**KONSERVASI BENTENG BAU-BAU:
KONSERVASI TIANG BENDERA PADA MASJID KUNO DALAM
BENTENG KERATON BUTON DI KOTA BAU-BAU**

**CONSERVATION OF BAU BAU FORTRESS:
CONSERVATION OF FLAGPOLE IN THE OLD MOSQUE WITHIN
BUTON PALACE FORTRESS IN THE TOWN OF BAU BAU**

¹Ari Swastikawati, ²Marsis Sutopo, ¹Dhanny Indra Permana, ¹Pramudhianto Dwi Hanggoro,
dan ¹Al. Widy Purwoko

¹Balai Konservasi Borobudur, ²Tim Ahli Cagar Budaya Nasional
arie_swastik@yahoo.com

ABSTRAK

Benteng Keraton Buton merupakan benteng terluas dan terpanjang di dunia yang terletak di Kelurahan Melai, Kecamatan Betoambari, Kota Bau-Bau, Sulawesi Tenggara. Di tengah benteng terdapat sebuah Masjid Kuno Buton dan tiang bendera yang usianya seumur dengan masjid. Masjid tersebut dibangun pada masa pemerintahan Sultan Buton III La Sangaji Sultan Kaimuddin, yang berkuasa pada tahun 1591-1597. Saat ini kondisi tiang bendera mengalami kerusakan dan pelapukan. Oleh karena itu, Balai Konservasi Borobudur bekerjasama dengan Balai Pelestarian Cagar Budaya Makasar berinisiatif melaksanakan kegiatan kajian konservasi benteng Bau-Bau yang lebih difokuskan pada tiang bendera. Adapun tujuan kajian ini mengidentifikasi kerusakan dan pelapukan serta merumuskan penanganan konservasi tiang bendera.

Metode penelitian dalam kajian ini adalah survei dan eksperimen. Metode survei dan eksperimen tersebut dilaksanakan melalui studi referensi, observasi lapangan dan analisis laboratorium dan eksperimen dilanjutkan pengolahan dan analisis data serta merumuskan rencana penanganan konservasi.

Berdasarkan hasil survei dan analisis laboratorium diketahui seluruh material kayu telah mengalami pelapukan tingkat lanjut sehingga sebaiknya segera dilakukan tindakan konservasi terhadap material kayu tiang bendera. Jenis Kayu komponen tiang bendera Kesultanan Buton adalah kayu jati (*Tectona grandis* L.F). Struktur tiang bendera telah mengalami penurunan kekuatan sehingga perlu dilakukan tindakan rekonstruksi tiang bendera dan perkuatan struktur. Teknik dan metode perkuatan struktur ditentukan berdasarkan hasil penelitian dan kesepakatan para *stakeholder*.

Berdasarkan hasil tersebut maka perlu penelitian lanjutan untuk menentukan metode konsolidasi kayu, menentukan metode aplikasi terbaik, menentukan bahan injeksi pada retakan mikro, mengetahui volume rongga kayu dengan alat *videoscope*, menentukan teknik dan metode pengisian rongga kayu, *modelling* untuk menentukan besaran beban angin dan gempa yang dibutuhkan untuk meruntuhkan struktur tiang bendera dan menentukan metode perkuatan struktur yang paling tepat.

Kata Kunci: identifikasi kayu; kerusakan dan pelapukan kayu; tiang bendera; konservasi kayu.

ABTRACT

Buton palace fortress is the widest and longest bastion in the world located in Melai Village, Betoambari District, Bau-Bau City, Southeast Sulawesi. In the center of the fort there is an ancient Mosque Buton and flagpole that is the same age as the mosque. The mosque was built during the reign of Sultan Buton III La Sangaji Sultan Kaimuddin, who came to power in 1591-1597. Currently the condition of the flagpole is damaged and weathered. Therefore, the Borobudur Conservation Office in collaboration with the Makassar Cultural Heritage Conservation Office took the initiative to conduct a conservation study at the Bau-Bau fortress which was more focused on the flagpole. The purpose of this study is to identify the damage and weathering and to formulate the handling of the flagpole conservation.

The research methods in this study are survey and experiment. The survey and experimental methods were carried out through reference studies, field observations, laboratory

analysis and experiments followed by processing and analyzing data and formulating conservation management plans.

Based on the results of the survey and laboratory analysis is known all the wood material has undergone advanced weathering so conservation measures should be done on the flag pole material. Type of wood of the flagpole component of the Buton Sultanate is teak wood (*Tectona grandis* L.F). The structure of the flagpole has decreased in strength so it needs to be done the reconstruction of the flagpole and the reinforcement of the structure. Strengthening techniques and methods of structure are determined based on research results and stakeholder agreements.

Based on these results it is necessary to further determine the method of wood consolidation, determine the best application method, determine the injection material on micro cracks, know the volume of wood cavity with videoscope tool, determine the techniques and methods of filling the wood cavity, modeling to determine the amount of wind load and earthquake required to undermine the flagpole structure and determine the most appropriate method of retaining the structure.

Keywords: wood identification; wood damage and weathering; flagpole; wood conservation.

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Benteng Keraton Buton merupakan peninggalan Kesultanan Buton. Menurut naskah sejarah Darul Fii Butuni, Benteng Keraton Buton dibangun oleh Sultan Buton IV, Sultan La Elangi yang bergelar Dayanu Ikhsanuddin yang memerintah tahun 1597-1632 M. Kemudian diselesaikan oleh Sultan Buton VI, Sultan La Buke yang bergelar Gafur Wadudu yang memerintah tahun 1632-1645 M.

Benteng Keraton Buton, terletak di Kelurahan Melai, Kecamatan Betoambari, Kota Bau-Bau, Sulawesi Tenggara. Benteng Keraton Buton merupakan benteng terluas. Panjang keliling benteng tersebut mencapai 2.740 m dengan tinggi rata-rata 4 m dan lebar 2 m, total luas benteng sekitar 22,8 ha. Material benteng terdiri atas susunan batu gunung bercampur kapur. Di tengah benteng terdapat Masjid Kuno Buton dan tiang bendera yang usianya seumur masjid. Masjid tersebut dibangun pada masa pemerintahan Sultan Buton III La Sangaji Sultan Kaimuddin atau dikenal dengan julukan 'Sangia Makengkuna' yang memegang takhta antara tahun 1591-1597.

Kondisi tiang bendera kuno saat ini, telah mengalami kerusakan dan pelapukan. Oleh karena itu, Balai Konservasi Borobudur bekerjasama dengan Balai Pelestarian Cagar Budaya Makasar berinisiatif melaksanakan kegiatan kajian konservasi benteng Bau-Bau yang lebih difokuskan pada tiang bendera di samping Masjid Kuno Buton.

Tujuan

Adapun tujuan dari kajian ini adalah:

1. Mengidentifikasi jenis kerusakan dan pelapukan yang terjadi pada tiang bendera di Masjid Kuno Buton yang berada di dalam Kompleks Benteng Keraton Buton;
2. Mengidentifikasi faktor dan penyebab kerusakan dan kerapuhan yang terjadi pada tiang bendera kuno di Masjid Kuno Buton yang berada dalam Kompleks Benteng Keraton Buton;
3. Merumuskan rencana penanganan konservasi tiang bendera pada Masjid Kuno Buton yang berada dalam Kompleks Benteng Keraton Buton.

Gambar 1. Dokumentasi 3D menggunakan foto drone yang diolah dengan *software* agisoft
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Landasan Teori

Pada dasarnya benda apa pun di dunia ini secara alami akan mengalami proses penuaan yang ditandai gejala kerusakan dan pelapukan serta proses tersebut berjalan sangat lambat. Namun, jika terdapat faktor-faktor yang memicu proses tersebut maka proses kerusakan dan pelapukan akan berjalan sangat cepat. Oleh karena itu mengapa benda cagar budaya perlu dikonservasi. Kerusakan (*damage*) digunakan untuk menggambarkan suatu struktur yang telah kehilangan sebagian atau semua kekuatannya, sebuah situasi yang menggambarkan kehancuran atau keruntuhan, yang ditandai oleh retak, hancur, remuk, lepasnya komponen-komponen, deformasi yang permanen dan kondisi ini disebabkan oleh aksi mekanik. Sedangkan pelapukan (*decay* atau *deterioration*) adalah perubahan material yang biasanya menuju pada berkurangnya ketahanan, meningkatnya kerapuhan, meningkatnya porositas, dan hilangnya material yang biasanya dimulai dari luar dan bekerja ke dalam material. Dan pelapukan utamanya disebabkan oleh aksi fisik, kimia dan biologi (Crocì, 1998: 41).

