

PENYEBAB KERUSAKAN DAN PELAPUKAN BESERTA PENANGANANNYA: STUDI ATAS FAKTOR BIOTIK DAN ABIOTIK DI CANDI BOROBUDUR

Oleh: Muhammad Hasmi Yanuardi

Dosen Jurusan Sejarah FIS UNJ

Abstrak

Bangunan Candi Borobudur merupakan salah satu bangunan yang dilindungi dan menjadi warisan dunia oleh UNESCO. Sebagai negara pemilik asli warisan tersebut, Indonesia berkewajiban menjaga dan melestarikannya. Sebagai bangunan yang berbahan dasar batu andesit dan berada di lokasi terbuka, Candi Borobudur menjadi rentan terhadap pengaruh luar yang dapat merusak baik secara fisis maupun kimiawi. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi bisa berupa faktor biotis dan faktor abiotis. Berbagai cara telah dilakukan guna menjaga kelestarian Candi Borobudur, dari restorasi sampai dengan pembersihan-pembersihan baik di lingkungan candi maupun di permukaan tembok batu dari berbagai gangguan seperti lumut, ganggang, dan juga air.

Latar Belakang

Candi Borobudur merupakan sebuah bangunan peninggalan sejarah berlatar belakang agama Budha yang dibangun sekitar tahun 800 masehi ketika wilayah Jawa Tengah dipimpin oleh seorang raja dari Dinasti Syailendra.¹ Candi Borobudur merupakan salah satu dari enam warisan dunia (*World Heritage*) di Indonesia yang oleh UNESCO ditetapkan pada tahun 1991 dengan nomor 592/1992. Sebagai sebuah warisan dunia, Candi Borobudur menjadi bernilai penting bukan saja bagi Indonesia sebagai negara di mana lokasi

candi tersebut berada, tetapi juga bernilai penting bagi peradaban dunia.

Berdasarkan data sejarah, Candi Borobudur sudah beberapa kali mengalami pemugaran. Pemugaran pertama berlangsung pada tahun 1907 sampai 1911, ketika Indonesia masih berada pada masa Hindia Belanda, oleh Th. Van Erp dan pemugaran kedua di tahun 1973-1983 oleh pemerintah Indonesia yang dibantu UNESCO beserta beberapa negara donor. Pada pemugaran yang pertama, van Erp bertujuan mencegah runtuhnya tembok-tembok bangunan dan mencegah hilangnya data arkeologis dengan memperbaiki bagian Arupadatu dan stupa induk. Sedangkan pada tahap yang kedua tersebut bertujuan memperbaiki dan mengembalikan bagian tubuh candi atau Rupadatu.²

¹ Unesco, *The Restoration of Borobudur* (Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2005), hln. 38.

Sebagai bangunan yang berada di lapangan terbuka dan terbuat dari bahan bangunan porous (bahan dari batu), Candi Borobudur rentan terkena berbagai masalah yang berkaitan dengan persoalan kerusakan dan pelapukan. Pemicu persoalan tersebut bisa terjadi disebabkan berbagai faktor, seperti faktor biotis dan abiotis.

Faktor biotis dan abiotis merupakan faktor yang disebabkan pengaruh lingkungan. Faktor tersebut dapat menyebabkan terjadinya degradasi terhadap bangunan candi. Degradasi lingkungan yang berasal dari faktor biotis dapat berupa ganggang (*algae*), lumut (*moss*), lumut kerak (*lichens*), tanaman tingkat tinggi, bakteri, *fungi*, dan *aktinomyces*. Sedangkan faktor abiotis dapat berupa iklim, air, bencana alam, dan vandalisme.³ Degradasi yang dialami oleh batuan dapat berupa kerusakan secara fisik atau yang disebut secara teknis sebagai *physical damage*. Kerusakan semacam ini (*physical damage*) hanya berupa kerusakan struktur atau konstruksi pada benda (bangunan/batu) tetapi tidak menyebabkan perubahan pada susunan kimiawi benda. Sedangkan degradasi batuan/benda yang disebabkan adanya perubahan pada unsur-unsur kimia penyusun benda yang kemudian

mengubah bentuk benda disebut sebagai *physical deterioration* atau dalam bahasa umum dikenal dengan istilah pelapukan. Jadi, pelapukan menyebabkan perubahan benda dalam dua hal yaitu baik fisik maupun kimiawinya. Pelapukan tersebut dapat disebabkan oleh endapan kristal garam yang menempel pada dinding-dinding batuan, bisa karena rembesan air hujan maupun kapilarisasi air tanah.⁴

