Kajian Konservasi Tinggalan Megalitik di Lore, Sulawesi Tengah

Ari Swastikawati, Arif Gunawan dan Yudhi Atmaja

Balai Konservasi Borobudur

arie_swastik@yahoo.com

Abstrak : Salah satu tinggalan megalitik yang memiliki nilai penting sangat tinggi di Indonesia adalah Situs Pokekea, Lore, Sulawesi Tengah, yang berupa patung manusia, kalamba, tutuna (tutup kalamba), dan batu dakon. Namun tinggalan megalitik tersebut sangat tidak terawat dan telah mengalami kerusakan. Untuk mengetahui kondisi tinggalan megalitik tersebut dan cara konservasinya, pada penelitian ini telah dilakukan studi referensi, survei lapangan, serta analisis laboratorium.

Hasil survei lapangan menunjukkan lingkungan di Situs Pokekea berupa lembah padang ilalang dengan iklim mikro yang sangat fluktuatif. Dari 24 artefak yang diobservasi, 18 buah artefak berada dalam posisi berdiri di permukaan atau terbenam sebagian dalam tanah, serta 6 artefak lainnya dalam posisi miring atau tidur. Jenis kerusakan dan pelapukan yang dijumpai pada artefak-artefak tinggalan megalitik di Situs Pokekea berupa endapan atau kerak yang berwarna merah, pengelupasan (*scaling*), retak, pecah, batu yang rapuh, dan batu yang ditumbuhi jasad (*algae, lichen, dan moss*). Hasil analisis petrografi menunjukkan bahwa jenis batuan tinggalan megalitik berupa biotit granit dengan kandungan mineral yang terdiri dari feldspar (plagioklas dan K-feldspar), kuarsa, biotit, dan mineral opak. Hasil analisis fisik menunjukkan ada batu jenis biotit granit yang masih bagus, dan namun ada pula yang telah lapuk. Proses kerusakan dan pelapukan tinggalan megalitik di Situs Pokekea disebabkan oleh sifat batu granit sendiri, keberadaan air, fluktuasi suhu dan kelembaban udara yang tinggi. Penanganan kerusakan dan pelapukan pada tinggalan megalitik di Situs Pokekea dapat dilakukan dengan metode konservasi yang bersifat *preventive* dan *active conservation*. *Preventive conservation* dapat berupa pemeliharaan rutin, pengendalian suhu dan kelembaban udara di sekitar batu, mengontrol polusi udara, dan lain sebagainya. *Active conservation* berupa merestorasi kerusakan dan pelapukan yang telah terjadi pada tinggalan megalitik di Situs Pokekea.

Kata kunci : Situs megalitik Lore, Kajian konservasi, Analisis kerusakan/pelapukan

Abstract : One of the megalithic site which has very high significant value in Indonesia is Pokekea site, in Lore, Central Sulawesi. The megalithic objects consist of a human statue, kalamba, tutuna (kalamba cover) and dakon stone. The condition of the megalithic objects currently is undergoing a processes of decay and weathering. Therefore, Borobudur Conservation Office conducted a study to determine methods and techniques for conservation of the objects on Pokekea megalithic site, so it can be technically and archaeologically accepted. The research steps consist of reference study, field surveys, and laboratory analysis .

The results of field surveys indicate the environment conditions at Pokekea site is grassland valley which has very fluctuative microclimate. From 24 artifacts that were observed, shows 18 pieces of artifacts are in a standing position on the surface or partially buried in the soil, while six other artifacts are in a tilted position or sleeping. Damage and weathering type on artefacts found in Pokekea megalithic object are in the form of red deposit or crust, flaking (*scaling*), cracked, broken, fragile stone and biological growth (*algae, lichen, and moss*). The petrographic analysis result shows that the objects of a the megalithic rock types is biotite granite, the mineral consists of feldspar (plagioclase and K - feldspar), quartz, biotite, and opaque minerals. The physical analysis results shows that biotite-granite type stone is in good condition, but and there are some stone that has been weathered. Damage and weathering processes on the Pokekea Site megalithic objects caused by its own granite nature, the presence of water, temperature fluctuations and high humidity. Conservation methods to deal with the damage and weathering of Pokekea site megalithic object are preventive and active conservation. Preventive conservation is an attempt to prevent further damage and decay through regular maintenance, controlling the temperature and humidity in the surrounding object, air pollution control, and other maintenance attemps. While active conservation is conservation treatment to restore damage and weathering that has occurred in the megalithic remains at the site Pokekea .

Keywords : Lore megalithic Site, conservation studies, analysis of damage/weathering

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tinggalan megalitik adalah tinggalan yang

berasal dari zaman prasejarah berupa batu-batu besar.

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya

akan tinggalan megalitik yang tersebar di seluruh wilayah Nusantara. Salah satunya di Taman Nasional Lore Lindu, Sulawesi Tengah yang berada di Lembah Napu, Besoa, dan Bada, berjarak sekitar 150 km dari Kota Palu.

Berdasarkan uji pertanggalan karbon, para peneliti arkeologi memperkirakan tinggalan megalitik di Lore telah ada sejak 2000 tahun sebelum Masehi. Tinggalan megalitik tersebut diperkirakan dahulu berfungsi sebagai patung pemujaan nenek moyang. Selain berfungsi untuk pemujaan, patung ini diduga juga berfungsi sebagai tanda batas daerah kekuasaan. Ada juga yang berpendapat bahwa tinggalan tersebut pada zaman dulu merupakan tempat kuburan komunal dari para kaum bangsawan di wilayah tersebut.

Tinggalan megalitik di Lore terdiri dari empat jenis, yaitu patung berbentuk manusia, kalamba, tutuna (merupakan penutup kalamba) dan batu dakon yang bentuknya tidak beraturan. Kondisi tinggalan megalitik tersebut saat ini terlihat telah mengalami proses kerusakan dan pelapukan, namun data pasti tentang kondisi kerusakan tersebut belum pernah dilaporkan. Demikian juga upaya konservasi belum dilakukan.

Oleh karena itu Balai Konservasi Borobudur melakukan pendataan melalui pengamatan langsung, analisis laboratorium, serta penelusuran pustaka untuk memperoleh informasi tentang metode konservasi yang tepat dan dapat dipertanggungjawabkan dari sisi teknis dan arkeologis.

Permasalahan kerusakan dan pelapukan yang terjadi pada tinggalan megalitik tersebut antara lain:

- a) Lokasi tinggalan megalitik tersebut berada di alam terbuka dengan bentang alam berupa lembah. Kondisi cuaca terutama temperatur udara di daerah lembah tersebut sangat fluktuatif, dimana perbedaan suhu pada pagi, siang, dan malam hari sangat tinggi.
- b) Sebagian besar artefak berada pada posisi langsung di atas permukaan tanah dan ada pula yang tertanam dalam tanah, sehingga proses pelapukan karena faktor kapilarisasi air lebih cepat.
- c) Sebagian besar batu kalamba ketika ditemukan

sudah tidak menyatu dengan tutuna, bahkan pada beberapa kalamba tidak ditemukan pasangan batu tutuna-nya, sehingga cekungan batu kalamba tersebut terisi air hujan sepanjang tahun. Oleh karena itu proses pelapukan oleh air hujan terjadi terus menerus. Adanya air kapilarisasi dan air hujan terus menerus menyebabkan tingkat pelapukan batu ini sangat tinggi.

- d) Jenis batuan material tinggalan megalitik di Lore kemungkinan berupa batu andesit dan batu granit. Batu andesit dan batu granit merupakan jenis batuan yang relatif tahan terhadap proses pelapukan, tetapi jika sudah mengalami pelapukan maka proses pelapukannya akan lebih cepat. Sebagai contoh batu kalamba yang dipindahkan ke Museum Negeri Palu menjadi lapuk, bahkan jika disentuh akan seperti butiran pasir yang menempel di tangan.
- e) Di daerah Lore masih banyak terdapat binatang liar seperti celeng. Masyarakat di sekitar situs masih memelihara binatang ternak seperti sapi dan kerbau yang dipelihara secara liar. Jika binatang-binatang tersebut gatal maka akan menggesek-gesekan badannya pada dinding batu kalamba, sehingga pada beberapa dinding batu kalamba mengalami keausan karena ulah binatang tersebut.
- f) Beberapa tinggalan megalitik mengalami kerusakan fisik seperti retak dan pecah. Oleh karena itu perlu dilakukan tindakan perbaikan.

Berdasarkan permasalahan kerusakan dan pelapukan yang telah dijabarkan di atas maka diperlukan penanganan atau tindakan konservasi yang tepat baik dari sisi arkeologis maupun teknis.

B. Maksud dan Tujuan

Maksud dari kajian ini adalah untuk menemukan teknik dan metode konservasi tinggalan megalitik Lore yang tepat, sehingga dapat diterima dari sisi teknis-arkeologis. Sedangkan tujuan dari kajian ini adalah:

1. Mengidentifikasi kondisi artefak tinggalan megalitik di Lore, Sulawesi Tengah
2. Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab

kerusakan dan pelapukan tinggalan megalitik di Lore, Sulawesi Tengah.

3. Mengetahui proses kerusakan dan pelapukan yang terjadi pada tinggalan tersebut
4. Membuat rekomendasi untuk penanganan kerusakan dan pelapukan.

C. Ruang Lingkup

Kajian konservasi ini dibatasi pada tinggalan megalitik yang berada di Situs Pokekea, Lore Tengah, Sulawesi Tengah.

