

Dari fragmen-fragmen peristiwa yang masih samar-samar teringat dan nyaris hilang dari memori ingatan, peristiwa Candi Borobudur dibom ditulis kembali. Penulisan peristiwa yang menyedihkan di dunia arkeologi diharapkan dapat memberi peringatan untuk kita bersama bahwa ancaman kelestarian warisan budaya justru dari manusia sendiri, yang dalam sekejap waktu dapat merusakkan, menghancurkan, bahkan memusnahkan warisan budaya nenek moyang. Tentunya kita berharap tragedi tersebut tidak akan pernah terulang lagi.

LEDAKAN DINIHARI

Senin dinihari 21 Januari 1985, menjadi hari yang kelabu bagi Candi Borobudur dan dunia arkeologi Indonesia. Hari itu, pada saat dinihari ketika orang-orang sedang terlelap istirahat, antara pukul 01.30 – 03.30 WIB terjadi sembilan kali ledakan keras susul menyusul yang merusakkan beberapa stupa dan arca Buddha Candi Borobudur. Berdasarkan hasil pemeriksaan lapangan dan fakta persidangan, orang yang tidak bertanggung jawab dengan tujuan yang tidak jelas memasang 13 (tiga belas) bom pada stupa yang terletak di lantai 8, 9, 10 Candi Borobudur (teras tingkat I, II,

dan III). Dari 13 bom yang dipasang tersebut, 9 (sembilan) di antaranya meledak sehingga mengakibatkan kerusakan parah khususnya pada bagian batu-batu stupa dan arca Buddha yang berada di dalam stupa.

Peristiwa menyedihkan tersebut hanya berselang dua tahun setelah peresmian purnapugar Candi Borobudur oleh Presiden Soeharto pada tanggal 23 Februari 1983. Peresmian purnapugar Candi Borobudur sekaligus menjadi lambang keberhasilan bangsa dan pemerintah Indonesia menyelamatkan warisan budaya nasional yang tidak ternilai harganya. Candi Borobudur tidak hanya menjadi monumen kebanggaan bangsa Indonesia, namun juga menjadi kebanggaan dunia. Hal ini ditandai dengan peran aktif UNESCO dan beberapa negara serta lembaga donor internasional dalam pemugaran Candi Borobudur tahun 1973-1983.

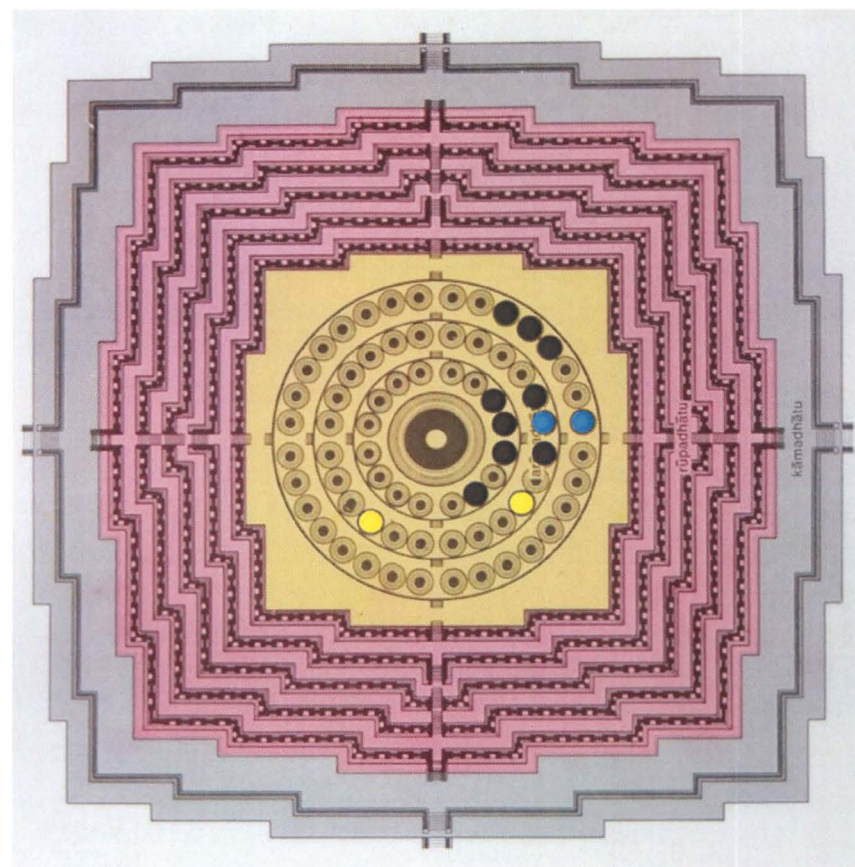
Peristiwa meledaknya bom di Candi Borobudur sangat mengejutkan anggota Satuan Pengamanan (Satpam) Candi Borobudur yang saat itu bertugas. Namun bagi sebagian masyarakat sekitar Candi Borobudur, peristiwa tersebut baru disadari sebagai sebuah aksi teror bom beberapa saat setelah kejadian. Pada awalnya sebagian masyarakat menganggap bahwa suara ledakan itu berasal dari latihan Taruna Akabri, karena memang wilayah Borobudur sering digunakan sebagai tempat latihan Taruna Akabri. Bahkan menurut sebuah sumber, Kapolsek Mungkid yang pada waktu itu berkantor sekitar 5 km dari lokasi kejadian, tidak langsung menyadarinya

dan menganggap ledakan itu bersumber dari latihan Taruna Akabri yang sedang berlangsung di Borobudur (*Kompas*, 22 Januari 1985). Ledakan pertama terjadi pukul 01.30 WIB, beberapa detik kemudian disusul tiga ledakan bom secara beruntun. Ledakan kelima, keenam, ketujuh, dan kedelapan terjadi secara beruntun pada pukul 03.00 WIB. Ledakan bom terakhir, yang merupakan ledakan kesembilan, terjadi pada pukul 03.30 WIB. Sehingga pada dinihari itu sembilan bom telah meledak dan menghancurkan beberapa bagian Candi Borobudur khususnya di tingkat *Arupadhatu*.

Dari empat bom yang tidak meledak, dua buah bom ditemukan beberapa jam setelah kejadian, sementara dua bom lainnya berhasil ditemukan tiga minggu kemudian. Keempat bom tersebut berhasil dijinakkan sehingga tidak menimbulkan kerusakan lebih lanjut pada Candi Borobudur. Pada saat olah Tempat Kejadian Perkara (TKP) beberapa jam setelah kejadian, ditemukan bom yang belum meledak yang ditempatkan masing-masing pada stupa nomor 32 pada teras tingkat I (lantai 8) dan stupa nomor 24 pada teras tingkat II (lantai 9). Berdasarkan pengamatan dari bom yang tidak meledak dan berhasil dijinakkan tersebut, bom dibungkus dengan plastik warna merah. Bom pertama terdiri dari 3 batang bahan peledak TNT (Tri Nitro Toluen) yang berbobot sekitar 100 gram dilengkapi detonator, baterai, dan jam tangan sebagai *timer*, sedangkan bom lainnya terdiri dari 4 batang bahan peledak. Sementara itu dua bom lainnya ditemukan secara berurutan pada tanggal 15 dan 16 Februari 1985, hampir

satu bulan setelah peristiwa.

Berdasarkan laporan yang dibuat oleh Bakir, yang saat itu menjadi Kepala Regu I Satuan Pengamanan (Satpam) Proyek Konservasi Candi Borobudur, salah satu bom



Keterangan

- Stupa yang runtuh akibat ledakan bom
- Stupa yang dipasang bahan peledak tapi berhasil dijinakkan (16 Januari 1985)
- Penemuan bom 15 dan 16 Februari 1985

Posisi Bom pada Stupa Teras Candi Borobudur.

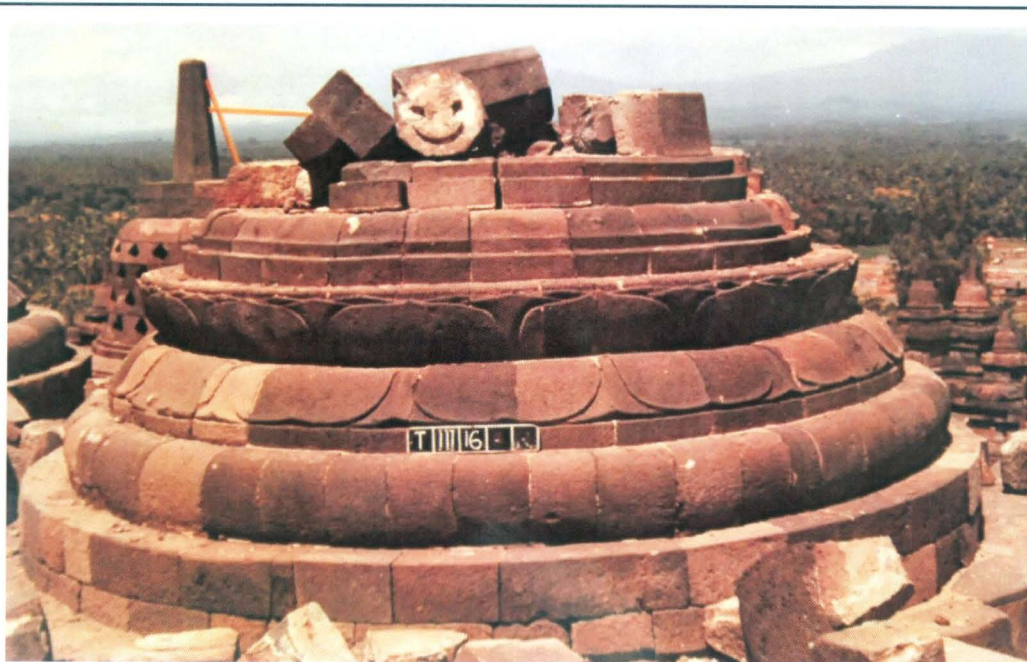
tersebut ditemukan oleh Budi Suyono, anggota Satpam yang sedang tugas patroli pada tanggal 15 Februari 1985 sekitar pukul 17.15 WIB. Bom ditemukan di stupa nomor 3 pada teras tingkat II (lantai 9). Bom ini kemudian dapat dijinakkan oleh Serda Rachmad Susanto, anggota ABRI dari YONIF 202/TM Kodam V Jaya yang secara kebetulan sedang berkunjung ke Candi Borobudur. Setelah dijinakkan bom tersebut selanjutnya diserahkan kepada pihak yang berwajib. Sehari kemudian, tanggal 16 Februari, kembali ditemukan sebuah bom di stupa nomor 9 pada teras tingkat II (lantai 9). Bom ini ditemukan oleh seorang anggota TNI dari Koramil Borobudur yang ditugaskan untuk melakukan penyisiran di seluruh area Candi

Borobudur yang didampingi oleh Djamari, anggota Satpam Candi Borobudur.

Peristiwa yang menggegerkan ini membuat kaget Prof. Dr. R. Soekmono mantan Pimpinan Proyek Pelita Restorasi Candi Borobudur. Kepada Harian Kompas Soekmono berkata: "Saya tak tahu harus omong apa lagi. Kita semua harus malu hal ini bisa terjadi". Prof. Soekmono sangat berjasa dalam pemugaran Candi Borobudur. Sebelum menjadi Pimpinan Proyek Pemugaran Candi Borobudur, perjuangan beliau untuk menyelamatkan Candi Borobudur sudah dimulai sejak tahun 1954 dengan mengusulkan Candi Borobudur masuk ke dalam daftar Palang Biru (*Blue Shield*) sesuai dengan Konvensi Hague 1954, yaitu sebuah konvensi internasional tentang perlindungan cagar budaya dalam keadaan perang. Oleh karena itu dapat dimengerti, betapa terkejut dan geramnya Prof. Soekmono mendengar berita tentang peristiwa pemboman Candi Borobudur.

KERUSAKAN BATU-BATU STUPA

"Akibat runtuhnya sembilan stupa yang meledak pada 21 Januari 1985 menyebabkan kerusakan batu-batu stupa. Jenis kerusakan batu tiap stupa pada umumnya sama, yaitu gempil, pecah, dan hancur. Hal tersebut tergantung dari posisi dan keadaan runtuhnya." Dari kutipan berita Harian Kompas tersebut dapat dibayangkan betapa dahsyatnya bom yang merusakkan batuan Candi Borobudur. Dengan melihat bentuk kerusakannya tersebut dapat



Kondisi Salah Satu Stupa Teras Candi Borobudur Setelah Meledaknya Bom pada Tanggal 21 Januari 1985

diperkirakan merupakan bom berdaya ledak tinggi. Apapun alasannya, tindakan ini patut dikecam dan sangat disesalkan. Batu-batu stupa Candi Borobudur yang berbentuk lonceng (*bell shape stupa*) berantakan atau bahkan hancur berkeping-keping akibat ledakan bom. Sungguh sebuah tragedi peradaban, ketika sekelompok orang yang tidak bertanggung jawab menghancurkan warisan budaya nenek moyang dan bangsanya sendiri.

Tabel 1 menunjukkan kerusakan yang diakibatkan oleh ledakan bom tersebut. Banyak batu-batu stupa yang runtuh, pecah, dan gempil atau bahkan hancur sama sekali. Batu yang runtuh kemudian menimpa batu yang berada di bawahnya menambah semakin banyak jumlah batu yang rusak. Namun ada juga sebagian batu yang pecah atau hancur akibat batu yang runtuh dan jatuh ke lantai, bukan sebagai akibat langsung dari ledakan bom.

KERUSAKAN ARCA BUDDHA

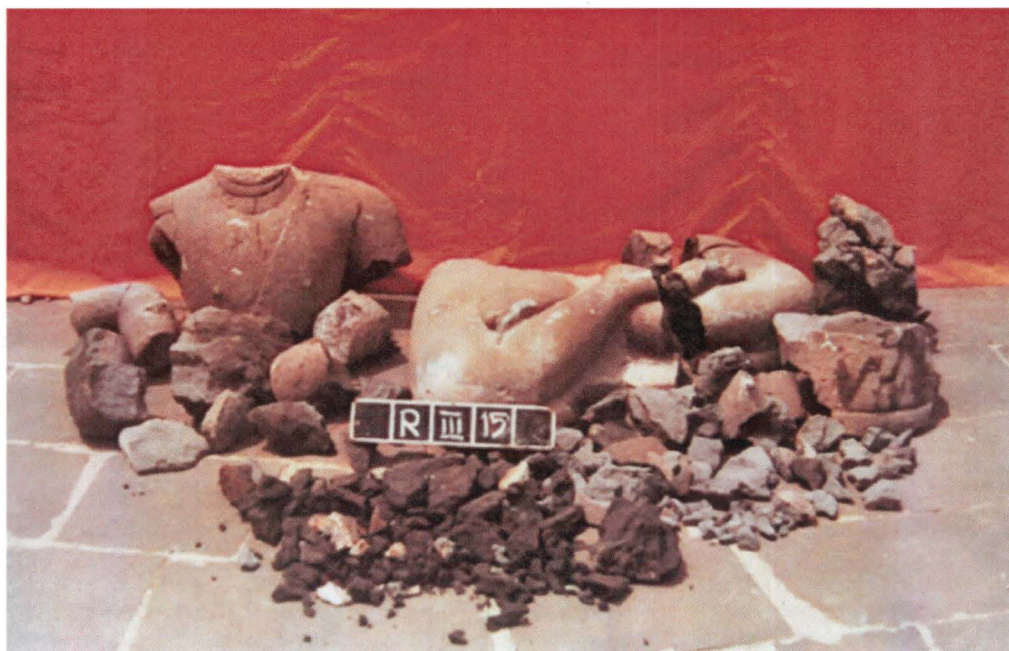
Kerusakan yang dialami oleh arca yang ada dalam stupa tidak kalah mengesankan di bandingkan dengan kerusakan batu-batu stupa Candi Borobudur. Jenis kerusakan arca umumnya patah, retak, dan hancur. Bagian-bagian yang patah dan retak kebanyakan terjadi pada kaki, tangan, dan bagian perut. Sedangkan pada bagian pantat, pada umumnya hancur (Proyek Konservasi Candi Borobudur, 1985). Nampaknya hal ini merupakan akibat ledakan bom yang ditempatkan di belakang arca Buddha. Hal ini diketahui dari pengamatan

Tabel 1. Kerusakan Batu-Batu Stupa Akibat Ledakan Bom 21 Januari 1985

Sumber : Diolah dari Laporan Khusus Proyek Konservasi Candi Borobudur

No.	Lokasi	Stupa No.	Jenis Kerusakan Batu (Balok)			
			Runtuh	Pecah	Gempil	Hancur
1	Lantai 8 (Teras Tingkat I)	27	106	58	28	-
2	Lantai 8 (Teras Tingkat I)	28	87	9	29	-
3	Lantai 8 (Teras Tingkat I)	29	84	13	74	-
4	Lantai 9 (Teras Tingkat II)	1	77	53	4	-
5	Lantai 9 (Teras Tingkat II)	23	62	2	3	-
6	Lantai 10 (Teras Tingkat III)	1	68	49	4	-
7	Lantai 10 (Teras Tingkat III)	3	75	12	7	-
8	Lantai 10 (Teras Tingkat III)	15	57	38	5	5
9	Lantai 10 (Teras Tingkat III)	16	15	9	1	1

Sumber : Diolah dari Laporan Khusus Proyek Konservasi Candi Borobudur



Kondisi Arca yang Hancur Akibat Ledakan Bom

Tabel 2. Kerusakan Arca Budha Akibat Ledakan Bom
21 Januari 1985

No	Arca Budha	Nomor	Pecah Menjadi (Bagian)	Keterangan
1	Lantai 8 (Teras Tingkat I)	27	9	Bagian pantat hancur (20 x 10 x 8 cm)
2	Lantai 8 (Teras Tingkat I)	28	9	Pada bagian pantat ada bagian yang hilang
3	Lantai 8 (Teras Tingkat I)	29	42	Ada bagian yang belum ditemukan
4	Lantai 9 (Teras Tingkat II)	1	50	Bagian pantat hancur (20 x 40 x 7 cm)
5	Lantai 9 (Teras Tingkat II)	23	26	Bagian pantat hancur (20 x 20 x 10 cm)
6	Lantai 10 (Teras Tingkat III)	1	11	Patah pata sambungan, retak di bagian leher
7	Lantai 10 (Teras Tingkat III)	3	-	Arca utuh tanpa kerusakan berarti
8	Lantai 10 (Teras Tingkat III)	15	26	50 bagian tidak ditemukan posisi aslinya
9	Lantai 10 (Teras Tingkat III)	16	67	Ada bagian yang belum ditemukan

Sumber : Diolah dari Laporan Khusus Proyek Konservasi Candi Borobudur

Tabel 3. Hasil Pengukuran Titik Sampel Candi Borobudur

No.	Koordinat	Perbedaan Angka pengukuran /Δ (mm)		Keterangan
		Dinding Teras 1	Stupa Induk	
1	X	6	6	Masih dalam batas toleransi
2	Y	8	10	
3	Z	3	4	

Sumber : Diolah dari Laporan Khusus Proyek Konservasi Candi Borobudur

dua buah bom yang tidak meledak yang ditempatkan persis di belakang arca Buddha. Oleh karena berada pada posisi paling dekat, bagian tersebut menjadi bagian yang paling rusak karena menerima tekanan yang paling besar.

“Dua patung jelas tak bisa diperbaiki lagi. Tubuhnya rusak jadi kecil-kecil. Tapi patung-patung lainnya bisa dicoba diperbaiki,” demikian jawaban Kepala Suaka Purbakala Jawa Tengah, Drs. I.G.N Anom kepada Harian Kompas beberapa waktu setelah kejadian. Jawaban tersebut semakin memberikan gambaran yang jelas bagaimana destruktifnya ledakan bom tersebut.

PENGAMATAN STABILITAS CANDI

Beberapa saat setelah ledakan terjadi petugas dari Proyek Konservasi Candi Borobudur yang saat itu bertanggung jawab terhadap pelestarian Candi Borobudur langsung bertindak cepat untuk melakukan observasi pada tingkat *Arupadhatu* untuk mengetahui stabilitas batu candi, apakah ledakan bom yang terjadi susul menyusul tersebut berpengaruh terhadap stabilitas Candi Borobudur. Pengamatan secara visual langsung dilakukan terhadap batu dinding stupa teras yang paling dekat dengan ledakan dan stupa induk. Petugas mengamati jarak antar batu (nat) untuk mengetahui apakah terjadi pelebaran akibat bom tersebut. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nat batu dinding dan stupa induk masih rapat dan tidak

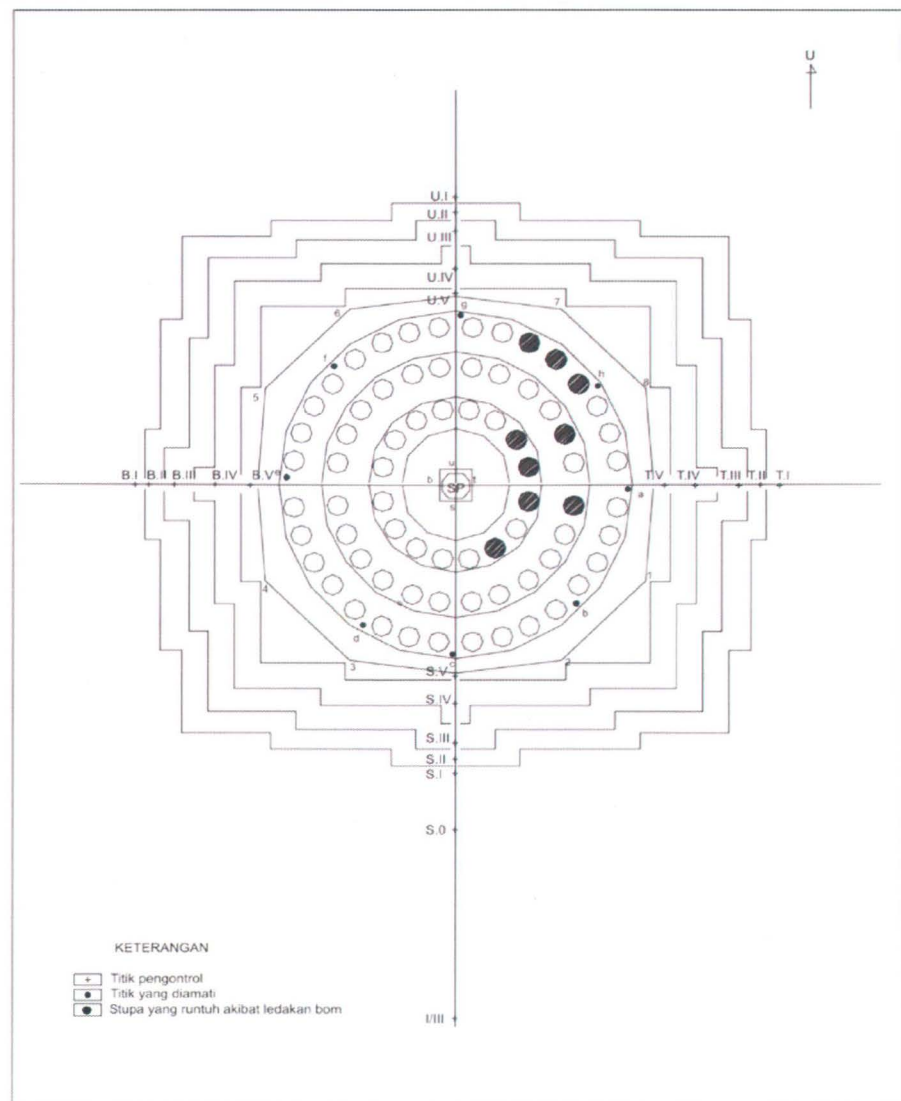
menunjukkan tanda-tanda adanya pergeseran.

Setelah pengamatan secara visual, selanjutnya dilakukan pengamatan stabilitas candi menggunakan alat ukur Theodolit, khususnya di tingkat *Arupadhatu*. Beberapa titik ditentukan sebagai titik sampel pada dinding teras I dan stupa induk Candi Borobudur. Untuk mengetahui adanya perubahan, hasil pengukuran ini dibandingkan dengan hasil pengukuran dari observasi terakhir yang dilakukan pada bulan Oktober 1984. Sebagai titik acuan dipakai titik-titik poligon III, yaitu titik kontrol yang berada di halaman Candi Borobudur. Titik ini dipakai sebagai acuan karena titik ini dianggap sebagai titik yang paling stabil (tetap). Di samping itu sebagai acuan digunakan juga titik-titik kontrol yang terletak di tengah setiap tangga naik Candi Borobudur dan titik-titik kontrol yang terletak di lantai 7 (*plateau*). Tabel berikut menunjukkan hasil pengolahan data pengukuran dinding teras dan stupa induk Candi Borobudur pascaledakan bom 21 Januari 1985 dibanding dengan pengukuran bulan Oktober 1985 menggunakan alat ukur Theodolit dengan toleransi pengukuran ± 15 mm. Angka toleransi ini diperhitungkan berdasarkan ketelitian alat ukur dan kondisi titik di lapangan.

Dari tabel 3 terlihat perbedaan pengukuran masih dalam batas toleransi, sehingga dapat disimpulkan bahwa ledakan bom yang terjadi pada stupa teras tidak mempengaruhi stabilitas tingkat *Arupadhatu* Candi Borobudur.

UPAYA PEMULIHAN SETELAH LEDAKAN BOM

Seminggu setelah ledakan bom, reaksi cepat dilakukan oleh Proyek Konservasi



Posisi Titik Kontrol dan Titik yang Diamati.



Pekerjaan Identifikasi dan Klasifikasi Batu.



Persiapan Pemugaran Stupa.

Candi Borobudur yang saat itu dipimpin Drs. Hadimuljono. Semua karyawan dikerahkan untuk melakukan persiapan pemugaran stupa dan arca Candi Borobudur. Sesuai dengan prinsip-prinsip dan metode arkeologi, pemugaran akan dilaksanakan dalam dua tahap. Tahap pertama merupakan tahap persiapan yang dilanjutkan dengan pelaksanaan pemugaran. Tahap persiapan meliputi pengamanan material berupa pembuatan atap sementara sebagai upaya perlindungan stupa sekaligus tempat kerja dan pemugaran untuk membatasi pengunjung selama pekerjaan pemugaran berlangsung. Persiapan meliputi pekerjaan dokumentasi, observasi kerusakan, serta penentuan metode pemugaran yang akan dilaksanakan untuk pekerjaan ini. Hasil observasi kerusakan sebagian telah ditampilkan pada tabel-tabel sebelumnya. Sementara itu tahapan pelaksanaan pemugaran meliputi susunan percobaan, pemeriksaan, dan pemasangan kembali secara permanen.

Sebelum stupa dan arca dipugar kembali ke bentuk aslinya dilakukan susunan percobaan untuk mengetahui bentuk asli stupa dan arca. Susunan percobaan dengan metode anastilosis meliputi pembersihan, pengumpulan, dan klasifikasi batu dan pecahan arca. Klasifikasi dibuat berdasarkan kesamaan bentuk, ukuran, motif, serta tanda-tanda lain yang mendukung. Jenis batu yang bervariasi dari sisi warna dan ketebalannya sangat membantu dalam mengklasifikasi batu-batu yang telah berserakan itu. Klasifikasi dilakukan terhadap semua batu yang lepas dari struktur aslinya. Klasifikasi

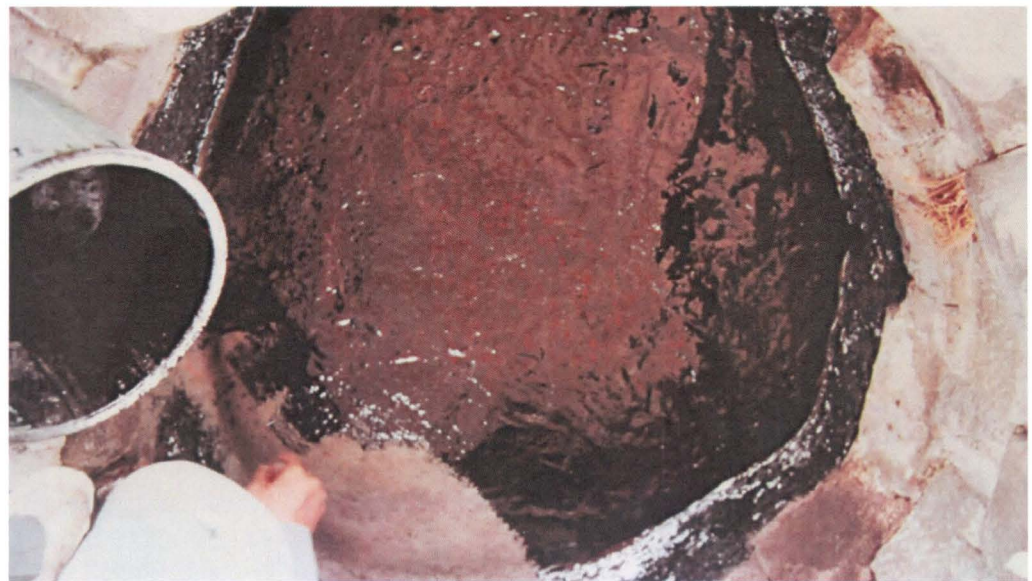
batu-batu yang berserakan akibat ledakan bom bukanlah suatu pekerjaan yang mudah dan sederhana, karena beberapa stupa yang diledakkan lokasinya berdekatan, sehingga sangat mungkin batu-batunya bercampur dan sulit untuk dikenali tempat asalnya.

Setelah selesai diklasifikasi pecahan batu-batu tersebut disambung menggunakan bahan perekat khusus untuk memudahkan dalam membuat susunan percobaan. Batu yang disambung terutama batu asli yang secara teknis mendukung susunan percobaan. Selanjutnya dibuat susunan percobaan berdasarkan keselarasan profil, bentuk, dan motif serta dibandingkan dengan stupa-stupa lainnya yang masih utuh. Susunan percobaan ini juga memperhatikan tanda-tanda khusus seperti pen pengunci, bentuk pecahan batu, spesi pada nat, dan tanda-tanda lain yang ditemukan. Susunan percobaan juga dilakukan terhadap arca Buddha untuk memastikan keselarasan setiap bagian arca. Namun demikian faktor kesulitan penyusunan kembali arca lebih tinggi karena harus memperhatikan aspek 3-D. Kesamaan jenis batu dan keselarasan bentuk menjadi parameter utama dalam menyusun kembali sebuah arca Buddha.

Susunan percobaan yang telah selesai, diperiksa dan diuji, hal ini diperlukan untuk menguji kebenaran susunan percobaan dan keaslian letaknya. Pengujian dilakukan secara arkeologis dan teknis dibantu dengan foto-foto dokumentasi tahun 1974, setiap detail batu diperiksa dan diuji keselarasannya dengan batu lainnya. Pengujian susunan percobaan



Susunan Percobaan Stupa.

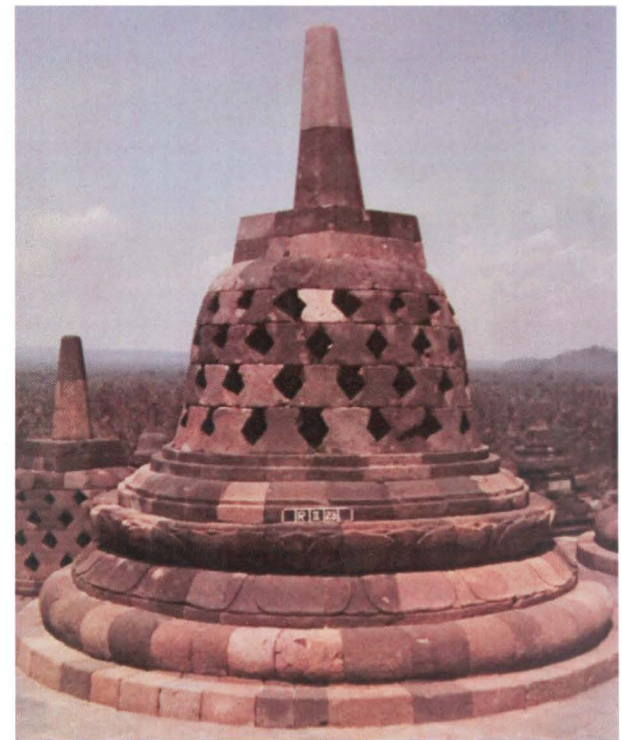


Aplikasi Lapisan Kedap Air pada Dudukan Arca.

ini juga dengan memperhatikan tanda-tanda fisik dari stupa sampai diyakini bahwa susunan percobaan tersebut sesuai dengan aslinya. Setelah dilakukan pengujian terhadap susunan percobaan, tahapan selanjutnya yang menjadi pekerjaan pokok dari pemugaran ini adalah pemasangan kembali secara permanen semua stupa dan arca Buddha. Susunan percobaan yang telah diuji, dibongkar kembali untuk dibersihkan dan disambung pada beberapa bagian batu yang patah atau pecah. Batu yang hancur akibat ledakan bom diganti dengan batu baru dan diberi tanda untuk membedakannya dengan batu asli.

Selanjutnya semua batu tersebut dikonservasi menggunakan bahan penolak air (*water repellent*) yang berwarna transparan

(*masonceal*). Bahan konservan ini diaplikasikan pada batu-batu stupa dan arca Buddha untuk mengurangi tingkat kelembaban batu sehingga dapat mengurangi pertumbuhan organisme,



Pemasangan Kembali Arca Budha.

Stupa Teras II (Lantai 9) Nomor 23, Sebelum (foto atas) dan Setelah (foto bawah) dipugar.

seperti lumut dan jamur. Aplikasi pada bagian dalam batu dilaksanakan sebelum pemasangan kembali, sementara pada bagian luar atau permukaan yang tampak bahan penolak air dioleskan setelah pemasangan selesai dikerjakan seluruhnya. Di samping itu untuk mengurangi kelembaban batu, pada bagian dudukan arca juga diberi lapisan kedap air *araldite tar*. Lapisan kedap air ini berfungsi untuk menghambat penetrasi air ke bagian bawah stupa, di mana air akan mengalir melalui lubang yang dibuat sebagai sistem pembuangan air pada setiap stupa. Di samping itu lapisan kedap air ini juga akan menghambat kapilarisasi air dari bagian bawah ke arca Buddha.

Perlu dicatat bahwa pemugaran yang dilakukan ini adalah untuk mengembalikan batu-batu ke posisi semula sebelum ledakan bom terjadi. Dasar yang digunakan untuk pemugaran stupa adalah hasil pemugaran I Candi Borobudur tahun 1907 – 1911, walaupun ditemukan batu-batu yang secara teknis dan logika salah tempat, akan tetapi jika sebelum ledakan tempatnya adalah di posisi tersebut, maka batu tersebut dianggap asli dan harus dikembalikan ke posisinya. Hal ini dilakukan karena jika dilakukan koreksi terhadap posisi batu sebagai hasil pemugaran I Candi Borobudur maka akan menambah tingkat kesulitan pemugaran dan banyak batu yang harus diganti.

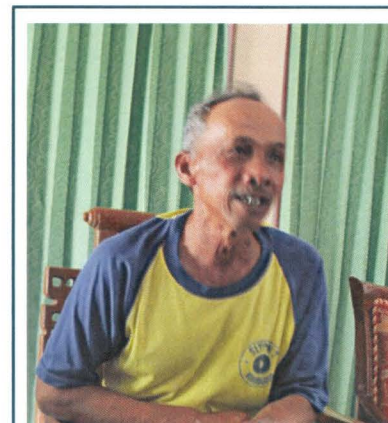
KISAH SEPUTAR PERISTIWA 21 JANUARI 1985: Testimoni Beberapa Karyawan Proyek Konservasi Candi Borobudur

Peristiwa meledaknya bom di stupa candi Borobudur tidak hanya membawa kerusakan bagi bangunan candi Borobudur tetapi juga memberi dampak psikologis bagi karyawan Proyek Konservasi Candi Borobudur. Berikut ini adalah penuturan beberapa mantan karyawan Proyek Konservasi Candi Borobudur kepada penulis.

1. Djamari

Saya mulai bekerja sebagai petugas satuan pengamanan (Satpam) di Candi Borobudur sejak tahun 1973, diangkat pegawai negeri sipil (PNS) tahun 1983 dan pensiun tahun 2008. Saat peristiwa meledaknya bom di Candi Borobudur, saya adalah salah seorang Kepala Regu (Karu) Satpam Proyek Konservasi Candi Borobudur.

Dua hari sebelum kejadian saya telah mencurigai dua orang pengunjung yang datang ke Candi Borobudur. Kecurigaan saya ini didasarkan pada ketidakmauan pelaku menitipkan tas ransel yang dibawa kepada petugas. Mereka hanya menanyakan letak hotel dan kemudian langsung pergi, tidak naik ke Candi Borobudur. Sehari sebelum kejadian, orang yang saya duga sebagai pelaku tersebut kembali datang berkunjung ke Candi Borobudur, kali ini tanpa membawa ransel akan tetapi naik ke candi. Tingkah lakunya sangat aneh dan



Djamari (Satpam Proyek Konservasi
Candi Borobudur)

mencurigakan karena tidak seperti pengunjung candi pada umumnya.

Ketika peristiwa bom meledak pada dinihari tanggal 21 Januari 1985 saya sedang tidak bertugas, saya baru datang ke kantor pada pagi hari setelah kejadian. Saya melihat banyak petugas keamanan dan saya dapat informasi bahwa ada bom meledak di stupa Candi Borobudur. Saya selaku kepala regu ditemui oleh Panglima Komando Daerah Militer (Pangdam) VII/Diponegoro Mayjen TNI Soegiarto dan saya ditanyai berbagai hal, seperti siapa petugas yang jaga saat itu, berapa jumlahnya, dan masih banyak pertanyaan lain yang berkenaan dengan tugas-tugas saya sebagai petugas satuan pengamanan Candi Borobudur. Setelah peristiwa peledakan bom tersebut Candi Borobudur dijaga ketat oleh petugas keamanan dari kepolisian, TNI, dan satpam Proyek Konservasi Candi Borobudur.

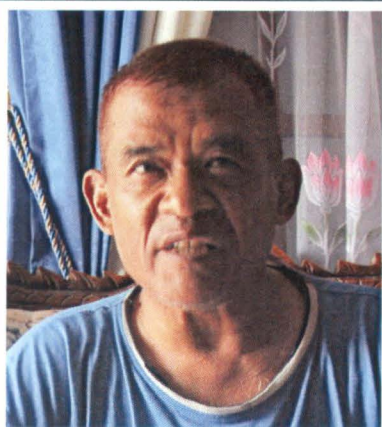
Pada sore hari tanggal 15 Februari 1985 ada yang mengejutkan setelah ada berita Budi Suyono, anggota satpam Candi Borobudur menemukan sebuah bom di dalam stupa. Menyusul penemuan bom tersebut, semua pengunjung diinterogasi oleh petugas dan malam harinya seluruh area Candi Borobudur kembali diperiksa oleh petugas keamanan, kemudian area tersebut dinyatakan steril bebas dari bom. Namun keesokan harinya petugas kembali dikejutkan oleh penemuan bom di Candi Borobudur. Sekitar pukul 05.00 WIB pada saat saya sedang tugas patroli di Candi Borobudur bersama seorang anggota satpam lainnya bertemu dengan Komandan Rayon

Militer (Danramil) Borobudur yang didampingi seorang anggota TNI. Danramil mengajak kami untuk patroli dan memeriksa kembali seluruh bagian stupa Candi Borobudur. Nampaknya Danramil mencurigai masih ada bom lain di tempat tersebut. Danramil membagi tugas, saya memeriksa bagian bawah yaitu seluruh stupa teras 1 (lantai 8) sedangkan anggota TNI dari Koramil memeriksa bagian stupa teras 2 (lantai 9) dan stupa teras 3 (lantai 10). Pada pemeriksaan itu secara tidak terduga anggota TNI tersebut kembali menemukan bom pada salah stupa yang berada di teras 2. Saya dan Danramil secara bersama-sama segera melihat temuan bom tersebut. Oleh Danramil, saya diminta untuk melaporkan temuan ini ke pos penjagaan. Setelah semua bagian stupa diperiksa ulang oleh petugas keamanan, saya beserta anggota satpam dibawa ke Kepolisian Wilayah (Polwil) Kedu untuk diinterogasi. Selama diinterogasi saya diperlakukan dengan baik dan saya menjawab semua pertanyaan sesuai dengan yang saya ketahui.

2. Budi Sujono

Saya mulai bekerja sebagai anggota Satpam di Candi Borobudur sejak tahun 1978 dan tahun 1982 diangkat menjadi PNS. Pada tahun 2008 saya memasuki masa pensiun.

Pada saat peristiwa ledakan bom tanggal 21 Januari 1985 dinihari, saya sedang tidak bertugas. Saya selalu dan terus mengikuti perkembangan peristiwa meledaknya bom di stupa Candi Borobudur. Setelah hampir satu



Budi Sujono (Satpam Proyek Konservasi
Candi Borobudur)

bulan berselang, tepatnya tanggal 15 Februari 1985 saya mendapat jadwal piket pagi. Sebelum meninggalkan pekerjaan setiap anggota satpam harus patroli dan melakukan pemeriksaan di seluruh bagian candi termasuk stupa teras Candi Borobudur. Kami patroli mulai pukul 16.30 WIB. Pada saat patroli dan memeriksa seluruh bagian candi, tepat pukul 17.15 WIB di dalam stupa teras saya menemukan sebuah barang yang mencurigakan dan saya menduga itu merupakan sebuah bom. Setelah secara perlahan saya angkat dari dalam stupa, ternyata kekhawatiran dan dugaan saya benar bahwa barang tersebut adalah bahan peledak yang berbahaya, sebuah bom! Hal ini saya ketahui karena bentuknya serupa dengan bom yang ditunjukkan oleh Kepala Kepolisian (Kapolres) Magelang pada saat konferensi pers setelah meledaknya bom tanggal 21 Januari 1985 di mana ditemukan dua bom yang tidak meledak.

Spontan saya kaget dan berteriak memanggil-manggil teman saya anggota satpam lainnya. Bersamaan dengan itu secara tidak sengaja ada dua anggota TNI yang sedang liburan dan berkunjung ke Candi Borobudur, membantu menjinakkan bom tersebut. Selanjutnya petugas keamanan dari kepolisian dan TNI mulai berdatangan dan semua pengunjung diamankan. Kami, semua anggota satpam yang bertugas pada hari tersebut dikumpulkan oleh petugas.

Kemudian saya dibawa ke salah satu markas keamanan di Yogyakarta untuk diinterogasi secara lebih detail. Proses ini sangat keras, bahkan istri serta keluarga saya tidak luput dari

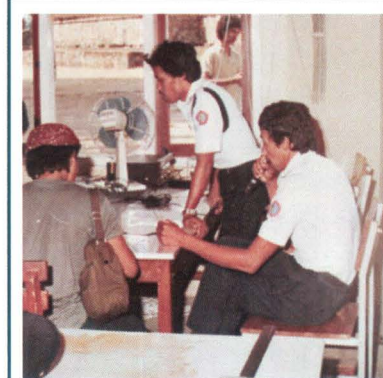
interogasi dan pengintaian petugas keamanan, bahkan salah seorang keponakan saya yang tinggal di Jakarta juga ikut diinterogasi. Selama 13 hari saya diperiksa secara intensif, berbagai pertanyaan dilontarkan dalam pemeriksaan tersebut. Dalam pemeriksaan itu dengan penuh keyakinan saya sampaikan kepada petugas "Saya bekerja di Candi Borobudur untuk menghidupi anak istri, tidak mungkin saya merusaknya".

Setelah otak serta pelaku pemboman stupa Candi Borobudur ditemukan di Banyuwangi Jawa Timur, saya dipulangkan dan kembali bekerja seperti biasa di Candi Borobudur.

3. Sujono

Saya mulai bekerja di Candi Borobudur sejak tahun 1973, diangkat menjadi PNS tahun 1981 dan pensiun pada tahun 2006. Ketika peristiwa bom meledak pada tanggal 21 Januari 1985, saya bertugas sebagai Kepala Regu (Karu) IV.

Sebagai Kepala Regu saya memimpin tujuh orang anggota satuan pengamanan (Satpam) Proyek Konservasi Candi Borobudur. Hari itu kami berjaga mulai pukul 00.00 – 06.00 WIB. Pada pukul 00.15 WIB saya melakukan patroli ke semua lingkungan candi dengan membawa sebuah senter. Sarana penerangan saat itu sangat terbatas, hanya tersedia sebuah lampu neon 20 watt. Pada pukul 01.00 WIB saya memerintahkan seorang anggota untuk *ngepos* (jaga) di sisi utara Candi Borobudur. Tiba-tiba pada pukul 01.30 WIB terdengar suara seperti ledakan bom, ternyata itu adalah ledakan bom yang



Sujono (Satpam Proyek Konservasi Candi Borobudur)

pertama, beberapa detik kemudian menyusul ledakan kedua. Saya kontak semua anggota melalui HT (*Handy Talkie*) menanyakan dari mana sumber suara ledakan tersebut. Petugas yang berjaga di sebelah timur mengatakan sumber suara dari sebelah utara, petugas yang berjaga di utara mengatakan berasal dari sisi barat demikian seterusnya saat saya tanyakan anggota yang berjaga di sisi lainnya, tidak ada yang tahu pasti dari mana sumber suara ledakan tersebut. Belum ada yang sadar bahwa suara itu merupakan suara yang bersumber dari sebuah ledakan bom di stupa teras Candi Borobudur karena waktu itu daerah Borobudur memang sering dijadikan sebagai daerah latihan militer, sehingga terdengar samar-samar apakah itu suara yang bersumber dari sebuah latihan militer atau bom di Candi Borobudur. Sejak pukul 01.30 – 03.30 WIB terdengar sembilan kali suara ledakan bom. Sekitar pukul 04.15 WIB, petugas Polres Magelang datang ke Candi Borobudur yang dipimpin langsung oleh Kapolres dan mendapat laporan dari petugas PT. Taman Wisata bahwa ada bom meledak di sekitar stupa teras Candi Borobudur. Kemudian saya mendampingi Kapolres naik ke stupa teras lewat pintu timur. Begitu melihat keadaan yang hancur berantakan, Kapolres memerintahkan untuk segera menutup TKP (tempat kejadian perkara). Saya menyaksikan sendiri sembilan stupa teras Candi Borobudur dalam kondisi hancur berantakan!

Setelah terjadi ledakan bom tersebut, saya dan semua anggota regu IV selama sekitar tiga bulan tidak pernah tidur di rumah. Kadang

kami tidur di Mapolres, lalu pindah di Mapolwil, selanjutnya di Makodim dan sebagainya. Sehari-hari kami tetap diminta untuk bertugas sebagaimana biasanya, tetapi pada sore harinya kami dijemput petugas untuk pemeriksaan. Petugas keamanan menduga bahwa anggota satpam bisa saja terlibat secara tidak langsung dalam peledakan bom tersebut. Saya tetap bersikeras, tidak mungkin ada anggota satpam yang terlibat pada peristiwa tersebut karena kami mencari nafkah di Candi Borobudur.

Saya merasa kasihan dengan Bu Pojo (pemilik Losmen Borobudur) dan pembantunya yang diperiksa oleh petugas dan dibawa ke berbagai tempat. Bu Pojo dan pembantunya pernah dilepas ditengah hutandan harus berjalan kaki sejauh 4 km. Ketika ketemu dengan saya, Bu Pojo menangis menceritakan penderitaan yang dialaminya selama pemeriksaan.

Setelah pelaku tertangkap, pelaku di sidangkan di Pengadilan Negeri Malang, Jawa Timur. Dalam persidangan tersebut saya diminta sebagai saksi kejadian perkara. Pengakuan pelaku di pengadilan, pelaku masuk ke lokasi Candi Borobudur pada pukul 20.00 WIB dan keluar pada pukul 22.00 WIB. Masih menurut pengakuannya, pelaku memasang 13 bom dimana sembilan di antaranya meledak sedangkan empat bom lainnya tidak meledak. Sebagai saksi, saya diminta untuk memperkirakan kerugian yang ditimbulkan oleh peristiwa tersebut. Saya menjawab, "Candi Borobudur tidak bisa ditaksir berapa kerugiannya, kalau mau ditaksir nilainya tak terhingga".

Dalam persidangan juga terungkap cerita bagaimana tertangkapnya tersangka tersebut. Pengemudi truk yang ikut berperan dalam penangkapan tersangka pelaku menuturkan bahwa ada orang mencurigakan melompat ke truk yang dikendarainya. Pelaku melompat dari bus yang sebelumnya ditumpangi setelah bom yang rencananya akan dibawa ke Bali untuk meledakkan Pura Besakih tiba-tiba meledak dalam bus Pemudi di daerah Banyuwangi, Jawa Timur yang menewaskan 13 orang penumpangnya. Karena curiga pengemudi tersebut melarikan truknya dalam kecepatan tinggi dan sengaja melanggar rambu lalu lintas (lampu merah) agar dikejar dan ditilang oleh polisi. Sesuai harapan pengemudi, polisi mengejar dan menilang truk tersebut. Selanjutnya truk dibawa ke kantor polisi dan tersangka pelaku pemboman Candi Borobudur akhirnya tertangkap.

Ternyata pelaku peledakan bom berasal dari Malang. Pada saat itu diputuskan untuk sidang dilaksanakan di Pengadilan Negeri Malang. Sebagai saksi dari Borobudur, saya, Bu Pojo, dan pembantunya berangkat ke Malang tanpa pengawasan petugas. Kami pernah mendapat ancaman dari pihak keluarga pelaku. Ketika pulang dari Malang, bagaimanapun saya harus ikut bertanggung jawab atas keselamatan Bu Pojo dan pembantunya. Demi alasan keselamatan selesai persidangan kami langsung naik bus, dan bus itu tidak pernah berhenti sampai tiba di Muntilan. Setelah sampai di terminal Muntilan dalam kondisi hujan saya bersujud, saya merasa bersyukur telah sampai

kembali dengan selamat.

Pada persidangan kedua, saya mengetahui bahwa pelaku memiliki 14 orang saudara. Setelah pelaku tertangkap dan disidangkan kehidupan saya kembali normal, hampir tiga bulan kehidupan saya tidak bisa tenang sejak peristiwa itu.

4. Wahyuno

Saya mulai bekerja sebagai anggota satuan pengamanan di Candi Borobudur pada tahun 1971, menjadi PNS tahun 1982 dan pensiun tahun 2010.

Ketika bom meledak pada dinihari tanggal 21 Januari 1985 saya sedang tidak bertugas, saya bertugas pada pagi harinya. Ketika dari rumah saya mendengar ada ledakan bom pada dinihari, itu sudah saya anggap biasa. Hal ini disebabkan karena daerah sekitar Borobudur sering dijadikan tempat latihan militer. Ketika saya datang ke candi pascaledakan bom pada pagi harinya untuk menjalankan tugas, ternyata pagi hari itu tidak boleh ada kegiatan karena petugas keamanan sedang melakukan olah tempat kejadian perkara. Sehingga Candi Borobudur ditutup secara total. Saya diajak oleh petugas keamanan untuk naik ke Candi Borobudur. Saat itu ada petugas keamanan yang sedang berusaha untuk menjinakkan bom yang tidak meledak. Saya melihat bom yang berasal dari stupa Kuntobimo (stupa teras I/lantai 8 nomor 32, pen) terdiri dari bahan peledak, denator, dan arloji sebagai *timer*. Bom ini dapat dijinakkan oleh petugas keamanan. Saya melihat sendiri



Wahyuno (Satpam Proyek Konservasi Candi Borobudur)

secara langsung proses penjinakan bom yang dilakukan oleh petugas tersebut.

Pascaledakan bom pada tanggal 21 Januari 1985 anggota satpam hanya ditanya saja tidak sampai diinterogasi lebih lanjut. Namun setelah bom ditemukan kembali pada tanggal 15 Februari 1985 oleh Sdr. Budi Sujono pada sore hari dan penemuan bom kedua pada pagi harinya, seluruh anggota satpam diinterogasi secara intensif. Setelah pelaku tertangkap di Banyuwangi untuk keperluan penyidikan dilakukan rekontruksi di Candi Borobudur. Pada rekontruksi tersebut, saya sedang bertugas dan menyaksikan langsung rekontruksi yang dilakukan. Dari hasil rekontruksi, pelaku datang dari terminal dan mengamati bahwa setiap pengunjung yang akan naik ke Candi Borobudur akan diperiksa tas bawaannya oleh satpam. Pelaku tidak jadi naik karena takut tas bawaannya diperiksa oleh petugas. Pelaku kemudian pergi dan terus mencari hotel di sekitar Borobudur. Setelah meninggalkan tas yang berisi bom di hotel, kemudian pelaku datang lagi dan naik ke Candi Borobudur sambil melihat-lihat keadaan sekitar. Selanjutnya pada malam hari sekitar pukul 20.00 WIB, pelaku masuk ke kompleks Candi Borobudur lewat sisi tenggara. Pelaku sudah mempelajari kondisi sekitar Candi Borobudur termasuk sistem pengamanannya sehingga pelaku mengetahui bahwa setiap 2 jam terjadi pergantian jaga satpam. Hal ini dimanfaatkan pelaku untuk masuk ke area candi tanpa diketahui petugas satpam. Selanjutnya pelaku naik ke Candi Borobudur lewat pintu timur kemudian

memasang bom di stupa teras. Setelah selesai, dengan tenang pelaku turun dan meninggalkan Candi Borobudur lewat pintu timur.

Sepengetahuan saya dari informasi yang saya peroleh, pelaku bom ditangkap di daerah Banyuwangi, Jawa Timur ketika bom yang mereka bawa dan rencananya akan diledakkan di suatu tempat di Bali, meledak di bus yang mereka tumpangi. Pelaku kemudian lari dan naik truk yang kebetulan lewat. Oleh pengemudi, truknya sengaja dilarikan dengan kencang dan melanggar lalu lintas untuk menarik perhatian polisi. Akhirnya tersangka pelaku berhasil ditangkap polisi berkat bantuan dan kecerdikan pengemudi truk tersebut.

5. Sudibyo

Saya mulai bekerja di Candi Borobudur sejak masa pemugaran II yaitu pada tahun 1972, menjadi PNS tahun 1977 dan pensiun tahun 2008. Saat kejadian tersebut saya bertugas di Kelompok Kerja *Chemico Arkeologi* (CA)

Ketika bom meledak di Candi Borobudur pada dinihari tanggal 21 Januari 1985, saya sedang berada di rumah mertua yang berjarak kurang dari 1 km ke Candi Borobudur. Saat saya mendengar ada suara ledakan, saya pikir itu hanya suara ledakan dari latihan militer yang sering diadakan di sekitar Borobudur. Pada pagi hari ketika mengantar isteri saya ke terminal, saya melihat banyak orang berkumpul dan saya bertanya: "Ada apa?" Ada yang menjawab "Candi Borobudur runtuh", saya bertanya lagi "Kena apa?", dijawab lagi "Candi Borobudur



Sudibyo (Pegawai Proyek Konservasi
Candi Borobudur)

dibom". Saat itu saya berpikir Candi Borobudur terkena bom dari latihan militer.

Mendengar hal tersebut pukul 07.00 WIB saya berangkat ke Candi Borobudur. Saat itu tempat kejadian perkara (TKP) sudah ditutup, sehingga semua orang oleh petugas dilarang masuk ke kompleks candi untuk keperluan olah TKP, tetapi dengan menunjukkan kartu identitas sebagai karyawan Proyek Konservasi Candi Borobudur saya dapat masuk ke kompleks candi tempat saya biasa bertugas. Situasi pada waktu itu sangat mencekam. Ketika ada pejabat dari kepolisian naik ke Candi Borobudur, saya diijinkan untuk ikut naik. Saya ternganga melihat kondisi sembilan stupa yang sangat mengenaskan, sembilan stupa tersebut hancur lebur berkeping-keping, semua nampak berantakan.

Dua hari setelah kejadian saya terkejut karena tiba-tiba dipanggil untuk menghadap Kapolda Jawa Tengah, saya bertanya-tanya ada apa gerakan dan ini pasti berkaitan dengan peledakan bom di stupa Candi Borobudur. Setelah bertemu, ternyata Kapolda menanyakan pengalaman saya pada saat kehilangan sepeda motor, dimana sepeda motor tersebut dapat ditemukan kembali berkat bantuan jasa seorang paranormal. Kapolda meminta saya untuk menghubungi paranormal tersebut dan kemungkinan untuk ikut membantu menyelesaikan kasus di Candi Borobudur. Namun sayang setelah saya mendatangi rumahnya, ternyata sang paranormal sudah pindah ke Papua.

Setelah proses olah TKP dan keamanan

dianggap cukup kondusif, sekitar satu minggu kemudian baru dilakukan penanganan terhadap stupa yang hancur. Saya ikut dalam penanganan kerusakan stupa tersebut. Dalam penanganannya ada beberapa langkah yang dilakukan:

1. Klasifikasi terhadap batu-batu stupa, dengan mengumpulkan batu-batu yang memiliki kesamaan bentuk,
2. Rekontruksi, hal ini tidak mudah karena batu sudah bercampur. Pelaksanaan rekontruksi memakan waktu sekitar satu bulan. Dalam rekonstruksi tersebut berhasil dikumpulkan batu-batu yang berserakan sekitar 80%, sisanya tidak berhasil dikumpulkan karena sudah hancur menjadi kecil. Batu-batu yang hilang atau hancur diganti dengan batu baru. Kondisi arca Buddha lebih parah dibandingkan dengan stupa terutama pada bagian bawah karena bom diletakkan di dekat arca Buddha. Saat itu untuk rekonstruksi digunakan bahan perekat berupa DF (Davis Fuller) dan akemi. Penggunaan akemi untuk rekonstruksi sementara sedangkan DF untuk rekonstruksi permanen,
3. Setelah seluruh bagian direkatkan kembali kemudian dilakukan pekerjaan *finishing*, yaitu kamuflase menggunakan bahan campuran pasir dan resin,
4. Setelah selesai *finishing* setiap stupa yang kena bom diberi tanda.



Pra rekonstruksi

Pekerjaan mengembalikan sembilan stupa ke bentuk semula memakan waktu sekitar tiga bulan. Tenaga yang memperbaiki stupa sekitar 40 orang PNS dari Kelompok Kerja *Chemico Arkeologi*. Setelah selesai semua tenaga yang ikut mengerjakan perbaikan stupa memperoleh sertifikat penghargaan dari pemerintah, kecuali saya. Saya tidak memperoleh sertifikat penghargaan, mungkin karena kelupaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Kebudayaan dan Pariwisata. 2005. *Pedoman Perawatan dan Pemugaran Benda Cagar Budaya Bahan Batu*. Jakarta.
- Kompas. 1985. Sembilan Stupa Borobudur Diledakkan Senin Dinihari, *Kompas* 22 Januari 1985. Jakarta: Gramedia.
- Kompas. 1985. Kita Semua Harus Merasa Malu, *Kompas* 22 Januari 1985. Jakarta: Gramedia.
- Proyek Konservasi Candi Borobudur. 1985. *Laporan Khusus Peledakan Sembilan Stupa Candi Borobudur 21 Januari 1985*. Magelang.
- Proyek Konservasi Candi Borobudur. 1985. *Laporan Khusus Hasil Pemugaran Stupa dan Peningkatan Sistem Pengamanan Candi*. Magelang.

BIODATA PENULIS

Drs. Marsis Sutopo, M.Si., lahir di Kulon Progo, 19 November 1959. SD, SMP, dan SMA diselesaikan di Kulon Progo. Melanjutkan kuliah di Jurusan Arkeologi UGM tahun 1983. Lulus 1989 dan mengikuti wisuda awal tahun 1990. Setelah mengikuti wisuda kemudian merantau ke Sumatera Barat dan diterima sebagai pegawai honor Suaka Peninggalan Sejarah dan Purbakala (Suaka PSP) Batusangkar Wilayah Kerja Sumatera Barat, Riau, dan Kepulauan Riau. Setahun kemudian diangkat menjadi CPNS di Suaka PSP Batusangkar. Tahun 1998 melanjutkan kuliah di Program Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Gadjah Mada dan lulus tahun 2001. Tahun 2002 diangkat sebagai Kepala Suaka Peninggalan Sejarah dan Purbakala (yang kemudian berubah nama menjadi Balai Pelestarian Peninggalan Purbakala) Batusangkar sampai tahun 2007. Pada bulan Maret 2007 sampai sekarang menjadi Kepala Balai Konservasi Borobudur.

Iskandar M. Siregar, S.Si., lahir di Bungabondar, Tapanuli Selatan, Sumatra Utara, pada 18 November 1969. Tahun 1988 lulus dari SMA Negeri 3 Padangsidimpuan dan melanjutkan pendidikan ke Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), Universitas Padjadjaran Bandung dan lulus pada tahun 1994. Mulai tahun 1999 menjadi pegawai negeri sipil (PNS) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, dan bertugas di Balai Konservasi Borobudur. Sejak tahun 2009 sampai sekarang menjabat sebagai Kepala Seksi Layanan Konservasi.

Yudi Suhartono, MA lahir di Bandar Jaya, Lampung Tengah, pada 7 Mei 1970. Tahun 1989 lulus dari SMANegeri 2 Bandar Lampung, dan melanjutkan pendidikan ke Jurusan Arkeologi, Fakultas Sastra, Universitas Indonesia Jakarta dan lulus pada tahun 1994. Pada tahun 2008 menyelesaikan Pasca Sarjana (S2) di jurusan Arkeologi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pada tahun 1995, mulai bekerja sebagai tenaga Honorer di Suaka Peninggalan Sejarah dan Purbakala Jambi. Tahun 1996 -1997 menjadi Tenaga Sarjana Penggerak Pembangunan Pedesaan (SP3) bidang Kebudayaan di kecamatan Barumun Tengah, Tapanuli Selatan, Sumatera Utara. Tahun 1996-1997 dan 1998-2001 ikut dalam pemugaran candi Sipamutung di Kabupaten Tapanuli Selatan. Mulai tahun 1998 menjadi pegawai negeri sipil (PNS) di Suaka Peninggalan Sejarah dan Purbakala Banda Aceh. Pada tahun 2003 sampai dengan sekarang bertugas di Balai Konservasi Borobudur.



Proses rekonstruksi





REKONSTRUKSI



PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR DENGAN KONSEP SARWAMUKA

Oleh:
I.G.N. Anom
Kepala Suaka Pubakala Jawa Tengah
1980 - 1990

PENDAHULUAN

Sebagaimana diketahui, pada masa Jawa Tengah kuno berkuasa dua keluarga raja, yaitu wangsa Sanjaya dan wangsa Syailendra. Wangsa Sanjaya adalah penganut agama Hindu sedang wangsa Syailendra adalah penganut agama Buddha. Kedua-duanya amat taat dalam menjalankan ajaran agamanya masing-masing. Kedua-duanya pula amat giat membangun tempat pemujaannya masing-masing. Oleh karena itu, kini kita menemukan sejumlah besar candi baik yang bersifat Hindu maupun Buddha, yang tersebar di seluruh Jawa Tengah. Menurut cara pembuatannya ada tiga jenis candi, yaitu candi yang dipahatkan pada tebing sungai (*rock cut*), biasa dikenal dengan nama candi tebing. Ada yang terbuat dari sebuah batu besar dipahat menjadi sebuah candi (*monolith*). Jenis ketiga, terbuat dari konstruksi batu (*constructed building*), dengan cara susun tumpuk tanpa perekat (Michell, 1977:81) yang sering juga

disebut dengan istilah *dry masonry*. Hampir seluruh candi di Jawa Tengah, termasuk juga Candi Borobudur dibuat dengan cara terakhir ini. Sedangkan menurut letaknya juga ada tiga jenis candi yaitu: Vana, candi yang terletak di hutan; Tatini, candi yang berada di dekat sungai atau danau; dan Saila, candi yang didirikan di atas gunung (Kramrisch I, 1946:3 – 4). Tidak mudah menentukan jenis candi menurut ketentuan ini. Misalnya Candi Borobudur, yang menjadi pokok pembicaraan sekarang ini, terletak tidak jauh dari sungai. Menurut para ahli, juga disebutkan berada di dekat danau. Candi ini pun berada di atas salah satu dari tiga bukit kecil di lereng pegunungan Menoreh, bahkan puncak bukitnya dibuat sebagai podasi dan sekaligus sebagai inti bangunannya. Hal tersebut dimungkinkan, karena Candi Borobudur memiliki bentuk yang istimewa dan unik. Tidak mempunyai ruangan seperti candi-candi lainnya tetapi berbentuk

stupa besar, terdiri dari sepuluh tingkatan yang masing-masing dibatasi oleh sebuah lorong jalan keliling. Struktur ini diakhiri dengan teras bersusun tiga dengan sebuah stupa besar pada pusatnya. Bentuk ini mengakibatkan adanya ruang terbuka yang sangat lebar. Air hujan yang menggenang pada lantai ini disalurkan melalui sejumlah saluran air yang disebut *jaladwara*. Arca-arcanya yang berjumlah 504 buah ditempatkan pada relung di atas tembok keliling dan di dalam stupa pada ketiga teras puncaknya. Keunikan ini mencapai tingkat kesempurnaannya dengan dipahatkannya relief pada kaki candi dan pada tembok di kiri dan

kanan jalan keliling. Panjang keseluruhan relief ini mencapai tidak kurang dari tiga kilometer.