Berdasarkan faktor lingkungan tersebut, penulis di dalam makalah ini mencoba membahas sejauhmana faktor-faktor lingkungan tersebut mempengaruhi kondisi bangunan Candi Borobudur yang berbahan batu andesit. Persoalan mengenai faktor lingkungan terhadap bangunan Candi Borobudur perlu dikaji karena selain candi tersebut memang menjadi warisan dunia yang perlu dilindungi dan menjadi objek wisata, maka segala hal yang dapat mengakibatkan degradasi baik alami maupun tidak perlu mendapat perhatian. Sehingga dengan mengetahui persoalan yang mengakibatkan degradasi atas bangunan candi dapat diketahui pemecahan persoalannya.

Landasan Konsep dan Teori

Sebelum membahas persoalan lingkungan yang dialami Candi Borobudur sebagai bangunan porous yang berada di lingkungan terbuka, beberapa pandangan atau landasan teori mengenai kerusakan dan preservasi secara umum akan dibahas berikut ini.

² Baca Wiwit Kasiyati, SS. dan Drs. Marsis Sutopo, M.Si., 'Balai Konservasi Peninggalan Borobudur: Visi dan Tantangan Ke Depan' dalam *Jurnal Konservasi Benda Cagar Budaya Borobudur*, Vol I (No. 1 Desember 2007), hlm. 5.

³ Hubertus Sadirin, "Peranan Faktor Lingkungan dalam Proses Degradasi Bahan Benda Cagar Budaya", Diktat acuan mata kuliah Konservasi Bangunan dan Situs, Program Studi Arkeologi, Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya, Program Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta, t.t., hln. 3-7.

⁴ C. A. Price, *Stone Conservation: An Overview of Current Research* (Santa Monica, California: The J. Paul Getty Trust, 1996), hln. 4-7. Baca juga John Ashurst dan Nicola Ashurst, *Practical Building Conservation: English Heritage Technical Handbook. Vol .1 Stone Masonry* (Aldershot, England: Gower Technical Press Ltd., 1988), hln. 1-3.

Di dalam penanganan terhadap benda atau bangunan cagar budaya sering dikenal berbagai istilah yang berkaitan dengan proses kegiatan tersebut, di antaranya adalah konservasi, dan preservasi. Definisi konservasi berdasarkan salah satu literatur sebagai berikut :

*Conservation basically aims to prevent objects disintegrating once they have been exposed to the atmosphere and to discover the true nature of the original artefact.*⁵

Jadi, tujuan dari kegiatan konservasi adalah mencegah kerusakan benda dari lingkungan sekitarnya dan berupaya menemukan/mempertahankan keaslian suatu benda. Konservasi dalam pengertian lain diartikan sebagai suatu tindakan perawatan dengan cara pengawetan yang dilakukan terhadap benda cagar budaya (bangunan/situs) yang telah mengalami kerusakan/pelapukan.⁶ Dilihat dari kedua definisi tersebut, pada intinya tidak ada perbedaan. Tindakan tersebut dilandasi ide dasar untuk mencegah kerusakan.