D. Landasan Teori

Asal usul batuan dan deskripsi petrologi material batuan sangat penting diketahui untuk memahami tingkah laku materi dan karakteristiknya, sehingga dapat menentukan tindakan pemeliharaan dan penanganannya untuk mempertahankan keberadaannya sampai jangka panjang. Adapun deskripsi petrologi yang diperlukan meliputi kekerasan permukaan, porositas, kapilaritas, suhu pemuatan, kandungan air, ukuran pori dan distribusinya, kekuatan mekanik, kecepatan rambat suara, dan ketahanan terhadap kristalisasi garam. Pengambilan foto menggunakan SEM (*Scanning Electro Microscope*) dan analisis EDX (*Energy-Dispersive X-ray Analysis*) juga akan sangat membantu memahami karakteristik material batu tersebut (Doehne and Price, 2010: 1).

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah studi referensi, observasi lapangan, dan analisis laboratorium.

1. Studi Referensi

Studi referensi atau studi pustaka dimaksudkan untuk menelusuri dan mendapatkan data serta informasi yang telah didokumentasikan dalam berbagai bentuk, baik laporan, foto, peta, gambar, yang telah disusun dan dibukukan, yang memiliki relevansi dengan kajian ini.

2. Survei Lapangan dan Wawancara

Survei lapangan dilaksanakan untuk memperoleh data mengenai kondisi artefak saat ini dan kondisi iklim mikro di sekitar

artefak. Dalam kegiatan survei juga dilakukan wawancara dengan juru pelihara yang sehari-hari merawat tinggalan megalitik tersebut serta dengan petugas dari instansi terkait seperti Balai Pelestarian Cagar Budaya Gorontalo dan Dinas Kebudayaan Propinsi Sulawesi Tengah.

3. Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium yang dilaksanakan baru pada sebatas untuk mengetahui jenis batuan dan sifat air dalam kalamba dari tinggalan megalitik di Pokekea, Lore, Sulawesi Tengah.

III. HASIL OBSERVASI LAPANGAN DAN ANALISIS LABORATORIUM

A. Artefak-Artefak Tinggalan Megalitik Pokekea

Situs Pokekea memiliki lebih dari 20 artefak tinggalan megalitik yang tersebar tidak merata. Dalam kajian ini tidak dilakukan pengamatan terhadap seluruh artefak, tetapi hanya mengambil beberapa sampel yang mewakili, karena faktor keterbatasan waktu dan dana.

Fokus penelitian tidak pada aspek arkeologinya, tetapi pada aspek konservasi dari artefak-artefak tersebut. Kajian pada tahap ini lebih cenderung untuk

Gambar 1. Artefak tinggalan megalitik di situs Pokekea

Gambar 2. Artefak di lokasi yang diduga bengkel pembuatan batu kalamba di Desa Hangira

Gambar 3. Peta Persebaran Kalamba di Lore, Poso, Sulawesi Tengah

mengetahui jenis dan karakter batuan, serta mencari penyebab kerusakan dan pelapukan yang terjadi pada tinggalan megalitik Pokekea. Kajian tahap berikutnya akan difokuskan pada penanganan konservasi. Dalam kajian konservasi ini dilakukan observasi terhadap 24 artefak dan pembuatan peta persebaran terhadap 14 artefak yang tersebar di Situs Pokekea seperti terlihat pada Gambar 3. Selain itu juga dilakukan observasi pada situs yang dahulunya diperkirakan menjadi bengkel pembuatan batu kalamba, yang letaknya masih di Desa Hangira. Sebagai informasi tambahan dan pembandingan juga dilakukan observasi terhadap 3 buah tinggalan megalitik yang tersimpan di Museum

Negeri Palu yang berada di luar ruangan.

Dua puluh empat artefak tinggalan megalitik yang diobservasi terdiri dari 23 buah batu kalamba dan 1 buah arca. Sedangkan artefak yang diobservasi di Museum Negeri Palu berupa 1 buah batu kalamba yang sudah rapuh dan 2 buah arca.

B. Kondisi Lingkungan Tinggalan Megalitik Pokekea

Secara administratif tinggalan megalitik Pokekea berada di lembah Besoa, Desa Hangira, Kecamatan Lore Tengah, Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah. Situs megalitik Pokekea berupa lembah

Gambar 4. Letak Lembah Besoa (Sumber Gambar: Google Earth, 2013)

padang ilalang yang dikelilingi oleh perbukitan dan hutan lindung Taman Nasional Lore Lindu. Pada tepian lembah terdapat aliran sungai yang mengalir mengelilingi lembah. Sumber mata air sungai berada di perbukitan Taman Nasional Lore Lindu.

Vegetasi yang ada di lembah Besoa berupa rumput ilalang yang dikelilingi oleh lahan pertanian padi yang subur, sedikit perkebunan cokelat dan kopi serta hutan hujan tropis yang masih luas. Tipe vegetasi hutan Lore Lindu adalah vegetasi hutan hujan dataran rendah dan hutan hujan pegunungan. Vegetasi hutan hujan pegunungan didominasi oleh *kaha* (*Castanopsis argentea*), palili bohe, palili nete, palili pence (*Lithocarpus sp.*), dan berbagai jenis *Syzigium*. Jenis lain yang tidak umum adalah *Podocarpus*, *Elaeocarpus*, *Adinandra*, *Lasianthus*, *Cinnamomum*, *Letsea*, *Callophyllum*, dan lain-lain. Vegetasi hutan hujan dataran rendah di Lore Lindu didominasi oleh *Mussaendopsis beccariana*, *Ficus sp.*, *Myristica sp.*, *Pterospermum sp.*, *Canarium odoratum*, *arenga pinatta*, *Arenga sp.*, dan lain-lain. Jenis tumbuhan lain yang ditemukan dalam zona vegetasi ini adalah tahiti (*Disoxylum sp.*), uru (*Elmerillia* atau *Manglietia*), luluna (*Celtis sp.*), maro (*Garcinia sp.*), kaupahi, dango (*Carralia brachiata*), palili (*Lithocarpus sp.*), nuncu (*Ficus sp.*), tingaloko (*Leea sp.*), tea uru (*Artocarpus sp.*), huka (*Gnetum gnemon*), pangi (*Pangium edule*), kaumpangana (*Ardisia*). Di beberapa tempat juga terdapat *Vatica sp.* (*Dipterocarpaceae*), *Durio zibethinus* (durian), *Duabanga moluccana* (lekotu) dan *Octomeles sumatrana* (benoang). Vegetasi sekunder yang terbentuk setelah pembukaan ladang berupa rumput-rumputan dan tumbuhan tidak berkayu. Pada tahun kedua atau ketiga, herba penutup ini akan diganti oleh semak belukar yang lebat, yang didominasi oleh walobira (*Melastoma malabathricum*) dan atau hinduru (*Villebrunnea sp.*). Jenis pohon yang kelak menggantikan semak belukar ini diantaranya wulaya (*Trema orientalis*), hinanu (*Callicapra*), kuo (*Alphitonia zizyphoides*), paili (*Lithocarpus*). (Ramadhanil, P., 2002).

Vegetasi di Lembah Besoa sangat berbeda dengan vegetasi hutan di sekitarnya yang didominasi oleh pohon-pohon besar. Menjadi satu pertanyaan

Gambar 5. Vegetasi padang ilalang di Situs Pokekea, Lembah Besoa

Gambar 6. Vegetasi padang ilalang di lokasi yang diduga sebagai bengkel pembuatan batu di Desa Hangira

besar, apakah vegetasi di lembah Besoa yang berupa padang ilalang tersebut merupakan vegetasi asli ataukah vegetasi yang terbentuk karena pembukaan lahan.

Secara geografis tinggalan megalitik Pokekea terletak pada 1°41'50.56" lintang selatan dan 120°14'58.38" lintang utara, sehingga iklim daerah tersebut masih merupakan iklim tropis, dimana curah hujan relatif tinggi yakni 2000 – 3000 mm/tahun. Fluktuasi suhu antara siang dan malam cukup tinggi, saat siang hari sangat panas menyengat tetapi pada malam hari suhu sangat rendah. Hal ini dibuktikan dengan data hasil pencatatan suhu dan kelembaban udara menggunakan datalogger selama 3 hari (Gambar 7) menunjukkan suhu terendah 17,34°C, suhu tertinggi 30,32°C, sehingga perbedaan suhu siang dan malam

Gambar 7. Grafik temperatur dan kelembaban di situs Pokekea 5 Juli – 7 Juli 2013

hari (fluktuasi suhu) sebesar $12,98^{\circ}\text{C}$. Begitu juga dengan parameter kelembaban udara, kelembaban udara tertinggi $99,50\%$ dan kelembaban udara terendah $60,29\%$, dengan perbedaan kelembaban udara sebesar $39,21\%$.

Data tersebut menunjukkan bahwa kondisi temperatur dan kelembaban udara di lokasi tinggalan megalitik sangat fluktuatif. Kondisi lingkungan yang fluktuatif ini tentu akan sangat berpengaruh terhadap percepatan pelapukan tinggalan megalitik tersebut. Salah satu yang berpengaruh terhadap tingginya fluktuasi suhu adalah kondisi alami lingkungan lembah dan kondisi lingkungan vegetasi di sekitarnya. Sehingga perlu ditelusuri bagaimana kondisi lingkungan, terutama vegetasi saat dahulu tinggalan-tinggalan tersebut ditempatkan dan kondisi lingkungan saat ini.