Keunikan ini ternyata menjadi faktor yang sangat menentukan perjalanan hidup candi ini kelak dikemudian hari. Keistimewaan, keindahan, dan keagungannya telah menarik perhatian umat manusia di seluruh dunia, sehingga UNESCO menetapkan Candi Borobudur sebagai Warisan Dunia (*World Heritage*). Keistimewaan bentuknya juga menyebabkan petaka bagi hidupnya, sehingga sempat dinyatakan "Borobudur dalam keadaan bahaya". Kondisi ini akhirnya mengundang perhatian dunia. Borobudur tidak saja ditangani pada tingkat nasional tetapi pada tingkat nasional dan internasional. Bantuan berupa dana, material, tenaga ahli, dan lain sebagainya, dikoordinasi oleh UNESCO untuk menyelamatkan Borobudur. Bergabungnya para ahli dari berbagai negara dengan berbagai keahlian dan pengalamannya dalam pemugaran menghasilkan berbagai pemikiran pula. Pemikiran-pemikiran ini tidak saja terfokus untuk melestarikan candinya itu sendiri dengan segala nilai yang terkandung di dalamnya, bahkan meluas dan melebar, mengenai manfaat dan pemanfaatan Candi Borobudur bagi masyarakat, negara, bahkan dunia. Pengembangan ilmu pengetahuan dan tenaga ahli khususnya di bidang ilmu arkeologi. Dengan kata lain, pemugaran ini dirancang sebagai pemugaran yang *multifaces* atau pemugaran sarwamuka.



Candi Borobudur difoto dari udara tahun 1972 sebelum pemugaran II

PRINSIP KERJA PEMUGARAN

Untuk mencapai hasil yang mendekati kebenaran dari kerja pemugaran, sebelumnya kita patut mengetahui serba sedikit tentang segala sesuatu yang tercakup dalam pekerjaan tersebut, antara lain objek yang akan dipugar, hakikat kerja pemugaran, prinsip pemugaran, serta cara kerja pemugaran itu. Sasaran atau objek pemugaran adalah benda budaya atau sering juga disebut dengan tinggalan budaya. Proses pembuatan dari suatu benda, bermula dari suatu ide/gagasan yang kemudian diwujudkan melalui perilaku/teknologi dan bahan menjadi benda. Secara lebih rinci, Daniellou mengatakan bahwa proses penciptaan dari suatu benda atau arsitektur bermula dari pikiran atau ide yang ditransformasikan ke dalam bentuk kata atau bahasa kemudian ke dalam bentuk benda atau arsitektur. Gambaran dalam bentuk bahasa atau bangunan ini harus analog dengan idenya. Dalam perannya, bahasa ataupun arsitektur adalah simbol dari ide yang ingin disampaikan (Daniellou, 1964:3). Ide itu sendiri senantiasa berkembang sesuai dengan evolusi intelektual dari manusia pembuatnya. Dengan demikian aspirasi dan *way of life* dari manusia atau masyarakat pembuatnya akan tercermin di tinggalan budayanya (Brown, 1959: 1 – 63). Dengan kata lain, dapat dikatakan bahwa dalam tinggalan budaya itu terkandung ide dan perilaku manusia pembuatnya. Oleh karena perilaku dan konsep itu selalu melekat pada bendanya maka Clifford Geertz menyebut tinggalan budaya itu sebagai suatu simbol

bermakna yang membawa pesan dari masa ke masa (Geertz, 1992:9).

Tujuan ilmu arkeologi, pada intinya, adalah merekonstruksi masa lampau melalui tinggalannya. Adapun kerja ilmu arkeologi itu ada tiga bagian yaitu mencari dan mendapatkan bahan, mengolah dan menelaah bahan yang diperoleh, dan mengamankan serta menyelamatkan bahan tadi dari bahaya rusak/musnah (Soekmono, 1972: 30). Dua dari tiga kerja itu adalah kerja lapangan. Di Indonesia, kedua kerja lapangan itu adalah penggalian (ekskavasi) dan pemugaran, yang keduanya saling melengkapi dan tak terpisahkan. Keduanya mempunyai cara kerja yang sama, yang pada hakekatnya adalah “merusak”. Ekskavasi merusak dengan cara menggali susunan atau keteraturan letak tinggalan budaya yang berada di dalam tanah, sedangkan pemugaran merusak keteraturan susunan material pembentuk bangunan dengan cara membongkarnya. Oleh karena itu, untuk mencapai tujuan ilmu arkeologi sebagai mana disebutkan di atas, prinsip dan metode kerja arkeologi mutlak harus dipegang teguh oleh setiap pekerja lapangan, dalam hal ini semua pelaku pemugaran. Ada tiga mantan kepala Jawatan Purbakala yaitu: Bosch (1916 – 1936), Bernet Kempers (1947 –1953), dan Soekmono memberikan pendapat mengenai prinsip kerja pemugaran di Indonesia. Bosch dalam artikelnya yang berjudul *Het Restaureeren van Hindoe-Javaansche Bouwwerken* (1922) mengatakan bahwa tujuan pemugaran adalah merehabilitasi atau memperbaiki suatu bangunan purbakala

sebagian atau seluruhnya dalam keadaan aslinya. Bernet Kempers (1978) dalam bukunya *Herstel in Eigen Waarde* mengatakan bahwa pemugaran bukanlah bertujuan untuk mengembalikan suatu monumen ke masa jayanya (*herstel van de oude glorie*), melainkan mengembalikan bangunan kuno itu dalam keadaan dan bentuk semula (*herstel in eigen waarde*). Soekmono mengatakan bahwa prinsip dasar pekerjaan pemugaran adalah “keaslian”, artinya pemugaran semua tinggalan sejarah dan purbakala, harus dikembalikan dalam keadaan aslinya. Secara yuridis formal, prinsip ini baru tercantum dalam Undang-Undang Republik Indonesia No. 5 Tahun 1992 tentang Benda

Cagar Budaya, khususnya pada Pasal 13. Dan secara lebih terurai, hal tersebut dijelaskan pada Pasal 27 ayat (2) Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 10 tahun 1993. Kemudian Undang-undang ini diganti dengan Undang-undang Republik Indonesia No. 11 tahun 2010 tentang Cagar Budaya, khususnya pasal 77 ayat (2), yang berbunyi “Pemugaran Cagar Budaya sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus memperhatikan: a) keaslian bahan, bentuk, tata latak, gaya, dan/atau teknologi pengerjaan; b) kondisi semula dengan tingkat perubahan sekecil mungkin; (c) penggunaan teknik, metode, dan bahan yang tidak bersifat merusak; dan (d) kompetensi pelaksana di



Ekskavasi yang dilakukan di sekitar Candi Borobudur

bidang pemugaran". Pada undang-undang ini dijelaskan secara lebih rinci. Selain bangunan itu dikembalikan dalam bahan, bentuk, tata letak, gaya dan/atau teknologi pengerjaannya, juga harus menggunakan tehnik atau metode kerja yang tidak merusak. Untuk mencapai tujuan itu, sejak semula pelaksanaan pemugaran di Indonesia khususnya dalam menyusun kembali batu-batunya menggunakan metode anastilosis. Kata ini berasal dari bahasa Yunani "anastylose". Pengertian inti dari metode kerja ini adalah membangun kembali suatu bangunan dengan bahan-bahan aslinya. Metode ini akan dapat memberikan manfaat untuk meningkatkan kualitas keruangan (*spatial*) dari bangunan, sehingga bentuk arsitektur dan nilai yang terkandung lebih mudah dipahami. Dengan kata lain, "pesan-pesan" yang terkandung dalam bangunan akan dapat disampaikan seutuhnya (Samidi, 2000: 186). Dengan metode kerja ini, pemugaran dilakukan dengan cara membuat susunan percobaan sebelum dilakukan pemasangan kembali batu-batu candi itu pada tempat yang sebenarnya. Susunan percobaan itu dibuat dengan menyusun batu-batu candi berdasarkan bentuk, sistem kaitan, serta ornamen yang ada pada batu itu. Dilihat dari tanda-tanda tersebut, tidak ada satu buah batu pun yang sama dengan batu lainnya. Oleh karena itu, tidak ada satu batu pun yang dapat ditempatkan tidak pada tempatnya semula. Susunan ini benar-benar dibuat berdasarkan "kehendak" batu itu sendiri. Di kalangan para tukang di Jawa, metode ini biasa disebut dengan "*ngawula watu*", yang berarti sang

tukang bekerja sebagai kawula atau abdi yang selalu menuruti segala kehendak atau perintah sang batu (Anom, 1977: 12). Metode ini diikuti dengan dokumentasi yang lengkap dan detail baik berupa gambar maupun foto. Semua candi di Indonesia termasuk Candi Borobudur, dipugar dengan menggunakan metode kerja ini. Dengan menggunakan metode ini dapat dikatakan bahwa pelestarian melalui pemugaran bukan merupakan suatu pelestarian yang kering yaitu pelestarian terhadap bendanya semata. Akan tetapi, pemugaran Candi Borobudur adalah pelestarian menyeluruh, termasuk di dalamnya pelestarian ide, perilaku, dan sebagainya yang terkandung di dalam benda itu.

PEMUGARAN VAN ERP

Belum genap dua abad Candi Borobudur difungsikan sebagai sarana pemujaan bagi umat Buddha, oleh karena satu dan lain hal, ditinggalkan oleh pendiri dan seluruh umatnya. Nasib Borobudur diserahkan sepenuhnya kepada alam yang sesungguhnya sangat tidak mendukung bagi kelangsungannya. Curah hujan yang cukup tinggi, mencapai 621 mm, fluktuasi panas dan dingin yang sangat tinggi, kelembaban udara juga sangat tinggi, dan lain sebagainya, sangat mempengaruhi kondisi material pembuatnya. Borobudur yang mempunyai ruang datar yang sangat luas berpotensi menerima air hujan yang cukup banyak. Para arsitek Borobudur sangat menyadari kelemahan tersebut dan mengatasinya dengan membuat sejumlah

jaladwara, suatu sistem drainase untuk mengalirkan air ke luar dari candi. Namun, melalui siar-siar batu tanpa perekat, air dapat langsung menuju inti bangunan yang terbuat dari tanah. Daya dukung tanah yang basah cenderung menurun. Air tanah yang sudah jenuh sebagian mengalir melalui celah-celah batu membawa tanah dan partikel-partikel kimia keluar ke permukaan, menyebabkan tumbuhnya mikrobiologi dan penyakit batu lainnya. Air hujan yang menggenang pada permukaan merupakan media tumbuhnya rerumputan, semak, dan pepohonan yang akar-akarnya masuk ke dalam celah batu dan merusak struktur bangunannya. Kondisi semacam ini berlangsung setidaknya selama delapan atau sembilan abad sebelum Borobudur diketemukan tahun 1814 sebagai saksi kebesaran budaya bangsa masa silam.

Segera setelah diketemukan, Sir Thomas Stamford Raffles memerintahkan kepada Cornelius untuk membersihkan candi itu dari semak belukar dan pepohonan yang menutupinya. Kerja keras hampir selama dua bulan, berhasil menampilkan seluruh bentuk arsitektur candi itu. Pepohonan ditebang dan dibakar, tanah dan reruntuhan bangunan yang memenuhi lorong dibersihkan dan disingkirkan. Namun pembersihan tidak dapat dilaksanakan sepenuhnya, oleh karena banyak dinding-dinding yang dikhawatirkan akan runtuh. Dalam kondisi seperti ini kembali nasib Borobudur sepenuhnya diserahkan kepada alam, sampai akhirnya pada tahun 1834 Residen Kedu memerintahkan membersihkannya sampai tuntas sehingga candinya nampak

seluruhnya. Batu-batu lepas disingkirkan dan dikumpulkan di halaman candi. Segala upaya, pemikiran, dan penelitian dilakukan dalam rangka menanggulangi Borobudur dari bahaya keruntuhan. Puncak dari upaya ini adalah dikeluarkannya surat perintah dari Negeri Belanda yang menunjuk van Erp sebagai ketua pelaksana pemugaran Candi Borobudur. Theodore van Erp memulai pekerjaannya pada bulan Agustus 1907. Tujuan pokok dari kerja van Erp ini adalah sebanyak mungkin mengembalikan struktur dan bentuk arsitektur Candi Borobudur. Ia sangat memahami kearifan teknologi dari pendiri candi itu yang memasang sejumlah *jaladwara* untuk mengatasi kelemahan sistem susun tumpuk yang digunakannya. Dengan menggunakan metode anastilosis, seluruh batu bagian candi yang diketemukan direkonstruksi dan dikembalikan pada tempatnya semula. Fokus utama pekerjaan ini adalah stupa-stupa pada teras *arupadhatu*, sehingga berhasil direkonstruksi seluruhnya kecuali stupa pusatnya. Jalan-jalan lorong diperkuat dan diratakan. Kemiringannya diarahkan kepada *jaladwara* sehingga dapat berfungsi seperti semula. Siar-siar atau celah batu pada lantai *arupadhatu*, lantai lorong, dan selasar lebar pada kaki candi seluruhnya ditutup dengan mortar. Cara ini diharapkan membuat air hujan tidak lagi dapat menembus bagian inti bangunan melainkan ke luar lewat *jaladwara*. Lereng bukit kaki candi diperkuat dengan talud, dengan tujuan agar stabilitas kaki candi tetap terjaga. Pemugaran van Erp yang selesai pada tahun 1911 telah menyelamatkan Borobudur



Jaladwara yang berfungsi sebagai sistem drainase untuk mengalirkan air ke luar dari candi

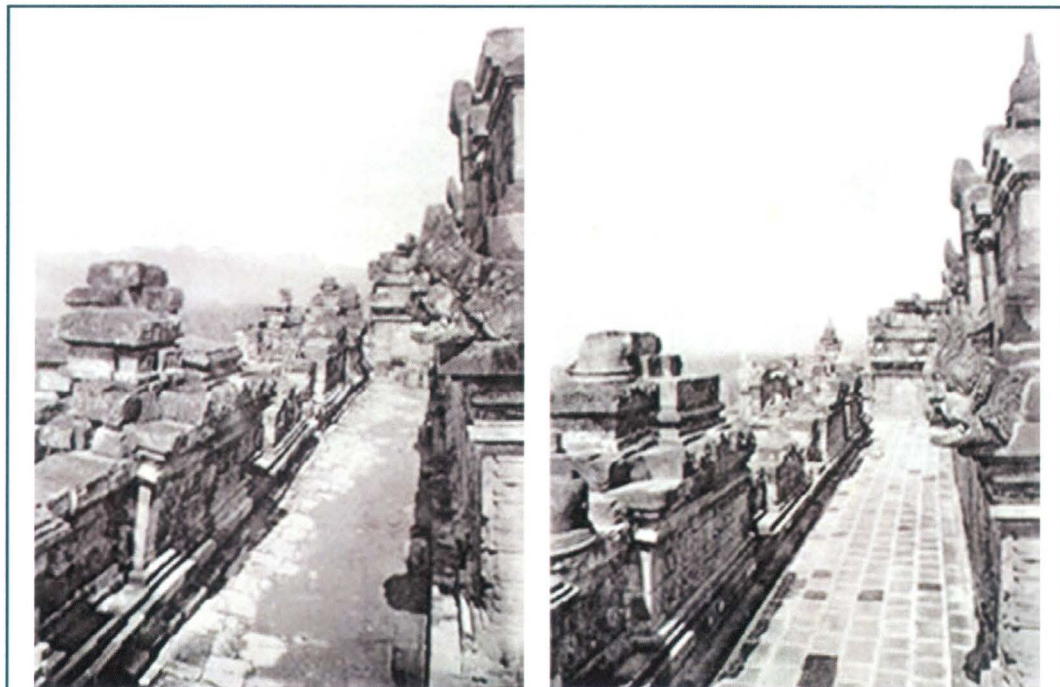
dari bahaya keruntuhan serta menampilkan kembali kemegahan semula. Terbatasnya waktu dan dana menyebabkan beberapa kekurangan dan masalah masih tersisakan, seperti gapura, langkan, demikian pula stupa pusat dan lain sebagainya belum lengkap. Masalah teknis yang masih belum teratasi terutama adalah dinding-dinding lorong pertama dan kedua masih tetap miring. Untuk mengetahui pergerakan batu-batu pada dinding lorong itu, maka dipasang sambungan pengamat (*controle-voeg*) antara dua batu pada dinding sebelah barat tangga Utara. Bila *controle voeg* ini patah, berarti Borobudur dalam keadaan bahaya (Soekmono, 1972: 9).

PEMUGARAN TAHAP II

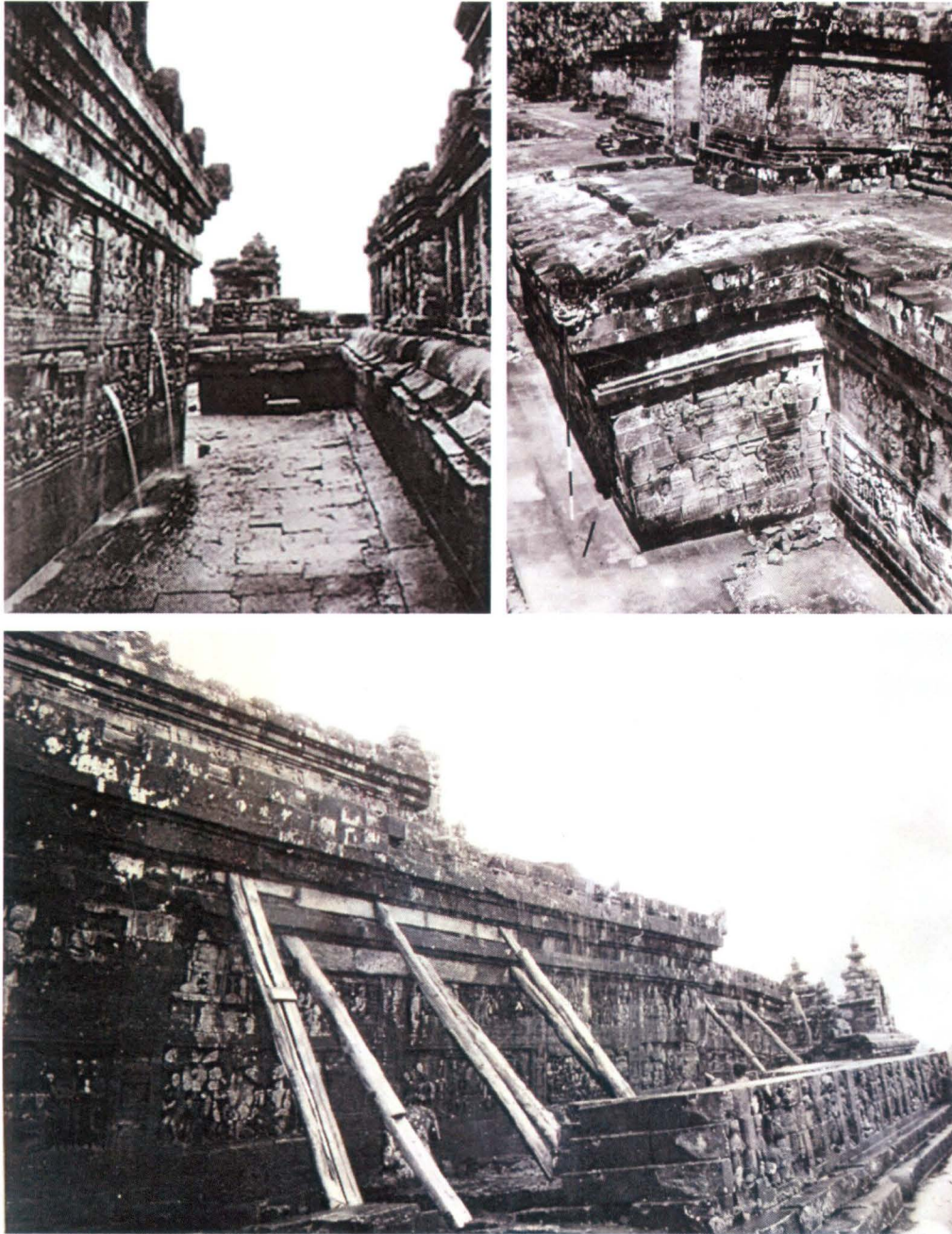
Di atas telah disampaikan bahwa Borobudur dibuat dengan konstruksi susun tumpuk tanpa perekat (*dry masonry*). Sistem ini rentan terhadap air, khususnya pada bidang-bidang datar seperti yang banyak dimiliki Candi Borobudur. van Erp berusaha menanganinya, tetapi belum tuntas. Seandainya Borobudur adalah seorang manusia, ia sesungguhnya mengidap sakit bawaan yang apabila tidak ditangani secara baik, tepat, dan tuntas akan dapat mengganggu hidupnya. Pemugaran sekarang ini dimaksudkan untuk dapat menyembuhkan penyakit itu sehingga tidak muncul kembali. Untuk mencapai tujuan ini, di dalam negeri pemugaran Borobudur ditingkatkan statusnya menjadi Proyek Nasional. Status ini dianggap belum menjamin bisa mencapai tujuan tersebut,

maka ditempuh upaya meminta bantuan internasional melalui UNESCO. Suatu kebetulan pula bahwa UNESCO pada saat itu sedang gencarnya melakukan kampanye salah satu kebijakannya, yaitu memugar budaya bangsa yang bernilai tinggi serta berpotensi sebagai daya tarik wisata. Borobudur yang dikenal unik dan indah itu dengan mudah dapat memenuhi kedua kriteria tersebut. Maka bantuan dari berbagai Negara disalurkan dibawah koordinasi UNESCO, berupa tenaga ahli, beasiswa, alat, dan bahan kerja.

Penelitian-penelitian dalam rangka perencanaan kerja pemugaran ini memakan waktu yang cukup panjang. Upaya ini diawali oleh para ahli bangsa sendiri, kemudian



Kondisi lorong Candi Borobudur sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) diberi mortar pada pemugaran I



Kondisi Candi Borobudur sebelum pemugaran II. Terlihat adanya kebocoran pada dinding candi (kiri atas), lantai yang melesak (Kanan atas), serta dinding miring yang bahkan harus ditopang dengan kayu (bawah).

dilanjutkan dengan bekerja sama dengan para ahli dari UNESCO. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa sebab utama kerusakan Borobudur adalah air. Air yang meresap ke dalam inti bangunan menyebabkan dua macam kerusakan, pertama yang bersifat fisio-kimiawi, dan kedua bersifat teknis-arsitektonis. Kedua kerusakan ini semakin berkembang sehingga pada tahun 1960 Borobudur dinyatakan dalam keadaan darurat. Penelitian-penelitian yang dilakukan mendukung kesimpulan itu, yang pertama dilakukan pada tahun 1929 oleh suatu Panitia Khusus. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan adanya tiga macam kerusakan yang disebabkan oleh: a) korosi, disebabkan pengaruh iklim, cendawan dan lumut pada permukaan batu, dan terutama sekali air yang ke luar dari celah dan pori-pori batu; b) kerja mekanis, disebabkan oleh tangan manusia dan kekuatan lain dari luar; dan c) kekuatan tekanan, disebabkan berat batu yang ada di atasnya terutama pada dinding yang melesak. Hasil penelitian ini dikuatkan lagi oleh Prof. Dr. C. Coremans dari Belgia, yang datang ke Indonesia pada tahun 1955 atas bantuan UNESCO. Pendapatnya tidak jauh dari hasil penelitian Panitia tahun 1929, dengan penekanan pada masalah air sebagai penyebab utama kerusakan, terutama air yang keluar dari dalam bangunan sehingga membawa berbagai jenis garam dan mineral dan sewaktu menguap meninggalkan unsur-unsur ini pada permukaan batu. Unsur-unsur yang tertinggal ini menyebabkan berbagai macam penyakit, yang oleh Coremans disebut sebagai “kanker batu”,

sehingga dapat disimpulkan bahwa Borobudur menderita sakit berat yang kronis dan berbahaya. Pengukuran pada dinding-dinding utara tingkat pertama pada tahun 1959 mendapatkan bagian tengah dari dinding itu menggelembung, yang dikarenakan adanya kantong-kantong air di belakang dinding itu. Kerusakan pada dinding ini semakin nampak jelas ketika pada tahun 1965 diadakan pembongkaran terhadap “lantai van Erp”. Setelah batu-batu tambahan itu dibongkar, terlihat bahwa beberapa bagian dinding melesak karena adanya erosi lereng bukit yang berada di belakang dinding dan di bawah lantai. Untuk lebih meyakinkan mengenai sebab kerusakan dan rencana penanggulangannya, maka dilakukan berbagai penelitian, antara lain pengeboran tanah di dalam dan di luar bangunan candi oleh ITB, penelitian mikrobiologi oleh Fakultas Pertanian UGM, curah hujan, klimatologi, petrologi, mineralogi, dan lain sebagainya. Para ahli dari UNESCO yang datang kemudian, seperti C. Voute, ahli hidrogeologi, Dr. G. Hyvert, ahli biologi, dan lainnya, menggarisbawahi penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli Indonesia. Disamping itu, mereka juga memberikan saran penyempurnaan dan langkah-langkah selanjutnya.

Sesungguhnya, sebelum adanya bantuan UNESCO, pemerintah Indonesia sudah memiliki rencana kerja pemugaran yang disusun berdasarkan hasil penelitian dan pengalaman kerja di masa lalu. Pada pokoknya rencana kerja itu berisi tentang pembongkaran dan pemasangan batu-batu candi dengan diberi

penguat beton terlebih dahulu. Rencana kerja itu telah dikaji berulang kali, sebelum akhirnya diadakan upacara peresmian pembongkaran pada hari Waisak tanggal 19 Maret 1965, yang dilanjutkan dengan pembongkaran kuadran Barat Laut tingkat II dan III dan langkan Timur Laut. Rencana kerja ini, yang kemudian diberi judul “Save Borobudur”, pada tahun 1968 dipaparkan oleh Ir. S. Samingoen dari Lembaga Purbakala di depan General Conference UNESCO ke-15 di Paris. Paparan ini mendapat sambutan positif dan sebagai tindak lanjutnya UNESCO mengirim ahli beton dari NEDECO. Setelah mempelajari lebih detail rencana kerja tersebut dan berbagai data yang telah tersedia, NEDECO dapat menerima rencana kerja itu dengan penyederhanaan dan penyempurnaan seperlunya, yang diistilahkan sebagai *simplified design*. Secara garis besar, rencana kerja ini berisi dua hal. Pertama, pemasangan beton sebagai penguat konstruksi, dilengkapi dengan sistem penyaluran air, dan kedua, konservasi batu. Kedua ragam kerja tersebut diharapkan dapat menjawab dua jenis kerusakan Candi Borobudur secara tuntas. Oleh karena dianggap sudah berpengalaman di bidang pemugaran, pembongkaran, dan pemasangan batu-batu candi serta konservasi dilakukan oleh pihak Indonesia, sedangkan pembetonan dilakukan oleh pihak pemborong.

Indonesia, dalam hal ini Lembaga Purbakala, telah melakukan pemugaran candi sejak abad XVIII. Akan tetapi, belum pernah melakukan pemugaran dengan tingkat kerumitan seperti pemugaran Borobudur sekarang ini. Konservasi



Pengangkutan menggunakan tower crane (atas).
Peralatan-peralatan yang digunakan dalam pemugaran Candi Borobudur.
Kamera stereoskop untuk fotogrammetri dan teodolit untuk pengukuran. (bawah).

batu juga merupakan hal baru. Pelaksanaannya serba terukur, baik volume kerja maupun waktu yang diperlukan. Menghadapi kerja yang serba rumit ini, diperlukan persiapan yang matang, baik sarana dan prasarana maupun tenaga kerja yang memadai kualitas serta kuantitasnya. Peningkatan kualitas tenaga kerja dilakukan dengan mengadakan pendidikan dan latihan langsung di lokasi, selama lebih dari tiga tahun. Mereka dibagi menjadi dua kelompok kerja yaitu kelompok konservasi dan kelompok tekno arkeologi. Atas bantuan negara-negara donor, beberapa diantara mereka mendapat kesempatan belajar di luar negeri, dalam bidangnya masing-masing. Konservasi memerlukan berbagai macam penelitian. Untuk itu, sebuah laboratorium didirikan dengan bantuan nasional maupun internasional. Peralatan-peralatan yang dimiliki boleh dikatakan peralatan mutakhir pada saat itu. Dokumentasi juga ditingkatkan dengan penggunaan fotogrammetri. Pengangkatan batu dari candi ke halaman menggunakan *tower crane* yang landasannya dibuat di sekeliling kaki candi. Batu kemudian diangkut dengan *forklift* ke area kerja (*working area*) yang berada di sekeliling bukit Borobudur. Di tempat ini, batu-batu candi dibersihkan, disambung, dikonservasi dan sebagainya hingga siap untuk dipasang kembali. Selain itu, batu candi yang ditemukan di dusun sekitar Borobudur dan batu yang pernah dipakai untuk meratakan lantai pada masa pemugaran van Erp, disusun kembali dengan menggunakan metode anastilosis. Untuk mempercepat penelitian

arkeologi, pemugaran dibantu dengan foto udara inframerah dan *geo-electric prospecting*. Laju jalannya keseluruhan kerja pemugaran yang rumit serta serba terukur ini, dikontrol dengan menggunakan komputer atas bantuan IBM. Komputer juga dipakai untuk mencocokkan batu-batu candi, khususnya mencocokkan kepala arca dengan badan aslinya. Selain persiapan di bidang teknis, untuk melancarkan jalannya pekerjaan dan memudahkan hubungan dengan UNESCO, pembenahan di bidang organisasi dianggap perlu dijalankan. Prof. DR. R. Soekmono (alm.) ditunjuk sebagai Kepala Proyek baru, dibantu Drs. Soediman (alm.) sebagai pelaksana harian. Melalui surat keputusan Menteri Perhubungan No. 43/U/1970, tanggal 26 Pebruari 1970 dibentuk "Panitia Nasional Pengumpulan Dana Perbaikan Candi Borobudur". Demikian pula, Menteri Pendidikan dan Kebudayaan dengan Surat Keputusan No. 0124/1971, tanggal 23 Juni 1971 membentuk "Badan Pemugaran Candi Borobudur", diketuai Prof. Dr. Ir. R. Roosseno. Sebagai partner ahli dari luar negeri, ditunjuk staf ahli dari berbagai bidang ilmu, antara lain arkeologi, mikrobiologi, arsitektur, teknik sipil, dan lain sebagainya. Berkumpulnya para ahli dari dalam dan luar negeri, adanya perkembangan ilmu dalam pemugaran warisan budaya, tuntutan sosial, serta pariwisata, dan lain sebagainya menghasilkan suatu rancangan pemugaran yang komprehensif. Dalam artian, titik berat tetap pada pelestarian candinya sendiri, tetapi di samping itu pelestarian lingkungan, manfaat dan pemanfaatan Borobudur juga mendapatkan

perhatian serius. Rancangan yang sarwamuka ini membuahkan hasil yang mempunyai dampak sangat luar biasa luasnya dikemudian hari.

Pada tanggal 23 Pebruari 1983, purna pugar Candi Borobudur diresmikan oleh Presiden Republik Indonesia, Soeharto. Dalam kesempatan ini, hadir Mr. Amadou-Mahtar M Bow, Direktur Jenderal UNESCO. Detik ini menandakan suatu kerja besar telah selesai. Indonesia bahkan dunia kini memiliki sebuah candi yang agung, megah, indah, berdiri dengan kokoh, sembuh dari "kanker batu". Selain itu, Candi Borobudur telah bebas dari penetrasi air yang telah disalurkan melalui sistem drainase terpercaya. Walaupun beberapa bagian dari candi ini belum terpasang secara sempurna, namun itu sama sekali tidak



Peresmian purnapugar Candi Borobudur oleh Presiden Soeharto

mengganggu kemegahan dan keindahannya. Dr. Daoed Joesoef selaku Menteri Pendidikan dan Kebudayaan dalam sambutannya antara lain menyatakan, "Ilmu pengetahuan modern dan peralatan teknologi mutakhir tidak lupa dipergunakan, seperti analisa pemotretan dari udara, arkeologi, arsitektur, ilmu kimia, teknik pengawetan, *engineering*, seismologi, *foundation engineering*, *landscape planning*, meteorologi, mikrobiologi, petrografi, *physics*, *soil mechanics*, *surveying* dan *terrestrial photogrammetry* serta komputer". Sejalan dengan itu, Harjari Soebadio (alm.), ketika itu Direktur Jenderal Kebudayaan, mengatakan, "Hasil pemugaran terakhir ini merupakan prestasi umat manusia abad ini, dengan menggunakan teknologi yang paling sederhana sampai yang mutakhir. Sapu lidi sampai komputer dan berbagai jenis bahan kimia". Direktur Jenderal UNESCO, antara lain menyatakan, "*From the cultural point of view, Borobudur must appreciably strengthen the conviction that every work of art which expresses an essential truth concerning any people is both, for that people, a source of inspiration, creativity and continuous self-fulfilment and, for mankind as a whole, the reflection of one facet, its unity in diversity and an unfailing aid to awareness, enrichment and renewal*". Sebagai tambahan, Presiden Republik Indonesia mengharapkan Borobudur bisa bertahan seribu tahun lagi (anonim, 1983). Sebagai monumen umat manusia (*monument of mankind*), Borobudur diharapkan dapat bertahan sepanjang sejarah hidup manusia.

Pemugaran dengan konsep sarwamuka

tentu juga membuahkan hasil yang sarwamuka. Hasil-hasil lainnya, terkadang tidak kalah monumental seperti candinya sendiri. Keindahan dan kemegahan Candi Borobudur semula "tersembunyi" di balik desa, rumah, dan pepohonan. B.Ph.Groslier, seorang ahli pemugaran candi dari Perancis yang mengunjungi Borobudur tahun 1968 mengatakan, "seorang pengunjung sudah terbentur hidungnya pada dinding Borobudur sebelum ia menyadari bahwa ia telah sampai di tempat tujuan." Pendapat ini dikuatkan lagi oleh Prof. Ch. Tunnard dari Departement City Planning, Yale University dan J.C.Pollaco dari Malta Government Tourism Board yang datang ke Indonesia tahun 1970. Mereka berpendapat bahwa perlu sekali tanah sekitar Borobudur sejauh 200 m dari kaki bukit dikosongkan. Dari sudut pandang agama, candi sering disebut sebagai Dewalaya, tempat tinggal para dewa. Sebagai tempat tinggal dewa, candi digambarkan sebagai suatu bangunan yang indah tiada taranya, dikelilingi pohon terpilih serta aneka macam bunga yang harum semerbak. Bertolak dari pemikiran tersebut, Borobudur mendesak untuk dilengkapi dengan taman. Atas bantuan Pemerintah Jepang, tanah di sekitar candi termasuk tanah yang dulunya digunakan sebagai *working area*, diubah menjadi taman purbakala (*archaeological park*). Dilengkapi dengan fasilitas parkir dan kios cenderamata, taman ini dihiasi dengan pepohonan dan tanaman bunga terpilih agar tidak membawa dampak negatif terhadap kelestarian candinya. Taman yang sama juga dibuat pada Candi Prambanan. Keduanya kini

dikenal dengan nama Taman Wisata Candi Borobudur dan Prambanan. Kini pengunjung dapat menikmati keindahan Candi Borobudur dari kejauhan. Sebaliknya dari atas candi, mereka dapat pula menikmati keindahan taman serta alam sekitarnya sambil mencermati gambar sosok arsitek Borobudur yang konon tidur terlentang di atas bukit Menoreh. Taman juga dimaksudkan sebagai peredam teriknya matahari dan pengatur pengunjung. Juga tersedia pusat informasi (*information center*) dan museum, keduanya dimaksudkan agar para pengunjung dapat memahami Borobudur secara komprehensif. Bagi para ahli yang ingin mempelajari Borobudur lebih mendalam, tersedia "Center for Borobudur Studies", lengkap dengan perpustakaan dan berbagai fasilitas lainnya. Sayangnya, bagian ini tidak berjalan seperti diharapkan. Dalam jangkauan jarak yang lebih jauh, Borobudur dilengkapi dengan lima zona yang mencakup Candi Pawon dan Mendut hingga ke wilayah Palbapang. Adanya zonasi ini dimaksudkan untuk mengatur pembangunan di wilayah tersebut agar harmonis dengan arsitektur candi itu. Zonasi semacam ini mengingatkan kita akan konsep Trihita Karana, yaitu *parhyangan*, *pawongan*, dan *pelemahan*. Dalam hal ini Candi Borobudur, Pawon, dan Mendut sebagai zona inti (*parhyangan*), dikelilingi tempat tinggal penduduk (*pawongan*), di luar itu adalah area persawahan (*palemahan*). Ketiganya tak terpisahkan, mempunyai ketergantungan satu sama lain, saling melengkapi, dan saling menguntungkan. Borobudur sebagai warisan



Taman wisata yang dibangun setelah pemugaran II

dunia mempunyai daya tarik kuat untuk mengundang wisatawan dari dalam dan luar negeri. Tak seorang wisatawan pun yang datang ke Yogyakarta dan Jawa Tengah yang tidak mengunjungi Candi Borobudur. Ini tentu akan mendorong masyarakat meningkatkan mutu hasil kerajinannya. Mengolah hasil pertanian sedemikian rupa agar diminati oleh para wisatawan, menghidupkan seni budaya, menyediakan pondok wisata, membangun desa wisata, dan lain sebagainya. Semua ini diharapkan bisa meningkat hidup masyarakat di sekeliling Candi Borobudur. Lebih jauh lagi, semua itu diharapkan dapat menjadi daya tarik tersendiri, sehingga Borobudur tidak lagi sebagai *single object*, tetapi *multi objects*. Bertambahnya obyek berarti pula bertambahnya waktu tinggal wisatawan di Borobudur. Bagi pemerintah, ini berarti peningkatan *income* negara/pemerintah daerah. Bagi masyarakat, ini berarti peningkatan taraf hidup rakyat. Peningkatan ini akhirnya akan meningkatkan kelestarian candinya. Dipertahankannya persawahan selain memberi hidup kepada masyarakat juga dapat menstabilkan iklim, menyerap udara kotor yang ditinggalkan wisatawan, sehingga manusia dan candi dapat hidup sehat.

Metode pemugaran yang diterapkan kali ini merupakan suatu lompatan besar bagi ilmu arkeologi, khususnya di bidang pemugaran. Konservasi batu baru pertama kalinya diterapkan di Indonesia, dilengkapi dengan berbagai penelitian dari bermacam ilmu bantu lainnya. Penelitian arkeologi secara intensif di luar bangunan pun dapat dikatakan

baru pertama kali dilakukan. Secara garis besar, penelitian ini menemukan tinggalan yang mungkin sekali berhubungan dengan pemakaian Borobudur sebagai tempat suci agama Buddha, antara lain sejumlah stupika dan meterai tanah liat, wajra dan sandaran arca dari perunggu, dan lain sebagainya. Walaupun telah dibantu dengan foto udara inframerah dan *geo-electric prospecting*, konon jalan yang menghubungkan Candi Mendut, Pawon, dan Borobudur tidak diketemukan. Demikian pula, penelitian pada dasar/pondasi candi tidak dapat dilakukan karena bagian ini sama sekali tidak dibongkar. Pascapemugaran para teknisi yang telah mendapatkan pendidikan, latihan serta pengalaman selama pemugaran ditempatkan pada Balai Konservasi Candi Borobudur, BP3 Jawa Tengah, BP3 Daerah Istimewa Jogjakarta, dan Direktorat Purbakala di Jakarta. Mereka membimbing para teknisi di tempat mereka bekerja dan kantor-kantor lainnya di seluruh Indonesia. Ditambah dengan adanya pelatihan pada Balai Konservasi Borobudur, metode pemugaran Borobudur dalam waktu relatif singkat tersebar ke seluruh Indonesia. Penerapannya disesuaikan dengan dana, sarana-prasarana yang tersedia. Pertamanan juga dikembangkan pada setiap pemugaran dengan skala yang disesuaikan. Warisan ini perlu dipelihara dan dikembangkan sesuai dengan kemajuan jaman. Hal-hal yang dirasakan belum bisa dilakukan secara sempurna pada pemugaran Borobudur seperti penelitian pada pondasi candi diupayakan dengan mengadakan "pemugaran total".

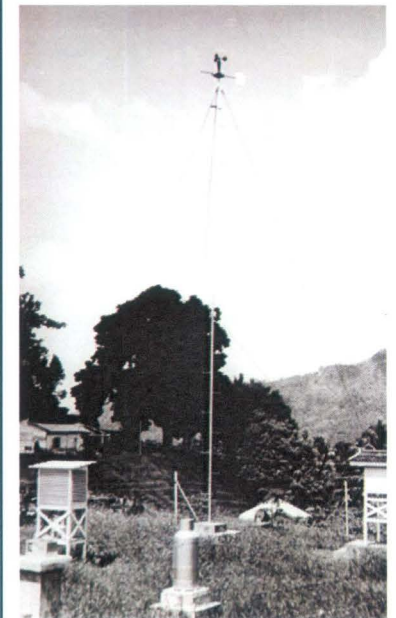


Pusat klimatologi Candi Borobudur
setelah Pemugaran II

Dengan membongkar seluruh bangunan, banyak data penting yang dapat diungkapkan, seperti lubang yang digunakan untuk penelitian tanah dasar oleh para pendiri candi pada Candi Plaosan Lor. Pot tembaga untuk tempat air di tengah pondasi Candi Nandi, data teknis lainnya pada pondasi Candi Sewu, dan lain sebagainya. Data ini sangat bermanfaat bagi pemugaran itu sendiri dan juga untuk kepentingan penelitian lebih lanjut. Untuk pertama kalinya, di bawah pimpinan penulis, metode ini diterapkan pada pemugaran bangunan kayu yaitu pada Masjid Demak. Seluruh bangunannya dibongkar dan semua komponennya dikonservasi dengan bahan kimia, termasuk juga sirapnya. Pengalaman ini kemudian diterapkan pula pada pemugaran bangunan kayu lainnya di seluruh Indonesia. Upaya peningkatan metode pemugaran ini dari waktu ke waktu terus diupayakan. Gempa bumi tanggal 27 Mei 2008, yang meluluh lantakan rumah-rumah penduduk, juga merusak beberapa candi di sekitar daerah Prambanan, khususnya Candi Siwa dan Candi Sewu. Batu-batu dari beberapa bagian kedua candi ini ada yang menonjol dan sambungan batunya menjadi renggang. Untuk mengetahui kelemahan konstruksi candi-candi ini dalam menghadapi goyangan gempa, para ahli dari UGM mengadakan simulasi dengan komputer. Percobaan-percobaan semacam ini tentu akan memperkaya khasanah pengetahuan kita mengenai pemugaran. Begitu seharusnya metode itu diwarisi dan dikembangkan sepanjang masa.

Laboratorium yang mengambil tempat

di sudut Barat Daya candi kemudian dikembangkan menjadi institusi yang bernama Balai Konservasi Borobudur. Nama Borobudur yang dipakai sebagai nama institusi ini, tidak dimaksudkan untuk membatasi tugasnya hanya untuk Candi Borobudur semata, melainkan karena nama Borobudur sudah sangat dikenal, dan kenyataannya bahwa institusi ini memang merupakan kelanjutan dari sebagian tugas pemugaran Candi Borobudur. Tugas pokok Balai ini antara lain (1) mengelola, memelihara/merawat, menyempurnakan bagian-bagian candi yang masih belum terpasang, dan mengadakan kontrol tentang keterawatan dan stabilitas candi serta lingkungannya; (2) mengadakan penelitian dan mengembangkan segala sesuatu yang berhubungan dengan pemugaran dan konservasi, termasuk konservasi tinggalan budaya bergerak; (3) melayani segala sesuatu kebutuhan tentang pemugaran dan konservasi dari instansi lain di dalam maupun di luar Direktorat Jenderal Kebudayaan; (4) mengadakan pendidikan dan pelatihan tenaga pemugaran dan konservasi. Satu tugas melekat yang masih tetap dilakukan oleh institusi ini adalah pencatatan keadaan klimatologi, seperti curah hujan, kelembaban, fluktuasi udara, dan sebagainya. Sampai sekarang, Borobudur masih tetap mengirimkan data-data tersebut ke Kantor Pusat Klimatologi. Perkembangan institusi ini terhitung sangat pesat. Nama Borobudur memang bisa memberi jaminan, sehingga dalam waktu singkat Balai ini tidak saja menjadi pusat pelatihan tenaga pemugaran dan konservasi nasional, tetapi



Pusat klimatologi Candi Borobudur

juga ditunjuk sebagai pusat pelatihan yang sama bagi para teknisi Negara-negara ASEAN. Mereka dididik dan dilatih di Borobudur dalam waktu yang bervariasi dari tiga sampai sembilan bulan. Para alumni itu banyak yang sudah menempati posisi yang cukup baik di negaranya masing-masing. Suatu yang dapat dikatakan sedikit istimewa terjadi ketika para teknisi dari Kamboja berlatih di Borobudur. Materi pelatihan di Borobudur sama dengan materi yang diberikan kepada teknisi-teknisi negara ASEAN lainnya. Istimewanya, untuk mempraktekkan pengetahuan itu Pemerintah Indonesia memberikan bantuan pemugaran bagi salah satu candi di kompleks Angkor. Proyek ini diberi nama ITASA, *Indonesian*

Technical Assistance for Safeguarding Angkor. Tujuan utamanya adalah mempraktekkan secara langsung metode pemugaran yang didapat di Indonesia bagi para teknisinya, dan melatih para tukang dan pekerja pemugaran negara tersebut. Proyek ini mendapat sambutan luar biasa dari Pemerintah Kamboja, melebihi proyek-proyek serupa dari negara lainnya, walau dana mereka jauh lebih besar. Demikian antusiasnya Pemerintah Kamboja dalam menerima bantuan ini, purnapugar candi yang sekecil itu langsung dilakukan oleh Pangeran Ranarit. Selain itu, satu hal penting yang pantas dicatat pula, bahwa beberapa teknisi Indonesia yang dihasilkan Borobudur, mendapatkan kesempatan menyampaikan pengetahuan dan pengalamannya di tempat mereka pernah dididik seperti di Italia dan India. Ini menunjukkan bahwa buah hasil pemugaran Borobudur dengan konsep sarwamuka itu tidak saja bermanfaat bagi Indonesia tetapi juga bagi dunia.

DAFTAR PUSTAKA

- , *Purna Pugar Candi Borobudur*. Departemen Penerangan RI.
- Anom, I.G.N. (ed). 2005. *The Restoration of Borobudur*. UNESCO.
- Anom, I.G.N. 1997. *Keterpaduan Aspek Teknis dan Aspek Keagamaan dalam Pendirian Candi Periode Jawa Tengah (Studi Kasus Candi Utama Sewu)*. Disertasi, Universitas



Pusat klimatologi Candi Borobudur sekarang yang berada di depan kantor Balai Konservasi Borobudur

Gajah Mada, Yogyakarta. Tidak Diterbitkan.

Brown, Percy. 1959. *Indian Architecture (Buddhist and Hindu Periods)*. Bombay: D.B. Taraporevala Sons & Co.Private Ltd.

Daniellou, Alain. 1964. *Hindu Polytheism*. London: Routledge & Kegan Paul.

Geertz, Clifford. 1992. *Kebudayaan & Agama*. Yogyakarta: Kanisius.

Kempers, A.J. Bernet. 1978. *Herstel in Eigen Waarde, Monumentenzorg in Indonesie*.

Kramrisch, Stella. 1946. *The Hindu Temple, Vol I*. Calcutta: University of Calcutta.

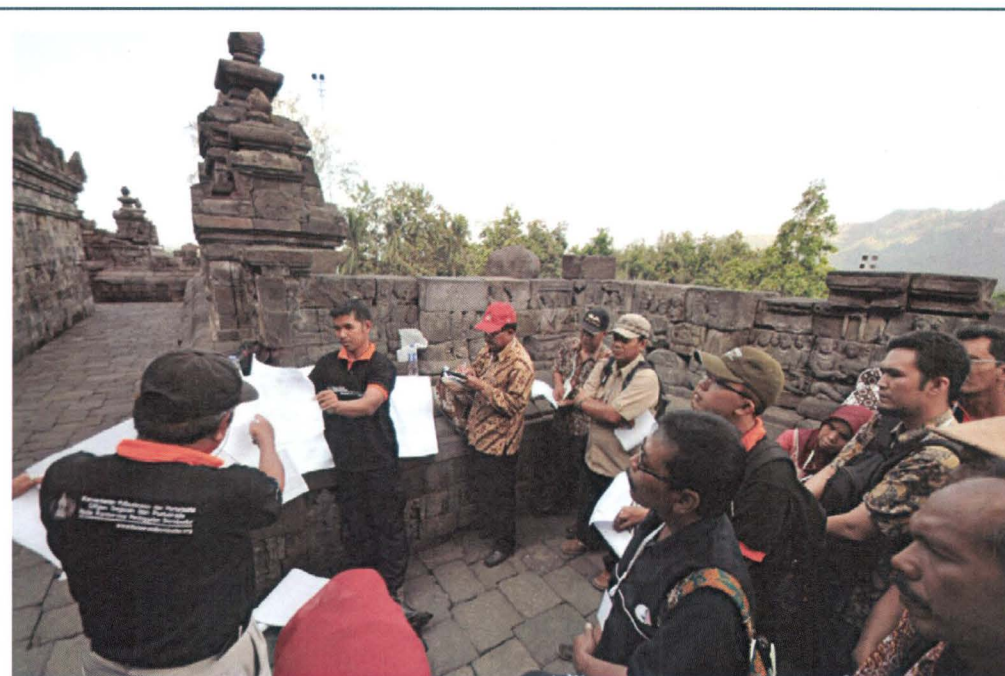
Michell, George. 1977. *The Hindu Temple: An Introduction to Its Meaning and Form*. London: Paul Elek.

Samidi. 2000. *Metode Pencocokan Batu Lepas (Anastilosis) Pagar Langkan Candi Borobudur*. Tesis S2. Arkeologi, Universitas Indonesia. Tidak Diterbitkan.

Soekmono, R. 1972. *Riwayat Usaha Penjelamatan Tjandi Borobudur (Sampai akhir 1971)*. Jakarta: Proyek PELITA Restorasi Tjandi Borobudur Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

BIODATA

Dr. I G.N. Anom, lahir di Gianyar , Bali, 12 Agustus 1943. Menamatkan SR, SMP, SMA di Bali, mendapat gelar S1 tahun 1971 dan S3 tahun 1997, keduanya dari jurusan Arkeologi Fakultas Sastra UGM. Menjadi Kepala Kantor Purbakala Jawa Tengah tahun 1980 – 1990, merangkap pelaksana Proyek Pemeliharaan Candi Borobudur, Direktur Purbakala tahun 1990 - 1999, Dirjen Kebudayaan/Dirjen Purbakala 1999 – 2003.



Pelatihan Tenaga Teknis Konservasi yang diselenggarakan oleh Balai Konservasi Borobudur



TEKNO ARKEOLOGI PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

Oleh:
Ismijono
Kepala Sektor Tekno Arkeologi
Proyek Restorasi Candi Borobudur

PENGANTAR

Tekno Arkeologi Pemugaran Candi Borobudur adalah suatu sistem kerja pemugaran cagar budaya yang kegiatannya tidak hanya berorientasi pada kaidah-kaidah teknis bangunan tapi juga pengetahuan tentang kepurbakalaan. Dalam pemugaran II (1973 s/d 1983), sistem kerja seperti ini menjadi tugas dari salah satu sektor di dalam Organisasi Proyek Pemugaran Candi Borobudur (PPCB) yang dinamakan Sektor Tekno Arkeologi (Sektor TA). Sebagai bagian dari Struktur Organisasi PPCB, Sektor TA bertugas melakukan pekerjaan pembongkaran dan pemasangan kembali batu-batu candi dalam rangka mengembalikan kondisi fisik candi yang rusak sesuai dengan keaslian bentuk, bahan, pengerjaan, dan tata letaknya.

Untuk menunjang terlaksananya kegiatan sebagaimana diharapkan, sebanyak 40 orang

lulusan STM dari jurusan bangunan gedung secara bertahap telah mengikuti pendidikan dan pelatihan di bidang tekno arkeologi selama 3 tahun dimulai pada tahun 1971. Pendidikan dan pelatihan ini merupakan proses belajar mengajar yang diselenggarakan oleh PPCB dalam rangka mempersiapkan kader teknisi di bidang tekno arkeologi yang memiliki kompetensi di bidang pemugaran, terutama berkenaan dengan norma-norma dan etika serta prinsip-prinsip yang harus diperhatikan dalam melakukan pemugaran. Materi yang diberikan dalam pendidikan dan pelatihan ini merujuk pada beberapa referensi yang relevan seperti:

1. Pengantar Arkeologi
2. Sejarah Kebudayaan Indonesia
3. Sejarah Arsitektur Indonesia
4. Petrografi dan Pelapukan Bahan

5. Teknik Bangunan
6. Mekanika Tanah
7. Bahasa Inggris
8. Praktek penggambaran, pengukuran, dan pemugaran candi

Dengan bekal pengetahuan ini, kader teknisi yang tergabung di dalam organisasi kerja Sektor TA telah diberdayakan di tiga subkegiatan pokok terkait dengan rencana pelaksanaan pemugaran II yang disusun oleh Netherland Engineering Consultan (NEDECO) pada tahun 1972, dengan judul *Description of work for the restoration of Borobudur*.

Ketiga subkegiatan pokok tersebut meliputi:

1. Bagian Pengukuran dan Penggambaran
2. Bagian Pelaksanaan Pemugaran
3. Bagian Administrasi dan Registrasi Pemugaran

Dengan merujuk pada rencana kerja yang telah ditetapkan (NEDECO), bagian pengukuran dan penggambaran bertugas melakukan pemetaan dan penggambaran dalam rangka pendataan bangunan dan lingkungan candi. Bagian pelaksanaan pemugaran bertugas melakukan pekerjaan pembongkaran dan pemasangan kembali batu-batu candi dalam rangka mengembalikan kondisi fisik candi yang rusak. Bagian administrasi dan registrasi pemugaran bertugas menghimpun dan mengelola sistem registrasi pemugaran dan sarana kerja internal Sektor TA.

Dalam menjalankan tugasnya, khususnya di bagian pelaksanaan pemugaran, kader teknisi di bidang tekno arkeologi dibantu oleh tukang dan pembantu tukang yang tergabung di dalam organisasi kerja Sektor TA beranggotakan seluruhnya mencapai 250 orang. Tukang dan pembantu tukang dalam hal ini adalah orang-orang yang memiliki kemampuan dan pengalaman dalam melakukan pekerjaan pemugaran seperti cara membongkar dan memasang kembali batu candi, cara mengangkat dan mengangkut batu candi, serta cara mencocokkan batu temuan atau batu candi yang terlepas dari ikatannya.

Keanggotaan Sektor TA ini merupakan jumlah terbesar dari sekitar 700 orang tenaga kerja proyek yang terbagi ke dalam berbagai



Situasi pemugaran Candi Borobudur

sektor kegiatan. Upaya pengembalian kondisi fisik candi yang rusak dalam hal ini tidak hanya dikerjakan oleh Sektor TA tapi juga melibatkan Sektor Chemiko Arkeologi (CA) dan Sektor Dokumentasi. Sektor CA dalam pemugaran II bertugas merawat dan mengawetkan batu-batu candi hasil pembongkaran di lapangan maupun di bengkel kerja, sementara Sektor Dokumentasi bertugas mengawal dan mengawasi jalannya pekerjaan pemugaran baik yang sifatnya teknis maupun arkeologis. Disamping itu, terdapat pula bagian lain yang memiliki peran sentral dalam menunjang kegiatan internal PPCB yaitu bagian Tata Laksana dan Teknik Umum (TU).

Lingkup kegiatan sebagaimana dikemukakan di atas pada dasarnya merupakan cakupan pekerjaan kepurbakalaan yang sepenuhnya menjadi tanggungjawab PPCB. Sementara itu, segala sarana dan prasarana yang dibutuhkan untuk menunjang pekerjaan pemugaran di lapangan seperti pengadaan bengkel kerja (*workshop*), tempat penampungan batu (*buffer storage*, *final storage*), sarana transportasi (*railtrack*, *tower crane*, *gantry crane*, *travelling crane*, *schafouldcrane*, *schafoulding*, *forklift*, *truck*, *pallet*), dan perkuatan struktur candi seperti pemasangan pondasi beton dan pipa saluran air, sepenuhnya menjadi tanggung jawab kontraktor atau pihak ketiga yang bergerak di bidang pekerjaan sipil yaitu PT. Nindya Karya bekerja sama dengan Konsultan Perencana dari Filipina.

Penulis selaku penanggungjawaban Sektor TA (SK PPCB No.3751/A.1/BD/1975) akan mencoba untuk berbagi pengetahuan dan

pengalaman terkait dengan kegiatan Sektor TA dan hasil yang dicapai dalam melaksanakan pekerjaan pemugaran berikut segala permasalahan dan upaya pemecahannya dengan merujuk pada hasil pertemuan teknis baik pada tataran internal PPCB maupun dalam *Consultative Committee Meeting* (Sidang CC). Dapat diketahui bahwa keanggotaan *consultative committee* ini terdiri dari sebagian perwakilan negara penyumbang dan para ahli yang berasal dari dalam dan luar negeri dibawah koordinasi Badan Pemugaran Candi Borobudur (BPCB) Direktorat Jenderal Kebudayaan bekerjasama dengan UNESCO. Sidang CC ini selalu diadakan setiap tahun oleh PPCB dengan



Situasi pemugaran Candi Borobudur

tujuan untuk mengetahui dan mengevaluasi perkembangan pekerjaan serta membahas berbagai persoalan terkait dengan pelaksanaan pemugaran candi. Sebagai pengantar, penulis memulai dengan memberikan penjelasan secara umum mengenai situasi dan kondisi fisik Candi Borobudur sebelum Pemugaran II, sebagai ilustrasi yang melatarbelakangi dilakukannya tindak pemugaran. Penjelasan ini pada dasarnya penulis berikan dengan merujuk pada fakta lapangan maupun hasil penelitian ilmiah dari berbagai disiplin ilmu yang terlibat di dalam pemugaran candi.

SITUASI DAN KONDISI FISIK CANDI SEBELUM PEMUGARAN II

Candi Borobudur merupakan salah satu bangunan hasil kegiatan manusia atau bukti kejadian pada masa Hindu/Buddha abad IX–X yang banyak ditemukan di Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan sebagian Sumatera. Candi Borobudur yang terletak di Kabupaten Magelang, Jawa Tengah, merupakan candi Buddha yang memiliki potensi nilai, informasi, dan promosi cagar budaya sehingga perlu dilestarikan dan dikelola secara tepat melalui upaya perlindungan, pengembangan, dan pemanfaatan dalam rangka memajukan kebudayaan nasional. Candi Borobudur merupakan susunan binaan yang terbuat dari benda alam untuk memenuhi kebutuhan ruang ber dinding, dalam hal ini adalah untuk kegiatan keagamaan yang terletak di atas sebuah bukit pada ketinggian

± 270 m di atas permukaan laut. Benda alam untuk pembangunan candi ini adalah batu andesit yang diolah oleh manusia masa lalu berupa blok-blok batu empat persegi dalam berbagai ukuran rata-rata $25 \times 35 \times 45$ cm. Teknik pengerjaan bangunannya adalah setiap batu candi yang terdiri dari elemen batu luar (*outer stone*) dan batu isian (*inner stone*) disusun per lapis dan dipasang sistem tumpuk tanpa perekat mengikuti kontur bukit hingga membentuk bangunan bertingkat atau bangunan berundak seperti tampak sekarang. Di dalam susunan batu luar maupun batu isian banyak ditemukan sistem perkuatan hubungan antarbatu seperti takikan, getakan, lobang dan pen, serta ekor burung yang menggambarkan teknologi masa lalu dalam rangka memperkuat stabilitas berdirinya bangunan. Struktur pondasi candi ini menerapkan sistem pondasi langsung, yaitu susunan batu paling bawah pada setiap tingkatan bangunan diletakkan di atas permukaan tanah bukit pada kedalaman 2–3 lapis batu di bawah lantai lorong.

Denah di bagian dasar candi berbentuk segi empat bujur sangkar berukuran 125×125 m dengan tinggi bangunan dari permukaan tanah hingga puncak stupa induk ± 34 m. Sistem drainase lama terdapat pada halaman di sekitar candi, yang tersusun dari susunan batu andesit untuk mengalirkan air dari keempat sisi candi ke arah lereng bukit di sekelilingnya. Sebelum Pemugaran II, lereng bukit di sebelah timur terdapat struktur tangga dari susunan batu andesit (tangga lama?), sebagai satu-satunya struktur tangga yang menghubungkan

antara halaman bawah dengan halaman atas melalui lereng bukit. Struktur bangunan Candi Borobudur ini terbagi atas tiga bagian yang terdiri dari 9 tingkat, dengan rincian sebagai berikut:

1. Bagian I /bawah terdiri dari 1 tingkat yang disebut *Kamadhatu*

Bagian bawah yang disebut *Kamadhatu* adalah kaki candi yang semula keadaannya terbuka dan terdapat relief yang menggambarkan tataran hidup yang masih dikuasai oleh hawa nafsu dan kenikmatan duniawi. Pada tahap berikutnya (masa lalu) bagian kaki ini ditutup susunan batu yang dinamakan selasar (*encasement*) dan susunan batu undak (*subbasement*) hingga menutup seluruh permukaan bagian kaki berikut relief di dalamnya (*hidden foot*).

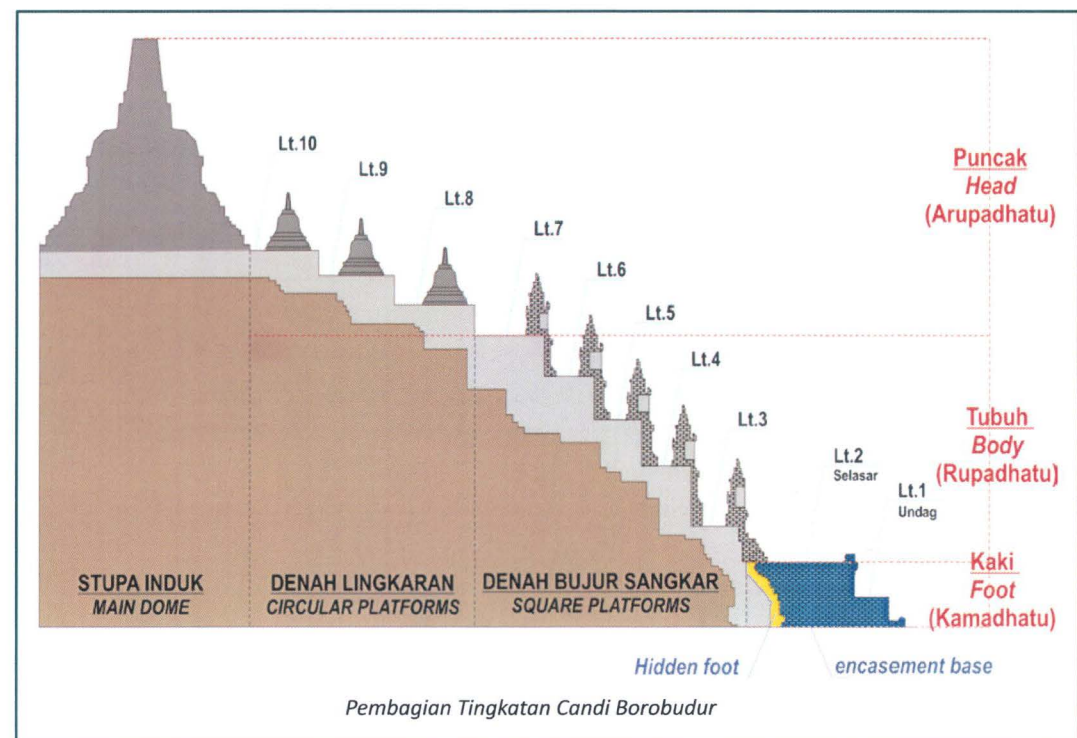
2. Bagian II /tengah terdiri dari 5 tingkat yang disebut *Rupadhatu*

Bagian tengah yang disebut *Rupadhatu* adalah bangunan segi empat (*rectangular*) yang dalam setiap tingkatnya (tingkat 1 s.d. 4) memiliki lantai lorong yang dibatasi oleh bidang-bidang candi dan pagar langkan (*balustrade*). Sementara itu, tingkat 5 merupakan lantai *plateau* yang dibatasi oleh pagar langkan dan teras bundar (*circular terraces*). Seluruh permukaan bidang candi (tingkat 1 s.d. 4) memiliki ragam hias berupa panil berelief yang menggambarkan kehidupan ideal yang harus ditempuh oleh setiap individu dalam usahanya melepaskan diri dari segala kesengsaraan dan siklus

reinkarnasi. Bagian pagar langkan selain mempunyai panil berelief juga terdapat relung-relung berhiaskan *kala/makara* dengan berbagai elemen dekoratif di dalamnya seperti patung Buddha, stupa kecil, *antefik*, dan *gargoyle* (pancuran).

3. Bagian III /atas terdiri dari 3 tingkat yang disebut *Arupadhatu*

Bagian atas yang disebut *Arupadhatu* atau “tanpa perwujudan” adalah bangunan teras bundar (tingkat 1 s.d. 3) yang melambangkan tujuan akhir dari setiap umat (nirwana). Bagian teras bundar ini tidak memiliki ragam hias kecuali sejumlah stupa yang di dalamnya terdapat patung budha mengelilingi stupa induk.



Kondisi fisik Candi borobudur sebelum dipugar oleh pemerintah melalui Proyek Pelita dengan dibantu oleh UNESCO tahun 1973 s.d. 1983 (Pemugaran II) sangat memprihatinkan atau banyak mengalami kerusakan karena proses alam atau aktivitas manusia. Seperti diketahui bahwa Candi Borobudur ini berada di alam terbuka pada suatu wilayah beriklim tropis dengan kelembaban lingkungan dan curah hujan relatif tinggi. Selain itu candi ini terletak di atas sebuah bukit yang sebagian lapisan tanahnya merupakan tanah urug masa lalu dan berada di suatu wilayah yang ditengarai sebagai daerah rawan gempa, terletak ± 30 km dari gunung berapi yang masih aktif (Gunung Merapi). Dalam rentang waktu yang sangat panjang, keadaan

seperti ini berpotensi menimbulkan dampak yang kurang menguntungkan bagi kelestarian bangunan dan lingkungan candi. Fakta menunjukkan bahwa kerusakan candi pada saat itu tidak hanya dalam bentuk kerusakan arsitektural tapi juga kerusakan struktural. Kerusakan arsitektural dalam hal ini adalah elemen batu candi yang terlepas dan tersebar di halaman candi bahkan sampai ke desa-desa di sekitarnya, serta beberapa bagian bangunan yang strukturnya hilang terutama susunan batu di bagian pagar langkan. Kerusakan struktural dalam hal ini adalah dinding-dinding candi yang keadaannya miring, melesak, dan nat-nat batu yang terbuka, serta struktur lantai yang bergelombang. Disamping itu, kondisi bahan penyusun bangunan pada umumnya juga sudah banyak mengalami proses pelapukan sehingga keadaannya banyak yang aus, mengelupas dan rapuh serta berlumut.