Sedangkan definisi preservasi adalah seperti berikut:

Preservation is aimed, essentially, at maintaining a place as it now is...In the case of the ruins of a mining town, preservation is to take steps to prevent further deterioration, but not rebuilding the buildings;

*in the case of an art site it is to take steps to prevent the art finding further, but not repainting or touching it up, or trying to reconstruct the original surroundings. Preservation simply means taking steps to maintain the status quo.*⁷

Berdasarkan definisi tersebut, pokok kegiatan preservasi adalah mencegah kerusakan lebih lanjut dengan cara merawat dan menanggulangi pengaruh faktor lingkungan yang mengancam kondisi bangunan. Sehingga dengan begitu, walau berupaya mengatasi persoalan yang mengancam kondisi bangunan, tidak dibenarkan mengubah keaslian bangunan yang dipreservasi. Benda cagar budaya pada dasarnya memiliki empat aspek keaslian (keautentikan) menurut Bernard Fielden dan Jukaletto (1972) dan tidak jauh berbeda dengan isi Piagam Venesia 1964 (*Venice Charter 1964*) pada Bagian Konservasi ayat 4 sampai dengan ayat 8, yaitu:

- 1) Nilai keaslian bahan (*authenticity in material*);
- 2) Nilai keaslian desain (*authenticity in design*);
- 3) Nilai keaslian teknologi pengerjaan (*authenticity in workmanship*);
- 4) Nilai keaslian tata letak (*authenticity in setting*).⁸

Secara teori penyebab kerusakan dapat dibedakan kedalam dua jenis, pertama adalah kerusakan secara fisik (*physical damage*) dan yang kedua

⁵ J.M. Cronyn, *The Elements of Archaeological Conservation* (London and New York: Routledge, 1990), hln. 1-4.

⁶ Baca Hubertus Sadirin, Diktat Perkuliahan "Konservasi Bangunan dan Situs", Program Studi Arkeologi, Program Pascasarjana Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia, Depok. 2008.

⁷ Michael Pearson and Sharon Sullivan, *Looking After Heritage Places: The Basics of Heritage Planning for Managers, Landowners and Administrators* (Melbourne: Melbourne University Press, 1995), hlm. 233.

adalah pelapukan baik fisis maupun kimiawi (*physical and chemical deterioration*). Kerusakan fisik adalah kerusakan struktur benda, seperti kehancuran batu akibat pendinginan, abrasi tulang-tulang muda oleh aliran air, atau perubahan akibat tekanan dari pengangkatan tanah. Pelapukan fisis dan kimiawi adalah perubahan komposisi kimiawi benda; air dan udara berkarat besi, hancurnya plester kapur asam, hancurnya bakteri dari kulit.⁹

Agen yang memiliki pengaruh terhadap benda/bangunan dapat berupa makhluk hidup dan juga lingkungan. Makhluk hidup atau organisme itu sendiri tidak terlepas dari pengaruh lingkungan di sekitarnya juga. Jadi, masing-masing faktor saling mempengaruhi dan berdampak pada benda/bangunan. Organisme yang dapat mempengaruhi bisa berupa binatang yang besar dan tanaman-tanaman dan juga berupa organisme kecil (renik).

Mikro-organisme

Organisme kecil merupakan organisme yang sangat peka terhadap perubahan lingkungan, tetapi sebagian organisme dapat beradaptasi dalam menghadapi lingkungan yang kadar keasamannya berubah dengan cepat, pengeringan atau kurangnya kadar oksigen. Masing-masing individu organisme umumnya tidak dapat dilihat secara satu persatu, namun secara umum

dilihat sebagai sebuah kumpulan individu organisme. Organisme renik atau kecil itu berupa *algae*, yang merupakan jenis tumbuhan yang hidup di daerah yang lembab, baik di laut maupun di udara terbuka. Organisme yang kedua adalah fungi yang merupakan organisme sederhana yang biasa ditemukan sepanjang filamen sel (*hyphae*). Kelompok besar *fungi* berperan dalam kerusakan material yang mengandung *fungi*. *Lichens* adalah organisme yang tumbuh dalam koloni-koloni yang dapat dilihat dengan mata telanjang. *Lichens* adalah simbiosis antara *fungi* dan *algae* yang dapat bertahan di lingkungan yang kering dan basah. Bakteri terdiri dari sekelompok organisme sel tunggal yang berukuran 1-2 mikrometer. Keberadaannya dapat tidak terlihat mata tetapi umumnya sering dapat diketahui dari bau yang khas yang dikeluarkannya.¹⁰