Tindakan konservasi dapat dilakukan melalui tindakan preventif dengan konservasi preventif (pencegahan) dan langkah kuratif dengan konservasi kuratif (penanggulangan atau perawatan). Berdasarkan sasaran yang diperlakukan maka konservasi benda cagar budaya dapat dibedakan menjadi dua yakni konservasi aktif dan konservasi pasif. Konservasi aktif yaitu segala tindakan konservasi yang dikenakan langsung ke bendanya. Konservasi pasif adalah tindakan konservasi yang tidak secara langsung dikenakan ke bendanya tetapi tindakan konservasi dilakukan dalam bentuk pengendalian lingkungan (Swastikawati, 2011: 1). Metode konservasi pada kayu meliputi pembersihan, perbaikan, konsolidasi dan pengawetan. Metode pembersihan dapat dilakukan dengan pembersihan kering maupun pembersihan menggunakan bahan kimia, dan pembersihan secara tradisional menggunakan campuran cengkeh, tembakau dan pelepah pisang. Perbaikan yang meliputi, pengeleman, pengisian lubang bekas serangga, penambalan, injeksi retakan, penyambungan dan penyelarasan warna (kamufase). Kegiatan berikutnya adalah konsolidasi yang bertujuan untuk memperkuat material kayu. Kegiatan yang terakhir adalah pengawetan yang bertujuan untuk memperpanjang umur cagar budaya meliputi aplikasi bahan insektisida dan aplikasi bahan pelapis untuk melindungi kayu dari cuaca.

Konservasi kayu bersejarah yang rapuh merupakan sebuah tindakan yang kompleks. Hal ini karena harus mempertahankan integritas fisik dan keaslian objek namun juga harus mempertimbangkan nilai estetika. Bahan konsolidan seharusnya tidak hanya meningkatkan kekuatan kayu secara mekanis yang cukup, namun kompatibel dengan semua bahan yang merupakan bagian dari objek kayu tersebut. Oleh karena itu penting untuk menentukan jenis bahan konsolidan, jenis pelarut, konsentrasi larutan dan

metode aplikasi yang sesuai. Persyaratan umum bahan konsolidan adalah reversibilitas, kompatibilitas dan *re-treatability*, aspek teknis spesifik yang lain berkaitan dengan fenomena kembang susut kayu, kedalaman penetrasi, keseragaman distribusi, tingkat retensi dan tingkat toksisitas. Bahan konsolidasi harus memberi kekuatan yang cukup pada objek yang harus dilestarikan. Sementara itu bahan konsolidasi juga harus memiliki dua sifat utama adhesi dan kohesi untuk akhirnya memberi benda tersebut kekuatan mekanik dan sifat fisiknya (Tuduce-Trăistaru, Câmpean, dan Timar; 2010).

METODE

Adapun metode yang digunakan dalam kajian ini adalah survei dan eksperimen. Metode survei dan eksperimen tersebut dilaksanakan dalam bentuk studi referensi, observasi lapangan dan analisis laboratorium dan eksperimen dilanjutkan pengolahan dan analisis data serta merumuskan rencana penanganan konservasi. Survei bertujuan mengidentifikasi kerusakan dan pelapukan yang terjadi pada tiang bendera, mengukur dimensi tiang bendera, mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kerusakan dan pelapukan tiang bendera serta melakukan inventarisasi kondisi lingkungan. Analisis laboratorium yang akan dilaksanakan meliputi analisis jenis kayu, analisis mikroorganisme perusak kayu. Eksperimen bertujuan untuk menentukan metode konservasi yang tepat terhadap tiang bendera. Data yang diperoleh dari hasil penelusuran dan survei akan dikompilasi dengan data hasil analisis laboratorium dan eksperimen. Selanjutnya semua data diolah dan dianalisis sehingga didapatkan kesimpulan. Berdasarkan hasil kesimpulan tersebut maka disusun rekomendasi penanganan konservasi.

HASIL PENELITIAN

Bentuk dan Dimensi Tiang Bendera

Komponen tiang bendera terdiri dari: elemen kayu dan elemen besi baja. Elemen kayu terdiri dari (1) tiang utama bagian bawah (T1), (2) tiang utama bagian atas (T2), (3) empat tiang penyangga (A, B, C dan D), (5) tangga (Ta) dan (6) papan bordes (Bor) dan penyangganya. Adapun komponen besi baja berupa klem pada bagian atas tiang bawah (T1), dan klem baja pada bagian bawah pada tiang atas (T2). Dimensi tiang bendera tertera pada **Tabel 1** di bawah ini.

Tabel 1. Dimensi Tiang Bendera Kesultanan Buton (Kasulana Tombi)

No.	Kode Tiang	Kode	Keliling	Diameter	Tinggi Tiang Vertikal	Panjang	Kedalaman
1	Tiang utama	Ti	210 cm	66,82 cm	1446 cm	1454,6 cm	167 cm
2	Tiang penyangga 1	A'	68 cm	21,64 cm	920 cm	945,4 cm	34 cm
3	Tiang penyangga 2	B	68 cm	21,64 cm	1023 cm	1083,6 cm	86 cm
4	Tiang penyangga 3	C	67 cm	21,32 cm	1007 cm	1083,5 cm	115 cm
5	Tiang penyangga 4	D	67 cm	21,32 cm	995 cm	1055,6 cm	51 cm
6	Tangga segi empat	Ta	84 cm	21,00 cm	901 cm	1159,5 cm	38 cm
7	Bordes tiang bendera	Bor	8,49 cm	-	-	300 cm	-
8	Tiang ujung bendera	Tu	37,71 cm	12,00 cm	936 cm	941,3 cm	-
Tinggi tiang bendera dari permukaan tanah (vertikal)			=	2096 cm			
				20,96 m			
Panjang tiang bendera dari permukaan tanah			=	2107,5 cm			
				21,075 m			
Derajat kemiringan			=	3 - 6	6 derajat		

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Jenis Kerusakan dan Pelapukan pada Tiang Bendera Kesultanan Buton

Hasil pengamatan terhadap tiang bendera dapat menggambarkan tingkat kerusakan dan pelapukan pada tiang bendera Kesultanan Buton, yang meliputi:

Akumulasi debu dan pertumbuhan organisme pada permukaan tiang

Hasil pengamatan menunjukkan seluruh permukaan tiang bendera yang berada di atas permukaan tanah dipenuhi dengan akumulasi debu, kotoran dan organisme. Akumulasi debu dan kotoran berasal dari kotoran burung dan serangga, debu yang terbawa angin serta kotoran yang berasal dari hasil pelapukan kayunya sendiri. Organisme yang teramati tumbuh pada permukaan kayu berupa lumut, *algae* dan *lichen*. Lumut dan *algae* tumbuh pada permukaan kayu karena adanya akumulasi debu dan tanah pada permukaan kayu yang menjadi sumber nutrisi untuknya. *Lichen* merupakan simbiosis mutualisme dari *algae* dan jamur. Jamur tumbuh pada permukaan kayu karena kayu merupakan sumber nutrisi bagi jamur. Jamur mampu menguraikan selulosa kayu menjadi glukosa yang menjadi sumber nutrisi utamanya. Keberadaan jamur menjadikan kondisi kayu semakin lembab. Kondisi ini akan menyebabkan *algae* tumbuh dan bersimbiosis dengan jamur.

Pada bagian bawah tiang utama dan tiang penyangga ditemukan noda berwarna hitam. Noda tersebut berupa lapisan semacam tar, yang kemungkinan dahulu sengaja diaplikasikan dengan tujuan untuk mengawetkan kayu. Agar kayu tersebut tidak diserang rayap tanah dari bagian bawah. Namun seiring berjalannya waktu tar tersebut mengelupas dan hanya tertinggal sisa-sisanya seperti terlihat pada **Gambar 2** di bawah ini.

Gambar 2. Permukaan kayu tiang utama yang penuh dengan akumulasi kotoran, debu, dan organisme (kiri) dan noda hitam berupa sisa lapisan tar (Sumber: Tim Kajian, 2017)

Pelapukan pada kayu tiang bendera

Dijumpai pula beberapa bagian kayu yang mengalami pelapukan. Pelapukan ditandai dengan komponen kayu yang sangat lunak (seperti spons), bahkan sangat mudah ditusuk dengan jarum. Bagian kayu yang sangat lapuk tersebut terdapat pada papan kayu bordes yang jatuh, permukaan tiang serta pada bagian bawah tiang utama yang lepas. Bagian kayu tersebut juga mengalami *powdering* dan berlubang karena serangan rayap seperti terlihat pada **Gambar 3** di bawah ini.

Gambar 3. Bagian papan bordes yang sangat lunak seperti spons (kiri), bagian kayu yang sangat rapuh yang mengalami *powdering* dan berlubang (kanan) (Sumber: Tim Kajian, 2017)

Pengikisan pada permukaan kayu tiang bendera

Hampir seluruh permukaan kayu tiang utama dan tiang penyangga dijumpai adanya pengikisan atau keausan. Pengikisan pada permukaan kayu terjadi akibat paparan sinar ultraviolet matahari pada siang hari dan reaksi hidrolisis karena adanya air, baik air hujan maupun embun.

