

LAPORAN KAJIAN

**PENGGUNAAN MENTHOL UNTUK BAHAN KONSOLIDAN
CAGAR BUDAYA ARANG**



**Oleh : Tim Kajian
Moh. Habibi, S.Si
Dimas Arif Primanda Aji, S.Hum
Rifqi Kurniadi Suryanto, A.Md
Riyanto Prasetya Lambang
Arif Gunawan**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTUR JENDERAL KEBUDAYAAN
BALAI KONSERVASI BOROBUDUR
2018**

Lembar Pengesahan

Laporan Kajian

“PENGUNAAN MENTHOL UNTUK BAHAN KONSOLIDAN CAGAR BUDAYA ARANG”

Tim Pelaksana :
Moh. Habibi, S.Si
Dimas Arif Primanda Aji, S.Hum
Rifqi Kurniadi Suryanto, A.Md.
Riyanto Prasetya Lambang
Arif Gunawan

Jangka Waktu Pelaksanaan : 7 Bulan
Sumber Anggaran : DIPA Balai Konservasi Borobudur 2018

Mengetahui,
Kepala Seksi Konservasi

Borobudur, November 2018
Ketua Tim Kajian

Yudi Suhartono, M.A.
NIP. 19700507 199802 1 001

Moh. Habibi, S.Si
NIP. 19880710 201504 1 004

Menyetujui,
Kepala Balai Konservasi Borobudur

Drs. Tri Hartono, M.Hum
NIP. 19630507 198603 1 002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu wa Ta'ala* yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan kajian yang berjudul "**Kajian Penggunaan Menthol Untuk Bahan Konsolidan Cagar Budaya Arang**". Kajian ini dilakukan dalam rangka untuk mencari bahan alternative konservasi cagar budaya kayu.

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian kajian ini, dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Drs. Tri Hartono, M.Hum selaku Kepala Balai Konservasi Borobudur atas kesempatan dan arahannya
2. Bapak Yudi Suhartono, S.S., M.A dan Ibu Dra. Wahyu Astuti, M.A. selaku Kasi Konservasi dan Kasubbag TU atas bimbingannya selalu
3. Rekan-rekan Pusat Penelitian Biologi LIPI yang telah sangat kooperatif dan membantu selama melakukan observasi.
4. Tim Kajian Menthol yang kompak dan selalu ceria ketika melakukan kajian ini.

Penulis menyadari bahwa hasil penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran, masukan, dan kritik konstruktif sangat diharapkan demi kesempurnaan kajian ini, semoga kajian ini dapat bermanfaat.

Borobudur, November 2018

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan menthol sebagai bahan konsolidasi sementara cagar budaya pada temuan ekskavasi yang rapuh. Pengujian yang dilakukan meliputi karakteristik morfologi menthol, penetrasi kering dan basah menthol pada ketiga jenis sampel (Arang, Bata, Batu), durabilitas konsolidasi sementara menthol pada sampel, dan kuat tekan. Hasil menunjukkan bahwa proses solidifikasi menthol dimulai pada bagian tepi dan membentuk bentuk seperti jarum (*whisker*). Penetrasi menthol pada sampel sangat dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran partikel sampel serta kandungan air yang terdapat pada sampel. Untuk pengujian durabilitas, pengaruh suhu sangat besar terhadap durabilitas konsolidasi menthol. Semakin tinggi suhu lingkungan, maka semakin cepat pula proses sublimasi menthol. Sedangkan untuk kuat tekan sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel sampel, semakin kecil ukuran partikel sampel yang terkonsolidasi menthol, maka semakin tinggi pula nilai kuat tekan yang dihasilkan.

Kata Kunci: menthol, *whisker*, penetrasi, kuat tekan, solidifikasi, konsolidasi sementara

ABSTRACT

This study aims to determine the effectiveness of the use of menthol as temporary consolidant for fragile heritage findings on the excavation site. Test includes morphological characteristic of menthol, dry and wet penetration of menthol to three type of sample (charcoal, stone, and brick), durability, and compressive strength. The results show that the menthol solidification process starts at the edges and forms a shape like whiskers. Menthol penetration is strongly influenced by the shape and size of the sample and also water content in the samples. For durability testing, the effect of temperature is very significant on the durability of menthol consolidation. The higher the temperature, the faster the menthol sublimation process will be. Whereas for compressive strength is highly influenced by particle size of the consolidated sample, the smaller consolidated sample the higher compressive strength produced.

Keywords: menthol, whiker, penetration, compressive strength, solidification, temporary consolidant

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Dasar.....	1
B. Latar Belakang	1
C. Rumusan Masalah	2
D. Maksud & Tujuan.....	2
E. Manfaat Kajian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
A. Arang	3
B. Menthol	5
C. Konsolidan Kimia.....	7
BAB III METODE PENELITIAN	10
A. Ruang Lingkup.....	10
B. Jenis & Sumber Data.....	10
C. Bahan & Metode Kerja.....	11
BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN	13
A. Perubahan Morfologi Menthol	13
B. Penetrasi Menthol.....	16
C. Efektifitas Konsolidasi	18
BAB V PENUTUP	20
A. Kesimpulan.....	20
B. Saran.....	20
DAFTAR RUJUKAN	21

DAFTAR TABEL

No.	Hal
1. Hasil uji kuat tekan tiap sampel.....	18

DAFTAR GAMBAR

No.		Hal
1.	Struktur Menthol.....	7
2.	Proses Solidifikasai	13
3.	Morfologi Permukaan Sampel.....	14
4.	Aplikasi Menthol di Situs Liyangan	15
5.	Data Penetrasi Sampel Kering.....	16
6.	Data Penetrasi Sampel Basah	17
7.	Data Durabilitas Menthol	17

DAFTAR LAMPIRAN

No.		Hal
1.	Data Durabilitas di Tiga Lokasi.....	25
2.	Data Penetrasi	32
3.	Data Durabilitas	34

BAB I

PENDAHULUAN

A. Dasar

Dasar hukum yang digunakan dalam melakukan kegiatan kajian adalah :

1. Undang-undang Republik Indonesia No. 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya.
2. Peraturan Presiden Nomor 4 Tahun 2015 tentang perubahan IV Peraturan Presiden 54 Tahun 2010 tentang pengadaan Barang/jasa Pemerintah;
3. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 29 Tahun 2015 tentang Organisasi dan Tata Kerja Balai Konservasi Borobudur.
4. DIPA Balai Konservasi Borobudur tahun 2018 Nomor: DIPA-023.15.2.427775/2018 tanggal 5 Desember 2017.
5. Keputusan Kepala Balai Konservasi Borobudur Nomor: 00349/E12/HK/2018 tanggal 23 Februari 2018 tentang tim pelaksana kajian pada Balai Konservasi Borobudur tahun 2018.

B. Latar Belakang

Letak geografis Indonesia yang berada pada gugusan gunung berapi (*ring of fire*) menjadikan Indonesia sebagai negara yang sangat rawan bencana. Indonesia memiliki jumlah gunung api paling banyak di dunia. Di Indonesia tercatat memiliki 130 gunung api yang merupakan 10% dari jumlah keseluruhan dunia. Dari 130 gunung berapi tersebut, 17 diantaranya masih aktif. Tercatat terdapat beberapa letusan gunung berapi meletus dengan dahsyat di Indonesia, yaitu letusan gunung Tambora pada tahun 1815, gunung Krakatau tahun 1883, gunung Agung pada tahun 1963-1964, dll.

Banyaknya aktivitas vulkanik di Indonesia seringkali menyebabkan bencana pada beberapa peradaban yang ada di lingkungan sekitar gunung api. Sebagai contoh adalah Situs Tambora yang berada di sekitar Gunung Tambora. Para peneliti memperkirakan bahwa Situs Tambora sebelumnya merupakan sebuah situs bekas Kerajaan Tambora yang kemudian terpendam material vulkanik setebal 2 meter (Cahyandaru, 2013). Material vulkanik yang memendam benda, struktur, bangunan dan lingkungannya kemudian berubah menjadi arang dikarenakan adanya proses karbonisasi dalam kondisi udara minim.

Benda terarangkan tersebut selanjutnya terkubur di dalam tanah dan menjadi benda tinggalan yang mempunyai nilai historis. Kemudian dalam upaya mendapatkan dan menggali informasi di masa lampau maka dilakukan proses ekskavasi. Temuan ekskavasi dalam kondisi terarangkan sangat rentan jika langsung terekspos dengan lingkungan luar. Hal ini terutama terjadi pada material organik terarangkan, seperti kayu, tulang, bambu, bahkan jasad manusia akan mudah sekali rusak apabila dilakukan pengangkatan atau dipindahkan. Kondisi material juga semakin rusak jika tetap terekspos selama ekskavasi. Hal tersebut juga menjadi permasalahan karena selama penelitian ekskavasi objek akan tetap terbuka. Maka diperlukan upaya untuk menjaga kondisi material agar tetap aman selama kegiatan penelitian, pendokumentasian selama proses ekskavasi bahkan jika diperlukan pemindahan temuan (Cahyandaru, 2013:44). Maka pada saat ekskavasi, perlu dilakukan prosedur perlindungan sementara pada obyek ekskavasi yang rapuh (*fragile*). Bahan perlindungan sementara sebaiknya memiliki sifat mudah menguap dan mengikat (*volatile binding materials*) serta mudah dibersihkan.

Sebelumnya, para konservator banyak menggunakan senyawa cyclododecane sebagai bahan konsolidasi sementara (Xia *et al.* 2005). Tetapi, sekarang konservator menyadari akan bahaya senyawa tersebut yang memiliki dampak bioakumulatif bagi kesehatan para konservator (European Chemicals Agency 2008). Salah bahan pengganti cyclododecane adalah menthol yang merupakan molekul polar dan memiliki ikatan hydrogen yang kuat.

Menthol merupakan senyawa alcohol monoterpen yang biasanya diperoleh dari tanaman *Mentha arvensis* dan *Mentha piperita*. Karakteristik menthol mempunyai aroma yang khas dan sensasi dingin, oleh karena itu menthol banyak digunakan dalam bidang farmasi, kosmetik, permen, pasta gigi, shampoo dan sabun. Menthol akan menyublim pada suhu ruangan dan memiliki volatilitas tinggi. Menthol dapat membentuk lapisan solid pada permukaan suatu objek (X. Han *et al.* 2015). Berdasarkan karakteristik tersebut, menthol berpotensi untuk digunakan sebagai bahan konsolidan yang bersifat sementara pada penanganan temuan ekskavasi yang berupa material terarangkan.

Oleh karena itu, kajian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas menthol sebagai bahan konsolidasi sementara pada temuan ekskavasi yang terarangkan, terutama yang terdiri dari material organik. Efektivitas tersebut dapat diketahui dari kemampuan penetrasi dan efikasi menthol terhadap objek serta perubahan morfologi menthol pada material yang terkonsolidasi.

C. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada kajian ini adalah:

Bagaimana efektivitas penggunaan menthol sebagai bahan konsolidasi sementara cagar budaya terarangkan ?