Lingkungan Arkeologis Penyebab Kerusakan

Penyebab kerusakan yang berasal dari lingkungan dan bukan berupa unsur biotik adalah disebut abiotik. Faktor yang berperan dalam hal ini adalah iklim: suhu udara, kelembaban udara, penyinaran, penguapan, polusi udara; air: air hujan, air rembesan, air kapiler; bencana alam; banjir, gempa bumi, kebakaran; dan vandalisme: corat-coret, goresan, perusakan, pemindahan, pencurian.¹¹

Batu merupakan suatu benda yang umumnya berat, stabil, dan memiliki

⁹ Hubertus Sadirin, "Peranan Faktor Lingkungan dalam Proses Degradasi Bahan Benda Cagar Budaya", Diktat acuan mata kuliah Konservasi Bangunan dan Situs, Program Studi Arkeologi, Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya, Program Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta, t.t., hlm. 1.

⁹ Cronyn, *The Elements of Archaeological Conservation*, hln. 14.

¹⁰ *Ibid.*, hln. 15-16.

¹¹ Baca Hubertus Sadirin, Diktat Perkuliahan "Konservasi Bangunan dan Situs: Peranan Faktor Lingkungan dalam Proses Degradasi Bahan", Program Studi Arkeologi, Program Pascasarjana Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia, Depok. 2008.

tingkat porositas yang berbeda-beda tergantung tingkat dan jenis batuan. Candi Borobudur dibangun dengan menggunakan jenis batu andesit yang memiliki permukaan kasar, cenderung berwarna gelap tetapi tidak hitam, memiliki tingkat porositas antara 14-30%, tingkat silikon dioksida (SiO_2) diantara 52% dan 66%. Silika adalah silikon dioksida yang terjadi dalam berbagai macam bentuk mineral baik *crystalline* (kuarsa dan kristobalit) dan air, *cryptocrystalline* (batu api, kalsedon, batu akik, dll).¹²

Hasil Pengamatan Kondisi di Lapangan (Survei)

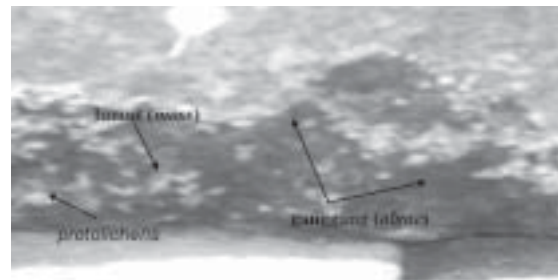
Berdasarkan observasi yang telah dilakukan langsung di lapangan, dalam hal ini di Candi Borobudur, penulis mengamati beberapa faktor yang terkait dengan penyebab kerusakan dan pelapukan seperti yang telah disebutkan di awal penjelasan makalah ini, yaitu faktor biotis dan abiotis. Pada halaman berikut merupakan foto/gambaran hasil pengamatan mengenai faktor biotis dan abiotis di Candi Borobudur yang sempat penulis amati.

Foto 1



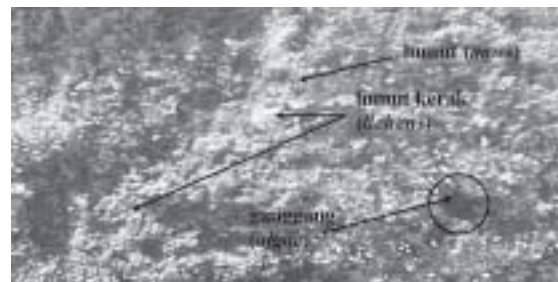
Kondisi keterawatan Candi Borobudur dilihat dari dekat saat kondisi cuaca cerah (5 Mei 2008)

Foto 2



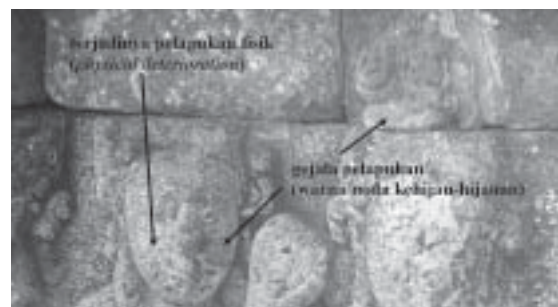
Kondisi salah satu sudut batuan di Candi Borobudur dilihat dari jarak dekat terdapat jasad makroskopis berupa lumut (*moss*), ganggang (*algae*), dan *protolichens*.

