

# Biological Assessment Pertumbuhan Lumut di Candi Borobudur pada Sisi Utara dan Selatan Lorong 2

Dandri Aly Purawijaya<sup>1</sup> & Adinda Gita Priyantika

Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung

Email : [daretoreal@gmail.com](mailto:daretoreal@gmail.com)

**Abstrak :** Penelitian *biological assessment* pada pertumbuhan lumut di Candi Borobudur ditujukan sebagai inisiasi penelitian untuk menentukan rumus hubungan antara pertumbuhan lumut dengan tingkat kerusakan candi. Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel pada sisi utara dan sisi selatan lorong 2 Candi Borobudur. Pengambilan sampel dilakukan pada empat spot pada setiap sisi dengan pengulangan dua kali setiap spotnya. Sampel dari lapangan ditimbang kemudian dikeringkan dalam oven hingga berat konstan dan dibakar dalam *furnace* untuk memisahkan sisa partikel lumut dengan pasir. Berdasarkan data berat dilakukan konversi sehingga didapatkan nilai indeks konversi sebesar  $0.00560274 \times \text{g/cm}^2$  berdasarkan tutupan lumut terhadap massa pasir batuan yang terbawa oleh lumut. Berdasarkan nilai indeks, dapat disimpulkan bahwa lumut tidak menjadi ancaman yang berarti bagi keberlangsungan Candi Borobudur karena sedikitnya jumlah pasir yang terbawa oleh lumut ketika diambil dari batuan.

Kata Kunci : *Biological Assessment*, Candi Borobudur, Lumut, Lorong 2, Biodeteriorasi

**Abstract :** The biological assessment of Borobudur Temple mosses growth was an initial research to determine the correlation formula between mosses growth and building deteriorations. This research was conducted with samples collection from northern and southern parts of Borobudur Temple's Lorong 2. Samples were collected from four spots of each part and repeated two times for each spot. Samples were measured then dried using oven until the mass was constant. Samples were burned using furnace to separate organic masses and sand particles. Measured masses were converted and the conversion index was  $0.00560274 \times \text{g/cm}^2$  based on mosses coverage and sand particle masses from the mosses substrate. Based on conversion index, it can be concluded that mosses do not possess a threat for Borobudur Temple because the sand particle masses that were eroded when the mosses were cleaned can be counted as few.

Kata Kunci : *Biological Assessment*, Borobudur Temple, Mosses, Lorong 2, Biodeterioration

## Pendahuluan

Candi Borobudur merupakan monumen sejarah yang berada di Desa Borobudur, Kecamatan Borobudur, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Secara astronomis, Candi Borobudur terletak pada  $7^{\circ}36'28''$  LS dan  $110^{\circ}12'13''$  BT. Candi Borobudur terletak pada daerah dengan ketinggian 265 dpl. Batuan pada Candi Borobudur sebagian besar terdiri atas batuan andesit yang memiliki ciri berpori banyak. Pori yang banyak pada batuan andesit menyebabkan bervariasinya nilai porositas sehingga memungkinkan untuk tertampungnya air. Penampungan air pada pori-pori batuan andesit menyebabkan terbentuknya lingkungan yang mendukung untuk pertumbuhan mikroorganisme perintis dan menyebabkan terjadinya biodeteriorasi (Konservasi Borobudur, 2012; Kanaori et al., 2000; Buscot, 2000).

Biodeteriorasi batuan adalah proses perusakan batuan yang disebabkan oleh agen biologis yang disebut dengan biodeteriogen. Biodeteriogen dapat menyebabkan kerusakan secara langsung ataupun secara tidak langsung. Agen biodeteriorasi antara lain adalah

jamur, algae, lumut, dan bakteri (Kumar & Kumar, 1999).

Lumut merupakan organisme peralihan yang berada pada *kingdom plantae* dengan karakteristik khas tidak memiliki jaringan vaskuler dan tidak memiliki akar sejati namun memiliki rhizoid. Lumut merupakan organisme autotrof dengan memiliki pigmen klorofil dan karotenoid. Lumut merupakan organisme yang hidup pada daerah lembab dan umumnya hidup bersimbiosis dengan organisme lain seperti fungi dan alga. Lumut merupakan organisme yang terdiri atas tiga divisi yang terdiri atas Bryophyta, lumut hati, dan lumut tanduk. Lumut merupakan organisme yang memerlukan daerah berair karena lumut memerlukan air dalam siklus reproduksinya untuk membantu proses fertilisasi. Lumut sendiri memiliki fungsi sebagai pembangun tanah untuk menyiapkan lahan bagi pertumbuhan organisme lain. (Kumar & Kumar, 1999; Richardson, 2010; Peck & Muir, 2001; Bernard & Buck, 2004).