D. Maksud Dan Tujuan

Kajian ini mempunyai maksud untuk menghasilkan bahan konsolidasi sementara cagar budaya terarangkan yang aman dan ramah lingkungan. Untuk mencapai maksud tersebut, maka tujuan yang hendak dicapai dalam kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui metode penerapan menthol sebagai bahan konsolidan sementara
2. Mengetahui efektivitas menthol sebagai bahan konsolidan sementara

E. Manfaat Kajian

Manfaat kajian ini adalah agar konsolidasi sementara cagar budaya terarangkan dapat dilakukan secara efektif dan aman dengan penggunaan bahan-bahan tradisional yang mudah didapatkan di sekitar cagar budaya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Arang

Secara umum arang merupakan hasil perubahan wujud yang menghasilkan residu hitam berisi karbon tidak murni setelah menghilangkan kandungan air dan komponen yang bersifat volatil. Arang umumnya dihasilkan dari benda-benda organik yang mengandung karbon dan mendapatkan perlakuan karbonisasi untuk menghilangkan hidrogen (H) dan oksigen (O) sehingga menyisakan sebanyak mungkin karbon (C) (Budi, 2011). Karbonisasi adalah penguraian biomassa karena panas di atas 150°C. Proses pengarangan merupakan proses pembentukan arang dari senyawa organik dalam bahan dominan yang mengandung selulosa. Proses pengarangan terjadi melalui pemutusan ikatan karbon dengan hidrogen, dan karbon tersebut tidak mengalami proses oksidasi.

Komposisi unsur yang ada di arang sangat dipengaruhi oleh proses karbonisasi, suhu dan metode karbonisasi. Jadi meskipun karbonisasi berusaha menghilangkan sebanyak mungkin unsur hidrogen dan oksigen, umumnya unsur tersebut masih ada dalam arang. Beberapa sifat fisika dan kimia yang mempengaruhi kualitas arang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Berat spesifik

Berat spesifik arang terkait dengan kerapatan hasil arang yang bervariasi tergantung dari kerapatan bahan bakunya. Kerapatan arang dapat dipengaruhi oleh suhu ketika proses karbonisasi.

2. Kadar air / kelembaban

Arang dapat menyerap air dari udara hingga 6% dari berat keringnya. Jika disimpan dalam tempat terbuka atau didinginkan dengan air, kadar airnya bisa lebih dari 5 – 6%

3. Kadar unsur volatil (menguap)

Kadar unsur yang mudah menguap seperti hidrogen dan nitrogen akan menurun ketika bahan arang dipanaskan hingga lebih dari 400°C. Dengan menguapnya zat tersebut maka berat arang akan berkurang, sehingga perlu dibatasi penguapannya tidak melebihi 30% dari berat arang

4. Kandungan karbon

Kandungan karbon dalam arang juga menentukan nilai bahan bakarnya. Kandungan tersebut dapat diketahui dari berat kering arang dikurangi kadar zat volatil dan kadar abu

5. Kadar abu

Abu terdiri dari mineral alami yang terkandung dalam hampir semua bahan organik. Jumlah abu terkait dengan komposisi dari bahan mentah yang digunakan, misalnya kayu dengan proporsi kulit kayu yang tinggi akan menghasilkan arang dengan kandungan abu yang tinggi pula. Abu arang dapat dibedakan dengan sifatnya yang larut dalam air atau dengan analisis kimia

6. Kandungan sulfur dan fosfor

Tidak semua arang memiliki sulfur dan fosfor, bahkan jika ada hanya dalam jumlah sedikit. Oleh karena itu arang yang mengandung unsur tersebut dikategorikan istimewa dan sering digunakan untuk keperluan pengolahan metalurgi. Nilai sulfur yang diinginkan dalam arang umumnya kurang dari 0,05% sedangkan untuk fosfor kurang dari 0,03%

7. Pemanasan atau nilai kalor

Nilainya tergantung pada kandungan karbon tetap dan nilainya akan turun jika arang tersebut memiliki kandungan abu yang tinggi. Secara umum, nilai kalor berkisar antara 6.500 dan 7.200 kcal/kg, sebanding dengan batubara bituminus (Emrich, 1985).

Salah satu material yang umum berubah atau diubah menjadi arang adalah kayu. Dalam hal arkeologi, temuan kayu yang terawetkan umumnya ditemukan dalam bentuk arang. Arang seringkali ditemukan dalam sisa-sisa aktivitas manusia seperti, kayu bakar untuk perapian, tungku dan bahan bakar untuk upacara pemakaman dan ritual lainnya. Temuan arang tersebut seringkali dapat dimanfaatkan untuk penelitian lebih lanjut mengenai sebaran flora, pola diet, dan bentuk-bentuk peradaban lainnya (Cartwright, 2015). Selain itu banyak juga temuan yang berasal dari sisa-sisa bencana alam yang kemudian terkubur selama proses karbonisasi.

B. Menthol

Menthol adalah monoterpen alkohol siklik yang dihasilkan dari corn mint, peppermint atau minyak mint lainnya. Minyak mint yang digunakan umumnya berasal dari *Mentha piperita* atau *Mentha arvensis* yang kemudian diproses lebih lanjut hingga mendapatkan menthol. Kandungan menthol dalam minyak mint berkisar antara 50-60%, sedangkan komponen lain yang ada di dalamnya termasuk alfa-pinen, beta-pinen, limonen, menton, mentil asetat dan piperiton. Kandungan menthol yang ada di minyak mint dapat ditingkatkan hingga 70-80% dengan menambahkan natrium hidroksida yang akan mengubah mentil asetat menjadi menthol dan natrium asetat (saponifikasi). Tahap selanjutnya minyak mint disuling dengan pengurangan tekanan hingga berwujud kristal Menthol memiliki aroma dan karakter yang memiliki efek

menyegarkan, sehingga banyak dipakai untuk bahan campuran berbagai produk termasuk obat-obatan, kosmetik, tembakau, makanan dan minuman (Sastrohamidjojo, 2004).

Selanjutnya dalam *Kimia Minyak Atsiri* (2004), Sastrohamidjojo menyebutkan ada beberapa cara untuk meningkatkan kandungan menthol murni (L-menthol) pada hasil sulingan minyak mint, yaitu:

1. Isolasi menthol dengan cara pendinginan langsung

Merupakan cara yang umum dilakukan tanpa menggunakan bahan kimia. Proses ini memanfaatkan sifat fisika dari menthol yang membeku pada suhu -20°C sedangkan unsur lain seperti menthon akan membeku pada suhu lebih kecil dari -20°C . Minyak mint yang telah didinginkan pada suhu -25°C diberikan tekanan dan dihisap menggunakan pompa vakum. Pada proses filtrasi ini dihasilkan campuran padatan kristal dan filtrat yang memungkinkan adanya menthol di dalamnya. Setelah pendinginan yang berulang-ulang, menthol yang dihasilkan melalui metode ini tidak akan lebih dari 45% total kandungan menthol yang terdapat dalam minyak mint.

2. Isolasi menthol setelah dilakukan saponifikasi dengan KOH dalam etanol

Saponifikasi dilakukan untuk mengubah ester dan mentil asetat menjadi menthol, sehingga dapat meningkatkan hasil menthol. Proses saponifikasi menggunakan KOH dibantu dengan etanol sebagai media dan pelarut ayng akan melarutkan KOH maupun mentil asetat. Campuran tersebut kemudian diekstrak dengan pentana dan akan membentuk lapisan pentana yang mengandung menthol. Lapisan pentana yang mengandung menthol kemudian diuapkan dan dilanjutkan distilasi fraksinasi dengan pengurangan tekanan. Setelah didinginkan hingga suhu -25°C , diketahui proses ini dapat mengkonversi mentil asetat menjadi menthol.

3. Isolasi menthol setelah saponifikasi dengan NaOH dalam etanol

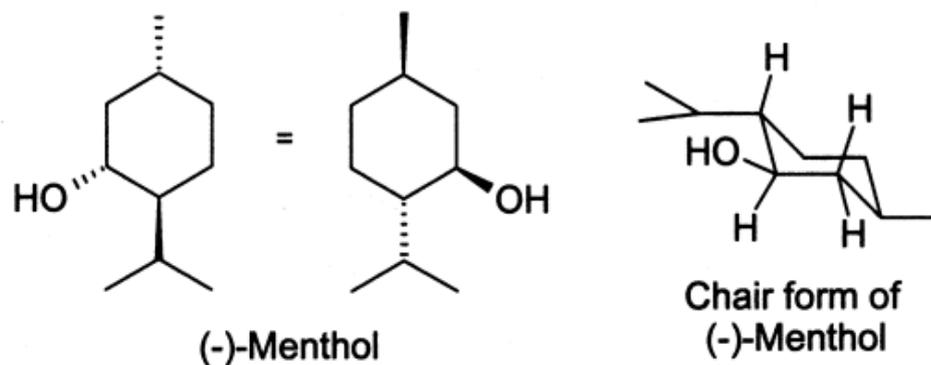
Prosesnya mirip dengan saponifikasi menggunakan KOH, hanya saja KOH diganti dengan NaOH. Sastrohamidjojo (2004) hanya membedakan proses mengekstrak menthol tanpa menggunakan pentana. Setelah saponifikasi selesai langsung dilanjutkan dengan distilasi uap. Hal tersebut karena diketahui bahwa minyak atsiri, dalam hal ini minyak mint dapat diisolasi dengan distilasi uap.

4. Isolasi menthol dengan senyawa hibrida

Diketahui bahwa peningkatan produk menthol dengan saponifikasi KOH dan NaOH akan meningkatkan pula kandungan senyawa menton dan piperiton. Oleh karena itu, Sastrohamidjojo (2004) melakukan konversi (-)-

menton, piperiton dan (-)-mentil asetat menjadi (-)-menthol dalam satu langkah proses menggunakan pereduksi NaBH_4 . Minyak mint direaksikan dengan NaBH_4 dengan media etanol untuk memisahkan minyak dan (-)-menthol. Setelah terpisah (-)-menthol didinginkan hingga suhu -25°C kemudian filtrasi disertai penghisapan. Hasilnya diperoleh menthol dengan kemurnian hingga 99,67%. Untuk memurnikan (-)-menthol dilakukan dengan rekristalisasi menggunakan metanol dan didinginkan hingga -25°C . Menthol murni yang telah dipisahkan berupa kristal tidak berwarna berbentuk jarum yang memiliki titik lebur $41,6^\circ\text{C}$ (Sastrohamidjojo, 2004).

Untuk memenuhi kebutuhan pasar, menthol produksi dan dijual umumnya dalam bentuk kristal seperti jarum, berwarna bening atau putih. Menthol cenderung akan menyublim pada suhu ruangan karena memiliki tekanan uap yang rendah. Tingkat penguapan yang tinggi tersebut sangat mempengaruhi umur simpan dan pemakaian dari menthol tersebut. Ketika diaplikasikan, menthol menyublim dan menghasilkan residu seperti rambut-rambut halus di objek (X. Han et al, 2015).