Foto 3



Keberadaan mikrobia berupa jasad makroskopis jenis ganggang (*algae*) dan lumut sejati (*moss*), dan lumut kerak (*lichens*).

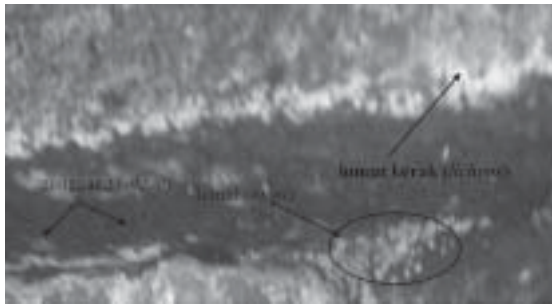
Foto 4



Kondisi Relief Batu di Candi Borobudur yang mengalami

¹² Baca Hubertus Sadirin dan Ratnaesih Maulana, Diktat Perkuliahan "Konservasi Bangunan dan Situs: Sifat-Sifat Alami Bahan", Program Studi Arkeologi, Program Pascasarjana Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia, Depok. 2008 dan Cronyn, *The Elements of Archaeological Conservation*, hln. 102.

Foto 5



Kondisi permukaan dinding batu Candi Borobudur yang mengandung jasad makroskopis, seperti lumut (moss), dan ganggang (*algae*).

Foto 6



Kondisi permukaan batu yang mengalami degradasi akibat faktor air yang menyebabkan munculnya lumut (moss), ganggang (*algae*), dan kanker batu (*ulcer*).

Analisis dan Penanganan

Kondisi yang dialami batuan Candi Borobudur berdasarkan pengamatan baik langsung maupun melalui foto tersebut, mengalami beberapa persoalan. Persoalan yang pertama adalah kerusakan yang terjadi disebabkan baik faktor biotis dan abiotis. Faktor biotis yang terjadi adalah karena disebabkan adanya jasad makroskopis seperti ganggang (*algae*), lumut (*moss*), lumut kerak (*lichens*) dan tanaman perdu seperti *spermatophyte* dan *pteridophyta*. Sedangkan tanaman tingkat tinggi dan jenis serangga seperti rayap, kumbang, labah-labah tidak ada.

Namun untuk semut diperkirakan terdapat di sela-sela bebatuan, namun keberadaannya tidak mengganggu kondisi batuan.

Sedangkan faktor abiotis yang sangat mengganggu kondisi batu candi yang berada di alam terbuka adalah air. Air yang dapat berasal dari air hujan, air rembesan, dan air kapiler merupakan persoalan yang dialami Candi Borobudur karena dapat menyebabkan pelapukan pada dinding batu, seperti di foto 4, 5, dan 6. Selain itu juga, air dapat menyebabkan munculnya persoalan yang berasal dari faktor biotis. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya kondisi batuan yang lembab, sehingga dapat memunculkan lumut dan ganggang. Rembesan air umumnya terjadi di bagian-bagian dinding/tembok yang retak, sambungan, atau di dasar dinding yang umumnya kurang terkena sinar matahari.

Air yang berasal dari air hujan ketika meresap ke dalam pori-pori batuan dapat menyebabkan air tersebut menjadi asam, sehingga menyebabkan pelapukan pada permukaan dinding-dinding tembok batu. Pada tahap itu muncullah yang dinamakan kanker batu (*ulcer*). Kanker batu yang masih tertutup dinamakan *postule* (kanker/bisul batu yang masih tertutup) dan menjadi *alveole* (kanker/bisul batu yang telah pecah/terbuka) setelah mengalami proses biokimiawi dan endapan garam dari air tersebut bercampur dengan protonema lumut. Kondisi semacam itu dapat dilihat pada foto 4 dan 6.