Sinar ultraviolet dan air akan menyebabkan selulosa kayu mengalami proses depolimerisasi. Depolimerisasi menyebabkan rantai panjang selulosa pada serat terpotong-potong menjadi pendek. Selulosa yang terpotong-potong pendek tersebut pada akhirnya akan terlepas, yang menyebabkan serat pada bagian dalam terbuka dan terpapar sinar matahari dan air. Kondisi ini mengakibatkan selulosa pada serat di bawahnya tersebut akan mengalami proses depolimerisasi selanjutnya. Reaksi ini berlangsung terus-menerus yang lama kelamaan permukaan kayu terkikis, terlepas sehingga membentuk permukaan kayu yang aus seperti pada **Gambar 4**.

Gambar 4. Permukaan kayu yang terkikis atau aus
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Retak mikro dan makro pada tiang bendera

Berdasar hasil pengamatan terdapat retakan mikro dan makro pada seluruh tiang baik tiang utama dan tiang penyangga, dengan panjang dan volume yang berbeda-beda. Bahkan pada tiang penyangga C telah pecah, hampir membelah tiang menjadi 2 bagian seperti pada **Gambar 5**. Perubahan suhu dan kelembaban yang fluktuatif menyebabkan kayu mengalami proses kembang susut yang cepat, proses kembang susut yang cepat menyebabkan retak mikro. Retak mikro yang dipicu kembali oleh kondisi lingkungan ekstrem yang terus menerus akan menyebabkan retak makro. Retak makro yang kembali dipicu oleh lingkungan yang ekstrem maka kayu akan pecah.

Hasil pengamatan volume retakan mikro sebesar 2687,63 cm³, sedangkan volume retakan makro sebesar 67682,96 cm³, yang secara rinci dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Gambar 5. Retak mikro, retak makro, dan pecah
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Tabel 2. Volume Retakan Makro dan Mikro

Komponen Kayu	Tinggi tiang	Retak Mikro		Retak Makro	
		Rata Rata (cm ³ /1 tinggi 1m)	Perkiraan Total (cm ³)	Rata Rata (cm ³ /tinggi 1 m)	Perkiraan Total (cm ³)
Tiang Utama	23,82	7,45	177,46	300,66	7161,66
Tangga	9,2	4,59	42,18	3135,34	28845,13
Tiang A	10,23	42,61	435,90	1644,7350	16825,64
Tiang B	10,07	127,24	1281,31	240,67	2423,50
Tiang C	9,95	14,88	148,10	532,93	5302,60
Tiang D	9,01	66,89	602,68	790,73	7124,43
Jumlah total			2687,63	6645,05	67682,96
dalam (m³)			0.00268763		0.06768296

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Lubang pada permukaan dan rongga pada bagian dalam struktur tiang

Dalam kegiatan survei dijumpai adanya lubang pada permukaan tiang dan rongga pada bagian dalam tiang. Lubang-lubang pada permukaan terindikasi terjadi tepat pada potongan cabang atau ranting pada batang utama. Potongan cabang ini yang memicu terjadinya *brittle heart*. Ketika ranting atau cabang dipotong dari bagian batang utama maka bagian empulur kayu cabang akan terbuka. Empulur adalah bagian tengah dari kayu keras yang paling lunak sehingga bagian ini merupakan bagian kayu yang mudah lapuk dan hilang sehingga membentuk lubang. Ketika kayu dijadikan struktur bangunan lubang empulur kayu cabang menjadi jalan masuknya air ke dalam bagian empulur kayu batang utama, sehingga bagian empulur batang utama ini menjadi lapuk dan larut terbawa air. Proses ini menyebabkan bagian tengah batang utama menjadi berongga. Rongga tersebut lama-lama akan menjadi semakin besar seiring semakin banyaknya air yang masuk ke dalam kayu, karena air yang masuk menyebabkan reaksi hidrolisis yang melapukkan bagian dalam kayu. Tipe pelapukan seperti ini umum terjadi pada kayu keras yang memiliki empulur, seperti kayu jati, medang, dan sebagainya.

Dalam kegiatan ini terdeteksi tiang utama, tangga, tiang penyangga C dan D memiliki rongga pada bagian dalam dengan panjang yang berbeda-beda seperti disajikan dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Panjang / Kedalaman Rongga

Kode	Panjang/kedalaman rongga (m)
Tiang C	3,00
Tiang D	2,06
Tangga	1,45
Tiang Utama	5,05

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Komponen kayu yang lepas dan hilang

Berdasarkan hasil pengamatan dan sumber-sumber lain diketahui beberapa komponen kayu tiang bendera telah hilang. Bagian-bagian tersebut antara lain tiang utama, pagar dan papan bordes. Bagian tiang utama yang hilang adalah bagian bawah tepat di atas permukaan tanah, dengan tinggi sekitar 1,5 meter dari atas permukaan tanah, yang membentuk seperti papan. Bagian yang lepas tersebut disimpan oleh juru pelihara. Bagian bawah papan tersebut telah mengalami pelapukan tingkat lanjut. Dalam kegiatan survei, tim kajian mencoba merekonstruksi seperti **Gambar 6**.

Hasil penelusuran dokumentasi foto tahun 1938 menunjukkan pada bagian atas tiang bendera terdapat bordes yang dilengkapi dengan pagar bordes. Namun kondisi tiang bendera saat ini menunjukkan bahwa bagian-bagian tersebut telah hilang, kerangka bordes hanya tertinggal 2 batang kayu. Begitu pula pada ujung tiang bendera (ujung tiang) menunjukkan dimensi yang lebih kecil dari kondisi yang ada sekarang. Hal ini menunjukkan bahwa tiang bagian atas telah mengalami proses pengantian seperti yang terlihat pada **Gambar 7**.

Gambar 6. Bagian tiang utama yang lepas
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Gambar 7. Foto kondisi tiang bendera tahun 1938 terlihat atas masih utuh (kiri), kondisi bagian atas tiang saat ini yang sudah utuh
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Kondisi Lingkungan di Sekitar Tiang Bendera

Lokasi tiang bendera kesultanan Buton berada di dalam Benteng Keraton Buton. Saat ini lingkungan benteng keraton Buton merupakan permukiman penduduk yang padat. Namun lokasi dimana tiang bendera berdiri merupakan lingkungan terbuka, sehingga paparan sinar matahari dan angin tidak ada penghalang. Tanah dasar lokasi dimana tiang bendera berdiri berupa batu karang. Di antara tiang bendera dan batu karang terdapat tanah lunak berwarna coklat kehitaman yang sangat lembab.

Dalam kegiatan kajian ini dilakukan pengamatan terhadap suhu dan kelembaban udara di sekitar tiang bendera menggunakan alat datalogger. Dalam kegiatan ini *datalogger* diset 30 menit sekali, artinya *datalogger* akan mencatat dan merekam data suhu dan kelembapan udara setiap 30 menit sekali. Dari hasil pencatatan dan perekaman *datalogger* selama 5 hari diperoleh data suhu dan kelembaban udara seperti **Tabel 4** di bawah ini.

Berdasarkan grafik tersebut maka diketahui kecenderungan perubahan suhu yang sangat tegas. Jika suhu udara tinggi maka kelembaban udara rendah. Dan sebaliknya jika suhu rendah maka kelembaban udara tinggi. Kondisi ini menunjukkan kecenderungan perubahan kelembaban udara yang cepat mengikuti perubahan suhu. Perbedaan suhu maksimum dan minimum sekitar 10,7°C dan kelembaban udara 35,5%. Kondisi lingkungan seperti ini dapat menyebabkan kayu mengambang dan menyusut dengan cepat. Data dalam tabel tersebut juga menunjukkan kayu dapat kehilangan air sampai kadar air 0%.

Tabel 4. Kondisi Lingkungan di Sekitar Tiang Bendera

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Kandungan Air pada Kayu Tiang Bendera

Salah satu parameter yang menentukan ketahanan kayu terhadap pelapukan adalah kandungan air kayu. Oleh karena itu saat pengambilan data di lapangan tim kajian melakukan pengumpulan data kandungan air kayu pada kayu tiang utama (TU), tangga (Ta) dan pada keempat kayu penopang/penyangga (A, B, C dan D). Titik lokasi pengukuran pada 10 cm, 30 cm, 50 cm, 100 cm dan 200 cm dari permukaan tanah. Data yang diperoleh tersebut kemudian diolah dalam bentuk grafik seperti yang disajikan dalam Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Fluktuasi Kandungan Air Kayu (%)

Keterangan:

- TU : tiang utama
- T : tangga
- A : tiang penyangga A
- B : tiang penyangga B
- C : tiang penyangga C
- D : tiang penyangga D

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Kondisi lingkungan saat pengukuran pada jam 07.00 suhu udara 27°C dan kelembaban udara 89,2% dan pada jam 14.00 suhu udara 33,4°C dan kelembaban udara 60%. Data menunjukkan kandungan air kayu menurun jika kelembaban udara turun dan

suhu udara naik. Sebaliknya kandungan air kayu meningkat jika kelembaban udara meningkat dan suhu udara turun. Hal ini menunjukkan kandungan air kayu telah mengikuti kelembaban udara sekitar. Artinya kayu telah menyesuaikan dengan kondisi lingkungan sekitarnya. Namun kondisi suhu udara yang panas dan kelembaban udara yang sangat rendah dapat menyebabkan kandungan air kayu mencapai 0%. Hal ini tentu mengancam keawetan kayu.