Gambar 1 Struktur kimiawi menthol

C. Konsolidan Kimia

1. Paraloid

Paraloid atau Acryloid adalah salah satu merk yang sering digunakan dalam berbagai kegiatan konservasi, umumnya memakai Paraloid/Acryloid B-72. Paraloid adalah bahan resin akrilik termoplastik yang banyak dipakai dalam kegiatan konservasi, menggantikan PVA. Paraloid termasuk resin yang multiguna, tahan lama dan tidak berubah warna meskipun terpapar suhu tinggi. Ketika diaplikasikan sebagai pelapis, Paraloid menghasilkan lapisan yang transparan dan tidak terlalu mengkilap. Selain itu Paraloid juga tahan dari berbagai macam cairan, seperti alkohol, alkali, asam, minyak mineral dan minyak sayuran. Paraloid dapat diaplikasikan sebagai pelapis bening atau dicampur pigmen dengan berbagai

metode aplikasi dan memiliki reaktivitas yang rendah terhadap pigmen yang sensitif. Selanjutnya, Paraloid juga dapat digunakan bersama dengan PVA dan *cellulose nitrat* untuk menghasilkan lapisan yang stabil dan transparan dengan berbagai karakteristik (Hamilton, 1999).

Untuk digunakan sebagai perekat, Paraloid termasuk mudah digunakan dan mudah dibersihkan misal dengan acetone. Umumnya digunakan sebagai perekat kayu, batu, keramik, dan benda lainnya. Di pasaran, paraloid dijual dalam bentuk manik-manik bening dan juga bentuk larutan. Kekurangan utama dari Paraloid terkait dengan sifat penanganannya seperti sulitnya aplikasi untuk perekat dan memanipulasinya dengan presisi (Koob, 1986).

2. PEG

Disebut juga Polyethylene Glycol merupakan senyawa polyether dengan berbagai kegunaan dari kepentingan industri hingga obat-obatan. PEG umumnya berbentuk cairan, bubuk, atau serpihan yang mudah mencair/melebur. Fungsi dan karakter dari PEG sangat dipengaruhi oleh berat molekulnya. Angka yang termasuk di nama produknya menunjukkan berat rata-rata molekulnya.

Salah satu penggunaan PEG dalam konservasi adalah untuk mengawetkan objek yang diangkat dari bawah air, beberapa di antaranya adalah kapal Mary Rose di Inggris dan kapal perang Vasa di Stockholm. Aplikasi PEG pada kayu yang diangkat dari bawah air akan menggantikan air yang sebelumnya mengisi pori-pori objek. PEG akan membuat kayu lebih stabil dan mencegah lengkung atau menyusutnya kayu ketika mengering (Walsh et al, 2015).

Tim dari Balai Konservasi Borobudur juga pernah melakukan kajian terkait penggunaan PEG untuk cagar budaya berbahan arang. PEG diaplikasikan dengan cara dioles ke objek, dan hasilnya memuaskan. Namun aplikasi tersebut disebutkan hanya cocok untuk arang yang berukuran kecil (Cahyandaru, 2015).

Upaya konservasi menggunakan PEG termasuk metode pertama yang dapat diandalkan untuk penanganan *waterlogged wood* yang relatif mudah untuk dilakukan. Penggunaan PEG menghilangkan air yang ada di kayu sekaligus memperkuatnya. Namun harus diketahui bahwa PEG bersifat korosif terhadap logam, terutama besi. Oleh karena itu perlu dipertimbangkan lebih lanjut terkait penggunaan PEG pada objek kayu yang memiliki unsur atau bagian dari logam (Hamilton, 1999).

3. Cyclododecane

Cyclododecane adalah senyawa organik dengan formula kimia $(CH_2)_{12}$. Senyawa ini berwujud padat seperti lilin dan tidak berwarna. Cyclododecane bersifat mudah menguap, dengan tekanan uap sekitar) pada 20°C, memiliki titik

lebur 58°-61°C dan titik didih pada 243°C. Cyclododecan juga mudah larut dalam larutan non-polar (Nichols & Mustalich, 2002).

Penggunaan cyclododecane sangat populer dalam bidang konservasi sebagai perekat sementara untuk objek yang rapuh. Perekat dengan cyclododecane akan bertahan selama beberapa minggu karena penguapannya yang relatif lambat. Sangat disarankan untuk sebisa mungkin menggunakan bahan yang murni dalam upaya konservasi sehingga tidak meninggalkan residu saat dibersihkan (Waters, 2007).

Meskipun sangat populer digunakan, cyclododecane termasuk bahan yang kurang ramah lingkungan karena tidak mudah terurai, bahkan berpotensi terakumulasi. Dalam upaya konservasi, aplikasi cyclododecane juga harus memperhatikan keamanan penggunaannya. Pengguna harus memakai *safety gear* karena cyclododecane dapat masuk ke tubuh melalui kontak dengan mata dan kulit, pencernaan dan pernafasan. Cyclododecane yang mengenai tubuh dapat mengakibatkan iritasi; mengganggu metabolisme tubuh, seperti karbon monoksida; menumpuk di organ tertentu, seperti timbal; merusak organ, umumnya hati; dan merusak genetik, jika masuk ke DNA (Rowe & Rozeik, 2008).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Ruang Lingkup Kajian

Ruang lingkup Kajian Penggunaan Menthol sebagai Bahan Konsolidan Arang adalah untuk mempertajam maksud dan tujuan. Selain itu, ruang lingkup kegiatan diperlukan untuk memberikan batasan yang spesifik sehingga kajian fokus dan tidak melebar ke hal-hal yang kurang sesuai dengan maksud dan tujuan pada kajian ini. Untuk itu ruang lingkup kajian ini adalah:

1. Observasi karakteristik menthol
2. Uji konsolidasi menggunakan menthol di laboratorium (penetrasi dan efikasi)
3. Pengamatan efektivitas bahan menthol

B. Jenis dan Sumber Data

1. Jenis Data

Adapun data yang digunakan dalam kajian ini adalah data kualitatif dan kuantitatif.

- a. Data Kualitatif, yaitu data yang disajikan dalam bentuk verbal bukan dalam bentuk angka. Yang termasuk dalam data kualitatif pada kajian ini adalah hasil kajian konsolidasi material terarangkan yang sudah dilakukan sebelumnya.
- b. Data Kuantitatif, yaitu jenis data yang dapat diukur atau dihitung secara langsung, yang berupa informasi atau penjelasan yang dinyatakan dengan bilangan atau berbentuk angka. Dalam hal ini, data kuantitatif yang diperlukan adalah efektivitas penggunaan menthol sebagai bahan konsolidan.

2. Sumber Data

Yang dimaksud dengan sumber data dalam kajian adalah subyek dari mana data diperoleh. Dalam kajian ini penulis menggunakan dua sumber data, yaitu:

- a. Sumber data primer, yaitu data yang langsung dikumpulkan oleh penulis dari sumber pertamanya. Adapun yang menjadi sumber data primer dalam kajian ini adalah hasil pengujian efektivitas menthol sebagai bahan konsolidan material terarangkan di laboratorium.
- b. Sumber data sekunder, data yang langsung dikumpulkan oleh penulis sebagai penunjang data primer. Dalam kajian ini data sekunder berupa artikel, jurnal, dan laporan hasil kajian terdahulu tentang konsolidasi material terarangkan.

C. Bahan dan Metode Kerja

Bahan menthol dibeli berupa Kristal menthol. Bahan uji utama yang digunakan pada kajian ini adalah arang kayu Rambutan, batu andesit, dan bata. Tiap-tiap sampel uji dibuat serbuk dengan ukuran 500 μm dan 1000 μm .

Metode kerja yang akan dilaksanakan pada kajian ini meliputi pengukuran penetrasi menthol pada substrat dan mengukur efektivitasnya, dalam hal ini daya tahan. Secara umum, metode kerja pengukuran penetrasi menthol pada substrat adalah sebagai berikut:

Penetrasi Sampel Kering

1. Mengeringkan bahan atau substrat yang akan digunakan
2. Menutup tabung kaca ($\Phi = \pm 30 \text{ mm}$, $t = 200 \text{ mm}$) dengan kapas pada salah satu ujungnya
3. Memasukkan bahan ke dalam tabung kaca sampai $\pm 20 \text{ mm}$ dari bibir tabung kaca
4. Mengocok tabung kaca yang berisi substrat. Hal ini bertujuan untuk memadatkan substrat di dalam tabung kaca.
5. Menyimpan tabung dalam oven selama 4 jam pada suhu 40°C
6. Memasukkan bahan menthol (70°C) ke dalam tabung.
7. Setelah menthol mengeras, kapas pada bagian bawah tabung diambil. Bahan yang tidak terkonsolidasi akan hilang.
8. Kedalaman penetrasi menthol pada substrat diukur menggunakan penggaris

Penetrasi Sampel Basah

1. Mengeringkan sampel arang yang akan digunakan
2. Menutup tabung kaca ($\Phi = \pm 30 \text{ mm}$, $t = 200 \text{ mm}$) dengan kapas pada salah satu ujungnya
3. Memasukkan bahan ke dalam tabung kaca sampai $\pm 20 \text{ mm}$ dari bibir tabung kaca
4. Menambahkan air pada sampel arang dengan kadar 10% dan 30%
5. Mengocok tabung kaca yang berisi substrat. Hal ini bertujuan untuk memadatkan substrat di dalam tabung kaca.
6. Menyimpan tabung dalam oven selama 4 jam pada suhu 40°C
7. Memasukkan bahan menthol (70°C) ke dalam tabung.
8. Setelah menthol mengeras, kapas pada bagian bawah tabung diambil. Bahan yang tidak terkonsolidasi akan hilang.

9. Kedalaman penetrasi menthol pada substrat diukur menggunakan penggaris

Sedangkan untuk mengetahui daya tahan menthol sebagai bahan konsolidasi sementara, dilakukan pengujian laboratorium sebagai berikut:

1. Mencampur cairan menthol (70°C) 10 ml dengan substrat kering
2. Mencetak campuran sampel dengan menthol tersebut dengan cetakan ($\Phi = \pm 30$ mm, $t = 60$ mm)
3. Memasukkan cetakan tersebut ke dalam refrigerator ($T = -1^\circ\text{C}$) selama satu jam, kemudian campuran menthol-substrat dikeluarkan dari cetakan.
4. Meletakkan ketiga jenis sampel (arang, bata, batu) pada tiga lokasi berbeda, yaitu di ruangan ber-AC ($T = \pm 20^\circ\text{C}$), ruangan biasa ($T = \pm 26^\circ\text{C}$), dan luar ruangan.
5. Menimbang dan mendokumentasikan sampel setiap hari.
6. Mengecek residu menthol pada sampel dengan FT-IR.