Kondisi abiotis lainnya seperti iklim, baik mikro maupun makro: suhu udara, kelembaban udara, penyinaran, penguapan, dan polusi udara memang memiliki dampak baik langsung maupun tidak langsung terhadap objek

bangunan. Seperti kelembaban udara memang merupakan faktor yang tidak terhindarkan di wilayah yang beriklim tropis, namun hal tersebut dapat diatasi dengan pembersihan rutin terhadap faktor-faktor yang ditimbulkannya, terlebih-lebih bila bangunan/objek sering mengalami penyinaran. Penguapan, terutama yang berasal dari air bawah tanah di Candi Borobudur ketika dalam proses restorasi telah diantisipasi dengan memasang lempengan tembaga yang mencegah rembesan dan penguapan air. Sedangkan polusi udara di Candi Borobudur relatif dapat diminimalkan dengan adanya pembagian zona-zona, sehingga polusi dari kendaraan misalnya dapat dibatasi, begitu juga pembangunan yang berada di sekitar candi.

Bencana alam seperti banjir, gempa bumi dan kebakaran sejauh ini di Candi Borobudur tidak terjadi, terlebih-lebih selain candi berada di atas bukit sehingga terhindar dari banjir, bangunannya pun terbuat dari batu yang tidak mudah terbakar seperti bahan dari kayu.

Persoalan kerusakan dan perusakan akibat vandalisme, seperti corat-coret, goresan, pemindahan, perusakan, dan pencurian juga dijadikan perhatian dalam menjaga kondisi keaslian bangunan. Upaya untuk mencegahnya adalah dengan penempatan satuan pengamanan (satpam) di pintu-pintu tertentu, pelarangan membawa benda-benda tajam, termasuk alat-alat untuk mencoret-coret, seperti spidol, cat, kapur, dan sebagainya. Adapun berkaitan dengan pencurian dan perusakan telah ada peraturan dan hukum yang mengaturnya.

Berdasarkan metode dan teknik konservasi terhadap bangunan khususnya benda/bangunan cagar budaya harus dilakukan secara hati-hati agar tidak merusak material bangunan. Metode dan teknik yang dimaksud dapat berupa pertolongan pertama, pembersihan, perbaikan, konsolidasi, pengawetan, dan perlindungan. Berdasarkan pengamatan yang telah dipaparkan, faktor biotis yang ada terlihat adalah ganggang, lumut sejati, dan lumut kerak. Cara pembersihan ganggang adalah dengan dengan pembersihan basah dan berbahan sikat dan air bersih. Pembersihan terhadap lumut sejati adalah dengan metode pembersihan kimiawi atau *steam cleaning* (air panas bertekanan) dan menggunakan bahan air, sikat ijuk, herbisida, Lumut kerak dibersihkan dengan cara kimiawi dan menggunakan bahan air, sikat ijuk, agensia pembersih –AC322 (+clay). Baik lumut sejati maupun lumut kerak ketika setelah dibersihkan kemudian harus di periksa menggunakan kertas pH yang berfungsi untuk memeriksa pembersihan terakhir sampai bersifat netral dan sudah terbebas dari sisi-sisa bahan kimia apa tidak.¹³

Sedangkan pembersihan terhadap faktor abiotis seperti endapan air garam dapat berupa pembersihan kimiawi untuk di permukaan batu, fisik untuk di dalam pori-pori benda/batu, dan mekanis untuk endapan garam yang mengeras. Bahan-bahan/alat disesuaikan dengan permasalahan seperti penggunaan asam sitrat, sikat,

¹³ Baca Hubertus Sadirin, Diktat Perkuliahan “Konservasi Bangunan dan Situs: Konservasi Bahan Bangunan Porous”, Program Studi Arkeologi, Program Pascasarjana Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia, Depok. 2008.

kertas pH, air bersih, bubur kertas merang, sikat, aquadest, scalpel/ spatula, bor gigi, dan asam khlorida kadar rendah (0,1-0,5%).¹⁴

Khusus di Candi Borobudur, menggunakan lapisan kedap air (*watertight layer*), lapisan saringan (*filter layer*), penahan kapilarisasi air tanah (*anticapillary system*), dan sistem drainase (*drainage system*). Upaya perlindungan terhadap resapan air hujan adalah dengan metode olesan/ semprotan dan dengan bahan zat penolak air/*silicon resin (water repellent)*.¹⁵