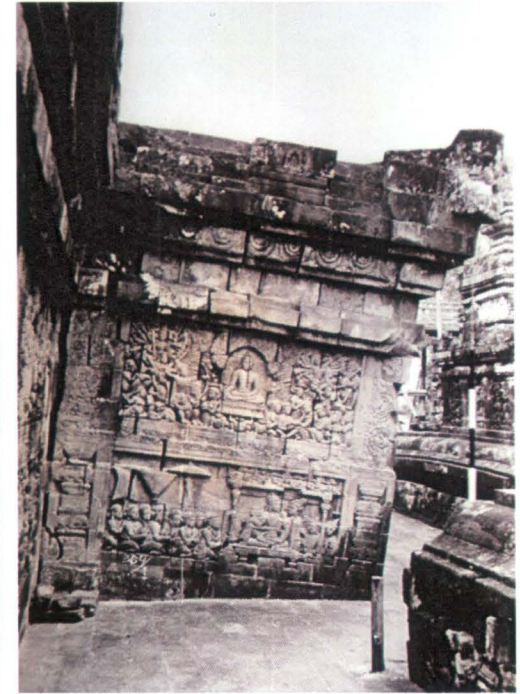
Permasalahan lain terkait dengan kondisi fisik candi sebelum pemugaran II adalah usaha pemugaran oleh Th. van Erp tahun 1907 s.d. 1911 (pemugaran I) yang belum sepenuhnya mengatasi semua permasalahan kerusakan candi. Keadaan seperti ini dapat dilihat dalam perbaikan kerusakan pada dinding-dinding candi dan lantai di bagian *Rupadhatu* maupun *Arupadhatu*. Dinding lorong 1 sisi utara yang ditengarai sebagai bagian yang mengalami kerusakan terberat, data terakhir menunjukkan kemiringan dinding $\pm 11^\circ$ dan melesak ± 60 cm, masih dibiarkan dalam keadaan seperti apa adanya, yaitu dalam posisi miring dan melesak sementara nat-nat batu yang terbuka diisi atau



Kondisi relief yang mengalami keausan serta ditumbuhi lumut dan algae

disisipi batu baru. Struktur lantai lorong yang bergelombang permukaannya ditutup lantai baru menggunakan batu andesit yang diberi spesi hingga menutup rapat seluruh permukaan lantai dan terlihat kurang harmonis. Pada dinding-dinding teras bundar yang keadaannya miring dan melesak posisinya juga kembali ditegakkan tapi tidak diangkat atau tidak dikembalikan pada ketinggian yang semestinya. Struktur lantai teras yang bergelombang permukaannya juga ditutup lantai baru menggunakan batu andesit. Penutupan lantai di bagian ini terlihat lebih harmonis bila dibandingkan dengan penutupan lantai lorong mengingat di lokasi ini merupakan tempat berdirinya stupa-stupa berisi patung Buddha yang mengelilingi stupa induk. Dari serangkaian upaya yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kegiatan pemugaran I pada dasarnya lebih menekankan pada perbaikan yang dilakukan secara parsial, seperti penempatan kembali susunan batu yang runtuh di bagian teras bundar dan pagar langkan, serta memperkuat dinding-dinding candi yang miring dan melesak dengan cara menutup struktur lantai tanpa membongkar atau mengembalikan posisi dinding ke tempat yang semestinya.

Seiring dengan kegiatan pemugaran II, ketika dilakukan pembongkaran batu terutama elemen batu candi di bagian pagar langkan telah dijumpai beberapa penempatan kembali batu candi yang salah tempat, seperti stupa kecil dan antefik serta beberapa elemen batu luar (*outer stone*). Kesalahan seperti ini dapat dipahami mengingat konsep desain candi cenderung memiliki kesamaan di keempat



Dinding candi Borobudur yang terlihat miring dan melesak serta nat-nat batu yang semakin melebar.



Hasil pemugaran I, terlihat bahwa struktur lantai yang melesak di tutup dengan lantai baru

sisinya (simetris). Kesamaan tersebut dapat dilihat seperti bentuk profil (perbingkaian) di bagian dinding dan pagar langkan, masing-masing tingkatan bangunan mempunyai *style* yang sama di keempat sisinya. Pelipit atas susunan batu dinding maupun pagar langkan cenderung menggambarkan pengulangan pelipit bawah, dalam hal ini memiliki bentuk dan ukuran yang sama sekalipun dipasang dalam posisi terbalik. Elemen candi di bagian pagar langkan seperti relung berhiasan *kala/makara*, stupa kecil, dan *antefik* pada setiap tingkatan bangunan juga memiliki *style* yang sama kecuali patung Buddha karena masing-masing sisi candi memiliki *style* yang berbeda. Keadaan seperti dikemukakan tersebut (bentuk simetris) telah memberikan kemungkinan terjadinya kesalahan dalam penempatan kembali apabila tidak dilakukan dengan hati-hati. Dalam pemugaran II, penempatan kembali batu-batu candi salah tempat ini sempat menjadi polemik, mengingat upaya pencocokan batu dapat diibaratkan seperti mencari jarum dalam tumpukan jerami. Dalam hal ini, lingkup pencocokan batu akan mencakup seluruh elemen batu candi di keempat sisi pagar langkan mulai dari tingkat 1 s.d. 4 yang jumlahnya tidak sedikit. Di satu sisi upaya pencocokan batu dapat dipastikan akan membutuhkan waktu relatif lama, di sisi lain kegiatan tersebut juga akan menimbulkan stagnasi pada kegiatan sektor lain yang terlibat didalamnya. Permasalahannya dalam hal ini semata-mata tidak hanya menyangkut masalah waktu, tetapi juga masalah sistem dan mekanisme kerja pemugaran II yang

telah didesain secara berurutan dengan mempertimbangkan situasi di lapangan. Untuk mengatasi persoalan tersebut, pemimpin proyek dengan kearifannya mengarahkan: "Sekiranya selama proses pembongkaran dan pemasangan kembali kalian tidak bisa menempatkan kembali batu candi yang salah tempat (ke tempat aslinya) maka kembalikanlah batu tersebut ke tempat dimana kalian mengambil dan dicatat". Dari berbagai permasalahan yang ditemukan seyogyanya upaya pemugaran I tetap diapresiasi secara proporsional sebagai suatu upaya untuk mencegah kerusakan candi yang terus terjadi. Hikmah yang dapat diambil dari hasil kegiatan pemugaran I, salah satu diantaranya adalah kebijakan penutupan struktur lantai yang keadaannya bergelombang. Dalam hal ini penutupan lantai dilakukan dengan tetap mempertahankan lantai asli di bawahnya sehingga jejak-jejak struktur candi masa lalu masih dapat ditelusuri untuk rujukan dalam perencanaan pemugaran II secara tepat dan benar.

Dengan merujuk pada situasi dan kondisi candi sebagaimana dikemukakan di atas, pada tahun 1970-an dalam rangka mempersiapkan pemugaran II telah dilakukan berbagai penelitian ilmiah terkait dengan upaya pencegahan dan penanggulangan kerusakan candi yang terus terjadi. Penelitian dilakukan oleh para ahli terkait, antara lain penelitian arkeologi, geologi, seismologi, hidrologi, tanah dasar candi, dan penelusuran secara sistematis faktor penyebab dan mekanisme proses kerusakan candi. Dalam waktu bersamaan, Sektor TA melakukan

kegiatan terkait dengan penyelamatan kerusakan candi yang sifatnya darurat, penempatan kembali elemen batu candi yang terlepas dan tersebar di halaman sekitar candi, serta melakukan pendataan keadaan candi dan situasi di sekitarnya melalui kegiatan pemetaan dan penggambaran.

Penelitian Teknis dan Arkeologis

Dalam rangka penelitian teknis dan arkeologis ini, Sektor TA bertugas melakukan pendataan kegiatan penelitian melalui pekerjaan pemetaan dan penggambaran. Beberapa diantaranya adalah kegiatan penggalian

penelitian arkeologi untuk mengetahui kemungkinan terdapatnya tinggalan arkeologi yang masih terpendam di dalam tanah dan kegiatan penyelidikan teknis untuk mengetahui struktur dan daya dukung tanah dasar candi guna perencanaan perhitungan perkuatan konstruksi candi. Pendataan terkait dengan penggalian penelitian arkeologi antara lain pemetaan dan penggambaran pekerjaan penggalian dalam rangka penelusuran struktur candi dan pekerjaan penggalian yang dilakukan berdasarkan atas hasil pemotretan dari udara (foto udara) menggunakan sinar infra merah/ sinar X, dan alat *geoelectric prospecting* pada tahun 1973 s.d. 1975. Dari hasil penggalian



Salah satu jenis temuan yang ditemukan dalam penggalian



Kegiatan penggalian yang dilakukan di sekitar Candi Borobudur

tersebut diperoleh beberapa temuan, seperti pondasi bangunan kuno dari bata di halaman candi sudut barat laut, lonceng, umpak tiang rumah, *vajra*, sandaran arca perunggu, periuk, kepala singa, stupa-stupa tanah liat, batu isian dan batu relief candi. Pendataan terkait dengan penyelidikan teknis meliputi pemetaan dan penggambaran kegiatan pengeboran tanah sebagai berikut:

- Pengeboran tanah sebanyak 42 titik pengeboran yang dilakukan oleh Tim Geologi ITB dalam rangka penyelidikan tanah dasar candi pada tahun 1965 s.d. 1969. Lokasi titik pengeboran tersebar di beberapa tempat pada lantai lorong candi mulai dari lantai 1 s.d. 9. Selain itu, pengeboran dilakukan pula di halaman candi mulai dari bukit di sebelah tenggara sampai dengan bangunan *site office* di sebelah barat laut candi. Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa Candi Borobudur didirikan di atas bukit yang terdiri dari lapisan tanah lempung dan di bagian atas merupakan tanah urugan.
- Pengeboran sebanyak 8 titik pengeboran yang dilakukan oleh Tim dari UNESCO dalam rangka penyelidikan tanah dan ketebalan lapisan batu di bawah lantai lorong 2 pada tahun 1971. Struktur lantai di bawah lorong 2 ini sesungguhnya juga merupakan bagian dari lapisan batu dinding lorong 1 yang ditengarai sebagai tempat yang paling berbahaya atau yang paling parah kerusakannya. Penyelidikan di bagian ini dimaksudkan untuk melengkapi

data sehubungan dengan perencanaan perkuatan konstruksi candi.

- Pemasangan 16 buah alat *inclinometer* dan 46 buah alat *pore water pressure* yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada pada tanggal 10 April s.d. 12 Nopember 1975. Peralatan ini dipasang di 27 lubang pengeboran yang tersebar di beberapa tempat pada lantai lorong candi. Pemasangan peralatan tersebut dimaksudkan sebagai salah satu upaya untuk memonitor keselamatan kerja selama pemugaran berlangsung terutama terhadap kemungkinan bahaya longsor.

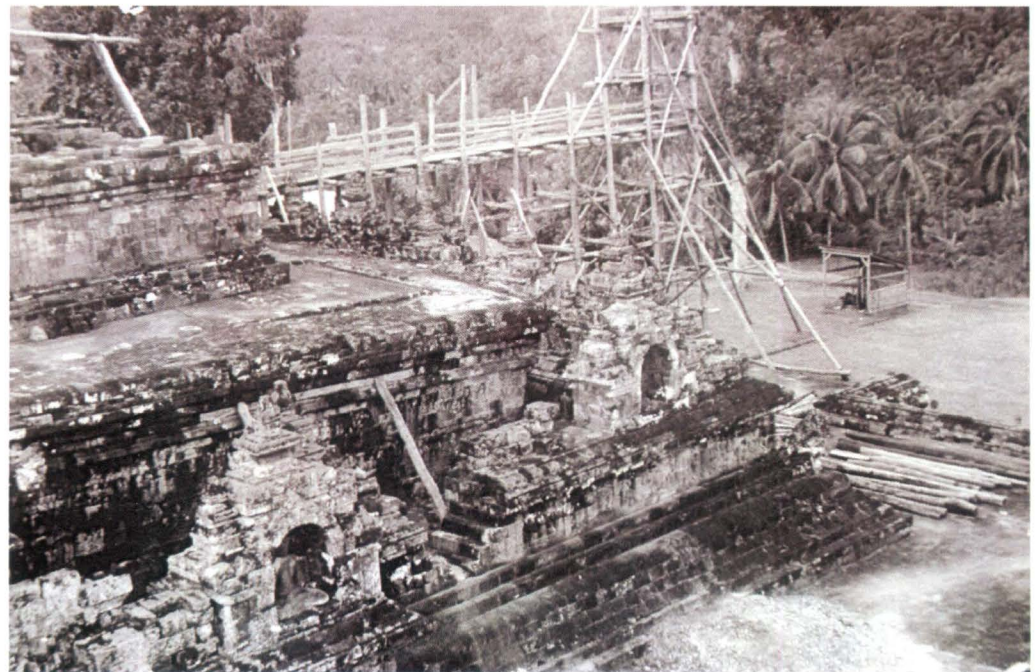
Penurunan Batu Pagar Langkan

Upaya penyelamatan kerusakan candi yang sifatnya darurat dalam hal ini adalah menurunkan atau memindahkan susunan batu pagar langkan lorong 2 sisi utara yang keadaannya semakin membahayakan. Susunan batu pagar langkan lorong 2 ini terancam runtuh karena struktur dinding di bawahnya (dinding lorong 1) miring dan tidak stabil. Untuk mengantisipasi hal-hal yang tidak diinginkan, telah dilakukan upaya preventif dengan cara menopang dinding-dinding candi yang miring menggunakan kayu glondongan, sementara susunan batu pagar langkan yang berada di atasnya diturunkan ke halaman bawah sisi utara dekat candi. Kegiatan penurunan susunan batu pagar langkan ini dilakukan dengan cara tradisional seperti yang lazim dilakukan dalam

pemugaran candi di Prambanan. Perlu diketahui bahwa pada tahun 1970-an, tenaga kerja yang terlibat dalam pemugaran II, selain kader teknis yang menjalani pendidikan dan pelatihan juga melibatkan tenaga kerja yang didatangkan dari Kantor Purbakala Prambanan. Mereka adalah pegawai purbakala yang terbiasa menangani masalah pemugaran seperti pengawas lapangan, juru ukur, juru gambar, dan pekerja pemugaran. Pekerja pemugaran dalam hal ini adalah tukang dan pembantu tukang yang memiliki kemampuan dan pengalaman dalam pemugaran candi batu terutama orang-orang yang mempunyai keahlian mencari dan mencocokkan batu temuan (*steller*). Khusus untuk pengawas lapangan dan tukang (*steller*) pada umumnya adalah orang-orang lanjut usia, dalam hal ini adalah orang-orang yang secara turun temurun pernah mengikuti pekerjaan pemugaran pada masa pemerintahan Hindia Belanda.

Dengan berbekal pengalaman yang dimiliki, segala upaya terkait dengan penurunan pagar langkan dipersiapkan dengan dipimpin langsung oleh pengawas lapangan. Penurunan susunan batu pagar langkan dilakukan mulai dari lapis batu paling atas kemudian satu persatu diturunkan ke halaman bawah. Sebelum dibongkar batu diberi kode atau tanda dengan cara tradisional karena pada saat itu belum menerapkan sistem registrasi pemugaran. Pemberian kode cukup berupa tanda panah yang menunjukkan arah hadap batu dan tanda tradisional pada keempat sisi batu yang menunjukkan keterkaitannya dengan batu di kanan dan kirinya. Pemberian

kode atau tanda tersebut dipahatkan pada permukaan batu di bagian dalam hingga tidak terlihat dari luar. Batu hasil pembongkaran kemudian diturunkan dan ditempatkan di halaman bawah dekat candi serta disusun dalam kelompok yang sama dengan susunan terbalik. Untuk membongkar dan menurunkan susunan batu dari candi ke halaman bawah menggunakan berbagai peralatan sesuai peruntukannya. Dalam membongkar atau melepas batu dari susunannya menggunakan pahat pipih (*cuplik besi*) untuk membuka *nat-nat* batu, sedangkan untuk menggeser batu ke kanan dan ke kiri menggunakan palu dari kayu yang permukaannya dilapisi karet. Untuk memindahkan batu dari suatu tempat ke tempat



Tindakan preventif yang dilakukan agar dinding tidak runtuh

yang lain batu diikat dengan sandat atau *slink* baja Ø ½", kemudian diangkut menggunakan pikulan bambu. *Slink* baja yang mengikat pada batu diberi lembaran potongan karet ban mobil agar tidak merusak elemen batu. Penurunan batu dari candi ke halaman bawah diangkut menggunakan kereta luncur atau lori karena belum ada *tower crane*. Untuk landasan kereta luncur dibuatkan *rail track* sesuai kebutuhan yang posisinya melintas di atas struktur candi mulai dari lantai lorong 2 menuju ke halaman bawah.

Pencocokan Batu Temuan (Anastilosis)

Upaya penempatan kembali elemen batu candi atau batu lepas yang tersebar



Rekonstruksi bagian candi yang dilakukan di halaman

di halaman sekitar candi dilakukan dengan merujuk pada cara kerja anastilosis. Tujuan anastilosis adalah merekonstruksi bangunan bersejarah yang telah runtuh berdasarkan bahan aslinya. Dalam hal ini dilakukan dengan cara menempatkan kembali setiap komponen ke tempat aslinya. Untuk menempatkan kembali setiap komponen ke tempat aslinya, dalam pemugaran II dilakukan melalui proses pencarian dan pencocokan. Proses semacam ini membutuhkan waktu dan kesabaran serta keahlian khusus terkait dengan cara kerja pencocokan batu hingga berhasil menempatkan kembali ke tempat yang semestinya. Pekerjaan pencarian dan pencocokan batu ini dilakukan oleh 8 s.d. 10 orang yang karena kemampuan dan pengalamannya disebut *steller*. Pencarian dan pencocokan batu ini dilakukan dengan cara tradisonal, dalam hal ini semua pekerjaan pencarian dan pencocokan batu dilakukan menggunakan alat yang sederhana seperti meteran kayu lipat, bilah bambu, bahkan lidi. Berdasarkan cara kerja tukang (*steller*), penempatan kembali batu lepas terbagi atas tiga macam pekerjaan, yaitu pengumpulan batu, pengelompokan batu, dan pencocokan batu. Pengumpulan batu adalah tahapan kegiatan pencarian batu di sekitar candi, yaitu batu lepas yang terkait dengan elemen batu candi seperti batu bagian dari pelipit, batu bagian dari bingkai, batu berrelief, batu polos, *antefik*, *gargoyle*, stupa kecil, *kala/makara*, dan patung Buddha. Dari hasil pengumpulan batu tersebut tahap berikutnya adalah mengelompokkan batu temuan berdasarkan kesamaan bentuk

dan ukurannya. Sebagai contoh, elemen batu candi dari bagian pelipit atau bagian dari bingkai yang memiliki bentuk dan ketebalan sama dikelompokkan pada suatu tempat yang sama, demikian pula untuk elemen batu candi yang lain dilakukan dengan cara yang sama. Selanjutnya secara bertahap batu candi satu persatu dicocokkan mulai dari kelompok yang sama kemudian dilanjutkan pencocokan ke atas candi. Metode pencocokan batu pada dasarnya lebih mengandalkan pada naluri dan kepekaan serta daya ingat *stiller*. Bagian yang dicocokkan dan diukur pada umumnya selain ketebalan batu, juga ciri-ciri lain seperti batu berelief, takikan, getakan, lubang dan pen, serta ekor burung atau kombinasi. Untuk pencocokan batu berelief selain dilihat dari hubungan keterkaitan relief juga dilihat dari motif dan teknik pengerjaan pahatan. Peralatan seperti meteran kayu lipat, bilah bambu, atau lidi hanya digunakan semata-mata untuk membantu dalam mengingat ukuran. Sebagian *stiller* dalam mencocokkan batu menggunakan meteran kayu lipat untuk mengukur, yaitu dengan membaca skala meter sesuai dengan bagian yang diukur. Sementara sebagian *stiller* lainnya menggunakan bilah bambu atau lidi, dalam hal ini bilah bambu atau lidi dipegang dengan ibu jari sesuai dengan bagian yang diukur untuk panduan dalam mencari dan mencocokkan batu. Bilah bambu atau lidi dipegang erat dengan ibu jari dan tidak akan pernah dilepas bahkan tidak boleh bergeser sedikitpun hingga menemukan ukuran batu yang cocok. Upaya pencarian dan pencocokan batu ini telah berhasil

menempatkan kembali beberapa batu lepas terutama elemen batu candi pagar langkan seperti batu bagian dari pelipit, batu bagian dari bingkai, batu berelief, batu polos, *antefik*, *gargoyle*, stupa kecil, *kala/makara* bagian dari relung, dan patung Buddha. Selain itu, seringkali ditemukan pula beberapa himpunan batu dari elemen candi akan tetapi tidak diketahui tempat kedudukannya pada candi. Elemen batu candi yang berhasil ditemukan direkam atau dimasukkan dalam gambar dan dicatat untuk dipersiapkan penempatannya secara permanen sebagai bagian dari elemen candi.

PROSEDUR TEKNIS PELAKSANAAN PEMUGARAN

Pemetaan dan Penggambaran

Pemetaan dan penggambaran Candi Borobudur merupakan tahapan pekerjaan pendahuluan dalam rangka pendataan secara akurat keadaan candi dan situasi di sekitarnya. Informasi yang dihasilkan dari pendataan yang akurat memiliki makna penting untuk rujukan dalam menyusun strategi pemugaran yang tepat sesuai data yang ada. Untuk menghasilkan data yang akurat, pemetaan dan penggambaran harus dilakukan menggunakan metode yang relevan terkait dengan tata cara dan teknis pemetaan dan penggambaran. Lingkup kegiatannya meliputi pemetaan situasi dan pemetaan kedudukan candi serta penggambaran bangunan dalam keadaan seperti apa adanya (*existing condition*).

Pemetaan Situasi Candi

Pemetaan situasi candi dimaksudkan untuk menggambarkan keadaan topografi di sekitar candi yang meliputi kenampakan unsur alami dan kenampakan unsur kultural. Kenampakan unsur alami antara lain keadaan topografi di halaman atas (*upper area*) dan lereng bukit di sekeliling candi serta lembah di sekitarnya (*lower area*). Kenampakan unsur kultural antara lain bangunan candi yang merupakan hasil kegiatan manusia masa lalu dan hasil kegiatan manusia sekarang seperti lahan pertanian, permukiman, batas kepemilikan, dan jaringan jalan. Pemetaan situasi candi sebagaimana dikemukakan tersebut dilakukan dengan metode teresteris, dalam hal ini semua pekerjaan pengukuran

topografi dilapangan dilakukan menggunakan alat ukur BTM Kern dan Theodolith Wild T0 dengan tingkat ketelitian pembacaan standar. Lingkup kegiatannya terbagi atas tiga macam pekerjaan yaitu pengukuran topografi, pengolahan data ukuran dan penggambaran peta. Secara garis besar, pemetaan situasi Candi Borobudur dimulai dengan mengukur kedudukan titik-titik kerangka pemetaan atau jaringan titik kontrol (x, y, z) untuk referensi pengukuran. Titik-titik kerangka pemetaan ini berupa titik-titik poligon semi permanen, menggunakan patok kayu terletak di halaman atas dan halaman bawah sekitar candi. Setelah pengukuran titik-titik polygon selesai kemudian dilanjutkan pengukuran detail topografi yang meliputi denah struktur candi, kontour lereng bukit, halaman atas dan halaman bawah sekitar candi, serta lahan pertanian, permukiman, batas kepemilikan, dan jaringan jalan. Data hasil pengukuran topografi di lapangan ditulis dalam format khusus berupa buku ukur atau daftar ukur dengan disertai sketsa gambar titik-titik poligon dan sketsa detail topografi untuk memudahkan dalam penggambaran peta. Setelah seluruh pekerjaan pengukuran topografi di lapangan selesai, dilanjutkan dengan pengolahan data ukuran di dalam ruangan atau di kantor. Pengolahan data ini meliputi perhitungan koordinat titik-titik poligon (x, y, z) dan detail topografi dengan merujuk pada pengetahuan dasar topometri. Berdasarkan hasil pengolahan data kemudian dilakukan penggambaran dengan menggunakan skala 1:500 s.d. 1:1000. Metode penggambaran



Pengukuran topografi menggunakan theodolith

dilakukan dengan merujuk pada norma-norma penggambaran peta topografi seperti tebal dan tipisnya garis dalam penggambaran, simbol-simbol detail topografi dan format gambar. Pertama-tama peta digambar di atas kertas milimeter (milimeter paper) menggunakan pensil kemudian disalin di atas kertas kalkir (*transparent paper*) menggunakan tinta untuk dapat digandakan melalui proses pencetakan (*afdrucken*). Dalam pemugaran II, peta situasi candi ini telah digunakan untuk menunjang berbagai kegiatan antara lain untuk pendataan kegiatan penggalian penelitian arkeologi di sekitar candi dan pendataan elemen batu candi yang terlepas dan tersebar di halaman atas maupun di halaman bawah. Untuk kepentingan pemugaran salah satu diantaranya adalah untuk menunjang dalam penetapan batas area kerja pemugaran dan penempatan berbagai bangunan sarana dan prasarana baik yang terletak di halaman atas maupun di halaman bawah. Setelah pemugaran selesai, peta situasi candi telah digunakan pula untuk rujukan dalam penataan bangunan dan lingkungan terkait dengan upaya peningkatan informasi dan promosi cagar budaya yang dikelola oleh PT. Taman Wisata Candi Borobudur.

Pemetaan Kedudukan Candi

Pemetaan kedudukan candi sebagaimana dikemukakan di atas dimaksudkan untuk menggambarkan kenampakan denah candi yang meliputi kedudukan setiap bidang candi dari tingkat 1 s.d. 4 dengan sistem koordinat. Pemetaan kedudukan candi ini

harus dilakukan secara tepat dan akurat guna mendukung upaya perbaikan kemungkinan terjadinya perubahan kedudukan candi sebelum dipugar. Lingkup kegiatannya tidak jauh berbeda dengan pemetaan situasi yaitu meliputi pekerjaan pengukuran topografi, pengolahan data ukuran dan penggambaran peta. Alat ukur untuk pemetaan kedudukan candi menggunakan peralatan dengan tingkat ketelitian pembacaan yang lebih tinggi, dalam hal ini menggunakan alat ukur Theodolith Wild T2 untuk mendapatkan ketepatan pengukuran yang dapat dipertanggungjawabkan. Secara



Pengukuran kedudukan candi menggunakan titik-titik poligon

garis besar, pemetaan kedudukan candi dengan sistem koordinat juga sama seperti pemetaan situasi, yaitu diawali dengan mengukur kedudukan titik-titik kerangka pemetaan atau jaringan titik kontrol (x, y, z) untuk referensi pengukuran. Titik-titik kerangka pemetaan kedudukan candi berupa titik-titik poligon tetap (permanen) menggunakan patok beton terletak di halaman atas mengelilingi candi. Setelah pengukuran titik-titik poligon selesai dilanjutkan pengukuran detail denah candi yang meliputi titik-titik poligon pembantu di tengah tangga dan lantai lorong candi kemudian keletakan setiap bidang candi dari tingkat 1 s.d. 4. Data hasil pengukuran kedudukan candi di lapangan ini ditulis dalam format khusus seperti halnya dalam pemetaan situasi yaitu berupa buku ukur atau daftar ukur dengan disertai sketsa titik-titik poligon dan sketsa detail denah candi untuk memudahkan dalam penggambaran. Demikian pula, setelah seluruh pekerjaan pengukuran kedudukan candi di lapangan selesai kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data di dalam ruangan atau di kantor. Pengolahan data ini meliputi perhitungan koordinat titik-titik polygon (x, y, z) dan detail denah candi dengan merujuk pada pengetahuan dasar topometri. Berdasarkan hasil pengolahan data kemudian dilakukan penggambaran kedudukan candi dengan sistem koordinat menggunakan skala 1:100. Pertama-tama denah candi digambar di atas kertas milimeter (*millimeter paper*) menggunakan pensil, kemudian disalin di atas kertas kalkir (*transparent paper*) menggunakan tinta untuk dapat digandakan melalui proses

pencetakan (*afdrucken*). Dalam pemugaran II, gambar denah candi dengan sistem koordinat ini telah digunakan untuk menunjang berbagai kegiatan antara lain untuk pedoman pengukuran dalam mengembalikan kedudukan candi ketika dilakukan pembongkaran total dinding lorong candi dalam rangka perbaikan kedudukannya. Disamping itu, gambar denah candi sistem koordinat ini telah digunakan pula untuk pedoman pengukuran dalam rangka observasi stabilitas struktur candi pasca pemugaran.

Penggambaran Bangunan Candi

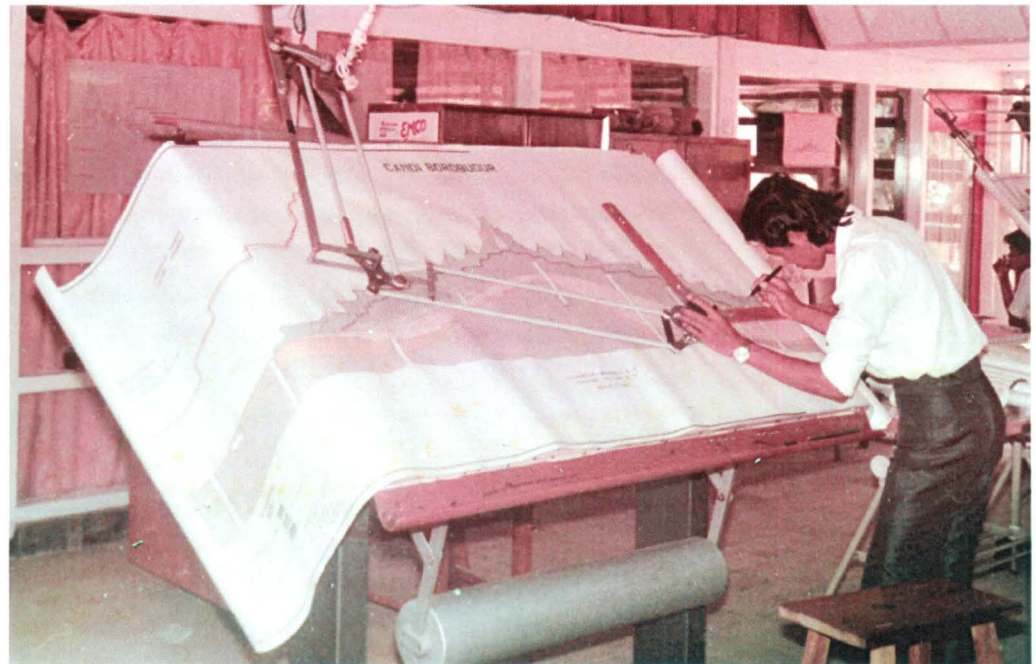
Penggambaran bangunan candi sebagaimana dikemukakan di atas dimaksudkan untuk menggambarkan kenampakan struktur candi dalam keadaan seperti apa adanya (*existing condition*). Penggambaran bangunan candi pada prinsipnya tidak jauh berbeda dengan penggambaran bangunan baru. Dalam hal ini dituangkan di atas kertas gambar meliputi gambar denah, tampak, dan potongan, serta gambar detail menggunakan skala sesuai kebutuhan. Perbedaannya, penggambaran candi dilakukan melalui proses pengukuran terhadap bangunan yang sudah ada, sementara penggambaran bangunan baru dilakukan melalui proses perancangan sesuai dengan desain yang dikehendaki. Lingkup penggambaran candi meliputi langgam/gaya, komponen, unsur, elemen, ragam hias, warna, tata ruang dan tata letak, serta konstruksi di atas muka tanah (*upper structure*), dan konstruksi di bawah muka tanah (*lower structure*) menggunakan skala sesuai kebutuhan. Secara garis besar metode

penggambaran bangunan candi dikelompokkan menjadi dua yaitu penggambaran dengan cara manual dan penggambaran dengan metode fotogrammetri. Lingkup kegiatannya terbagi atas dua macam pekerjaan yaitu pengukuran bangunan dan penggambaran bangunan. Penggambaran bangunan dengan cara manual semua pengukuran di lapangan dilakukan menggunakan peralatan yang sederhana seperti *rol meter*, *waterpas*, dan unting-unting. Sementara itu, penggambaran bangunan dengan metode fotogrammetri, semua pengukuran di lapangan dilakukan melalui pemotretan menggunakan stereo kamera fotogrammetri.

Penggambaran dengan Cara Manual

Penggambaran dengan cara manual, salah satu diantaranya adalah penggambaran bidang candi yang akan dipakai untuk pedoman pelaksanaan pembongkaran dan pemasangan kembali batu candi. Penggambaran dilakukan dalam keadaan seperti apa adanya (*existing condition*), meliputi kemungkinan terdapatnya bagian bangunan yang keadaannya miring dan melesak, serta elemen batu candi yang rusak, hilang, dan salah tempat. Oleh karena itu, penggambaran cara manual tidak hanya dimaknai sebagai kegiatan yang hanya sekedar mengukur tapi juga disertai dengan pengamatan dan penelitian. Lingkup kegiatan penggambaran bidang candi terbagi atas dua macam pekerjaan, yaitu pengukuran bangunan dan penggambaran bangunan. Secara garis besar, tahapan pengukuran

diawali dengan membuat sketsa bidang candi, kemudian dilanjutkan memasang benang pada permukaan bidang candi dalam posisi vertikal maupun horisontal. Benang vertikal dan benang horisontal ini dipasang dalam setiap interval satu meter atau sesuai kebutuhan untuk panduan dalam melakukan pengukuran (garis panduan). Melalui garis-garis panduan ini kemudian dilakukan pengukuran meliputi tinggi dinding, lebar bidang, bentuk profil, blok batu, nat-nat batu, dan elemen lain yang terkait. Untuk ketinggian tertentu pengukuran dilakukan menggunakan tangga bambu atau perancah kayu sesuai kebutuhan. Berdasarkan data hasil pengukuran di lapangan kemudian dilakukan penggambaran di dalam ruangan atau di



Proses penggambaran secara manual di atas kertas kalkir

kantor menggunakan skala 1:10 s.d. 1:20. Pertama-tama penggambaran dilakukan di atas kertas gambar (*drawing paper*) menggunakan pensil kemudian disalin di atas kertas kalkir (*transparent paper*) menggunakan tinta untuk dapat digandakan melalui proses pencetakan (*afdrukken*). Metode penggambaran dilakukan dengan merujuk pada norma-norma yang lazim digunakan dalam teknik penggambaran seperti tebal dan tipisnya garis dalam penggambaran, simbol-simbol dan format gambar. Disamping penggambaran bidang candi, dilakukan pula penggambaran denah candi dan potongan candi. Gambar denah candi adalah gambar yang menampakan keletakan struktur candi dari tingkat 1 s.d. 9. Gambar denah candi ini meliputi kenampakan teras bundar, dinding dan lantai lorong candi, serta lantai selasar dan undak. Gambar potongan candi adalah gambar yang menampakan potongan setiap sisi candi dari lantai selasar hingga lantai *plateau* sebanyak 16 tempat. Gambar potongan candi ini meliputi kenampakan tinggi dinding, lebar lorong dan ketebalan pagar langkan. Tahapan dan proses pengerjaan kedua kegiatan ini sama seperti dalam penggambaran bidang candi yaitu dilakukan dengan cara manual menggunakan alat yang sederhana melalui tahapan pengukuran dan penggambaran.

Penggambaran dengan Metode Fotogrammetri

Penggambaran dengan metode fotogrammetri merupakan penggambaran cara modern, dalam hal ini semua pengukuran

di lapangan dilakukan melalui pemotretan menggunakan stereo kamera fotogrammetri (kamera matrik). Kamera matrik adalah kamera yang dirancang khusus untuk menghasilkan foto matrik yang di dalamnya memuat titik-titik terukur sebagai titik kontrol pengukuran atau *control point* (Subagjo R, 1977). Negatif film untuk pemotretan fotogrammetri ini menggunakan film negatif yang terbuat dari bahan kaca (*negative plate*). Berdasarkan data hasil pemotretan di lapangan kemudian dilakukan proses pengolahan data dan penggambaran di dalam ruangan atau di kantor. Ruangan untuk kegiatan fotogrammetri ini dirancang khusus lengkap dengan peralatan untuk menunjang proses penggambaran seperti *stereoplotter* dan meja gambar serta kamar khusus untuk cuci cetak foto. Melalui alat *stereoplotter* ini, foto matrik hasil pemotretan digambar di atas kertas yang dinamakan stabilane yaitu kertas khusus yang tahan terhadap perubahan suhu. Gambar yang dihasilkan dengan metode fotogrammetri dapat berupa gambar denah, tampak, potongan, dan detail menggunakan skala sesuai kebutuhan.

Pelaksanaan Pekerjaan Pemugaran

Dari hasil penelusuran secara sistematis terkait dengan proses kerusakan candi yang terus terjadi, telah disimpulkan bahwa faktor utama penyebab kerusakan candi adalah air. Air hujan yang terus menerus masuk ke tubuh candi melalui celah-celah batu telah mempengaruhi daya dukung tanah dasar candi dan ketahanan bahan penyusun bangunan.



Proses pencetakan (*afdrukken*)

Mekanisme proses kerusakan karena faktor air telah mengakibatkan berbagai kerusakan seperti dinding candi yang strukturnya miring dan melesak karena melemahnya daya dukung tanah dasar candi dan kerusakan batuan candi karena proses pelapukan. Untuk mencegah dan menanggulangi proses kerusakan candi diperlukan langkah-langkah konkret melalui pemugaran total dalam rangka mengembalikan kondisi fisik candi yang rusak sesuai dengan keaslian bentuk, bahan, pengerjaan, dan tata letaknya. Pemugaran sebagaimana dimaksud dilakukan dengan cara memperbaiki, memperkuat, dan mengawetkannya untuk

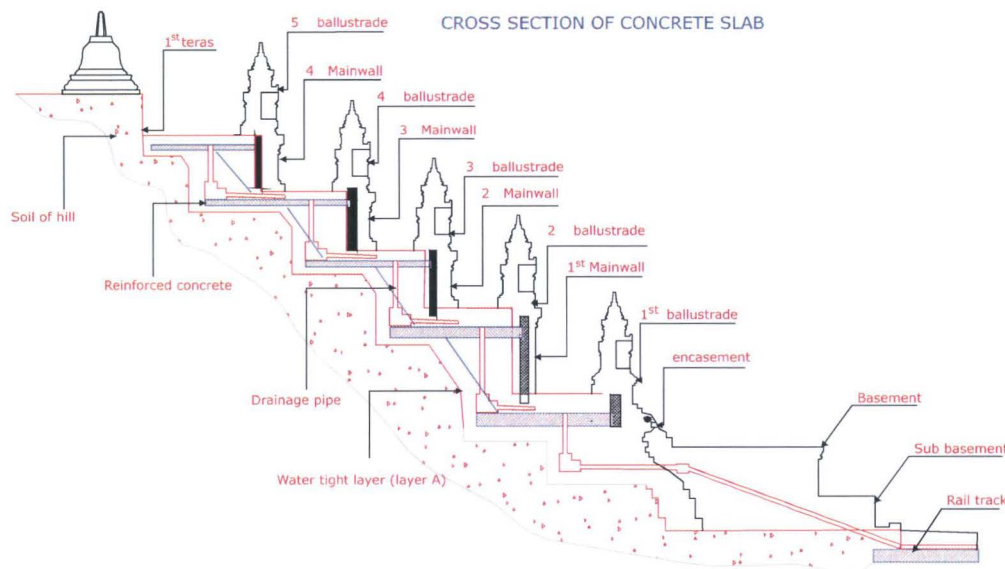
memperpanjang usianya. Untuk mencegah dan menanggulangi kemungkinan terulangnya kembali kerusakan candi, pada setiap tingkatan bangunan diperkuat strukturnya menggunakan konstruksi beton. Perkuatan konstruksi tersebut berupa pelat beton (*concrete slab*) yang dipasang di bawah kelima lantai lorong candi yang strukturnya menyatu dengan bangunan candi sehingga tidak tampak dari luar. Pemasangan pelat beton ini bertujuan untuk memperkuat titik-titik lemah di dalam tumpukan batu, meratakan beban yang tidak sama, dan penanggulangan terhadap kapilarisasi air. Pelat beton yang dipasang di bawah kelima lantai



Proses pemotretan menggunakan stereo kamera fotogrametri

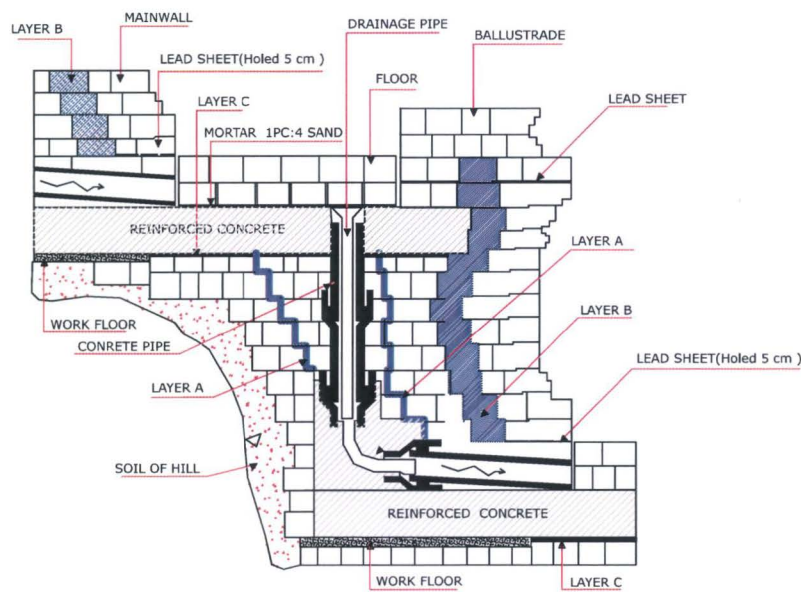


Proses penggambaran menggunakan stereoplotter dan meja gambar



Potongan candi yang memperlihatkan kekuatan konstruksi

DETAIL OF RESTORATION TECHNICAL



Gambar detail perbaikan struktur dinding

lorong ini masing-masing mempunyai ketebalan sebagai berikut:

- Tebal pelat beton dibawah lantai lorong 1 adalah 64 cm, dengan penulangan rangkap menggunakan besi ulir $\varnothing$ 25 mm jarak 10 cm.
- Tebal pelat beton dibawah lantai lorong 2, 3 dan 4 adalah 42 cm dengan penulangan rangkap menggunakan besi ulir $\varnothing$ 19 mm jarak 10 cm.
- Tebal pelat beton dibawah lantai lorong 5 adalah 22 cm, menggunakan besi $\varnothing$ 19 mm.
- Lebar pelat beton di bawah lantai lorong 1 sampai dengan 4 adalah $\pm$ 5 m, sementara di bawah lantai 5 lebar pelat beton melingkar mengikuti teras bundar.
- Pemasangan pelat beton bertulang di bawah lantai lorong candi ini volumenya mencapai $\pm$ 4000 m³.

Di samping pemasangan pelat beton, dilakukan pula upaya pencegahan terhadap pengaruh dari luar atau faktor eksternal yang berpotensi menimbulkan dampak negatif bagi keselamatan struktur dan batuan candi dengan memasang pipa saluran air dan lapisan pelindung sebagai berikut :

- Lapisan saringan (*filter layer*), untuk menahan perembesan air yang mengalir ke permukaan batu luar. *Filter layer* ini dibuat di atas sepanjang pelat beton yang menempel pada tanah bukit, dengan ukuran tinggi 3-4 lapis batu dengan lebar $\pm$ 40 cm. *Filter layer* ini berisi dua macam butiran pasir, di

bagian bawah Ø 0,5-1 mm dan di bagian atas Ø 0,1-0,5 mm. Di sepanjang *filter layer*, pada setiap interfal 5 m terdapat saluran menuju ke luar lantai lorong yang dilapisi dengan ijuk dan teram. Pemasangan *filter layer* ini volumenya mencapai 2.500 m³.

- Pipa saluran air (*drainage pipe*), untuk mengalirkan air hujan dan perembesan air yang tertampung di dalam *filter layer*. Pipa saluran ini terbuat dari pipa beton Ø 30 cm yang di bagian luarnya dilapisi *araldite*. Pipa vertikal dibuat rangkap menggunakan pipa paralon, pada sambungan pipa ditutup dengan sisal kemudian dicor dengan aspal

bitumen. Setiap sisi candi dipasang 5 pipa saluran air menuju halaman sekitar candi. Panjang pemasangan pipa saluran ini mencapai 700 m.

- Lapisan kedap air “A” (Layer A), untuk menahan perembesan air yang tertampung dalam *filter layer* ke dalam tumpukan batu di depannya. Layer A ini terbuat dari susunan batu isian yang menempel pada tanah bukit yang permukaannya dilapisi *araldite tar*. Celah-celah sambungan batu ditutup dengan mortar *araldite* menggunakan bahan campuran perbandingan 1 *araldite* :



Proses pemasangan pipa drainase (kiri). Pengolesan araldite tar pada bagian luar pipa drainase (tengah). Lapisan batu yang diberi araldite tar (kanan).

3 pasir. Pemasangan Layer A ini volumenya mencapai 7.000 m³.

- Lapisan kedap air “B” (Layer B), untuk mengurangi genangan air sampai taraf sekecil-kecilnya dimana air lengas mengalir ke batuan sebelah luar dan juga berfungsi sebagai penahan tingkat kedua untuk air lengas atau bahan-bahan lain yang berasal dari inti bukit. Layer B ini letaknya $\pm$ 80 cm dari permukaan batu luar, konstruksinya sama seperti Layer A. Pemasangan layer B ini volumenya mencapai 9.000 m³.
- Lapisan kedap air “C” (Layer C), untuk menanggulangi kemungkinan adanya rembesan air lewat pori-pori pelat beton. Layer C ini terbuat dari lapisan asphalt bitumen R 115/115 setebal 2 cm. Celah-celah nat batu di bawah Layer C ditutup dengan aspal pasir (*sand asphalt*) menggunakan bahan campuran asphalt AC 60/70 dan pasir. Layer C ini letaknya berada di bawah pelat beton lantai lorong (lebar $\pm$ 3 m), pada bagian pelat beton yang berada tepat di bawah kedudukan dinding (lebar $\pm$ 2 m), di atasnya dilapisi beton tumbuk tebal 8 cm untuk lantai kerja, menggunakan bahan campuran 1 PC : 3 pasir : 5 kerikil. Pemasangan layer C ini volumenya mencapai 12.000 m³.
- Lapisan timah (*lead sheet*), untuk menahan kapilarisasi air yang kemungkinan menggenang di pipa saluran air atau lantai lorong agar tidak merembes ke batuan dinding dan pagar langkan. Lapisan timah ini dipasang di bawah pagar langkan dan

dinding candi dengan ketebalan 2 mm. Lapisan timah di bawah dinding terdiri dari 3 bagian, masing-masing lebar 35 cm dengan jarak 2 cm, sedangkan lapisan timah di bawah pagar langkan, pada bagian depan lebar 1 m, sedangkan pada bagian belakang terdiri dari dua bagian dengan lebar 25 cm.

Upaya perbaikan, perkuatan, dan pengawetan dalam rangka pemugaran dilakukan melalui proses pembongkaran dan pemasangan kembali struktur candi dimulai dari lantai 1 s.d. lantai 5. Untuk mewujudkan terlaksananya kegiatan sebagaimana diharapkan, pelaksanaan pemugaran dikelompokkan ke dalam tahapan pelaksanaan yang meliputi pekerjaan persiapan (*preparation work*), pekerjaan pembongkaran (*dismantling*), pekerjaan pemasangan kembali (*rebuilding*) dan pekerjaan penyelesaian (*finishing touch*).

Pekerjaan Persiapan (*Preparation Work*)

Persiapan Gambar Kerja

1. Pembagian Area Kerja Pemugaran

Gambar pembagian area kerja pemugaran adalah gambar yang menampilkan pembagian area kerja di setiap sisi candi dari tingkat 1 s.d. 4 dengan panjang setiap area 7 m. Gambar ini terdiri dari gambar pembagian area kerja pembongkaran yang dalam setiap sisinya terbagi menjadi 53 area, dan pembagian area kerja pemasangan yang dalam setiap sisinya terbagi menjadi 44 area. Gambar pembagian area kerja

ini merupakan gambar kerja untuk pedoman dalam melakukan tahapan pembongkaran dan pemasangan kembali batu candi berdasarkan pembagian area kerja sebagai berikut :

Tahapan kegiatan pembongkaran

- Pembongkaran tahap I : 13 area
- Pembongkaran tahap II : 10 area
- Pembongkaran tahap III : 10 area
- Pembongkaran tahap IV : 8 area
- Pembongkaran tahap V : 12 area

Tahapan kegiatan pemasangan kembali

- Pemasangan tahap I : 6 area
- Pemasangan tahap II : 10 area
- Pemasangan tahap III : 10 area
- Pemasangan tahap IV : 10 area
- Pemasangan tahap V : 8 area

Untuk mendukung tahapan pelaksanaan pemugaran sebagaimana dikemukakan di atas, dibuat pula gambar kerja yang meliputi Gambar seri A, Gambar seri B, dan Gambar seri C. Gambar seri A adalah gambar bidang candi yang memuat informasi terkait dengan lokasi bidang candi yang meliputi sisi, tingkat, nama bidang, nomor lapisan, nomor seri batu, serta batas dan nomor area kerja pembongkaran. Gambar seri A ini digunakan untuk panduan dalam membongkar batu dan *plotting* batu ke dalam gambar. Batu hasil pembongkaran dimasukan ke dalam *pallet* dari kayu yang berisi 9 kotak tempat batu. Setiap *pallet* disertai dengan kartu *pallet* (*pallet card*) yang mencantumkan nomor *pallet* dan nomor setiap kotak batu mengikuti sistem registrasi pemugaran (lihat

sistem registrasi batu). Gambar seri B adalah gambar bidang candi yang pada dasarnya adalah Gambar seri A yang di lengkapi dengan nomor *pallet* serta batas dan nomor area kerja pemasangan kembali. Gambar seri B ini digunakan untuk panduan dalam memasang kembali batu candi sesuai dengan *plotting* batu dalam gambar. Gambar seri C adalah gambar bidang candi yang pada dasarnya adalah Gambar seri A yang digunakan untuk *mapping* pertumbuhan jasad dan kerusakan batu candi dalam rangka perawatan dan pengawetan batu.

2. Rencana Perkuatan Konstruksi

Gambar rencana perkuatan konstruksi adalah gambar yang menampilkan rencana perkuatan konstruksi candi dalam bentuk gambar denah, potongan dan detail konstruksi. Rencana perkuatan konstruksi ini meliputi pelat beton (*concrete slab*) yang dipasang di bawah lantai tingkat 1 s.d. 5 dan pemasangan pipa saluran air (*drainage pipe*) untuk mengalirkan air hujan dari candi ke halaman serta pemasangan beberapa lapisan pelindung yang terdiri dari:

- *Filter layer* untuk menahan perembesan air yang mengalir ke permukaan batu luar
- Layer A untuk menahan perembesan air yang tertampung dalam *filter layer*
- Layer B untuk mengurangi genangan air sampai taraf sekecil-kecilnya
- Layer C untuk menanggulangi rembesan air lewat pori-pori pelat beton
- Lapisan timah untuk menahan kapilarisasi

air dari pipa saluran air atau lantai lorong

Gambar rencana perkuatan konstruksi ini merupakan gambar kerja untuk pedoman dalam melakukan pekerjaan di berbagai sektor kegiatan. Pemasangan batu Layer A dan Layer B dilakukan oleh Sektor TA sebagai bagian dari pekerjaan pemasangan kembali (*rebuilding*), sedangkan pemasangan lapisan pelindung (pengolesan araldite) dilakukan oleh Sektor CA. Sementara itu, pemasangan pelat beton, pipa saluran, filter layer, layer C, dan lapisan timah dilaksanakan oleh kontraktor.

3. Rencana Penempatan Kembali Kedudukan Candi

Gambar rencana penempatan kembali kedudukan candi adalah gambar denah candi yang menampakkan kedudukan setiap bidang candi dari lantai lorong 1 s.d. lorong 4 dengan sistem koordinat. Kenampakan denah candi ini meliputi kedudukan setiap bidang candi dalam keadaan seperti apa adanya (*existing condition*) sebelum dipugar dan rencana penempatan kembali bidang candi menggunakan sistem kordinat (x,y,z). Berdasarkan analisa kerusakan candi seperti dinding candi yang strukturnya miring dan melesak terutama di bagian dinding lorong 1 sisi utara, upaya penempatan kembali dilakukan dengan cara menegakkan dinding yang miring dan mengundurkan kedudukannya paralel dengan as tangga 25% dari besarnya kemiringan dinding. Sementara itu, dinding candi yang melesak dikembalikan pada posisinya dengan cara menaikkan kedudukannya

mengikuti ketinggian *reference line* yang telah ditetapkan. *Reference line* adalah garis horizontal mengelilingi candi yang ditetapkan berdasarkan titik tertinggi kedudukan bidang candi sebelum dipugar (*existing*) kemudian dipakai untuk menyamakan atau menaikkan titik-titik yang lebih rendah di sekeliling candi. *Reference line* untuk dinding lorong 1 terletak 8 lapis batu di atas lantai lorong candi, sementara untuk dinding lorong 2 s.d. 4 terletak 2 lapis batu di atas lantai lorong candi, yang dianggap cukup mewakili untuk kedudukan bidang candi (Jacques Dumarca, 1975). Jacques Dumarca adalah staf ahli PPCB, seorang arsitek dari Perancis (EFEO) yang mempunyai pengalaman dalam pemugaran Situs Angkor Kamboja. Selama berlangsungnya pemugaran candi di sisi utara dan selatan muncul persoalan, yaitu penempatan kembali kedudukan setiap bidang candi tidak dapat menepati titik kordinat yang direncanakan. Panjang bidang yang membentang dari arah barat ke timur maupun sebaliknya dalam pemasangan kembali cenderung merapat ke arah tangga sementara sudut dalam bidang candi cenderung merapat ke arah sudut luar. Dengan demikian kedudukan dinding candi di sisi utara dan selatan pada umumnya bergeser ke arah tangga. Dengan kejadian ini, Sektor TA mencoba mengevaluasi metode penempatan kembali kedudukan candi di sisi utara dan sisi selatan untuk mengantisipasi agar dalam pemugaran candi di sisi barat dan sisi timur tidak mengalami kesulitan. Dari hasil evaluasi, menunjukkan bahwa rencana penempatan

kembali kedudukan bidang candi di sisi utara dan sisi selatan tidak memperhitungkan nat-nat batu yang terbuka, karena pada awalnya nat-nat yang terbuka diperkirakan hanya terjadi pada susunan batu di bagian atas sehingga di bagian bawah dianggap tetap. Dengan merujuk pada permasalahan tersebut, Sektor TA mengajukan peninjauan ulang rencana penempatan kembali kedudukan candi di sisi barat dan sisi timur dengan melakukan *Remeasuring The West and East Sides* (Ismijono, 1979). *Remeasuring The West and East Sides* ini disampaikan dalam sidang CC ke- 8 pada bulan April 1979 yang pada intinya, dinding candi di sisi barat dan sisi timur kedudukannya diundurkan paralel dengan as tangga mengikuti hasil akhir pemasangan kembali sudut pokok bidang candi sisi utara dan sisi selatan. Langkah ini diambil dengan mempertimbangkan bahwa kedudukan candi di sisi utara dan sisi selatan telah dikembalikan secara permanen dan tidak mungkin dibongkar lagi. Berdasarkan pertimbangan ini dan dengan belajar dari pengalaman di sisi utara dan sisi selatan kemudian dilakukan perhitungan kembali titik-titik koordinat yang akan dipakai untuk pemasangan kembali di sisi barat dan sisi timur. Di samping mengikuti hasil akhir pemasangan kembali di sisi utara dan sisi selatan, penempatan kembali kedudukan candi di sisi barat dan sisi timur juga dilakukan dengan memperhitungkan nat-nat batu yang dirapatkan, sementara setiap sudut dalam dan sudut luar bidang candi dibuat tetap karena susunan batu di kedua sisi ini pada umumnya masih dalam keadaan baik. Untuk memudahkan

dalam mempertemukan kedudukan sudut pokok bidang candi, pemasangan kembali batu candi sisi barat dan sisi timur menjelang tahap akhir yang meliputi tahap IV dan tahap V dalam pelaksanaannya dilakukan bersamaan. Dalam keadaan tersulit apapun, penempatan kembali kedudukan bidang candi tidak dibenarkan memaksakan kehendak karena akan beresiko merusak batu. Oleh karena itu, berdasarkan peng-alaman penempatan kembali kedudukan candi di sisi utara dan sisi selatan, peluang untuk kemungkinan melakukan pengaturan susunan batu hanya dapat dilakukan di bagian sudut dalam bidang candi. Dengan demikian apabila dalam mempertemukan sudut pokok bidang candi di sisi barat dan timur mengalami kesulitan, dalam keadaan mendesak pengaturan susunan batu hanya boleh dilakukan di bagian sudut dalam untuk menghindari kerusakan batu.