Efektifitas Menthol

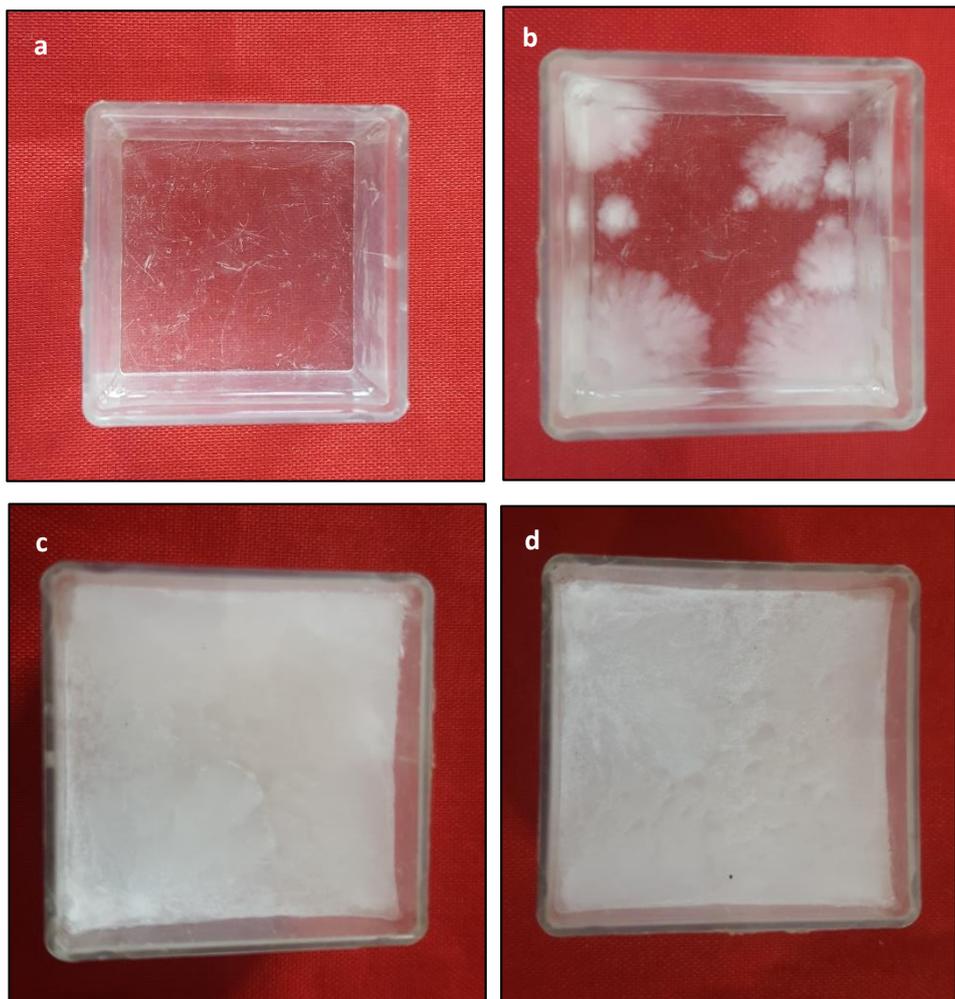
1. Mencampur cairan menthol (70°C) 40 ml dengan substrat kering (Batu = 200 g; Bata = 160 g; Arang = 48 g)
2. Mencetak campuran sampel dengan menthol tersebut dengan cetakan berukuran 5 x 5 x 5 cm
3. Memasukkan cetakan tersebut ke dalam refrigerator ($T = -1^\circ\text{C}$) selama satu jam, kemudian campuran menthol-substrat dikeluarkan dari cetakan.
4. Menguji kuat tekan sampel dengan UTM (*Ultra Testing Machine*)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

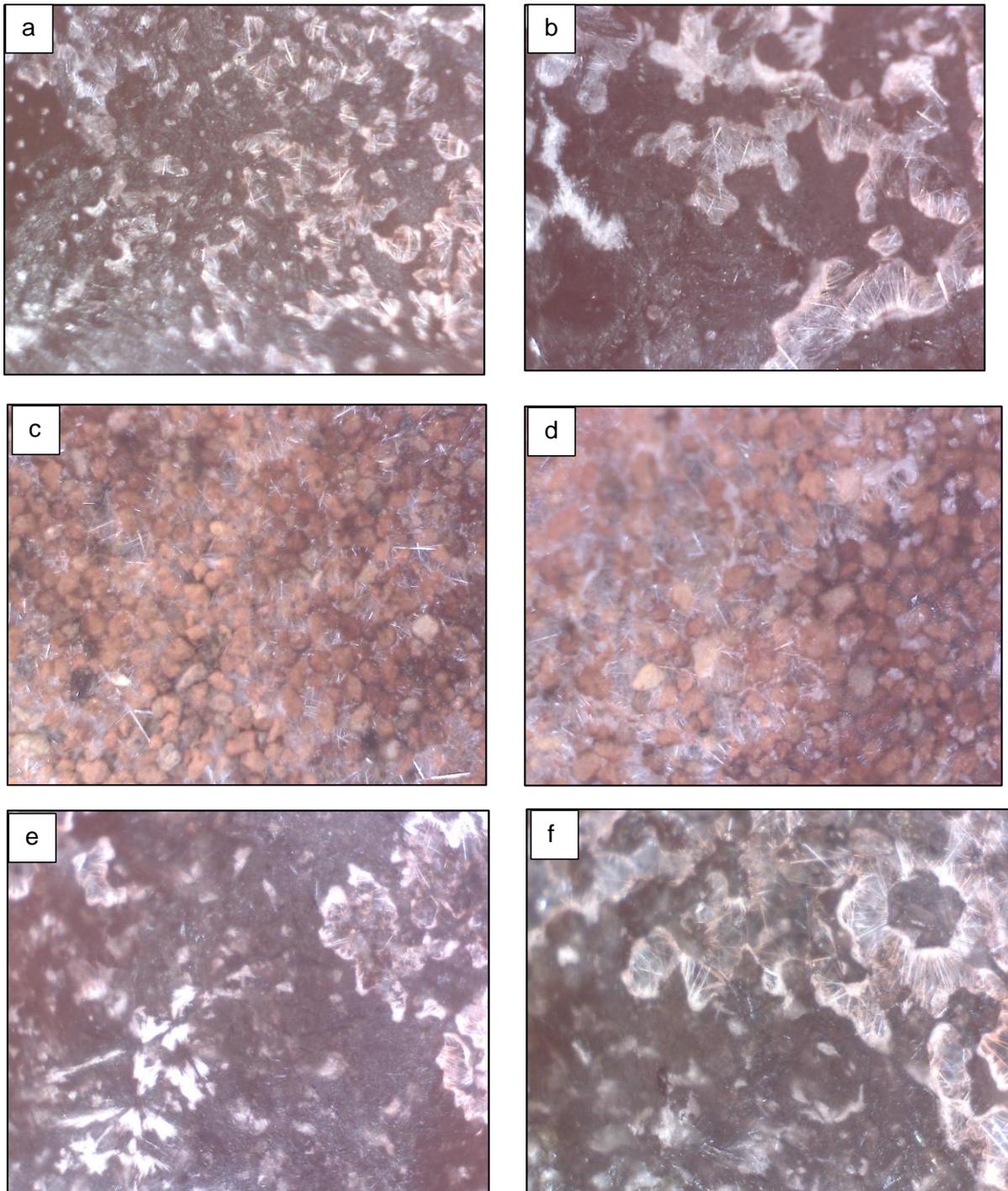
A. Perubahan Morfologi Menthol

Proses perubahan morfologi (solidifikasi) menthol menjadi padatan juga diamati dalam kajian ini. Menthol di cairkan terlebih dahulu untuk kemudian di tempatkan pada wadah kubus berukuran 17.6 cm³. Kemudian dilakukan pengamatan setiap 20 menit. Hasil yang diperoleh seperti tampak pada gambar 2.



Gambar 2 proses solidifikasi cairan menthol

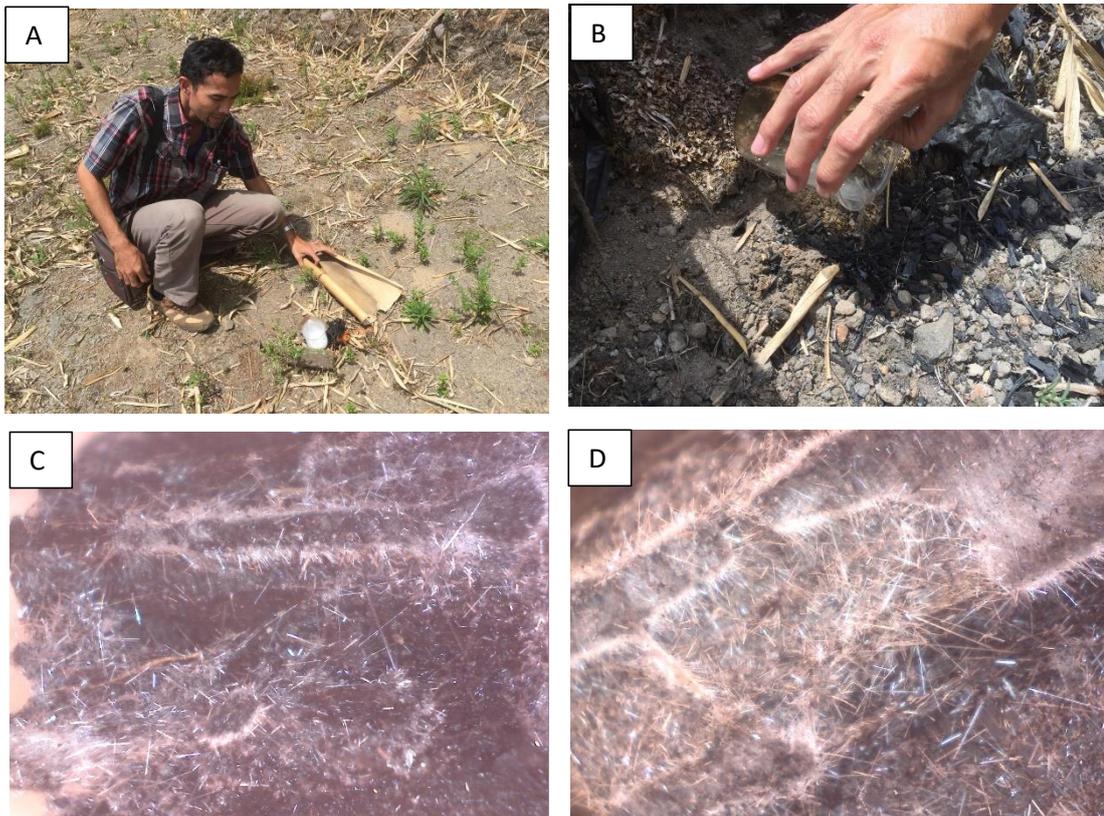
Seperti yang terlihat pada gambar 1, proses solidifikasi menthol berawal dari tepi menuju ke tengah. Terbentuk sebuah cekungan di tengah (*dent*) sebagai akibat dari perubahan bentuk cairan ke fase padatan. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penyusutan selama proses solidifikasi. Selain itu, ditemukan juga struktur berbentuk seperti jarum (*whisker*) pada sampel setelah proses solidifikasi menthol (gambar 3).