*Biological Assessment* merupakan salah satu upaya untuk mendokumentasikan efek lingkungan terhadap

agensia biologis yang dianggap terancam sekaligus menilai efek dari agen biologis tersebut terhadap habitatnya (Scott & Hainess, 2008). Adapun beberapa substrat yang menjadi habitat bagi lumut adalah batuan, tanah mineral, tanah asam, sisi sungai, tanah berhumus, batang kayu, ranting kayu, dan lain-lain (Pojar & MacKinnon, 1994). Dalam melakukan *Biological Assessment*, terdapat beberapa tahapan dan hal-hal yang harus diperhatikan seperti ruang lingkup penelitian, kondisi fisik dan biologis dari ruang lingkup yang diteliti, identifikasi spesies, identifikasi habitat dari spesies, dan deskripsi tindakan yang dapat diambil untuk spesies tersebut (USFWS, 2012). *Biological Assessment* terkait lumut masih jarang sekali untuk dilakukan karena lumut dianggap sebagai organisme yang memiliki status berlimpah sehingga dianggap tidak perlu dilakukan *assessment*. *Biological Assessment* umum dilakukan pada spesies-spesies yang dianggap terancam kepunahan (Scott & Hainess, 2008).

### Tujuan Penelitian

Penelitian *biological assessment* pada pertumbuhan lumut di Candi Borobudur ditujukan sebagai inisiasi penelitian untuk menentukan rumus hubungan antara pertumbuhan lumut dengan tingkat kerusakan candi

### Metode

Pengambilan sampel dilakukan di lorong 2 Candi Borobudur dengan asumsi lorong 2 dapat mewakili data pada lorong-lorong di bawahnya dan di atasnya karena lorong 2 berada di ketinggian tengah Candi Borobudur. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Juni 2012. Pada proses pengambilan sampel dilakukan 2 kali pengulangan pada delapan titik yang ditentukan.

### Pengambilan sampel di Lapangan.

Pada lorong 2 ditentukan delapan titik pengambilan sampel dan dibuat plot 10x10 cm pada masing-masing tempat. Kemudian, lumut dan mineral yang melapuk diambil dan dimasukkan ke kantong klip. Pada saat pengambilan data

dilakukan pengukuran mikroklimat sebagai parameter sekunder.

### Pengukuran Biomassa dan Mineral Batuan.

Biomassa lumut dan mineral batuan dipisahkan menggunakan metode penyaringan. Kemudian biomassa lumut dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga beratnya tetap dan partikel pasir disaring menggunakan kertas Whatman no. 60. Partikel pasir kemudian dibakar dalam furnace pada suhu 900 °C. Terakhir berat dari biomassa lumut dan partikel pasir ditimbang untuk dibandingkan menghitung indeks konversi tutupan lumut terhadap jumlah pasir yang dibawa ketika lumut diambil dari batuan.

**Metode Perhitungan.** Signifikansi kerusakan yang ditimbulkan oleh lumut dilihat melalui angka indeks. Perhitungan indeks dilakukan dengan rumus :