Hasil penelitian Kirleis, dkk (2012) berdasarkan analisis polen mengatakan bahwa vegetasi yang ada pada lembah Besoa merupakan vegetasi yang sebelumnya merupakan vegetasi hutan hujan. Terjadi perubahan menjadi vegetasi sekunder berupa vegetasi padang seperti saat ini sekitar 2000 tahun yang lalu bersamaan dengan tahap awal konstruksi monumen. Terdapat kecenderungan dinamika vegetasi yang menunjukkan bahwa sampai zaman modern telah terjadi pembakaran secara periodik yang menghambat pemulihan hutan hujan pegunungan. Dapat disimpulkan bahwa lingkungan tinggalan megalitik sudah dalam kurun waktu berabad-abad merupakan lingkungan padang ilalang. Oleh karena itu dapat juga ditarik kesimpulan bahwa lingkungan di sekitar tinggalan megalitik telah memiliki suhu yang sangat

fluktuatif dalam kurun waktu yang lama. Kondisi ini yang kemungkinan menjadi penyebab terjadinya kerusakan dan pelapukan yang cukup tinggi pada tinggalan megalitik di Situs Pokekea.

C. Hasil Analisis Petrografi, Fisik, dan Kimia

Dalam kegiatan penelitian ini dilaksanakan analisis laboratorium yang meliputi analisis petrografi batuan, analisis fisik batuan, dan analisis kimia batuan, serta air tampungan dalam lubang kalamba. Sampel batuan yang dianalisis berasal dari serpihan batu hasil pengelupasan batu kalamba (merupakan material asli) yang terdiri dari sampel dari batu kalamba berkode AB dan M serta sampel batuan yang diambil dari lokasi yang diduga sebagai bengkel pembuatan batu yang berkode SB1 dan SB2. Sampel SB1 mewakili batu kalamba yang sudah rapuh (batu A dan D) sedangkan SB2 mewakili batu kalamba yang belum rapuh. Pertimbangan pemilihan sampel ini didasarkan pada kenampakan secara fisik.

a. Analisis Petrografi dan Fisik

Analisis petrografi dan fisik bertujuan untuk mengidentifikasi jenis batuan dan sifat fisik batu kalamba. Analisis petrografi dilaksanakan dengan membuat sayatan tipis batuan dan mengamatinya di bawah mikroskop polarisasi. Hasil analisis petrografi dan analisis fisik batuan dapat dilihat di Tabel 1.

Berdasarkan analisis petrografi diketahui bahwa sampel batu kalamba (AB dan M) maupun batu yang berasal dari lokasi yang diduga bengkel pembuatan tinggalan megalitik (SB1 dan SB2) memiliki komposisi mineral feldspar (plagioklas dan K-feldspar), kuarsa,

Tabel 1. Hasil analisis petrografi dan analisis fisik batuan

Sampel		Parameter	Hasil		Keterangan
Kode	Jenis batuan				
AB	biotit granit	tidak dilaksanakan			sampel habis
M	biotit granit	tidak dilaksanakan			sampel habis
SB 1	biotit granit	berat jenis	2,57	g/cm^3	
		densitas	2,36	g/cm^3	
		porositas	8,24	%	
		kekerasan	+ 6	skala mohs	
SB 2	biotit granit	kadar air natural	0,25	%	
		berat jenis	2,62	g/cm^3	
		densitas	2,53	g/cm^3	
		porositas	3,56	%	
		kekerasan	+ 7	skala mohs	
		kadar air natural	0,11	%

Nikol Silang

Nikol sejajar

Gambar 8. Penampang mikroskopis sayatan tipis batu kalamba

biotit, dan mineral opak. Kirleis, dkk (2012) mengelompokkan sebagai jenis batuan biotit granit. Hasil analisis tersebut dapat menunjukkan bahwa keempat sampel batu berasal dari tempat yang sama, sehingga hasil analisis ini semakin menguatkan dugaan bahwa artefak-artefak batu di Situs Pokekea berasal dari lokasi yang diduga bengkel pembuatan tinggalan megalitik.

Biotit granit berupa batuan beku plutonik berwarna putih kecokelatan, holokristalin, tekstur equigranular, dengan ukuran mineral 0,25 – 2,5 mm bentuk subhedral-anhedral. Komposisi mineral penyusun berupa mineral feldspar (plagioklas dan K-feldspar), kuarsa, biotit, dan mineral opak. Secara kimiawi jenis mineral feldspar terdiri dari kalium feldspar (KAlSi_3O_8), natrium feldspar ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), kalsium feldspar ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), dan barium feldspar ($\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) sedangkan secara mineralogi feldspar dikelompokkan menjadi plagioklas dan ortoklas. Plagioklas merupakan seri suatu larutan padat tersusun dari variasi komposisi natrium feldspar

dan kalsium feldspar. Kuarsa, ortoklas (K-Feldspar), dan plagioklas merupakan mineral utama. Mineral-mineral tersebut memberikan warna cerah pada granit yang berkisar dari putih sampai merah jambu. Mineral tambahan yang dijumpai dalam granit adalah biotit. Mineral-mineral tersebut berwarna gelap atau hitam sehingga memberikan bintik-bintik hitam pada granit, begitu juga dengan mineral opak. Komposisi mineralogi dan kimiawi batu kalamba dapat dilihat di Tabel 2.

Granit merupakan batuan beku intrusif yang terbentuk di daerah kontinen atau benua. Granit memiliki mineral penyusun dengan butiran kristal yang berukuran kasar. Hal ini menunjukkan bahwa granit terbentuk melalui proses pembekuan magma yang sangat lambat, karena dengan pembekuan magma yang lambat kristal-kristal mineral dapat terbentuk dengan baik sehingga dapat menghasilkan tekstur porfiritik (fanerik granular). Hal ini akan berbeda dengan batuan beku ekstrusif yang mengalami pembekuan secara cepat sehingga kristal-

Tabel 2. Komposisi mineral dan kimia batu Biotit Granit

Jenis mineral	Komposisi kimia	Sifat fisik
Feldspar		
- Orthoclase (K-feldspar)	- KAlSi_3O_8	- Orthoclase dicirikan dengan relief rendah, warna putih berkabut, berukuran 0,9–2,5mm, bentuk subhedral-anhedral.
- Plagioklas (Na-feldspar dan Ca-feldspar)	- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ dan $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	- Plagioklas (25%), warna putih abu-abu, relief rendah-sedang, ukuran butir 0,5-2mm
Kuarsa	- SiO_2	- tidak berwarna, relief rendah, mineral berukuran 0,5–2,5mm, bentuk anhedral.
Biotit	- $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	- coklat, belahan satu arah
Mineral opak	- tidak teridentifikasi	- hitam, kedap cahaya, relief sangat tinggi, anhedral, berukuran 0,25 – 0,6 mm, hadir setempat – setempat dalam sayatan.

Gambar 9. Penampang mikroskopik batu SB1 yang telah lapuk dan batu SB2 yang belum lapuk

Tabel 3. Hasil analisis sifat fisik batu

Parameter	SB1	SB 2	Satuan
Berat jenis	2,57	2,62	g/cm ³
Densitas	2,36	2,53	g/cm ³
Porositas	8,24	3,56	%
Kekerasan	± 6	± 7	skala mohs
Kadar air natural	0,25	0,11	%

kristal yang berukuran kasar jarang terbentuk. Sebagai batuan intrusif, granit terbentuk karena pembekuan magma yang terjadi jauh di dalam bumi, yang dalam pembentukannya dapat memotong batuan yang berumur lebih tua. Dijumpainya granit di permukaan bumi sekarang menunjukkan bahwa kerak bumi telah mengalami proses tektonik maupun erosi.

Hasil analisis fisik pada sampel batu yang diambil dari lokasi yang diduga bengkel kalamba (SB1 dan SB2) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang mencolok pada parameter porositas, berat jenis, densitas, kekerasan, dan kadar air natural (lihat Tabel 3). Sampel SB1 mewakili batu kalamba yang sudah rapuh (batu kalamba yang ada di Museum Negeri Palu atau kode batu A dan batu kalamba di Situs Pokekea kode D) sedangkan SB2 mewakili batu kalamba yang belum rapuh. Porositas dan kandungan air natural batu SB1 lebih besar dari batu SB2, sedangkan parameter kekerasan, berat jenis dan densitas batu SB2 lebih besar dibandingkan batu SB1. Perbedaan itu juga terlihat jelas pada penampang mikroskopik batu SB1 dan SB2 (Gambar 9) yang menunjukkan pada batu SB 1 telah terlihat warna cokelat. Warna cokelat tersebut kemungkinan merupakan mineral lempung atau *clay* sebagai hasil dekomposisi mineral feldspar. Dapat disimpulkan bahwa batu SB1 sudah mengalami pelapukan lebih lanjut dibandingkan dengan batu SB2. Hal ini didasarkan pada penjelasan sebelumnya bahwa kedua batu merupakan jenis batu yang sama yakni biotit granit dan berasal dari lokasi

yang sama pula. Dapat disimpulkan bahwa di Situs Pokekea terdapat tinggalan megalitik berbahan batu biotit granit yang berasal dari lokasi sama, tetapi sifat fisik batu-batu tersebut dapat berbeda karena terdapat batu yang telah mengalami proses pelapukan.