Gambar 3 morfologi permukaan sampel yang telah dikonsolidasi dengan menthol. a: Arang500; b: Arang1000; c: Bata500; d: Bata1000; e: Batu500; f: Batu1000

Bentukan seperti jarum tersebut menjadi semakin besar bersamaan dengan waktu sublimasi menthol. Struktur tersebut sangat lembut, tipis, dan umum ditemukan juga ketika menthol digunakan dalam bidang farmasi, makanan, dan industry kosmetik (Yuasa *et. al.*, 2000). Pengujian lapangan juga dilakukan pada kajian ini, yaitu pengujian pada material kayu terarang di situs Liyangan (gambar 4). Berdasarkan hasil

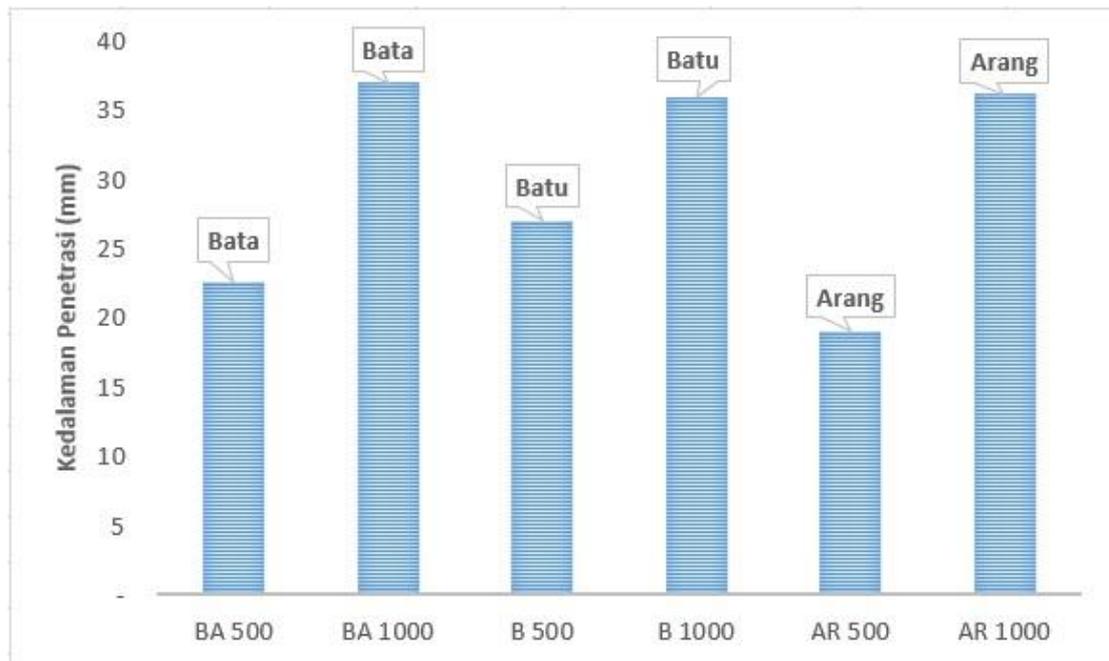
pengujian dilapangan tersebut diketahui bahwa sebaiknya menghindari cahaya matahari langsung pada saat pengaplikasian menthol, karena suhu sangat berpengaruh terhadap cairan menthol. Jika suhu tetap tinggi maka proses konsolidasi semakin lama dan hasil yang diperoleh kurang maksimal. Selain itu, setelah sebulan kemudian, struktur *whisker* semakin jelas terlihat pada permukaan material terarang (gambar 3). Struktur tersebut semakin banyak dan memanjang. Hal tersebut kemungkinan diakibatkan karena suhu untuk mengencerkan menthol kurang sempurna, karena menurut Xiangna *et al.* (2014) suhu terbaik untuk aplikasi menthol adalah antara 60 sampai 80°C.



Gambar 4 Aplikasi menthol pada material terarangkan di situs Liyangan. a: Pemanasan menggunakan peralatan sederhana; b: aplikasi pada sampel arang; c dan d: struktur *whisker* pada sampel terarangkan dari situs Liyangan setelah 30 hari

B. Penetrasi Menthol

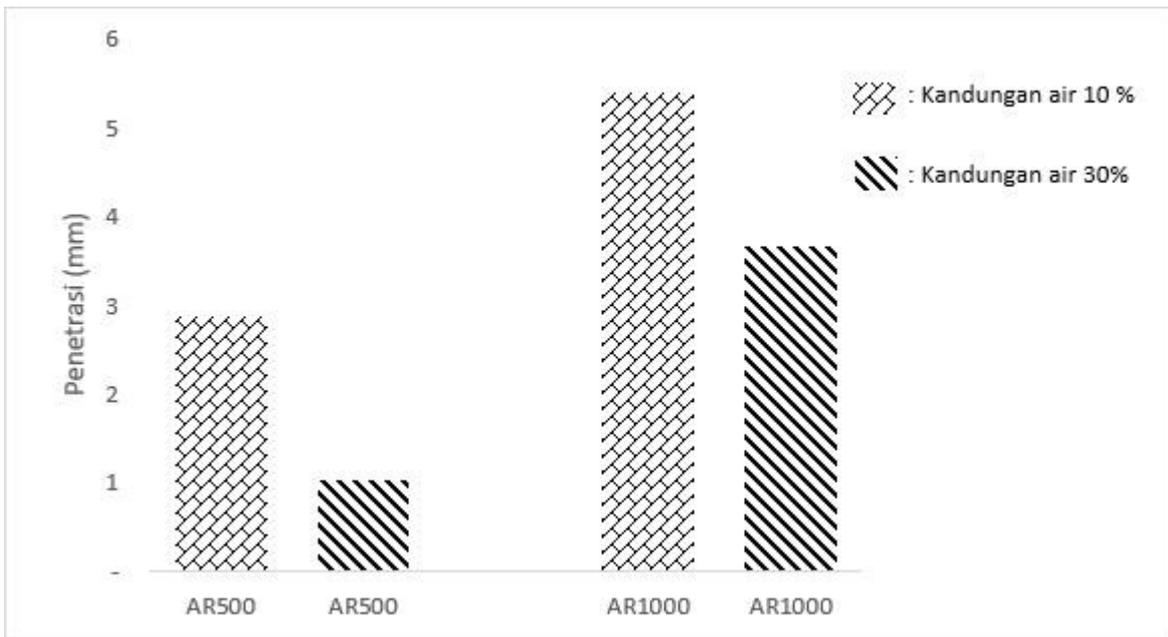
Penetrasi menthol terhadap ketiga jenis sampel tergantung pada ukuran partikel sampel seperti yang terlihat pada gambar 5. Berdasarkan gambar grafik tersebut dapat diketahui bahwa penetrasi menthol terhadap partikel berukuran besar lebih dalam daripada partikel berukuran kecil. Partikel berukuran besar mempunyai pori-pori yang besar juga, sehingga memudahkan transportasi cairan menthol di dalam substrat.



Gambar 5 Data Aplikasi menthol pada material Bata, Batu, dan Arang dengan ukuran partikel 500 µm dan 1000 µm

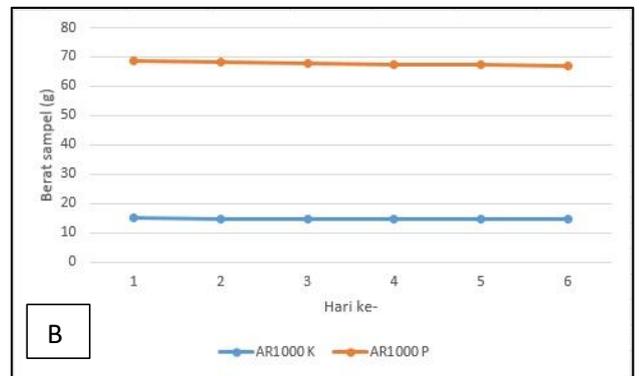
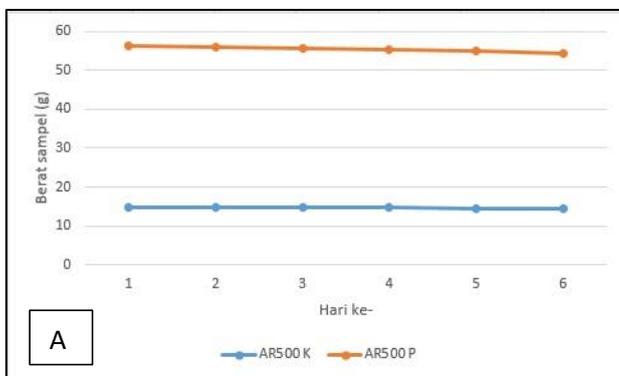
Kemampuan penetrasi menthol terhadap sampel akan mempengaruhi kekuatan sampel yang sudah dikonsolidasi (Chiara *et. al.*, 2011).

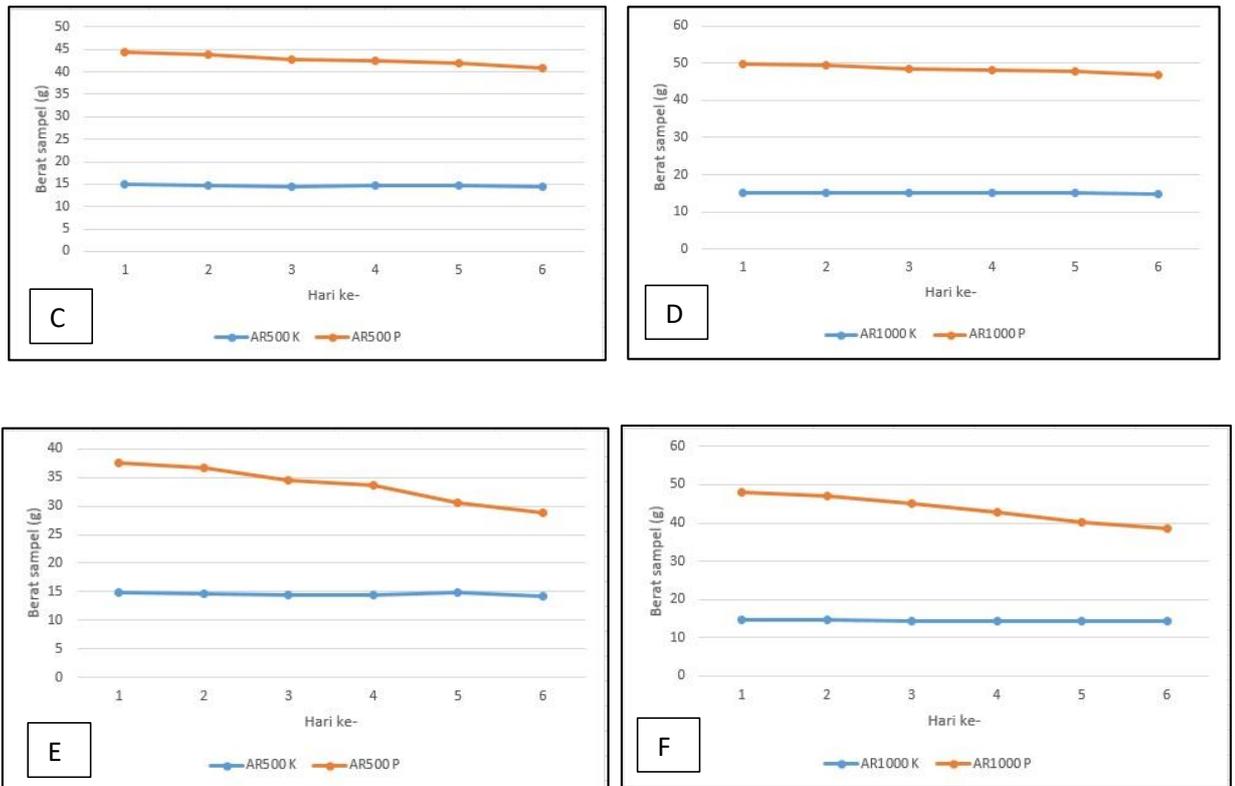
Data penetrasi menthol pada sampel basah arang disajikan dalam gambar 6. Berdasarkan data penetrasi sampel basah menunjukkan bahwa kandungan air pada sampel menjadi salah satu faktor penghambat penetrasi menthol terhadap sampel. Ketika kandungan air pada sampel mencapai 30%, tingkat penetrasi menthol menjadi sangat kecil. Peristiwa tersebut kemungkinan diakibatkan oleh dua hal, yaitu adanya kompetisi antara air dan menthol di dalam pori-pori sampel, dan sifat hidrofobik menthol sendiri.