Jika kayu dengan kadar air maksimum berkurang, maka pengurangan air pertama akan terjadi pada air bebas dalam rongga sel sampai mencapai titik jenuh serat. Pengurangan air selanjutnya di bawah titik jenuh serat, akan menyebabkan dinding sel kayu itu menyusut atau mengkerut. Dalam kondisi ini dikatakan kayu itu mengalami penyusutan atau pengkerutan. Kondisi lingkungan yang sangat fluktuatif dengan perbedaan terendah dan tertinggi suhu udara 10,7°C dan kelembaban udara 35,5% serta kandungan air kayu dapat mencapai 0%, maka akan beresiko menyebabkan kayu mengalami kembang susut yang cepat dan besar. Kembang susut kayu yang terlalu besar dan cepat akan menyebabkan kayu mengalami retak mikro

Kondisi lingkungan yang fluktuatif terus menerus akan menyebabkan kayu yang mengalami retak mikro berubah menjadi retak makro, yang pada akhirnya kayu akan pecah. Kondisi ini yang menyebabkan kayu tiang utama bendera, tangga berserta tiang penyangganya banyak mengalami retak mikro dan makro. Bahkan 3 tiang penyangga dan tangga menunjukkan indikasi kayu-kayu tersebut telah pecah.

Jenis Kayu Penyusun Tiang Bendera

Dalam kajian ini dilaksanakan analisis mikroskopis terhadap struktur kayu untuk menentukan jenis kayu pada komponen tiang bendera Kesultanan Buton. Analisis dilakukan di Laboratorium Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada. Sampel kayu yang dianalisis berasal dari sampel tiang utama, tiang penyangga dan papan bordes, hasil analisis sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Analisis Mikroskopis Jenis Kayu

No.	Gambar Sampel	Gambar Mikroskopis Analisis Struktur Kayu
1	Sampel 1: Tiang Utama Masjid Buton	Kayu Jati (<i>Tectona grandis</i> L.f.)
2	Sampel 2: Tiang Utama Masjid Buton	Kayu Jati (<i>Tectona grandis</i> L.f.)
3	Sampel 3: Tiang Penyangga A	Kayu Jati (<i>Tectona grandis</i> L.f.)
4	Sampel 4: Papan Bordes Masjid Buton	Kayu Jati (<i>Tectona grandis</i> L.f.)

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Berdasarkan hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa jenis kayu tiang utama, tiang penyangga A dan papan bordes adalah kayu jati (*Tectona grandis L.F.*). Namun dalam kajian ini tidak semua komponen kayu tiang B, C, D dan tangga dilakukan analisis jenis kayu.

Berat Jenis Kayu (BJ) Tiang Bendera

Berat jenis kayu merupakan petunjuk penting terhadap berbagai sifat fisik kayu. Semakin tinggi angka BJ-nya, umumnya semakin kuat kayunya, semakin ringan suatu jenis kayu akan berkurang pula kekuatannya (Dumanauw, 1999: 22). Sehingga berat jenis kayu sebanding dengan kekuatan kayu. Oleh karena itu dalam kajian ini dilaksanakan analisis berat jenis kayu sebagai parameter penting untuk menentukan kekuatan setiap komponen kayu pada tiang bendera.

Berat jenis kayu ditetapkan sebagai perbandingan antara berat kering tanur dan volume kayu pada kadar air tertentu. Berat jenis kayu antara lain ditentukan oleh tebal dinding sel serta besar kecilnya rongga sel yang membentuk pori-pori (Nurlina, 2006: 9). Seperti telah dijelaskan di atas bahwa kekuatan kayu sebanding dengan berat jenis kayu. Hasil pengukuran berat jenis setiap komponen kayu pada tiang bendera di laboratorium ditunjukkan pada **Tabel 7** di bawah ini:

Tabel 7. Data Berat Jenis Kayu pada Tiang Bendera

No	Kode Sampel	Berat Kering (kg)	Volume (m ³)	Berat Jenis	
				g/cm ³	kg/m ³
1	A1	6,20 x 10 ⁻³	1,82x 10 ⁻⁵	0,341	340,65
2	A2	4,99 x 10 ⁻⁴	1,71x 10 ⁻⁶	0,292	291,81
3	TU 1	3,66 x 10 ⁻³	9,11 x 10 ⁻⁶	0,402	401,75
4	TU 2	5,56 x 10 ⁻³	1,82 x 10 ⁻⁵	0,306	305,50
5	TU 3	7,45 x 10 ⁻⁴	2,28 x 10 ⁻⁶	0,373	372,50
6	Bordes 1	1,16 x 10 ⁻²	2,85 x 10 ⁻⁵	0,415	414,54
7	Bordes 2	6,28 x 10 ⁻⁴	3,42 x 10 ⁻⁶	0,184	183,66
8	Bordes 3	1,40 x 10 ⁻³	1,25 x 10 ⁻⁵	0,112	112,00

Keterangan :

A : tiang penyangga

TU : tiang utama

Bordes : papan bordes, sampel

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Jika semua komponen kayu tiang bendera adalah kayu jati maka berdasarkan hasil penelusuran referensi kayu jati termasuk kelas kuat I sampai II, dengan berat jenis lebih dari 0,90 atau antara 0,90–0,60. Dengan melihat data hasil pengukuran berat jenis komponen kayu pada tiang bendera (**Tabel 7**) maka data tersebut menunjukkan bahwa semua komponen kayu pada tiang bendera telah mengalami penurunan berat jenis. Hal ini berarti kayu-kayu tersebut telah terindikasi mengalami penurunan kelas kuat. Dimana kelas kuat kayu telah turun dari kelas I–II menjadi kelas III, IV bahkan sampai kelas V. Data ini

mengindikasikan bahwa material kayu telah mengalami penurunan kualitas dan kekuatan yang signifikan. Data ini sekaligus membuktikan bahwa kayu-kayu tersebut telah mengalami pelapukan tingkat lanjut.

Pada satu potongan kayu dapat memiliki berat jenis yang berbeda-beda seperti pada sampel kayu bordes dan tiang utama. Hal ini karena proses pelapukan yang terjadi pada material kayu tidak sama atau seragam pada setiap bagian. Terdapat material yang masih agak keras namun ada pula material kayu yang sudah sangat lunak seperti misalnya papan bordes. Papan bordes tersebut telah lepas dan terjatuh, saat ini papan tersebut disimpan oleh juru pelihara. Berdasarkan hasil pengamatan visual menunjukkan kayu tersebut sudah sangat lapuk dimana dimensi kayu sudah tidak utuh, kondisi keropos, berongga dan lapuk serta ditemukan serbuk kayu. Pada papan bordes dijumpai bagian kayu yang sudah sangat lapuk seperti spons dan bagian tersebut sangat mudah ditusuk dengan jarum. Namun ada bagian yang agak keras sehingga tidak dapat ditusuk dengan jarum. Bagian kayu yang sangat lapuk seperti spons akhirnya akan terurai menjadi bubuk. Bubuk kayu tersebut akhirnya akan terurai menjadi partikel yang lebih kecil, kemudian terurai menjadi unsur tanah dan hilang terbawa air atau angin sehingga membentuk ruang atau celah kosong. Pola pelapukan semacam ini merupakan pola pelapukan yang identik disebabkan oleh faktor cuaca akibat panas, hujan, paparan sinar matahari langsung. Air hujan pada bagian luar kayu dengan cepat menguap akibat paparan sinar matahari, sehingga bagian luar terlihat utuh. Sekalipun terjadi retakan retakan mikro yang akhirnya menjadi retak makro. Namun bagian dalam kayu yang mampu menyimpan air lebih banyak dan lama, maka material kayu akan terhidrolisis sehingga rantai panjang selulosa di dalamnya akan terpotong-potong. Dipengaruhi juga oleh pertumbuhan jamur, kondisi ini secara visual dapat dilihat dimana serat kayu terpotong-potong, rongga kayu semakin lebar dan akhirnya serat kayu menjadi bubuk. Pola pelapukan ini pada arah longitudinal atau searah serat dan arah transversal atau memotong serat terlihat seperti kayu sampel pada **Gambar 8**.