b. Analisis Kimia Komposisi Unsur Batuan dan Air dalam Lubang Kalamba

Hasil analisis kimia komposisi unsur sampel pengelupasan batu kalamba, sampel endapan dalam lubang kalamba, dan sampel tanah yang diambil dari tanah di Situs Pokekea ditunjukkan dalam Tabel 4. Hasil analisis sampel endapan tanah dari lubang kalamba menunjukkan unsur yang dominan adalah silica sebesar 60-85%. Jika dibandingkan dengan komposisi unsur tanah yang berkisar antara 37-42%, maka dapat disimpulkan bahwa endapan yang terdapat pada lubang kalamba tidak sepenuhnya berasal dari tanah tetapi juga berasal dari hasil pelapukan batu kalamba. Endapan silikat dapat terbentuk dari hasil pelapukan feldspar yaitu kaolinit dan asam kersik. Proses ini dapat terjadi secara kimiawi (hidrolisis) atau secara fisis (pengelupasan) yang terendapkan. Pemahaman terhadap proses tersebut dapat dilihat secara kuantitatif dari seluruh unsur kimiawi sampel pengelupasan yang nilainya tidak jauh berbeda dengan unsur kimiawi sampel endapan. Tanah kehitaman dengan ciri unsur silica yang rendah adalah tanah lanau, sedangkan tanah kuning yang unsur silikanya lebih besar adalah tanah lempung pasir. Tanah ini

Tabel 4. Hasil analisis kimia komposisi unsur

No	Nama Sampel	Parameter (%)						
		Ca	Mg	Fe	Al	CO ₃	SiO ₂	SO ₄
1	ENDAPAN di dalam D	1.00	1.46	2.12	2.66	3.75	85.96	0.00
2	ENDAPAN di dalam R	1.00	0.85	2.79	2.26	4.13	84.87	0.00
3	ENDAPAN di dalam K	0.84	0.51	3.75	1.79	3.60	64.12	0.00
4	ENDAPAN di dalam H	0.96	0.97	3.40	2.93	3.40	60.42	0.00
5	Tanah Kehitaman	1.28	0.58	3.75	3.83	3.87	37.20	0.00
6	Tanah Kuning	1.44	1.09	4.22	3.85	3.68	42.21	0.00
7	Pengelupasan (E)	1.20	1.31	1.21	1.58	3.52	82.61	0.00
8	Pengelupasan (AB)	0.84	1.53	1.25	3.85	3.57	63.24	0.00
9	Pengelupasan K	1.80	0.61	0.89	1.55	3.56	76.15	0.00
10	Pengelupasan M	0.96	3.50	7.24	4.07	4.23	33.46	0.00
11	Pengelupasan H	0.00	1.02	1.25	3.57	4.58	94.08	0.00

Tabel 5. Hasil analisis kimia air dalam lubang kalamba

No	Analisis Air	Parameter (ppm)					
		Ca	Mg	Al	Fe	SO ₄	pH
1	Air di F	0.016	0.029	0.016	0.346	0.019	7.5
2	Air di E	0.072	0.058	0.037	0.755	0.057	7.16
3	Air di H	0.024	0.012	0.043	0.027	0.019	6.49
4	Air di D	0.024	0.012	0.032	0.033	0.019	8.11
5	Air di AB	0.024	0.014	0.032	0.045	0.019	8.29
6	Air Sungai	0.024	0.024	0.037	0.047	0.00	-

sebenarnya adalah tanah sedimen yang tertransportasi oleh aliran air. Berdasarkan hasil analisis tersebut memperjelas bahwa seluruh artefak telah mengalami pelapukan secara kimiawi maupun fisis.

Hasil analisis komposisi kimia air dalam lubang kalamba menunjukkan secara kuantitatif nilai unsur kimiawi seluruh sampel hanya kecil. Unsur-unsur tersebut kemungkinan berasal dari dekomposisi mineral yang terdapat pada batuan. Hal ini didasarkan bahwa air hujan murni tidak mengandung logam besi (Fe), aluminium (Al), dan mangan (Mg). Air hujan mengandung SO₄ dan CO₃ jika di daerah tersebut terjadi pencemaran udara. Hasil analisis air dalam lubang kalamba sudah mengindikasikan adanya proses pelapukan pada batuan, sekalipun masih rendah. Selama kandungan unsur kimia air dalam kalamba masih relatif kecil dan pH netral, maka resiko proses pelapukan batuan secara kimiawi masih rendah. Namun bila terjadi kenaikan pH seperti pada sampel D dan AB, akan berpeluang terjadi pelapukan secara kimiawi yang lebih tinggi. Apabila keberadaan air ini dikaitkan dengan hasil analisis material batu

dan endapan tersebut di atas, maka sampel yang mempunyai pH netral (E dan H) pelapukan yang terjadi adalah proses fisis sedangkan pada sampel D dan AB pelapukan yang terjadi proses kimiawi.

D. Kondisi Fisik Tinggalan Megalitik Pokekea

Dalam kajian ini dilakukan observasi terhadap artefak-artefak meliputi: posisi artefak, dimensi artefak, jenis kerusakan dan pelapukan yang terjadi pada artefak, kandungan air permukaan, dan daya serap (kapilarisasi) batuan terhadap air. Uraian lebih detail disampaikan dalam sub bab sebagai berikut:

a. Posisi Artefak-Artefak Tinggalan Megalitik di Situs Pokekea

Berdasarkan hasil observasi dari 24 artefak, 18 buah artefak berada pada posisi berdiri di permukaan tanah ataupun terbenam sebagian dalam tanah. Bagian yang terbenam dalam tanah kurang lebih 5 sampai 20% dari tingginya, bahkan terdapat artefak yang terbenam hampir 100% dari total tingginya seperti pada Gambar 10, 11, 12. Artefak lainnya yang

Gambar 10. Kalamba yang tidak terbenam dalam tanah

Gambar 11. Kalamba yang terbenam dalam tanah setinggi 29 cm

Gambar 12. Kalamba hampir seluruhnya yang terbenam dalam tanah dalam tanah

diobservasi berada pada posisi miring atau tidur, seperti dalam Gambar 13.

Hasil observasi tersebut memperlihatkan bahwa beberapa batu kalamba tidak berada pada posisi semula atau posisi sebenarnya. Hal ini didasarkan pada hasil penelitian arkeologi terdahulu yang menyatakan bahwa batu kalamba memiliki fungsi sebagai wadah penguburan secara komunal. Oleh karenanya posisi asli batu-batu kalamba tersebut berada dalam keadaan berdiri dan berada di atas permukaan tanah. Namun saat ini pengembalian kalamba-kalamba tersebut ke posisi semula dengan pertimbangan aspek arkeologi maupun konservasi kurang memungkinkan. Hal ini karena mengembalikan kalamba pada posisi semula dapat menyebabkan kerusakan. Sebagai contoh

Gambar 13. Beberapa batu kalamba pada posisi miring atau tidur

Gambar 14. Batu kalamba yang masih memiliki tutuna

kalamba yang berada pada posisi terbenam dalam tanah justru dalam kondisi lingkungan yang lebih stabil dibandingkan kalamba yang ada di atas tanah.

Sementara itu kalamba yang pada posisi miring dan beresiko jatuh lebih baik dikembalikan pada posisi berdiri (meskipun kalamba dalam posisi berdiri beresiko menjadi tempat tampungan air hujan). Selanjutnya perlu dipertimbangkan apakah dari aspek arkeologi memungkinkan untuk mengembalikan tutuna (penutup kalamba) pada pasangan kalambanya, sehingga beberapa kalamba yang masih memiliki tutuna tidak menjadi tempat tampungan air hujan. Beberapa kalamba pada bagian bawah atau di sampingnya ditemukan tutuna, seperti pada Gambar 14.

b. Jenis Kerusakan dan Pelapukan

Jenis kerusakan dan pelapukan yang dijumpai pada artefak-artefak tinggalan megalitik di Situs Pokekea berupa endapan atau kerak yang berwarna merah, pengelupasan (*scaling*), retak, pecah, batu yang

Tabel 6. Jenis kerusakan dan pelapukan pada tinggalan megalitik di Situs Pokekea

Jenis Kerusakan/pelapukan	Kode artefak/batu	Persentase (%)
Endapan merah	E, H, U, AC	17
Pengelupasan	C, E, F, H, I, J, M, O, Q, R, S, W, X, AB	58
Pertumbuhan organisme	D, F, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, S, U, V, W, X, AA, AC	79
Retak	D, E, G, H, J, K, M, O, T, AA	42
Pecah	M, O, T	13
Rapuh	A, D	8

rapuh dan batu yang ditumbuhi jasad *algae*, *lichen*, dan *moss* (data lebih lengkap lihat Tabel 6).

Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa pada 24 artefak yang diobservasi, pertumbuhan organisme merupakan penyebab yang mendominasi gejala kerusakan dan pelapukan, yang diikuti oleh pengelupasan, retak, endapan atau kerak yang berwarna merah, pecah dan rapuh.

1. Pertumbuhan Organisme

Hasil observasi menunjukkan bahwa hampir seluruh permukaan artefak batu pada tinggalan megalitik di Situs Pokekea ditumbuhi organisme. Jenis organisme yang dijumpai tumbuh pada permukaan batu adalah *algae*, *lichen* dan *moss*. *Algae* paling banyak tumbuh pada permukaan batu, yang kedua *lichen* dan hanya satu kalamba yang ditumbuhi *moss*, itupun hanya pada bagian bawah.