Persiapan Sarana dan Prasarana

Berbagai persiapan terkait dengan segala sarana dan prasarana untuk menunjang pekerjaan pemugaran dalam hal ini dipersiapkan oleh kontraktor. Sarana dan prasarana tersebut berada di halaman sekitar candi dalam suatu lingkungan yang ditengarai sebagai daerah kerja pemugaran. Daerah kerja pemugaran ini terbagi menjadi dua yaitu:

Daerah kerja bagian atas merupakan areal tempat dibangunnya beberapa fasilitas seperti:

1. Gudang penyimpanan bahan 200 m²
2. Gudang material untuk beton 400 m²

3. Beton molen (2 buah) 100 m²
4. Tangki air 25 m²
5. Gudang besi beton 100 m²
6. Gudang perancah 200 m²
7. Gudang alat-alat kecil dan perlengkapan 150 m²
8. Kantor pemborong 100 m²
9. Kantor Direksi, pusat registrasi dan pos PPPK 150 m²

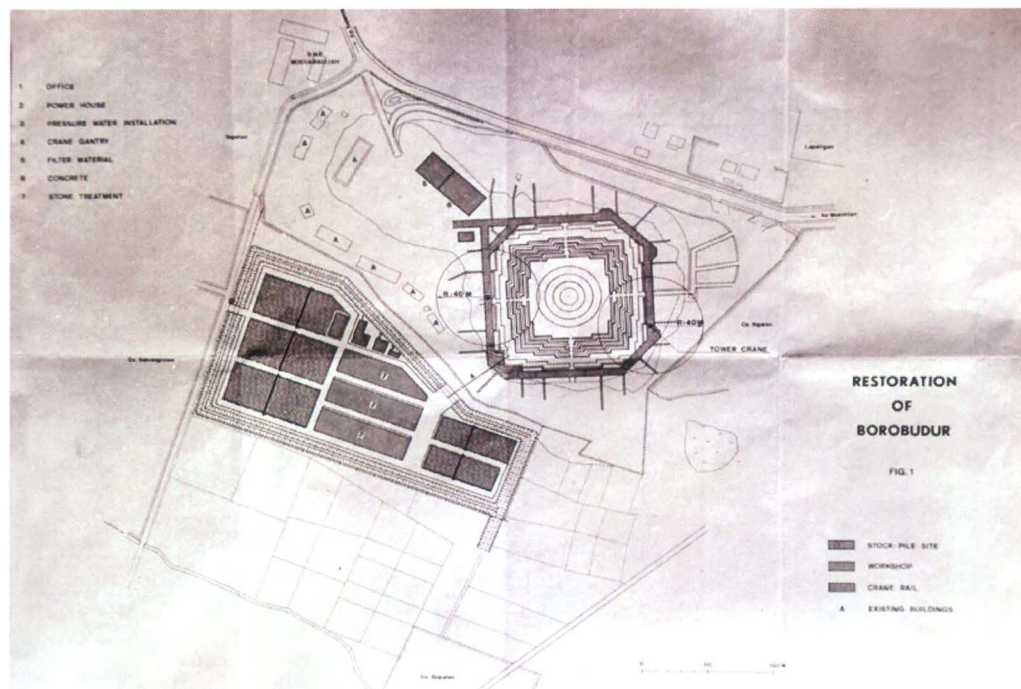
Daerah kerja bagian bawah merupakan areal tempat dibangunnya beberapa fasilitas seperti:

10. Tempat penampungan batu luar (*buffer storage*) 5.100 m²

11. Bangunan perawatan batu luar (*workshop*) 6.300 m²
12. Tempat penyimpanan batu luar (*final storage*) 8.000 m²
13. Tempat penyimpanan batu isian 5.200 m²
14. Bangunan perawatan batu isian 550 m²
15. Tempat penyimpanan batu isian selesai dikerjakan 1.750 m²
16. Tempat penyimpanan patung-patung Buddha 650 m²
17. Bangunan perawatan patung-patung Buddha 320 m²
18. Bangunan perawatan batu dengan mesin 220 m²
19. Bangunan pertukangan kayu (kontraktor) 500 m²
20. Bangunan mesin generator listrik 50 m²
21. Pompa air dan instalasi penyaringan/filter 100 m²
22. Kantor penyimpanan batu luar, layer B dan meteorologi 350 m²
23. Kamar mandi dan WC 70 m²

Fasilitas lain terkait dengan sarana untuk menunjang pelaksanaan pekerjaan pemugaran adalah sarana transportasi yang meliputi:

- 2 buah *tower crane* untuk menurunkan *pallet* berisi batu dari candi ke halaman
- 10 buah *forklift* pengangkut *pallet* di daerah kerja bagian atas maupun di bagian bawah
- 1 buah *gantry crane* untuk menurunkan *pallet* dari daerah kerja bagian atas ke bagian bawah



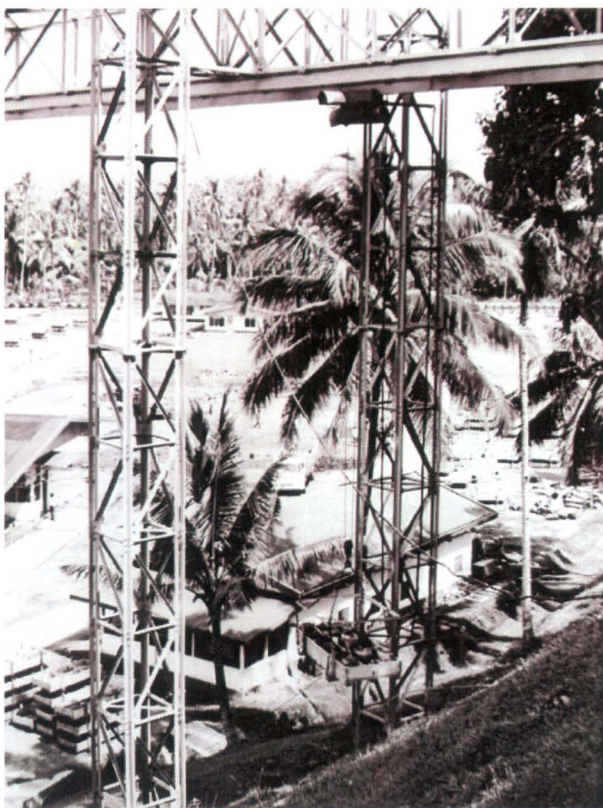
Peta situasi kerja proyek restorasi Candi Borobudur

- 4 buah *traveling crane* untuk menempatkan *pallet* berisi batu di *final storage*
- 5 buah truk pengangkut material

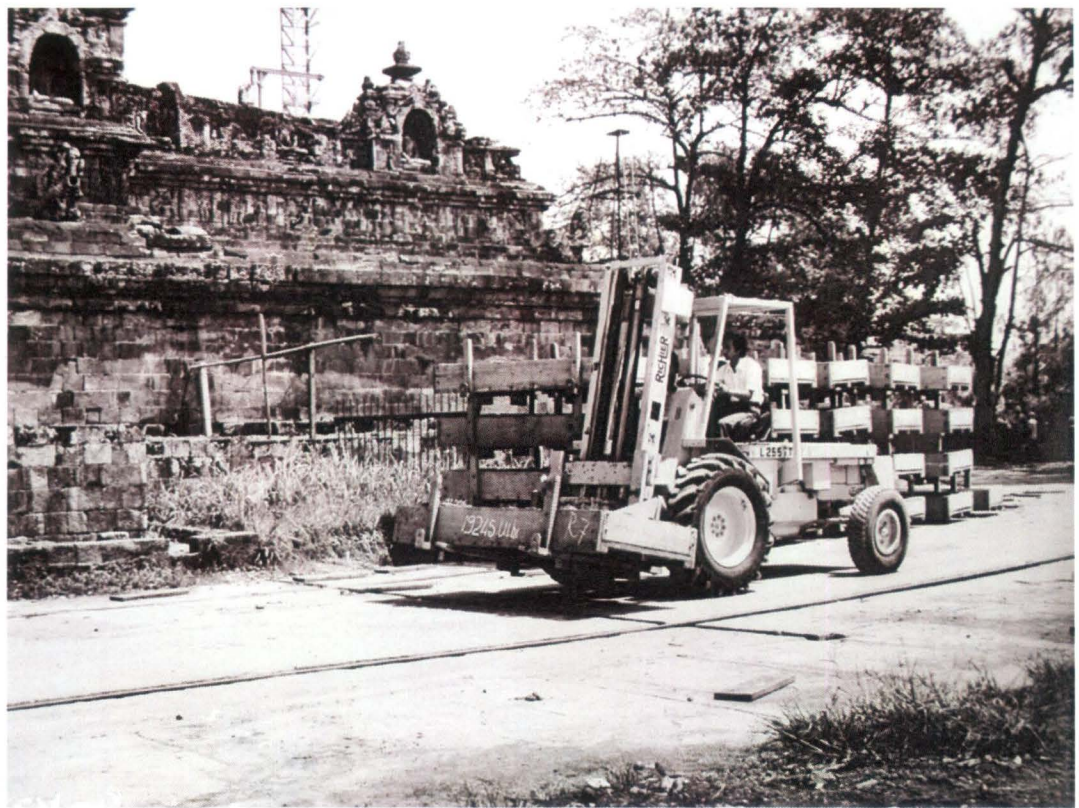
Pembongkaran Batu Candi (*Dismantling*)

Pembongkaran batu candi merupakan bagian dari upaya memperbaiki, memperkuat, dan mengawetkan bangunan candi dari kerusakan yang terjadi. Sesuai dengan yang direncanakan, pembongkaran dilakukan secara bertahap dimulai dari sisi utara dan sisi

selatan secara bersamaan. Namun sebelum seluruh pekerjaan pembongkaran selesai telah dimulai pula pekerjaan pemasangan kembali. Demikian pula di sisi barat dan sisi timur, pembongkaran dilakukan dengan cara yang sama. Pembongkaran batu candi tahap I dimulai dari tengah tangga kemudian diteruskan pada tahap berikutnya hingga selesai pada tahap V. Pembongkaran batu di sisi utara dimulai pada bulan Desember 1974 dengan terlebih dahulu membongkar batu pagar langkan yang sudah diturunkan, kemudian pembongkaran di sisi selatan dimulai pada bulan Mei 1975. Sementara



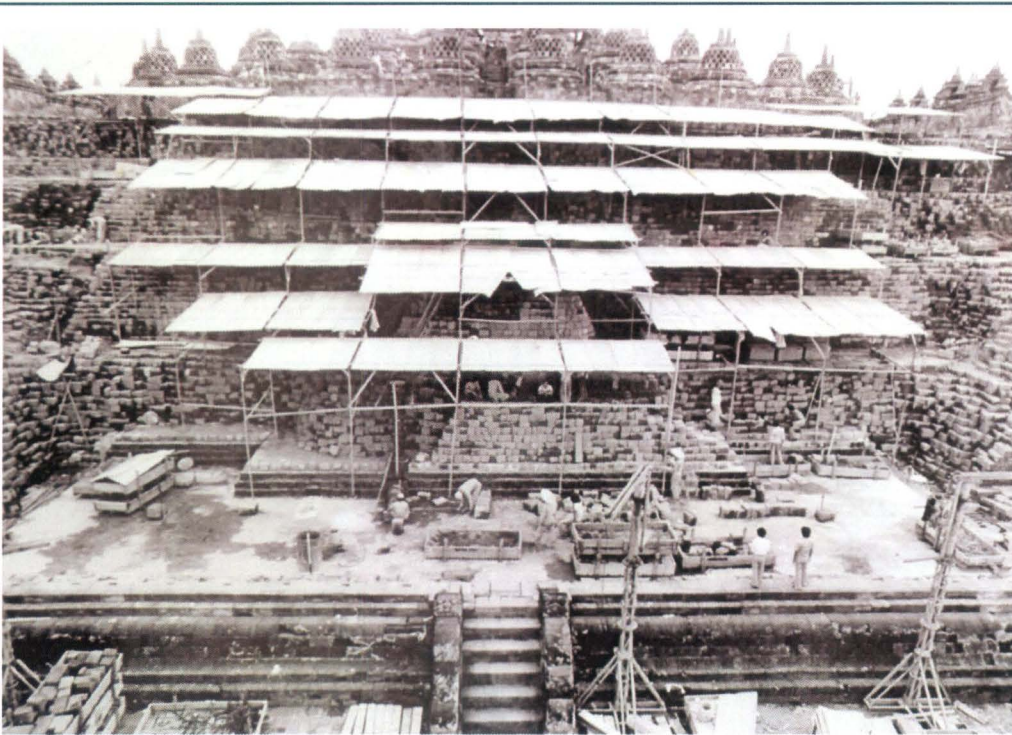
Gantry crane yang sedang mengangkut pallet ke area kerja



Forklift yang sedang mengangkut pallet

pembongkaran batu di sisi barat dimulai pada bulan Agustus 1978 dan sisi timur pada bulan September 1978. Pembongkaran tahap I terdiri dari 13 area dengan panjang setiap area 7 m. Batas area kerja pembongkaran dibuat miring perbandingan 2:1 (dua tegak : satu mendatar) berdasarkan pertimbangan agar batu mudah dilepas dan tidak terjadi bahaya runtuh. Sementara itu, pembongkaran batu yang mengarah ke tubuh candi dilakukan $\pm$ 5 m sampai batas kedudukan pelat beton yang dipasang di bawah kelima lantai lorong candi. Tenaga kerja untuk menunjang pekerjaan pembongkaran pada dasarnya disesuaikan dengan jumlah area kerja dalam setiap tahapan

pembongkaran. Pada awalnya sesuai dengan jumlah area kerja pembongkaran tahap I, yaitu 13 regu beranggotakan 65 orang. Setiap regu berjumlah 5 orang terdiri dari 1 kepala regu, 1 tukang, dan 3 pekerja. Kepala regu pembongkaran adalah kader teknisi yang telah mengikuti pendidikan dan pelatihan di bidang TA selama 3 tahun. Target pembongkaran batu candi untuk setiap regu ditetapkan $0,81 \text{ m}^3 / 1$ hari untuk batu luar (*outer stone*), atau sekitar 30 batu berdasarkan perhitungan volume batu $1 \text{ m}^3 = 36$ batu. Untuk batu isian (*inner stone*) ditetapkan dua kali lipat dari target pembongkaran batu luar yaitu $1,62 \text{ m}^3 / 1$ hari. Tenaga kerja untuk pembongkaran di sisi utara dan sisi selatan dalam waktu yang bersamaan membutuhkan 26 regu beranggotakan 130 orang. Proses pembongkaran diawali dengan pekerjaan persiapan di lapangan oleh kepala regu dibawah koordinasi kepala seksi pemugaran. Persiapan yang dilakukan antara lain penyediaan peralatan untuk menunjang pelaksanaan kegiatan dan penentuan batas area kerja pembongkaran menggunakan cat air warna putih pada bidang candi yang menjadi area kerja pembongkaran. Setelah persiapan selesai, pekerjaan pembongkaran dilakukan dengan berpedoman pada gambar kerja Seri A dan sistem registrasi batu terkait dengan bidang candi yang menjadi area kerja pembongkaran. Pertama-tama pembongkaran dimulai dari lapis batu paling atas, satu persatu batu diturunkan dan dimasukkan ke dalam *pallet*. Sebelum dibongkar batu diberi tanda atau kode dan dicatat dalam kartu *pallet* (*pallet*



Proses pemasangan kembali batu candi (*rebuilding*)

card) mengikuti sistem registrasi pemugaran. Tanda atau kode dipahatkan pada permukaan batu di bagian dalam hingga tidak tampak dari luar. Untuk membongkar atau melepas batu dari susunannya dilakukan dengan cara tradisional seperti yang dilakukan dalam penurunan batu pagar langkan di sisi utara. Pembongkaran dilakukan menggunakan pahat pipih (cuplik besi) untuk membuka nat-nat batu, sedangkan untuk menggeser batu ke kanan dan kekiri menggunakan palu dari kayu yang permukaannya dilapisi karet. Untuk memasukkan batu ke dalam pallet setiap batu diikat dengan sandat atau *slink* baja Ø ½ ", kemudian diangkat menggunakan *scaffold crane* dan diletakkan sementara di atas *scaffolding* sebelum diturunkan ke halaman. *Slink* baja yang mengikat pada batu diberi lembaran potongan karet ban mobil agar tidak merusak elemen batu. Untuk selanjutnya batu hasil pembongkaran di dalam *pallet* diturunkan ke halaman menggunakan *tower crane* dan diangkut menggunakan *forklift* menuju ke daerah kerja bagian bawah untuk menjalani perawatan dan pengawetan batu melalui *gantry crane*. *Gantry crane* adalah jembatan kerangka besi yang dilengkapi dengan katrol untuk menurunkan *pallet* dari daerah kerja bagian atas ke daerah kerja bagian bawah menuju ke *buffer storage*. Pembongkaran batu di sisi utara dan selatan terhitung dari pembongkaran batu di sisi selatan membutuhkan waktu 9 bulan. Pembongkaran batu di sisi barat dan sisi timur terhitung dari pembongkaran batu di sisi barat membutuhkan waktu 6 bulan.

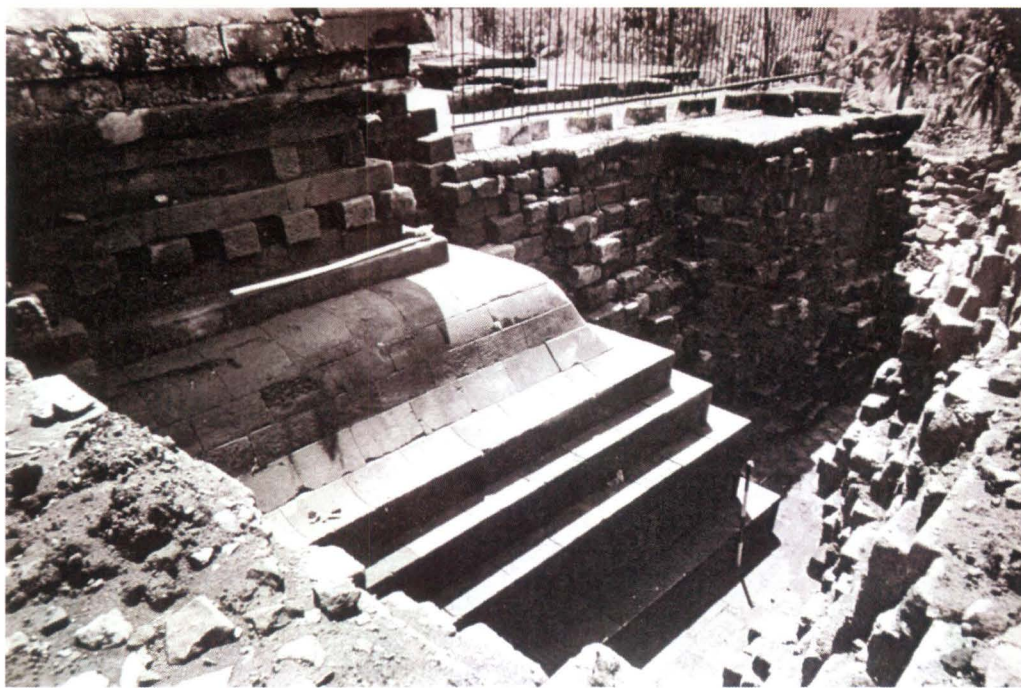
Total pembongkaran seluruh batu candi dalam rangka pemugaran ini meliputi batu luar 4.484 m³ atau 161.472 blok batu, batu isian 6.401 m³ atau 246.375 blok batu, patung Buddha 396 buah, stupa kecil 608 buah, arca singa 24 buah, dan *gargoyle* atau pancuran air 87 buah.

Pemasangan Kembali Batu Candi (Rebuilding)

Pemasangan kembali batu candi merupakan bagian dari upaya mengembalikan kondisi fisik candi yang rusak sesuai dengan keaslian bentuk, bahan, pengerjaan dan tata letaknya. Sesuai yang direncanakan pemasangan kembali dilakukan secara bertahap dimulai dari sisi utara dan sisi selatan secara bersamaan. Demikian pula di sisi barat dan sisi timur, pemasangan kembali dilakukan dengan cara yang sama setelah kegiatan di sisi utara dan selatan selesai. Pemasangan kembali batu candi tahap I dimulai dari tengah tangga kemudian diteruskan pada tahap berikutnya hingga selesai pada tahap V. Pemasangan kembali batu candi di sisi utara dan sisi selatan dimulai pada bulan Februari 1976. Sementara itu, pemasangan kembali batu candi di sisi barat dan sisi timur ini dimulai pada bulan Februari 1979. Pemasangan kembali batu candi tahap I terdiri dari 6 area dengan panjang setiap area 7 m. Batas area kerja pemasangan dibuat miring kebalikan dari batas area kerja pembongkaran untuk memudahkan dalam pemasangan kembali. Sementara pemasangan kembali batu yang mengarah ke tubuh candi dilakukan mengikuti kedudukan pelat beton

di bawah kelima lantai lorong candi. Tenaga kerja untuk menunjang pekerjaan pemasangan kembali pada tahap awalnya disesuaikan dengan jumlah area kerja pemasangan tahap I, yaitu 6 regu beranggotakan sebanyak 48 orang kemudian semakin bertambah sesuai dengan tahapan pemasangan berikutnya. Tenaga kerja dalam pemasangan kembali untuk setiap regu jumlahnya tidak sama seperti tenaga kerja pembongkaran, setiap regu pemasangan beranggotakan 8 orang terdiri dari 1 kepala regu, 1 tukang, dan 6 pekerja. Target pemasangan kembali batu candi tetap sama, untuk batu luar (*outer stone*) ditetapkan satu regu 0,81 m³ / 1 hari atau sekitar 30 batu berdasarkan perhitungan volume batu 1 m³ = 36 batu, untuk

batu isian (*inner stone*) ditetapkan dua kali lipat, yaitu 1,62 m³ / 1 hari. Proses pemasangan kembali diawali dengan pekerjaan persiapan oleh kepala regu di bawah koordinasi kepala seksi pemugaran dengan dibantu dari bagian pengukuran. Persiapan yang dilakukan antara lain penyediaan peralatan untuk menunjang pelaksanaan kegiatan di lapangan, pembuatan atap pelindung (*roofing*) di dalam area kerja pemasangan menggunakan kerangka *angle steel* dan atap seng, serta penentuan kedudukan dinding candi di atas pelat beton. Penentuan kedudukan dinding candi dilakukan oleh bagian pengukuran dengan merujuk pada rencana penempatan kedudukan bidang candi dengan sistem koordinat. Setelah persiapan selesai, kemudian dilakukan pekerjaan pemasangan dengan berpedoman pada gambar kerja Seri B dan sistem registrasi batu terkait dengan bidang candi yang menjadi area kerja pemasangan. Pertama-tama pekerjaan pemasangan dimulai dengan melakukan penyusunan percobaan (*trial reconstruction*) yang meliputi pemasangan lapis batu paling bawah dan seterusnya hingga mencapai ketinggian *reference line* yang ditetapkan. Untuk dinding lorong 1 penyusunan percobaan dilakukan hingga mencapai 8 lapis batu, sementara dinding lorong 2 s.d. 4 hanya 2 lapis batu. Penyusunan percobaan ini membutuhkan kecermatan terkait dengan cara penyetelan batu (*adjustment*) hingga mendapatkan ketinggian sesuai dengan *reference line* dan ketepatan susunan batu yang menjadi area kerja pemasangan. Untuk dapat dilakukan penyetelan, batu lapis paling bawah



Pembongkaran sebagian undag dan selasar di sudut tenggara untuk memperlihatkan kaki asli

ditopang (Jawa: *diganjel*) dengan pasak atau baji dari potongan kayu kasau yang diletakan di atas pelat beton dan dapat disetel dengan cara dipukul menggunakan palu. Setelah penyusunan percobaan menghasilkan susunan batu yang diharapkan, kemudian dilakukan pembongkaran kembali untuk dilakukan pemasangan kembali secara permanen (*final reconstruction*). Dalam pemasangan kembali secara permanen, lapisan batu paling bawah yang ditopang dengan pasak kayu, celah-celahnya diisi menggunakan mortar semen agar kedudukannya tidak mengalami perubahan. Pada tahap berikutnya untuk memastikan sekali lagi kedudukannya, penyusunan dilakukan dalam setiap 3 lapis batu dimulai dari batu luar kemudian batu isian hingga batu Layer B. Setelah itu 2 lapis batu dari atas dibongkar lagi untuk dilakukan pengolesan *araldite* batu Layer B, kemudian diteruskan dengan pemasangan batu isian hingga batu Layer A. Demikian seterusnya untuk lapisan batu berikutnya dilakukan dengan cara yang sama hingga selesai. Sarana untuk melakukan pekerjaan pemasangan tidak jauh berbeda dengan peralatan yang digunakan dalam pembongkaran batu. Batu candi yang telah menjalani perawatan dan pengawetan dinaikkan ke daerah kerja bagian atas melalui *gantry crane* kemudian diangkut dengan *forklift* untuk dinaikkan ke candi menggunakan *tower crane*. Untuk mengeluarkan batu dari dalam *pallet* setiap batu diikat dengan sandat atau *slink* baja Ø ½", kemudian diangkat menggunakan *scaffold crane* ke tempat pemasangan. *Slink* baja yang mengikat pada batu diberi lembaran

potongan karet ban mobil agar tidak merusak elemen batu. Untuk penyetelan (*adjustment*) nat-nat susunan batu menggunakan pahat pipih (cuplik besi), sedangkan untuk menggeser batu ke kanan dan ke kiri menggunakan palu dari kayu yang permukaannya dilapisi karet. Pemasangan kembali batu candi di sisi utara dan selatan membutuhkan waktu 3 tahun dan 4 bulan, sedangkan di sisi barat dan timur membutuhkan waktu 3 tahun dan 1 bulan. Pemasangan kembali batu candi di sisi barat dan timur membutuhkan waktu lebih singkat (*ahead of schedule*) karena menjelang tahap akhir kegiatan pemasangan kembali tahap IV dan V dilakukan bersamaan untuk memudahkan dalam penempatan kembali sudut pokok bidang candi. Total pemasangan kembali seluruh batu candi dalam rangka pemugaran ini meliputi batu luar 4.834 m³ atau 174.000 blok batu, batu isian 16.000 m³, 1.461 blok batu temuan, 9.481 blok batu baru pengganti.

Pekerjaan Penyelesaian

Pekerjaan penyelesaian adalah tahapan kegiatan dalam rangka mengakhiri seluruh pekerjaan pemugaran termasuk didalamnya penataan lingkungan sekitar candi. Beberapa diantaranya adalah penyempurnaan hasil kerja pemugaran dan penataan halaman untuk mencegah atau menanggulangi kemungkinan terjadinya genangan air dan erosi tanah. Terkait dengan hal tersebut telah dilakukan berbagai kegiatan antara lain pemasangan kembali sudut-sudut candi yang terkena jalur landasan

tower crane di bagian undag dan selasar. Penampakan kaki asli sudut tenggara dengan cara membongkar sebagian susunan batu di bagian undag dan selasar sebanyak 606 m³. Stabilisasi struktur candi dan lereng bukit dengan cara mengikat keliling landasan *tower crane* yang sudah tidak berfungsi menggunakan *slink* baja hingga menjadi satu kesatuan konstruksi yang solid. Pengurugan tanah di atas jalur landasan *tower crane* dengan ketebalan hingga 40 cm atau sebanyak 1.600 m³. Pemasangan kembali saluran air dari susunan batu andesit yang berada di sekeliling candi. Pembuatan tangga naik ke halaman candi di keempat sisi candi menggunakan batu baru. Pembersihan lingkungan dari segala sarana dan prasarana serta sisa-sisa pekerjaan pemugaran, baik yang berada di daerah kerja bagian atas maupun daerah kerja bagian bawah. Pemeliharaan dan perawatan hasil kerja pemugaran untuk menunjang upaya pengembangan dan pemanfaatan pascapemugaran.

PENUTUP

Masalah Teknis

Keterlibatan langsung dalam pemugaran Candi Borobudur merupakan sebuah pengalaman yang barangkali tidak ditemukan di tempat lain atau di bangku sekolah. Pengalaman berharga yang penulis dapatkan dari pemugaran ini salah satu diantaranya adalah metode kerja yang di dalamnya kita dapat melihat adanya tahapan, proses, dan

teknik dalam pencapaian sebuah tujuan. Dalam hal ini pemugaran candi dilakukan dengan berlandaskan pada sebuah mekanisme kerja yang dibangun secara sistematis dan terukur dengan melibatkan berbagai disiplin ilmu. Dari berbagai sektor, kegiatan secara terpadu bekerja bersama untuk satu tujuan yaitu melakukan pemugaran candi sesuai dengan norma-norma dan etika pelestarian cagar budaya. Seperti diketahui bahwa Candi Borobudur merupakan hasil kegiatan manusia masa lalu yang dalam hal ini merupakan sumber daya budaya yang rapuh dan tidak terbaharukan (*nonrenewable*). Oleh karena itu pekerjaan pemugaran senantiasa harus dilakukan dengan merujuk pada ketentuan perundangan yang berlaku dan dilakukan dengan hati-hati agar tidak terjadi kesalahan. Kesalahan dalam memugar cagar budaya pada hakekatnya berpotensi menimbulkan salah interpretasi atau dapat diartikan sebagai pemutarbalikan sejarah (Soekmono, 1971). Oleh karena itu pula dalam pemugaran candi kita selalu dituntut untuk senantiasa melakukan pengawasan terkait dengan kegiatan pembongkaran dan pemasangan kembali batu candi. Pembongkaran batu candi dalam hal ini semata-mata tidak hanya dimaknai sebagai pekerjaan bongkar pasang batu tapi harus disertai pula dengan penelitian kemungkinan ditemukannya hal-hal penting terkait dengan pembangunan candi masa lalu. Sementara itu, pemasangan kembali batu candi terutama pemasangan batu baru untuk mengganti batu candi yang rusak atau hilang dalam hal ini harus dilakukan dengan tetap

memperhatikan prinsip-prinsip pemugaran cagar budaya. Pola pikir penggantian batu baru dalam pemugaran semata-mata tidak diukur dari sudut pandang baik atau tidak baik, lengkap atau tidak lengkap, utuh atau tidak utuh, tetapi lebih pada norma-norma dan etika pelestarian cagar budaya. Ketentuan-ketentuan normatif mengisyaratkan bahwa penggantian batu baru dapat dilakukan dengan cara analogi atau dengan berpedoman pada bagian bangunan yang mempunyai bentuk simetris. Namun hingga sejauh ini upaya penggantian batu baru masih menyisakan berbagai persoalan terkait dengan perlu dan tidaknya penggantian dan sejauh mana penggantian dapat dilakukan. Terlepas dari permasalahan batu baru pengganti, perlu kiranya pemugaran yang telah dilakukan kita evaluasi bersama. Seperti diketahui bahwa dalam pemugaran II sesuai yang direncanakan kegiatannya fokus pada pemugaran dinding lorong 1 s.d. 4 yang kondisinya memang banyak mengalami kerusakan. Sementara teras bundar tingkat 1 s.d. 3 tidak disentuh karena masih dalam keadaan baik. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa dalam pemugaran I oleh Th. van Erp di bagian teras bundar ini telah diperbaiki tanpa mengembalikan kedudukan teras bundar pada ketinggian yang semestinya. Sebagai akibatnya struktur candi terutama di lantai 5 (*plateau*) terdapat perbedaan ketinggian ± 30 cm, hal ini dapat dilihat di bagian pelipit bawah pagar langkan tingkat 4 tampak dalam. Susunan batu yang semestinya hanya 2 lapis sekarang ini terlihat menjadi 3 lapis batu. Permasalahan lain terkait dengan manajemen

kegiatan, salah satu diantaranya adalah bahwa dalam pemugaran II ini kita dituntut pula untuk senantiasa mewaspadai kegiatan-kegiatan yang di dalamnya merupakan pekerjaan bersama yang saling terkait dan memiliki sifat ketergantungan satu sama lain (*critical part*). Dalam hal ini keterlambatan dari salah satu kegiatan karena satu dan lain hal dapat menimbulkan keterlambatan pada bagian lain bahkan dapat menimbulkan stagnasi. Oleh karena itu kita selalu melakukan pengawasan dan koordinasi dengan bagian lain yang terlibat agar hal tersebut tidak terjadi. Untuk memantau jalannya pekerjaan yang meliputi kegiatan-kegiatan yang sudah dan sedang dikerjakan maupun yang akan dilaksanakan dapat dilakukan dengan berpedoman pada panduan yang disebut dengan *Project Control System* (PCS). Melalui PCS ini kita dapat memonitor pekerjaan-pekerjaan yang terlambat (*behind of schedule*) atau pekerjaan-pekerjaan yang selesai lebih dulu (*ahead of schedule*), dan dari situ pula kemudian kita dapat mengatur dan mengendalikan pekerjaan sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan. *Project Control System* ini selalu diperbaharui setiap bulan sesuai perkembangan pekerjaan melalui proses pengolahan data dari berbagai sektor kegiatan berbasis komputer.

Masalah Non Teknis

Suka dan duka dalam mengatur dan mengendalikan tenaga kerja dalam jumlah besar dengan latar belakang yang beragam ternyata

tidak semudah seperti apa yang dibayangkan. Dari sebanyak $\pm$ 250 orang yang tergabung di dalam keanggotaan Sektor TA sebagian besar adalah tenaga kerja yang terdiri dari tukang dan pembantu tukang. Pengalaman menunjukkan bahwa setiap permasalahan yang muncul seringkali dalam penanganannya lebih banyak menyita waktu dan pikiran bila dibandingkan dengan mengatasi permasalahan teknisnya sendiri. Sekalipun pengelolaan tenaga kerja telah diatur di dalam organisasi kerja, namun munculnya sebuah permasalahan dapat saja terjadi pada setiap individu mulai dari lapisan terbawah hingga paling atas. Dengan bermacam-macam perilaku individu yang pada dasarnya lebih dipengaruhi oleh latar belakang pendidikan, karakter, temperamen, dan rasa empati seseorang, sehingga penyelesaian setiap persoalan sangat membutuhkan kearifan dan kesabaran. Sebagai salah satu contoh ketika ketua regu pemugaran yang semestinya berkewajiban memimpin dan mengawasi pekerjaan pemugaran di lapangan, yang karena posisinya berdekatan dengan ruang publik kadangkala pekerjaannya terabaikan. Tenaga kerja yang merasa diperlakukan tidak adil oleh ketua regunya kadangkala menuntut hak-haknya dengan mendatangi kantor TA untuk penyelesaiannya. Pekerja pemugaran yang sering mangkir kerja acapkali menimbulkan kegaduhan, dan banyak lagi masalah-masalah lain yang tidak dapat kami jelaskan satu persatu. Kesan yang ingin disampaikan pada intinya bahwa setiap penyelesaian masalah pada dasarnya lebih mengedepankan pada cara-

cara persuasif. Dalam hal ini setiap persoalan senantiasa diselesaikan dengan merujuk pada ungkapan-ungkapan yang sederhana seperti bagaimana kita dapat mengendalikan seseorang tanpa merasa merendahkan, bagaimana kita dapat menyelesaikan masalah tanpa menimbulkan masalah yang lain, ibarat orang mengail bagaimana kita dapat ikannya tanpa keruh airnya. Perasaan suka cita selaku pribadi adalah kesempatan ketika diundang untuk menghadiri upacara peresmian selesainya pemugaran Candi Borobudur yang ditandai dengan penandatanganan prasasti oleh Presiden RI, pada tanggal 23 Februari 1983. Dalam kesempatan ini penulis selaku perwakilan dari Sektor TA telah mendapatkan ucapan selamat dari Presiden RI dan Ibu Negara beserta segenap jajaran Menteri Kabinet Pembangunan. Dalam kesempatan yang lain penulis menerima pula medali tanda jasa dari UNESCO dan dari Departemen Pendidikan dan Kebudayaan dalam kapasitas sebagai Kepala Sektor TA dalam pemugaran Candi Borobudur melalui SK Mendikbud No. 079/M/1983. Namun dibalik itu semua penulis menyadari sepenuhnya bahwa terlaksananya pekerjaan pemugaran yang menjadi tanggung jawab Sektor TA ini merupakan keberhasilan bersama dari seluruh kader teknisi dan para pekerja yang tergabung di dalam keanggotaan Sektor TA. Dengan segala kekurangan yang ada, Sektor TA sebagai bagian dari sistem kerja pemugaran setidaknya telah dapat melaksanakan tugas dengan penuh rasa tanggung jawab hingga dapat menyelesaikan pekerjaan pemugaran

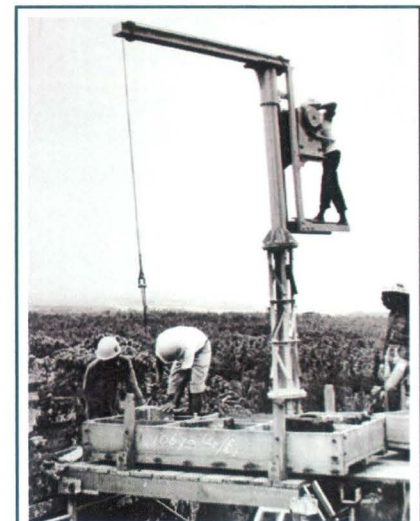
sebagaimana direncanakan. Duka paling mendalam, terkadang masih teringat hingga sekarang, adalah saat-saat terakhir ketika kita semua harus berpisah setelah bekerja bersama dari tahun 1971 hingga pekerjaan pemugaran selesai dan diresmikan tahun 1983. Selaku penanggung jawab Sektor TA, secara emosional penulis merasa masih terbebani terkait dengan para pekerja yang harus kehilangan pekerjaan, mengingat tidak semua pekerja dapat direkrut menjadi PNS. Hal ini semata-mata karena kebijakan infrastruktur birokrasi yang mendasarkan pada keterbatasan pemerintah. Dengan demikian tidak ada yang dapat penulis perbuat selain saling mendoakan semoga Tuhan YME senantiasa memberikan yang terbaik untuk kita semua, amin. Hikmah yang dapat dipetik dari pengalaman ini, untuk pemugaran di tempat lain, sudah barang tentu tidak serta merta meniru pemugaran yang dilakukan di Borobudur, karena Candi Borobudur hanya satu, tidak ada di tempat lain. Namun penting untuk dipahami dan dipelajari, dalam skala yang berbeda adalah bagaimana sebuah mekanisme kerja pemugaran dibangun di atas sebuah perencanaan yang disusun secara sistematis dan terukur dengan melibatkan berbagai disiplin ilmu yang dapat dipertanggungjawabkan. Selain itu, bagaimana memberdayakan sumber daya manusia yang dipersiapkan secara matang melalui sebuah proses belajar mengajar dengan merujuk pada referensi yang relevan sesuai kebutuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- NEDECO. 1972. *Description of work for the restoration of Borobudur.*
- Sampurno. 1969. *Penelitian tanah dasar candi Borobudur.*
- Sampurno. 1973. *Penelitian tanah candi Borobudur.*
- Soekmono, R. 1971. *Riwayat usaha pelestarian candi Borobudur.*
- Soekmono, R. 1983. *Pemugaran candi Borobudur selayang pandang.*

BIOGRAFI PENULIS

Ismijono, lahir di Magelang pada 28 Maret 1951. Setekah mendapatkan pendidikan dan pelatihan selama 3 tahun di Bidang Tekno Arkeologi di Borobudur pada tahun 1971-1974, diangkat menjadi Kepala Sektor Tekno Arkeologi Proyek Pemugaran Candi Borobudur pada tahun 1975-1983. Selain itu pernah juga mendapat pelatihan topografi di Institut Geografi Nasional Paris Perancis pada tahun 1978. Menjadi pemimpin dan pelaksana di berbagai proyek dan studi pelestarian dan pemugaran, serta menjadi pengajar luar biasa mata kuliah Metode dan Teknik Pemugaran pada Program Pasca Sarjana IPB, Universitas Indonesia (2002-2004). Pernah menjabat sebagai Kepala Seksi Pemugaran Direktorat Peninggalan Purbakala Jakarta (1994-2007), dan dari tahun 2008 sampai sekarang sering diundang sebagai narasumber Pemugaran Bangunan Cagar Budaya.



Proses penurunan balok batu



SISTEM DOKUMENTASI PADA PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

Oleh:

M. Romli

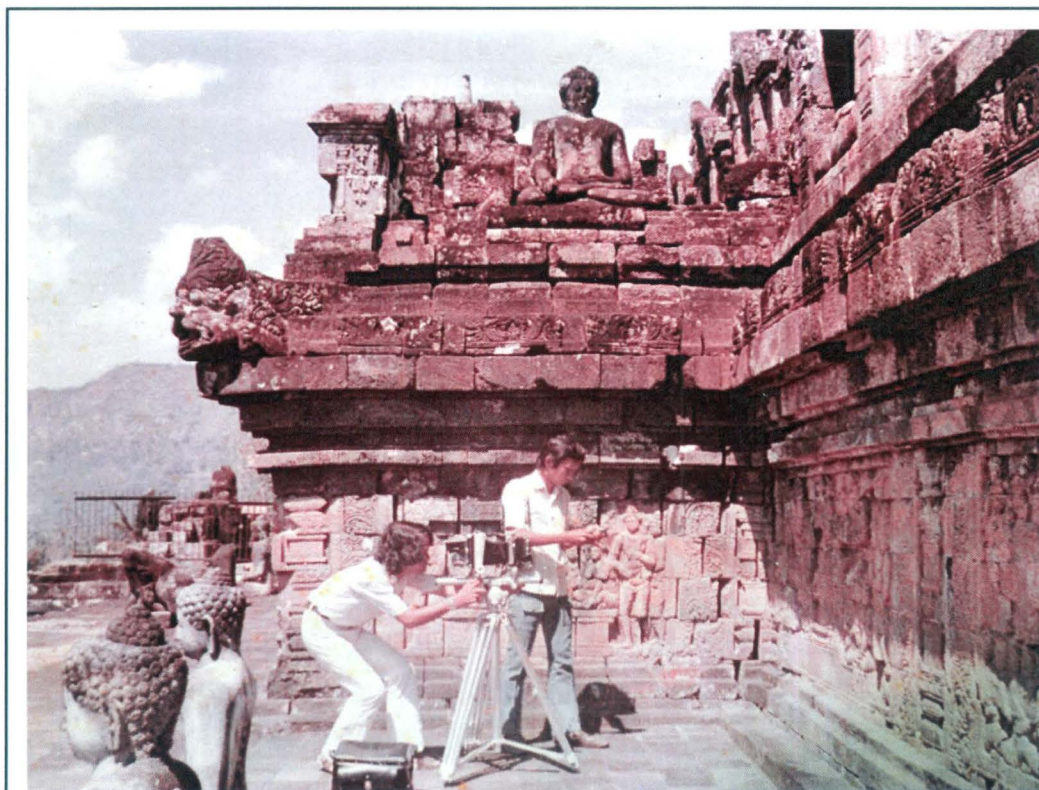
Kepala Sektor Dokumentasi

Proyek Restorasi Candi Borobudur

Sebagai kegiatan teknis penunjang, dalam tata organisasi Proyek Pemugaran Candi Borobudur, Dokumentasi berfungsi menunjang dua sektor teknis utama dalam pemugaran, yaitu Sektor Tekno Arkeologi dan Sektor Khemiko Arkeologi.

Sektor Tekno Arkeologi bertanggung jawab dalam pekerjaan pembongkaran (*dismantling*) batu-batu candi khususnya batu-batu luar, dan kemudian pembangunannya kembali. Sektor Khemiko Arkeologi bertanggung jawab dalam penanganan konservasi dan preservasi batu per batu yang dibongkar untuk selanjutnya dikembalikan lagi di tempat semula, termasuk pula pemasangan lapisan batu kedap air (*layer B*).

Pada tata organisasi Sektor Dokumentasi terdapat 3 (tiga) Subsektor, yaitu Subsektor Fotografi, Subsektor Data Arkeologi, dan Subsektor Kehumasan. Seperti telah disebut di atas, Subsektor Fotografi bertanggung jawab



Kegiatan dokumentasi sebelum dilaksanakan pemugaran

dalam pembuatan dokumen visual. Subsektor Survei Data Arkeologi mempunyai tugas mencari dan membuat perekaman data teknis arkeologis yang fisik terkait dengan Candi Borobudur. Termasuk dalam tugas Subsektor Survei Data Arkeologi melakukan penelitian dan ekskavasi arkeologis pada lahan tertentu yang secara fungsional terkait dengan candi.

Dalam pemugaran Candi Borobudur, dokumentasi tidak terbatas pada bentuk visual hasil pemotretan saja, tetapi juga “movie”. Termasuk dalam tugas Sektor Dokumentasi adalah penyiapan dokumen verbal, berupa

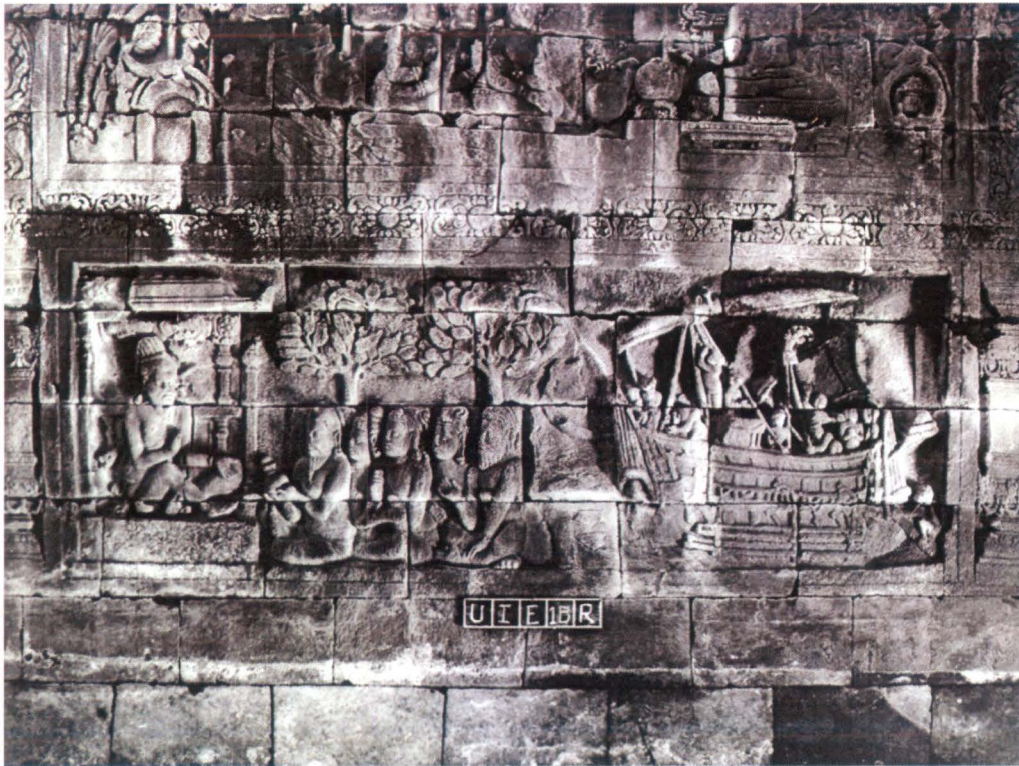
uraian deskriptif tentang kegiatan, obyek kegiatan dan hasil kegiatan pemugaran.

Sebelum pekerjaan utama pemugaran dilakukan, yang berupa pembongkaran/*dismantling*, preservasi/konservasi, dan rekonstruksi keseluruhan, kondisi Candi Borobudur harus telah terdokumentasikan secara lengkap.

SUBSEKTOR FOTOGRAFI

Untuk memulai pendokumentasian (foto) dari Candi Borobudur yang akan dipugar, saat itu tidak ada (belum ada) aturan yang dibakukan tentang apa yang harus didokumentasikan. Yang ada hanyalah aturan lisan tidak baku yang disampaikan dari mulut ke mulut serta permintaan foto secara insidental dari para pelaku pemugaran. Bertolak dari pengalaman tugas-tugas membuat dokumentasi foto serta mengikuti ekskavasi arkeologis di sebagian wilayah Indonesia, sedikit banyak dapat diketahui kebutuhan-kebutuhan dasar dokumentasi foto dari para pelaku pemugaran dan ekskavasi arkeologis.

Pada dasarnya dibutuhkan sebanyak mungkin informasi (foto) pada obyek pemugaran, karena data awal yang dimiliki kadang sudah tidak sesuai lagi dengan keadaan terakhir di lapangan. Hal ini bisa terjadi karena telah terjadi penambahan, pengurangan, atau pemindahan letak dari suatu obyek. Maka peranan fotografi disini menjadi sangat penting, pemotretan secara *in situ* diharapkan dapat memberikan gambaran keadaan sebelum



Salah satu foto perpanel dengan kode lokasi yang menunjukkan panel pada sisi Utara lorong pertama bidang E panel no.1 bagian bawah

dilakukan pekerjaan yang sebenarnya baik pemugaran maupun ekskavasi.

Setiap obyek pemugaran akan dibuat dokumentasi fotonya secara berurutan. Mulai dari prapemugaran, yaitu sebelum dilakukan tindakan apapun terhadap obyek. Berikutnya, selama obyek dipugar, dimungkinkan terdapat penemuan, penyimpangan, atau apapun yang dianggap penting, harus didokumentasikan. Terakhir adalah kondisi candi setelah selesai pemugaran. Dengan demikian dapat diperoleh perbandingan yang signifikan kondisi prapemugaran dan hasil pemugaran.

Dalam pendokumentasian foto pemugaran, khususnya pemugaran Candi Borobudur, hampir setiap bagian permukaan candi difoto secara detail sehingga tidak ada bagian walau kecil pun luput dari pemotretan. Untuk memberikan informasi yang lebih lengkap dan mendapatkan gambaran yang lebih jelas, pada setiap pemotretan bagian candi selalu disertakan skala dan anak panah yang menunjukkan arah mata angin (biasanya utara). Agar foto juga dapat sedikit “berbicara” sendiri, maka dilengkapi pula dengan label kodifikasi sesuai dengan bagian, bidang, panel, dan obyek tertentu misalnya arca, stupa, relung, dan talang air/*jaladwara*, dan juga kondisi tertentu dari bagian candi yang melesak, miring, aus, bergeser, dan lain sebagainya.

Dahulu untuk menghasilkan foto yang jelas dan tajam, van Erp menggunakan semacam oker yang disapukan merata ke sebagian permukaan relief. Ternyata perlakuan ini menimbulkan akibat kurang baik di kemudian hari. Maka

dalam pemugaran kali ini dihindari cara seperti itu. Dalam pemotretan hanya digunakan teknik penyinaran pada saat posisi matahari tertentu yang diatur sedemikian rupa dengan menggunakan beberapa reflektor sederhana. Belum lagi pada beberapa tempat sering harus menggunakan tangga dan perancah, yang juga membutuhkan waktu untuk mengatur dan memindah-mindahkannya. Akibatnya cara ini membutuhkan waktu pemotretan yang lebih lama.

Pekerjaan pemugaran Candi Borobudur ternyata tidak bisa menunggu setelah



Suasana pekerjaan pembongkaran (dismantling) pada salah satu bagian candi

pemotretan selesai. Semua bagian pekerjaan sudah mempunyai jadwalnya sendiri, sebab itulah sering terjadi kejar mengejar pemotretan sebelum pembongkaran. Tidak hanya keadaan sebelum dibongkar saja foto-foto diperlukan, tetapi selama pembongkaran pun sering ditemukan hal-hal yang perlu ada dokumentasi fotonya. Misalnya adanya susunan batu bagian dalam yang tidak lazim atau ditemukannya benda-benda asing dan sebagainya.

Sudah diperkirakan sebelumnya bahwa pemotretan ini akan menghasilkan foto yang sangat banyak, sampai puluhan ribu foto. Maka sejak awal sudah harus dipersiapkan sistem penyimpanan yang baik yang dapat memudahkan pencarian kembali kelak bila

sewaktu-waktu dibutuhkan.

Sistem administrasi dan kodifikasi dokumentasi foto ini sudah dipersiapkan sejak awal pemotretan. Setiap pemotretan diberikan label informasi tentang letak obyek dalam beberapa huruf dan angka. Misalnya, huruf pertama menunjukkan sisi (Timur, Selatan, Barat, Utara). Huruf/angka kedua menunjukkan tingkat lorong/lantai, kemudian bidang, panel, urutan atas/bawah dan sebagainya.

Selain kegiatan pemotretan di lapangan juga ada pemotretan di studio, antara lain memotret temuan-temuan artefak atau lainnya dari hasil kerja Subsektor Survei Data Arkeologi. Selain itu, reproduksi gambar/foto yang berhubungan dengan Candi Borobudur juga dilakukan,



Proses reproduksi foto/gambar



Contoh beberapa artefak yang ditemukan pada penelitian penggalian di sekitar Candi Borobudur

misalnya reproduksi gambar dari buku van Erp.

Selain memotret, tugas dokumentasi juga membuat deskripsi dari setiap foto yang dihasilkan secara kronologis dalam buku induk foto. Khusus foto-foto hitam putih, pencetakannya dikerjakan sendiri oleh petugas khusus 'kamar gelap' dengan peralatan manual yang ada pada saat itu. Foto warna, *slide* dan *movie* film dikerjakan pihak lain. Perlu dicatat bahwa pencetakan foto pada awal pemugaran Candi Borobudur pernah mengalami penggunaan alat "primitif" yaitu alat pencetak foto dengan sumber cahaya matahari.

Semua hasil kerja dokumentasi fotografi baik berupa film negatif cetakan dan *slide* disimpan dalam *file cabinet* dan ditempatkan pada ruang yang hanya dilengkapi dengan "dehumidifier" saja.

Disamping buku induk foto yang berisi nomor induk dan deskripsi singkat foto tersebut juga dibuat daftar lain berupa kartu. Setiap foto mempunyai satu kartu yang penyimpanannya dikelompokkan sesuai obyeknya. Dalam kartu tersebut, selain kode kelompok (panel relief, arca, stupa, *jaladwara*, pagar langkan, dan sebagainya), juga berisi alamat dimana foto tersebut disimpan, misalnya almari, *filling cabinet* serta nomor laci).

Pembuatan dokumentasi foto masih berlanjut setelah selesainya pemugaran Candi Borobudur. Setelah pemugaran, dokumentasi foto masih dilanjutkan kembali, sehingga foto akan bisa ber-"cerita" sendiri mengenai

keadaan sebelum, selama dan sesudah proses pemugaran, terutama reposisi kembali bagian-bagian yang sangat parah, kemiringan, batu-batu yang aus karena proses alam ataupun susunan batu yang bergeser dan jarak antar batu (nat) yang semula sangat lebar.

HAMBATAN TEKNIS PELAKSANAAN KERJA

Hambatan pelaksanaan dokumentasi khususnya pemotretan sangat beragam, dan memberikan dampak yang spesifik dalam pelaksanaannya. Hambatan tersebut antara lain faktor alam dan cuaca, peralatan, kesesuaian antara SDM dan beban kerja, dan juga miskomunikasi antara permintaan dan



Proses pencetakan foto di kamar gelap

pelaksanaan di lapangan.

Cuaca, baik pada musim penghujan maupun kemarau, sangat berpengaruh pada pelaksanaan tugas pemotretan. Cuaca hujan sangat mempengaruhi kegiatan pemotretan karena hampir semua peralatan yang digunakan merupakan peralatan yang rawan basah atau rawan kelembaban tinggi. Sebaliknya, musim kemarau yang sangat panas mempengaruhi stamina pelaksana pemotretan yang harus bekerja di ruang terbuka tanpa peneduh. Dalam pemotretan di lapangan diperlukan tambahan peralatan penunjang, sesuai dengan kebutuhannya, antara lain perancah, tangga, dan reflektor. Pekerjaan lapangan dan pemugaran yang telah terjadwal dengan ketat mengharuskan pemotret harus terus-menerus siaga di lapangan pada lokasi-lokasi yang saling terpisah. Keadaan ini mengakibatkan ketidakseimbangan antara beban kerja yang harus diliput dan keterbatasan kapasitas SDM pemotret yang ada.

SUBSEKTOR SURVEI DATA ARKEOLOGI

Untuk Subsektor Survei Data Arkeologi diperlukan sumberdaya manusia dengan kualifikasi minimal sarjana muda dalam program studi arkeologi. Survei data arkeologi semula dilaksanakan oleh seorang petugas yang sekaligus merangkap sebagai Kepala Subsektor. Secara bertahap terjadi penambahan tenaga 1-2 orang. Seringkali masing-masing petugas menangani pekerjaan yang berbeda

dan di tempat yang saling terpisah. Dalam penanganan kasus-kasus arkeologi tertentu, mereka mengalami kesulitan untuk saling berkomunikasi, berkonsultasi mendiskusikan berbagai masalah arkeologis di lapangan yang mendesak untuk diselesaikan.

Pada beberapa kasus yang sangat mendesak, beban pekerjaan Subsektor Survei Data Arkeologi menjadi fluktuatif. Sebagai contoh, dalam penyiapan lahan untuk pembangunan fasilitas preservasi, konservasi, dan penyimpanan batu-batu candi yang telah dibongkar dari candi, lahan yang cukup luas tersebut harus mendapat pernyataan '*clearance*' dari Subsektor Survey Data Arkeologi. Untuk itu harus dilakukan ekskavasi *rescue*/penyelamatan pada lahan yang sangat luas dengan tenaga pelaksana yang sangat terbatas dalam jadwal waktu yang telah ditentukan dengan ketat. Beban tugas yang tidak sebanding dengan tenaga yang tersedia semakin senjang karena hambatan cuaca yang tidak bersahabat dan sarana kerja yang tidak memadai. Demikian pula saat dilakukan pembongkaran batu-batu candi (*dismantling*), seorang petugas survei data harus melakukan pengawasan pada dua sisi candi yang terpisah dalam waktu yang sama.

Kesenjangan prioritas kerja mengakibatkan banyak data arkeologi yang ditemukan secara fisik tidak dapat diselamatkan dan dipertahankan "*in situ*". Dalam banyak hal, penyelamatan data arkeologi terpaksa dilakukan dengan cara "*rescue by records*". Disamping deskripsi verbal, dukungan dokumentasi

fotografi yang lengkap juga diperlukan. Fluktuasi kegiatan ini juga menyulitkan petugas fotografi yang secara simultan harus melakukan pemotretan. Kelebihan beban tugas ini mengakibatkan banyak tugas-tugas fotografi yang terhutang penyelesaiannya.

SUBSEKTOR KEHUMASAN

Subsektor Kehumasan berfungsi memberikan informasi tentang Candi Borobudur dan pemugarannya untuk berbagai kalangan, termasuk tamu-tamu resmi/tamu negara. Disamping itu, subsektor ini juga mengerjakan/menerjemahkan berbagai tulisan dari berbagai bahasa ke bahasa Indonesia atau sebaliknya, serta membantu Subsektor Fotografi dalam menyelesaikan deskripsi-deskripsi foto.

BIODATA PENULIS

Drs. Mohammad Romli dilahirkan di Surakarta pada tanggal 1 Agustus 1942. Pendidikan Sarjana Arkeologi UGM (1981). Tahun 1970 – 1981 bergabung dalam Proyek Pemugaran Candi Borobudur. Tahun 1987 menjadi Kepala Suaka Peninggalan Sejarah dan Purbakala Provinsi Jawa Timur. Tahun 1994 menjadi Kepala Suaka Peninggalan Sejarah dan Purbakala Provinsi DIY. Sejak tahun 2000 menjadi staf ahli bidang Arkeologi pada beberapa Biro Konsultan dan sekarang menjabat sebagai Komisaris Utama PT BP “Kedaulatan Rakyat”. Kegiatan Penelitian, Pemugaran, dan Konservasi Arkeologis

yang pernah dilakukan antara lain: Pemugaran di Candi Borobudur, Masjid Agung Demak, Masjid Menara Kudus, Candi Sambisari, Ratu Boko, Candi Brahu, Candi Wringin Lawang, Candi Bajang Ratu; Konservasi Tinggalan Arkeologis di Pulau Labuhan (Malaysia); Konsultan Perencana pada Perencanaan Rehabilitasi Benteng Ungaran (Jawa Tengah), Pemugaran Bangsal Trajumas (Kraton Yogyakarta); Konsultan pada Pembuatan Data-base Tinggalan-Tinggalan Arkeologis di Wilayah DIY dan Staf Ahli pada Rehabilitasi Pendopo Ageng Puro Mangkunegaran, Solo, Jawa Tengah.



Kegiatan dokumentasi film proyek restorasi Candi Borobudur



PENGGAMBARAN PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

Oleh:
Budjono
Kepala Seksi Penggambaran
Proyek Restorasi Candi Borobudur

PENDAHULUAN

Sudah kita ketahui bersama bahwa Candi Borobudur ditemukan dalam keadaan rusak parah yaitu pada tahun 1814 oleh Sir Thomas Stamford Raffles, dan belum pernah ada laporan yang berupa foto atau gambar tentang kondisi Candi Borobudur pada saat masa jayanya. Usaha penyelamatan sudah dilaksanakan pada saat itu juga, walaupun hasilnya belum dapat sesuai dengan harapan kita, mungkin karena keterbatasan waktu, dana, dan sumber daya manusia.

Pemugaran pertama dilakukan oleh van Erp pada tahun 1907-1911 dengan hasil yang cukup membanggakan. Pada saat itu Candi Borobudur sudah bisa dikunjungi oleh wisatawan secara menyeluruh. Akan tetapi, karena dalam pelaksanaan pemugaran tersebut tidak dipasang pondasi di bawahnya,

maka pada tahun 1926 kondisi dinding-dinding candi banyak yang melesak dan miring. Maka dari itu, sebagian langkan yang membebani dinding tersebut diturunkan dan disusun di halaman sekitar candi. Selang beberapa tahun kemudian, yaitu pada sekitar tahun 1960-an, Pemerintah Indonesia mempunyai rencana untuk melakukan pemugaran terhadap Candi Borobudur dengan tujuan penyelamatan bangunan bersejarah. Maka dari itu pada tahun 1963 dimulailah pelaksanaan pendataan terhadap fisik Candi Borobudur diantaranya ialah kegiatan penggambaran dan pengukuran. Kegiatan penggambaran yang dilaksanakan pada saat itu antara lain:

- Pengukuran dan penggambaran dinding candi
- Pengukuran dan penggambaran bagian

struktur candi yang mengalami deformasi

- Penyelidikan tanah bawah lantai lorong dinding candi
- Penelitian pondasi candi dan potongan dinding candi di berbagai arah
- Pengeboran tanah di dalam dan di luar candi untuk mengetahui struktur/lapisan tanah, pekerjaan ini dilaksanakan oleh ITB (Institut Teknologi Bandung)

Pelaksanaan penggambaran dan pengukuran pada saat itu dikerjakan oleh tenaga teknik dari Kantor Suaka Jawa Tengah yang ditugaskan ke Borobudur dibantu oleh tenaga harian lokal dari sekitar Borobudur. Akan tetapi, karena pada tahun 1965 terjadi gejolak politik, yaitu pemberontakan G30S PKI, maka kegiatan berhenti dan sebagian tenaga harus kembali ke Suaka Jawa Tengah untuk menjalani *screening test*. Kemudian pada tahun 1969 dimulai lagi kegiatan tersebut atas nama Proyek Restorasi Candi Borobudur yang merupakan proyek Pelita.

Pada tahun 1971, secara serempak penggambaran fisik Candi Borobudur dimulai lagi, yang melibatkan 10 orang tenaga kader teknisi lulusan STM jurusan bangunan yang merupakan angkatan pertama. Kemudian pada tahun 1972 terdapat penerimaan lagi sebanyak 10 orang kader teknisi angkatan kedua dan terakhir tahun 1973 mendapatkan penerimaan lagi sebanyak 15 orang, merupakan angkatan ketiga dan keempat, sehingga seluruhnya berjumlah 35 orang. Penggambaran termasuk sebagai salah satu kegiatan yang cukup

penting dan memakan waktu lama karena hasil penggambaran tersebut akan dijadikan sebagai pedoman dan acuan untuk melakukan pembongkaran maupun pemasangan kembali susunan batu-batu candi. Untuk itu semua gambar harus sudah siap sebelumnya.

Selain itu gambar juga digunakan untuk perencanaan kerja pemugaran dan sebagai rujukan dalam pembuatan pedoman pelaksanaan pembongkaran dan pemasangan kembali serta perencanaan perkuatan struktur. Disamping itu, gambar juga digunakan untuk menentukan durasi, yaitu berapa lama pemugaran akan dilaksanakan. Kegiatan penggambaran Candi Borobudur yang dimulai kembali pada tahun 1971 lebih difokuskan pada gambar-gambar yang akan digunakan untuk pelaksanaan pemugaran, sedangkan gambar-gambar penelitian dan pengeboran tanah sudah dilaksanakan sebelum tahun 1971.

PRODUK GAMBAR PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR DAN FUNGSINYA

Gambar Persiapan

Penggambaran penggalian penyelidikan tanah di bawah lantai lorong Candi Borobudur sudah dilaksanakan jauh sebelum pemugaran dimulai, bahkan masih ada beberapa gambar produk masa pemerintahan penjajahan Belanda yaitu sekitar tahun 1907. Kemudian penggambaran ini dilanjutkan lagi pada masa pemerintahan Republik Indonesia yaitu pada tahun 1951, 1963 sampai dengan 1965, yaitu

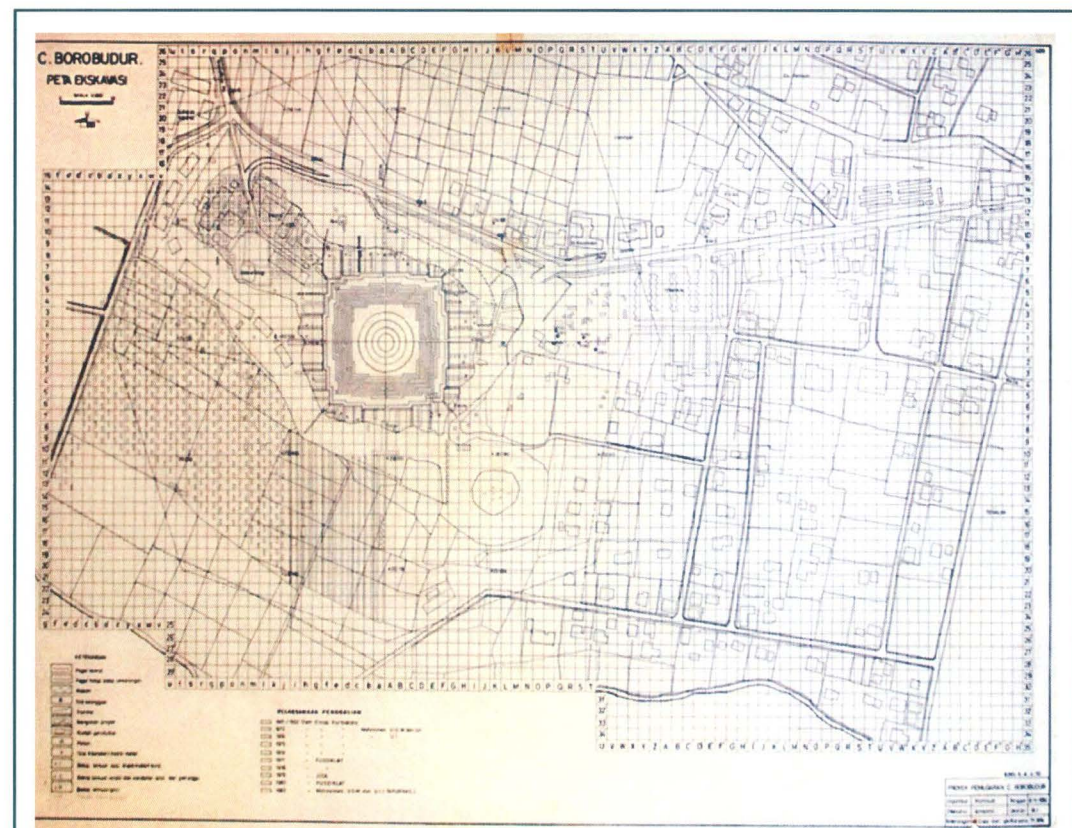
dengan cara membuka susunan batu-batu lantai lorong bawah dinding untuk penelitian. Selanjutnya mulai tahun 1966 sampai dengan tahun 1969, secara berkesinambungan selama 4 tahun, dilaksanakan lagi penyelidikan tanah dengan melakukan pengeboran di lantai lorong yang diperlukan sebanyak 42 titik (1966 = 9 titik, 1967 = 8 titik, tahun 1968 = 14 titik dan tahun 1969 = 11 titik). Penggambaran penggalian penyelidikan tanah bawah candi tersebut bertujuan untuk mengetahui lapisan tanah dari adanya kemungkinan yang berpengaruh terhadap kerusakan candi. Penyelidikan ini juga menjadi dasar pemikiran untuk perbaikan terhadap bangunan candi. Penggalian penyelidikan tanah di halaman candi dan sekitarnya bertujuan untuk meneliti kemungkinan adanya sisa-sisa batu candi dan benda purbakala lainnya yang mungkin terpendam dalam tanah. Selanjutnya dilakukan inventarisasi karena area tersebut sebagian besar akan digunakan untuk mendirikan bangunan prasarana pemugaran dan perkantoran. Gambar-gambar yang dikerjakan antara lain:

- Gambar penyelidikan tanah halaman candi sekitar tahun 1951 sampai dengan 1982
- Gambar penyelidikan tanah bawah lantai dinding candi dilaksanakan sekitar tahun 1965
- Gambar penyelidikan tanah halaman sekitar candi dilaksanakan sekitar tahun 1973, dan sebagainya.

Penyelidikan Tanah Halaman Candi Borobudur

Penggalian penyelidikan tanah di sekitar halaman Candi Borobudur:

Th. 1951	oleh	Purbakala
Th. 1973	oleh	Purbakala dan UGM
Th. 1974	oleh	Purbakala dan UI
Th. 1975	oleh	Purbakala
Th. 1976	oleh	Purbakala
Th. 1977	oleh	Diklat Pusat
Th. 1978	oleh	Diklat Pusat



Penyelidikan Tanah Halaman Candi Borobudur

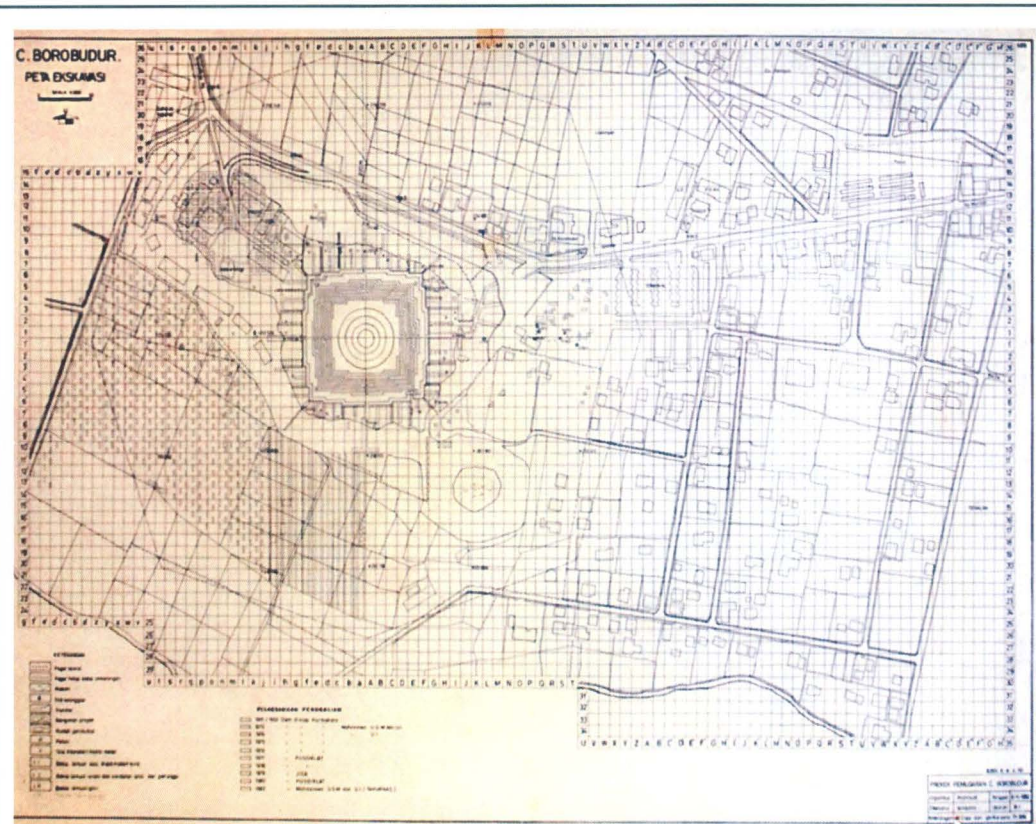
dengan cara membuka susunan batu-batu lantai lorong bawah dinding untuk penelitian. Selanjutnya mulai tahun 1966 sampai dengan tahun 1969, secara berkesinambungan selama 4 tahun, dilaksanakan lagi penyelidikan tanah dengan melakukan pengeboran di lantai lorong yang diperlukan sebanyak 42 titik (1966 = 9 titik, 1967 = 8 titik, tahun 1968 = 14 titik dan tahun 1969 = 11 titik). Penggambaran penggalian penyelidikan tanah bawah candi tersebut bertujuan untuk mengetahui lapisan tanah dari adanya kemungkinan yang berpengaruh terhadap kerusakan candi. Penyelidikan ini juga menjadi dasar pemikiran untuk perbaikan terhadap bangunan candi. Penggalian penyelidikan tanah di halaman candi dan sekitarnya bertujuan untuk meneliti kemungkinan adanya sisa-sisa batu candi dan benda purbakala lainnya yang mungkin terpendam dalam tanah. Selanjutnya dilakukan inventarisasi karena area tersebut sebagian besar akan digunakan untuk mendirikan bangunan prasarana pemugaran dan perkantoran. Gambar-gambar yang dikerjakan antara lain:

- Gambar penyelidikan tanah halaman candi sekitar tahun 1951 sampai dengan 1982
- Gambar penyelidikan tanah bawah lantai dinding candi dilaksanakan sekitar tahun 1965
- Gambar penyelidikan tanah halaman sekitar candi dilaksanakan sekitar tahun 1973, dan sebagainya.