Gambar 8. Pola pelapukan arah longitudinal (kiri), pola pelapukan arah transversal
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Hasil Eksperimen Konsolidasi Kayu

Hasil analisis berat jenis kayu menunjukkan bahwa hampir keseluruhan komponen kayu telah mengalami penurunan berat jenis, yang mengindikasikan bahwa kayu-kayu tersebut telah mengalami penurunan kekuatannya. Untuk mengembalikan kekuatan material kayu maka diperlukan tindakan konservasi berupa konsolidasi material kayu. Oleh karena itu dalam kajian ini dilakukan eksperimen konsolidasi material kayu. Eksperimen tindakan konsolidasi kayu bertujuan untuk menentukan jenis bahan konsolidan dan konsentrasi terbaik. Di samping itu eksperimen ini juga bertujuan untuk menentukan metode aplikasi. Dasar eksperimen konsolidasi mengacu pada referensi Traistaru, Timar dan Campean tahun 2011, dengan menghitung persentase penambahan berat (WPG).

Kegiatan eksperimen dilaksanakan secara bertahap sebagai berikut:

Konsolidasi kayu menggunakan paraloid b 72 pada sampel berukuran kecil

Paraloid merupakan bahan umum digunakan dalam konsolidasi kayu, paraloid larut dalam pelarut semipolar seperti aseton, etil asetat. Namun paraloid tidak larut dalam pelarut yang bersifat polar seperti air dan alkohol. Kayu mudah menyerap bahan yang bersifat polar karakteristiknya yang higroskopis. Oleh karena itu dalam kajian ini digunakan campuran aseton dan alkohol sebagai pelarut paraloid. Dengan cara melarutkan paraloid dengan aseton, setelah paraloid benar-benar larut baru ditambahkan alkohol sedikit demi sedikit. Perlakuan dalam percobaan ini meliputi:

1. Sampel yang digunakan kayu keras: kode A, B dan C;
2. Kayu direndam dalam larutan paraloid: 2,5%; 5%; dan 10%;
3. Waktu perendaman: 1 jam, 6 jam dan 24 jam.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pada kayu jenis A, B, dan C terdapat kenaikan (berat) semakin tinggi konsentrasi dan lamanya waktu perendaman maka berat jenis kayu semakin meningkat. Peningkatan berat kayu paling tinggi pada konsentrasi 10% dengan waktu perendaman 24 jam. Diantara kayu A, B dan C maka kayu B mengalami persentase peningkatan berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain. Hal ini karena kayu B mengalami kerapuhan pada bagian luar maupun dalam sehingga daya serap kayu terhadap bahan konsolidan lebih tinggi. Kesimpulan secara umum dalam eksperimen ini adalah semakin tinggi konsentrasi dan lama waktu perendaman maka semakin tinggi persentase kenaikan berat jenis kayu.

Tabel 8. Hasil Eksperimen Konsolidasi Kayu

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Konsolidasi kayu menggunakan paraloid b 72 untuk menentukan metode aplikasi terbaik

Berdasarkan hasil percobaan di atas terdapat kenaikan berat pada material kayu yang dikonsolidasi dengan paraloid 2,5%; 5% dan 10% yang sebanding dengan peningkatan kekerasan kayu. Perlakuan terbaik pada kayu B dengan konsentrasi 10% dan waktu perendaman 24 jam hal ini karena paraloid dapat melapisi dinding sel dan sedikit mengisi rongga sel kayu. Namun semakin tinggi konsentrasi akan semakin sulit dalam mencampur paraloid dan pelarut sehingga kemungkinan akan terjadi kesulitan saat aplikasi di lapangan. Maka percobaan berikutnya menggunakan larutan paraloid dengan konsentrasi 3% dan 5%.

Metode aplikasi dilakukan dengan cara infus dan pengolesan bahan konsolidan pada kayu yang sangat rapuh. Dalam percobaan ini digunakan jenis kayu bengkirai yang sangat lapuk pada bagian dalam dengan ukuran kurang lebih 30x12x12 cm³.

Hasil eksperimen menunjukkan pertambahan berat kayu dengan cara infus lebih tinggi dari pada dengan cara pengolesan. Konsentrasi paraloid 5% menyebabkan peningkatan berat lebih tinggi dibandingkan konsentrasi 3%. Namun peningkatan berat semua perlakuan masih di bawah 10%, sehingga peningkatan berat tersebut belum mampu secara signifikan meningkatkan kekuatan kayu. Hal ini dibuktikan dengan kondisi kayu yang masih lunak, hasil secara lengkap tertera pada **Tabel 9**. Dengan hasil tersebut maka penelitian dilanjutkan dengan menggunakan bahan lain yakni epoksi resin.

Tabel 10. Eksperimen untuk Menentukan Aplikasi Paraloid

Kode Sampel	Perlakuan		berat sebelum perlakuan (gr)	berat setelah perlakuan (gr)	pertambahan berat (%)
	Metode Aplikasi	Konsentrasi			
A	Infus/Infuse	3%	3850,7	3967,9	6,5
B	Infus/Infuse	5%	3176,5	3276,7	8,7
C	Pengolesan	5%	3473,8	3488,4	1,1

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Uji laboratorium menunjukkan bahwa paraloid dapat meningkatkan berat jenis material kayu/kekerasan kayu. Namun uji lapangan dengan cara infus dan pengolesan menunjukkan paraloid belum dapat meningkatkan kekuatan struktur kayu yang besar. Disamping itu, paraloid pada konsentrasi lebih dari 5% menimbulkan endapan putih. Oleh karena itu penelitian dilanjutkan dengan menggunakan bahan konsolidan jenis yang lain yakni campuran epoksi resin dan aseton.

Epoksi resin terdiri dari *hardener* dan resin yang bila keduanya dicampur akan menjadi cairan yang memiliki viskositas tinggi (sangat kental). Viskositas yang tinggi tersebut akan menyebabkan epoksi sulit masuk ke dalam material kayu, melalui pori kayu. Oleh karena itu dalam eksperimen ini epoksi resin diturunkan viskositasnya dengan menambahkan aseton. Penambahan aseton dalam kegiatan ini dilaksanakan dalam beberapa tahap eksperimen:

1. Eksperimen untuk menentukan perbandingan epoksi resin dan aseton;
2. Eksperimen untuk menentukan metode aplikasi;
3. Eksperimen untuk menentukan pengaruh konsolidasi dengan campuran epoksi resin dan *hardener* terhadap kekuatan kayu.

Eksperimen pertama dilaksanakan dengan menggunakan 2 jenis sampel kayu yang rapuh. Sampel kayu A rapuh pada bagian luar dan dalam, sementara itu sampel kayu B rapuh pada bagian luar saja. Perlakuan meliputi campuran epoksi resin 1 dan 2. Perlakuan 1 merupakan campuran epoksi resin dan aseton 1:4. Perlakuan 2 merupakan campuran epoksi resin dan aseton 1:3. Metode aplikasi dengan cara perendaman.

Tabel 11. Prosentase Kenaikan Berat Kayu Setelah Dikonsolidasi dengan Epoksi Resin

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Berdasarkan **Tabel 11**, dapat terlihat bahwa perlakuan konsolidasi dengan bahan campuran epoksi resin dan aseton dengan perbandingan 1:4 dan 1:3 mampu meningkatkan persentase berat kayu. Hasil terbaik pada A2 yang dikonsolidasi dengan larutan campuran epoksi resin dan aseton 1:3. Dengan prosentase kenaikan berat pada kayu A sebesar 86%. Sekalipun hasil eksperimen menunjukkan adanya peningkatan berat kayu yang sebanding dengan peningkatan kekuatan kayu, namun perlakuan tersebut ternyata menimbulkan perubahan warna kayu menjadi lebih gelap dan mengkilap seperti terlihat pada **Gambar 10**.

Gambar 4.18 Sampel Kayu A1, A2, B1 dan B2

Gambar 10. Sampel Kayu A1, A2, B1, dan B2, dengan keterangan sebagai berikut:

- A : Sampel kayu yang rapuh bagian luar dan dalam
- B : Sampel kayu yang rapuh bagian luar saja
- 1 : dilakukan dengan campuran epoksi resin 1:4
- 2 : dilakukan dengan campuran epoksi resin 1:3

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Konsolidasi kayu menggunakan campuran epoksi resin dan aseton untuk menentukan metode aplikasi terbaik

Eksperimen selanjutnya dilaksanakan untuk menentukan metode aplikasi terbaik untuk konsolidasi kayu yang rapuh. Kemungkinan aplikasi bahan konsolidan di lapangan adalah menggunakan metode pengolesan dan injeksi. Oleh karena itu, dalam eksperimen ini dilakukan konsolidasi pada 2 jenis kayu yang rapuh menggunakan metode pengolesan dan injeksi dengan perbandingan epoksi dan aseton 1:3. Hasil eksperimen ditampilkan dalam **Tabel 12**.