$$Index = \frac{Berat\ pasir / Biomassa\ Lumut}{Luas\ Permukaan\ Plot}$$

Rumus perhitungan indeks diajukan untuk

**Tabel 1. Berat Lumut dan Berat Pasir**

Spot	Berat Lumut	Berat lumut/cm <sup>2</sup>	Berat Pasir (g)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Perbandingan lumut/pasir	Index (/cm <sup>2</sup> )
Lt 4 selatan bidang a pengulangan 1	0,0519	0,001384	0,0008	37,5	64,875	1,73
Lt 4 selatan bidang a pengulangan 2	0,0127	0,00127	0,0658	10	0,19300912	0,019301
Lt 4 selatan bidang a pengulangan 3	0,0221	0,0027625	0,0101	8	2,18811881	0,273515
Lt 4 selatan bidang c pengulangan 1	0,0088	0,0002958	0,0071	29,75	1,23943662	0,041662
Lt 4 selatan bidang c pengulangan 2	0,0166	0,0027667	0,0021	6	7,9047619	1,31746
Lt 4 selatan bidang c pengulangan 3	0,029	0,0024167	0,0043	12	6,74418605	0,562016
Lt 4 selatan bidang h pengulangan 1	0,0246	0,0008786	0,00723	28	3,40248963	0,121517
Lt 4 selatan bidang h pengulangan 2	0,0115	0,0005476	0,0278	21	0,41366906	0,019699
Lt 4 selatan bidang h pengulangan 3	0,012	0,0006667	0,0126	18	0,95238095	0,05291
Lt 4 selatan bidang j pengulangan 1	0,0074	0,000185	0,4951	40	0,01494648	0,000374
Lt 4 selatan bidang j pengulangan 2	0,0474	0,00395	0,019	12	2,49473684	0,207895
Lt 4 selatan bidang j pengulangan 3	0,0153	0,00102	0,039	15	0,39230769	0,026154
Lt 4 utara bidang a pengulangan 1	0,0100	0,106951872	0,0935	9	0,106951872	0,011884
Lt 4 utara bidang a pengulangan 2	0,0088	1,571428571	0,0056	16	1,571428571	0,098214
Lt 4 utara bidang c pengulangan 1	0,1156	5,989637306	0,0193	12	5,989637306	0,499136
Lt 4 utara bidang c pengulangan 2	0,0157	0,356818182	0,044	12	0,356818182	0,029735
Lt 4 utara bidang c pengulangan 3	0,0117	1,258064516	0,0093	30	1,258064516	0,041935
Lt 4 utara bidang h pengulangan 1	0,0293	4,966101695	0,0059	6	4,966101695	0,827684
Lt 4 utara bidang h pengulangan 2	0,0121	0,828767123	0,0146	8	0,828767123	0,103596
Lt 4 utara bidang h pengulangan 3	0,0011	0,016717325	0,0658	30	0,016717325	0,000557
Lt 4 utara bidang j pengulangan 1	0,0045	3	0,0015	10	3	0,3
Lt 4 utara bidang j pengulangan 2	0,0492	3,617647059	0,0136	30	3,617647059	0,120588
Lt 4 utara bidang j pengulangan 3	0,1075	2,095516569	0,0513	12	2,095516569	0,174626

melakukan pendekatan kerusakan batuan oleh lumut. Rata-rata index dikalikan dengan data biomassa lumut/cm<sup>2</sup>. Hasilnya berupa konstanta jumlah mineral pasir yang terlapukkan per biomassa lumut/cm<sup>2</sup>. Konstanta dapat digunakan untuk menghitung jumlah pasir yang terlapukkan berdasarkan *coverage* lumut pada keseluruhan blok.

$$\text{Konstanta} = \text{Rata - rata Index} \times \text{Rata-rata} \frac{\text{Biomassa lumut}}{\text{Luas Permukaan}}$$

### Hasil Pengamatan

Data-data pada Tabel 1 diuji menggunakan analisis statistik ANOVA untuk melihat kecenderungan dari data. Nilai Signifikansi dari hasil uji statistik untuk index ( $p > 0.05$ ) menunjukkan bahwa data tiap plot tidak berbeda secara signifikan.

Uji statistik juga dilakukan untuk parameter mikroklimat dan hasil uji statistik menunjukkan delapan titik pengambilan sampel tidak memiliki perbedaan yang

signifikan ( $p > 0.05$ ) terkait parameter mikroklimat (Tabel 2).

Rata-rata Index dari Tabel 1 dikalikan dengan nilai rata-rata biomassa lumut/cm<sup>2</sup>, kemudian didapatkan konstanta. Konstanta tersebut dapat dikalikan dengan luas bidang tutupan (*coverage*) untuk mendapatkan mineral pasir yang terbawa oleh biomassa lumut pada suatu blok. Konstanta yang didapatkan adalah  $0.00560274 \times \text{g/cm}^2$ .

Data *coverage* lumut didapatkan dengan cara mengukur luas tutupan lumut pada blok tempat pengambilan sampel sehingga didapatkan data seperti pada Tabel 3. Rata-rata nilai *coverage* adalah 33%, dengan *coverage* paling rendah 15% dan *coverage* paling tinggi 60%. Hasil pembulatan ke atas rata-rata mineral batuan yang terbawa pada blok-blok yang diukur di bidang selatan adalah 0,1 gram sedangkan pada bidang utara adalah 0,2 gram.