Penyelidikan Borobudur	Tanah	Halaman	Candi
---------------------------	-------	---------	-------

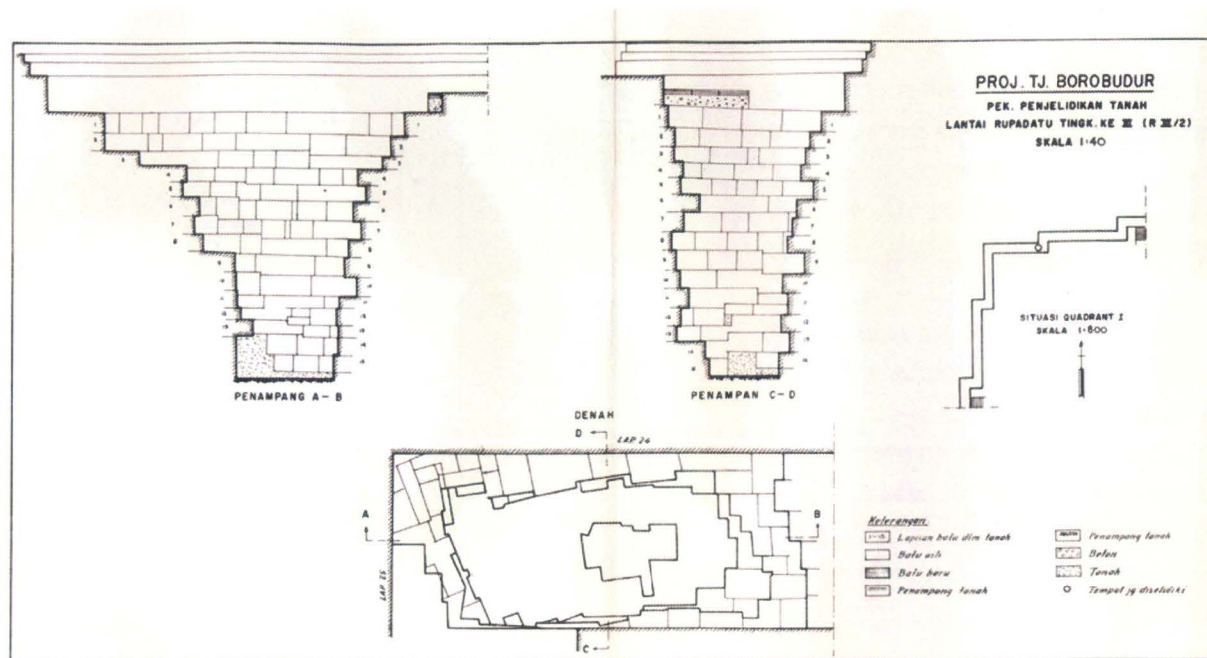
Penggalian penyelidikan tanah di sekitar halaman Candi Borobudur:

Th. 1951	oleh	Purbakala
Th. 1973	oleh	Purbakala dan UGM
Th. 1974	oleh	Purbakala dan UI
Th. 1975	oleh	Purbakala
Th. 1976	oleh	Purbakala
Th. 1977	oleh	Diklat Pusat
Th. 1978	oleh	Diklat Pusat



Penyelidikan Tanah Halaman Candi Borobudur

LUBANG PENGEBORAN DI LANTAI LORONG 3 UTARA



Susunan batu-batu bawah lantai lorong 3 sisi Utara sebanyak 15 lapis batu

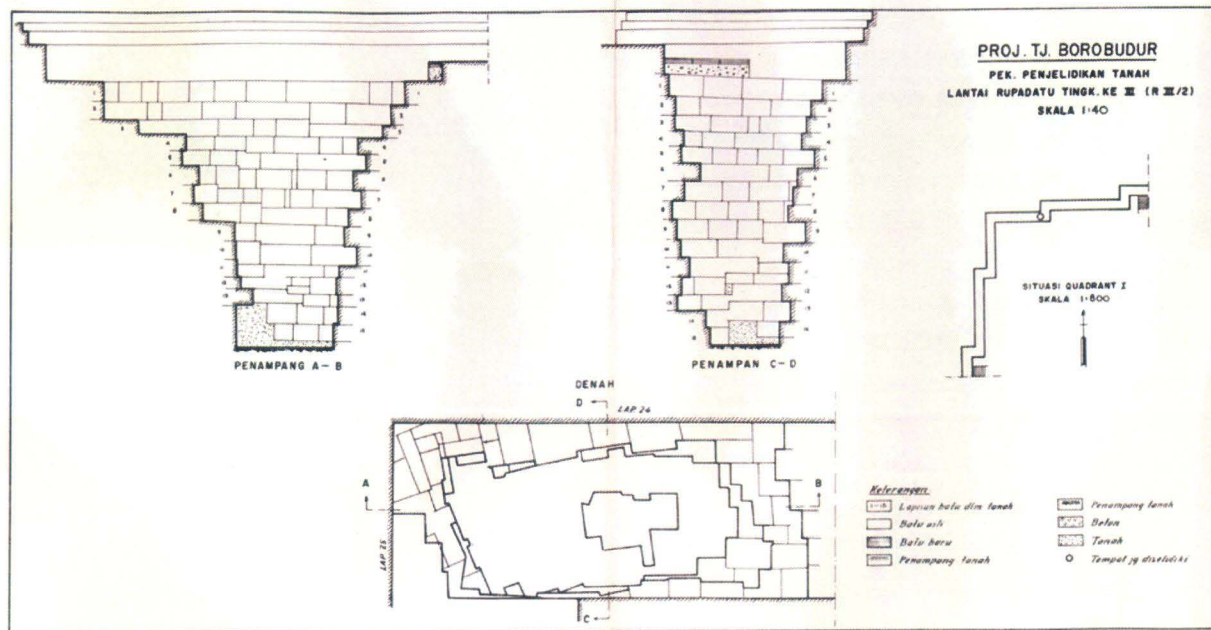
Gambar Utama

Gambar Bidang Prarekonstruksi (Existing Condition)

Gambar bidang prarekonstruksi adalah gambar keadaan sebenarnya pada saat candi itu ditemukan atau sebelum mengalami rekonstruksi, sehingga kondisinya masih ada yang miring, melesak, retak bahkan mungkin hampir runtuh. Gambar prarekonstruksi disamping berfungsi sebagai dokumen, juga berguna sebagai acuan untuk merencanakan gambar rekonstruksi yang nantinya digunakan

sebagai pedoman dalam pelaksanaan pemugaran. Gambar ini juga biasa disebut gambar Dumarcay, salah seorang *expert* dari Perancis, karena gambar tersebut atas prakarsa beliau yang ahli di bidang pengukuran. Pada gambar tersebut ditonjolkan bentuk profil dan nat batu dimana kemiringan dinding nampak jelas serta lubang antar batu (nat) yang nampak jelas akibat dari perubahan strukturnya. Penggambaran bidang prarekonstruksi dilaksanakan dengan skala 1:20, dan tiap bidang digambar menjadi 2 bagian yaitu dinding digabung langkan tampak luar dan langkan tampak dalam.

LUBANG PENGEBORAN DI LANTAI LORONG 3 UTARA



Susunan batu-batu bawah lantai lorong 3 sisi Utara sebanyak 15 lapis batu

Gambar Utama

Gambar Bidang Prarekonstruksi (*Existing Condition*)

Gambar bidang prarekonstruksi adalah gambar keadaan sebenarnya pada saat candi itu ditemukan atau sebelum mengalami rekonstruksi, sehingga kondisinya masih ada yang miring, melesak, retak bahkan mungkin hampir runtuh. Gambar prarekonstruksi disamping berfungsi sebagai dokumen, juga berguna sebagai acuan untuk merencanakan gambar rekonstruksi yang nantinya digunakan

sebagai pedoman dalam pelaksanaan pemugaran. Gambar ini juga biasa disebut gambar Dumarcaj, salah seorang *expert* dari Perancis, karena gambar tersebut atas prakarsa beliau yang ahli di bidang pengukuran. Pada gambar tersebut ditonjolkan bentuk profil dan nat batu dimana kemiringan dinding nampak jelas serta lubang antar batu (nat) yang nampak jelas akibat dari perubahan strukturnya. Penggambaran bidang prarekonstruksi dilaksanakan dengan skala 1:20, dan tiap bidang digambar menjadi 2 bagian yaitu dinding digabung langkan tampak luar dan langkan tampak dalam.

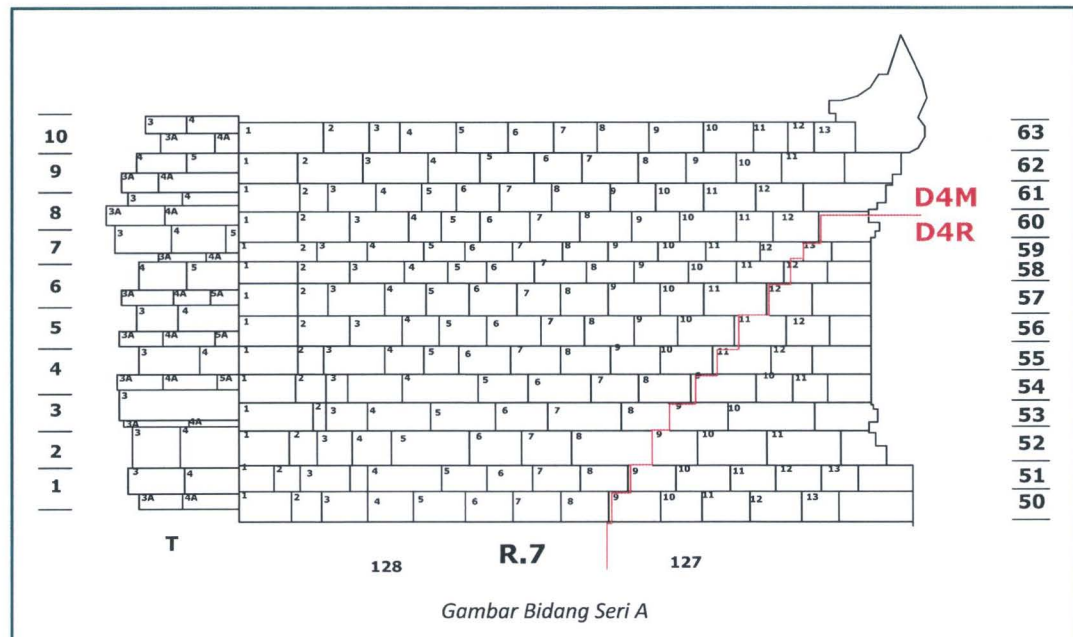
yang diterbitkan oleh NEDECO, yaitu gambar dinding candi yang memuat nomor seri dan nomor lapis batu. Nomor lapis batu diletakkan di sebelah kanan atau kiri gambar, dimulai dari lapis batu kulit (*outer stone*) yang paling bawah dari dinding yang bersangkutan dan diakhiri pada susunan batu yang paling atas. Penulisan nomor seri batu diletakkan di sebelah kiri atas pada setiap blok batu yang bersangkutan dan dimulai dari tangga. Untuk dinding yang berada di kanan tangga, nomor serinya ke arah kanan yaitu dari no 1, 2, dan seterusnya. Untuk dinding yang berada di sebelah kiri tangga, nomor serinya ke arah kiri dari no 1, dan seterusnya. Penomoran seri batu tersebut berakhir pada setiap bidang, dan untuk penomoran bidang selanjutnya dimulai dari angka 1 lagi, yaitu pada setiap awal bidang atau pada sudut dinding. Selain tercantum nomor seri blok batu, di dalam gambar tersebut juga tercantum nomor seri arca buddha, stupa, panil relief serta nomor area bongkar dan area bangun.

Setiap satu bidang candi digambar menjadi tiga bagian yaitu gambar dinding, gambar langkan tampak luar dan gambar langkan tampak dalam yang semuanya dengan skala 1:20. Ukuran gambar dibikin praktis supaya mudah untuk dibawa ke lapangan pada waktu melaksanakan pembongkaran, yaitu dengan ukuran paling kecil A4 (21 x 29.7 cm) atau kelipatannya seperti 2 x A4, 3 x A4 atau 4 x A4, tergantung panjang bidang yang digambar. Gambar seri A tersebut dilengkapi dengan rencana garis area bongkar dan garis area bangun untuk mempermudah dalam

pelaksanaan pembongkaran. Gambar seri A merupakan gambar yang cukup penting karena gambar tersebut digunakan sebagai pegangan dan pedoman untuk melaksanakan pembongkaran.

Gambar Bidang Seri B

Gambar seri B adalah salinan dari gambar kalkir seri A dengan menggunakan kertas aquat, yaitu kertas transparan yang berwarna coklat. Gambar seri B digunakan untuk *plotting* batu-batu hasil pembongkaran dari monumen, berdasarkan kartu pembongkaran yang diterima dari tim pembongkar, dan *plotting* tersebut dikerjakan oleh bagian registrasi. Pada gambar seri B tersebut tercantum nomor *pallet* dan nomor *compartment*, yang mana setiap satu nomor *pallet* diplot dengan garis tebal sesuai



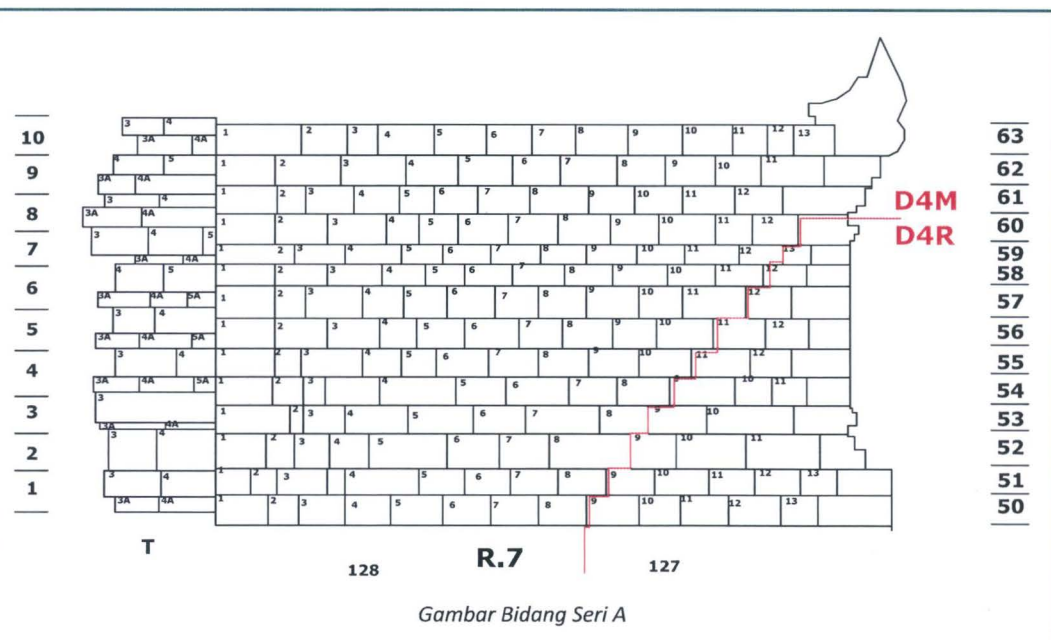
yang diterbitkan oleh NEDECO, yaitu gambar dinding candi yang memuat nomor seri dan nomor lapis batu. Nomor lapis batu diletakkan di sebelah kanan atau kiri gambar, dimulai dari lapis batu kulit (*outer stone*) yang paling bawah dari dinding yang bersangkutan dan diakhiri pada susunan batu yang paling atas. Penulisan nomor seri batu diletakkan di sebelah kiri atas pada setiap blok batu yang bersangkutan dan dimulai dari tangga. Untuk dinding yang berada di kanan tangga, nomor serinya kearah kanan yaitu dari no 1, 2, dan seterusnya. Untuk dinding yang berada di sebelah kiri tangga, nomor serinya ke arah kiri dari no 1, dan seterusnya. Penomoran seri batu tersebut berakhir pada setiap bidang, dan untuk penomoran bidang selanjutnya dimulai dari angka 1 lagi, yaitu pada setiap awal bidang atau pada sudut dinding. Selain tercantum nomor seri blok batu, di dalam gambar tersebut juga tercantum nomor seri arca buddha, stupa, panil relief serta nomor area bongkar dan area bangun.

Setiap satu bidang candi digambar menjadi tiga bagian yaitu gambar dinding, gambar langkan tampak luar dan gambar langkan tampak dalam yang semuanya dengan skala 1:20. Ukuran gambar dibikin praktis supaya mudah untuk dibawa ke lapangan pada waktu melaksanakan pembongkaran, yaitu dengan ukuran paling kecil A4 (21 x 29.7 cm) atau kelipatannya seperti 2 x A4, 3 x A4 atau 4 x A4, tergantung panjang bidang yang digambar. Gambar seri A tersebut dilengkapi dengan rencana garis area bongkar dan garis area bangun untuk mempermudah dalam

pelaksanaan pembongkaran. Gambar seri A merupakan gambar yang cukup penting karena gambar tersebut digunakan sebagai pegangan dan pedoman untuk melaksanakan pembongkaran.

Gambar Bidang Seri B

Gambar seri B adalah salinan dari gambar kalkir seri A dengan menggunakan kertas aquat, yaitu kertas transparan yang berwarna coklat. Gambar seri B digunakan untuk *plotting* batu-batu hasil pembongkaran dari monumen, berdasarkan kartu pembongkaran yang diterima dari tim pembongkar, dan *plotting* tersebut dikerjakan oleh bagian registrasi. Pada gambar seri B tersebut tercantum nomor *pallet* dan nomor *compartment*, yang mana setiap satu nomor *pallet* diplot dengan garis tebal sesuai

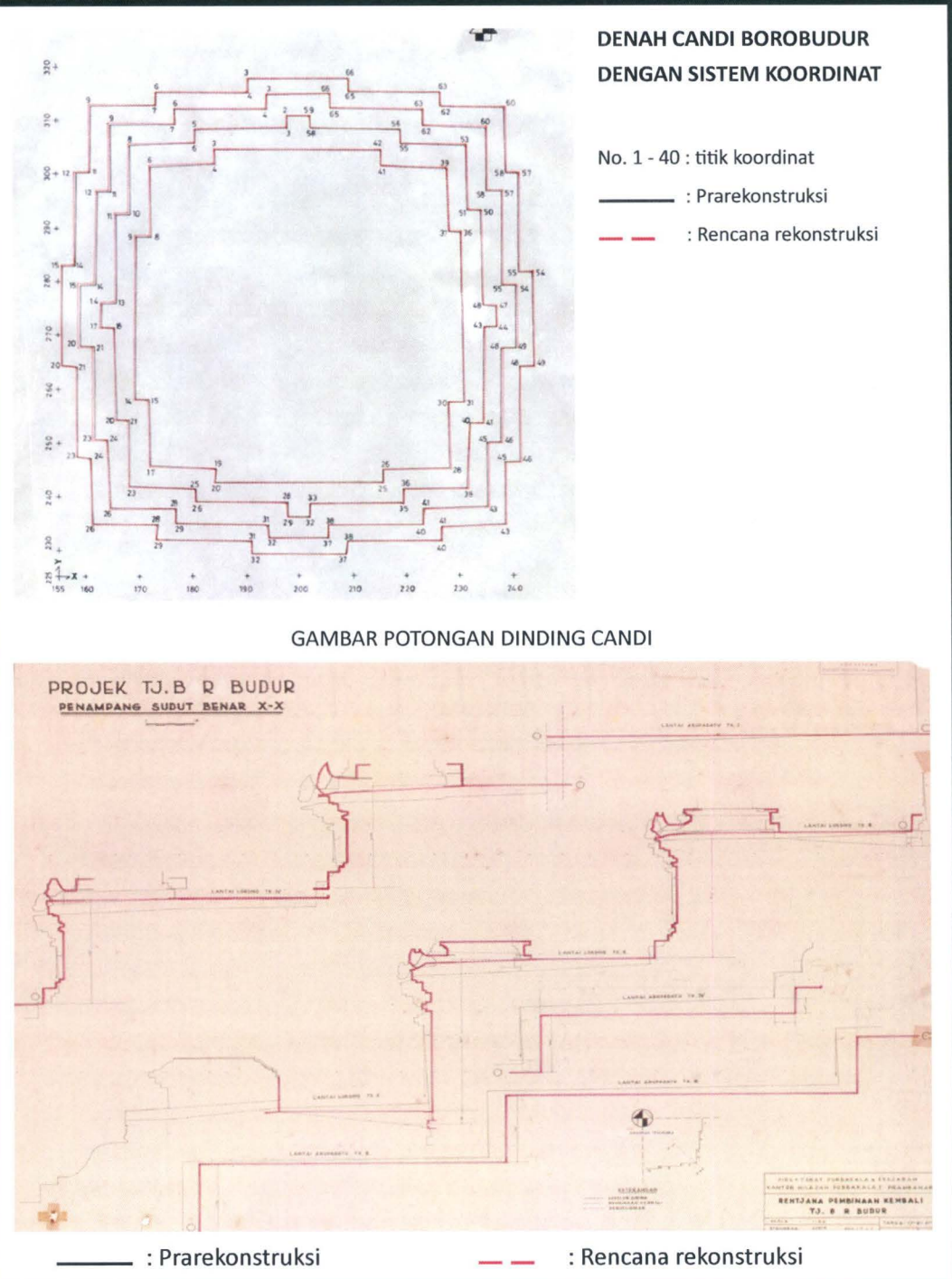


tergantung kepentingannya. Gambar-gambar tersebut diantaranya:

1. Denah prarekonstruksi
2. Denah rencana rekonstruksi
3. Denah dengan sistem koordinat
4. Denah panil relief
5. Denah pembetonan
6. Denah kemelesakan dinding
7. Denah rencana pembongkaran/pemasangan kembali, dan sebagainya.

Gambar Potongan Candi

Ada beraneka ragam gambar potongan Candi Borobudur, diantaranya gambar potongan dinding candi prarekonstruksi atau *existing condition*. Gambar tersebut menunjukkan perbedaan ketinggian antara tingkat yang satu dengan tingkat lainnya, dan dilengkapi dengan ukuran yang akurat sehingga dapat digunakan untuk mengetahui kemelesakan lantai dan kemiringan dinding. Gambar potongan prarekonstruksi tersebut digunakan sebagai acuan untuk merencanakan gambar rekonstruksi. Dengan cara ini, dinding yang mengalami penurunan dan kemiringan harus diangkat sesuai dengan kedudukan aslinya. Untuk mendapatkan data yang memadai dan akurat maka dibuatlah gambar potongan di beberapa tempat dengan secara detail menggunakan alat ukur autolevel dan theodolite.

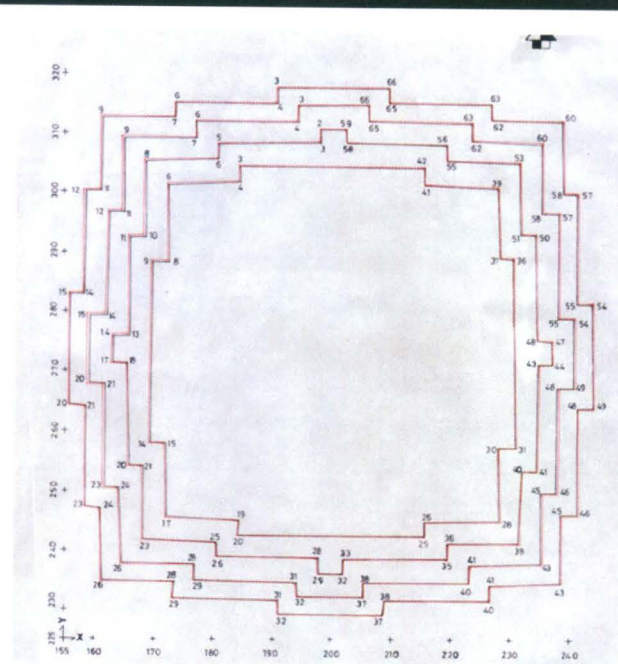


tergantung kepentingannya. Gambar-gambar tersebut diantaranya:

1. Denah prarekonstruksi
2. Denah rencana rekonstruksi
3. Denah dengan sistem koordinat
4. Denah panil relief
5. Denah pembetonan
6. Denah kemelesakan dinding
7. Denah rencana pembongkaran/pemasangan kembali, dan sebagainya.

Gambar Potongan Candi

Ada beraneka ragam gambar potongan Candi Borobudur, diantaranya gambar potongan dinding candi prarekonstruksi atau *existing condition*. Gambar tersebut menunjukkan perbedaan ketinggian antara tingkat yang satu dengan tingkat lainnya, dan dilengkapi dengan ukuran yang akurat sehingga dapat digunakan untuk mengetahui kemelesakan lantai dan kemiringan dinding. Gambar potongan prarekonstruksi tersebut digunakan sebagai acuan untuk merencanakan gambar rekonstruksi. Dengan cara ini, dinding yang mengalami penurunan dan kemiringan harus diangkat sesuai dengan kedudukan aslinya. Untuk mendapatkan data yang memadai dan akurat maka dibuatlah gambar potongan di beberapa tempat dengan secara detail menggunakan alat ukur autolevel dan theodolite.



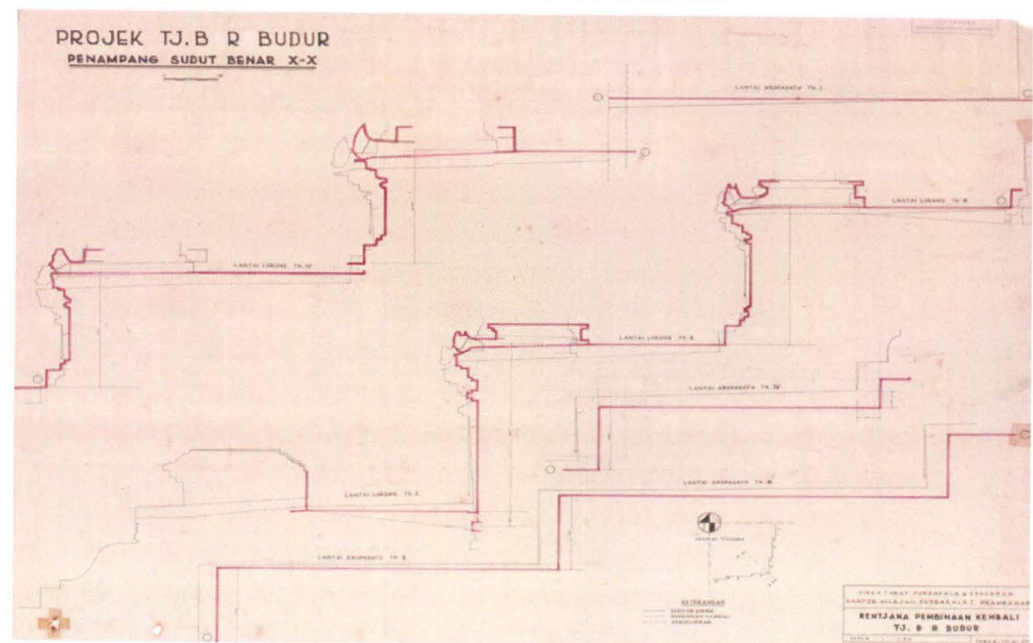
DENAH CANDI BOROBUDUR
DENGAN SISTEM KOORDINAT

No. 1 - 40 : titik koordinat

— : Prarekonstruksi

- - - : Rencana rekonstruksi

GAMBAR POTONGAN DINDING CANDI



— : Prarekonstruksi

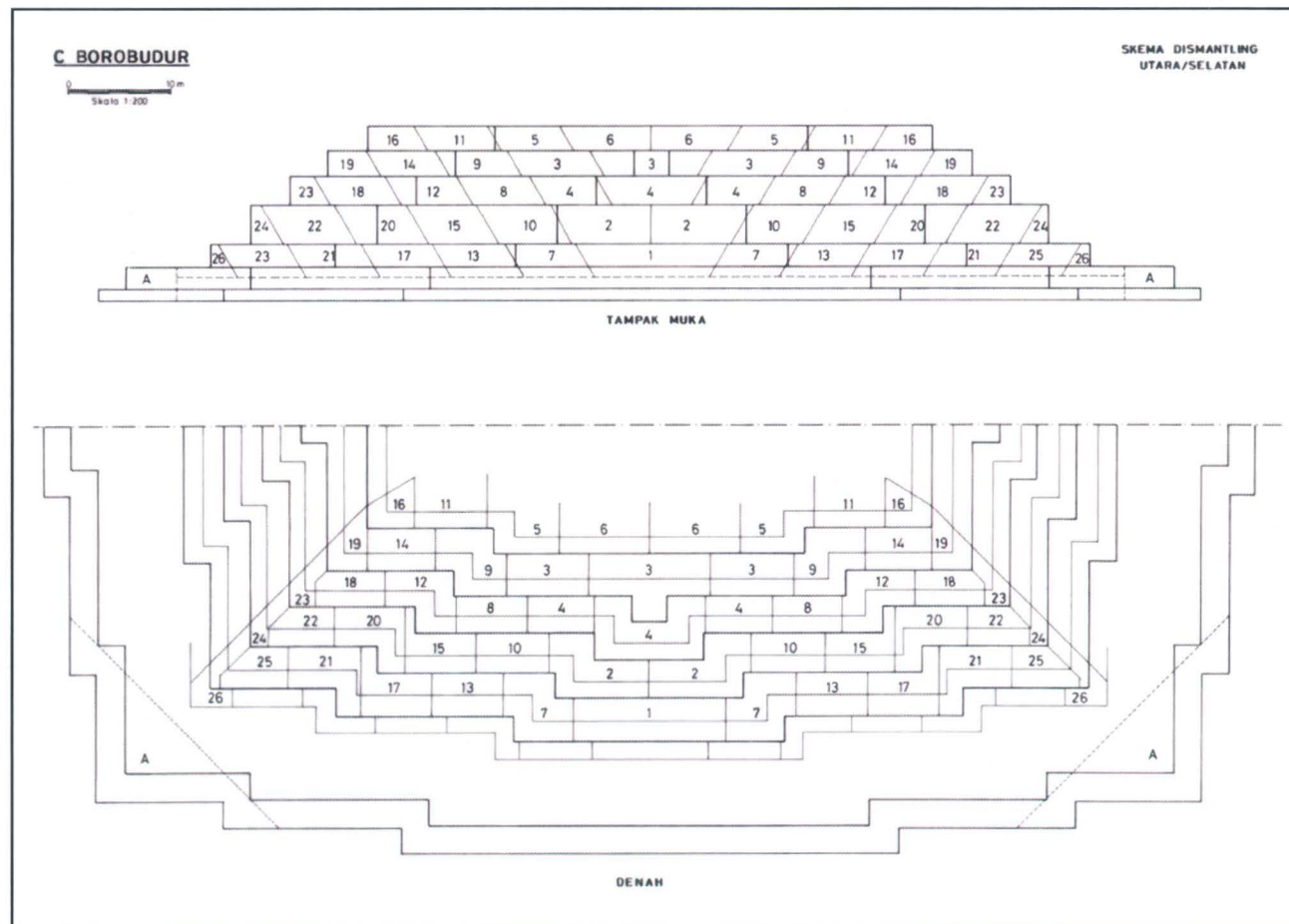
- - - : Rencana rekonstruksi

5. Gambar rencana daerah kerja
6. Gambar skema pembongkaran
7. Gambar skema rekonstruksi
8. Gambar detail bangunan

Gambar Pelengkap

Yang dimaksud dengan gambar pelengkap

adalah gambar yang tidak digunakan secara langsung untuk melaksanakan pemugaran, dan biasanya digunakan untuk lampiran-lampiran laporan serta untuk dokumen. Gambar-gambar tersebut juga sering digunakan sebagai data untuk merencanakan pemugaran, atau untuk keperluan yang lain. Gambar-gambar tersebut antara lain:



SKEMA PEMBONGKARAN

Pelaksanaan pembongkaran dibagi menjadi 5 tahap:

Tahap : D1, D2, D3, D4, D5, D6

Tahap : D13, D14, D15, D16

Tahap : D17, D18, D19, D20,

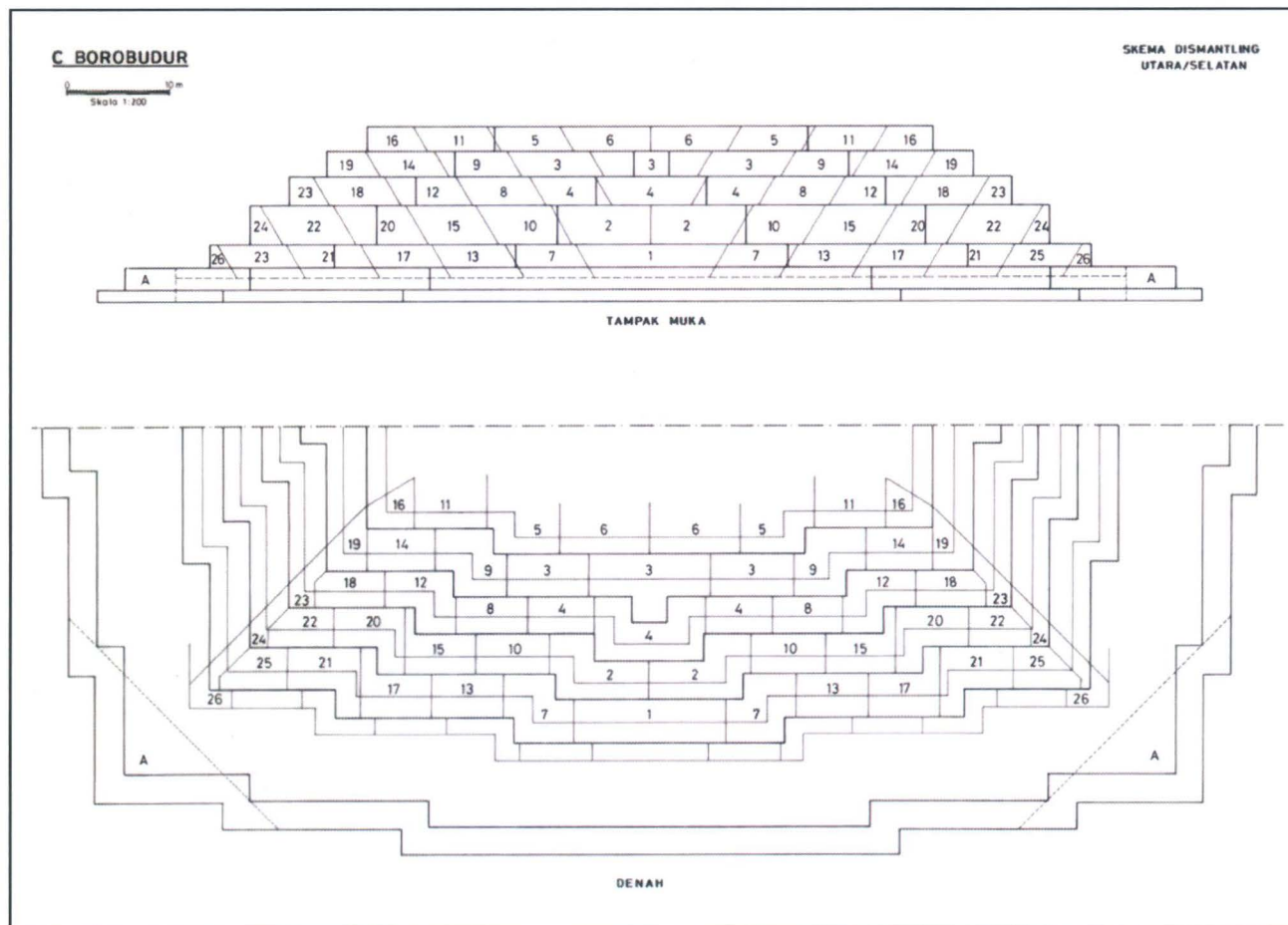
Tahap : D21, D22, D23, D24, D25

5. Gambar rencana daerah kerja
6. Gambar skema pembongkaran
7. Gambar skema rekonstruksi
8. Gambar detail bangunan

Gambar Pelengkap

Yang dimaksud dengan gambar pelengkap

adalah gambar yang tidak digunakan secara langsung untuk melaksanakan pemugaran, dan biasanya digunakan untuk lampiran-lampiran laporan serta untuk dokumen. Gambar-gambar tersebut juga sering digunakan sebagai data untuk merencanakan pemugaran, atau untuk keperluan yang lain. Gambar-gambar tersebut antara lain:



SKEMA PEMBONGKARAN

Pelaksanaan pembongkaran dibagi menjadi 5 tahap:

Tahap : D1, D2, D3, D4, D5, D6

Tahap : D13, D14, D15, D16

Tahap : D17, D18, D19, D20,

Tahap : D21, D22, D23, D24, D25

dibutuhkan, sedangkan selengkapnya dikerjakan secara serempak sejak dimulainya Proyek Restorasi Candi Borobudur yaitu pada tahun 1969. Namun tepatnya baru pada tahun 1971, penggambaran dalam persiapan pemugaran dimulai. Dari beberapa macam jenis gambar yang telah dikerjakan tersebut, yang secara langsung digunakan untuk menangani pemugaran ada 3 jenis, yaitu gambar seri A, gambar seri B dan gambar seri C. Gambar seri A berguna sebagai pedoman untuk melaksanakan pembongkaran batu-batu candi.

Gambar seri B berguna sebagai pedoman untuk melaksanakan pemasangan kembali batu-batu candi. Gambar seri C berguna sebagai pedoman untuk menentukan jenis penyakit batu dan pengobatannya. Gambar-gambar masa pemugaran tersebut sekarang disimpan rapi di kantor Balai Konservasi Borobudur.

Dibawah ini adalah jumlah gambar selama Proyek Restorasi/Pemugaran Candi Borobudur berlangsung, data diambil dari buku induk penggambaran Sektor Tekno Arkaeologi.

JUMLAH GAMBAR SELAMA PEMUGARAN

No	Nama gambar	Jumlah	No	Nama gambar	Jumlah
A	<i>Gambar persiapan</i>		C	<i>Gambar teknis</i>	
1	Gambar penyelidikan tanah	160 lb	14	Gambar skema pemugaran	44
B	<i>Gambar Utama</i>		15	Time schedule	152
2	Gambar prarekonstruksi	144 lb	16	Gambar rencana pembetonan	423
3	Gambar rencana rekonstruksi	177 lb			
4	Gambar bidang seri A	619 lb	D	<i>Gambar Pelengkap</i>	
5	Gambar bidang seri B	619 lb	17	Gambar situasi/pemetaan	249
6	Gambar bidang seri C	619 lb	18	Gambar lampiran laporan	187
7	Gambar panil relief	1275 lb	19	Gambar symbol	78
8	Gambar denah candi	346 lb	20	Gambar bangunan prasarana	47
9	Gambar penampang tanah	37 lb	21	Gambar luar Borobudur	111
10	Gambar potongan candi	166 lb	22	Data buku	55
11	Gambar batu lantai	49 lb	23	Gambar situasi/penggalian	192
12	Gambar batu lapis terbawah	52 lb			
13	Gambar fotogrametri	261 lb			
Total			6062 lb		

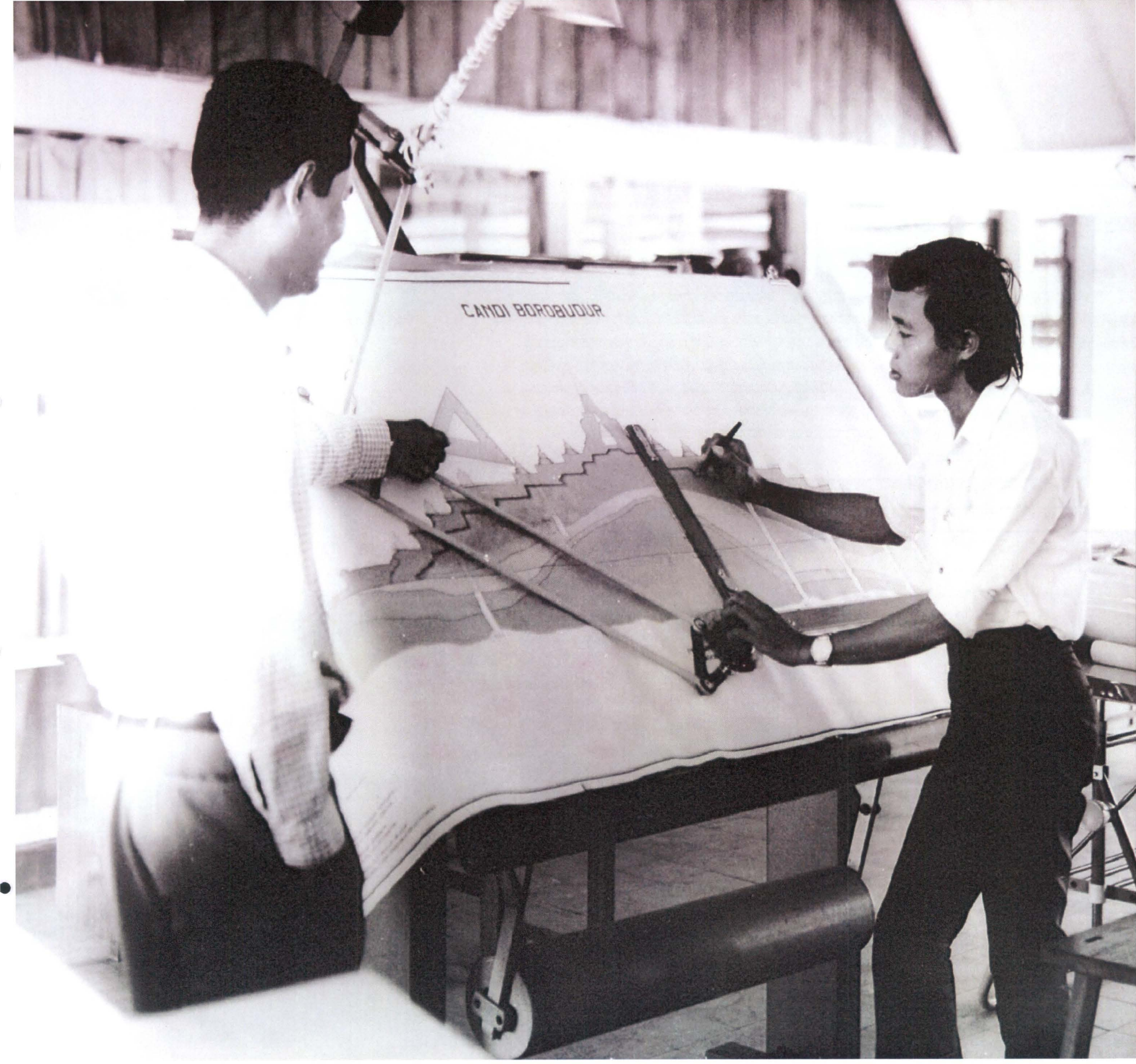
dibutuhkan, sedangkan selengkapnya dikerjakan secara serempak sejak dimulainya Proyek Restorasi Candi Borobudur yaitu pada tahun 1969. Namun tepatnya baru pada tahun 1971, penggambaran dalam persiapan pemugaran dimulai. Dari beberapa macam jenis gambar yang telah dikerjakan tersebut, yang secara langsung digunakan untuk menangani pemugaran ada 3 jenis, yaitu gambar seri A, gambar seri B dan gambar seri C. Gambar seri A berguna sebagai pedoman untuk melaksanakan pembongkaran batu-batu candi.

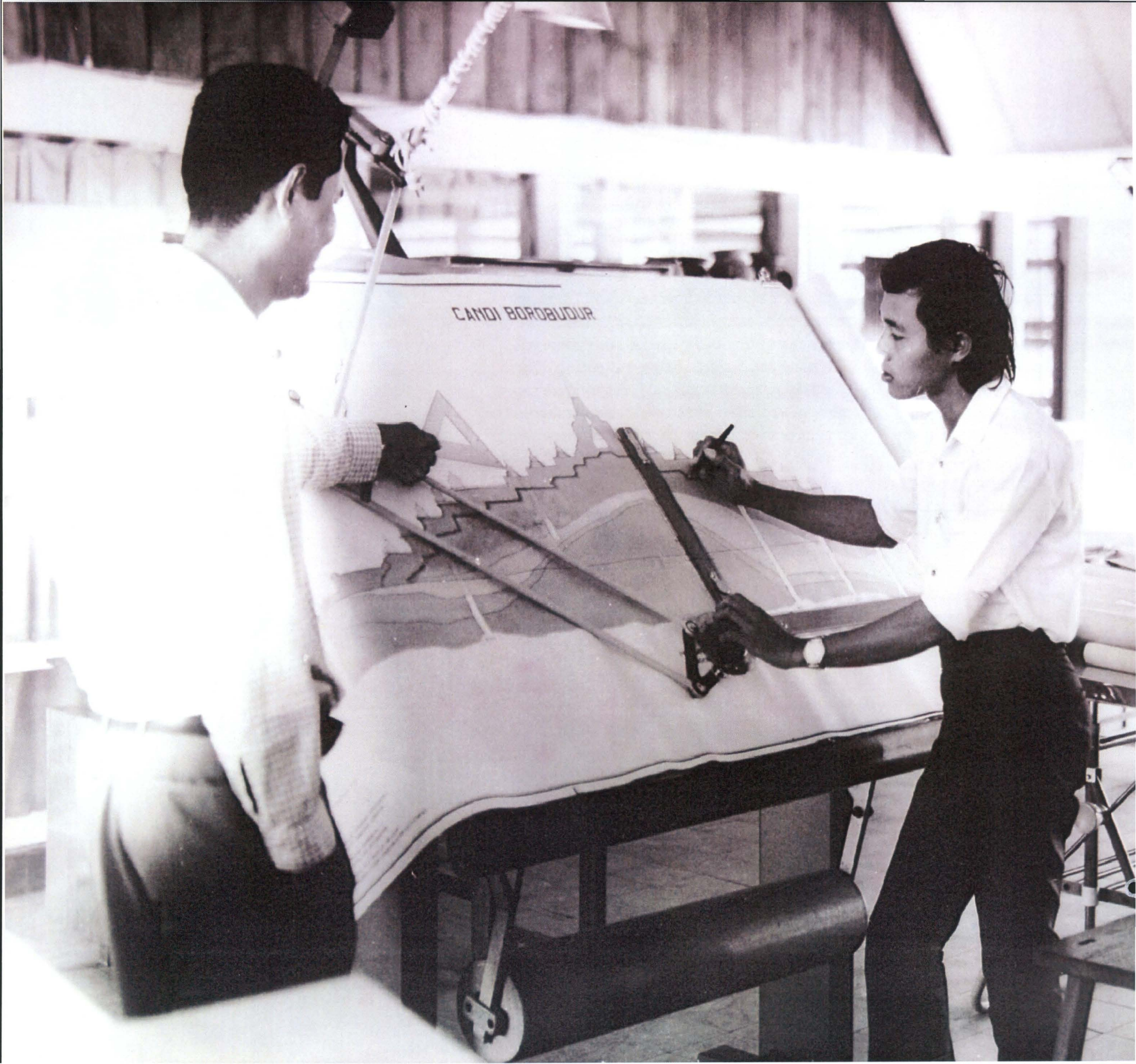
Gambar seri B berguna sebagai pedoman untuk melaksanakan pemasangan kembali batu-batu candi. Gambar seri C berguna sebagai pedoman untuk menentukan jenis penyakit batu dan pengobatannya. Gambar-gambar masa pemugaran tersebut sekarang disimpan rapi di kantor Balai Konservasi Borobudur.

Dibawah ini adalah jumlah gambar selama Proyek Restorasi/Pemugaran Candi Borobudur berlangsung, data diambil dari buku induk penggambaran Sektor Tekno Arkaeologi.

JUMLAH GAMBAR SELAMA PEMUGARAN

No	Nama gambar	Jumlah	No	Nama gambar	Jumlah
A	<i>Gambar persiapan</i>		C	<i>Gambar teknis</i>	
1	Gambar penyelidikan tanah	160 lb	14	Gambar skema pemugaran	44
B	<i>Gambar Utama</i>		15	Time schedule	152
2	Gambar prarekonstruksi	144 lb	16	Gambar rencana pembetonan	423
3	Gambar rencana rekonstruksi	177 lb			
4	Gambar bidang seri A	619 lb			
5	Gambar bidang seri B	619 lb	D	<i>Gambar Pelengkap</i>	
6	Gambar bidang seri C	619 lb	17	Gambar situasi/pemetaan	249
7	Gambar panil relief	1275 lb	18	Gambar lampiran laporan	187
8	Gambar denah candi	346 lb	19	Gambar symbol	78
9	Gambar penampang tanah	37 lb	20	Gambar bangunan prasarana	47
10	Gambar potongan candi	166 lb	21	Gambar luar Borobudur	111
11	Gambar batu lantai	49 lb	22	Data buku	55
12	Gambar batu lapis terbawah	52 lb	23	Gambar situasi/penggalian	192
13	Gambar fotogrametri	261 lb			
Total			6062 lb		





PERANAN FOTOGRAMMETRI PADA PEMUGARAN II

Oleh:

Subagjo R.

Kepala Seksi Fotogrammetri

Proyek Restorasi Candi Borobudur

Candi Borobudur sebagai bangunan monumental berukuran cukup besar, $\pm (124 \times 124 \times 34)$ m. dibangun dengan cara menyusun blok-blok batu andesit/batu gunung dengan volume $\pm 55.000 \text{ m}^3$. telah berdiri lebih dari 1000 tahun, wajar kalau mengalami berbagai kerusakan baik oleh faktor cuaca, gempabumi, korosi atas pertumbuhan jasad dan tangan-tangan jahil manusia.

Kerusakan-kerusakan yang jelas terlihat tanpa pengamatan menggunakan alat antara lain:

1. Pertumbuhan jasad renik; ganggang; jamur; lumut; paku-pakuan; dan pohon-pohon tingkat rendah.
2. Lubang-lubang bisul; berisi ganggang dan lumut
3. Pengelupasam permukaan/superficial scaling baik batu relief atau batu polos
4. Retak sampai pecah

5. Bagian yang hilang
6. Lantai melesak
7. Dinding miring
8. Nat batu renggang
9. Bagian dinding menggelembung

Dari berbagai kerusakan tersebut di atas, kerusakan no. 4 s.d. 9 adalah faktor yang sangat penting dalam pembuatan rencana rekonstruksi yang valid, artinya sangat dekat dengan bentuk aslinya dan menempati lokasi di titik semula.

Tehnik rekonstruksi yang simpel dengan hasil bagus dan berdampak minimal, yaitu sistem "Anastilose". Sistem ini membagi candi menjadi beberapa bagian menurut kondisinya, masing-masing bagian dipisah dengan bagian yang lain, selanjutnya masing-masing bagian disusun secara terbalik dengan maksud untuk memudahkan pada waktu harus dipasang kembali.

Selama tersusun terbalik, pengukuran

PERANAN FOTOGRAMMETRI PADA PEMUGARAN II

Oleh:

Subagjo R.

Kepala Seksi Fotogrammetri

Proyek Restorasi Candi Borobudur

Candi Borobudur sebagai bangunan monumental berukuran cukup besar, $\pm (124 \times 124 \times 34)$ m. dibangun dengan cara menyusun blok-blok batu andesit/batu gunung dengan volume $\pm 55.000 \text{ m}^3$. telah berdiri lebih dari 1000 tahun, wajar kalau mengalami berbagai kerusakan baik oleh faktor cuaca, gempabumi, korosi atas pertumbuhan jasad dan tangan-tangan jahil manusia.

Kerusakan-kerusakan yang jelas terlihat tanpa pengamatan menggunakan alat antara lain:

1. Pertumbuhan jasad renik; ganggang; jamur; lumut; paku-pakuan; dan pohon-pohon tingkat rendah.
2. Lubang-lubang bisul; berisi ganggang dan lumut
3. Pengelupasan permukaan/superficial scaling baik batu relief atau batu polos
4. Retak sampai pecah

5. Bagian yang hilang
6. Lantai melesak
7. Dinding miring
8. Nat batu renggang
9. Bagian dinding menggelembung

Dari berbagai kerusakan tersebut di atas, kerusakan no. 4 s.d. 9 adalah faktor yang sangat penting dalam pembuatan rencana rekonstruksi yang valid, artinya sangat dekat dengan bentuk aslinya dan menempati lokasi di titik semula.

Teknik rekonstruksi yang simpel dengan hasil bagus dan berdampak minimal, yaitu sistem "Anastilose". Sistem ini membagi candi menjadi beberapa bagian menurut kondisinya, masing-masing bagian dipisah dengan bagian yang lain, selanjutnya masing-masing bagian disusun secara terbalik dengan maksud untuk memudahkan pada waktu harus dipasang kembali.

Selama tersusun terbalik, pengukuran

Rekonstruksi” oleh para *expert* nasional dan internasional yang terwadahi sebagai EC (*executive committee*), yang dimaksud dengan titik-titik pokok rekonstruksi antara lain: tiap sudut luas, as tangga dsb. Berapa besar “titik-titik ini harus digeser atau dinaikkan” dari tempatnya semula.

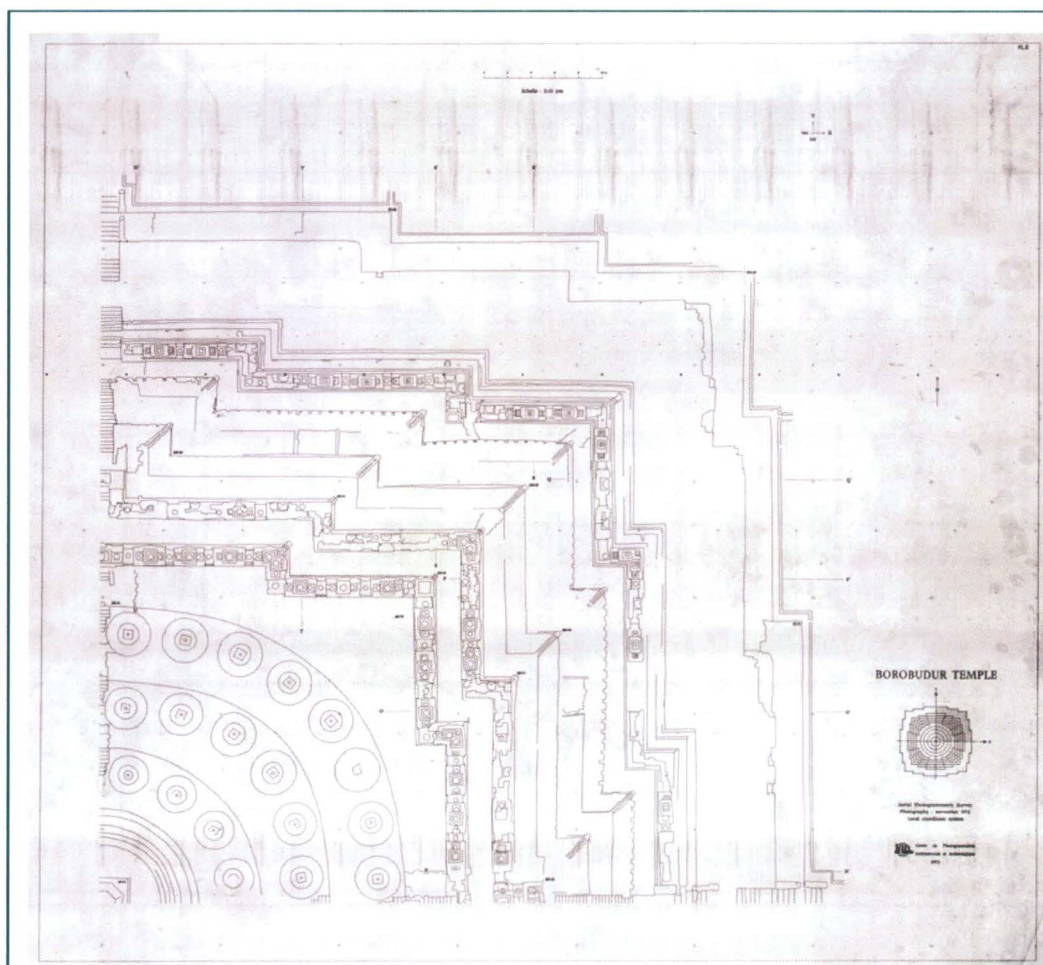
Beberapa bulan sebelum pembongkaran dimulai, rekaman fotogrammetri belum ada. Atas biaya UNESCO didatangkan professional team dari I.G.N. (Institute Geography National, Saint Mande Perancis) pada tahun 1973, untuk mengadakan rekaman fotogrammetri sisi utara dan sisi selatan, karena di dua sisi ini yang segera akan dibongkar tahun 1973. Hasilnya berupa:

- Gambar tampak depan sisi utara dan selatan skala 1:100 terdiri atas beberapa gambar
- Gambar tampak atas per kuadran skala 1:100

Sebagai gambar teknis, gambar-gambar tersebut memuat titik-titik berkoordinat yang memudahkan menghitung jarak ataupun perbedaan ketinggian dari suatu titik ke titik yang lain.

Beda waktu yang cukup antara pembongkaran di sisi utara dan selatan dengan sisi barat dan timur, digunakan untuk satu unit peralatan fotogrammetri dan mendidik beberapa personil karyawan Proyek Pemugaran Candi Borobudur untuk pengoperasiannya di Enschede Netherlands dan I.G.N. Perancis, selanjutnya rekaman fotogrammetri untuk sisi timur dan sisi barat dikerjakan sendiri oleh

Proyek Pemugaran Candi Borobudur, yang saat ini unit peralatan fotogrammetrinya dialokasikan di studio Restorasi Pemugaran Candi Borobudur yang berada di kantor Balai Konservasi Borobudur. Saat ini peralatan tersebut sudah digantikan oleh peralatan yang lebih *up-to-date* yaitu laser scanning.



Candi Borobudur kuadran timur laut, aerial fotogrammetri skala asli 1:100, berkoordinat; Perhatikan: circular teras yang bukan lingkaran teratur, balustrade yang exist dan yang collaps. Dibuat oleh I.G.N. Perancis.

Rekonstruksi” oleh para *expert* nasional dan internasional yang terwadahi sebagai EC (*executive committee*), yang dimaksud dengan titik-titik pokok rekonstruksi antara lain: tiap sudut luas, as tangga dsb. Berapa besar “titik-titik ini harus digeser atau dinaikkan” dari tempatnya semula.

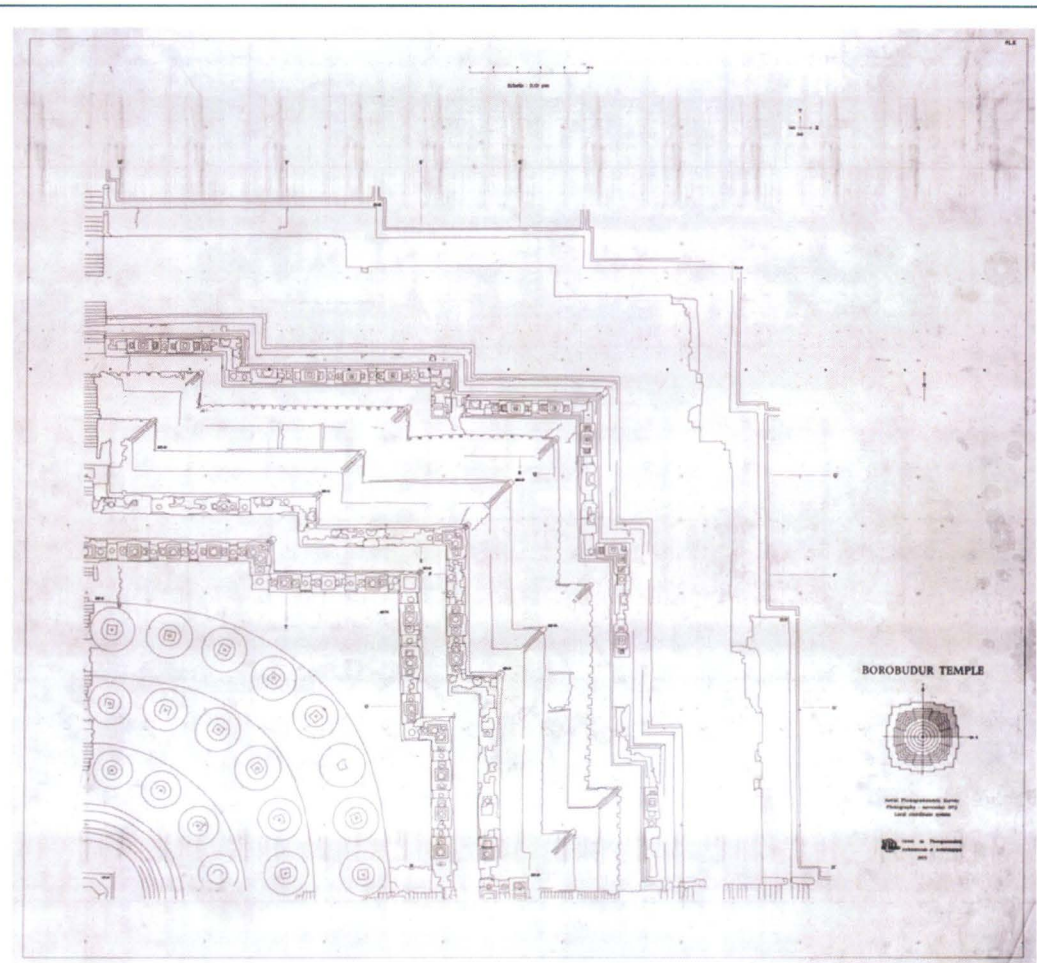
Beberapa bulan sebelum pembongkaran dimulai, rekaman fotogrammetri belum ada. Atas biaya UNESCO didatangkan professional team dari I.G.N. (Institute Geography National, Saint Mande Perancis) pada tahun 1973, untuk mengadakan rekaman fotogrammetri sisi utara dan sisi selatan, karena di dua sisi ini yang segera akan dibongkar tahun 1973. Hasilnya berupa:

- Gambar tampak depan sisi utara dan selatan skala 1:100 terdiri atas beberapa gambar
- Gambar tampak atas per kuadran skala 1:100

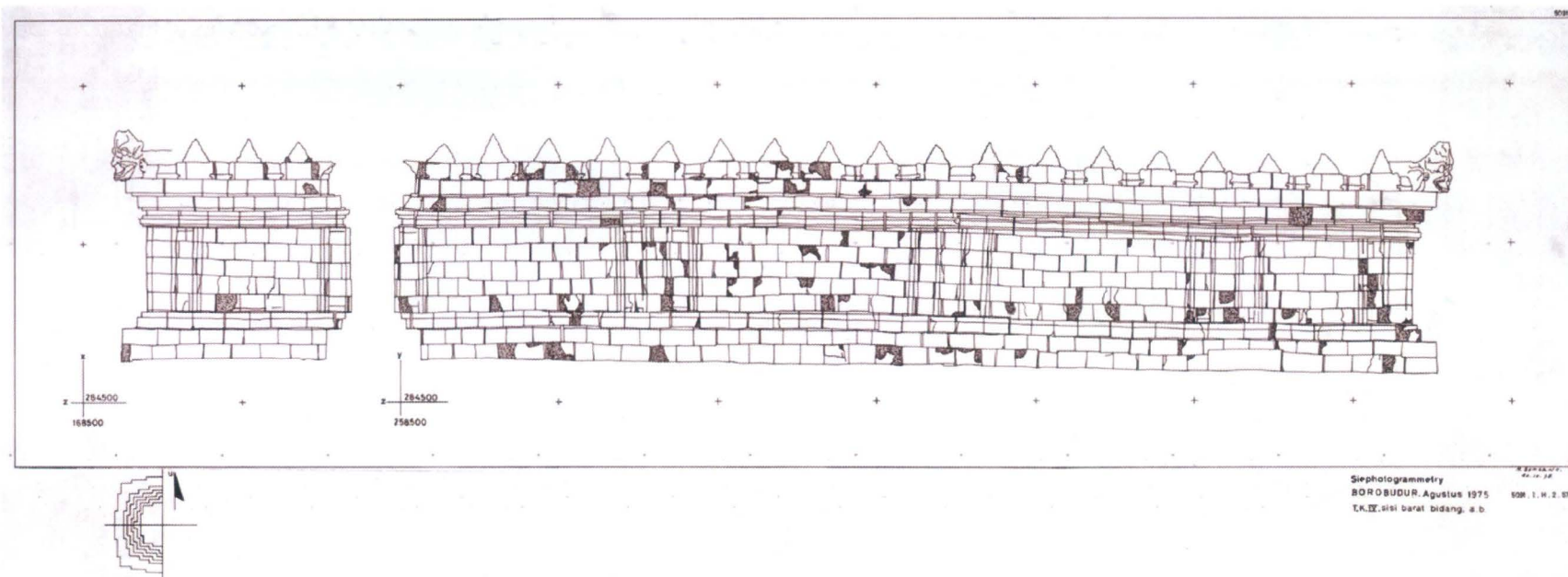
Sebagai gambar teknis, gambar-gambar tersebut memuat titik-titik berkoordinat yang memudahkan menghitung jarak ataupun perbedaan ketinggian dari suatu titik ke titik yang lain.