Tabel 12. Eksperimen Menentukan Metode Aplikasi Campuran Epoksi dan Aseton

Kode Sampel	Perlakuan		berat sebelum perlakuan (gr)	berat setelah perlakuan (gr)	persentase berat (%)
	Metode Aplikasi	Konsentrasi			
A ₀	Dioles	1 : 3	83,8	86,3	11,6
A ₂	Dioles	1 : 3	95,7	104,8	24,2
B ₁	Dioles	1 : 3	125,0	139,7	12,2
B ₂	Dioles	1 : 3	122,5	129,0	5,3

keterangan:

- A : Sampel kayu yang rapuh bagian luar dan dalam
- B : Sampel kayu yang rapuh bagian luar saja

- 1 : pelakuan dengan aplikasi bahan konsolidan dengan cara dioles
 - 2 : pelakuan dengan aplikasi bahan konsolidan dengan cara diinjeksi
- (Sumber: Tim Kajian, 2017)

Hasil eksperimen menunjukkan metode aplikasi campuran epoksi resin dan aseton dengan cara diinjeksi mampu meningkatkan berat kayu A dan B lebih besar dibandingkan dengan metode oles. Peningkatan berat pada kayu (A) yang sangat rapuh lebih tinggi dari pada kayu (B) yang hanya rapuh bagian luar saja. Hasil secara signifikan dapat dilihat pada **Gambar 11**.

Hasil tersebut didukung oleh hasil foto penampang melintang setelah perlakuan sampel dipotong menunjukkan penetrasi pada sampel kayu A lebih dalam dibandingkan kayu B, dan perlakuan dengan cara injeksi (2) penetrasi lebih dalam dibandingkan perlakuan dengan cara dioles (1). Berdasarkan hasil tersebut maka dalam penanganan nanti diusahakan untuk melaksanakan konsolidasi kayu yang rapuh dengan cara injeksi. Namun untuk bagian tiang bendera yang tidak memungkinkan untuk diinjeksi dapat dilakukan dengan cara dioles terutama untuk bagian luar.

Gambar 11. Penampang melintang setelah perlakuan sampel dipotong, dari kiri atas searah jarum jam: A1, A2, B2, dan B1
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Gambar 12. Sampel sebelum (kiri) dan setelah (kanan) perlakuan
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Selanjutnya dilakukan eksperimen kembali untuk mencari perbandingan terbaik. Jika dalam eksperimen pertama perbandingan epoksi resin dan aseton 1:3 telah memberikan hasil terbaik. Namun hal ini perlu untuk diuji kembali dengan berbagai variasi perbandingan dengan ditambah parameter analisis kuat tekan. Dalam eksperimen ini menggunakan perbandingan A (1:1); (B) 1:2 dan (C) 1:3 serta ditambah kontrol sebagai pembanding dari semua perlakuan dengan ulangan 4 kali. Epoksi yang digunakan Sikadur 5.2id yang memiliki viskositas yang rendah. Perlakuan dilaksanakan dengan cara perendaman selama 6 jam. **Gambar 12** menunjukkan kondisi sampel sebelum dan setelah perlakuan. Metode aplikasi dengan perendaman selama 6 jam, menunjukkan bahwa perlakuan A dengan perbandingan epoksi dan aseton 1:1 menunjukkan peningkatan berat tertinggi namun hasil ini belum diikuti dengan analisis yang kuat tekan seperti terlihat pada **Gambar 13**.

Gambar 13. Eksperimen konsolidasi kayu
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan pada 2 ulangan dari setiap sampel perlakuan, karena 2 sampel yang lain akan dilanjutkan dengan uji *aging test*. Hasil analisis kuat tekan menggunakan alat UTM (*universal testing machine*) disajikan dalam **Gambar 14**.

Gambar 14. Hasil uji kuat tekan setelah *aging test*
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Hasil eksperimen menunjukkan kayu yang dikonsolidasi dengan campuran epoksi resin dan aseton memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan kayu kontrol. Kayu dengan perlakuan konsolidasi epoksi B (1:2) memiliki kuat tekan paling tinggi.

Selanjutnya dilakukan *aging test* pada 2 sampel yang tersisa dari setiap ulangan dengan perlakuan perendaman, pengeringan alami, dan pengeringan oven 70°C sebanyak 10 siklus. Hasil pengujian kuat tekan setelah *aging test*, menunjukkan bahwa terjadi penurunan kekuatan pada sampel kontrol. Namun belum terjadi penurunan kuat tekan pada sampel yang dikonsolidasi.

Hasil Eksperimen Pembersihan Kayu Menggunakan Air Rendaman Campuran Tembakau, Pelepah Pisang dan Cengkeh

Dalam kajian ini dilaksanakan eksperimen lapangan pembersihan permukaan kayu pada bagian bawah tiang penyangga D. Kegiatan dilakukan dengan cara membersihkan permukaan kayu menggunakan air rendaman campuran tembakau, cengkeh dan pelepah pisang, yang digosokkan dengan kain halus. Adapun komposisi air rendaman tersebut adalah 100 g tembakau, 100 g pelepah pisang dan 25 g cengkeh yang direndam dalam 1 liter air selama 24 jam.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kayu menjadi bersih dan warnanya kembali ke warna kayu jati, setelah dibersihkan dengan air rendaman campuran tembakau, cengkeh dan pelepah pisang. Kayu dengan luas 1 m² membutuhkan air rendaman campuran cengkeh, tembakau dan pelepah pisang sebanyak 6 l dan tenaga sebanyak 3 orang serta waktu selama 6 jam.

Gambar 4.24. Permukaan kayu sebelum dibersihkan (kiri), permukaan kayu setelah dibersihkan (kanan)

Gambar 15. Permukaan kayu sebelum dibersihkan (kiri) dan setelah dibersihkan (kanan)
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Hasil Eksperimen Penambalan Kayu

Berdasarkan hasil pengamatan diketahui bahwa pada kayu tiang utama maupun tiang penyangga terdapat lubang dan celah akibat retakan. Oleh karena itu diperlukan tindakan penambalan. Sehingga dalam kegiatan ini dilakukan eksperimen penambalan menggunakan campuran bubuk kayu dan epoksi resin serta campuran epoksi resin dan tanin. Masing-masing perlakuan dengan perbandingan 1:3.

Hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa penambalan kayu menggunakan campuran epoksi resin Sikadur 52 id dan bubuk kayu hasilnya lebih bagus dibandingkan dengan campuran epoksi resin Sikadur 52 id dan tanin. Hal ini didasarkan pada: (1) keselarasan warna, (2) kekerasan/kekuatan hasil tambalan dan waktu pengeringan yang lebih cepat.

Gambar 16. Kondisi kayu sebelum ditambal (kiri), setelah ditambal (tengah) dan uji kekuatan bahan tambalan dengan ditusuk menggunakan jarum pentul (kanan)
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Hasil Eksperimen Injeksi Retakan

Berdasarkan hasil pengamatan pada komponen tiang bendera kesultanan buton terdapat celah retakan mikro maupun makro. Untuk mencegah kerusakan lebih lanjut maka diperlukan tindakan injeksi menggunakan bahan tertentu. Dalam eksperimen kali ini digunakan bahan epoksi resin sikadur 5.2 id dan sikadur 3,1 cf. Sikadur 5.2 id merupakan epoksi dengan viskositas rendah sedangkan sikadur 3.1 cp merupakan epoksi dengan viskositas tinggi.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa injeksi menggunakan sikadur 5.2 id ternyata tidak berhasil menutup celah karena viskositasnya terlalu rendah maka larutan epoksi justru terserap oleh kayu pada sekeliling lubang retakan mikro. Sedangkan sikadur 3.1 cf berhasil menutup lubang celah. Namun hasil eksperimen sementara ini masih harus dilanjutkan dengan eksperimen berikutnya menggunakan berbagai bahan lain yang banyak ditemukan di daerah Bau-Bau.

Hasil Eksperimen Pengisian Rongga pada Tiang

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada tiang utama maupun beberapa tiang penyangga terdapat rongga pada bagian dalam struktur tiang. Jika tiang bendera ini akan tetap dipertahankan secara struktural maka perlu dilakukan tindakan konservasi untuk memberikan kekuatan. Ada beberapa alternatif tindakan konservasi yang pernah dilakukan untuk permasalahan semacam ini.