Penutup

Sebagai benda cagar budaya yang juga menjadi warisan dunia, Candi Borobudur mendapat perhatian lebih daripada benda/bangunan/situs lainnya yang juga cagar budaya tetapi belum menjadi warisan dunia. Berbagai upaya dilakukan untuk menjaga kondisi bangunan agar tetap stabil dan terpelihara. Upaya yang telah dilakukan antara lain dengan cara pemugaran struktur/restorasi agar fondasi yang labil menjadi lebih kuat dan dengan cara pembersihan dan pengawasan secara rutin kondisi fisik candi. Walau sudah mengalami pemugaran dan dianggap telah jauh lebih baik kestabilan strukturnya, namun persolan yang perlu dicermati adalah gangguan-gangguan akibat faktor biotis dan abiotis.

Faktor-faktor tersebut kerap terjadi karena keberadaan bangunan candi yang berada di lapangan terbuka dan lokasi wilayah yang beriklim tropis cenderung sering mengalami kondisi lembab. Kondisi lembab inilah yang menjadi pemicu munculnya organisme-

organisme kecil yang tumbuh di permukaan batu.

Lokasi candi yang di alam terbuka menyebabkan air dengan mudah meresap dan masuk ke dalam pori-pori batu, terutama air yang berasal dari hujan. Kondisi basah dan lembab akibat air menyebabkan organisme seperti lumut, dan algae tumbuh subur.

Berbagai upaya perbaikan kondisi bangunan telah disinggung sebelumnya. Namun pembersihan tersebut mengandung prinsip beberapa prinsip yaitu: jika mungkin dilakukan dalam keadaan kering, pembersihan secara basah menggunakan air bersih (tidak ada garam-garam terlarut), salinitas air (pH) harus netral, air pembersihan harus dilokalisasi, dan menggunakan peralatan yang tidak dapat merusak permukaan benda.¹⁶

Selain itu, upaya pembersihan harus mengandung prinsip *minimum intervention*, yang artinya upaya pembersihan tersebut sedapat mungkin hanya meminimalkan efek dari mikroba pengganggu tersebut. Bila dianggap telah aman dari gangguan dan penyebabnya upaya pembersihan harus dihentikan, tidak boleh berlebihan yang dapat menyebabkan *over-cleaning*.

Daftar Pustaka

Ashurst, John dan Nicola Ashurst.
1988. *Practical Building Conservation: English Heritage Technical Handbook. Vol. 1 Stone Masonry*, Aldershot, England: Gower Technical Press Ltd.

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ *Ibid.*

¹⁶ Baca Hubertus Sadirin, *loc. Cit.*

- Cronyn, J.M. 1990. *The Elements of Archaeological Conservation*, London and New York: Routledge.
- Kasiyati, Wiwit.,SS. dan Drs. Marsis Sutopo, M.Si., 2007. 'Balai Konservasi Peninggalan Borobudur: Visi dan Tantangan Ke Depan' dalam *Jurnal Konservasi Benda Cagar Budaya Borobudur*, Vol I, No. 1 Desember, hln. 5.
- Pearson, Michael and Sharon Sullivan. 1995. *Looking After Heritage Places: The Basics of Heritage Planning for Managers, Landowners and Administrators*, Melbourne: Melbourne University Press.
- Price, C.A. 1996. *Stone Conservation: An Overview of Current Research*, Santa Monica, California: The J. Paul Getty Trust.
- Sadirin, Hubertus. t.t. "Peranan Faktor Lingkungan dalam Proses Degradasi Bahan Benda Cagar Budaya", Diktat acuan mata kuliah Konservasi Bangunan dan Situs, Program Studi Arkeologi, Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya, Program Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta.
- Sadirin, Hubertus. 2008. Diktat Perkuliahan "Konservasi Bangunan dan Situs", Program Studi Arkeologi, Program Pascasarjana Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia, Depok.
- Unesco. 2005. *The Restoration of Borobudur*, Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.