### Diskusi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa biomassa lumut lebih dipengaruhi oleh kelembaban batu dibandingkan dengan kelembaban udara. Jika dibandingkan, nilai biomassa lumut per cm<sup>2</sup> sebanding dengan kelembaban batu. Sedangkan, ketika data biomassa lumut per cm<sup>2</sup> dibandingkan dengan kelembaban udara serta intensitas, nilai indeks tidak selalu berbanding lurus dengan nilai kedua faktor tersebut. Oleh karena itu dapat disimpulkan pada percobaan ini, kelembaban batu lebih memberikan pengaruh secara langsung, sementara kelembaban udara tidak memberikan pengaruh langsung. Meskipun demikian, tingkat kelembaban batu dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan kelembaban udara sehingga secara tidak langsung, intensitas cahaya dan kelembaban udara berpengaruh terhadap biomassa lumut (Ryan *et al.*, 2012). Hal ini dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam pensiasatan faktor lingkungan dalam pengontrolan pertumbuhan lumut.

Data hasil penelitian juga menunjukkan bahwa berat mineral batuan

Tabel 2. Data Mikroklimat

Spot	Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu Batu (Celsius)	Suhu Udara Basah (Celsius)	Suhu Udara Kering (Celsius)	Kelembaban Udara (%)	Kelembaban Batu (rh)
Lt 4 selatan bidang a pengulangan 1	140	22	31	25,5	62,5	48,7
Lt 4 selatan bidang a pengulangan 2	120	22	24	28,5	67,5	13,7
Lt 4 selatan bidang a pengulangan 3	120	22	24	28,5	67,5	13,7
Lt 4 selatan bidang c pengulangan 1	75	22	32	29	-	21,2
Lt 4 selatan bidang c pengulangan 2	105	21	23,5	28,5	67	23,9
Lt 4 selatan bidang c pengulangan 3	105	21	23,5	28,5	67	23,9
Lt 4 selatan bidang h pengulangan 1	100	22	32	25	55	31,9
Lt 4 selatan bidang h pengulangan 2	80	25	24,5	29	67,5	21,4
Lt 4 selatan bidang h pengulangan 3	80	25	24,5	29	67,5	21,4
Lt 4 selatan bidang j pengulangan 1	50	22	33	25,5	75,8	37,4
Lt 4 selatan bidang j pengulangan 2	75	24	24,5	29,5	75	25,1
Lt 4 selatan bidang j pengulangan 3	24	24,5	29,5	75	25,1	25,1
Lt 4 utara bidang a pengulangan 1	65	21	25,5	31,5	60,5	12,3
Lt 4 utara bidang a pengulangan 2	40	23	24	30,5	61,5	18,8
Lt 4 utara bidang c pengulangan 1	55	23	27	33	61	13,5
Lt 4 utara bidang c pengulangan 2	50	23	24	32	49	28,9
Lt 4 utara bidang c pengulangan 3	50	23	24	32	49	28,9
Lt 4 utara bidang j pengulangan 1	162,5	22	24	29,5	61,5	18
Lt 4 utara bidang j pengulangan 2	60	23	24,5	29	61,5	26,2
Lt 4 utara bidang i pengulangan 3	60	23	24,5	29	61,5	26,2
Lt 4 utara bidang h pengulangan 1	60	22	25,5	30,5	65,5	27,5
Lt 4 utara bidang h pengulangan 2	50	23	24,5	32	47,5	52,9
Lt 4 utara bidang h pengulangan 3	50	23	24,5	32	47,5	52,9