Gambar 6 Aplikasi menthol pada sampel arang dengan konsentrasi air 10% & 30%

Data durabilitas menthol disajikan pada gambar 7. Pada gambar tersebut ditampilkan sampel arang saja, untuk data sampel lainnya dapat dilihat di lampiran. Konsolidasi material arang dengan menthol pada ruangan ber-AC menunjukkan penurunan berat yang kecil (0.3-0.5 gram) setiap kali pengamatan. Hal ini berbeda jauh dengan sampel arang yang ditempatkan di luar ruangan, pengurangan berat berkisar antara 2-3 gram setiap kali pengamatan. Berdasarkan data yang diperoleh tersebut, ketahanan menthol sebagai bahan konsolidasi sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Semakin tinggi suhu lingkungan, semakin cepat proses sublimasi menthol sehingga kekuatan konsolidasi material sampel semakin rendah.





Gambar 7 Data durabilitas aplikasi menthol terhadap sampel arang. A) AR500 di ruangan AC; B) AR1000 di ruangan AC; C) AR500 di ruangan; D) AR1000 di ruangan; E) AR500 di luar ruangan; F) AR500 di luar ruangan

C. Efektifitas Konsolidasi

Salah satu hipotesis pada kajian ini adalah tidak adanya kekuatan mekanik pada serbuk sampel (batu, bata, arang), sehingga adanya kekuatan mekanik setelah perlakuan dengan menthol di asumsikan hanya berasal dari menthol. Oleh karena itu, data uji kuat tekan dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas konsolidasi menthol (table 1).

Table 1 hasil uji kuat tekan tiap sampel

Sampel	Kuat Tekan (kN)
Bata 500	1.66
Bata 1000	1.05
Batu 500	1.76
Batu 1000	1.92
Arang 500	1.14
Arang 1000	0.42

Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa pada umumnya partikel dengan ukuran lebih kecil cenderung memiliki kekuatan konsolidasi yang lebih besar daripada

partikel berukuran besar, kecuali untuk sampel batu. Serbuk batu berukuran 1000 μm memiliki nilai kuat tekan lebih besar daripada serbuk batu berukuran 500 μm . Selain itu, data uji kuat tekan menunjukkan bahwa sampel anorganik memiliki kuat tekan lebih besar dari sampel organik.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Aplikasi menthol sebagai bahan konsolidasi sementara cagar budaya sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel. Penetrasi menthol pada partikel berukuran besar lebih dalam daripada partikel berukuran kecil. Faktor yang berpengaruh terhadap efektivitas menthol sebagai bahan konsolidasi sementara adalah kandungan air pada obyek. Selain itu, suhu pada waktu aplikasi juga sangat menentukan terhadap keberhasilan proses konsolidasi
2. Nilai kuat tekan obyek setelah dikonsolidasi oleh menthol juga dipengaruhi oleh ukuran partikel. Partikel dengan ukuran lebih kecil memiliki nilai kuat tekan lebih besar daripada partikel dengan ukuran besar.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui waktu tepatnya sampel sudah mengalami dekonsolidasi. Sehingga dari data tersebut dapat dijadikan acuan menentukan jangka waktu penggunaan menthol di lapangan. Selain itu, juga perlu diketahui cara *packing* sampel terbaik yang telah dikonsolidasi dengan menthol.
2. Perlu dilakukan perbandingan efektivitas menthol dengan kapur barus. Karena kedua material tersebut memiliki karakteristik yang hampir mirip. Harga kapur barus lebih murah dari pada Kristal menthol. Perlu juga dilakukan penelitian campuran antara menthol dengan kapur barus sebagai bahan konsolidasi untuk dibandingkan efektivitasnya dengan konsolidasi jika hanya menggunakan menthol atau kapur barus saja.

DAFTAR RUJUKAN

- Budi, Esmar R. 2011. Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar. Dalam *Jurnal Penelitian Sains*, vol. 14, no. 4(B)/2011, hal. 25-29. FMIPA Universitas Sriwijaya.
- Cahyandaru, Nahar. 2013. Konservasi Material Organik Ter-Arang Pada Ekskavasi Situs Bencana Vulknaik Tambora. Dalam *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, vol. 7, no. 2, Desember 2013, hal 43-58. Balai Konservasi Borobudur
- Cahyandaru, Nahar. 2015. *Laporan Hasil Kajian Konservasi Situs Liyangan Jawa Tengah*. Balai Konservasi Borobudur
- Cartwright, Caroline R. 2015. The Principles, Procedures and Pitfalls in Identifying Archaeological and Historical Wood Samples. Dalam *Annals of Botany* 166/2015, hal. 1-13. Oxford University Press
- Chiara, A., Federica, P., Brenda, D., Brunetto, B., Antonio, S., and Costanza, M., 2011, The study of cyclododecane as a temporary coating for marble by NMR pro filometry and FTIR re fl ectance spectroscopies, *Applied Physics A*,104, 401– 6
- Damanik, Sarintan Efratani. 2009. Studi Sifat Hasil Pembakaran Arang dari Enam Jenis Kayu. Dalam *Jurnal Habonaron Do Bona*, 1 Maret 2009. LPPM Universitas Simalungun
- Emrich, Walter. 1985. *Handbook of Charcoal Making: The Traditional and Industrial Methods*. Springer Science+Business Media Dordrecht
- European Chemicals Agency. 2008. *Member State Committee support document for agreement on cyclododecane*. SVHC Support Documents. Helsinki. Finland
- Hamilton, Donny L. 1999. *Methods of Conserving Archaeological Material from Underwater Sites*. Department of Anthropology Texas A&M University
- Koob, Stephen P. 1986. The Use of Paraloid B-72 As an Adhesive: Its Application for Archaeological Ceramics and Other Materials. Dalam *Studies id Conservation/1986*, hal. 7-14. The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works
- Koob, Stephen. 1996. Using Acryloid B-72 for the Repair of Archaeological Ceramics. Dalam *Conservation Notes*, no. 21, Mei 1996. University of Texas at Austin
- Li, Carmen. 2006. Biodeterioration of Acrylic Polymers Paraloid B-72 and B-44: Report on Field Trials. Dalam *Anatolian Archaeological Studies XV/2006*, hal. 283-290. Japanese Institute of Anatolian Archaeology
- Nichols, Kimberly dan Rachel Mustalish. 2002. Cyclododecane in Paper Discussion. Dalam *The Book and Paper Group Annual 21/2002*, hal. 81-84. American Institute of Conservation