Metode I: Pengisian rongga dengan potongan kayu

Metode pengisian rongga dengan potongan kayu yang sejenis secara umum banyak dilakukan untuk memperkuat struktur tiang pada cagar budaya di Indonesia. Salah satunya pada kasus salah satu tiang sokorowo di Masjid Pondok Tinggi. Metode yang dilakukan adalah kayu yang berongga pada bagian samping dibuat lubang memanjang ke bawah. Kemudian rongga kayu diisi dengan potongan kayu jati/tatal yang diantara tatal kayu diisi dengan epoksi seperti pada **Gambar 17**.

Gambar 17. Tiang Sokorowo di Masjid Pondok Tinggi Jambi yang diisi dengan Potongan Kayu
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Metode II: Pengisian rongga dengan beton kasus Masjid Pondok Tinggi

Metode kedua adalah pengisian rongga menggunakan beton bertulang. Metode ini pernah dilaksanakan pada salah satu tiang sokoguru pada Masjid Pondok Tinggi di Kerinci. Metode ini dilakukan dengan cara dibuat lubang memanjang dari bawah ke atas sepanjang rongga. Dipasang besi baja sebagai kerangka kemudian rongga dalam kayu diisi dengan beton (campuran semen krakal dan pasir). Selanjutnya potongan kayu kayu dipasang kembali seperti pada **Gambar 18**.

Gambar 18. Gambar teknis sokoguru Masjid Pondok Tinggi (kiri) dan kondisi tiang sokoguru saat proses pembetonan
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Metode III: Sistem Beta El Paldro pada Royal Palace, Madrid Spanyol

Sistem Beta El Paldro pada Royal Palace, Madrid Spanyol merupakan metode pengisian rongga tiang kayu dengan kerangka *fiberglass* dan *grout* epoksi resin. Metode dilaksanakan: (A) Penghilangan bagian kayu yang lapuk /busuk, (B) pembuatan lubang dan pemasangan kerangka penguat dari *fiberglass* yang dibalut polietilen, (C) membentuk dan mengisi dengan *grout* epoksi resin dan (D) tampilan akhir bagian yang sudah diperbaiki.

Berdasarkan referensi dari ketiga metode tersebut maka kajian ini mencoba untuk meneliti metode yang ketiga yakni Sistem Beta El Paldro dengan cara mengisi rongga pada tiang menggunakan kerangka *fiberglass* dan bahan *grouting* campuran epoksi resin dan bubukan kayu. Adapun jenis lem yang digunakan adalah epoksi resin khusus untuk kayu dengan viskositas yang tinggi.

Rencana tahapan pelaksanaan metode tersebut adalah menempatkan kerangka *fiberglass*, kemudian memasukkan material *grouting* dengan tekanan menggunakan alat injektor. Bahan *grouting* yang digunakan adalah campuran epoksi resin dan bubukan kayu. Namun sebelum dilakukan aplikasi pada tiang bendera maka terlebih dahulu dilakukan eksperimen untuk menentukan perbandingan campuran terbaik antara epoksi resin dan bubukan kayu dan ditentukan pula alat injektor yang akan digunakan.

Dalam eksperimen digunakan alat injektor dan pompa agar bahan *grouting* dapat masuk kedalam rongga. Karena dalam eksperimen di laboratorium kesulitan untuk mencari sampel kayu yang berongga maka digunakan bambu yang diberi lubang. Alat yang digunakan: ukuran diameter lubang alat injektor $\frac{3}{4}$ in, ukuran selang $\frac{1}{2}$ in dan tekanan kompresor maksimal 9 kg/cm².

Hasil dari proses *grouting* berupa pengisian rongga bambu dengan material campuran epoksi dan bubukan kayu jati halus ditampilkan dalam Gambar 4.34. Berdasarkan hasil penelitian ini juga diketahui 1 set epoksi resin dapat digunakan untuk mengisi rongga sebesar 1112,14 cm³ atau 1,112 liter. Hasil ini dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan epoksi resin nantinya. Selanjutnya di bawah ini ditampilkan hasil eksperimen komposisi bahan *grouting* yang diaplikasikan menggunakan alat injektor.

Tabel 13. Pengujian Komposisi Bahan *Grouting* dengan Alat Injektor

No	epoksi	aseton	Bubukan kayu	Keterangan
1	1	1/3	1/2	lolos
2	1	1/4	1/2	lolos
3	1	0	1/1	lolos

(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Berdasarkan Tabel tersebut semua campuran lolos melewati bahan injektor, Dikaitkan dengan hasil yang diperoleh menunjukkan penambahan aseton dalam campuran *grouting* justru menyebabkan hasil campuran mudah retak. Namun demikian hasil tersebut masih diperlukan uji laboratorium lebih lanjut dan uji lapangan antara lain untuk menentukan:

1. Komposisi terbaik
1. Uji kuat tekan dan lentur material *grouting*
2. *Aging test* material *grouting*
3. Kemungkinan metode aplikasi skala lapangan.

Hasil Analisis Struktural Tiang Bendera

Dalam kajian ini dilakukan analisis struktural terhadap struktur tiang bendera kesultanan Buton menggunakan analisis SAP (*Structure Analysis Programme*) 2000. Berdasarkan analisis SAP 2000 diketahui semakin berwarna biru (gelap) maka tiang tersebut mendapatkan beban semakin berat. Dalam kondisi seperti ini, tiang utama mendapatkan beban paling berat. Gerakan tiang bendera yang terjadi adalah ke arah sumbu x dan y yang disebabkan karena:

1. Pengaruh beban sendiri (beban mati),
2. Tiang penyangga A yang rusak sehingga membebani tiang utama dan
3. Pengaruh beban karena angin

Secara umum struktur tiang telah mengalami penurunan kekuatan, akan tetapi tiang utama masih dapat menahan bebannya sendiri. Namun demikian belum dapat dipastikan ketahanan tiang terhadap beban angin besar dan gempa. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dalam bentuk *modeling* untuk menentukan besaran beban angin dan gempa yang dibutuhkan untuk meruntuhkan struktur tiang bendera Kesultanan Buton.

Gambar 19. Analisis struktural menggunakan SAP 2000
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

DISKUSI DAN PEMBAHASAN

Konsep penanganan konservasi struktural maupun material yang akan dibahas masih terbatas pada tindakan pembersihan. Namun sebelum berbicara tentang konsep penanganan struktural dan material maka sebelumnya akan disampaikan tentang hasil rekonstruksi bentuk tiang bendera sebagai berikut:

Rekonstruksi Tiang Bendera

Sumber data untuk mendukung rekonstruksi struktur tiang bendera sejak awal pembangunan sampai kondisi saat ini sangat terbatas. Namun, terdapat tiga sumber data yang dapat dijadikan dasar dalam merekonstruksi tiang bendera tersebut. Data tersebut berasal dari : (1) dokumentasi foto tahun 1938, (2) informasi dari masyarakat melalui FGD (*focus group discussion*) dan informasi dari papan informasi. Sekalipun data tersebut masih sangat terbatas namun data tersebut dapat menggambarkan sejarah perubahan yang terjadi pada tiang bendera setelah tahun 1938. Adapun runtutan perubahan tersebut sebagai berikut:

1. Kondisi awal tiang bendera tahun 1938

Komponen struktur tiang bendera terdiri dari tiang utama, tangga, papan bordes, dan pagar bordes seperti pada **Gambar 20**. Tiang utama terdiri dari tiang: bagian bawah diameter lebih besar dan tiang utama bagian atas. Diameter tiang utama bagian atas bahkan lebih kecil dari ukuran tiang utama bagian atas saat ini.

Gambar 20. Struktur tiang bendera tahun 1938
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

2. Kondisi ke-2

Diperkirakan kondisi tiang utama bagian bawah mengalami perubahan posisi yang sebelumnya tegak lurus menjadi miring. Kemiringan tiang utama disebabkan karena bebannya sendiri dan beban tiang utama bagian atas serta beban dari papan bordes dan pagar bordes seperti diilustrasikan pada **Gambar 21**.

Gambar 21. Perubahan posisi tiang bendera yang tegak lurus menjadi miring
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

3. Kondisi ke-3

Tiang bendera mengalami kemiringan yang mengkhawatirkan dan komponen tiang utama kayu bagian atas rusak. Sehingga kemungkinan dilakukan penggantian kayu utama bagian atas dengan diameter lebih besar. Komponen pagar dan papan bordes rusak dan hilang, namun tidak dilakukan penggantian. Untuk memperkuat struktur tiang bendera maka dilakukan penambahan empat buah tiang penyangga.

Gambar 22. Penambahan tiang penyangga untuk memperkuat struktur tiang
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

4. Kondisi ke-4

Kondisi struktur tiang bendera saat ini (eksisting) terdiri dari:

- Tiang utama bagian atas dan bagian bawah (lebih besar)
- Tiang penyangga empat buah (satu tiang menempel tiang utama)
- Tangga
- Papan bordes (tersisa 3%)
- Klem baja

Gambar 23. Kondisi tiang bendera saat ini
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Konsep Penanganan Konservasi Struktural

Berdasarkan analisis berat jenis kayu dan analisis SAP diketahui bahwa struktur tiang utama dan penyangga telah mengalami penurunan atau degradasi kekuatan. Oleh karena itu dalam kajian ini akan ditawarkan beberapa konsep penanganan struktural pada tiang bendera Kesultanan Buton.