Beda waktu yang cukup antara pembongkaran di sisi utara dan selatan dengan sisi barat dan timur, digunakan untuk satu unit peralatan fotogrammetri dan mendidik beberapa personil karyawan Proyek Pemugaran Candi Borobudur untuk pengoperasiannya di Enschede Netherlands dan I.G.N. Perancis, selanjutnya rekaman fotogrammetri untuk sisi timur dan sisi barat dikerjakan sendiri oleh

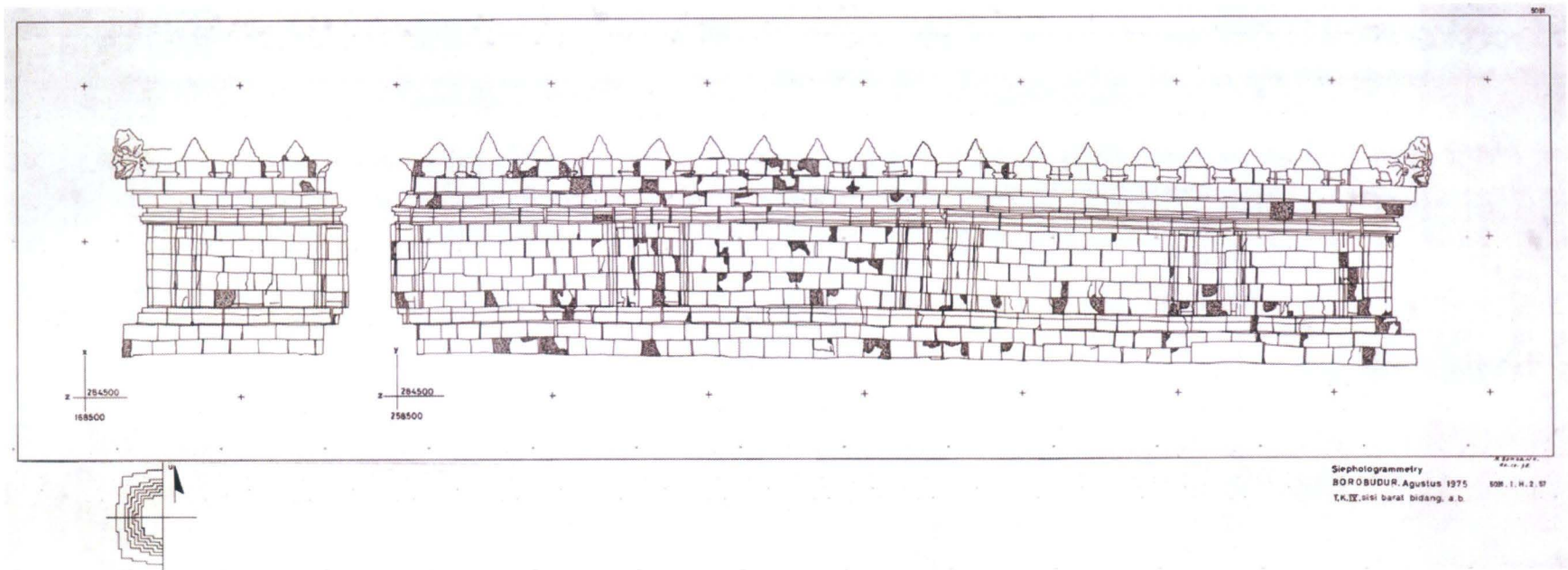
Proyek Pemugaran Candi Borobudur, yang saat ini unit peralatan fotogrammetrinya dialokasikan di studio Restorasi Pemugaran Candi Borobudur yang berada di kantor Balai Konservasi Borobudur. Saat ini peralatan tersebut sudah digantikan oleh peralatan yang lebih *up-to-date* yaitu laser scanning.



Candi Borobudur kuadran timur laut, aerial fotogrammetri skala asli 1:100, berkoordinat; Perhatikan: circular teras yang bukan lingkaran teratur, balustrade yang exist dan yang collaps. Dibuat oleh I.G.N. Perancis.



Sisi barat, dinding lorong IV bidang a dan b. Proyek Pemugaran Candi Borobudur skala asli 1:20, berkoordinat. Perhatikan kerusakan batu, kerenggangan nat, penurunan lis atas dan lis bawah. Dari gambar ini bisa dihitung berapa panjang dinding yang sebenarnya. Pemotretan sebelum dipugar.



Sisi barat, dinding lorong IV bidang a dan b. Proyek Pemugaran Candi Borobudur skala asli 1:20, berkoordinat. Perhatikan kerusakan batu, kerenggangan nat, penurunan lis atas dan lis bawah. Dari gambar ini bisa dihitung berapa panjang dinding yang sebenarnya. Pemotretan sebelum dipugar.



2000.04.27

"LALITA VISTARA"
Perjalanan Ratu Maya menuju Taman Lumbini

B.S.K. Borobudur

Proyek Pemugaran Candi Borobudur. Planimetri salah satu relief lalitavistara, skala asli 1:20. Dokumentasi awal sesudah dipugar.
Gambar ini dibuat tanpa harus memotret lagi, tetapi hanya menggunakan arsip fotogram yang sudah ada.



2000.04.27

"LALITA VISTARA"
Perjalanan Ratu Maya menuju Taman Lumbini

B.S.K. Borobudur

Proyek Pemugaran Candi Borobudur. Planimetri salah satu relief lalitavistara, skala asli 1:20. Dokumentasi awal sesudah dipugar.
Gambar ini dibuat tanpa harus memotret lagi, tetapi hanya menggunakan arsip fotogram yang sudah ada.

BIODATA PENULIS

Subagjo R., lahir di Yogyakarta pada tanggal 19 Februari 1949. Menamatkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA 1 Yogyakarta pada tahun 1967. Pada tahun 1971 -1973 mengikuti program *up-grading* Teknisi Menengah pada Proyek Pemugaran Candi Borobudur. Menjabat sebagai Kepala Seksi Photogrammetry pada Proyek Pemugaran Candi Borobudur pada tahun 1973 -1983 dan mendapatkan tugas belajar yang dilaksanakan pada 1975 – 1976 di IGN Saint Mande, Perancis di bidang *Terrestrial Photogrammetry*. Pada tahun 1983 – 1991 terlibat dalam Proyek Konservasi Candi Borobudur dan mulai tahun 1991 ditunjuk menjadi staf di Balai Konservasi Borobudur sampai pensiun pada tahun 2004.



Kegiatan pemotretan menggunakan stereo kamera dalam fotogrammetri

BIODATA PENULIS

Subagio R., lahir di Yogyakarta pada tanggal 19 Februari 1949. Menamatkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA 1 Yogyakarta pada tahun 1967. Pada tahun 1971 -1973 mengikuti program *up-grading* Teknisi Menengah pada Proyek Pemugaran Candi Borobudur. Menjabat sebagai Kepala Seksi Photogrammetry pada Proyek Pemugaran Candi Borobudur pada tahun 1973 -1983 dan mendapatkan tugas belajar yang dilaksanakan pada 1975 – 1976 di IGN Saint Mande, Perancis di bidang *Terrestrial Photogrammetry*. Pada tahun 1983 – 1991 terlibat dalam Proyek Konservasi Candi Borobudur dan mulai tahun 1991 ditunjuk menjadi staf di Balai Konservasi Borobudur sampai pensiun pada tahun 2004.



Kegiatan pemotretan menggunakan stereo kamera dalam fotogrammetri

KHEMIKO ARKEOLOGI PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

Oleh:
Hubertus Sadirin
Pemimpin Proyek Konservasi Candi Borobudur
(1993/1994-1995/1996)

LATAR BELAKANG

Ibarat orang sakit, Candi Borobudur adalah pasien yang telah mengalami komplikasi dari berbagai macam penyakit yang sudah parah dan perlu segera dilakukan terapi agar tidak mengalami kehancuran total. Namun demikian, sebagai pasien yang datang ke dokter tidak akan langsung disuntik begitu saja, tetapi diperiksa lebih dulu oleh dokter melalui wawancara dan berdasarkan atas gejala-gejala yang ada. Berdasarkan atas gejala yang ada yang dapat diamati secara visual, dokter melakukan diagnosis apa yang menjadi akar penyebabnya, dengan apa penyakitnya dapat diobati, dan bagaimana metode pengobatannya. Itulah gambaran sekilas tentang Candi Borobudur sebagai sosok benda budaya yang menderita penyakit, sebagai akibat dari pengaruh kondisi lingkungannya selama beratus-ratus tahun, baik dari lingkungan internal maupun eksternalnya.

Secara filsafati tidak ada benda yang bersifat abadi di dunia fana ini, semua benda akan mengalami proses perubahan yang mungkin bersifat penuaan, pelapukan, maupun kerusakan. Proses tersebut tidak dapat dicegah secara kodrati, melainkan hanya dapat diperhambat. Dengan demikian upaya yang dilakukan tidak dapat menentang alam secara mutlak, tetapi hanya bersifat menghambat proses pelapukan dan kerusakan.

Secara konseptual berbagai upaya yang dilakukan terhadap benda budaya dimaksudkan untuk menjaga benda budaya tersebut agar benda budaya yang “sehat tetap dalam keadaan sehat”, serta mengobati benda budaya yang sakit agar kembali “sehat”. Dengan demikian secara umum dapat dikatakan bahwa upaya penanggulangan tersebut yang secara teknis dikenal dengan istilah konservasi, yang

KHEMIKO ARKEOLOGI PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

Oleh:
Hubertus Sadirin
Pemimpin Proyek Konservasi Candi Borobudur
(1993/1994-1995/1996)

LATAR BELAKANG

Ibarat orang sakit, Candi Borobudur adalah pasien yang telah mengalami komplikasi dari berbagai macam penyakit yang sudah parah dan perlu segera dilakukan terapi agar tidak mengalami kehancuran total. Namun demikian, sebagai pasien yang datang ke dokter tidak akan langsung disuntik begitu saja, tetapi diperiksa lebih dulu oleh dokter melalui wawancara dan berdasarkan atas gejala-gejala yang ada. Berdasarkan atas gejala yang ada yang dapat diamati secara visual, dokter melakukan diagnosis apa yang menjadi akar penyebabnya, dengan apa penyakitnya dapat diobati, dan bagaimana metode pengobatannya. Itulah gambaran sekilas tentang Candi Borobudur sebagai sosok benda budaya yang menderita penyakit, sebagai akibat dari pengaruh kondisi lingkungannya selama beratus-ratus tahun, baik dari lingkungan internal maupun eksternalnya.

Secara filsafati tidak ada benda yang bersifat abadi di dunia fana ini, semua benda akan mengalami proses perubahan yang mungkin bersifat penuaan, pelapukan, maupun kerusakan. Proses tersebut tidak dapat dicegah secara kodrati, melainkan hanya dapat diperhambat. Dengan demikian upaya yang dilakukan tidak dapat menentang alam secara mutlak, tetapi hanya bersifat menghambat proses pelapukan dan kerusakan.

Secara konseptual berbagai upaya yang dilakukan terhadap benda budaya dimaksudkan untuk menjaga benda budaya tersebut agar benda budaya yang “sehat tetap dalam keadaan sehat”, serta mengobati benda budaya yang sakit agar kembali “sehat”. Dengan demikian secara umum dapat dikatakan bahwa upaya penanggulangan tersebut yang secara teknis dikenal dengan istilah konservasi, yang

Dalam pelaksanaan pemugaran Candi Borobudur, ada dua aspek yang harus dilakukan secara sinkronik, yaitu pekerjaan administratif dan pekerjaan teknis. Pekerjaan administratif berkaitan dengan persiapan dan koordinasi lintas sektor di dalam Proyek Pemugaran Candi Borobudur. Sementara itu pekerjaan teknis adalah berkaitan dengan penanganan perawatan batu-batu Candi Borobudur, baik yang dibongkar maupun yang tidak dibongkar.

PERSIAPAN

Mengawali penanganan pekerjaan perawatan batu-batu Candi Borobudur, persiapan dilakukan secara intensif baik yang menyangkut kebutuhan sumber daya manusia (SDM) maupun berkaitan dengan sarana dan prasarannya.

Dalam kaitannya dengan SDM, mengingat pada waktu itu di Indonesia belum ada lembaga yang secara khusus menangani pendidikan dan pelatihan di bidang konservasi, maka untuk mempersiapkan tenaga tersebut dikirimkan seorang teknisi yaitu Bapak Suyono untuk menjalani pendidikan dan pelatihan (*training course*) di luar negeri, yaitu di Central Laboratory of the Institut Royal du Potrimoine Artistique di Brussels, Belgia, selama 2 (dua) tahun, pada tahun 1969 di bawah pembinaan Prof. Coremans. Sepulang beliau, kemudian ditugaskan untuk merintis Sektor Khemiko Arkeologi, Proyek Pemugaran Candi Borobudur, dengan melakukan rekrutmen tenaga-tenaga teknisi menengah yang diambil dari tenaga

berlatar belakang pendidikan SMA jurusan Ilmu Pasti-Alam. Pengadaan tenaga tersebut dilakukan atas kerjasama dengan Fakultas Psikologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Rekrutmen dilakukan selama 4 (empat) kali angkatan dengan jumlah keseluruhan sebanyak 57 orang, dengan rincian yaitu Angkatan I: 10 orang, Angkatan II: 10 orang, Angkatan III: 19 orang, dan Angkatan IV: 18 orang. Daftar teknisi selengkapnya lihat Lampiran 1.

Tenaga-tenaga tersebut selanjutnya diberikan pendidikan dan pelatihan secara khusus selama 3 (tiga) tahun. Pendidikan dan pelatihan di bidang teori dilakukan dengan bekerja sama dengan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, yaitu dengan kuliah pada petang hari di Yogyakarta dengan dosen dari Universitas Gadjah Mada, Universitas Sebelas Maret, dan Universitas Veteran Negeri Yogyakarta, sedangkan untuk prakteknya dilakukan secara *insitu* yaitu di pemugaran Candi Borobudur, dengan dengan instruktur dari staf ahli UNESCO yang terlibat secara langsung dalam Proyek Pemugaran Candi Borobudur, di antaranya adalah Dr. Giselle Hyvert, ahli mikrobiologi dari Perancis dari Laboratoire de cryptogamie du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris dan Mr. Paolo Bacchin, ahli pahat dari Italia. Di samping itu, juga tenaga ahli lain di bidang konservasi, yaitu Prof. Coremans, Director of the Central Laboratory of the Institut Royal du Patrimoine Artistique, Brussels, Belgium, yang melakukan misi ke Borobudur pada tahun 1956. Materi pelajaran terdiri atas 30% teori dan 70% praktek. Adapun mengenai materi yang diberikan

Dalam pelaksanaan pemugaran Candi Borobudur, ada dua aspek yang harus dilakukan secara sinkronik, yaitu pekerjaan administratif dan pekerjaan teknis. Pekerjaan administratif berkaitan dengan persiapan dan koordinasi lintas sektor di dalam Proyek Pemugaran Candi Borobudur. Sementara itu pekerjaan teknis adalah berkaitan dengan penanganan perawatan batu-batu Candi Borobudur, baik yang dibongkar maupun yang tidak dibongkar.

PERSIAPAN

Mengawali penanganan pekerjaan perawatan batu-batu Candi Borobudur, persiapan dilakukan secara intensif baik yang menyangkut kebutuhan sumber daya manusia (SDM) maupun berkaitan dengan sarana dan prasarannya.

Dalam kaitannya dengan SDM, mengingat pada waktu itu di Indonesia belum ada lembaga yang secara khusus menangani pendidikan dan pelatihan di bidang konservasi, maka untuk mempersiapkan tenaga tersebut dikirimkan seorang teknisi yaitu Bapak Suyono untuk menjalani pendidikan dan pelatihan (*training course*) di luar negeri, yaitu di Central Laboratory of the Institut Royal du Potrimoine Artistique di Brussels, Belgia, selama 2 (dua) tahun, pada tahun 1969 di bawah pembinaan Prof. Coremans. Sepulang beliau, kemudian ditugaskan untuk merintis Sektor Khemiko Arkeologi, Proyek Pemugaran Candi Borobudur, dengan melakukan rekrutmen tenaga-tenaga teknisi menengah yang diambil dari tenaga

berlatar belakang pendidikan SMA jurusan Ilmu Pasti-Alam. Pengadaan tenaga tersebut dilakukan atas kerjasama dengan Fakultas Psikologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Rekrutmen dilakukan selama 4 (empat) kali angkatan dengan jumlah keseluruhan sebanyak 57 orang, dengan rincian yaitu Angkatan I: 10 orang, Angkatan II: 10 orang, Angkatan III: 19 orang, dan Angkatan IV: 18 orang. Daftar teknisi selengkapnya lihat Lampiran 1.

Tenaga-tenaga tersebut selanjutnya diberikan pendidikan dan pelatihan secara khusus selama 3 (tiga) tahun. Pendidikan dan pelatihan di bidang teori dilakukan dengan bekerja sama dengan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, yaitu dengan kuliah pada petang hari di Yogyakarta dengan dosen dari Universitas Gadjah Mada, Universitas Sebelas Maret, dan Universitas Veteran Negeri Yogyakarta, sedangkan untuk prakteknya dilakukan secara *insitu* yaitu di pemugaran Candi Borobudur, dengan dengan instruktur dari staf ahli UNESCO yang terlibat secara langsung dalam Proyek Pemugaran Candi Borobudur, di antaranya adalah Dr. Giselle Hyvert, ahli mikrobiologi dari Perancis dari Laboratoire de cryptogamie du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris dan Mr. Paolo Bacchin, ahli pahat dari Italia. Di samping itu, juga tenaga ahli lain di bidang konservasi, yaitu Prof. Coremans, Director of the Central Laboratory of the Institut Royal du Patrimoine Artistique, Brussels, Belgium, yang melakukan misi ke Borobudur pada tahun 1956. Materi pelajaran terdiri atas 30% teori dan 70% praktek. Adapun mengenai materi yang diberikan

penanganan konservasi batu Candi Borobudur. Disamping itu, juga bertugas untuk memonitor dan mengevaluasi dampak sampingan yang mungkin timbul dari penanganan konservasi batuan Candi Borobudur terhadap lingkungannya maupun lingkungan terhadap Candi Borobudur.

Secara operasional dalam Laboratorium Konservasi tersebut terdapat 3 (tiga) unit analisa, yaitu analisa fisik dan petrografi, analisa kimia, dan analisa mikrobiologi, yang dalam implementasinya juga didukung dengan beberapa peralatan canggih, seperti Scanning Electronic Microscope (SEM), Universal Testing Machine (UTM), Spectrophotometer, Flamephotometer, Accelerated Aging Test Equipment, Porosimeter, Colony Counter, Automatic Sterilizer, Polarizing Microscope, dsb. Data beberapa peralatan teknis yang digunakan lihat Lampiran 2.

Unit Analisa Fisik/Petrografi

Unit ini bertugas untuk mengadakan penelitian sifat-sifat fisik dan petrografi batuan Borobudur dan pengujian bahan-bahan untuk perbaikan, serta pengembangan metodologinya. Sifat-sifat fisik/petrografi yang diteliti meliputi warna, tekstur, porositas, berat jenis, kekerasan, kekuatan tekan, dan komposisi mineralogi batuan yang dilakukan melalui sayatan tipis. Penelitian awal dilakukan di the Bureau de Recherches Geologiques et Minieres (BRGM) dan di the Centre Experimental du Batiment et des Travaux Publics (CEBTP),

Paris, Perancis. Kemudian dilanjutkan dengan penelitian-penelitian yang terkait dengan implementasi selama pemugaran Candi Borobudur yang dilakukan di Laboratorium Konservasi Proyek Pemugaran Candi Borobudur. Menjelang pelaksanaan pemugaran telah dilakukan penelitian secara intensif, terutama terkait dengan penelitian bahan perekat untuk perbaikan batu-batu yang retak atau pecah, dan bahan kedap air (*waterproofing layer*). Dalam pelaksanaan penelitian bahan perbaikan dilakukan melalui pengujian penuaan yang dipercepat (*accelerated aging test*), sehingga bisa diprediksi ketahanan bahan terhadap lingkungannya.



Penelitian di unit analisis kimia

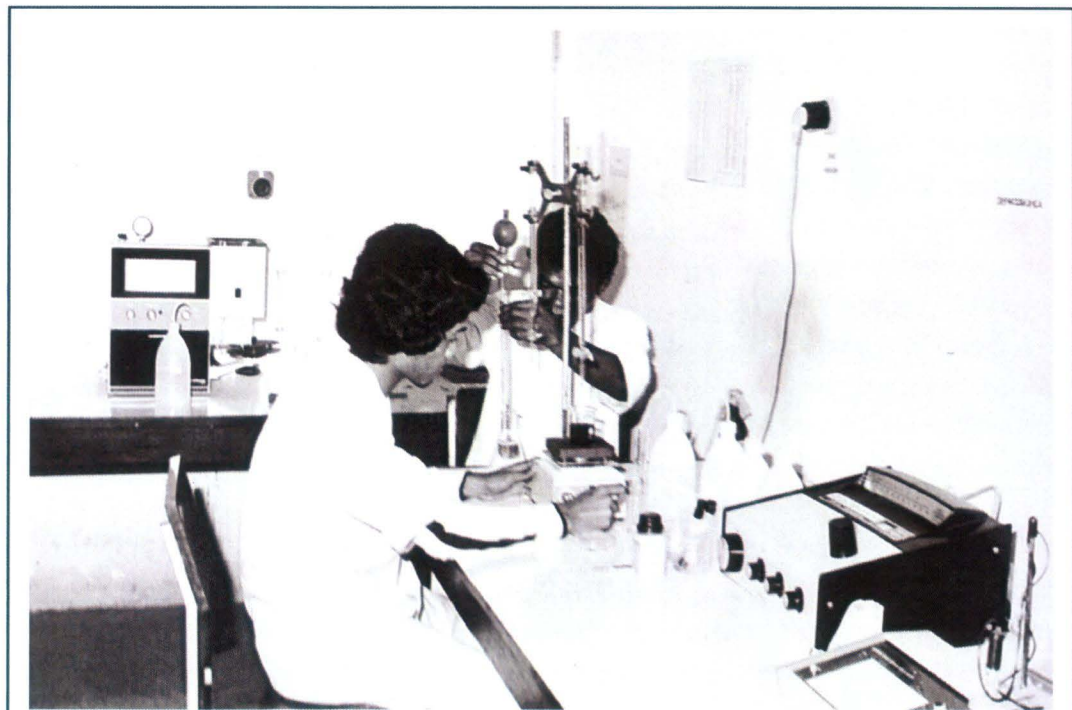
penanganan konservasi batu Candi Borobudur. Disamping itu, juga bertugas untuk memonitor dan mengevaluasi dampak sampingan yang mungkin timbul dari penanganan konservasi batuan Candi Borobudur terhadap lingkungannya maupun lingkungan terhadap Candi Borobudur.

Secara operasional dalam Laboratorium Konservasi tersebut terdapat 3 (tiga) unit analisa, yaitu analisa fisik dan petrografi, analisa kimia, dan analisa mikrobiologi, yang dalam implementasinya juga didukung dengan beberapa peralatan canggih, seperti Scanning Electronic Microscope (SEM), Universal Testing Machine (UTM), Spectrophotometer, Flamephotometer, Accelerated Aging Test Equipment, Porosimeter, Colony Counter, Automatic Sterilizer, Polarizing Microscope, dsb. Data beberapa peralatan teknis yang digunakan lihat Lampiran 2.

Unit Analisa Fisik/Petrografi

Unit ini bertugas untuk mengadakan penelitian sifat-sifat fisik dan petrografi batuan Borobudur dan pengujian bahan-bahan untuk perbaikan, serta pengembangan metodologinya. Sifat-sifat fisik/petrografi yang diteliti meliputi warna, tekstur, porositas, berat jenis, kekerasan, kekuatan tekan, dan komposisi mineralogi batuan yang dilakukan melalui sayatan tipis. Penelitian awal dilakukan di the Bureau de Recherches Geologiques et Minieres (BRGM) dan di the Centre Experimental du Batiment et des Travaux Publics (CEBTP),

Paris, Perancis. Kemudian dilanjutkan dengan penelitian-penelitian yang terkait dengan implementasi selama pemugaran Candi Borobudur yang dilakukan di Laboratorium Konservasi Proyek Pemugaran Candi Borobudur. Menjelang pelaksanaan pemugaran telah dilakukan penelitian secara intensif, terutama terkait dengan penelitian bahan perekat untuk perbaikan batu-batu yang retak atau pecah, dan bahan kedap air (*waterproofing layer*). Dalam pelaksanaan penelitian bahan perbaikan dilakukan melalui pengujian penuaan yang dipercepat (*accelerated aging test*), sehingga bisa diprediksi ketahanan bahan terhadap lingkungannya.



Penelitian di unit analisis kimia

survei terhadap permasalahan yang dihadapi yang dituangkan dalam bentuk kartu pemetaan (*mapping*) terhadap seluruh blok batu candi. Langkah ini merupakan bagian dari kegiatan pendokumentasian seluruh permasalahan teknis yang dihadapi. *Mapping* tersebut dilakukan dalam gambar teknis (*technical drawing*) panel batu lapis demi lapis, per bidang, per sisi, yang memberikan indikasi apa yang perlu dilakukan terhadap masing-masing blok batu, disertai dengan prosentase populasi kerusakan/gejala pelapukan yang nantinya bisa dikonversikan ke dalam volume secara keseluruhan batu yang akan ditangani.

Ada 3 (tiga) hal *mapping* yang dilakukan, yaitu survei umum (*general survey*), survei kerusakan yang perlu diperbaiki (*survey of the parts to be restored*), dan survei pelapukan biotis (*biological survey*).

Berikut ini kodifikasi yang digunakan dalam survei.

Survei Umum (*General Survey*),

Kodifikasi: D

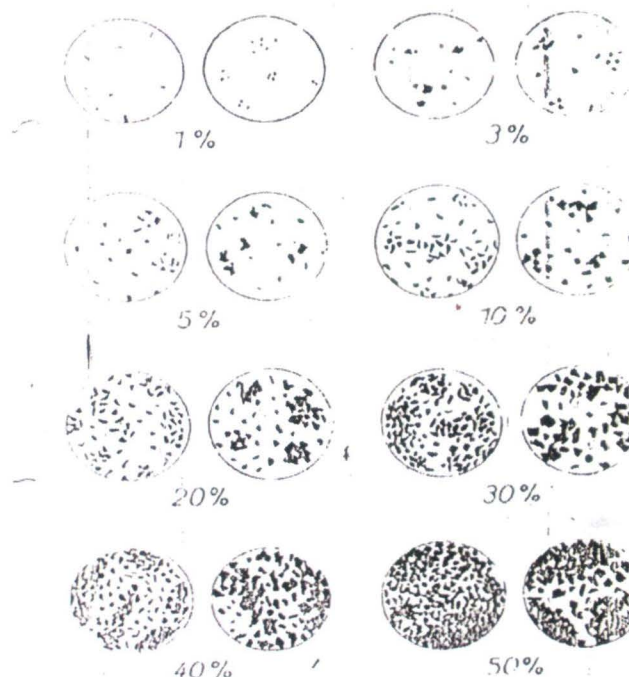
- Kerusakan-kerusakan pada permukaan (*superficial deterioration or surface erosion*): Da;
- Lapisan oker (*Ocre coloring*): Dc;
- Endapan-endapan putih/keputihan (*white deposit, efflorescence not included*): Dw;
- Lubang-lubang yang tidak dalam (*cavities, alveoles*): Da;
- Blok batu bersih, tidak ada oker, tidak ada organisme, dan tidak ada

kerusakan-kerusakan (*block without ocre coating and without any organism, without damages*): Dn;

Catatan:

Jika keadaan/kerusakan-kerusakan tersebut di atas dominan/parah, maka kode keadaan/kerusakan tersebut disertai angka prosentase yang menyatakan luas keadaan/kerusakan, misalnya Dw25 yang berarti dalam blok batu tersebut ada endapan garam sekitar 25% dari seluruh permukaan yang diobservasi.

PETUNJUK SURVEI POPULASI PERTUMBUHAN MIKROBIA



NB. Prosentase (%) populasi pertumbuhan mikrobia didasarkan pada satuan luas bidang yang diamati

Gambar 5. Petunjuk survei populasi pertumbuhan mikrobia

survei terhadap permasalahan yang dihadapi yang dituangkan dalam bentuk kartu pemetaan (*mapping*) terhadap seluruh blok batu candi. Langkah ini merupakan bagian dari kegiatan pendokumentasian seluruh permasalahan teknis yang dihadapi. *Mapping* tersebut dilakukan dalam gambar teknis (*technical drawing*) panel batu lapis demi lapis, per bidang, per sisi, yang memberikan indikasi apa yang perlu dilakukan terhadap masing-masing blok batu, disertai dengan prosentase populasi kerusakan/gejala pelapukan yang nantinya bisa dikonversikan ke dalam volume secara keseluruhan batu yang akan ditangani.

Ada 3 (tiga) hal mapping yang dilakukan, yaitu survei umum (*general survey*), survei kerusakan yang perlu diperbaiki (*survey of the parts to be restored*), dan survei pelapukan biotis (*biological survey*).

Berikut ini kodifikasi yang digunakan dalam survei.

Survei Umum (*General Survey*),

Kodifikasi: D

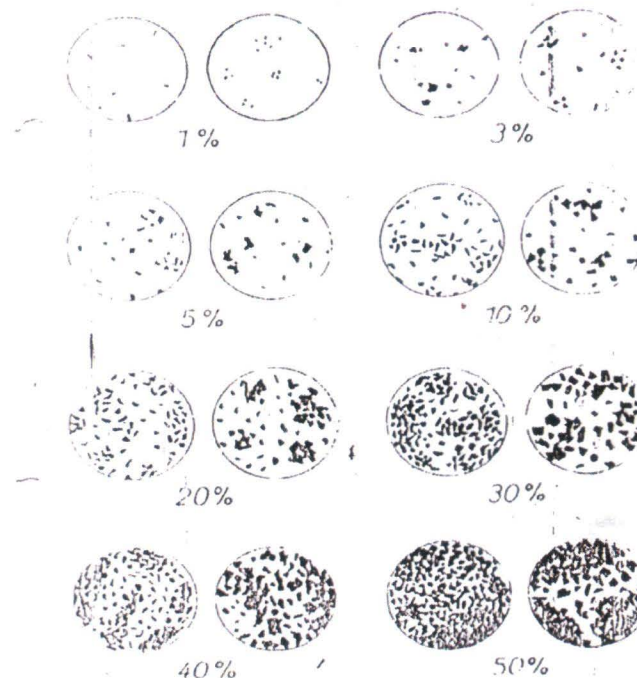
- Kerusakan-kerusakan pada permukaan (*superficial deterioration or surface erosion*): Da;
- Lapisan oker (*Ocre coloring*): Dc;
- Endapan-endapan putih/keputih-putihan (*white deposits, efflorescence not included*): Dw;
- Lubang-lubang yang tidak dalam (*cavities, alveoles*): Da;
- Blok batu bersih, tidak ada oker, tidak ada organisme, dan tidak ada

kerusakan-kerusakan (*block without ocre coating and without any organism, without damages*): Dn;

Catatan:

Jika keadaan/kerusakan-kerusakan tersebut di atas dominan/parah, maka kode keadaan/kerusakan tersebut disertai angka prosentase yang menyatakan luas keadaan/kerusakan, misalnya Dw25 yang berarti dalam blok batu tersebut ada endapan garam sekitar 25% dari seluruh permukaan yang diobservasi.

PETUNJUK SURVEI POPULASI PERTUMBUHAN MIKROBIA



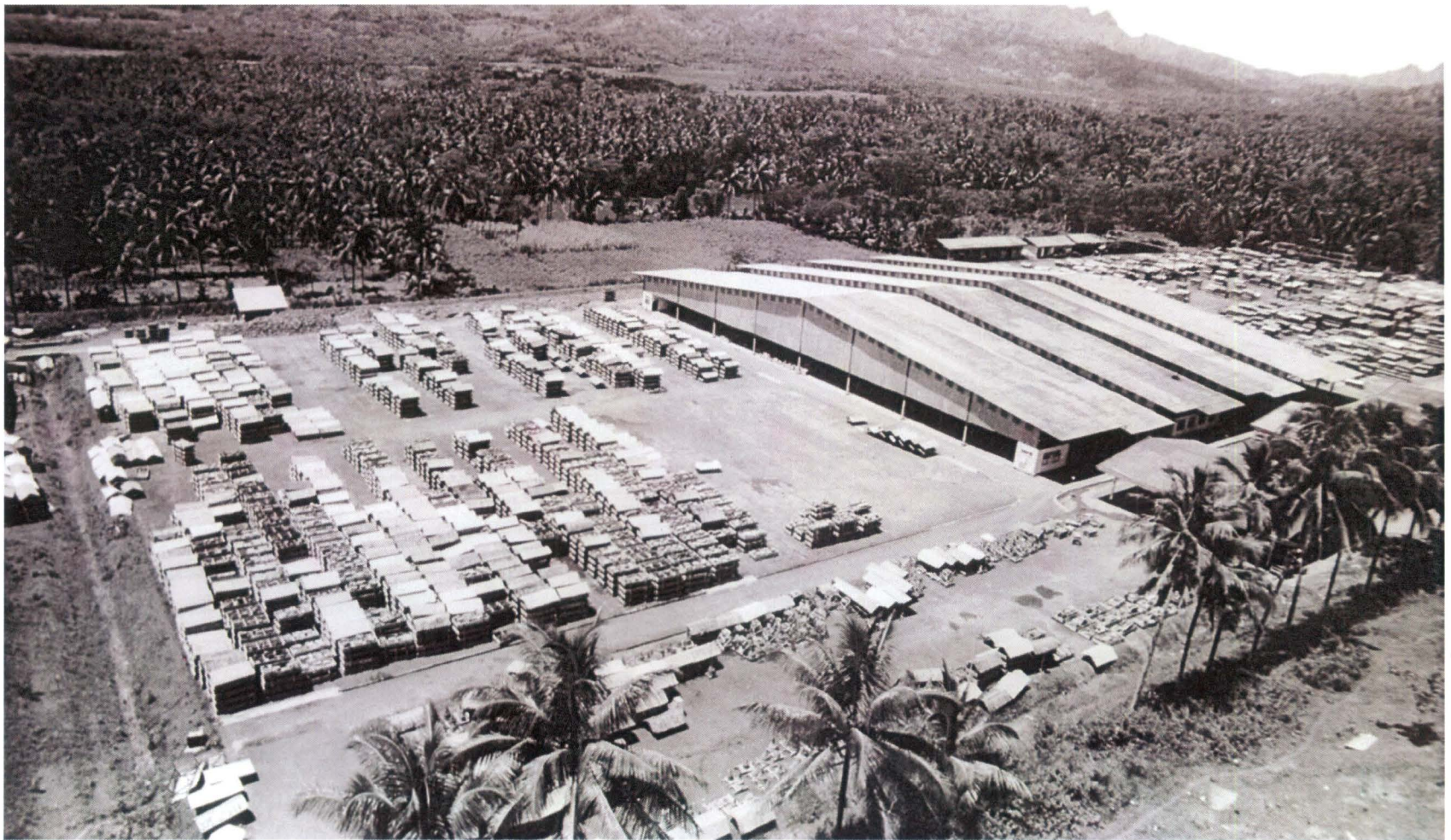
NB. Prosentase (%) populasi pertumbuhan mikrobia didasarkan pada satuan luas bidang yang diamati

Gambar 5. Petunjuk survei populasi pertumbuhan mikrobia

Diagnosis Permasalahan Teknis

Kegiatan ini merupakan salah satu tahap penting yang pada dasarnya dilakukan untuk memberikan “resep” dalam menentukan seluruh rangkaian langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam perawatan batuan Candi Borobudur. Diagnosis ini dilakukan pada Kartu

Perlakuan (*treatment card*) yang mengikuti *pallet* semenjak batu-batu tersebut dibongkar dari candi terus dimasukkan ke dalam *pallet*, kemudian diturunkan melalui *tower crane* dan diturunkan dengan *gantry crane* untuk dikirim ke *buffer storage*. Di *buffer storage*, yang merupakan tempat penampungan sementara, *pallet-pallet* batu tersebut menunggu antri untuk



Area buffer storage, workshop dan final storage (dari kiri ke kanan).

Diagnosis Permasalahan Teknis

Kegiatan ini merupakan salah satu tahap penting yang pada dasarnya dilakukan untuk memberikan “resep” dalam menentukan seluruh rangkaian langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam perawatan batuan Candi Borobudur. Diagnosis ini dilakukan pada Kartu

Perlakuan (*treatment card*) yang mengikuti *pallet* semenjak batu-batu tersebut dibongkar dari candi terus dimasukkan ke dalam *pallet*, kemudian diturunkan melalui *tower crane* dan diturunkan dengan *gantry crane* untuk dikirim ke *buffer storage*. Di *buffer storage*, yang merupakan tempat penampungan sementara, *pallet-pallet* batu tersebut menunggu antri untuk



Area buffer storage, workshop dan final storage (dari kiri ke kanan).



Pertumbuhan lichens

Komposisi bahan tersebut terdiri atas:

Dalam pelaksanaannya, campuran bahan tersebut ditambah dengan tanah liat (*clay*) yang telah disaring sebelumnya. Aplikasi bahan dilakukan dengan kuas pada pertumbuhan lumut kerak (*lichens*) setebal sekitar 0,5 cm – 1,0 cm dan dibiarkan selama sekitar 24 jam, kemudian esok harinya dibersihkan semaksimal mungkin. Jika ternyata masih ada sisa pertumbuhan jasad tersebut, maka pengolesan bahan diulangi dua atau tiga kali, dengan perlakuan yang sama. Pembersihan terakhir dicek sampai pH air pembersihan terakhir netral untuk menjamin bahwa pembersihan terakhir sudah bebas dari sisa bahan kimia. Mengingat daya cengkram lichens tersebut sangat kuat, maka dalam pembersihan dibantu dengan alat bantu mekanis seperti halnya stik bambu atau lidi, secara ekstra hati-hati agar tidak melukai batunya.

Tahap berikutnya adalah pengecekan kondisi penggaraman. Penggaraman pada

dasarnya mengandung silikat dan karbonat, yang sudah lama terendapkan pada umumnya sulit dibersihkan dengan cara manual saja. Apabila dirasa keberadaannya mengganggu secara estetis, maka endapan garam tersebut dipertipis secara mekanis menggunakan bor gigi (*dental drill*) secara ekstra hati-hati agar tidak menimbulkan tambahan kerusakan.

Pengeringan

Setelah batu-batu dalam *pallet* tersebut selesai dibersihkan secara tuntas, maka tahap



Ruang pengeringan



Pertumbuhan lichens

Komposisi bahan tersebut terdiri atas:

Dalam pelaksanaannya, campuran bahan tersebut ditambah dengan tanah liat (*clay*) yang telah disaring sebelumnya. Aplikasi bahan dilakukan dengan kuas pada pertumbuhan lumut kerak (*lichens*) setebal sekitar 0,5 cm – 1,0 cm dan dibiarkan selama sekitar 24 jam, kemudian esok harinya dibersihkan semaksimal mungkin. Jika ternyata masih ada sisa pertumbuhan jasad tersebut, maka pengolesan bahan diulangi dua atau tiga kali, dengan perlakuan yang sama. Pembersihan terakhir dicek sampai pH air pembersihan terakhir netral untuk menjamin bahwa pembersihan terakhir sudah bebas dari sisa bahan kimia. Mengingat daya cengkram lichens tersebut sangat kuat, maka dalam pembersihan dibantu dengan alat bantu mekanis seperti halnya stik bambu atau lidi, secara ekstra hati-hati agar tidak melukai batunya.

Tahap berikutnya adalah pengecekan kondisi penggaraman. Penggaraman pada

dasarnya mengandung silikat dan karbonat, yang sudah lama terendapkan pada umumnya sulit dibersihkan dengan cara manual saja. Apabila dirasa keberadaannya mengganggu secara estetis, maka endapan garam tersebut dipertipis secara mekanis menggunakan bor gigi (*dental drill*) secara ekstra hati-hati agar tidak menimbulkan tambahan kerusakan.

Pengeringan

Setelah batu-batu dalam *pallet* tersebut selesai dibersihkan secara tuntas, maka tahap



Ruang pengeringan

disertai kamufase atau penyelarasan warna, Sedangkan untuk kasus-kasus pecahan sedang dan besar disertai dengan tindakan kamufase. Kamufase dilakukan dengan menggunakan mortar bubukan batu sejenis, kemudian menjelang masa mengental (*pot life*) nya berakhir ditaburi dengan bubukan batu sejenis agar diperoleh keselarasan warna dengan batu aslinya dan dibiarkan kering secara natural.

Pengawetan

Pengawetan dilakukan terhadap seluruh batu yang sudah dibersihkan dan sudah diperbaiki, dan kondisinya telah kering. Tujuan utamanya adalah untuk menghambat pertumbuhan kembali berbagai jenis jasad renik. Bahan yang digunakan adalah jenis Algicide Proven atau Quat, kadar 1-3%. Aplikasi bahan dilakukan dengan alat penyemprot bertekanan (*sprayer*) terhadap seluruh permukaan batu dengan dosis 2 liter/m².

Penampungan Terakhir

Tahap selanjutnya seluruh batu-batu yang sudah diawetkan dikirim ke gudang penampungan terakhir (*final storage*), tetap dalam pallet yang sama dan diberi penutup atap seng agar tidak kehujanan. Di tempat ini batu-batu tersebut siap direkonstruksi sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.



Proses pengawetan pada batuan dengan cara penyemprotan bahan penghambat pertumbuhan organisme

disertai kamuflase atau penyesuaian warna, Sedangkan untuk kasus-kasus pecahan sedang dan besar disertai dengan tindakan kamuflase. Kamuflase dilakukan dengan menggunakan mortar bubukan batu sejenis, kemudian menjelang masa mengental (*pot life*) nya berakhir ditaburi dengan bubukan batu sejenis agar diperoleh keselarasan warna dengan batu aslinya dan dibiarkan kering secara natural.

Pengawetan

Pengawetan dilakukan terhadap seluruh batu yang sudah dibersihkan dan sudah diperbaiki, dan kondisinya telah kering. Tujuan utamanya adalah untuk menghambat pertumbuhan kembali berbagai jenis jasad renik. Bahan yang digunakan adalah jenis Algicide Proven atau Quat, kadar 1-3%. Aplikasi bahan dilakukan dengan alat penyemprot bertekanan (*sprayer*) terhadap seluruh permukaan batu dengan dosis 2 liter/m².

Penampungan Terakhir

Tahap selanjutnya seluruh batu-batu yang sudah diawetkan dikirim ke gudang penampungan terakhir (*final storage*), tetap dalam pallet yang sama dan diberi penutup atap seng agar tidak kehujanan. Di tempat ini batu-batu tersebut siap direkonstruksi sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.



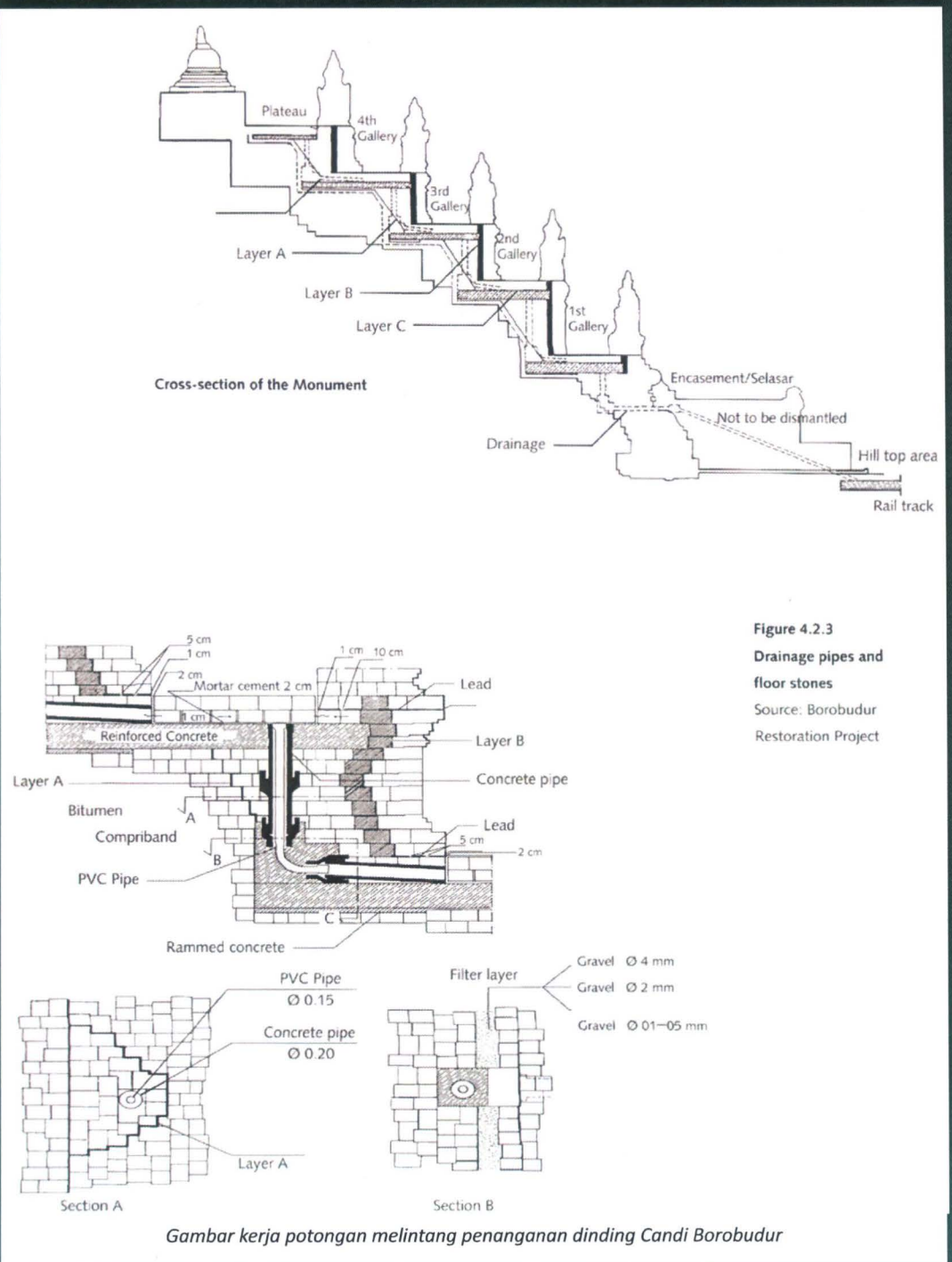
Proses pengawetan pada batuan dengan cara penyemprotan bahan penghambat pertumbuhan organisme

terhadap vegetasi yang ada di lingkungan Candi Borobudur (Fourth International Experts Meeting on Borobudur, 2005).

Namun demikian disadari sepenuhnya bahwa upaya penanganan konservasi yang telah dilakukan terhadap Candi Borobudur tidak akan bisa menghentikan secara total terhadap gejala pelapukan yang terjadi, tetapi lebih bersifat menghambat. Hal ini mengingat kondisi Candi Borobudur yang terletak di lapangan terbuka, sehingga efektifitas bahan yang digunakan secara bertahap akan mengalami penurunan dan pada suatu saat tidak efektif lagi. Sehingga dengan demikian perawatan periodik tetap diperlukan seiring dengan eksistensi Borobudur. Semoga berbagai upaya konservasi yang telah dilakukan akan mendukung bertahannya Borobudur untuk 1.000 tahun lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1972. *Preserving and Restoring Monuments and Historic Building*. Paris: UNESCO.
- Anonim. 2005. *The Restoration of Borobudur*. Paris: UNESCO.
- Anonim. 2005. *International Experts Meeting on Borobudur*. Jakarta: Directorate General of Culture, Ministry of Education and Culture.
- Hartadi, Sri & Yutono. 1973. *Report on the Biodeterioration Processes of Borobudur Stones (A Study of the Biological Factors)*. Jakarta: Proyek Pelita Restorasi Candi Borobudur Departemen Pendidikan dan



terhadap vegetasi yang ada di lingkungan Candi Borobudur (Fourth International Experts Meeting on Borobudur, 2005).

Namun demikian disadari sepenuhnya bahwa upaya penanganan konservasi yang telah dilakukan terhadap Candi Borobudur tidak akan bisa menghentikan secara total terhadap gejala pelapukan yang terjadi, tetapi lebih bersifat menghambat. Hal ini mengingat kondisi Candi Borobudur yang terletak di lapangan terbuka, sehingga efektifitas bahan yang digunakan secara bertahap akan mengalami penurunan dan pada suatu saat tidak efektif lagi. Sehingga dengan demikian perawatan periodik tetap diperlukan seiring dengan eksistensi Borobudur. Semoga berbagai upaya konservasi yang telah dilakukan akan mendukung bertahannya Borobudur untuk 1.000 tahun lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1972. *Preserving and Restoring Monuments and Historic Building*. Paris: UNESCO.
- Anonim. 2005. *The Restoration of Borobudur*. Paris: UNESCO.
- Anonim. 2005. *International Experts Meeting on Borobudur*. Jakarta: Directorate General of Culture, Ministry of Education and Culture.
- Hartadi, Sri & Yutono. 1973. *Report on the Biodeterioration Processes of Borobudur Stones (A Study of the Biological Factors)*. Jakarta: Proyek Pelita Restorasi Candi Borobudur Departemen Pendidikan dan

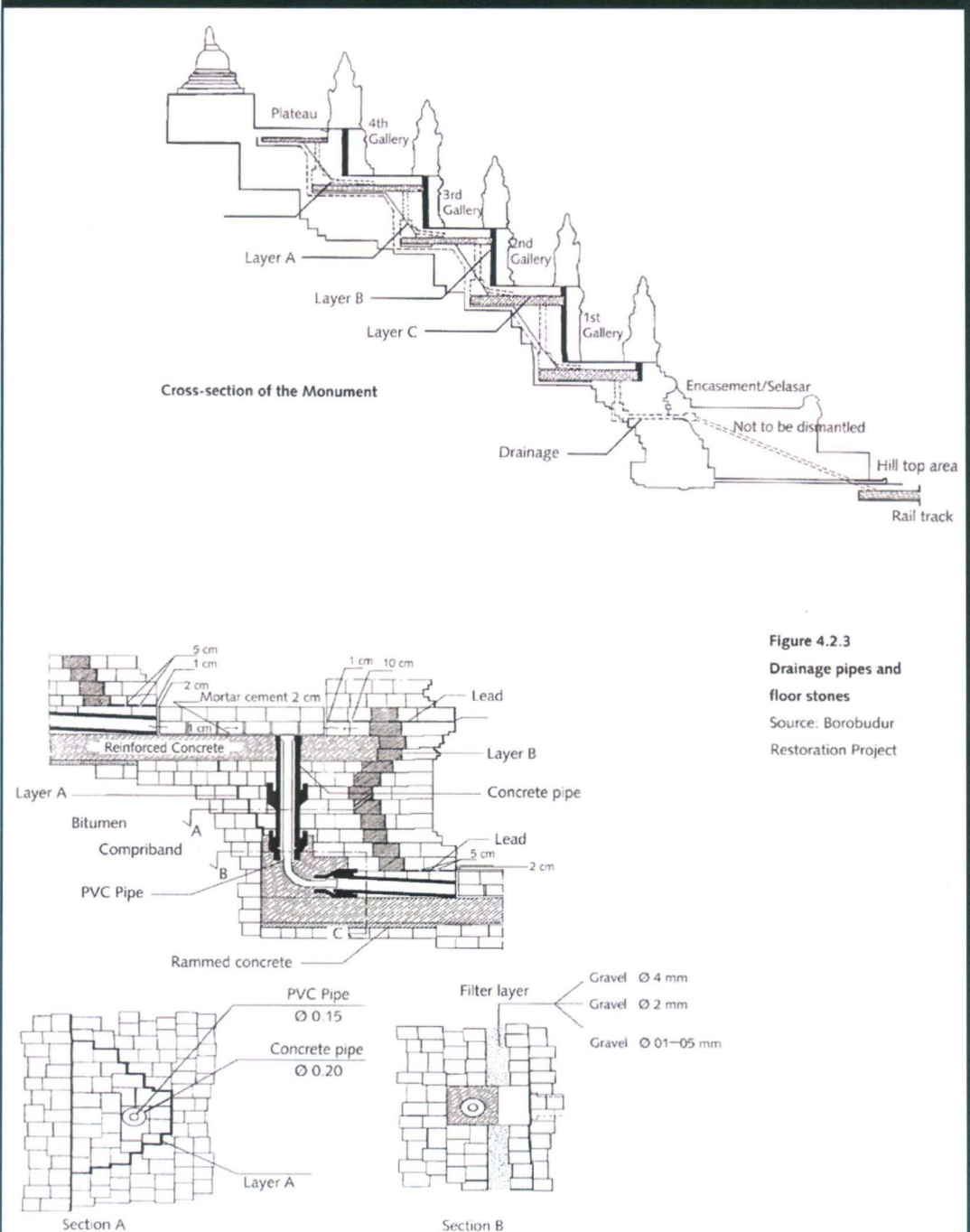


Figure 4.2.3
Drainage pipes and
floor stones
Source: Borobudur
Restoration Project

Gambar kerja potongan melintang penanganan dinding Candi Borobudur

Lampiran 1

REKRUITMEN TENAGA TEKNIS KONSERVASI
PROYEK PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR,
DITJEN KEBUDAYAAN

No.	Nama Tenaga Teknis	Keterangan
ANGKATAN I		
1.	Subyantoro	PNS-pensiun
2.	Samidi	PNS-meninggal dunia
3.	Dukut Santoso	PNS-pensiun
4.	Sunarto	PNS-pensiun
5.	Hemandaru	PNS-penisun
6.	Bambang Srigati	PNS-pensiun
7.	Rame Wiyono	Belum sempat diangkat meninggal dunia-kecelakaan
8.	Subagyo Raharjo	PNS-pensiun
9.	Bambang Margono	Pindah kerja
10.	Partoyo	Pindah kerja
ANGKATAN II		
1.	Aris Munandar	PNS-pensiun
2.	Widiyono	Pindah kerja
3.	Sudibyo	PNS-pensiun
4.	Sumpyuh	PNS-pensiun
5.	Supandriyono	PNS-pensiun
6.	Parwoto	PNS-pensiun
7.	Wiwik Widodo	PNS-pensiun
8.	Lukito	PNS-pensiun
9.	Bambang Supriyanto	Pindah kerja
10.	Supriyono	PNS-pensiun
ANGKATAN III		
1.	Suhardi A	PNS-pensiun
2.	Suparno	PNS-pensiun
3.	Suhardi B	PNS-pensiun
4.	Hubertus Sadirin	PNS-pensiun
5.	Hersad Sumedi	Pindah kerja
6.	Nuatmadi	PNS-pensiun
7.	Wahyuditomo	PNS-pensiun
8.	Sutomo	PNS-pensiun
9.	Bardiyono	PNS-penisun
10.	Djaswadi	PNS-pensiun/meninggal
11.	Sulihanto	PNS-pensiun
12.	Kukuh	PNS-pensiun
13.	Suyud Winarno	PNS-mutasi
14.	Tom Hayadi	PNS-pensiun
15.	Bambang Sugeng	PNS-pensiun
16.	Budi Muji Susiatno	Pindah kerja

No.	Nama Tenaga Teknis	Keterangan
17.	Prasetyo	PNS-pensiun
18.	Budi Rahayu	PNS-pensiun
19.	FX. Sudarisman	PNS-penisun
ANGKATAN IV		
1.	Bambang Sriwyatno	Pindah kerja
2.	Stephanus Supriyatno	Pindah kerja
3.	Suhartono	Pindah kerja
4.	Sri Miswanto	Pindah kerja
5.	Teguh Priyanto	Pindah kerja
6.	Gunardi	Pindah kerja
7.	Yos Mujiharjo	Pindah kerja
8.	Susanto	PNS-pensiun
9.	S. Mujiyono	Pindah kerja
10.	Rudi Rahmadi	Pindah kerja
11.	Aloysius Santoso	PNS-pensiun
12.	Stepahnus Sumardi	PNS-pensiun
13.	Antonius Sumarsito	PNS-pensiun
14.	Fatcturoddin	PNS-pensiun
15.	Tukirno	PNS-pensiun
16.	Amir Syarifudin	PNS-meninggal dunia
17.	Edi Haryanto	Pindah kerja
18.	Tri Kuncoro	Pindah kerja

Lampiran 2

DAFTAR PERALATAN PENUNJANG DIAGNOSTIK KONSERVASI
PROYEK PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

No.	Nama Alat	Fungsi
Unit Analisa Fisik/Petrografi		
1.	Universal Testing Machine	Pengujian Kuat Tekan, lentur, dan daya geser
2.	Porosimeter	Untuk mengetahui poristas bahan bangunan
3.	Skala Mohs	Untuk mengahitui tingkat kekerasan
4.	Standar Soil Tester	Penelitian jenis tanah
5.	Scanning Electronic Microscope	Analisa morfologi, dan komposisi dengan tingkat perbesaran tinggi
6.	Accelerated Ageing Test	Pengujian penuaan bahan perbaikan
7.	Mikroskop Polarisasi	Analisa mineral bahan
8.	Mikroskop Stereo	Pengamatan morfologi benda
9.	Oven	Sterilisasi
10.	Thermohyrometer	Pengukur suhu dan kelembaban udara
Unit Analisa Kimia		
1.	Flame Photometer	Untuk analisa unsur organik/non organik
2.	Spectrophotometer	Analisa unsur
3.	Titrimetri	Untuk analisa kualitatif dan kuantitatif
4.	Muffle furnace	Peleburan bahan
5.	Digital Balance	Penimbangan mikro
6.	Thin Layer Chromatografi	Untuk analisa organik
7.	pH Meter	Pengukuran alkalinitas larutan
8.	Turbidimeter	Pengukur tingkat kekeruhan
9.	Hot Plate Magnetic Stirer	Pelarutan bahan
10.	Demineralizer water	Pembuatan air bebas mineral
Unit Analisa Mikrobiologi		
1.	Colony Counter	Penghitungan populasi jasad bakteri
2.	Digital Balance	Penimbangan mikro
3.	Autoclave	Sterilisasi media
4.	Oven	Sterilisasi
5.	pH Meter	Pengukuran alkalinitas larutan
6.	Mikroskop Stereo	Analisa morfologi jasad
7.	Mikroskop Binokuler	Determinasi jasad renik
8.	Climatic Chamber	Pengujian penuaan
9.	Thin Section	Sayatan sampel
10.	Centrifuge	Analisa mikrobiologi

Lampiran 3

DAFTAR BAHAN PEREKAT YANG TELAH DITELITI PROYEK PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

No.	Nama Bahan	Komposisi		Waktu kering	Jenis pengujian	Hasil Pengujian
		resin	hardener			
1.	Akemi Normal	100	3	40 menit	Penyambungan Pengisian Penyambungan dgn angkur	Baik Baik baik
2.	Akemi Extra	100	3	15 menit	penyambungan	Baik
3.	Akemi Universal	100	3	1 jam	sda	sda
4.	Sinmast P 203	3	1	5 jam	Penyambungan Pengisian Penyambungan dgn angkur	Baik Baik -
5.	Araldit AW 106/953	1	0,8	8 jam	Penyambungan Penyambungan dgn angkur	Bahan retak Batu retak
6.	Araldite XB2697	2	0,66	7 jam	penyambungan	baik
7.	Araldit GY 257	100	18	3 jam	Penyambungan Penyambungan dgn angkur	Baik Baik
8.	Epasfil PT 521 SL	3	1	9 jam	Penyambungan Penyambungan dgn angkur	Baik Baik
9.	Davis Fuller 614	4	1	4 jam	Penyambungan Pengisian Penyambungan dgn angkur	Baik Baik Baik
10.	Davis Fuller 609	1	1	5 jam	Pengisian	Baik
11.	Instant Resiweld	1	1	13 menit	Penyambungan Pengisian	Baik Baik
12.	Durox	147	53	14 jam	Penyambungan Penyambungan dgn angkur	Bahan retak Batu retak

Lampiran 4

DAFTAR PESTISIDA YANG TELAH DITELITI PROYEK PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

No.	Nama Bahan	Kadar Penggunaan	Metode Aplikasi	Wktu Kontak	Hasil Pengujian
1.	AC 322	-	Kuas dgn ketebalan 0,5-1 cm	24 jam	Sangat efektif untuk pembersihan lumut kerak
2.	Benzalkon	1 - 10%	Pengolesan dengan kuas	5-48 jam	Tidak begitu efektif
3.	Curitan	0,5-1,0 permil	sda	-	-
4.	Formol	1 - 10%	sda	5-48 jam	Efektif untuk ganggang
5.	Hyavar X	1 - 2%	sda	1-6 jam	Efektif untuk lumut
6.	Karmex	1 - 5%	sda	1-6 jam	Sedikit berpengaruh pada lumut
7.	Muslick	konsentrat	sda	6 hari	Efektif untuk lumut
8.	Nabasan	1 - 5%	sda	6 hari	sda
9.	Noranium	3 - 5%	sda	6 hari	Sedikit berpengaruh pada lichens
10.	Preventol L	1 - 10%	Dalam bentuk pasta+tanah liat	5- 8 - jam	-
11.	Preventol O extra	1 - 2 %	Pengolesan dengan kuas	6 hari	Efektif untuk lumut
12.	Preventol PN	1 - 2 %	Dalam bentuk pasta+tanah liat	6 hari	sda
13.	Preventol ON	1 - 2 %	Pengolesan dengan kuas	6 hari	sda
14.	Proven	3 - 5%	sda	7 hari	Efektif untuk lumut dan ganggang
15.	Quat	1 - 20%	sda	5-48 jam	Efektif untuk lichen putih
16.	Sodium Hydroxide	5 - 25%	sda	-	Efektif tetapi korosif
17.	S-66	0.5 - 1.0 %	sda	6 hari	Sedikit berpengaruh pada lichens
18.	Masonceal (water repellent)	ready for used	sda	2 jam	Sangat efektif untuk pengendalian ganggang dan lumut.

Sumber: The Restoration of Borobudur, 2005



KOMPUTERISASI PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

Oleh:

Mulyono Supardi

Kepala Sub Sektor Pemugaran

Proyek Restorasi Candi Borobudur

PENGANTAR

Istilah komputer bagi tenaga menengah dibawah pada awal Pemugaran Candi Borobudur sangatlah asing. Pengenalan komputer bagi tenaga pelaksana diberikan oleh VK Khandelwal dari PT IBM Indonesia, baik melalui bimbingan di kantor maupun kuliah bersama mahasiswa Fakultas Teknik UGM. Adapun materi yang diberikan adalah dasar-dasar komputer (*Electronic Computer Made Simple*), *network planning* dan *programming*. Materi *programming* diberikan oleh Pusat Komputer UGM melalui kursus, Cobol (*common business oriented language*) dan Fortran (*formula translation*).

Proses pengkomputeran data di komputer dilakukan di tiga instansi, tahun 1975 - 1977 dilakukan di PT IBM Indonesia di Jakarta. Kemudian dilanjutkan di Departemen PUTL di Kebayoran Baru Jakarta sampai Desember

1978. Proses dilanjutkan di Pusat Komputer UGM mulai Desember 1978 (setelah unit komputer terpasang) sampai dengan selesainya proyek. Khusus untuk program pengontrolan pekerjaan proyek di sesuaikan dengan jenis/tipe komputer. Pada PT IBM Indonesia dipergunakan IBM/360 dengan paket program *Project Control System* (PCS), pada Departemen PUTL dipergunakan tipe IBM/370 dengan paket program *Project and Analysis Control System* (Projacs) sedang pada Pusat Komputer Gajah Mada mempergunakan Sperry Univac/90 dengan program *Management Control System* (MCS). Sebagai data awal, pengkomputeran pengontrolan proyek dilakukan oleh Nedeco Belanda dengan mempergunakan IBM/370. Adapun pengkomputeran data Pemugaran Candi Borobudur meliputi: Pengontrolan Pekerjaan Proyek (PCS, Projacs dan MCS)

dan *Stone Registration System* (SRS). Untuk membantu pencocokan batu lepas (batu yang belum diketahui posisinya) dilakukan dengan Program Pencocokan Batu Lepas (*Matching Missing Stone/MMS*) yang meliputi kepala patung Buddha, batu antefik, dan fragmen (batu pecah).

Untuk mendapatkan laporan atau *output* yang lebih cepat dari komputer pada program SRS dengan banyaknya data yang harus diproses, maka pengiriman data dibagi menjadi 2 tahap. Tahap pertama data dari setengah bulan awal (Lot 1) dan sisanya pada akhir bulan (Lot 2). Pembongkaran batu candi pagar langkan yang berada di area bawah telah mencapai sekitar 1000 pallet sebelum proses pengkomputeran dimulai, maka data tersebut dikelompokkan dalam *backlog* yang diproses menyusul, sementara proses pengkomputeran rutin berlangsung. Data yang dikirim dalam bentuk blangko isian dan kartu *pallet* yang kemudian

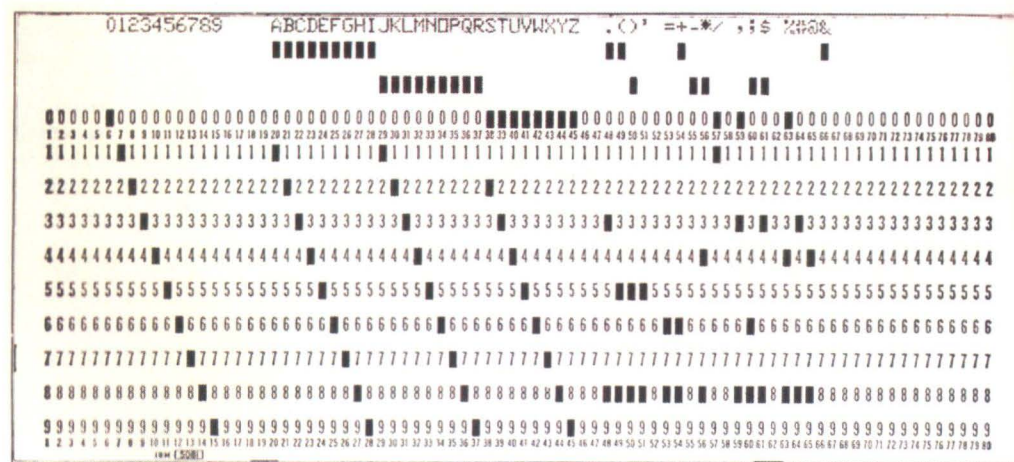
diketik pada alat *card punch* dan dihasilkan kartu berlubang "*punched card*". Dengan alat "*sorter*" *punched card* yang tidak memenuhi syarat dipisahkan, dan melalui alat pembaca "*card reader*" dihasilkan *magnetic tape/disk* untuk diproses lebih lanjut di komputer.