Tabel 3. Konversi Partikel Pasir Setiap Spot Pengamatan

Spot	Luas Blok (cm <sup>2</sup> )	Coverage	Luas coverage (cm <sup>2</sup> )	Partikel Pasir (g)
Lt 4 selatan bidang a pengulangan 1	690	20%	119,7	0,054294
Lt 4 selatan bidang a pengulangan 2	560	15%	84	0,038101
Lt 4 selatan bidang a pengulangan 3	630	19%	138	0,062595
Lt 4 selatan bidang c pengulangan 1	900	50%	450	0,204114
Lt 4 selatan bidang c pengulangan 2	820	40%	273,2	0,12392
Lt 4 selatan bidang c pengulangan 3	600	25%	150	0,068038
Lt 4 selatan bidang h pengulangan 1	580	40%	232	0,105232
Lt 4 selatan bidang h pengulangan 2	380	20%	76	0,034473
Lt 4 selatan bidang h pengulangan 3	609,5	50%	304,75	0,138231
Lt 4 selatan bidang j pengulangan 1		58%	418,76	0,189944
Lt 4 selatan bidang j pengulangan 2	551	20%	110,2	0,049985
Lt 4 selatan bidang j pengulangan 3	760	38%	288,8	0,130996
Lt 4 utara bidang a pengulangan 1	327,75	60%	196,65	1,311553
Lt 4 utara bidang a pengulangan 2	429	35%	150,15	1,001422
Lt 4 utara bidang c pengulangan 1	641,25	20%	128,25	0,855361
Lt 4 utara bidang c pengulangan 2	290,56	15%	43,584	0,290683
Lt 4 utara bidang c pengulangan 3	300	35%	105	0,700295
Lt 4 utara bidang h pengulangan 1	459,2	15%	68,88	0,459394
Lt 4 utara bidang h pengulangan 2	534,75	30%	160,425	1,069951
Lt 4 utara bidang h pengulangan 3	534,75	30%	160,425	1,069951
Lt 4 utara bidang j pengulangan 1	303,02	15%	45,453	0,303148
Lt 4 utara bidang j pengulangan 2	293	40%	117,2	0,781663
Lt 4 utara bidang j pengulangan 3	293	40%	117,2	0,781663

yang terbawa oleh lumut tidak selalu berbanding lurus dengan biomassa lumut. Pada nilai berat mineral batuan tertinggi nilai biomassa lumut justru cukup rendah jika dibandingkan dengan nilai lainnya. Hal tersebut dapat dijelaskan dengan faktor-faktor dalam pertumbuhan lumut yang mempengaruhi kerusakan batu.

Faktor pertama adalah kedalaman rhizoid, semakin dalam rhizoid maka semakin besar kerusakan pada batuan yang ditimbulkan oleh lumut. Rhizoid lumut yang tumbuh pada batuan candi dapat menembus hingga 2-3 milimeter ke dalam batu (Gunawan *et al.*, 2007). Oleh karena itu partikel pasir akan terbawa oleh rhizoid lumut tersebut dan menyebabkan kerusakan pada batuan. Berdasarkan analisis hasil percobaan terbukti bahwa lumut rata-rata dapat mengambil partikel pasir sebanyak 0,3x dari biomasnya per cm<sup>2</sup> pada dinding

bagian selatan. Biomassa lumut tidak selalu menunjukkan kedalaman dan *coverage* dari rhizoid karena terdapat kemungkinan rhizoid di dalam memiliki *coverage* yang lebih besar dibandingkan dengan *coverage* pada permukaan. Dengan demikian, ada baiknya untuk penelitian lebih lanjut dilakukan perbandingan antara biomassa dengan *coverage* permukaan dan *coverage* rhizoid.

Faktor kedua adalah kelembaban yang ditimbulkan oleh lumut. Meskipun biomassa lumut kecil, jika kandungan air pada lumut tinggi maka kelembaban pada batuan yang akan menjadi tinggi. Tingginya kelembaban pada batuan menyebabkan mineral batuan yang dapat terdegradasi menjadi lebih banyak. Proses pelapukan oleh kelembaban dapat terjadi karena terjadinya reaksi hidrasi pada komponen mineral penyusun batuan.

Meskipun metode yang digunakan sudah dapat menjawab tujuan, metode masih dapat

dikembangkan terkait beberapa faktor. Faktor pertama adalah pengambilan data menggunakan cara mekanik. Proses pengambilan sampel sangat mempengaruhi mineral batuan yang terbawa karena pengambilan sampel secara mekanis diduga akan menyebabkan pengikisan secara mekanis pada batuan substrat tumbuh lumut. Pengikisan secara mekanis akan menyebabkan bertambahnya berat mineral pasir sehingga mineral pasir yang terkoleksi tidak hanya dari hasil perusakan lumut. Kedua adalah proses penyaringan. Metode pemisahan biomassa dan mineral batuan dengan cara penyaringan masih belum dapat memisahkan biomassa dan partikel pasir secara sempurna. Walaupun telah digunakan furnace untuk menghilangkan materi organik dari mineral batu, hasil yang didapatkan masih belum tepat karena pada proses penyaringan diduga terdapat partikel yang menempel pada saringan

dan terbuang. Hal ini sangat mungkin terjadi karena massa yang digunakan sangatlah kecil (rata-rata <1 gram). Terakhir, metode belum dapat membedakan kerusakan yang hanya ditimbulkan oleh lumut dan organisme sejenis lainnya. Lumut merupakan organisme perintis sehingga tidak terlepas kemungkinan adanya organisme lain yang sudah mulai hidup dan mempengaruhi biomassa yang terkoleksi sedangkan organisme lain tidak berkontribusi pada pelapukan batuan.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa metode pengambilan sampel masih perlu diperbaiki