Algae, *lichen* dan *moss* merupakan tumbuhan bertalus yang tubuhnya belum terdiferensiasi menjadi akar, batang dan daun. *Algae* merupakan jasad yang dapat tumbuh dimana-mana, walaupun di tempat tersebut tidak berlimpah unsur hara dan kering, terutama jenis *algae cyanophyta*. *Algae* dapat berupa organisme uniseluler maupun multiseluler yang membentuk koloni. Beberapa kelompok *algae* dapat tumbuh dan berada dalam batu tergantung pada iklim dan jenis batu. *Algae* hijau (terkadang berwarna merah, misalnya *trentepohlia*) diatom (biasanya kuning sampai cokelat), dan *algae* merah jarang terjadi. *Cyanobacteria* (*algae* biru-hijau) adalah penghuni batu yang sangat sering dan dapat menyebabkan warna hitam, kebiruan, atau bahkan noda ungu. Organisme ini di daerah tropis sangat merusak batuan karena adanya musim kemarau dan musim hujan, dimana ketika musim hujan *algae* akan tumbuh lebat, tetapi ketika musim kemarau *algae* akan mati, pada puncak musim kemarau *algae* akan mengelupas. Ketika mengelupas mineral batuan yang

ada pada permukaan akan ikut terkelupas pula.

Lichen merupakan tumbuhan yang terbentuk dari simbiosis antara jamur dan *algae* hijau atau *cyanobacterium*. *Lichen* yang paling sering dijumpai berwarna abu-abu, kuning, oranye, hijau atau hitam, dan tidak menunjukkan diferensiasi menjadi batang, akar, dan daun, serta tumbuh di luar ruangan.

Lichen tubuhnya berupa talus dan terbagi menjadi *crustose*, *foliose* dan *epilithic*. *Lichen* yang dijumpai tumbuh pada permukaan batu kalamba adalah tipe *foliose*, dimana tubuhnya berupa lembaran-lembaran talus yang berbentuk menyerupai lembaran daun dan berwarna abu-abu dan hijau. Bekas pertumbuhan *lichen* umumnya mudah dideteksi lewat pola-pola bercak yang tertinggal pada permukaan batuan. Pola-pola bercak yang tertinggal pada permukaan batuan biasanya akan sangat sulit dihilangkan. Pola-pola tersebut terbentuk karena reaksi antara asam oksalat ($H_2C_2O_4$) yang dihasilkan oleh *lichen* dengan unsur kalsium yang ada pada batuan menjadi kalsium oksalat, dengan reaksi sebagai berikut:

Lichen umumnya tumbuh baik pada lingkungan dengan kondisi udara yang cukup bersih, tetapi dipermudah oleh polutan tertentu seperti oksida nitrogen, terutama yang berasal dari polusi kendaraan atau pertanian, sehingga *lichen* dapat dijadikan sebagai bioindikator adanya polutan pencemar tersebut.

Sekalipun *moss* yang tumbuh hanya sedikit, tetapi jasad tersebut sangat berbahaya karena *moss* dapat menyebabkan perubahan mineral batuan menjadi tanah. *Moss* hanya akan tumbuh pada tempat yang sangat lembab dan berlimpah unsur hara. Oleh karena itu *moss* lebih banyak tumbuh pada bagian bawah cagar budaya, sebab pada bagian tersebut biasanya berlimpah makanan. Pada awalnya K-feldspar terdekomposisi menjadi kalium bebas

dan lempung karena reaksi hidrolisis. Kalium bebas yang tersedia pada batuan akan menjadi unsur hara makro (unsur yang dibutuhkan dalam jumlah banyak oleh tumbuhan) bagi *moss*. *Moss* yang tumbuh pada batuan memiliki rhizoid yang dapat masuk ke pori-pori batu sampai kedalaman 2,5 cm. Rhizoid *moss* akan menciptakan kondisi yang lembab dan asam pada lubang pori, sehingga akan menyebabkan K-feldspar pada batu terdekomposisi menghasilkan K bebas yang dapat diserap oleh *moss*. Lama kelamaan mineral K-feldspar pada permukaan batuan akan terdekomposisi seluruhnya menjadi tanah, dan akhirnya akan menyerang K-feldspar pada bagian dalam. Jika K-feldspar pada bagian dalam telah terdekomposisi maka batuan menjadi keropos dan rapuh.

2. Pengelupasan

Jenis kerusakan yang juga mencolok pada batu kalamba adalah pengelupasan. Dari 24 artefak yang diobservasi, pada 14 artefak mengalami pengelupasan, sekalipun tingkat pengelupasannya berbeda-beda. Pengelupasan adalah proses terkelupasnya atau terlepasnya permukaan batu pada bagian luar yang terekspos atau pada bagian yang terpapar sinar

matahari langsung. Jenis atau tipe pengelupasan yang terjadi merupakan tipe *scaling* (lihat Tabel 3.7). *Scaling* adalah pelepasan permukaan batu yang tidak mengikuti setiap struktur batu, yang ditandai pelepasan seperti sisik ikan atau sejajar dengan permukaan batu. *Scaling* merupakan jenis pengelupasan yang sangat bergantung dengan struktur batuan. Ketebalan pengelupasan umumnya dari skala milimeter sampai sentimeter (ICOMOS, 2008: 26). *Scaling* juga terjadi sebagai efek batu granit yang berada di daerah tropis, dimana curah hujan dan kelembapan udara tinggi.

Scaling merupakan pengelupasan permukaan batu yang disebabkan oleh dekomposisi atau pelapukan mineral feldspar. Hal ini merujuk pada Seri Reaksi Bowen (Gambar 15) bahwa mineral-mineral yang terbentuk pada awal pendinginan magma pada suhu dan tekanan tinggi seperti olivine dan feldspar, akan lebih mudah mengalami pelapukan di permukaan dibandingkan mineral yang terbentuk paling akhir yaitu kuarsa yang lebih tahan terhadap pelapukan. Oleh karena itu dugaan penyebab terjadinya *scaling* karena terdekomposisinya mineral feldspar pada batu granit sangatlah beralasan.

Reaksi kimia yang terjadi dalam proses

Tabel 3.7 Batu kalamba yang mengalami scaling

Kode kalamba	Foto	Keterangan
E		Bagian yang tidak mengelupas daya kapilarisasinya 0,15 ml/10 menit dan bagian yang masih aktif mengelupas daya kapilarisasinya 0,05 ml/10 menit. Tingkat pengelupasan +++
AB		Pengelupasan aktif artinya masih terus terjadi, tingkat pengelupasan +++++, dimana pada bagian bawah yang tidak mengelupas daya kapilarisasi air 0,15 ml/10 menit sedangkan bagian yang masih aktif mengelupas daya kapilarisasi 0.05 ml/10 menit
O		Daya kapilarisasi 0.15 ml/10 menit, pengelupasan tidak aktif tapi pertumbuhan <i>lichen</i> dan <i>algae</i> tinggi

Gambar 15. Pembentukan batuan beku berdasarkan penurunan temperatur

pelapukan atau dekomposisi mineral feldspar menjadi lempung atau *clay* terjadi melalui proses hidrolisis. Hidrolisis adalah reaksi kimia dimana ion dalam mineral digantikan oleh ion-ion H^+ dan OH^- dalam air. Adapun reaksi kimia proses hidrolisis mineral feldspar sebagai berikut:

1. Reaksi hidrolisis K-feldspar

2. Reaksi kimia Na-feldspar

Proses pengelupasan pada batu kalamba tidak saja karena proses kimia, tetapi juga mekanisme fisik. Mekanisme fisik proses pengelupasan terjadi karena desakan air yang ada di dalam lubang kalamba ke dinding kalamba. Hal ini didasarkan pada hasil observasi (Tabel 3.7), dimana kalamba yang memiliki daya kapilarisasi 0.05 ml/10 menit mengalami proses pengelupasan aktif yang lebih tinggi dibandingkan

dengan batu kalamba yang memiliki daya kapilarisasi 0,1 sampai 0.15 ml/10 menit. Akan tetapi batu yang memiliki daya kapilarisasi di atas 0,20 ml/menit proses pengelupasannya sudah berhenti tetapi batu sudah mulai mengalami kerapuhan dan permukaannya banyak ditumbuhi organisme. Semakin tinggi daya kapilaritas, identik dengan semakin besar atau banyaknya lubang pori pada batuan. Semakin besar daya kapilaritas maka air yang keluar dari dalam lubang kalamba semakin lancar, sehingga permukaan dinding luar kalamba akan semakin lembab yang akan memicu pertumbuhan organisme. Sementara itu semakin kecil daya kapilaritas, air dari dalam kalamba akan semakin sulit keluar, sehingga secara fisik air tersebut akan mendesak dan mendorong dinding kalamba yang menyebabkan terjadinya *scaling* atau pengelupasan permukaan dinding luar kalamba. Oleh karena itu, pemicu atau penyebab *scaling* adalah keberadaan air yang ada dalam kalamba, selain karena sifat dari batu granitnya sendiri.