PENGONTROLAN PEKERJAAN PROYEK

Terdapat dua badan yang menangani pemugaran Candi Borobudur, yaitu Badan Pemugaran Candi Borobudur yang melaksanakan pekerjaan pembongkaran, konservasi dan pemasangan kembali batu candi dan Kontraktor (gabungan antara PT Nindya Karya dan Construction and Development Corporation of The Philippines/CDCP) yang melaksanakan pekerjaan teknik sipil seperti pembuatan saluran drainase, pembetonan, transportasi dan pekerjaan infrastruktur lainnya.

Teknik yang dipergunakan dalam penyusunan pengontrolan proyek ini adalah metode jalur lintasan kritis (*critical path method/ CPM*). Pada teknik ini proyek dibagi dalam beberapa aktivitas yang disusun dalam suatu rencana jaringan kerja (*network planning*). Pada Pemugaran Candi Borobudur dibagi menjadi 4 rencana jaringan kerja: Sisi Utara, Selatan, Timur dan Barat. Masing-masing rencana jaringan kerja terdiri dari aktivitas pokok :

1. Pembongkaran pagar langkan (*balustrade*): 53 aktivitas
2. Pembongkaran dinding (*mainwall*): 53



Contoh punched card: kode angka, alphabet, dan karakter spesial

aktivitas

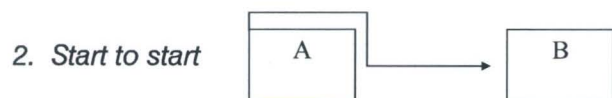
3. Pengecoran plat beton (*concrete slab*): 53 aktivitas
4. Penanganan batu dinding: 53 aktivitas
5. Penanganan batu pagar langkan (*balustrade*): 53 aktivitas
6. Pemasangan batu dinding: 53 aktivitas
7. Pemasangan batu pagar langkan: 53 aktivitas

Penyiapan Jaringan Kerja

Semua aktivitas dirangkai dalam jaringan kerja "*network planning*" dengan sistem "*precedence network*" yang didasarkan pada hubungan :



Dimulainya aktivitas B tergantung dari selesainya aktivitas A



Dimulainya aktivitas B tergantung dari dimulainya aktivitas A



Penyelesaian aktivitas B tergantung dari dimulainya aktivitas A



Penyelesaian aktivitas B tergantung dari penyelesaian aktivitas A

Lag: Sejumlah hari atau prosentase dari penyelesaian aktivitas sebagai syarat dimulainya atau diselesaikannya aktivitas berikutnya. Sebagai contoh misal pada hubungan *start to start*: Aktivitas B dapat dimulai setelah 2 hari aktivitas A dimulai, atau aktivitas B dapat dimulai setelah aktivitas A mencapai 40%.

Dalam penyusunan rencana jaringan kerja setiap aktivitas harus memuat:

- Nomor aktivitas
- Deskripsi aktivitas
- Perkiraan waktu (durasi) untuk menyelesaikan suatu aktivitas
- Jenis hubungan dengan aktivitas sebelumnya (*predecessor*) dan persyaratannya bila ada

Secara garis besar hubungan aktivitas pada rencana jaringan kerja Pemugaran Candi Borobudur adalah sebagai berikut:

Durasi

Adalah sejumlah hari kerja untuk menyelesaikan suatu aktivitas, dengan cara volume yang ada dibagi dengan kecepatan pengerjaan per hari kerja. Dalam menghitung perkiraan durasi yang diperlukan menyelesaikan suatu aktivitas dapat menggunakan *sub network*.

Hari Kerja

Dalam 1 minggu diperhitungkan 5 hari kerja, dengan rincian:

Senin – Kamis	: 4 hari kerja
Jum'at	: ½ hari kerja
Sabtu	: ½ hari kerja

Dalam 1 tahun diperhitungkan 250 hari kerja efektif

- Hari libur nasional seperti: Tahun Baru Masehi & Hijriyah, Maulud Nabi, Isro' Mi'roj, hari kemerdekaan RI, Natal, dsb.
- Sejumlah hari hujan yang diperkirakan dapat menghambat jalannya pekerjaan di lapangan.

Hal-hal yang dipertimbangkan dalam penyusunan rencana jaringan kerja:

Pertama Batu luar yang dibongkar dikembalikan lagi ke tempat semula (aslinya)

Kedua Pembongkaran batu tidak dapat dimulai dari bawah, tetapi harus dimulai dari atas ke bawah lapis demi lapis per area kerja. Tiap sisi dibagi menjadi 53 area kerja pembongkaran yang dikerjakan oleh 1 tim. Sementara pemasangan kembali dimulai dari bawah ke atas, hal ini akan menjadikan sedikit masalah dengan gudang penyimpanan batu maupun urutan pengerjaan batu di bengkel kerja.

Ketiga Kapasitas pengawetan batu di bengkel kerja adalah 16 *pallet* per hari dan

dibutuhkan waktu rata-rata sampai 15-22 hari tinggal di bengkel kerja tergantung kondisi batunya.

Keluaran atau Laporan yang Dihasilkan Komputer

Dari program PCS tersebut komputer dapat menghasilkan 15 jenis laporan, namun untuk Pemugaran Candi Borobudur hanya memerlukan 3 jenis laporan pokok secara rutin, yang memuat informasi mengenai:

1. *WI : Work Item* yaitu kode atau nomor aktivitas
2. *Description* : Keterangan/deskripsi yang berkaitan dengan kode aktivitas tersebut
3. *Early Start* : Tanggal aktivitas boleh/harus dimulai
4. *Early Finish* : Tanggal aktivitas boleh/harus diselesaikan
5. *Late Start* : Tanggal dimana aktivitas paling lambat harus dimulai
6. *Late Finish* : Tanggal dimana aktivitas paling lambat harus diselesaikan
7. *Total Float* : Sejumlah hari kerja dimana aktivitas boleh ditunda permulaan atau penyelesaian tanpa mempengaruhi penyelesaian proyek secara keseluruhan. Nilai *float* didapat dari selisih hari kerja antara *late start* dan *early start* maupun *late finish* dan *late start*
8. *Free Float* : Sejumlah hari kerja dimana suatu aktivitas dapat ditunda permulaan atau penyelesaiannya tanpa mempengaruhi

penyelesaian aktivitas berikutnya

9. *Negatif Float* : Sejumlah hari kerja di mana suatu aktivitas mengalami keterlambatan, walaupun tidak secara otomatis mengakibatkan keterlambatan penyelesaian proyek secara keseluruhan
10. *Critical Activity* : Suatu aktivitas yang apabila penyelesaiannya terlambat akan mempengaruhi penyelesaian proyek secara keseluruhan. Aktivitas kritis ini biasanya tidak mempunyai *float* atau nilai *float*-nya 0 atau mendekati 0
11. *Critical Path* : Suatu lintasan atau garis yang menghubungkan aktivitas kritis dari *Start* sampai *Finish* dari suatu jaringan kerja
12. Status aktivitas sebelumnya untuk evaluasi aktivitas yang bersangkutan

Tiga jenis laporan pokok yang secara rutin dibutuhkan pada Proyek Pemugaran Candi Borobudur:

- *Schedule/Schedule Report*

Laporan ini memberi informasi tiap-tiap aktivitas seperti durasi, waktu mulai awal dan akhir, waktu selesai awal dan akhir, pengaman waktu atau *float* serta perkembangan selesainya proyek secara keseluruhan dibanding dengan rencana awal, apakah proyek mengalami keterlambatan atau lebih maju dibanding rencana awal.

- *Work Status and Progress Report*

Laporan ini memberikan informasi lebih

IBM PROJECT CONTROL SYSTEM												
RUN DATE	9 AUG 76	**	SCHEDULE	REPORT	**	DATA DATE	31 AUG 76					
RUN SEQUENCE	0	NETWORK ID	2	CANDI BOROBUDUR - RESTORATION OF SOUTH FACE	FROM	1 JAN 74 TO	29 AUG 79					
SEQUENCE	ONG LIV 1, L 5	ORG CODE...	0001			PAGE	1					
WI	DESCRIPTION			TOT DURAT	CAL	START EARLY	LATE	START FLOAT	FINISH EARLY	LATE	FIN FLOAT	
S0000	START SOUTH FACE RESTORATION			1.0	71	25 APR 74	25 APR 74	0.0	25 APR 74	25 APR 74	0.0	
S0040	DISMANT BALUS. AREA 06-R/ GAL.5, SEC. CY			42.0	51	2 MAY 75	2 MAY 75	0.0	2 JUL 75	2 JUL 75	0.0	
S0070	DISMANT BALUS. AREA 04-M/ GAL.3, SEC. CDEFGHYZ			80.0	51	2 MAY 75	2 MAY 75	0.0	27 AUG 75	27 AUG 75	0.0	
S0080	DISMANT BALUS. AREA 03-R/ GAL.4, SEC. CDEFGHYZ			38.0	51	2 MAY 75	2 MAY 75	0.0	26 JUN 75	26 JUN 75	0.0	
S0110	DISMANT BALUS. AREA 02-L/ GAL.2, SEC. FGHZ			38.0	51	2 MAY 75	2 MAY 75	0.0	26 JUN 75	26 JUN 75	0.0	
S0120	DISMANT BALUS. AREA 02-R/ GAL.2, SEC. COEY			33.0	51	2 MAY 75	2 MAY 75	0.0	19 JUN 75	19 JUN 75	0.0	
S0130	DISMANT BALUS. AREA 01-L/ GAL.1, SEC. EF			46.0	51	2 MAY 75	2 MAY 75	0.0	8 JUL 75	8 JUL 75	0.0	
S0030	DISMANT BALUS. AREA 06-L/ GAL.5, SEC. OZ			40.0	51	6 MAY 75	6 MAY 75	0.0	2 JUL 75	2 JUL 75	0.0	
S0020	DISMANT BALUS. AREA 05-R/ GAL.5, SEC. ABC			74.0	51	21 MAY 75	21 MAY 75	0.0	5 SEP 75	5 SEP 75	0.0	
S0010	DISMANT BALUS. AREA 05-L/ GAL.5, SEC. DEF			60.0	51	23 MAY 75	23 MAY 75	0.0	18 AUG 75	18 AUG 75	0.0	
S0060	DISMANT BALUS. AREA 03-R/ GAL.4, SEC. C			38.0	51	23 MAY 75	23 MAY 75	0.0	12 JUL 75	12 JUL 75	0.0	
S0050	DISMANT BALUS. AREA 03-L/ GAL.4, SEC. H			18.0	51	16 JUN 75	16 JUN 75	0.0	9 JUL 75	9 JUL 75	0.0	
S0100	DISMANT BALUS. AREA 04-R/ GAL.3, SEC. C			42.0	51	7 JUL 75	7 JUL 75	0.0	4 SEP 75	4 SEP 75	0.0	
S0160	DISMANT & ARCH. GRS. HW 06-R/ GAL.4, SEC. CTY			29.0	51	7 JUL 75	7 JUL 75	0.0	18 AUG 75	18 AUG 75	0.0	
S0170	DISMANT & ARCH. GRS. HW 06-L/ GAL.4, SEC. DTZ			28.0	51	7 JUL 75	7 JUL 75	0.0	15 AUG 75	15 AUG 75	0.0	
S0090	DISMANT BALUS. AREA 04-L/ GAL.3, SEC. H			52.0	51	8 JUL 75	8 JUL 75	0.0	19 SEP 75	19 SEP 75	0.0	
S0270	DISMANT & ARCH. GRS. HW 01-L/ GAL.0, SEC. EYTFZ			137.0	51	9 JUL 75	9 JUL 75	0.0	27 JAN 76	27 JAN 76	0.0	
S0140	DISMANT M. WALL AREA 05-R/ GAL.4, SEC. ABC			59.0	51	9 SEP 75	9 SEP 75	0.0	10 DEC 75	10 DEC 75	0.0	
S0150	DISMANT M. WALL AREA 05-L/ GAL.4, SEC. DEF			58.0	51	9 SEP 75	9 SEP 75	0.0	10 DEC 75	10 DEC 75	0.0	
S0200	DISMANT & ARCH. GRS. HW 03-R/ GAL.3, SEC. CDEFGH			67.0	51	9 SEP 75	9 SEP 75	0.0	12 DEC 75	12 DEC 75	0.0	
S0180	DISMANT M. WALL AREA 03-R/ GAL.3, SEC. C			68.0	51	12 SEP 75	12 SEP 75	0.0	18 DEC 75	18 DEC 75	0.0	

Schedule report

IBM PROJECT CONTROL SYSTEM												
RUN DATE	9 OCT 76	** WORK STATUS AND PROGRESS **						DATA DATE 30 SEP 76				
RUN SEQUENCE	0	NETWORK ID	1	TITLE	CANDI BOROBUDUR - RESTORATION OF NORTH FACE	FROM 1 JAN 74 TO 31 DEC 80		LATEST				
SEQUENCE	WI	PAGE 1										
WI	DESCRIPTION				ORIGL DURAT	UNIT	CAL	DURAT	COMPLT	START DATE	FINISH DATE	
N0000	START NORTH FACE RESTORATION				0.0	DAY	71	0.0	100.00	A 25 APR 74	A 25 APR 74	
N0001	*** NO PWI-5 ***											
N0001	FINALISED NEDECO PROJECT DRAWINGS				50.0	DAY	51	0.0	100.00	A 20 NOV 75	A 20 NOV 75	
	PWI	N0000 DATE A 25 APR 74										
N0002	UPPR DRAINAGE WKS FOR PROTECTION OF MONUMENT				15.0	DAY	51	0.0	100.00	A 11 OCT 75	A 16 OCT 75	
	PWI	N0000 DATE A 25 APR 74										
N0010	DISMANT BALUS. AREA 05-L/ GAL.5, SEC. DEF				39.5	DAY	51	0.0	100.00	A 24 FEB 75	A 4 APR 75	
	PWI	N0000 DATE A 25 APR 74										
N0020	DISMANT BALUS. AREA 05-R/ GAL.5, SEC. ABC				39.5	DAY	51	0.0	100.00	A 24 FEB 75	A 3 APR 75	
	PWI	N0000 DATE A 25 APR 74										
N0030	DISMANT BALUS. AREA 06-L/ GAL.5, SEC. DZ				34.5	DAY	51	0.0	100.00	A 24 FEB 75	A 3 APR 75	
	PWI	N0000 DATE A 25 APR 74										
N0040	DISMANT BALUS. AREA 06-R/ GAL.5, SEC. CY				34.5	DAY	51	0.0	100.00	A 24 FEB 75	A 3 APR 75	
	PWI	N0000 DATE A 25 APR 74										
N0050	DISMANT BALUS. AREA 03-L/ GAL.4, SEC. H				33.0	DAY	51	0.0	100.00	A 17 MAR 75	A 4 APR 75	
	PWI	N0000 DATE A 25 APR 74										
N0060	DISMANT BALUS. AREA 03-R/ GAL.4, SEC. C				33.0	DAY	51	0.0	100.00	A 17 MAR 75	A 10 APR 75	
	PWI	N0000 DATE A 25 APR 74										
N0070	DISMANT BALUS. AREA 04-M/ GAL.3, SEC. CDEFGHYZ				30.0	DAY	51	0.0	100.00	A 4 DEC 74	A 13 FEB 75	
	PWI	N0000 DATE A 25 APR 74										

Work status and progress report

detil dari pada *schedule report*, yaitu setiap aktivitas dicantumkan status aktivitas sebelumnya. Dengan demikian dapat menelaah lebih jauh seandainya terdapat keterlambatan. Laporan ini cocok untuk teknisilapangandalammengambilkebijakan seandainya ada hal menyimpang.

- *Milestone Report*

Laporan ini hanya memuat aktivitas pokok saja yang dianggap sebagai pedoman untuk mengetahui sepiintas mengenai kondisi proyek secara keseluruhan. Laporan ini cocok untuk tingkat manajerial dan yang berkepentingan.

Di samping laporan tersebut di atas, komputer dapat memberikan laporan-laporan

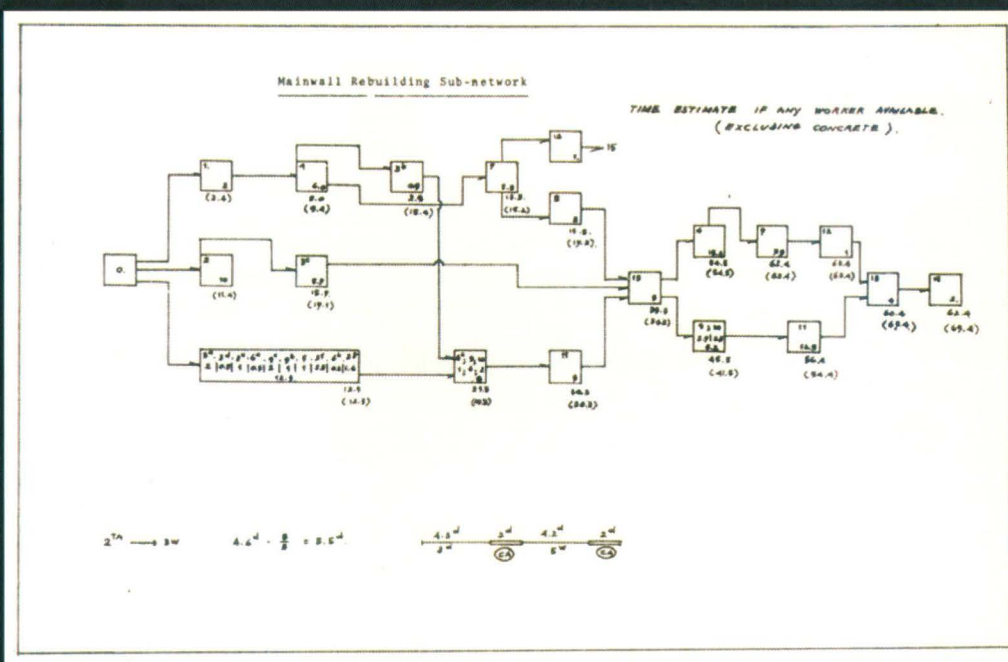
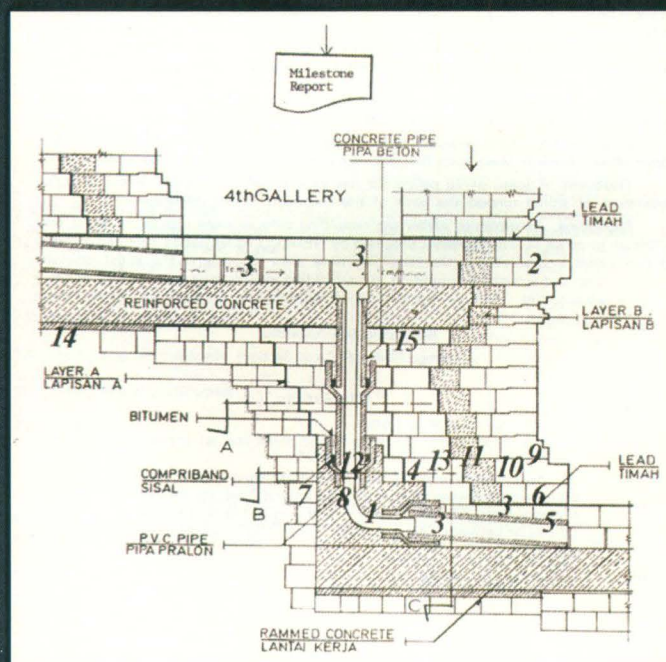
seperti *Calendar Report*, *Bar Graph Report*, *Precedence Report*, dsb.

Distribusi laporan dari masing-masing instansi:

1. Sektor Tekno Arkeologi
 - *Schedule Report*
 - *Work Status and Progress Report*
 - *Milestone Report*
2. Sektor Kemiko Arkeologi
 - *Schedule Report*
 - *Work Status and Progress Report*
 - *Milestone Report*
3. Direktoratium/CRO
 - *Schedule Report*
 - *Work Status and Progress Report*
 - *Milestone Report*
4. BPCB Jakarta
 - *Schedule Report*
 - *Work Status and Progress Report*
 - *Milestone Report*
5. Nedeco, Amersfort
 - *Milestone Report*
6. Executive Secretary
 - *Milestone Report*
7. Chairman
 - *Milestone Report*
8. Dirjen Kebudayaan
 - *Milestone Report*
9. UNESCO, Jakarta/Paris
 - *Milestone Report*
10. Consultative Committee
 - *Milestone Report*

IBM PROJECT CONTROL SYSTEM					
RUN DATE 9 FEB 76	***	M I L E S T O N E R E P O R T	***	DATA DATE 31 JAN 76	
RUN SEQUENCE 0	NETWORK ID 2	CANDI BOROBUDUR - RESTORATION OF SOUTH FACE	FROM 1 JAN 74 TO 31 OCT 78	PAGE 1	
SEQUENCE W 1					
MILESTONE DESCRIPTIONS	MI	CALC/ACTUAL	SCHEDULED	T	FLOAT REMARKS
RECEIPT OF FINALISED NEDECO PROJECT DRAWINGS	S1001	20 NOV 75 A			
FINISH DRAINAGE WK FOR PROTECTION OF MONUMENT	S1002	22 OCT 75 A			
START OF SOUTH FACE DISMANTLING (BAL 6P)	S1040	2 MAY 75 A			
START ERECTING PROTECTIVE SHEDS- SOUTH FACE	S1135	5 NOV 75 A			
START DISMANTLING SOUTH FACE MAIN WALL (6A)	S1160	7 JUL 75 A			
FINISH STAGE 1 DISMANTLING- SOUTH FACE (11)	S1274	27 JAN 76 A			
FINISH TESTING OF MATERIALS FOR CONCRETE	S1365	2 OCT 75 A			
FINISH STAGE 2 DISMANTLING- SOUTH FACE (17A)	S1440	11 MAY 76			- 173.4
ARRIVAL OF CHEMICALS FOR TREATMENT	S1502	2 FEB 76			
ARRIVAL FIRST BATCH OF ARALDITE	S1542	31 JAN 76			- 50.1
START MAKING DETAILED EXECUTION DRWS- SOUTH	S1545	2 FEB 76			- 32.0
ARRIVAL PIPES BATCH 1	S1547	15 APR 76	31 JAN 76	4	- 52.0
START REBUILDING SOUTH FACE MAIN WALL(11)	S1550	2 AUG 76			- 106.1
1ST BATCH AGGREGATE READY	S1564	2 FEB 76			- 22.8
START PREFABRICATION OF REINFORCEMENT	S1569	2 FEB 76			3.0
START POURING CONCRETE- SOUTH FACE	S1571	11 AUG 76	11 MAR 76	4	- 105.0
FINISH STAGE 3 DISMANTLING- SOUTH FACE (13A)	S1640	15 SEP 76			- 75.5
FINISH STAGE 4 DISMANTLING- SOUTH FACE (17A)	S1920	10 FEB 77			- 107.0
ARRIVAL SECOND BATCH OF ARALDITE	S1141	28 APR 76			- 50.1
ARRIVAL PIPES BATCH 2	S1147	29 JUN 76			- 93.1
2ND BATCH AGGREGATE READY	S1214	16 APR 76			15.9

Milestone report



Rebuilding Time Estimate for the Main Wall of an average
area 7m length in first gallery. Excluding Concrete Work.

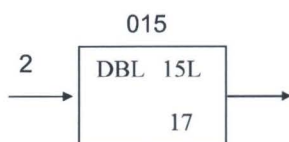
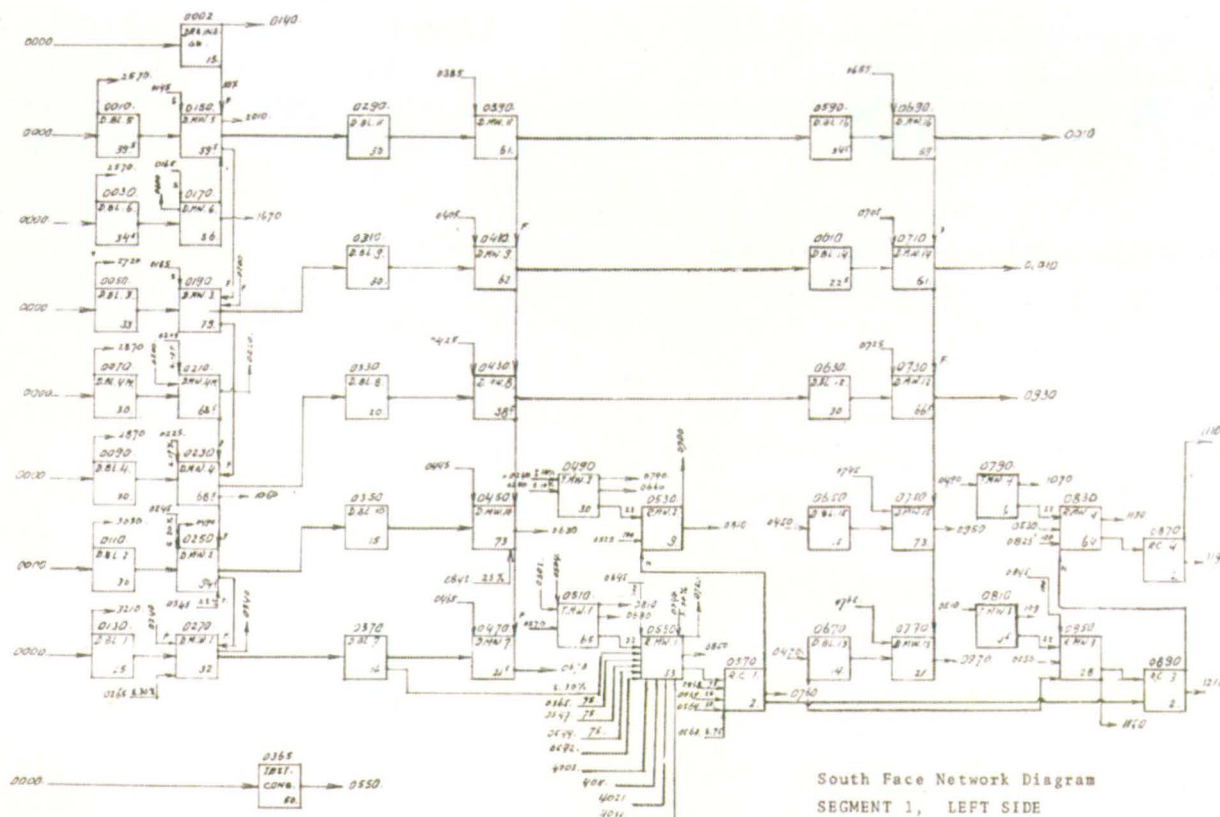
No.	Quantity	Speed	Manpower by dept.	Days	Man days	Dept. wise manpower	Department	Duration	Start	Finish
1.			Co	0.5			Co	0.5	0.0	0.5
2a.	1.26 cu.m.	1.3 cu.m./d	8 TA	1.0	8.0					
b.	1.26 cu.m.	1.95 cu.m./d	8 TA	0.6	4.8	3	TA	8.3	6.5	14.8
c.	1.26 cu.m.	0.315 cu.m./d	3 CA	4.0	12.0		CA			
3a.	1.26 cu.m.	1.95 cu.m./d	8 TA	0.6						
d.			8 TA	0.5						
e.	0.63 cu.m.	1.95 cu.m./d	8 TA	0.3						
6a.	6.30 sq.m.	15.0 sq.m./d	CO	0.4						
9a.	1.89 cu.m.	1.3 cu.m./d	8 TA	1.5	67.0	5	TA	13.4	0.0	13.4
b.	1.26 cu.m.	1.95 cu.m./d	8 TA	0.6						
5.	2.10 sq.m.	15.0 sq.m./d	8 TA	0.2						
3f.			TA	2.5						
6b.			TA	0.2						
3g.	3.15 cu.m.	1.95 cu.m./d	8 TA	1.6						
3c.	11.09 cu.m.	1.95 cu.m./d	8 TA	5.7	45.6	8	TA	5.7	27.4	33.3
4i.	1.89 cu.m.	0.315 cu.m./d	3 CA	6.0	18.0	3	CA	6.0	0.55	6.5
3b.	2.44 cu.m.	2.6 cu.m./d	8 TA	0.9	7.2	5	TA	1.4	13.4	14.8
6c.			TA	0.2						
9i.	1.89 cu.m.	1.3 cu.m./d	8 TA	1.5	21.6	8	TA	2.7	14.8	17.5
10i.	1.89 cu.m.	1.95 cu.m./d	8 TA	1.0						
11i.	1.89 cu.m.	0.315 cu.m./d	3 CA	6.0	18.0	3	CA	6.0	17.5	23.5
7i.	15.0 sq.m.	2.5 sq.m./d	8 TA	5.8	0.0	5	TA	6.0	17.5	23.5
12i.			8 TA	0.0	31.2	8	TA	3.9	23.5	27.4
8.	2.52 cu.m.	1.3 cu.m./d	Co	1.9						
13i.	2.44 cu.m.	2.6 cu.m./d	8 TA	0.9	7.2	8	TA	33.1	33.1	34.0
4f.	4.79 cu.m.	0.315 cu.m./d	3 CA	15.2	18.6	3	CA	6.2	34.0	40.2
					27.0	3	CA	9.0	53.1	62.1
7f.	20.49 cu.m.	2.6 cu.m./d	8 TA	7.9	63.0	5	TA	12.6	43.9	56.5
12f.			Co	0.5			Co	0.5	56.5	57.0
9f.	4.87 cu.m.	1.3 cu.m./d	8 TA	3.7						
10f.	4.87 cu.m.	1.95 cu.m./d	8 TA	2.5	49.5	5	TA	9.9	34.0	43.9
11f.	4.07 cu.m.	0.315 cu.m./d	3 CA	12.9	38.7	3	CA	12.9	40.2	53.1
13f.	8.04 cu.m.	2.6 cu.m./d	8 TA	3.1	25.8	5	TA	5.0	56.5	61.5
15f.	4.06 sq.m.	4.2 sq.m./d	3 CA	1.0	3.0	3	CA	1.0	61.5	62.5

Average rebuilding speed

7m ± 625 = 11.2 cu./day or

97.0 cu.m. ÷ 62.5 = 1.55 cu.m./d.

Gambar Bagian (Cuplikan) Rencana Jaringan Kerja



- 015 : nomor aktivitas (WI)
 2 : lag 2 hari dengan aktivitas sebelumnya
 DBL 15R : dismantling balustrade area 15 L
 17 : durasi yang diperkirakan 17 hari

Keterangan diskripsi aktivitas (WI):

- D BL : pembongkaran *balustrade*
 D MW : pembongkaran dinding (*mainwall*)
 T MW : *treatment* (pengawetan) batu dinding
 TBL : *treatment* (pengawetan) *balustrade*
 R MW : pemasangan kembali dinding
 R BL : pemasangan kembali *balustrade*
 C : pengecoran plat beton bertulang (*concrete*)

IBM
PROJECT CONTROL SYSTEM
CALENDAR REPORT

CANDI BOROBUDUR - RESTORATION OF SOUTH FACE

E 21

SUNDAY	MONDAY	TUESDAY	WEDNESDAY	THURSDAY	FRIDAY	SATURDAY
475 20APR75	476 21APR75	477 22APR75	478 23APR75	479 24APR75	480 25APR75	481 26APR75
482 27APR75	483 28APR75	484 29APR75	485 30APR75	486 1MAY75	487 2MAY75	488 3MAY75
489 4MAY75	490 5MAY75	491 6MAY75	492 7MAY75	493 8MAY75	494 9MAY75	495 10MAY75
496 11MAY75	497 12MAY75	498 13MAY75	499 14MAY75	500 15MAY75	501 16MAY75	502 17MAY75
503 18MAY75	504 19MAY75	505 20MAY75	506 21MAY75	507 22MAY75	508 23MAY75	509 24MAY75
510 25MAY75	511 26MAY75	512 27MAY75	513 28MAY75	514 29MAY75	515 30MAY75	516 31MAY75
517 1JUN75	518 2JUN75	519 3JUN75	520 4JUN75	521 5JUN75	522 6JUN75	523 7JUN75
524 8JUN75	525 9JUN75	526 10JUN75	527 11JUN75	528 12JUN75	529 13JUN75	530 14JUN75
531 15JUN75	532 16JUN75	533 17JUN75	534 18JUN75	535 19JUN75	536 20JUN75	537 21JUN75
538 22JUN75	539 23JUN75	540 24JUN75	541 25JUN75	542 26JUN75	543 27JUN75	544 28JUN75
545 29JUN75	546 30JUN75	547 1JUL75	548 2JUL75	549 3JUL75	550 4JUL75	551 5JUL75
552 6JUL75	553 7JUL75	554 8JUL75	555 9JUL75	556 10JUL75	557 11JUL75	558 12JUL75
559 13JUL75	560 14JUL75	561 15JUL75	562 16JUL75	563 17JUL75	564 18JUL75	565 19JUL75
566 20JUL75	567 21JUL75	568 22JUL75	569 23JUL75	570 24JUL75	571 25JUL75	572 26JUL75
573 27JUL75	574 28JUL75	575 29JUL75	576 30JUL75	577 31JUL75	578 1AUG75	579 2AUG75
580 3AUG75	581 4AUG75	582 5AUG75	583 6AUG75	584 7AUG75	585 8AUG75	586 9AUG75
587 10AUG75	588 11AUG75	589 12AUG75	590 13AUG75	591 14AUG75	592 15AUG75	593 16AUG75
594 17AUG75	595 18AUG75	596 19AUG75	597 20AUG75	598 21AUG75	599 22AUG75	600 23AUG75

IBM PROJECT CONTROL SYSTEM

RUN DATE 31 SEP 77

R A R G R A P H

DATA DATE 31 MAR 77

RUN SEQUENCE 2

NETWORK ID 2

CANDI BOROBUDUR - RESTORATION OF SOUTH FACE

FROM 1 APR 77 TO 4 JUL 75

SEQUENCE P 1

ORGANIZATION 0002

PAGE 5 PART 1

* * * * * CRITICAL DURATION, - FLOAT, N NEGATIVE FLOAT

W T	DESCRIPTION	WORK ITEM	MTWTFSS 28MAR77	MTWTFSS 11APR77	MTWTFSS 25APR77	MTWTFSS 9MAY77	MTWTFSS	MTWTFSS	MTWTFSS	MTWTFSS
5135	FACE DETAILED EXECUTION DRAWINGS, AREA 05-R	50545								
5140	REINFORCE * WALL AREA 05-R / GAL. 2, SEC. 05-R	50720								
		50840	S P	30.00	27FEB75	14.0	18JUN75	60.3		
		50980	A	22.0	20JAN75	6.5	1MAY75	57.0		
		51035	A	100.0	21MAR74	7.0	7JAN75	201.0		
		51141	A	75.0	20CT74	1.0	12FEB75	95.0		
		51144	A	75.0	24MAY74	1.0	12FEB75	186.0		
		51147	A	75.0	24MAY74	1.0	12FEB75	186.0		
		51250	TREATMT * WALL AREA 05-R / GAL. 2, SEC. 05-R							
		51250	S	0.0	1MAY74	69.5	24JUN74	12.5		
		51250	CONCRETE SLAB, AREA 05-R							
		51250	S	0.0	21MAR75	55.0	27NOV75	115.5		
		51273	TREATMT * WALL AREA 07-L / GAL. 1, SEC. 07-L							
		51273	S	0.0	15JUL74	73.0	24OCT74	0.0		
		51273	CONCRETE SLAB, AREA 07-L							
		51273	S	0.0	25FEB74	6.0	20MAR75	270.0		
		51273	CONCRETE SLAB, AREA 07-L							
		51273	S	0.0	17MAR75	2.0	5SEP75	115.5		
		51273	CONCRETE SLAB, AREA 07-L							
		51273	S	0.0	04MAY75	67.5	4NOV75	57.0		
		51273	TREATMT * WALL AREA 15-L / GAL. 0, SEC. 05-L							
		51273	S	0.0	29JAN75	21.0	26MAY75	57.0		
		51273	CONCRETE SLAB, AREA 05-R							
		51273	S	0.0	25SEP74	5.0	4FEB75	88.0		
		51273	CONCRETE SLAB, AREA 05-R							
		51273	S	0.0	11OCT74	2.0	24APR75	90.0		
		51273	CONCRETE SLAB, AREA 05-R							
		51273	S	0.0	11MAY75	33.0	21JUL75	57.0		
		51273	S	75.0	24MAY74	1.0	4APR75	220.0		
		51273	A	50.0	27MAY74	1.0	9MAY75	243.0		
		51273	A	75.0	24MAY74	1.0	3APR75	219.0		
		51273	A	25.0	27MAY74	1.0	17JUN75	249.0		

IBM PROJECT CONTROL SYSTEM

RUN DATE 23 SEP 75

PREFERENCE REPORT

DATA DATE 1 JAN 74

RUN SEQUENCE 2

NETWORK ID 2

CANDI BOROBUDUR - RESTORATION OF SOUTH FACE

FROM 1 JAN 74 TO 3 NOV 77

SEQUENCE W 1

PAGE 15

WT	DESCRIPTION	WORK ITEM	PREFERENCE	LAG	P W I	ELAPSED	P W I
				VALUE	START DATE	TIME	FINISH DATE
51035	FACE DETAILED EXECUTION DRAWINGS, AREA 05-R	50545		0.0	12MAR74	7.0	21MAY74
5140	REINFORCE * WALL AREA 05-R / GAL. 2, SEC. 05-R	50720		0.0	14MAY74	28.0	22APR75
		50840	S P	30.00	27FEB75	14.0	18JUN75
		50980	A	22.0	20JAN75	6.5	1MAY75
		51035	A	100.0	21MAR74	7.0	7JAN75
		51141	A	75.0	20CT74	1.0	12FEB75
		51144	A	75.0	24MAY74	1.0	12FEB75
		51147	A	75.0	24MAY74	1.0	12FEB75
51250	TREATMT * WALL AREA 05-L / GAL. 2, SEC. 05-L	50730	S	0.0	1MAY74	69.5	24JUN74
51250	CONCRETE SLAB, AREA 05-L	51250		0.0	21MAR75	55.0	27NOV75
51273	TREATMT * WALL AREA 07-L / GAL. 1, SEC. 07-L	50450	S	0.0	15JUL74	73.0	24OCT74
		50790		0.0	25FEB74	6.0	20MAR75
51273	CONCRETE SLAB, AREA 07-L	50740		0.0	17MAR75	2.0	5SEP75
		51220		0.0	04MAY75	67.5	4NOV75
51273	TREATMT * WALL AREA 15-L / GAL. 0, SEC. 05-L	50770	S	0.0	29JAN75	21.0	26MAY75
		50810		0.0	25SEP74	5.0	4FEB75
51100	CONCRETE SLAB, AREA 05-R	50760		0.0	11OCT74	2.0	24APR75
		51243		0.0	11MAY75	33.0	21JUL75
		51203	S	75.0	24MAY74	1.0	4APR75
		51204	A	50.0	27MAY74	1.0	9MAY75
		51209	A	75.0	24MAY74	1.0	3APR75
		51209	A	25.0	27MAY74	1.0	17JUN75

SISTEM REGISTRASI BATU

Sekitar 300.000 blok batu luar dibongkar dan untuk dipasang kembali pada tempat semula yang penanganan khusus. Blok demi blok batu setelah dibongkar dimasukkan ke dalam kotak kayu berukuran 100x200 cm yang disebut pallet. Sebelum dibongkar batu diberi nomor pallet dan nomor vak (bagian dari pallet) serta tanda hubung dengan batu di dekatnya. Setiap pallet memuat maksimal 9 blok batu untuk batu luar. Batu-batu tersebut diangkut ke gudang penampungan sementara “*buffer storage*” untuk menunggu giliran pengerjaan di bengkel kerja. Di bengkel kerja batu-batu tersebut dibersihkan dari kotoran kemudian dicuci baik secara manual (1 hari) dan kimiawi dengan AC 322 (2 hari). Setelah itu batu dikeringkan di dalam *drying chamber* (11 hari) dengan temperatur $\pm 40^{\circ}$ Celsius. Setelah kering, batu-batu dimasukkan ke bagian restorasi untuk diperbaiki (lamanya tergantung dari tingkat kerusakan batu $\pm 1-7$ hari). Jenis perbaikan antara lain pengeleman, penyambungan, pengangkuran dan bila dianggap perlu bisa juga diganti. Setelah batu selesai di ruang restorasi kemudian diawetkan (*treatment*) yang memerlukan waktu 1 hari dengan bahan Hyvar XL. Kemudian batu dikirim ke gudang penampungan akhir (*final storage*) untuk menunggu giliran dipasang kembali di monumen. Penempatan batu di gudang penampungan monumen akhir memerlukan penanganan khusus, karena pallet yang memuat batu tersebut ditumpuk 4 lapis yang sewaktu diperlukan harus dengan cepat dan

mudah mengambilnya (lihat *flow chart*).

Setiap pengerjaan batu dan perpindahan batu dari gudang satu dengan lainnya dilaporkan ke pusat registrasi atau CRO (*Central Registration Office*) secara harian. Laporan tersebut dalam bentuk blangko dan kartu. Untuk memudahkan pengerjaan dalam proses komputer blangko atau kartu diberi kode atau cc (*card code*):

- CC 11 : kartu pembongkaran (*dismantling pallet card*) yang memuat informasi mengenai batu yang dibongkar, antara lain nomor pallet, vak, lapisan, seri batu, tanggal bongkar, area bongkar dan rekonstruksi, tim pembongkar, sisi, lorong dan bidang candi
- CC 21 : kartu masuk gudang penampungan memuat informasi tanggal, nomor pallet, jumlah batu dalam pallet dan lokasi penempatan di gudang penampungan
- CC 22 : kartu keluar dari gudang penampungan memuat tanggal, nomor pallet dan jumlah batu dalam pallet
- CC 31 : kartu perintah penanganan (*treatment order card*) memuat tanggal dan perintah pengerjaan/perlakuan tiap-tiap blok batu seperti kode untuk pembersihan dan perbaikan batu serta jumlah batu tiap-tiap palletnya. Untuk pembersihan yang bersifat keharusan tidak ditulis dalam perintah tapi harus dilaporkan pada pelaksanaan, yaitu pembersihan manual, kering maupun basah serta jumlah blok batu per pallet

CC 32 :kartu pengerjaan pembersihan batu memuat tanggal pengerjaan dan kode pembersihan batu serta jumlah blok batu per pallet

CC 33 :kartu pengeringan batu di ruang pengeringan memuat tanggal dan jumlah blok batu per palletnya

CC 34 :kartu perbaikan batu memuat tanggal, jenis perbaikan dan jumlah blok batu per palletnya

CC 35 :kartu treatmen/pengawetan batu memuat tanggal dan jumlah blok batu per pallet

CC 41 :kartu masuk gudang penampungan akhir, memuat tanggal, nomor pallet, lokasi penyimpanan dan jumlah blok batu per palletnya

CC 42 :kartu keluar gudang penampungan akhir memuat tanggal dan jumlah blok batu per palletnya

CC 43 :kartu pemasangan kembali (*rebuilding*) memuat tanggal, tim pemasang dan jumlah batu per palletnya

Pallet No. 1236 B		DISMANTLING / PALLET CARD					
DATE	AREA No.	TEAM	SIDE	GALLERY	SECTION		
4-6-76	19 R	F	U	4	V2		
DATE	AREA No.	TEAM	SIDE	GALLERY	SECTION		
	26 L	B				OS	

COMPARTMENT No.	RELIEF No.	LAYER No.	SERIAL No.	REMARKS		PHOTO No.
				DISMANTLING	REBUILDING	
1		82	16	16a		
2		82	15	15a		
3		81	17	17a		
4		81	16	16a		
5		80	17	17a	→ 17a replasing	
6		80	18	18a		
7		80	19	19a		
8		80	20	20a		

BADAN
PROYEK PELITA

PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

DAILY BUFFER STORAGE CHECK-IN REPORT

CC: 21

TANGGAL 14-6-76

No SERI	No PALLET	JML BATU	LOKASI
1	1 1 2 8 3	0 4	1 5 4 1
2	1 1 2 8 4	0 4	1 5 4 2
3	1 5 2 4 2	0 5	4 0 6 1 2
4	1 7 2 1 6	0 6	8 0 6 1 2
5	0 1 3 9 3	1 4	4 0 2 0 2
6	2 0 8 5 3	0 9	4 2 4 2 4
7	2 2 2 4 3	0 8	2 2 4 4
8	2 2 2 4 7	0 6	2 3 4 2
9	2 2 2 4 1	0 6	2 3 4 1
10	2 6 1 2 5	0 8	4 0 8 1 4
11	2 6 1 1 2	0 5	4 0 7 1 2
12	2 6 1 1 0	0 3	4 0 2 1 1
13	2 5 7 4 3	0 6	4 1 2 3 4
14	2 5 7 4 5	0 5	4 1 2 3 3
15	2 5 7 4 4	0 4	4 1 2 3 2

No SERI	No PALLET	JML BATU	LOKASI
16	2 4 1 8 1	0 6	1 7 2 1
17	2 3 7 3 5	0 7	8 0 4 3 2
18	2 3 7 3 4	0 4	8 0 4 3 1
19	2 2 2 4 5	0 7	2 3 4 3
20	0 3 8 2 9	0 7	8 2 6 4 1
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

No SERI	No PALLET	JML BATU	LOKASI
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			

PALLETS : 20

CARDS : 4

HASH : 396.865

Petunjuk untuk pengisian Formair

1. Laporan ini ditulis tiap hari.
2. Semua pallet siap untuk dimasukkan ke Buffer Storage.
3. Berikan nomor pallet yang masuk ke Buffer Storage.
4. Berikan jumlah batu dalam satu pallet.
5. Berikan lokasi di Buffer Storage.

TANDA TANGAN

BADAN
PROYEK PELITA

PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

DAILY BUFFER STORAGE CHEK-OUT REPORT

CC: 22

TANGGAL 15-6-76

No SERI	No PALLET	JUMLAH BATU
1	0 3 8 8 7	0 7
2	0 3 8 8 8	0 6
3	2 3 6 7 5	0 8
4	2 3 6 7 6	0 8
5	2 3 1 7 6	0 8
6	2 3 1 7 7	0 9
7	2 3 1 7 9	0 8
8	2 3 1 8 0	0 7
9	2 3 1 8 1	0 8

No SERI	No PALLET	JUMLAH BATU
10	2 3 1 8 2	0 4
11	2 3 1 8 3	0 8
12	2 3 1 8 4	0 9
13	2 3 1 7 8	0 4
14		
15		
16		
17		
18		

No SERI	No PALLET	JUMLAH BATU
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		

PALLETS : 13

CARDS : 2

HASH : 263 746

Petunjuk untuk pengisian Formair

1. Laporan ini ditulis tiap hari.
2. Semua pallet siap untuk dimasukkan ke ruang Cleaning.
3. Berikan nomor pallet yang keluar dari Buffer Storage.
4. Berikan jumlah batu dalam satu pallet.

TANDA TANGAN

S A D A N
PROYEK PELITA PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

DAILY FINAL STORAGE CHECK-IN REPORT

CC: 41

TANGGAL 26-06-96

No SERI	No PALLET	JML BATU	LOKASI
1	0 0 2 4 3	0 5	0 1 2 L 3
2	0 0 2 4 5	1 5	0 1 2 L 2
3	0 0 2 4 6	1 3	0 1 2 L 1
4	0 1 3 2 3	0 5	0 1 2 A 4
5	0 1 3 2 5	0 3	0 1 2 A 3
6	0 1 3 2 7	3 0	0 1 2 A 2
7	0 1 3 2 8	3 0	0 1 2 A 1
8	0 3 8 2 3	0 9	0 4 2 K 4
9	0 3 8 2 4	0 8	0 4 2 K 3
10	0 3 8 2 5	0 2	0 4 2 K 2
11	2 2 0 4 2	0 3	0 5 5 E 4
12			
13			
14			
15			

PALLETS : 11

CARDS : 3

HASH : 45.931

Petunjuk untuk pengisian Formulasi

1. Laporan ini ditulis tiap hari.
2. Berilah nomor pallet yang masuk Final Storage, dengan 5 angka saja mis.: 14087.
3. Berilah jumlah batu dalam satu pallet dengan 2 angka mis.: 03, 06, 10, dsb.
4. Lokasi code dengan s.d.a. s mis.: 05A44, 06SC2, 10SD1 dsb.
5. Keterangan yang diberikan harus betul, bila terdapat keterangan yang salah akan menyebabkan laporan yang diberikan oleh komputer akan salah.

TANDA TANGAN

S A D A N
PROYEK PELITA PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

DAILY REBUILDING REPORT

CC: 43

TANGGAL 14-06-96

NOMER SERI	No PALLET	TEAM
1	1 2 5 5 5	B B
2	1 2 5 2 6	B B
3	1 2 5 5 5	B B
4	0 1 3 5 1	D D
5	2 2 5 6 2	B B
6	2 2 5 2 5	B B
7	2 2 5 2 6	B B
8	2 2 5 2 7	B B
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

PALLETS : 8

CARDS : 8

HASH : 163.807

Petunjuk untuk pengisian Formulasi

1. Laporan ini ditulis tiap hari.
2. Berilah nomor pallet yang telah dibangun dengan 5 angka saja mis.: 15835 dsb.
3. Berilah team rebuilding dengan 2 huruf, mis.: AA, BB dsb.
4. Keterangan yang diberikan harus betul, bila terdapat keterangan yang salah akan menyebabkan laporan yang diberikan oleh komputer akan salah.

TANDA TANGAN

S A D A N
PROYEK PELITA PEMUGARAN CANDI BOROBUDUR

DAILY FINAL STORAGE CHECK-OUT REPORT

CC: 42

TANGGAL 23-06-96

No SERI	No PALLET	JUMLAH BATU
1	0 3 8 5 1	0 3
2	0 3 8 5 0	0 4
3	0 3 8 4 9	0 4
4	0 3 8 4 8	0 4
5	0 3 8 4 7	0 4
6	0 3 8 4 6	0 5
7	0 3 8 4 5	0 4
8	0 3 8 4 4	0 4
9		

PALLETS : 8

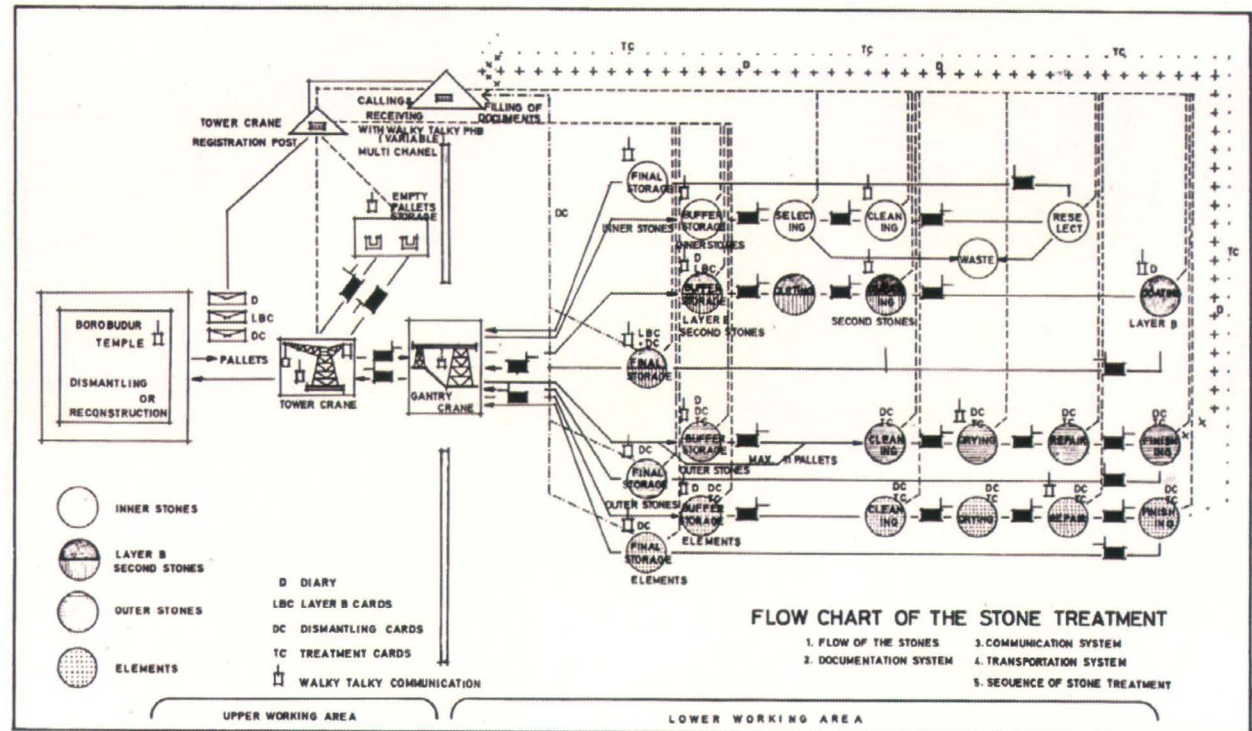
CARDS : 1

HASH : 38.780

Petunjuk pengisian Formulasi

1. Laporan ini ditulis tiap hari.
2. Semua pallet siap untuk rebuilding.
3. Berilah nomor pallet yang keluar dari Final Storage dengan 5 angka saja mis.: 14087.
4. Berilah jumlah batu dalam satu pallet dengan 2 angka mis.: 03, 06, 10 dsb.
5. Keterangan yang diberikan harus betul, bila terdapat keterangan yang salah akan menyebabkan laporan yang diberikan oleh komputer akan salah.

TANDA TANGAN



Keluaran atau Output Komputer

Hasil laporan yang didapat dari komputer dinyatakan dengan kode:

BDR 010 : *Transaction to tape report* memuat laporan yang masuk untuk diproses

BDR 020 : *Edit transaction file report* memuat masukan data setelah diedit dengan *master file* bulan yang lalu dan kode kesalahan yang ditemukan komputer seperti dobel/duplikat nomor pallet, kesalahan penulisan/pengetikan nomor pallet, bidang

candi, nomor lapisan seri atau sisi candi, dsb. Semua nomor pallet yang yang memuat data salah ditolak.

BDR030 : *Update master file report* memuat data yang diupdate dengan *master file* bulan lalu (M II).

BDR 040 : *Outer stone dismantling report* memuat data hasil pembongkaran selama 1 bulan laporan.

BDR050 : *Outer stone rebuilding report* memuat data pemasangan kembali selama 1 bulan.

BDR060 : *Pallet movement report* memuat


```

#R0020                                JEN STONE REGISTRATION SYSTEM                                PAGE 024
                                R E G I S T R A T I O N   P R O J E C T
RUN DATE 07-07-76                                EOLY TRANSACTION FILE PRINT                                REPORT DATE 30-06-76

123371118080676198F UAAL J1      26LB 378078078078078078078078
12337211108067611A2324
123381118040676198F UAAT      26LB 379079079079079079079079
1233921104050761782123
123401118100676198F UAAL J1      26LB 378078078078078078078078
123411118070676198F UAAL J2      26LB 379079079079079079079079
1234201107590761742234
123431118120676198F UAAL J1      26LB 378078078078078078078078
123441118070676198F UAAL J2      26LB 379079079079079079079079
1234521107040761382372
1234611118110676198F UAAL J1      26LB 377077077077077077077
12347011106761747524
123481118070676198F UAAL J2      26LB 379079079079079079079079
1234921107040761747321
1235011118110676198F UAAL J1      26LB 377077077077077077077
12351211106761082621
1235211181080676198F UAAL J2      26LB 378078078078078078078078
123531110806761382323
123541118120676198F UAAL J1      26LB 377077077077077077077
1235511106761382623
123561118040676198F UAAL J2      26LB 378078078078078078078078
1235701109067611A2421
12358111040676198F UAAL J2      26LB 378078078078078078078078
12359211090676107A272
123601110906761442623
12361118100676198F UAAL J2      26LB 378078078078078078078078
123621118130676198F UAAL J2      26LB 377077077077077077077077
12363118120676198F UAAL J2      26LB 377077077077077077077
1236411110406761442623
123651118120676198F UAAL J2      26LB 377077077077077077077
123661111206761380014

```

```

POPO20                                JON STONE REGISTRATION SYSTEM                                PAGE 081
BOROBODUR RESTORATION PROJECT
RUN DATE 07-07-76                      EDIT TRANSACTION FILE REPORT                      REPORT DATE 30-06-76

ERROR STATISTICS
(TALL ERROR RECORDS ARE PURGED)

COUNT CODE      DESCRIPTION
37 A TRANSACTION DUPLICATE ON FOLLOWING 05 DELTE ADVICE
61 B NO MATCHING MASTER FILE RECORD FOR PALLET
5 C DATA TO BE DELETED BUT NO DATA ON MASTER RECORD
10 D NEW DATA TO BE PUT, BUT DATA ALREADY EXISTS ON MASTER RECORD
3 E WRONG DATE
1 F WRONG DISMANTLING AREA
0 G WRONG DISMANTLING TEAM
0 H SIDE IS NOT N, S, E, OR B
0 I GALLERY NOT 0 TO 5
3 J WRONG REPAULING AREA
4 K WRONG ELEMENT CODE
6 L WRONG MW/PAL CODE
6 M WRONG SECTION
6 N WRONG LAYER NO.
17 O WRONG NO. OF STONES
2 P WRONG CLEANING/REPAIR CODES
0 Q WRONG CLEANING TEAM
0 R WRONG REPAULING TEAM
0 S PALLET NO. INVALID
0 T WRONG LOCATION CODE

```

[illegible][illegible]

BOR040

IBM STONE REGISTRATION SYSTEM

PAGE 015

BOROBUDUR RESTORATION PROJECT

RUN DATE 07-07-76

MONTHLY OUTERSTONES DISMANTLING REPORT

FROM 01-06-76 TO 30-06-76

SUMMARY

DISMANTLED FROM 01-06-76 TO 30-06-76, SIDE- 5, GALLERY- 2, RAUSTRADA, AREA- 15 R

TOTAL	MAIN WALL	RAUSTRADA	OTHERS
	O.S. BOROBUDUR TOTAL	O.S. RAUSTRADA TOTAL	
21 PALLETS	0 0 0	12 1 0	1 0 21 0
184 STONES	0 0 0	184 0 0	0 0 184 0
VOLUME	24 PALLETS/CULM.	5.25	
VOLUME	36 STONES/CULM.	5.11	

BOR050		IBM STONE REGISTRATION SYSTEM											PAGE 16		
BOROBUDUR RESTORATION PROJECT															
RUN DATE 07-07-76		MONTHLY OUTERSTONES REBUILDING REPORT											FROM 01-06-76 TO 30-06-76		
		R. SIDE - U			GALLERY - 1				MAINWALL						
PALLET		REBUILD.		SECTION REBUILD.		REBUILD.		REBUILD.		REBUILD.		REBUILD.		REBUILD.	
NO.		DATE		AREA		COMP. 1		COMP. 2		COMP. 3		COMP. 4		COMP. 5	
						COMP. 6		COMP. 7		COMP. 8		COMP. 9		NO. OF NAME OF DISMANT	
17031	04-06-76	YE	08	02F	044	044	044	044	044	044	044	044	044	08	U
17055	14-06-76	T	04	02F	010	010	010	010	009	009				14	U
17056	08-06-76	T	04	02F	009	009	009	008	008	008	008	008	008	11	U
17065	04-06-76	T	04	02K	007	007	007	007	006	006				06	U
17070	07-06-76	T	04	02K	008	008	005	005	004	004				06	U
17071	05-06-76	T	04	02K	005	005	004	004	003	003	003			07	U
17072	03-06-76	T	04	02K	003	003	003	002	002	002	001	001		10	U

BOR050

IBM STONE REGISTRATION SYSTEM

PAGE 17

BOROBUDUR RESTORATION PROJECT

RUN DATE 07-07-76

MONTHLY OUTERSTONES REBUILDING REPORT

FROM 01-06-76 TO 30-06-76

SUMMARY

REBUILDING FROM 01-06-76 TO 30-06-76, SIDE- U, GALLERY- 1, MAINWALL

TOTAL	MAIN WALL			RAUSTRADA			OTHERS		
	O.S.	BOROBUDUR	TOTAL	O.S.	BOROBUDUR	TOTAL			
14 PALLETS	14	0	14	0	0	0	0	0	0
105 STONES	109	0	109	0	0	0	0	0	0
VOLUME	24 PALLETS/CULM.			3.50					
VOLUME	36 STONES/CULM.			3.03					

BOR060

IBM STONE REGISTRATION SYSTEM

PAGE 030

BOROBUDUR RESTORATION PROJECT

PALLET MOVEMENT REPORT

REPORT DATE 30-06-76

NUM DATE 07-07-76

SIDE - U

GALLERY - 3

MAINWALL

PALLET NO.	DISMANT. DATE	BUFFER CHECK-IN LOCATION	STORAGE CHECK-OUT LOCATION	CLEANING FINISHED	DRYING FINISHED	REPAIRING FINISHED	TREATMENT COMPLETED	FINAL CHECK-EN LOCATION	STORAGE	REBUILD.	DATE
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17072	03-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17031	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17055	14-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17056	08-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17065	04-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17070	07-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	02-06-76	
17071	05-06-										

IBM STONE REGISTRATION SYSTEM									
BOROBUDUR RESTORATION PROJECT									
TEAMWISE OUTERSTONES DISMANTLING ANALYSIS D.SIDE- U									
FROM 01-06-76 TO 30-06-76									
TEAM	PALLETS DISMANT THIS MONTH	TOTAL	PALLETS DISMANT LAST SIX MONTHS	TOTAL					
A	0	0	56	0	56				
B	0	0	67	0	67				
C	23	0	120	0	120				
D	0	0	51	0	51				
E	0	0	0	0	0				
F	2	29	104	104	208				
G	1	0	47	0	47				
H	0	0	0	0	0				
I	0	0	0	0	0				
J	31	0	104	0	104				
K	3	0	46	0	46				
L	33	0	107	97	204				
M	19	0	26	0	26				
N	3	0	41	0	41				
O	0	0	0	0	0				
P	0	0	0	0	0				
Q	0	0	0	0	0				
R	0	0	0	0	0				
S	0	0	0	0	0				
T	0	0	0	0	0				
U	0	0	0	0	0				
V	0	0	0	0	0				
W	0	0	0	0	0				
X	0	0	0	0	0				
Y	0	0	0	0	0				
Z	0	0	0	0	0				
TOTAL	116	29	769	201	970				

IBM STONE REGISTRATION SYSTEM									
BOROBUDUR RESTORATION PROJECT									
TEAMWISE OUTERSTONES REBUILDING ANALYSIS D.SIDE- S									
FROM 01-06-76 TO 30-06-76									
TEAM	PALLETS REBUILT THIS MONTH	TOTAL	PALLETS REBUILT LAST SIX MONTHS	TOTAL					
AA	0	0	82	0	82				
BB	11	0	31	0	31				
CC	0	0	21	0	21				
DD	0	0	0	0	0				
EE	0	0	0	0	0				
FF	0	0	0	0	0				
GG	0	0	0	0	0				
HH	0	0	0	0	0				
II	0	0	0	0	0				
JJ	0	0	0	0	0				
KK	0	0	0	0	0				
LL	0	0	0	0	0				
MM	3	0	3	0	3				
NN	0	0	0	0	0				
OO	0	0	0	0	0				
PP	0	0	0	0	0				
QQ	0	0	0	0	0				
RR	0	0	0	0	0				
SS	0	0	0	0	0				
TT	0	0	0	0	0				
UU	0	0	0	0	0				
VV	0	0	0	0	0				
WW	0	0	0	0	0				
XX	0	0	0	0	0				
YY	0	0	0	0	0				
ZZ	0	0	0	0	0				
TOTAL	14	0	14	137	137				

IBM STONE REGISTRATION SYSTEM									
BOROBUDUR RESTORATION PROJECT									
TEAMWISE OUTERSTONES CLEANING ANALYSIS									
FROM 01-06-76 TO 30-06-76									
TEAM	PALLETS CLEANED THIS MONTH	TOTAL	PALLETS CLEANED LAST SIX MONTHS	TOTAL					
1	45	0	100	13	173				
2	35	0	139	0	139				
3	27	0	115	0	115				
4	22	0	114	0	114				
5	0	0	0	0	0				
TOTAL	130	0	528	13	541				

IBM STONE REGISTRATION SYSTEM									
BOROBUDUR RESTORATION PROJECT									
REBUILDING PLANNING REPORT									
REPORT DATE 10-06-76									
TEAM	N.SIDE- U	GALLERY- O	WALL- L	REBUILDING AREA- OS L					
LAYER	PALLET	SECTION	NAME OF ELEMENT	NO. OF STONES	DISMANT	REBUILT	LOCATION		
016	01388	H	13 L	U	DISMANTLED ON	18-06-76			
017	01393	F	14	13 L	U	REPAIRING COMP.	23-06-76		
019	01345	H	04	13 L	U	CLEANING COMP.	19-06-76		
	01391	H	04	13 L	U	CLEANING COMP.	19-06-76		
020	01390	F	08	13 L	U	DRIVING COMPLETED	23-06-76		
021	01391	H	04	13 L	U	CLEANING COMP.	19-06-76		
	01391	H	04	13 L	U	REPAIRING COMP.	19-06-76		
022	01377	H	10	13 L	U	FINAL STORAGE	019-K-2		
	01378	H	21	13 L	U	REPAIRING COMP.	26-06-76		
	01379	H	04	13 L	U	REPAIRING COMP.	19-06-76		
	01382	H	09	13 L	U	REPAIRING COMP.	19-06-76		
023	01374	H	03	13 L	U	DISMANTLED ON	06-06-76		
	01375	H	03	13 L	U	FINAL STORAGE	019-K-1		
	01376	H	03	13 L	U	FINAL STORAGE	019-K-4		
024	01374	H	03	13 L	U	FINAL STORAGE	019-K-4		
025	01372	H	04	13 L	U	FINAL STORAGE	019-K-4		
028	01359	F	05	07 L	U	CHECKED OUT FINAL STORAGE			
	01362	F	13	07 L	U	REPAIRING COMP.	26-06-76		
029	01350	F	03	07 L	U	CLEANING COMP.	19-06-76		
	01352	F	04	07 L	U	CHECKED OUT FINAL STORAGE			

23. TOTAL PALLET COUNT

BOROBUDUR RESTORATION PROJECT										PAGE 35
PURGE REDUNDANT RECORDS REPORT										REPORT DATE 30-06-81
RUN DATE 27-07-81										
1	3947617812067925K1T1J2	06L F 030030	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
2	09100000000000000000 66		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
3	394601810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
4	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
5	394671810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
6	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
7	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
8	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
9	394681810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
10	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
11	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
12	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
13	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
14	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
15	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
16	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
17	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
18	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
19	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
20	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
21	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
22	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
23	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
24	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
25	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
26	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
27	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
28	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
29	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
30	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
31	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
32	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
33	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
34	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
35	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
36	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
37	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
38	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
39	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
40	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
41	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
42	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
43	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
44	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
45	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
46	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
47	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
48	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
49	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
50	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
51	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
52	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
53	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
54	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
55	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
56	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
57	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
58	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
59	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
60	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
61	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
62	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
63	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
64	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
65	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
66	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
67	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
68	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
69	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
70	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
71	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
72	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
73	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
74	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
75	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
76	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
77	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
78	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
79	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
80	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
81	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
82	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
83	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
84	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
85	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
86	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
87	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
88	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
89	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
90	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
91	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
92	09112070000112020015 5		09115018020015 5	1100679064000011001009185 56	85 56					
93	39461810679176T1K2	06L F 031031031031	091150							

PENCOCOKAN BATU LEPAS

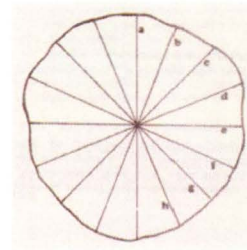
Hampir 9000 blok batu dari berbagai ukuran dan jenis seperti batu-batu polos, berelief, antefik, patung Buddha, singa, stupa, keben, dan sebagainya. Disamping batu-batu tersebut masih terdapat ribuan batu fragmen/pecah yang juga belum diketahui tempatnya di monumen. Program pencocokan batu lepas atau *Matching Missing Stone* (MMS) tidak terkait dengan jalannya proyek Pemugaran Candi Borobudur tapi mendukung agar batu yang dipasang pada waktu rekonstruksi bisa maksimal, dan program ini melengkapi kegiatan yang telah dilakukan secara manual.