### Daftar Pustaka

- Atlas RM, Bartha R. 1987. Microbial Ecology: Fundamental and Application. Benjamin Cummings, San Fransisco
- Bernard, G. & W. R. Buck. 2004. Systematic of the Bryophyta (Mosses) : From Molecules to a Revised Classification. Monographs in Systematic Botany. 98 : 205 – 239
- Budiharji, Eko (ed). 1997. Preservation and Conservation of Cultural Heritage in Indonesia. Gadjah Mada University Press, Jogjakarta. Hal 31
- Buscot, F. 2000. Microorganisms in Soils : Roles in Genesis and Functions. Berlin: Springerlink. p 65-66
- Doehne, E dan Clifford E Price. 2010. Stone Conservation, An Overview of Current Research. Getty Publication, Los Angeles.
- Friedman D. 2012. Inspectapedia: Online Encyclopedia. Diakses dari <http://inspectapedia.com>. Pada 20 Juni 2012
- Gunawan, A., Kurniadi, R. & W. Setiyono. 2007. Laporan Studi Metode Pembersihan Lumut dengan Pemanasan. Magelang : Balai Konservasi Peninggalan Borobudur
- Kanaori, Y., Anaka, K. & M. Chigira. 2000. Engineering Geological Advances in Japan for the New Millenium. Amsterdam : Elsevier. p 315
- Konservasi Borobudur. 2012. Candi Borobudur. Diakses dari <http://konservasiborobudur.org/>
- v3/20110104110/statis/candi-borobudur.html pada 6 Juni 2012
- Kumar, R. & A. V. Kumar. 1999. Biodeterioration of Stone in Tropical Environments : An Overview. New York : Getty Conservation Institute
- Peck, J. E. & P. S. Muir. 2001. Estimating the Biomass of Harvestable Epiphytic Moss in Central West Oregon. Northwest Science. 75 (2) : 99 – 106
- Pojar & MacKinnon. 1994. Plants of Pacific Northwest Coast. Vancouver : Lone Pine Publishing
- Richardson, R. 2010. The Bryophytes. Diakses dari <http://scidiv.bellevuecollege.edu/rkr/botany110/lectures/bryophytes.html> pada 6 Juni 2012
- Ryan K, Talaber A, Heimbuch M, Sood M. 2012. Effect of Light Availability and Humidity Gradient on *Anomodon attenuatus*. Diakses dari : <https://netfiles.uiuc.edu/kcryan2/shared/1.html> pada 20 Juni 2012
- Scott, A. & K. Haines. 2008. Invasive Plants Biological Assessment. Diakses dari [http://www.fs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb5201682.pdf](http://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5201682.pdf) pada 7 Juni 2012
- Swastikawati, Ari dk. 2001. Studi Karakteristik Pertumbuhan Moss dan Algae Terhadap Kelestarian Candi Batu. Balai Konservasi Peninggalan Borobudur, Magelang
- Swietlik W, Barbour M, Yoder C. 2003. Introduction to Biological Assessment and Criteria in:

- National Biological Assessment and Workshop. Idaho, USA, Mar 31 - April 4, 2003. p.12-16
- Tiano, Piero. 2002. Biodegradation of Cultural Heritage: Decay Control and Mechanism in: *Cause of Degradation and Conservation Method in Historical Site*. Firenze, Italia.
- Urzi, Clara. 2012. Notes On: Biodeterioration of Stone Related to Cultural History. International Biodeterioration and Biodegradation society. Diakses dari [www.ibbsonline.org](http://www.ibbsonline.org) pada 4 Juni 2012
- USFWS. 2012. Guidance for Preparing a Biological Assessment. Diakses dari <http://www.fws.gov/midwest/endangered/section7/pdf/BAGuidance.pdf> pada 7 Juni 2012
- Wigginton MJ. 2006. Hypopterigiaceae. Diakses dari <http://www.dulwichrunners.org.uk/gba/hypo.htm#hypopterygium>. Pada 20 Juni 2012