3. Retak dan Pecah

Berdasarkan hasil observasi diketahui, dari 24 artefak tinggalan megalitik, 10 buah artefak atau 42% artefak retak dan 3 buah artefak atau 13% artefak pecah. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kerusakan retak sangat tinggi. Retak adalah terbentuknya celah pada material batuan, dapat berupa celah yang besar maupun kecil. Retak dan pecah pada batu granit terjadi karena sifat dari struktur mineralnya sendiri yang menjadi ciri dari tipe kerusakan batu granit selain pengelupasan. Menurut Croci (1998: 49), batu granit

Gambar 16. Artefak batu yang retak dan pecah

merupakan batu yang tahan terhadap pelapukan akibat cuaca, tetapi beberapa jenis mineral dalam matriksnya sendiri mudah mengalami pelapukan yang lebih besar. Disamping sifat dari batu granit sendiri, retak dan pecah terjadi karena fluktuasi suhu yang tinggi. Sesuai hukum fisika bahwa suatu bahan akan memuai bila dipanaskan dan akan mengerut bila dingin. Perbedaan suhu siang hari dan malam hari di Situs Pokekea (12,98°C) sangat tinggi. Kondisi ini menyebabkan mineral batuan memuai dan mengerut. Pada saat siang hari mineral-mineral batuan akan memuai, tetapi kemampuan memuai masing-masing mineral berbeda-beda. Begitu juga saat malam hari dimana temperatur rendah, mineral-mineral batuan akan mengerut, tetapi kemampuan mengerut masing-masing mineral berbeda pula. Kondisi ini menyebabkan ikatan antar mineral atau antar butiran penyusun batuan melemah dan lama kelamaan akan lepas sehingga terjadilah retakan. Retakan lama-kelamaan akan semakin besar dan akhirnya mengarah ke pecah.

4. Endapan atau Kerak yang Berwarna Merah

Endapan atau kerak yang berwarna merah ditemukan pada dinding luar beberapa batu kalamba. Kerak merah ini sulit sekali dibersihkan atau dikelupas. Berdasarkan hasil observasi diketahui bahwa kerak yang berwarna merah tersebut merupakan oksida besi. Oksida besi tersebut berasal dari pelapukan biotit, seperti sudah dijelaskan di atas bahwa komposisi mineral batu biotit granit terdiri dari feldspar, kuarsa, biotit dan mineral opak. Biotite memiliki rumus kimia $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$. Apabila mineral ini bertemu dengan air dan oksigen maka besi akan terlepas dan teroksidasi dari Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} . Bersamaan dengan proses oksidasi terjadi proses hidrasi menghasilkan oksida besi bentuk lain yang disebut goethit yang berwarna kekuning-kuningan. Goethit akan mengalami proses dehidrasi karena temperatur yang tinggi, sehingga goethit akan kehilangan air menjadi hematit (Fe_2O_3) yang berwarna merah bata. Oleh karena itu mengapa pada kerak tersebut terdapat warna kekuning-kuningan dan lapisan berwarna merah bata yang tampak lebih tebal. Penjelasan tentang reaksi kimia dekomposisi

mineral biotit yang terjadi secara lebih rinci sebagai berikut:

1. Proses oksidasi dan hidrasi biotit menjadi goethit
 $4FeO + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4FeO.OH$ (goethit)

2. Proses dehidrasi goethit menjadi hematit
 $2FeO.OH$ (goethit) $\rightarrow Fe_2O_3$ (hematit) + H_2O

Adapun penjelasan mekanisme terjadinya kerak atau endapan yang berwarna merah pada dinding bagian luar pada beberapa batu kalamba dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Ketika hujan maka bagian tengah atau lubang kalamba tersebut akan menampung air hujan.
- 2) Bersamaan dengan jatuhnya air hujan tersebut, maka air hujan pun dapat mengikat oksigen dari udara, sehingga pada bagian lubang kalamba terdapat air dan oksigen.
- 3) Adanya air dan oksigen akan menyebabkan oksida besi dalam mineral biotit pada batu yang akan teroksidasi dan terhidrasi menjadi goethit, sehingga pada bagian dalam lubang akan terdapat oksida goethit yang berasal dari pelapukan biotit.
- 4) Ketika hujan lebat, dimana lubang kalamba sudah tidak dapat menampung air, maka air dalam lubang kalamba akan mengalir keluar dengan membawa goethite.
- 5) Goethit akan tertinggal dan mengendap pada dinding bekas aliran air.

Gambar 17. Kerak atau endapan merah bata yang terdapat pada dinding bagian luar beberapa batu kalamba

- 6) Goethit akan mengalami dehidrasi (kehilangan air) menjadi hematit karena air menguap pada suhu yang tinggi. Oleh karena itu endapan atau kerak yang berwarna merah terlihat atau hanya muncul pada bekas aliran air yang mengalir dari lubang kalamba atau pada area aliran air yang keluar dari lubang retakan.

Beberapa batu kalamba pada dinding bagian luarnya terdapat endapan atau kerak yang berwarna merah. Dari 24 artefak yang diobservasi terdapat 4 artefak kalamba yang memiliki kerak berwarna merah pada bagian luarnya (Gambar 17).

5. Rapuh

Selama observasi ditemukan 2 artefak batu yang sangat rapuh. Sekalipun jumlah batu rapuh hanya sedikit tetapi adanya artefak batu yang rapuh menunjukkan sudah terjadi pelapukan tingkat lanjut. Gejala kerapuhan pada batuan dapat ditunjukkan dengan tingkat kekerasan batu yang rendah dibandingkan dengan jenis batu yang sama serta gejala sanding. Sanding ditandai jika permukaan batu disentuh maka akan terdapat butiran pasir yang menempel, atau jika digores maka akan terdapat butiran pasir yang rontok.

Kerapuhan pada batu granit disebabkan oleh lepasnya ikatan antar mineral secara merata atau menyeluruh. Ikatan antar mineral lepas karena proses dekomposisi pada beberapa jenis mineral seperti feldspar dan biotit. Dekomposisi mineral terutama

disebabkan oleh reaksi oksidasi dan hidrolisis yang dipicu oleh keberadaan air. Hal ini dibuktikan pada beberapa batu kalamba yang diobservasi, kekerasan batu pada bagian bawah selalu lebih rendah dibandingkan bagian atas. Karena bagian bawah selalu bersentuhan dengan tanah dan terjadi kapilarisasi air, serta air dalam lubang kalamba akan cenderung turun ke bawah karena gaya gravitasi.

IV. PEMBAHASAN DAN PENANGANAN KONSERVASI

A. Pembahasan

Berdasarkan penjelasan pada bab sebelumnya tentang jenis kerusakan pada artefak-artefak tinggalan megalitik di Situs Pokekea yang terdiri dari pertumbuhan organisme, pengelupasan, kerak merah, retak, pecah dan rapuh, jenis kerusakan dan pelapukan tersebut terutama disebabkan oleh proses fisik dan kimiawi. Faktor penyebab utama dari proses tersebut adalah adanya air dalam lubang kalamba dan fluktuasi suhu dan kelembaban udara yang cukup tinggi. Usaha untuk menangani kerusakan dan pelapukan yang terjadi pada tinggalan megalitik di Situs Pokekea dapat menggunakan metode *preventive conservation* dan *active conservation*. *Preventive conservation* adalah usaha untuk mencegah kerusakan dan pelapukan lebih lanjut melalui pemeliharaan rutin, mengendalikan suhu dan kelembaban udara di sekitar batu, mengontrol polusi udara, dan lain sebagainya. Sedangkan *active conservation* adalah

Tabel 8 Batu kalamba yang rapuh

Kode	Foto	Keterangan
A		Saat ini batu kalamba berada di Museum Negeri Palu, kekerasan pada bagian bawah 1 dan pada bagian tengah dan atas 2 skala mosh. Karena tingkat kerapuhan yang tinggi maka ketebalan dinding kalamba semakin lama semakin menipis
D		Batu berada di Situs Pokekea, kekerasan pada bagian bawah 2 skala mosh, pada bagian atas 4-5 skala mosh

penanganan konservasi untuk merestorasi kerusakan dan pelapukan yang telah terjadi pada tinggalan megalitik di Situs Pokekea.

B. Preventive Conservation

Usaha yang dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan dan pelapukan lebih lanjut dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain:

a. Menghilangkan air dari dalam lubang kalamba

Air merupakan penyebab utama terjadinya kerusakan dan pelapukan pada tinggalan megalitik di Situs Pokekea, selain karena faktor fluktuasi cuaca. Oleh karena itu usaha yang dilakukan tentu bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan air pada lubang kalamba. Penghilangan air dilakukan dengan membuang air hujan secara rutin setelah turun hujan. Tetapi kegiatan ini harus dilakukan dengan metode yang tepat sehingga tidak merusak artefak-artefak tersebut. Perlu dicarikan teknik yang tepat untuk membuang air dari lubang kalamba tanpa merusak kalamba-kalamba tersebut. Balai Pelestarian Cagar Budaya Gorontalo telah menempatkan 4 orang juru pelihara pada Situs Pokekea, sehingga juru pelihara tersebut dapat dilatih untuk membantu membuang air hujan yang tertampung pada lubang kalamba tanpa beresiko menyebabkan kerusakan pada kalamba.