Patung Buddha

Terdapat 50 kepala patung Buddha yang belum diketahui tempatnya, sementara di monumen 280 tubuh patung Buddha tanpa kepala. Pencocokan pendekatan yang diterapkan adalah 8 ukuran diameter patahan leher kepala dan tubuh patung budha dengan rumus perbedaan akar kuadrat ($RMS = \text{Root Mean Square difference}$). Komputer melakukan pencocokan setiap kepala patung Buddha dengan 280 tubuh patung Buddha, dan mencetak dalam daftar yang hasilnya 10 mm ke bawah. Hasil RMS yang mendekati 0 mm yang dilakukan pengecekan di monumen. Dari program ini dihasilkan 2 buah patung kepala Buddha bisa cocok dengan tubuh yang berada di monumen. Kendalanya adalah ukuran yang didapat sudah tidak asli lagi, mengingat baik

pada kepala maupun tubuh telah aus karena berbagai hal.

Permukaan patahan leher patung budha



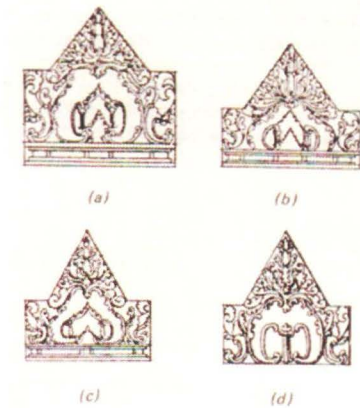
$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (ds - dh)^2}{8}}$$

ds = diameter leher pada tubuh patung Buddha

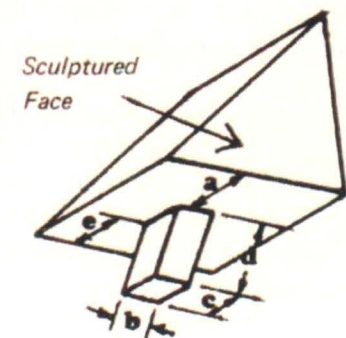
dh = diameter leher pada kepala patung Buddha

Pencocokan mahkota antefik

Terdapat 1100 buah mahkota antefik yang belum diketahui tempatnya, sementara di monumen terdapat 1364 dudukan antefik yang kosong. Pendekatan yang dilakukan adalah ukuran dari purus/pen yang ada pada antefik dan lubang yang di monumen. Yang dipergunakan sebagai pedoman adalah ukuran dari purus/pen dan posisinya serta ukuran lobang dan posisinya, sehingga didapatkan 5 ukuran. Disamping ukuran purus dan lobang yang harus cocok, parameter penentunya adalah keselarasan antara purus dan lobang waktu dipasangkan, antara lain bidang depan



Gambar : (a) antefik lorong 1, (b) antefik lorong 2, (c) antefik lorong 3, (d) antefik lorong 4.



Gambar kanan: (a, b, c, d dan e) ukuran bagian mahkota antefik yang dipergunakan pendekatan pencocokan.

harus rata, ukiran/relief harus menyambung antara mahkota dan tubuh antefik.

Pencocokan Batu Fragmen

Terdapat ribuan batu fragmen atau pecahan dari ukuran yang kecil sampai yang besar. Parameter yang dipergunakan disamping ukuran dalam mm juga yang berkaitan dengan kondisi atau sifat batunya, antara lain: jenis batu, porositas, warna, relief, ornamen, dinding atau *balustrade*. Kelemahan pada batu fragmen ini disamping ukurannya sudah tidak asli juga karena sesuatu hal telah terjadi perubahan warna pada sebagian batu.

DAFTAR PUSTAKA

IBM System 360. 1968. *Project Control System (PCS)*.

IBM System 370. 1974. *Project Analysis and control System (Projacs)*.

Jacobowitz, Henry. 1974. *Electronic Computer Made Simple*.

Khandelwal, V.K. 1976. *Posibility of using computer in Restoration of Candi Borobudur, Doc. CC/IV/10/1976*.

Khandelwal, V.K. 1976. *Stone Registration System (SRS)*.

Khandelwal, V.K. and Mulyono Supardi. 1976.

Computerized Stone Registration System for The Restoration of Candi Borobudur Pelita Borobudur Seri B no. 8. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Khandelwal, V.K., Samidi, Dukut Santoso & Achmad Suadi 1977. *Cataloguing and Matching of "Missing" Borobudur Stones Using a Computer Pelita Borobudur Seri B no. 9*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Khandelwal, V.K. and IF Boediman Rahardjo. 1977. *Computerized Project Control Sytem for The Restoration of Borobudur Temple Pelita Borobudur Seri B no. 10*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

McCracken, Daniel D. and Umberto Garbasi. 1970. *A guide to COBOL programming (second edition)*

NEDECO. 1972. *Description of Work for The Restoration of Borobudur*.

Rahardjo, IF Boediman. 1977. *The Application of Computer in the Restoration of the Borobudut Temple Doc. CC/VI/8/1977*.

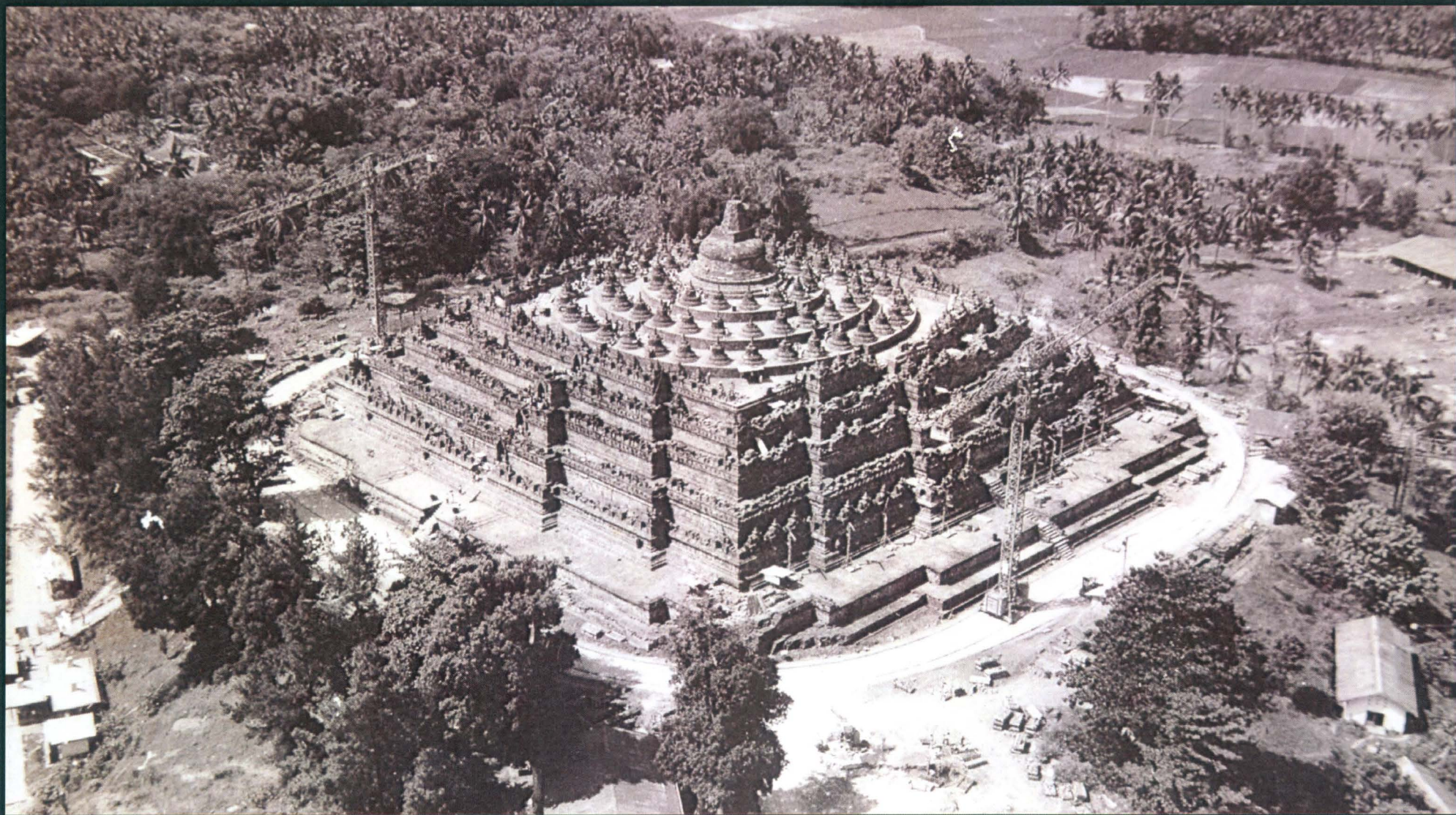
Sperry Univac Series 90. 1976. *Management Control System (MCS/90)*.

BIODATA PENULIS

Mulyono Supardi, lahir di Yogyakarta, 4 Oktober 1948. Menamatkan pendidikan pada STM Negeri I Yogyakarta tahun 1967, dilanjutkan di Fakultas Teknik IKIP Negeri Yogyakarta sampai tahun 1970. Bergabung pada Proyek Pemugaran Candi Borobudur tahun 1971-1983. Mengikuti pendidikan *Up-Grading* Kader Teknisi di Borobudur pada 1971-1974 (Angkatan I). Menjabat sebagai Kepala Seksi Registrasi dan Kepala Sub Sektor Pemugaran selama proyek berlangsung. Tahun 1980/1981 mendapat beasiswa tugas belajar di IGN Saint-Mande Perancis untuk bidang fotogrammetri dan topografi. Sebagai Kepala Kelompok Kerja Tekno Arkeologi tahun 1983-1991 pada Proyek Konservasi Candi Borobudur dan tahun 1991-2004 pada Balai Studi dan Konservasi Borobudur. Tahun 1996 dikirim pada proyek Restoration of Royal Palace Site (Phimeanakas) di Siem Reap Kamboja sebagai tenaga ahli bidang pemugaran.



Pencatatan nomor pallet yang disimpan di buffer storage; nomor pallet tercetak di sisi luar kotak pallet



BUFFER STORAGE

Oleh:
Aris Munandar
Kepala Seksi Registrasi dan Klimatologi
Proyek Restorasi Candi Borobudur

PENGANTAR

Pemugaran Candi Borobudur merupakan pemugaran yang modern ditinjau dari metode dan sistem pelaksanaannya. Dari pembongkaran batu, pemindahan ketempat penampungan, ke ruang pengerjaan, hingga ke tempat penampungan akhir sampai direkonstruksi kembali menggunakan peralatan serba mekanis. Sistem kerjanya telah disusun secara konseptual, disamping sistem registrasi batu juga sistem kartunya. Pembongkaran batu kulit dilaksanakan berdasarkan pengelompokan yang telah ditentukan pada gambar "seri B" kemudian dimasukkan ke dalam kotak (*pallet*). Setiap *pallet* berisi maksimal 9 blok batu dan telah ditentukan nomornya. Demikian juga dalam pemasangan kembali, garis rekonstruksi telah ditentukan pada gambar "seri B" yang didalamnya berisi beberapa nomor *pallet*. Berbeda dengan pelaksanaan pemugaran benda cagar budaya yang biasa dilakukan, selain registrasi, dalam penempatan batu

yang dibongkar di tempat penampungan disusun secara terbalik tiap lapis, sehingga pelaksanaannya tidak serumit dalam pemugaran Candi Borobudur. Dengan metode kerja yang sistematis tersebut, pembongkaran batu batu penyusun Candi Borobudur yang jumlahnya ribuan dapat dikembalikan/direkonstruksi kembali tanpa kesulitan.

Buffer storage sangat diperlukan karena kecepatan pembongkaran dan pengerjaan batu jumlahnya tidak seimbang sehingga perlu tempat penampungan. *Buffer storage* merupakan pintu utama masuknya batu-batu yang dibongkar, sebelum batu menjalani terapi/konservasi sesuai dengan kondisi fisiknya. Setiap pemindahan/pergerakan *pallet* harus dengan sepengetahuan petugas di *buffer storage*, demikian juga dalam mengurutkan batu yang dikerjakan. Kesalahan dalam mengurutkan akan mengganggu pelaksanaan rekonstruksi, bahkan bisa mengganggu jalannya

proyek. Untuk menghindari hal semacam itu, dalam melaksanakan tugas di *buffer storage* petugas selalu berkoordinasi dengan petugas di *final storage* yang mengurus batu-batu yang akan direkonstruksi, sehingga apabila ada batu yang akan direkonstruksi belum tersedia, dapat dilacak, selain itu juga berkoordinasi dengan petugas di pusat registrasi (*central registration office*) yang merupakan staf dari direktorium. Direktorium mempunyai fungsi sebagai pengendali jalannya proyek.

AREA BUFFER STORAGE, WORKSHOP, DAN FINAL STORAGE

Penampungan batu (*buffer storage*) dibagi dua tempat, yaitu untuk menampung hasil pembongkaran batu luar (kulit), dan untuk menampung hasil pembongkaran batu elemen seperti, stupa, *gargoyle*, patung singa, arca buddha, dan batu antefik. Luas *buffer storage* batu luar (kulit) sekitar 10.000 m² letaknya satu deret dengan *workshop* (tempat pengerjaan batu) dan *final storage* (tempat penampungan akhir), sedangkan tempat penampungan batu elemen luasnya kira-kira seperempat dari luas *buffer storage* batu luar. Letaknya tidak jauh dari penampungan batu luar. *Buffer storage* tidak beratap dan tidak ada fasilitas apapun kecuali lahan dengan pengerasan aspal, sementara pada *final storage* ada fasilitas *travelling crane*, yang dapat mengambil tumpukan *pallet* di deretan paling tengah. *Workshop* yang berada diantara *buffer storage* dan *final storage* beratap dan dilengkapi fasilitas yang memadai untuk pengerjaan batu, diantaranya air, aliran listrik, tempat pengeringan, dan meja kerja. Selain itu kantor khemiko arkeologi yang mengurus seluruh kegiatan administrasi/manajemen dan teknis konservasi batu tempatnya satu atap dengan *workshop*.

Buffer storage perlu disediakan karena kapasitas pembongkaran batu pada awal pekerjaan kapasitasnya hampir tiga hingga empat kali lipat dari kapasitas batu yang masuk ke *workshop* untuk dikerjakan. Selain itu juga untuk mengurutkan batu-batu (*pallet*) yang



Letak *buffer storage*, *workshop*, dan *final storage* yang berada di sebelah barat daya candi

masuk ke *workshop* sesuai dengan urutan rekonstruksi. Sedangkan *buffer storage* batu elemen hanya berfungsi untuk menampung batu yang dibongkar agar tidak campur aduk dengan batu luar.

Tahapan Pekerjaan

Persiapan

Tugas di *buffer storage* tidak hanya mengurus hal-hal yang berkaitan dengan penyimpanan sementara batu-batu yang dibongkar tetapi juga mengatur lalu lintas perjalanan batu-batu yang dibongkar dari *gantry crane* (peralatan untuk menurunkan *pallet* dari halaman satu Candi Borobudur ke area kerja di bagian bawah) hingga keluar dari *workshop*. *Gantry crane* ini letaknya di sebelah barat daya Candi Borobudur. Sedangkan area kerja bagian bawah membentang dari selatan hingga ujung barat daya Candi Borobudur. Tahap pekerjaan persiapan sebelum menerima hasil pembongkaran batu meliputi :

a. Mempersiapkan tempat parkir *pallet*

Tempat parkir *pallet* di *buffer storage* batu luar, dibagi dua terpisah sesuai dengan sisi Candi Borobudur yang sedang dibongkar yaitu masing-masing secara bersamaan. Sisi utara dan sisi selatan, kemudian sisi barat dan sisi timur, setiap sisi dibagi-bagi pertingkat dan setiap tingkat dibagi lagi menjadi 5 deret *pallet* kemudian di kotak-kotak berdasarkan nomor urut rekonstruksi. Sedangkan untuk tempat penampungan batu elemen dibuatkan tempat parkir

berdasarkan jenis elemen dan dikotak-kotak berdasarkan urutan rekonstruksi (lihat gambar).

18	18	14	10	10	8	8	5	5	3	3	1	1	A	Tingkat I
18	18	14	10	10	8	8	5	5	3	3	1	1	B	
18	18	14	10	10	8	8	5	5	3	3	1	1	C	
18	18	14	10	10	8	8	5	5	3	3	1	1	D	
18	18	14	10	10	8	8	5	5	3	3	1	1	E	
19	19	15	15	11	11	7	7	4	4	2	2	2	A	Tingkat II
19	19	15	15	11	11	7	7	4	4	2	2	2	B	
19	19	15	15	11	11	7	7	4	4	2	2	2	C	
19	19	15	15	11	11	7	7	4	4	2	2	2	D	
19	19	15	15	11	11	7	7	4	4	2	2	2	E	
	23	23	20	20	16	16	12	12	6	6			A	Tingkat III
	23	23	20	20	16	16	12	12	6	6			B	
	23	23	20	20	16	16	12	12	6	6			C	
	23	23	20	20	16	16	12	12	6	6			D	
	23	23	20	20	16	16	12	12	6	6			E	
	26	26	24	24	21	21	17	17	9	9			A	Tingkat IV
	26	26	24	24	21	21	17	17	9	9			B	
	26	26	24	24	21	21	17	17	9	9			C	
	26	26	24	24	21	21	17	17	9	9			D	
	26	26	24	24	21	21	17	17	9	9			E	
	28	27	27	25	25	22	22	13	13				A	Tingkat V
	28	27	27	25	25	22	22	13	13				B	
	28	27	27	25	25	22	22	13	13				C	
	28	27	27	25	25	22	22	13	13				D	
	28	27	27	25	25	22	22	13	13				E	

b. Mempersiapkan alat transportasi

Transportasi *pallet* dari *gantry crane* ke tempat penampungan batu disediakan oleh kontraktor PT Nindya Karya yaitu sebuah *forklift*, sedangkan untuk mengangkat batu dari tempat penampungan batu luar ke *workshop* disediakan 2 buah *forklift*.



Gantry crane yang berada di sebelah barat daya Candi yang berfungsi untuk menurunkan pallet ke area kerja.



Alat Transportasi berupa forklift

c. Mempersiapkan dokumen untuk mengawal perjalanan *pallet*

Dokumen yang dipersiapkan untuk kelancaran tugas meliputi: buku perjalanan *pallet*, buku ini memberi informasi tentang keberadaan *pallet* mulai masuk di *buffer storage*, keluar dari *buffer storage* masuk ke ruang pengerjaan, selama perjalanan di ruang pengerjaan hingga keluar dari ruang pengerjaan masuk ke *final storage*. Kemudian membuat peta keletakan/lokasi *pallet* di *buffer storage*. Peta ini tidak berwujud gambar tetapi merupakan deretan dan tumpukan *pallet* yang divisualisasikan menggunakan kartu yang berisikan nomor *pallet*. Sedangkan jenis kartu yang dipersiapkan meliputi: kartu yang berfungsi sebagai data input computer (Card Code 21, Card Code 22, Card Code 31, Card Code 32, Card Code 33, Card Code 34, dan Card Code 35). Kartu ini pada awal pekerjaan pemugaran Candi Borobudur belum ada, baru setelah program komputerisasi diterapkan tugas pengisiannya dibebankan pada petugas di *buffer storage* dan di bengkel kerja (*workshop*). Untuk mendokumentasikan pekerjaan tiap blok batu dipersiapkan juga kartu *treatment* (*Treatment Card*) dan gambar seri A. Gambar seri A (susunan batu Candi Borobudur) ini nantinya untuk memindahkan kode-kode pekerjaan yang tertera pada kartu *treatment*. Setelah diisi kode pekerjaan gambar seri A tersebut kemudian menjelma menjadi gambar seri C. Tidak kalah pentingnya yang

perlu dipersiapkan adalah sarana untuk menyimpan dokumen seperti *ordner* dan *file kabinet*.

Pelaksanaan

Kantor *buffer storage* hanya menempati ruangan tak lebih seluas 2,5 x 4 meter (lihat foto), kantor ini hanya digunakan untuk kegiatan administrasi dan komunikasi antar sektor, kebanyakan petugas bekerja dilapangan mengendalikan jalannya *pallet*.

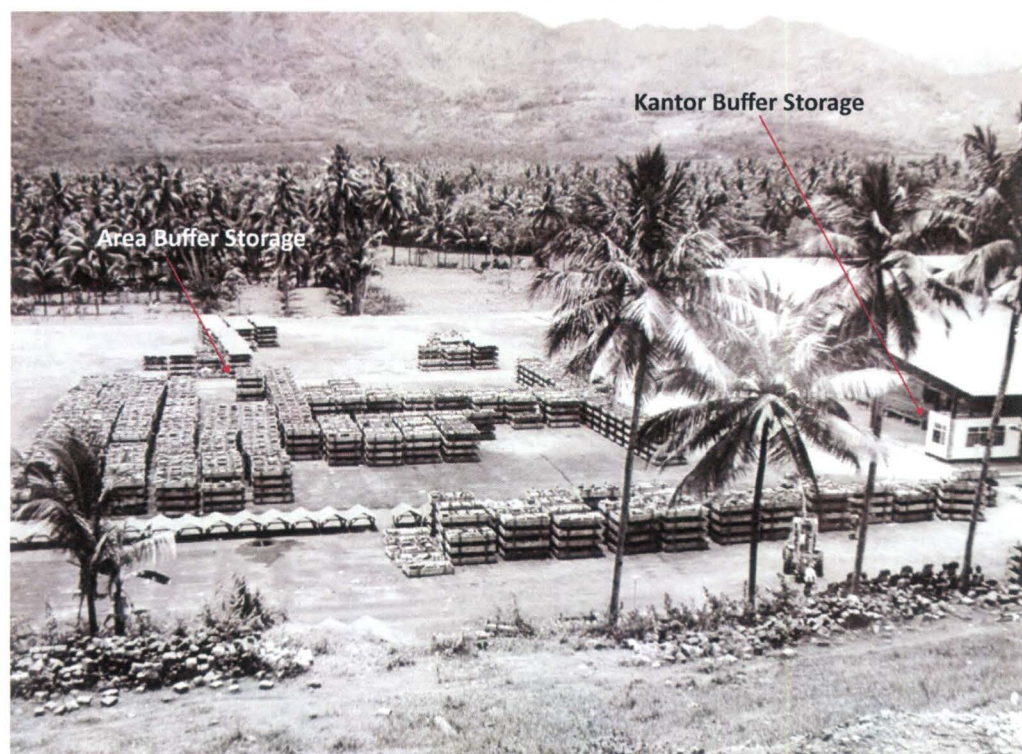
Kegiatan diawali, di *gantry crane* tempat serah terima *pallet* yang berisi batu-batu yang dibongkar. Di tempat ini petugas mengecek jumlah batu dalam satu *pallet* apakah sudah sesuai dengan yang tertulis pada kartu pembongkaran dan ada tidaknya batu fragmen. Setelah pengecekan selesai *pallet* kemudian diangkut dengan *forklift* ke tempat penampungan sesuai dengan jenis batunya, batu luar ditampung di *buffer storage* batu luar, sedangkan batu elemen di tempat penampungan batu elemen. Apabila ada batu fragmen (biasanya dimasukkan dalam plastik) diambil, kemudian dibawa ke kantor *buffer storage* bersama kartu pembongkaran. Proses selanjutnya adalah:

a. Proses penataan di *buffer storage*

Penataan *pallet* di *buffer storage* harus dilakukan secara sistematis, dikelompokkan tiap sisi, tingkat, jenis batu (batu dinding dan pagar langkan), dan area rekonstruksi. *Pallet* batu dinding yang dibongkar paling akhir dan dipasang lebih dahulu, ditempatkan paling

depan sesuai dengan urutan rekontruksi, kemudian di belakangnya baru batu pagar langkan. Area untuk penempatan *pallet* batu pagar langkan pada awal pembongkaran biasanya telah terisi penuh, bahkan sering luas area yang disediakan tidak mencukupi, demikian juga untuk penempatan *pallet* dari batu dinding juga mengalami hal yang sama sehingga harus dititipkan pada area yang masih kosong. Problem ini perlu perhatian tersendiri agar jangan sampai *pallet* yang dititipkan pada area lain tercecer yang dapat menghambat jalannya rekonstruksi.

Buffer storage tiap harinya dari awal hingga



Kantor dan Area Buffer Storage

puncak pembongkaran menampung sedikitnya 60 *pallet* yang menunggu giliran untuk masuk ke ruang pengerjaan. Hitungan ini berdasarkan asumsi setiap harinya jumlah batu yang dibongkar kira-kira mencapai 80 *pallet*, sedangkan yang masuk ruang pengerjaan 20 *pallet*. Pengaturan *pallet* di ruang penampungan setiap tingkatnya dibagi 5 deret (*rows*) dan baris (*columns*) ke belakang, setiap baris berisi maksimal 4 tumpuk *pallet*. Seluruh lokasi tumpukan *pallet* tersebut kemudian dipetakan dalam bentuk visualisasi nomor *pallet* tiap deret, baris, dan jumlah tumpukannya. Apabila *pallet* dalam peta visualisasi tersebut telah

dimasukkan kedalam ruang pengerjaan, nomornya dicoret, selanjutnya bila diisi dengan *pallet* lain, nomornya diganti dengan nomor *pallet* yang baru. Penataan di *buffer storage*, batu elemen dikelompokkan berdasarkan jenis batu elemen meliputi: *gargoyle*, antefik, patung Buddha, arca singa, stupa, dan keben pagar langkan.

b. Proses pemindahan/keluar dari *buffer storage*

Pengaturan *pallet* masuk dan keluar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab dari seluruh tim yang bertugas di *buffer storage*. Sebagai acuan untuk mengurutkan *pallet* yang masuk ke ruang pengerjaan adalah gambar urutan rekonstruksi. Tugas pertama yang dilakukan untuk memindahkan *pallet* keluar dari *buffer storage* masuk ke ruang pengerjaan adalah mengecek keberadaan atau lokasi penempatan *pallet* di *buffer storage* melalui peta visualisasi tadi, kemudian dengan menggunakan *forklift*, *pallet* tersebut diambil. Apabila lokasinya berada pada deretan depan, pengambilannya dijamin mudah, tetapi bila lokasinya berada di deretan dan barisan belakang, pengambilannya membutuhkan waktu yang lama, karena harus memindahkan tumpukan *pallet* di depannya. Pekerjaan ini akan menjadi lebih rumit bila dalam waktu yang bersamaan *pallet* yang masuk ke *buffer storage* jumlahnya cukup banyak, sehingga di satu sisi mengatur penempatannya, di sisi lain memindahkannya dan semuanya harus terpantau. Kendala yang dihadapi



Situasi Buffer Storage, Ruang Pengerjaan dan Final Storage

adalah bila ada *pallet* yang tercecer, padahal segera direkonstruksi batunya. Agar tidak mengganggu jalannya rekonstruksi, *pallet* tersebut dicari dan segera dimasukkan ke dalam ruang pengerjaan, dan tidak melalui ruang pengeringan agar waktu di ruang pengerjaan dapat lebih cepat. Bila ada batu yang harus diperbaiki menggunakan bahan perekat, pengeringannya menggunakan kompor. Semua *pallet* yang masuk ke ruang pengerjaan selalu diikuti kartu *treatment*.

Untuk pemindahan batu elemen ke ruang pengerjaan lebih mudah karena batunya tidak ditumpuk, hanya diletakkan pada papan datar sebagai alat pengangkut, dalam mengurutkannya juga tidak serumit batu luar, karena batu elemen dipasang paling akhir. Namun pengerjaannya juga diurutkan dengan urutan rekonstruksi, sedangkan urutan jenis batu yang dikerjakan adalah: *gargoyle*, antefik, patung buddha, arca singa, stupa, dan keben pagar langkan.

c. Proses administrasi dan pengendalian perjalanan *pallet* di ruang pengerjaan

Proses administrasi untuk mengendalikan perjalanan *pallet*, yang dilakukan pertama kali adalah mengisi data yang tertera pada kartu pembongkaran ke dalam kartu *treatment*.

Data yang diisikan adalah nomor *pallet*, nomor seri dan lapis batu, selanjutnya kartu disimpan dan kartu pembongkaran diarsipkan. Selain itu nomor *pallet* juga dicatat pada buku induk untuk memantau

pergerakan tiap *pallet* di ruang pengerjaan. Untuk kepentingan komputerisasi, nomor *pallet* yang masuk *buffer storage* diisi pada kartu *buffer storage check in* (CC 21). Data yang diisikan adalah nomor *pallet*, jumlah batu dan lokasi penempatan. Selanjutnya *pallet* yang keluar dari *buffer storage*, nomor dan jumlah batu ditulis pada kartu *buffer storage check out* (CC 22). Semua *pallet* yang keluar dari *buffer storage* diikutsertakan pula kartu *treatment* untuk diserahkan kepada petugas pembersihan kering, yang selanjutnya petugas mengisi kartu *treatment* apa yang harus dan telah dikerjakan, selain itu juga mengisi kartu perintah *treatment* (*treatment order card*) (CC 31) yang memuat tanggal dan perintah pengerjaan/ perlakuan tiap-tiap blok batu seperti kode untuk pembersihan dan perbaikan batu serta jumlah batu tiap-tiap *pallet* dan kartu pengerjaan pembersihan batu (CC32) yang memuat tanggal pengerjaan dan kode pembersihan batu serta jumlah blok batu per *pallet*. Setelah pembersihan kering selesai, petugas memberitahukan kepada petugas *buffer storage* agar memindahkan *pallet* ke ruang pembersihan basah.

Proses selanjutnya setelah pembersihan secara basah (pencucian batu menggunakan air) selesai petugas pembersihan basah memberitahukan kepada petugas *buffer storage* untuk memindahkan *pallet*, ke ruang pengeringan dan menyerahkan kartu *treatment* serta mengisi kartu pengeringan (CC 33) yang memuat tanggal dan jumlah

blok batu per *pallet*-nya.

Setelah pengeringan selesai, *pallet* dikeluarkan dari ruang pengeringan dan dimasukkan ke ruang perbaikan, petugas *buffer storage* menyerahkan kartu *treatment* kepada petugas perbaikan batu, selanjutnya petugas perbaikan batu mengisi kartu *treatment* mengenai jenis perbaikan yang dilakukan serta mengisi kartu perbaikan (CC 34) yang memuat tanggal, jenis perbaikan dan jumlah blok batu per *pallet*-nya. Bila batunya tidak banyak yang perlu diperbaiki, *pallet* yang bersangkutan tidak terlalu lama menunggu di ruang perbaikan, tetapi bila batunya kerusakannya parah dan perlu perbaikan yang serius, misal perlu penyambungan, penambalan, bahkan

penggantian, *pallet* yang bersangkutan akan memakan waktu yang lama di ruang perbaikan. Namun demikian bila tidak ada batu yang rusak dalam satu *pallet*, *pallet* tersebut langsung dipindahkan ke ruang pengawetan.

Setelah perbaikan batu selesai dilaksanakan kemudian *pallet* dipindahkan ke ruang pengawetan, petugas *buffer storage* mengambil kartu *treatment* dari ruang pengawetan diserahkan kepada petugas pengawetan batu. Sebagai akhir perjalanan *pallet* di ruang pengerjaan, setelah pelaksanaan pengawetan selesai, *pallet* kemudian keluar dari ruang pengawetan, masuk ke *final storage*, petugas di ruang pengawetan mengisi kartu *treatment* dan kartu pengawetan (CC 35) yang memuat tanggal dan jumlah blok batu per *pallet*. Kedua kartu tersebut kemudian diserahkan kepada petugas *buffer storage*, CC 35 sebagai data input ke komputer, sedangkan data pengerjaan batu yang tertera pada kartu *treatment* diisikan ke gambar seri C secara lengkap.

Seluruh tahapan perpindahan *pallet* tersebut diatas dari *buffer storage* sampai keluar dari ruang pengerjaan dicatat tanggal serta jumlah batunya pada buku induk setiap hari, selain itu data ini sangat penting dan merupakan data input komputer. Seandainya ada *pallet* yang jumlah batunya tidak cocok, komputer akan melaporkan dengan memberi tanda bintang pada nomor *pallet* yang bersangkutan. Laporan ini kemudian



Ruang pengeringan batu

ditindaklanjuti oleh petugas *buffer storage* untuk melakukan pengecekan. Sayangnya laporan ini akan muncul setelah datanya di *print out* (dicetak) sebulan kemudian. Keluar masuknya *pallet-pallet* di tiap ruang pengerjaan selalu diikuti dalam waktu yang bersamaan setiap harinya, semuanya ini dilakukan oleh tim *buffer storage*.

Sementara perjalanan *pallet* di ruang pengerjaan batu elemen juga diikuti setiap harinya tetapi model laporan tidak serumit di ruang pengerjaan batu luar, yaitu tanpa ada data input komputer serta tidak melalui ruang pengeringan.

d. Koordinasi

Mengingat waktu pemugaran yang cukup lama, serta banyaknya batu yang dibongkar, koordinasi dengan semua pihak yang mengurus perjalanan batu sangat penting. Koordinasi dengan petugas *final storage* dalam hal-hal yang berkaitan dengan keberadaan batu yang segera direkonstruksi dan jumlah batu yang tidak cocok dengan kartu pembongkaran. Sementara koordinasi dengan petugas pusat registrasi dalam hal yang berkaitan dengan perjalanan *pallet* dan pengisian kartu *treatment* (pengerjaan batu). Selain itu koordinasi juga sering dilakukan dengan tim rekonstruksi, yaitu apabila ada batu yang perlu diganti (*replacing*).

DAFTAR PUSTAKA

Nedeco, 1972. *Description of Work for The Restoration of Borobudur*.

BIODATA PENULIS

Aris Munandar lahir di Yogyakarta, 4 Juli 1948. Menamatkan pendidikan pada SMA Negeri II Yogyakarta tahun 1967, dilanjutkan di Fakultas Teknik Mesin UGM sampai tahun 1970. Bergabung pada Proyek Pemugaran Candi Borobudur 1972-1983. Mengikuti pendidikan *Up-Grading* Kader Teknisi di Borobudur 1972-1975 (Angkatan II). Menjabat sebagai Kepala Seksi Registrasi dan Klimatologi pada Sektor Khemiko Arkeologi Proyek Pemugaran Candi Borobudur

Sebagai Kepala Kelompok Kerja Pemeliharaan tahun 1983-1991 pada Proyek Konservasi Candi Borobudur dan tahun 1991-2004 pada Balai Studi dan Konservasi Borobudur. Tahun 1996/1997 dikirim pada proyek *Restoration of Royal Palace Site* (Phimeanakas) di Siem Reap Kamboja sebagai tenaga ahli bidang konservasi.



A group of people, mostly men, are standing in a room. The image is heavily filtered with a dark teal or blue color, making the details somewhat obscured. The people are dressed in casual to semi-formal attire. The text 'TOKOH PEMUGARAN' is centered over the image in a bold, white, sans-serif font.

TOKOH PEMUGARAN



SEPENGAL KENANGAN OBITUARI PROF. SOEKMONO

Oleh:

Drs. Bambang Widyanoro

Putra dari Prof. Soekmono

beserta Murid-Murid Prof. Soekmono

Tahun 1964, di jalan Biliton no. 9 Jakarta, di hari minggu siang, terlihat lima anak laki-laki dan seorang anak perempuan, sedang bermain-main di halaman rumah tersebut. Keceriaan terlihat di wajah anak-anak ini. Dari dalam rumah keluar seorang bapak memanggil tiga dari lima anak laki-laki tersebut, "Yanto, Toni, Dayat. Duduk di sini!" Mendengar panggilan tersebut ketiga anak langsung duduk di tempat yang disediakan. Bapak tadi menyiapkan peralatan potong rambut. "To! kamu duluan," kata si Bapak, "Ya, Pi!" jawab anaknya. Setelah itu Toni dan Dayat mendapat giliran untuk potong rambut.

Itulah sepenggal kenangan tentang seorang bapak yang bernama Soekmono. Soekmono dilahirkan di sebuah desa bernama Tanjung di sebelah barat kota Brebes Jawa Tengah, pada tanggal 14 Juli 1922. Soekmono, mempersunting seorang gadis bernama R.R. Maryani Dewi Parwati, dan memiliki sebelas

orang putra-putri yaitu:

- Sri Padmawati (Ati)
- Sri Astuti Rahayu (Tuti)
- Bambang Widyarnowo (Wiwi)
- Sri Sedyaningsih (Nuning)
- Sri Sundari (Uung)
- Endang Setyawati (Endang)
- Bambang Widyanoro (Yanto)
- Bambang Widyastono (Toni)
- Bambang Widyatmanto (Dayat)
- Bambang Widyatmoko (Koko)
- Bambang Widodo (Beni)

Dari kesebelas putra-putri, Soekmono, sekarang telah memiliki 30 orang cucu dan beberapa cicit. Untuk anak-anak, beliau berpesan, "Jangan pernah berkeinginan menjadi orang kecil, kalian harus menjadi orang besar. Sebesar yang mampu kamu raih." Demikianlah seorang Soekmono yang selalu memberi



Soekmono beserta Istri

motivasi kepada anak-anaknya. Di mata kami anak-anaknya, Soekmono adalah seorang bapak yang sangat mencintai anak-anaknya dan juga selalu membanggakan istrinya, dengan bercerita tentang kehebatan seorang istri dalam mendampingi kehidupannya.

Pemugaran candi Borobudur dimulai 10 Agustus 1973. Suatu pekerjaan besar yang harus dilakukan Soekmono antara tahun 1975 sampai tahun 1982 yang melibatkan 600 pekerja baik lapangan dan kantor. Karyawan pemugaran di antaranya tenaga muda lulusan STM bangunan dan SMA yang diberikan pendidikan khusus mengenai teori dan praktek dalam bidang chemiko arkeologi

(CA) dan tekno arkeologi (TA). Pekerjaan besar ini selesai 23 Februari 1983. Akhir dari pekerjaan besar Soekmono yaitu "Pemugaran Candi Borobudur", tetapi keinginan untuk memajukan Ilmu Arkeologi Indonesia tetap berkobar. Soekmono mempunyai keinginan agar arkeologi dapat mengangkat harkat dan kehormatan bangsa Indonesia. Beliau juga bangga bahwa pekerjaan besar yang pernah dia pimpin ditangani oleh orang-orang terbaik bangsa Indonesia.

Dalam perjalanan karirnya sebagai seorang guru besar di bidang Arkeologi, beliau memiliki banyak murid dari berbagai universitas. Jasa beliau dalam mengajar, memberi ilmu, dan kiprah beliau pada proses pemugaran candi Borobudur terangkum dalam beberapa kisah pendek berikut ini. Kenangan akan Soekmono oleh para murid-murid beliau di UGM, yakni Prof. Dr. Sumijati Atmosudiro, Prof. Dr. Inajati Adrisijanti, Drs. Slamet Pinardi, M.Hum., dan Dra. Niken Wirasanti, M.Si akan mengantarkan kita merekonstruksi masa lalu perjalanan Soekmono sang guru besar.

KENANGAN DARI PROF. DR. SUMIJATI ATMOSUDIRO

Berbicara mengenai sosok Soekmono tidak lepas dari peran beliau di Arkeologi Indonesia. Beliau merupakan orang Indonesia yang menjadi arkeolog pertama sesudah orang-orang Belanda. Bagaimanapun juga, orang-orang Belanda yang telah memberikan ilmu arkeologi kepada Pak Soek, menjadikan



Soekmono beserta Istri dan ke-11 putra-putrinya.

Pak Soek seorang arkeolog yang arif dan berwawasan luas.

Saya belum pernah secara langsung diajar oleh Pak Soek, namun di beberapa kesempatan seperti kuliah umum, yang teringat oleh saya adalah konotasi suara yang enak didengar dan sangat jelas. Selain itu mempunyai dasar ilmu dan pengetahuan yang luar biasa. Pada saat beliau menjadi anggota KABDI bersama beberapa ahli arkeologi lainnya seperti Buchari, R.P Soejono, dan Uka Tjandrasasmita beliau memberi asistensi kepada saya dan teman-teman yang sedang mengerjakan tesis. Di beberapa asistensi yang menegangkan seringkali terjadi perdebatan yang alot. Hingga setelah asistensi selesai dengan keberhasilan saya dan teman-teman menyelesaikan tesis, Pak Soek pernah berkata kepada saya, "Saya senang dengan kamu, karena kalian itu tahan banting", begitu kata beliau. Mungkin karena dalam asistensi, saya termasuk mahasiswa yang tidak takut dan mundur dengan kritik dan saran para ahli arkeologi tersebut. Dalam pemugaran Borobudur, peran Pak Soek sangatlah besar. Pada beberapa Seminar Internasional dan dengan bantuan media beliau mencoba mengekspos tentang kondisi Borobudur yang memprihatinkan kala itu. Usahnya untuk mendapatkan perhatian dunia tentang Borobudur tercapai. UNESCO akhirnya memberi perhatian lebih terhadap Borobudur dan segera membantu dalam proses konservasi.

Saya menilai beliau orang yang jujur dan bersahaja. Pada proyek pemugaran Borobudur, banyak sekali dana yang masuk dan terkumpul

untuk kepentingan konservasi, namun sekalipun Pak Soek menjabat sebagai kepala proyek pemugaran tidak membuatnya menjadi lupa diri lalu memanfaatkan jabatannya untuk memperkaya diri.

Satu momen yang sangat mengesankan bagi saya tentang beliau adalah pada saat saya menjabat sebagai Ketua Jurusan Arkeologi UGM. Saat itu fakultas diberi kesempatan untuk mengajukan tokoh yang dapat dimasukkan menjadi nominasi penghargaan Hamengku Buwono Award tahun 1994. Kriteria untuk menjadi seorang yang masuk dalam nominasi tersebut sangat rumit, seperti tokoh yang diajukan telah berjasa di beberapa instansi/ lembaga, telah banyak menuliskan karya, dan telah banyak mengikuti pertemuan maupun seminar di dalam maupun luar negeri.



Keluarga Besar Soekmono (dengan Anak, Mantu, dan Cucu)

Berkat perjuangan teman-teman di Fakultas Sastra dalam menyusun kriteria nominator, akhirnya Pak Soek terpilih sebagai nominator. Tidak hanya itu, Pak Soek berhak mendapatkan anugerah Hamengku Buwono IX Award di bidang Pendidikan dan Kebudayaan. Saat itu, Pak Soek terlihat sangat bahagia dan bangga memakai selempang penghargaan itu. Kami pun bangga dengan beliau.

Saya juga mengagumi gagasan beliau mengenai pendidikan konservasi Borobudur. Saat dimulainya proyek pemugaran Candi Borobudur, Indonesia khususnya tidak memiliki SDM konservasi yang memadai. Kebutuhan akan tenaga konservasi sangat besar, hingga Pak Soek menggagas untuk dibentuk sebuah pendidikan kilat bagi lulusan SMA/STM yang berminat bekerja dalam konservasi Borobudur. Beberapa orang tersebut antara lain Samidi, Dukut, dan lain sebagainya. Mereka diberi bekal pendidikan konservasi dan Bahasa Inggris oleh para ahli yang didatangkan dari beberapa universitas di Indonesia. Mereka diberi bekal tentang bagaimana mengkonservasi candi batu dan bata. Bahkan keberhasilan pendidikan konservasi itu mengantarkan mereka ke Angkor Wat, sebagai tim konservator. Tim konservasi tersebut lahir dari pemikiran Pak Soek yang sangat peduli akan kemajuan Arkeologi di Indonesia. Khusus untuk Borobudur, menurut beliau Candi Borobudur adalah jiwanya.



Prof. Soekmono saat mendapat penghargaan Hamengku Buwono IX Award

KENANGAN DARI PROF. DR. INAJATI ADRISIJANTI

Kesan saya terhadap Pak Soek dalam pemugaran Candi Borobudur, adalah beliau sangat menguasai problem “mastering” pemugaran. Pak Soek sangat menjaga hubungan dengan pihak luar (UNESCO) maupun internal. Beliau sangat akrab dengan para stafnya di Borobudur. Keakraban dengan stafnya sudah terjalin sejak Pak Soek tinggal di asrama daerah Demangan. Beliau tinggal dengan beberapa stafnya yang masih muda. Beliau sangat kebabakan, dan mengayomi para stafnya dengan pendekatan yang manusiawi dan familiar tetapi tegas dan profesional dalam bekerja.

Pak Soek dan stafnya bekerja 6 hari dalam seminggu dan bekerja dari pagi hingga jam 4 sore. Selama 6 hari bekerja di Borobudur, para staf tidak pulang ke Jogja melainkan menginap di asrama di Borobudur. Biasanya setiap Sabtu sore hari saat para staf pulang ke Jogja, Pak Soek selalu mengajak mereka untuk pulang ke Jogja naik kendaraan dinas (Holden). Beliau sangat *low profile* dan tidak segan menawarkan mobilnya untuk digunakan bersama-sama stafnya.

Pak Soek adalah promotor saya dalam menyusun tesis dan disertasi. Beliau sangat cermat dan total dalam melakukan banyak hal. Selain itu, sebagai pendidik, Pak Soek sangat menghargai pendapat orang lain sekalipun dari mahasiswanya. Beliau tidak pernah memandang juniornya dengan angkuh, bahkan beliau

merangkul kami dengan sangat akrab. Pak Soek melatih kami untuk pantang menyerah, pernah beliau berkata “Kalau kalian digebukin saja sudah *nggletak* (terkapar), kalian tidak bisa maju terus!”. Itulah Pak Soek, arkeolog sejati Indonesia.

KENANGAN DARI DRS. SLAMET PINARDI, M.HUM

Saya mulai akrab dengan Pak Soek pada saatsayamasihmenjadimahasiswaS1Arkeologi dan mendapat kesempatan untuk menambah ilmu di Fakultas Sastra UI. Pada saat itu ada program semacam pencangkakan mahasiswa untuk diberi pengalaman dan pengajaran oleh para ahli arkeologi dari Universitas Indonesia. Program tersebut dilaksanakan oleh Konsorsium Fakultas Sastra dan Filsafat, yang diikuti pula oleh mahasiswa dari Universitas Udayana, yang saya ingat salah satunya adalah I Wayan Ardhika. Selama belajar di UI, Pak Soek menjadi salah satu dosen pengajar. Dalam proses belajar di sana, saya merasakan keakraban dan suasana kekeluargaan baik antara sesama mahasiswa maupun dengan dosen, termasuk Pak Soek.

Dididik oleh guru-guru Belanda, menjadikan beliau fasih berbahasa Belanda maupun Inggris. Pada beberapa tulisannya, beliau masih memakai istilah Belanda yang beliau kutip disertai terjemahannya dalam bahasa Indonesia. Beliau pernah berpesan untuk membaca sumber asli yang berbahasa asing (Belanda, Inggris, dan lain sebagainya) dan menyertakannya dalam kutipan agar kami terbiasa dan belajar dengan

bahasa asing.

Saya termasuk orang yang sudah “khatam” berkali-kali dalam membaca desertasi Pak Soek. Beliau sangat hebat dalam memaparkan percandian di Indonesia, mungkin salah satu kemudahan dalam penyusunan desertasinya karena beliau menjabat pula sebagai Kepala Purbakala. Desertasi beliau terbagi menjadi 3 bagian yang dapat pula disebut alur pikir. Pada bagian pertama beliau menjelaskan mengenai asumsi para peneliti Belanda tentang keberadaan candi sebagai makam. Lalu di bagian kedua mengenai kesangsian candi sebagai makam, yang didukung oleh beberapa sumber tertulis seperti prasasti. Pada bagian akhir beliau menyimpulkan bahwa candi bukanlah makam, candi adalah kuil atau bangunan suci sebagai tempat ibadah. Kesimpulan tersebut meruntuhkan pendapat terdahulu dan memberikan pencerahan bagi perkembangan Arkeologi dan Sejarah di Indonesia. Hingga kini saya mengajar, saya selalu berpesan kepada para mahasiswa untuk membaca disertasi Pak Soek secara menyeluruh dan jangan sepenggal-sepenggal, karena bisa saja menjadi salah tafsir.

Saya terkesan juga dengan artikel yang ditulis Pak Soek dalam PIA (Pertemuan Ilmiah Arkeologi). Artikel yang berjudul “Sekali Lagi Mengenai Peripih” berisi tentang kegeraman Pak Soek atas seringnya terjadi kesalahan dalam pengucapan peripih. Banyak orang yang menganggap bahwa peripih adalah wadah dari batu, padahal peripih merupakan isinya. Salah kaprah yang sering terjadi itu beliau tuliskan

dalam artikel tersebut.

Pak Soek di mata saya juga seorang yang penyabar, seperti pada saat desertasi beliau di tahun 1974 dicetak oleh IKIP Semarang pada tahun 1976 tanpa sepengetahuan beliau. Beliau tidak protes apalagi marah, karena menurutnya tidak ada alasan untuk marah selama hal tersebut demi ilmu pengetahuan dan kebaikan banyak orang.

KENANGAN DARI DRA. NIKEN WIRASANTI, M.SI.

Mendengar nama Prof. Soekmono (biasa kami menyapa Pak Soekmono) mengingatkan pada figur yang bersemangat, serius dan sekaligus santai penuh canda di saat-saat perjalanan menuju situs candi. Ingatan pun kembali terlintas sosok ilmuwan yang sederhana dalam berbusana dengan ciri khas selalu berpakaian hem putih dan bahan celana “drill” coklat muda. Setiap kali hadir di Yogya selalu saja beliau bersemangat mengunjungi candi-candi yang baru saja ditemukan dengan mobil Holden warna hijau yang saat ini teronggok di halaman Balai Konservasi Borobudur. Selalu di tiap kunjungan ke candi setelah menanyakan macam-macam temuan, ujung-ujungnya yang ditanyakan pasti peripih dan wadahnya. Meskipun disertasi beliau belum terbantahkan hingga saat ini dan karya tersebut merupakan puncak prestasi di bidang akademik namun beliau terus saja ingin tahu dan terkesan belum puas dengan kesimpulan yang dihasilkan dan terus ingin menyempurnakan dan memperkuat

teori candi sebagai kuil. Dalam suatu kesempatan, beliau mendengar ada ekskavasi di Candi Plaosan, dan menelpon saya berpesan untuk “mbongkar” satu atau lebih candi perwara, tujuannya masih tentang peripih. Saat saya sampaikan hasil kegiatan tentang pola keletakannya, bahan wadah peripih dan isinya, sesaat beliau merenung dan bergumam “Saya harus membaca teori-teori dan menulis lagi.” Sayangnya keinginan untuk melengkapi mahakarya desertasi itu tertunda-tunda karena kesehatan yang membutuhkan banyak istirahat. Meskipun demikian, masih ada karya tulis yang dapat menunjukkan semangat beliau untuk terus membahas tentang peripih dengan judul “Sekali Lagi Tentang Peripih” yang disampaikan dalam Konggres Pertemuan Ilmiah Arkeologi.

Mengikuti beliau dalam perjalanan ke situs-situs candi ibaratnya seperti kuliah lapangan, ada banyak pertanyaan terlontar, dilanjutkan diskusi dengan para arkeolog diantaranya Satyawati Sulaiman yang sering bergabung bersama Soekmono mendampingi Prof Bernet Kempers selama di Yogyakarta. Sering dalam setiap kunjungan, Soekmono mengatakan selalu saja ada temuan menarik setiap kali mengunjungi candi dan berakhir dengan komentar, “ada-ada saja data baru di lapangan, rasanya saya semakin bodoh”. Setangkai kerendahan hati seorang arkeolog senior yang selalu saya ingat.

Prestasi luar biasa yang dihasilkan Soekmono yakni saat mengemban amanah pekerjaan mahakarya restorasi Candi Borobudur tahun 1980an. Puluhan ahli dalam dan luar

negeri, puluhan negara penyandang dana, dan sekitar 650 tenaga kerja restorasi berada di bawah kendali beliau. Semangat untuk menyelesaikan tugas pemugaran benar-benar sangat dikagumi banyak pihak. Pernah suatu siang hari saat istirahat para ahli berkumpul di ruang kerja beliau di Borobudur, muncul gurauan seorang ahli yang mengatakan arkeolog itu sebenarnya tidak berdaya tanpa bantuan para ahli ilmu pemugaran, ahli bangunan, arsitek, mikrobiologi, hidrologi, dan lain sebagainya, sehingga ruangan menjadi meriah penuh tawa sahut-sahutan menanggapi cletukan tersebut. Dengan santai selesai menyeruput teh, beliau berkomentar, "Yach bener juga ya komentar itu, tapi harus ingat yang pegang tongkat komando adalah arkeolog dan para ahli itu para prajurit, kerjanya harus nurut perintah sang komandan, seorang arkeolog." Serentak lepas tawa para ahli tak berkulit untuk menyerang balik jawaban Pak Soemono. Begitulah di sela tugas-tugas beliau yang melelahkan, selalu ada canda di saat jam istirahat ditengah keseriusan dan semangat untuk terus bekerja baik di ruangan ataupun di lapangan dan diperjalanan.

Namun demikian ada saat beliau benar-benar sangat serius mungkin geram untuk tidak menyebut marah. Peristiwa dimulai ketika berlangsung purnapugar Candi Borobudur tanggal 24 Februari 1983 kepuasan tampak di raut muka Soekmono yang telah memimpin pemugaran selama 12 tahun. Bernet Kempers, dan Dirjen Kebudayaan Prof Haryati Subadio yang hadir saat peresmian purnapugar dan selalu ada di dekat Soekmono selalu memuji

dan bangga atas prestasi arkeolog Indonesia. Rasanya belum terlalu lama, pada suatu malam beliau terpaku menyaksikan "Dunia Dalam Berita" TVRI yang memberitakan malam dinihari (Senin, 21 Januari 1985) pukul 01.30 serentetan ledakan bom telah menghancurkan dua patung Buddha dan sembilan stupa di sisi timur pada tingkat *Arupadhatu* di Candi Borobudur. Terdapat sebelas bom terpasang di Candi Borobudur, sembilan yang meledak dan dua bom tidak berhasil meledak. Kami mendengar kabar dari putri beliau di Jakarta (mbak Endang), Bapak *shock* dengan peristiwa peledakan tersebut. Tentu semua mengkhawatirkan kesehatan beliau, terbayanglah bagaimana luapan emosi seorang arkeolog yang sudah mengabdikan kira-kira 30 tahun, lebih dari setengah hidupnya untuk arkeologi. Perjuangan dan pengabdian Soekmono menyelamatkan Candi Borobudur ternyata sangat panjang, tepatnya sejak tahun 1954, beliau telah kampanye di suatu konferensi di Den Haag Belanda tentang perlunya restorasi Candi Borobudur yang saat itu kondisinya sakit parah dan sekarat, dan tahun 1973 rencana tersebut terealisasi.

Peristiwa peledakan tidak menyurutkan semangat beliau untuk terus menjelajah dari candi ke candi. Dalam perjalanan ke Candi Suku bersama Soekmono, Prof Bernet Kempers dan Pak Anom, mobil berhenti tidak boleh melanjutkan perjalanan menuju dekat pintu halaman candi dan berhenti dekat palang pintu yang dijaga seorang satpam. Saya turun dari mobil dan minta palang pintu dibuka. Dengan serius satpam bilang tidak boleh

melanjutkan perjalanan, mobil harus diparkir di dekat gardu satpam, kalau mau mendekat ke halaman candi harus ada surat dari kepala kantor Purbakala. Saya balik menuju mobil dan menyampaikan pesan dari satpam. Beliau-beliau yang ada di mobil tertawa, Soekmono dengan bercanda berkomentar, "Pak Satpam butuh surat kepala Purbakala periode kapan?" karena di mobil ada Bernet Kempers mantan kepala kantor Purbakala (1946-1952), Soekmono kepala kantor Purbakala (1953-1974) dan Anom yang saat itu sedang menjabat kepala kantor Purbakala Jawa Tengah (1985). Prof Bernet Kempers yang selalu serius jarang ketawa, melepas tawa mendengar komentar Pak

Soekmono. Prof. Kempers saat itu sebenarnya sudah siap-siap turun dari mobil untuk berjalan dengan alasan itu sebuah peraturan yang harus ditaati, tapi Pak Anom melarang dengan alasan kesehatan Prof. Kempers, dan Soemono yang harus dijaga. Dengan kondisi jalan tanjakan terjal menuju Candi Sukuh tentu sangat melelahkan bagi arkeolog-arkeolog senior tersebut untuk berjalan kaki. Segera Pak Anom turun dari mobil menuju gardu satpam dan bisa ditebak sudah pasti palang pintu dibuka dan mobil melaju menuju pintu halaman candi, dan selanjutnya dengan serius Soemono dan Prof. Kempers mendengarkan Pak Anom menjelaskan data terbaru tentang Candi Sukuh.

Hari demi hari, selama Prof. Bernet Kempers ada di Yogya, tiada hari tanpa menjelajah desa-desa menuju situs candi. Suasana mengesankan saat beristirahat *nyamikan* yang hampir selalu kami bawa adalah bekal ketimun dan ampyang. Setiap kali ke lapangan, ibu saya selalu menyiapkan ketimun lengkap dengan pisau untuk mengupas dan ampyang kacang. Terdengar agak aneh memang, bukan roti dan buah jeruk, apel, atau anggur. Belum sempat saya bertanya, ibu saya menjelaskan begitulah kegemaran teman-teman di arkeologi saat itu. Benar ternyata, rombongan arkeolog waktu itu ada Satyawati Sulaiman, Suyatmi Satari, dan Rumbi Mulia, dan tentunya Soekmono dan Prof. Bernet Kempers menikmati ketimun yang dihidangkan Ibu Suyatmi. Perjalanan menyusuri desa-desa menuju Candi Pringapus, Candi Perot dan petirnaan cukup melelahkan. Kandungan air pada ketimun tampaknya menyegarkan tubuh



1 Suro 1976 di Menoreh bersama Soekmono

kami yang gerah kepanasan sesudah berjalan cukup jauh. Kacang dan gula pada ampyang menjadi pemulih energi sesudah badan terasa lelah. Perjalanan berlanjut dan menjelang jam 15.00 WIB, kami berhenti di restoran tepat berada diantara lembah Gunung Sindoro – Gunung Sumbing (dikenal dengan nama Kledung Pass). Duduk di beranda restoran, kami menikmati udara sejuk yang berhembus dari lembah lembah gunung ditemani secangkir kopi dan teh dengan hidangan kacang rebus dan nogosari dan kami menikmati “kuliah senja” Prof. Kempers, dan diskusi semakin hangat antara arkeolog-arkeolog senior. Seiring menjelang sendyakala lengser di ujung barat cakrawala rombongan bergegas menuju perjalanan pulang ke Yogya. Ada yang dapat kita ingat dari bait-bait lagu himne arkeologi UGM. Mungkin seperti itu arkeolog sejati, selalu bersemangat tetapi tetap sederhana dan rendah hati.

Akhir kata, kami ucapkan terimakasih kepada Prof. Dr. Sumijati Atmosudiro, Prof. Dr. Inajati Adrisijanti, Drs. Slamet Pinardi, M.Hum, dan Dra. Niken Wirasanti, M.Si. atas kontribusi dalam penulisan ini. Semoga tulisan ini, dapat menjadi kenangan dan teladan kita bersama. Bagi kami, Soekmono adalah sosok yang membanggakan, dengan segudang prestasi nasional maupun internasional. Dia tetap seorang ayah yang selalu memperhatikan keluarganya, sebelas anak yang harus diurus oleh Soekmono tanpa keluhan. Ditemani oleh seorang istri, RR. Maryani Dewi Parwati,

dilewati hidup ini dengan bersahaja. Ketika sang istri pergi meninggalkannya, Soekmono tetap tegar walaupun tidak bisa menutupi rasa dukanya. Kami anak-anak beliau berusaha untuk menghibur hatinya, menemani di kala susah maupun senang. Sekarang Soekmono sudah menghadap Illahirobbi, dengan rasa penyesalan seorang anak dan bila kerinduan ini datang, hanyalah doa yang dapat kami panjatkan. “Ya Allah, dzat yang Maha Kuasa, pertemukan dan kumpulkanlah keluarga besar Soekmono beserta ibu kami di dalam sorgamu bersama Nabi kami, Muhammad Rosulmu, Amiin Ya Allah Amiin.”



Prof. Soekmono (kanan) bersama seorang tamu di Candi Borobudur





SUMBER FOTO, GAMBAR, TABEL

The Restoration of Borobudur, 2005

Dokumentasi proyek pemugaran Candi Borobudur

Repro Buku barabudur

Dokumentasi Balai Konservasi Borobudur

Dokumentasi pribadi penulis

Dokumentasi pribadi Rony Muhammad

Dokumentasi Bambang Kasatriyanto

Cover depan	: Foto udara yang memperlihatkan proses pemugaran II
Cover belakang	: Foto udara situasi Candi Borobudur setelah pemugaran II
Halaman II	: Kondisi Candi Borobudur sebelum pemugaran II dilihat dari sisi barat laut
Halaman IV-V	: Kaki Candi Borobudur Sisi Tenggara yang dibuka sebelum pemugaran II
Halaman VI-VII	: Kondisi dinding Candi Borobudur yang miring dan harus ditopang dengan kayu gelondongan
Halaman VIII	: Kondisi Arupadhatu sebelum pemugaran II yang banyak ditumbuhi lumut dan lichen
Halaman XIX	: Kondisi dinding candi sebelum pemugaran II yang miring, melesak, dan harus ditopang kayu serta banyak batu berserakan
Halaman XX	: Kondisi stupa-stupa bagian Arupadhatu yang bercak-bercak oleh lichen dan lumut serta lantai tangga yang tidak beraturan
Halaman 14	: Jenis lumut yang tumbuh pada relief
Halaman 28	: Pemandangan alam pagi hari Candi Borobudur dari Puthuk Situmbu
Halaman 36	: Lantai bergelombang pada Arupadhatu sebelum pemugaran II
Halaman 51	: Undag dan selasar (counterweight) yang menutupi kaki asli menjadikan stabilitas Candi Borobudur relatif stabil
Halaman 52	: Candi Borobudur dilihat dari sisi timur dimana terlihat posisi candi berada di atas bukit
Halaman 64	: Pengukuran topografi tanah menggunakan theodolit
Halaman 76	: Salah satu relief Candi Borobudur yang mengalami kerusakan akibat oker, penggaraman dan rembesan air
Halaman 92	: Candi Borobudur pada saat peak season
Halaman 114	: Candi Borobudur masa sekarang dilihat dari sisi barat laut
Halaman 134	: Kondisi stupa-stupa yang hancur karena dibom
Halaman 135	: Proses pemugaran II Candi Borobudur
Halaman 136	: Proses pemugaran II Candi Borobudur
Halaman 154	: Proses pemugaran II Candi Borobudur
Halaman 190	: Area buffer storage pada saat pemugaran II
Halaman 198	: Kegiatan pendokumentasian pada saat pemugaran II
Halaman 213	: Kegiatan penggambaran manual pada pemugaran II
Halaman 214	: Kegiatan penggambaran manual pada pemugaran II
Halaman 224	: Salah satu kegiatan fotogrammetri menggunakan mesin gambar/plotter
Halaman 244	: Kegiatan pembersihan organisme yang tumbuh pada dinding candi
Sebelum 266	: Foto udara kawasan Candi Borobudur saat pemugaran II
Halaman 276	: Palet-palet penyimpanan batu yang berada di area buffer storage
Halaman 277	: Prof. Soekmono beserta rombongan meninjau situasi proyek pemugaran II
Halaman 278	: Prof. Soekmono (kanan) mendampingi Menteri Pendidikan dan Kebudayaan, Prof. Dr. Daed Joesoef (kiri) meninjau pemugaran Candi Borobudur



BALAI KONSERVASI BOROBUDUR

Jalan Badrawati Borobudur Magelang 56553

Telp. (0293) 788225, 788175

Fax. (0293) 788367

e-mail : balai@konservasiborobudur.org

website : www.konservasiborobudur.org