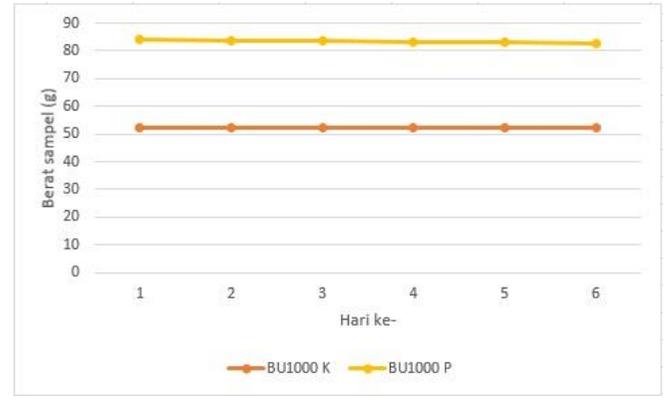
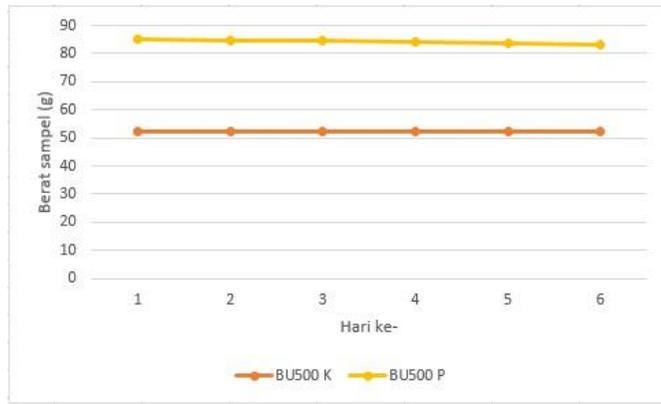
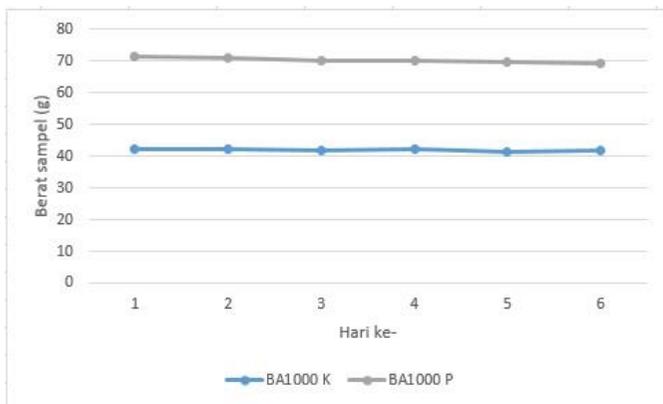
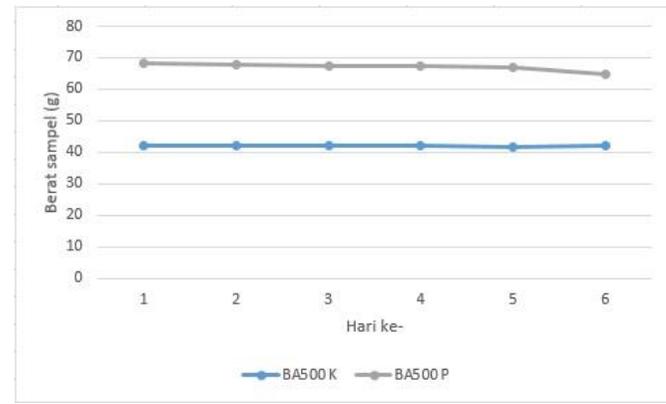
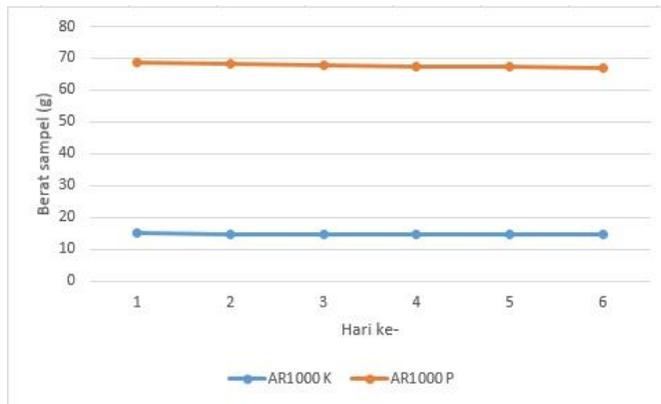
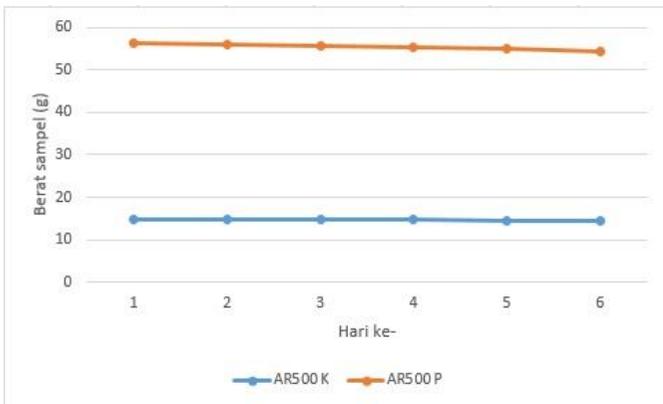
- Rowe, Sophie dan Christina Rozeik. 2008. The Uses of Cyclododecane in Conservation. Dalam *Reviews in Conservation no. 9, 2008, hal. 17-31*. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works
- Walsh, Zarah, et al. 2015. Natural Polymers as Alternative Consolidants for the Preservation of Waterlogged Archaeological Wood. Dalam *Studies in Conservation, vol. 0, no. 0/2015*. The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works
- Watters, Chris. 2007. Cyclododecane: A Closer Look at Practical Issues. Dalam *Anatolian Archaeological Studies XVI/2007,hal. 195-204*. Japanese Institute of Anatolian Archaeology
- Xia, Y., Weichert, M., Zhang, Z., Zhou, T., and Ma, S., 2005, Application of cyclododecane on one stone armour set excavation and restoration, *Sciences of Conservation and Archaeology*, 17(2), 31–5 (in Chinese).
- Xiangna, H., B. Rong, X. Huang, T. Zhou, H. Luo, C.Y. Wang. 2014. The use of menthol as temporary consolidant in the excavation of qin shihuang's terracotta army, *Archaeometry* 56 : 1041–1053
- Xiangna, H. Huang, X. Zhang, B. 2015. Morphological Studies Menthol as A Temporary Consolidant for Urgent Conservation in Archaeological Field. Dalam *Journals of Cultural Heritage*.
- Yuasa H., Ooi M., Takashima Y., Kanaya Y. 2000. Whisker growth of l-menthol in coexistence with various excipients. *Int. J. Pharmaceut.* 203–21

LAMPIRAN

1. Data Durabilitas di tiga lokasi (ruangan AC, ruangan, dan luar ruangan)

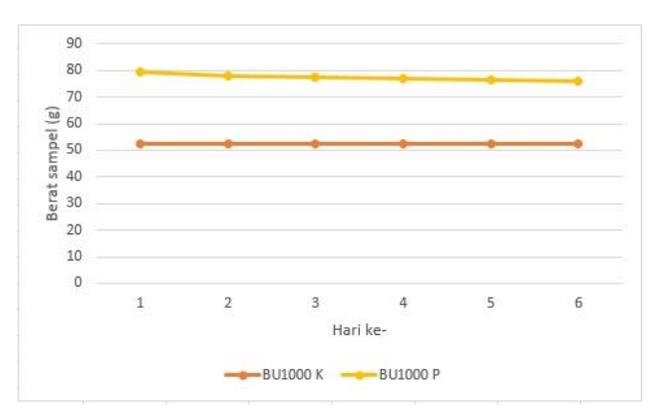
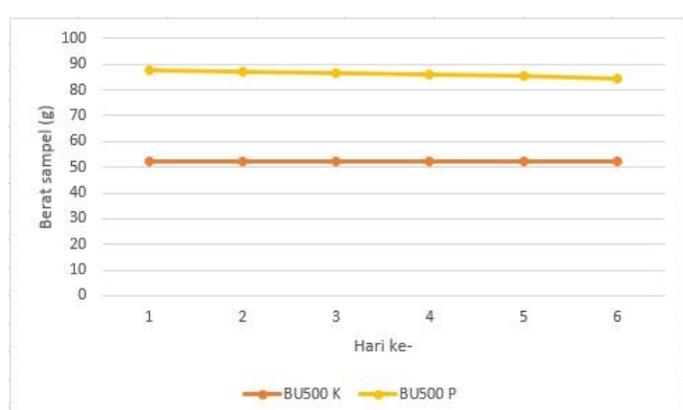
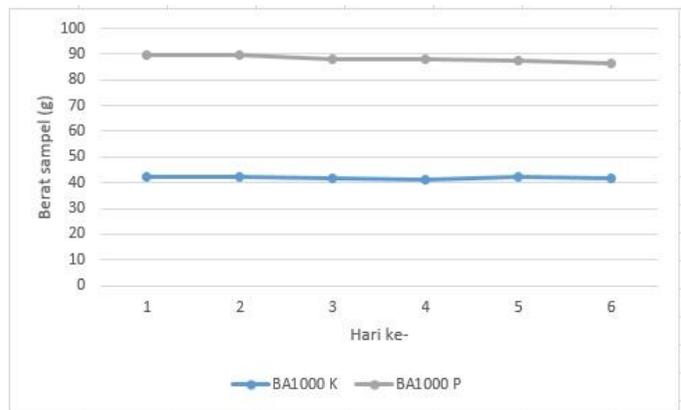
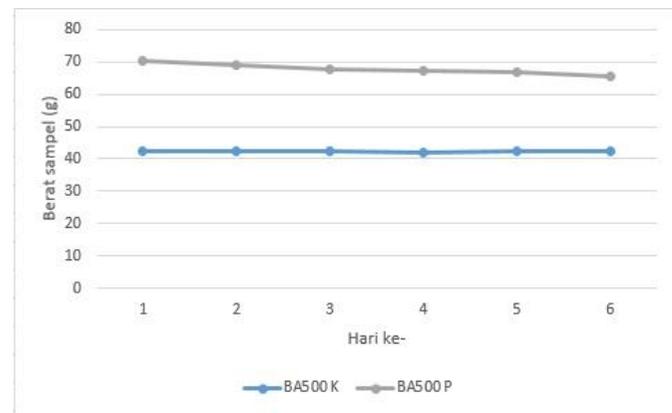
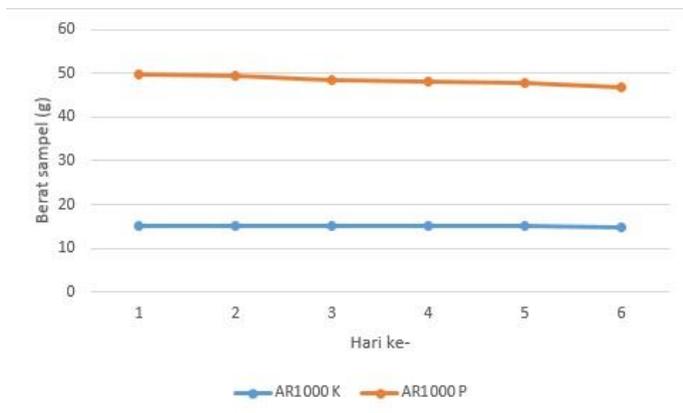
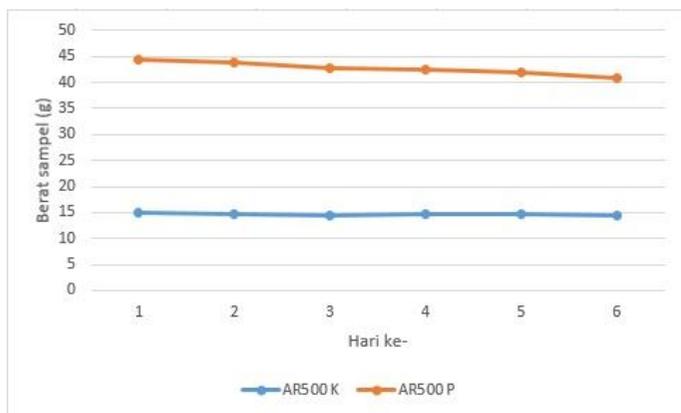
Ruangan AC

Nama	Hari Ke-					
	I	II	III	IV	V	VI
Arang 1000						
K	14.9	14.8	14.8	14.8	14.5	14.5
1	61.4	61.0	60.6	60.3	59.9	59.6
2	123.2	122.9	122.5	122.3	121.9	121.5
3	21.2	20.8	20.4	20.1	19.8	19.4
	68.6	68.2	67.8	67.6	67.2	66.8
Arang 500						
K	14.8	14.7	14.7	14.7	14.5	14.5
1	31.5	31.3	30.8	30.6	30.1	29.6
2	116.3	116.0	115.6	115.4	115.0	114.5
3	21.2	20.9	20.3	20.0	19.6	19.1
	56.3	56.1	55.6	55.3	54.9	54.4
Bata 1000						
K	42.3	42.2	42.0	42.1	41.4	42.0
1	91.7	91.0	90.6	90.4	90.0	89.6
2	64.1	63.8	63.2	63.0	62.6	62.2
3	58.4	58.0	57.2	57.0	56.6	56.2
	71.4	70.9	70.3	70.1	69.7	69.3
Bata 500						
K	42.1	41.9	41.9	41.9	41.8	41.9
1	90.2	89.9	89.4	89.2	88.8	88.5
2	65.8	65.3	64.8	64.4	64.0	63.7
3	49.2	48.8	48.3	48.0	47.6	42.3
	68.4	68.0	67.5	67.2	66.8	64.8
Batu 1000						
K	52.4	52.5	52.5	52.5	52.5	52.4
1	76.5	76.3	76.0	75.7	75.5	75.1
2	82.5	82.3	82.0	81.7	81.5	81.1
3	92.8	92.7	92.4	92.1	91.9	91.4
	83.9	83.8	83.5	83.2	83.0	82.5
Batu 500						
K	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.2
1	112.3	112.1	111.7	111.5	111.3	110.9
2	59.6	59.3	58.8	58.2	57.9	57.3
3	83.1	82.9	82.6	82.3	82.0	81.6
	85.0	84.8	84.4	84.0	83.7	83.3