Usaha untuk mencegah masuknya air dalam lubang kalamba dapat pula dilakukan dengan pemasangan kembali tutuna (penutup) ke kalamba. Tetapi pemasangan kembali tutuna pada pasangannya harus mempertimbangkan aspek arkeologi, apakah cara tersebut dapat diterima atau tidak. Pertimbangan dari sisi dimensi ukuran kalamba dan tutuna serta kemampuan batu kalamba untuk menahan beban tutuna juga harus dipertimbangkan.

b. Menjaga iklim mikro lingkungan agar stabil

Kondisi lingkungan di Situs Pokekea sangat fluktuatif, sehingga sangat beresiko mempercepat proses kerusakan dan pelapukan batu kalamba. Usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi fluktuasi suhu dan kelembaban adalah menstabilkan suhu dan kelembaban udara dengan penanaman vegetasi pohon pelindung. Vegetasi pohon ini akan menciptakan

iklim mikro yang stabil sehingga dapat mengurangi fluktuasi suhu dan kelembaban yang tinggi, yang pada akhirnya akan memperlambat proses kerusakan dan pelapukan artefak batu di Situs Pokekea.

c. Pemasangan *shelter*

Shelter berasal dari Bahasa Inggris yang berarti tempat tinggal atau tempat berteduh, perlindungan, penutup dan lain-lain. Istilah *shelter* dapat disamakan dengan istilah cungkup dalam Bahasa Indonesia. Menurut kamus besar Bahasa Indonesia, cungkup berarti bangunan beratap di atas makam sebagai pelindung makam. Di Indonesia istilah cungkup juga digunakan untuk bangunan beratap tidak berdinding yang berfungsi untuk melindungi artefak cagar budaya dari hujan dan sinar matahari langsung. Menurut Doehne dan Price (2010), pemasangan *shelter* sebenarnya termasuk dalam *preventive conservation*. Pemasangan *shelter* bertujuan mengurangi jumlah air hujan yang mencapai batu dan menstabilkan suhu dan kelembaban batu. Tetapi tindakan ini dapat dianggap sebagai *visual pollution* atau polusi pemandangan karena akan merusak pemandangan asli dari situs, kecuali untuk artefak-artefak yang sudah tidak *in situ*, misalnya untuk beberapa artefak yang sudah dipindah ke Museum Negeri Palu. Oleh karena pemasangan *shelter* pada tinggalan megalitik yang masih *in situ* harus melalui pertimbangan yang matang terutama dari aspek arkeologi.

Usaha-usaha pencegahan kerusakan dan pelapukan di atas merupakan alternatif-alternatif pilihan penanganan. Sebelum menerapkannya perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk menentukan metode yang tepat. Penentuan metode tidak

Gambar 18. Shelter atau cungkup pada artefak di Museum Negeri Palu

hanya mempertimbangkan dari aspek teknis, dalam hal ini konservasi tetapi juga dari aspek arkeologis, sehingga usaha penanganan apapun dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

C. Active Conservation

Jenis kerusakan dan pelapukan yang terjadi pada artefak di Situs Pokekea adalah pengelupasan atau *scaling*, pertumbuhan *moss*, *algae* dan *lichen*, retak, pecah, kerak merah, serta rapuh. Tetapi tidak semua jenis kerusakan dan pelapukan dapat dilakukan tindakan konservasi. Kerak atau endapan yang berwarna merah merupakan oksida besi. Saat ini belum ditemukan metode atau cara yang tepat untuk menanganinya. Sifat dari endapan merah tersebut sangat keras, melekat kuat pada permukaan batu atau terikat kuat dengan mineral-mineral batuan yang ada di permukaan batu, sehingga bahan kimia yang bersifat asam keraspun akan sulit membersihkan. Justru penggunaan bahan kimia yang bersifat asam kuat dikawatirkan dapat merusak batunya sendiri. Sementara itu jenis kerusakan dan pelapukan yang lain seperti pengelupasan, retak, pecah, rapuh dan pertumbuhan organisme dapat dilakukan tindakan konservasi sebagai berikut:

a. Pertumbuhan organisme

Organisme yang sangat berbahaya terhadap batuan tinggalan megalitik adalah *moss* atau lumut. Karena lumut dapat mendekomposisi mineral batuan menjadi tanah. Sekalipun *lichen* dan *algae* juga dapat menyebabkan hal yang sama, tetapi efek merusak *moss* lebih besar dibandingkan keduanya. Oleh karena itu diperlukan tindakan untuk mencegah dan membunuh pertumbuhan organisme tersebut. Diperlukan *biocide* yang tidak hanya membunuh organisme, tetapi *biocide* tersebut diharapkan mampu membuat batu resisten terhadap pertumbuhan kembali dan hadirnya *strain* baru. *Biocide* tersebut seharusnya tidak berbahaya terhadap batunya sendiri dan tidak menyebabkan perubahan penampilan. *Biocide* tersebut juga seharusnya tidak tercuci oleh air hujan dan terdegradasi oleh sinar ultraviolet sebelum memberikan efek serta aman untuk orang yang mengaplikasikannya dan tidak berbahaya terhadap lingkungan secara luas (Doehene and Price, 2010:

47). Akhir-akhir ini telah dilakukan penelitian *biocide* yang dapat membuat permukaan batu resisten terhadap pertumbuhan organisme. *Biocide* tersebut berbahan dasar Cu dan Zn, dengan konsentrasi yang sangat rendah dan hanya dengan sekali aplikasi dapat membuat batu resisten sampai 10 tahun. Akan tetapi bahan tersebut belum beredar di Indonesia, sehingga belum dapat diaplikasikan. Untuk mengaplikasikan bahan tersebut harus melalui proses pengujian terlebih dahulu. Di Indonesia saat ini digunakan *biocide* berbahan dasar lithium bromasil untuk membunuh jasad *moss* dan *algae* pada material cagar budaya, tetapi daya hambat bahan ini terhadap pertumbuhan kembali tidak lebih dari dua tahun. Untuk sementara waktu penggunaan *biocide* berbahan dasar lithium bromasil dapat direkomendasikan.

b. Pengelupasan

Pengelupasan merupakan jenis pelapukan yang banyak dijumpai pada artefak kalamba di Situs Pokekea. Penyebab utama pelapukan tersebut adalah air, sehingga penanganan lebih ditekankan pada menghilangkan penyebab tersebut, seperti yang telah dijelaskan pada sub bab pembahasan. Teknik untuk penanganan konservasi pada pengelupasan saat ini secara umum adalah dengan cara menempelkan kembali batu yang mengelupas dengan epoksi resin. Metode ini dilakukan pada kasus pengelupasan dengan fragmen kecil. Metode ini tentu tidak cocok bila diterapkan pada kasus pengelupasan dimana material yang terkelupas berupa fragmen-fragmen berukuran besar (lihat Gambar 19). Oleh karena itu perlu kiranya dilakukan kajian untuk menentukan metode atau teknik yang tepat untuk penanganan

Gambar 19. Fragmen besar, hasil pengelupasan pada batu kalamba

pengelupasan.

c. Retak

Retak yang terjadi pada artefak di Situs Pokekea berupa retak mikro dan retak makro. Penanganan kedua jenis retakan tentu berbeda antara makro dan retak mikro. Tindakan konservasi untuk retak mikro dapat dilakukan dengan mengisi celah retakan menggunakan *filler* atau bahan pengisi. Bahan pengisi dapat berupa bubukan batu sejenis yang ditambah dengan bahan lain yang bersifat mengikat butiran batu dan ditambah etil silika. Komposisi persisnya campuran tersebut masih memerlukan penelitian lebih lanjut agar *filler* yang diaplikasikan memiliki warna dan sifat yang tak jauh dari sifat batunya. Sementara itu tindakan konservasi untuk batu kalamba yang retak makro, dimana retakan tersebut telah mengarah ke pecah maka dilakukan dengan memasukan material penyambung yang berbahan fiber dan epoksi resin pada kedua bagian artefak yang akan pecah tersebut (terilustrasikan pada Gambar 20). Kemudian pada celah diisi dengan bahan *filler* atau mortar kembali. Oleh karena itu diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan diameter fiber, komposisi *filler* atau mortar pada skala laboratorium dan dilanjutkan prediksi aplikasi di lapangan.

d. Pecah

Tindakan konservasi yang dapat dilakukan pada artefak yang pecah adalah dengan penyambungan kembali menggunakan angkur berbahan fiber (Gambar 21) dan direkatkan dengan epoksi resin

Gambar 21. Angkur berbahan fiber

Gambar 22. Ilustrasi teknik penyambungan artefak kalamba yang pecah menggunakan angkur dari kiri ke kanan

yang dicampur dengan *furmed silica* atau *cabosil* atau *aerosol*. Pemberian bahan *furmed silica* atau *carbosil* atau *aerosol* berfungsi untuk lebih memadatkan epoksi resin, sehingga epoksi resin tidak akan mengalir ke permukaan kalamba. Celah pada sambungan dapat diisi dengan mortar atau *filler* yang berbahan dasar bubukan batuan yang sejenis.

Teknis penyambungan artefak kalamba yang pecah terilustrasi pada Gambar 22. Oleh karena itu diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan diameter fiber, dan komposisi mortar serta ukuran butiran *furmed silica*.

e. Rapuh

Artefak batu yang rapuh dapat diperkuat kembali menggunakan bahan konsolidan (*consolidant*) berbahan dasar etil silikat. Bahan tersebut telah dikembangkan sebagai bahan konsolidan batu sejak tahun 1980-an. Aplikasi pertama tahun 1987 pada batu pasir dan monumen di Perancis menunjukkan batu yang sebelumnya telah sangat rapuh, tetap kuat setelah 25 tahun aplikasi. Akan tetapi etil silika sebagai bahan konsolidan memiliki kelemahan karena etil silika tidak dapat diaplikasikan pada batu yang basah dengan kondisi kelembaban lingkungan

Gambar 20. Penanganan konservasi pada retakan makro

Gambar 23. Metode aplikasi bahan konsolidan dengan cara infus

tinggi, serta batu yang mengandung kalsit dan garam terlarut. Dengan kelemahan-kelemahan tersebut, saat ini telah dikembangkan bahan konsolidan berbahan dasar lithium silica yang dapat diaplikasikan pada batu basah serta pada batu yang mengandung kalsit dan garam terlarut (Thorn, 2012). Metode aplikasi dapat dilakukan dengan cara diinfus (seperti terilustrasi pada Gambar 23) direndam dan dioles. Cara yang dipilih tergantung dari bentuk, ukuran dan kondisi kalamba. Oleh karena itu untuk mengaplikasikan etil silica maupun lithium silica memerlukan pengujian atau eksperimen terlebih dahulu baik dari skala laboratorium yang dilanjutkan ke skala lapangan. Eksperimen ini untuk memastikan kecocokan bahan konsolidan dengan jenis batuan yang ada di Situs Pokekea serta untuk menentukan metode aplikasinya.

V. KESIMPULAN, SARAN DAN REKOMENDASI

A. Kesimpulan

- Jenis tinggalan megalitik di Situs Pokekea didominasi batu kalamba dan sejumlah kecil arca serta menhir.
- Kondisi lingkungan di Situs Pokekea berupa lembah padang ilalang yang memiliki iklim mikro yang sangat fluktuatif.
- Hasil analisis petrografi menunjukkan jenis batuan tinggalan megalitik berupa *biotite granite*, dengan

- komposisi mineral terdiri dari feldspar (plagioklas dan K-feldspar), kuarsa, biotit, dan mineral opak.
- Hasil analisis fisik menunjukkan terdapat jenis batu biotit granit yang masih bagus dan batu biotit granit yang telah lapuk.
- Posisi 24 artefak yang diobservasi menunjukkan 18 buah artefak berada posisi berdiri di permukaan tanah dan terbenam sebagian dalam tanah, serta 6 artefak lainnya berada pada posisi miring atau tidur.
- Jenis kerusakan dan pelapukan yang dijumpai pada artefak-artefak tinggalan megalitik di Situs Pokekea berupa endapan atau kerak berwarna merah, pengelupasan (*scaling*), retak, pecah, batu yang rapuh, dan batu yang ditumbuhi jasad *algae*, *lichen*, dan *moss*.
- Kerak merah merupakan oksida besi yang berasal dari pelapukan biotit. Dekomposisi kimia mineral biotit disebabkan oleh proses oksidasi dan hidrasi biotit menjadi goethit, dilanjutkan proses dehidrasi goethit menjadi hematit.
- Dari 24 artefak yang diobservasi, 14 artefak mengalami pengelupasan dengan tingkat pengelupasan yang berbeda-beda. Tipe pengelupasan berupa tipe *scaling* yang disebabkan oleh dekomposisi mineral feldspar menjadi lempung atau *clay* melalui proses hidrolisis.
- Dari 24 artefak tinggalan megalitik, 10 buah artefak atau 42% artefak retak dan 3 buah artefak atau 13% artefak pecah. Retak dan pecah disebabkan sifat dari batu granit sendiri, dan terjadi karena fluktuasi suhu yang tinggi.
- Dari 24 artefak yang diobservasi, 2 artefak batu sangat rapuh. Kerapuhan pada batu granit disebabkan oleh lepasnya ikatan antar mineral secara merata atau menyeluruh akibat proses dekomposisi oleh reaksi oksidasi dan hidrolisis yang dipicu oleh keberadaan air.
- Hampir seluruh permukaan artefak batu pada tinggalan megalitik di Situs Pokekea ditumbuhi organisme. Jenis organisme yang dijumpai tumbuh pada permukaan batu adalah *algae*, *lichen* dan *moss*.
- Proses kerusakan dan pelapukan tinggalan megalitik di Situs Pokekea disebabkan oleh sifat

batu granit sendiri, keberadaan air, fluktuasi suhu dan kelembaban udara yang tinggi.

- m. Usaha untuk menangani kerusakan dan pelapukan pada tinggalan megalitik di Situs Pokekea dapat menggunakan metode *preventive* dan *active conservation*.

B. Saran

Perlu dilakukan kajian lanjutan antara lain:

- Penelitian arkeologi untuk mengembalikan kalamba pada posisi semula dan pemasangan tuntuna dengan pasangan kalambanya.
- Kajian untuk menentukan jenis tumbuhan yang tepat guna menjaga iklim mikro supaya stabil.
- Kajian untuk menentukan metode konsolidasi batu kalamba menggunakan bahan konsolidan berbahan dasar etil silica dan lithium silica.
- Kajian untuk menentukan metode penyambungan batu kalamba.
- Kajian penanganan retakan untuk menentukan diameter fiber, komposisi *filler* atau mortar
- Kajian untuk menentukan metode yang tepat untuk

penanganan pengelupasan.

- g. Kajian konservasi untuk menentukan bahan herbisida yang tepat untuk mencegah pertumbuhan organisme pada batu kalamba

C. Rekomendasi

Usaha yang dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan dan pelapukan lebih lanjut adalah penghilangan air dengan membuang air pada lubang Tkalamba secara rutin setelah hujan, dan menutup kalamba dengan tutuna jika memungkinkan dari tinjauan arkeologi. Sementara itu tindakan konservasi dapat dilakukan adalah penanganan retak makro dan mikro, batu yang rapuh, dan pertumbuhan organisme. Pencegahan pertumbuhan organisme untuk sementara waktu dapat digunakan bahan *biocide* berbahan dasar *lithium bromasil*. Semua tindakan konservasi yang akan dilaksanakan harus didahului penelitian konservasi terlebih dahulu.

DAFTAR PUSTAKA

Literatur/Textbook

- Anonim. 2010. *Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya*.
- Anonim. 2011. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Edisi ke-4. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Croci, Giorgio. 1998. *The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*. Computational Mechanics Publications Southampton, UK and Boston, USA
- Doehene and Price. 2010. *Stone Conservation: An Overview of Current Research*. The Getty Conservation Institute, Los Angles.
- ICOMOS International Scientific Committee for Stone (ISCS). 2008. *Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns*. Ateliers 30 Impression, Champigny/Marne, France

- Suharyadi. 1984. *Geologi Teknik untuk Teknik Sipil*. Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sutanto, Rachman. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah, Konsep dan Kenyataan*. Kanisius, Yogyakarta.

Publikasi Hasil Penelitian, Skripsi, Tesis dan Artikel

- Anonim. 2009. *Stone Cleaning: Guidance, Design and Conservation, Masterplanning, Design and Conservation*. Enterprice, Planing and Infrastructure. www.Aberdeencity.gov.uk
- Ramadhanil P, Kessler, P J A, S R Gradstein, Guhardja E., Leuschner C.H., Wiriadinata H., Sudirdjo S. T. 2002. Tree Composition In Secondary Forest of Lore Lindu National Park Central Sulawesi, Indonesia. *Symposium (SFB 552) "Land Use, Nature Conservation and*

the Stability of Rainforest margins in Southeast Asia. Bogor. 29 September- 3 October 2002

Setiadji, P. 2006. *Karakteristik Derajat Pelapukan Andesit dan Prilaku Geomekanikannya di Purwakarta*. Program Studi Teknik Geologi. Fakultas Ilmu Kebumian dan Teknologi Mineral. Institut Teknologi Bandung.

Soeroso. 2007. *Pengelolaan Warisan Budaya Dunia di Indonesia*. Makalah Bimbingan Teknis *Pengelolaan Situs Warisan Dunia*. Borobudur, 3-7 September 2007.

Sukendar, Haris. 1997. *Album Tradisi Megalitik di Indonesia*. Proyek Pengembangan Media Kebudayaan, Direktorat Jenderal Kebudayaan, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.

Swastikawati, Ari. 2011. *Teori Konservasi Kayu*. Makalah; disampaikan dalam Pelatihan Tenaga Teknis Konservasi Tingkat Menengah, Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. Direktorat Jenderal Sejarah dan Purbakala, Kementerian Kebudayaan dan Pariwisata pada tanggal 25 Juli sampai 13 Agustus 2011

Thorn, Andrew. 2012. *Lithium Silicate Consolidation of Wet Stone and Plaster*. 12th *International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, Thursday 25 October 2012. *Methods and Materials of Cleaning, Conservation, Repair and Maintenance* Session XII: 8:00 – 10:00

Website

[http://www.uni-kiel.de/ufg/bereiche/](http://www.uni-kiel.de/ufg/bereiche/dateienJMueller/16_Kirleis_et_al.)
[dateienJMueller/16_Kirleis et al.](http://www.uni-kiel.de/ufg/bereiche/dateienJMueller/16_Kirleis_et_al.)

[Crossing Borders 16.pdf](#). Kirleis, W., Müller, J., Kortemeier, C., Behling, H., and Soeghondo, S. 2012. *The Megalithic Landscape of Central Sulawesi, Indonesia: Combining Archaeological and Palynological Investigations*

<http://epri-wismark.blogspot.com/Megalitikum>
dikutip tanggal 13 Mei 2013

<http://id.wikipedia.org/wiki/Andesit>,
dikutip tanggal 15 Mei 2013

<http://www.volcanodiscovery.com/id/glossary/andesite.html>,
dikutip tanggal 15 Mei 2013

<http://future20.wordpress.com/2013/03/08/jenis-jenis-batuan-ciri-ciri-dan-proses-terbentuknya/>,
dikutip tanggal 15 Mei 2013

<http://www.google earth>. 2013