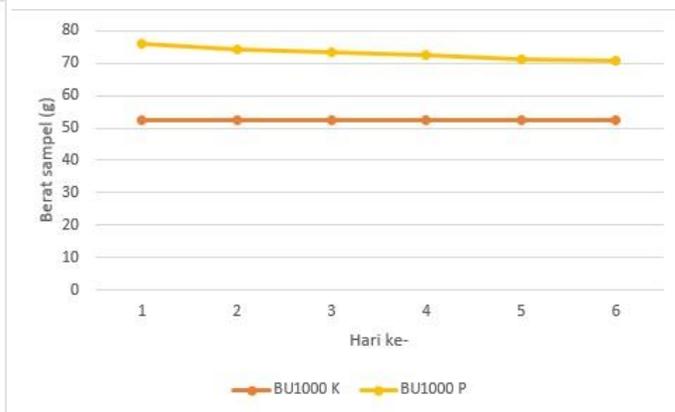
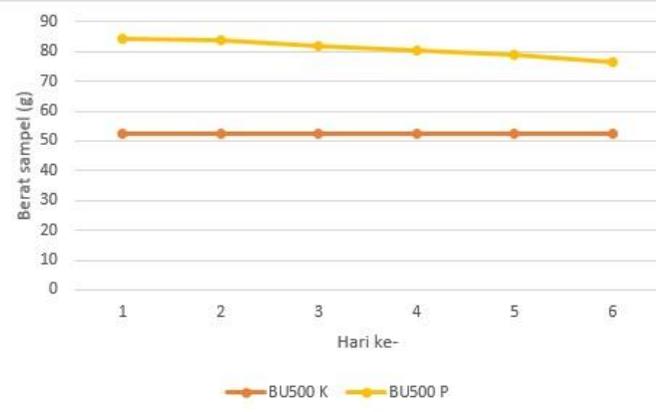
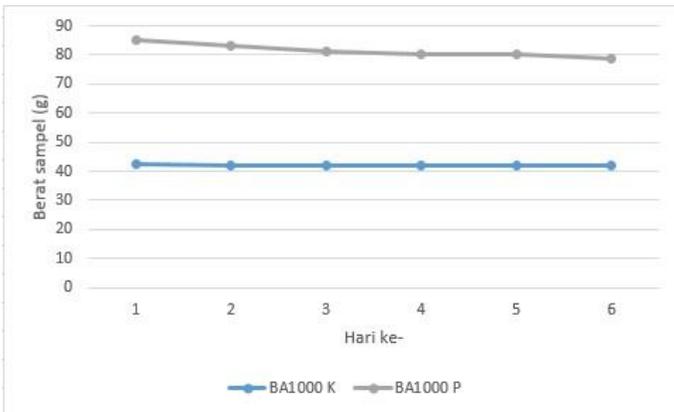
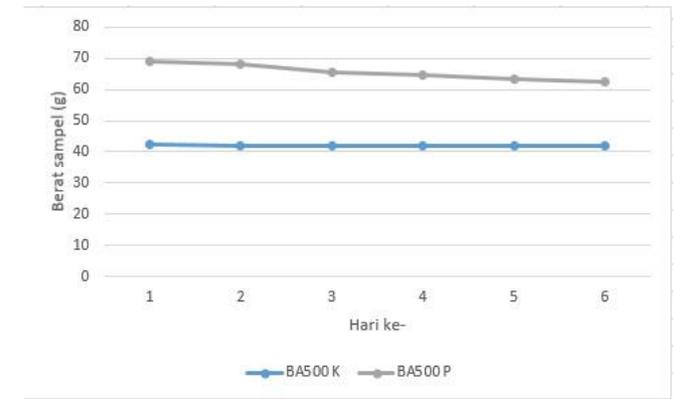
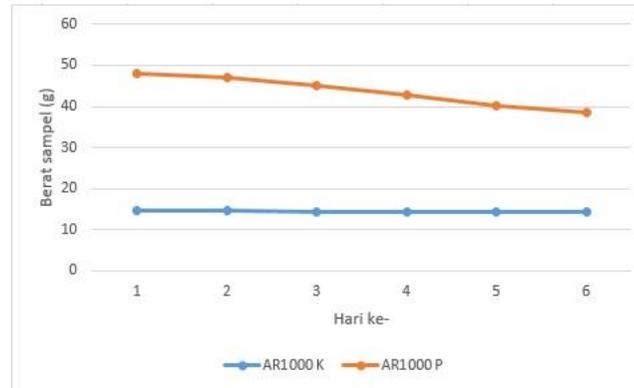
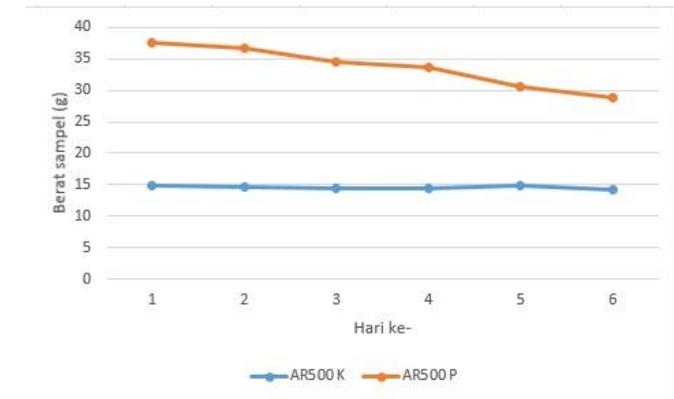
Ruangan tanpa AC

Nama	Hari Ke-					
	I	II	III	IV	V	VI
Arang 1000						
K	15.1	15.1	15	15	15	14.9
1	61.6	61.2	60.2	59.8	59.5	58.5
2	65.5	65.1	64.2	63.8	63.5	62.5
3	22.1	21.6	20.8	20.5	20.2	19.2
	49.7	49.3	48.4	48.0	47.7	46.7
Arang 500						
K	14.9	14.7	14.5	14.6	14.7	14.5
1	53.4	53	51.9	51.5	51.2	50.1
2	39.9	39.4	38.3	37.9	37.5	36.4
3	39.6	39.4	38.2	37.7	37.4	36.2
	44.3	43.9	42.8	42.4	42.0	40.9
Bata 1000						
K	42.4	42.4	42	41.2	42.1	42
1	94.6	94.6	93	92.7	92.4	91.5
2	91.5	91.5	90.1	89.7	89.4	88.5
3	82.8	82.8	81.4	81	80.5	79.6
	89.6	89.6	88.2	87.8	87.4	86.5
Bata 500						
K	42.5	42.4	42.2	42	42.3	42.2
1	53.1	49.5	48.3	47.7	47.3	46
2	60.2	59.7	58.4	57.8	57.3	55.9
3	98.1	97.5	96.4	95.8	95.4	94.1
	70.5	68.9	67.7	67.1	66.7	65.3
Batu 1000						
K	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3
1	84.9	84.6	83.9	83.4	83.1	82.3
2	76.7	76.4	75.6	75.2	74.9	74
3	76.8	73.3	72.6	72.2	71.8	71
	79.5	78.1	77.4	76.9	76.6	75.8
Batu 500						
K	52.3	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2
1	61.4	61.1	60.3	59.8	59.4	58.4
2	97.8	97.5	96.7	96.2	95.9	94.9
3	103.4	103.1	102.3	101.9	101.4	100.5
	87.5	87.2	86.4	86.0	85.6	84.6



Luar Ruangan

Nama	Hari Ke-					
	I	II	III	IV	V	VI
Arang 1000						
K	14.8	14.6	14.4	14.5	14.8	12.1
1	53.6	52.9	51.2	50.6	50.5	43.9
2	68.6	67.9	65.8	65.4	65.4	64.6
3	21.7	20.9	18.5	18.0	16.9	15.8
	48.0	47.2	45.2	44.7	44.3	41.4
Arang 500						
K	14.9	14.7	14.5	14.5	14.9	14.3
1	32.5	31.6	29.3	28.6	28.4	31.2
2	31.6	30.8	28.3	27.5	27.3	26.4
3	48.5	47.8	45.9	45.0	44.7	43.6
	37.5	36.7	34.5	33.7	33.5	33.7
Bata 1000						
K	42.4	42.0	41.9	41.9	42.2	41.9
1	97.7	97.0	95.1	94.5	94.2	92.8
2	85.8	85.1	82.8	82.3	82.1	81.0
3	71.4	67.3	65.1	64.5	64.3	63.1
	85.0	83.1	81.0	80.4	80.2	79.0
Bata 500						
K	42.3	42.0	41.9	41.9	42.1	41.9
1	58.5	57.7	55.2	54.7	54.5	53.5
2	83.6	82.7	80.1	79.2	78.9	77.6
3	64.7	63.9	61.3	60.3	60.0	59.1
	68.9	68.1	65.5	64.7	64.5	63.4
Batu 1000						
K	52.4	52.3	52.3	52.3	52.3	52.2
1	85.7	85.3	81.4	80.4	79.7	78.9
2	59.1	58.6	56.5	56.2	56.1	55.5
3	83.4	67.3	81.7	81.2	81.0	80.4
	76.1	70.4	73.2	72.6	72.3	71.6
Batu 500						
K	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.2
1	107.8	107.5	105.3	105.2	104.6	103.5
2	82.2	81.5	79.5	78.8	78.3	77.6
3	63.5	62.8	61.2	60.6	60.4	59.7
	84.5	83.9	82.0	81.5	81.1	80.3



2. Data Penetrasi Menthol Terhadap Sampel Kering & Basah

Penetrasi Kering (mm)

Sampel	Sampel	Ukuran Partikel	Ulangan 1			Ulangan 2			Ulangan 3		
			Min	Max	Rerata	Min	Max	Rerata	Min	Max	Rerata
Bata	Bata	500	21	22	21.5	21	24	22.5	25	23	24
		1000	30	37	33.5	35	42	38.5	33	45	39
Batu	Batu	500	23	28	25.5	26	30	28	25	30	27.5
		1000	38	33	35.5	31	40	35.5	33	41	37
Arang	Arang	500	10	16	13	18	21	19.5	22	27	24.5
		1000	37	32	34.5	22	37	29.5	30	59	44.5

Penetrasi Basah (mm)

Sampel	Ukuran Partikel	Kandungan air	Ulangan 1			Ulangan 2			Ulangan 3		
			Min	Max	Rerata	Min	Max	Rerata	Min	Max	Rerata
Arang	500	10%	3.2	1.8	2.5	3.8	2.2	3	4.2	2	3.1
		30%	0.6	1.2	0.9	0.2	0.7	0.45	1.1	2.4	1.75
	1000	10%	2.4	6	4.2	6	6	6	6	6	6
		30%	0.6	6	3.3	3.1	5	4.05	1.2	6	3.6

3. Data hasil uji kuat tekan dengan Ultra Testing Machine (UTM)