1. Konsep 1 (Tiang Bendera Asli Dimuseumkan dan Duplikasi)

Konsep penanganan struktural dilakukan dengan cara tiang bendera lama dirobohkan dikonservasi kemudian dimasukkan kedalam museum (gedung penyimpanan). Dibuatkan duplikasi dengan bentuk/desain, dimensi, bahan yang sama. Duplikat tiang bendera ditempatkan pada lokasi asli, sehingga nilai penting tiang bendera asli ditransfer ke - duplikat. Konsep ini diilustrasikan pada **Gambar 24**.

Gambar 24. Konsep 1 (tiang bendera asli dimuseumkan dan duplikasi)
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

2. Konsep 2 (Tiang Bendera Asli Dibiarkan Tetap Berdiri dan Duplikasi)

Konsep penanganan kedua dilakukan dengan cara pembuatan duplikat tiang bendera dengan desain/bentuk, dimensi dan bahan yang sama. Tiang bendera duplikat ditempatkan di dekat tiang bendera asli. Tiang bendera asli dikonservasi *insitu*. Kemudian dibiarkan sampai tiang bendera asli habis dimakan waktu. Selanjutnya lokasi tiang bendera asli diberi papan penanda informasi, sehingga nilai penting tiang bendera asli ditransfer ke tiang bendera duplikat. Konsep ini diilustrasikan pada **Gambar 25**.

Gambar 25 Konsep 2 (tiang bendera asli dibiarkan tetap berdiri dan duplikasi)
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

3. Konsep 3 (Perkuatan Menggunakan Cangkang)

Komponen kayu tiang bendera asli dikonservasi kemudian setiap komponen kayu diberi perkuatan atau perlindungan semacam cangkang. Konsep seperti ini pernah dilaksanakan di Masjid Pondok Tinggi Jambi. Namun, konsep ini akan mengalami kesulitan ketika akan melakukan konservasi ulang jika pemasangan cangkang sangat rapat. Konsep ini diilustrasikan pada **Gambar 26**.

Gambar 26. Konsep 3 (perkuatan menggunakan cangkang)
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

4. Konsep 4 (Perkuatan Menggunakan Tower dan Sling Baja)

Konsep penanganan konservasi struktural dengan cara komponen kayu tiang bendera dikonservasi, kemudian diberi perkuatan. Perkuatan dilakukan dengan cara membangun *tower* untuk menahan struktur tiang bendera. Tiang bendera dan *tower* dihubungkan dengan sling baja. Model perkuatan menggunakan sling baja pernah dilakukan pada Masjid Gede di Kompleks Keraton Yogyakarta. Konsep ini diilustrasikan pada **Gambar 27**.

Gambar 27. Konsep 4 (perkuatan menggunakan tower dan sling baja)
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

5. Konsep 5 (Perawatan Rutin)

Konsep yang kelima yakni perekaman data secara lengkap dan setiap komponen kayu tiang bendera hanya dilakukan tindakan perawatan rutin sampai tiang bendera sudah tidak mampu menopang bebannya sendiri dan roboh. Setelah tiang bendera roboh dan hancur baru dibuatkan duplikatnya yang sama persis di tempat yang sama. Konsep ini diilustrasikan pada **Gambar 28**.

Gambar 28. Konsep 5 (perawatan rutin)
(Sumber: Tim Kajian, 2017)

Konsep Penanganan Konservasi Material

Berdasarkan kondisi tiang bendera Kesultanan Buton saat ini yang telah mengalami pelapukan tingkat lanjut maka harus segera dilakukan penanganan material. Penanganan material tersebut berupa tindakan konservasi yakni, pembersihan permukaan kayu, konsolidasi kayu, injeksi kayu, penambalan, penanganan retakan makro dan sebagainya. Namun pada kajian ini tindakan konservasi yang dapat direkomendasikan hanya pembersihan permukaan kayu secara tradisional. Sementara itu untuk tindakan konservasi yang lain masih harus menunggu hasil penelitian selanjutnya.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dalam kajian adalah seluruh material kayu tiang bendera telah mengalami pelapukan tingkat lanjut sehingga sebaiknya dilakukan tindakan konservasi terhadap material kayu tiang bendera. Jenis kayu komponen tiang bendera Kesultanan Buton adalah kayu jati (*Tectona grandis* L. f.). Struktur tiang bendera telah mengalami penurunan kekuatan sehingga perlu dilakukan tindakan rekonstruksi tiang

bendera dan perkuatan struktur dan teknik dan metode perkuatan struktur ditentukan berdasarkan hasil penelitian dan kesepakatan para *stakeholders*.

SARAN

Adapun saran penelitian selanjutnya adalah masih diperlukan penelitian lanjutan untuk konsolidasi kayu menggunakan epoksi resin yang di campur aseton, untuk menentukan metode aplikasi terbaik pada skala laboratorium dilanjutkan pada skala lapangan, metode dan teknik injeksi pada retakan mikro, menentukan volume rongga kayu dengan alat *videoscope* dan metode dan teknik untuk menentukan tindakan pengisian rongga kayu. Selain itu perlu juga untuk penelitian lebih lanjut *modeling* terkait penentuan besaran beban angin dan gempa yang dibutuhkan untuk meruntuhkan struktur tiang bendera diikuti dengan penelitian lanjutan untuk menentukan metode perkuatan struktur yang paling tepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Aris Munandar, pakar konservator, selaku narasumber yang telah bersedia menjadi teman diskusi dalam pelaksanaan kajian ini. Namun tanggung jawab penuh atas hasil bacaan ini tetap pada penulis. Ucapan terima kasih yang sama juga penulis sampaikan kepada Kepala dan staf BPCB Makassar yang telah memberikan bantuan dalam perijinan, pelaksanaan pengambilan data dan pendampingan selama kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizu, N., Antariksa dan D. Wardhani. "Pelestarian Kawasan Benteng Keraton Buton." *Jurnal Tata Kota dan Daerah* 3, no. 1 (Juli 2011): 83-90.
- Budianto, D. *Sistem Pengeringan Kayu*. Yogyakarta: Kanisius, 1996.
- Croci, Giorgio. *The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*. Southampton, UK and Boston, USA: Computational Mechanics Publications, 1998.
- Dumanauw, J.F. *Mengenal Kayu*. Yogyakarta: Kanisius, 1999.
- http://www.tectonica-online.com/products/851/structures_consolidation_repair_system_beta/
- Kadir, Ishak. "Simbol Pemaknaan dalam Rumah Tradisional Buton." *Buletin Penelitian Universitas Hasanudin* 7, no. 2 Edisi Khusus (Agustus 2008): 300-8.
- kompas.com. *Benteng Keraton Wolio, Buton: Benteng Terluas di Dunia*. Diakses di <https://indonesiaproud.wordpress.com/2011/12/20/benteng-keraton-wolio-buton-benteng-terluas-di-dunia/>
- Nugroho Dwi Widyanto. "Identifikasi Kayu Perahu Situs Punjulharjo, Rembang, Jawa Tengah." *Berkala Arkeologi* 29, no. 2 (November 2009): 15-27.
- Nurlita, Siti. *Struktur Kayu*. Malang: Bargie Media, 2006.
- Rapoport, A. *House Form and Culture*. Englewood: Prentice-Hall, Inc, 1969.
- Schnlewind, AP. *On Reversibility of Consolidation Treatments of Deteriorated Wood with Soluble Resins*. California: University of California, 1987.
- Suleman. *Kebertahanan Pemukiman Tradisional Wolio di Kelurahan Melai, Kota Bau-Bau*. Tesis Program Pascasarjana. Yogyakarta: Magister Teknik Pembangunan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro, 2010.
- Suranto, Y. *Ilmu Tegangan Pertumbuhan dan Penerasan Pohon sebagai Satu Wujud Teknologi Kayu Berbasis Kearifan Lokal Budaya Jawa*. *Borobudur* 5, no. 1 (2011): 41-7.
- Tim Zonasi. *Kajian Zonasi Benteng Sorawolio 1, Benteng Sorawolio 2 dan Benteng Baadia Kota Bau-Bau, Provinsi Sulawesi Tenggara*. Makassar: Kelompok Kerja Pengamanan dan Penyelamatan Balai Pelestarian Cagar Budaya Makassar, 2014.
- Tuduce-Trăistaru, Campean dan Timar. "Compatibility Indicators in Developing Consolidation Material with Nanoparticle Insertion for Old Wooden Objects." *International Jurnal Conservation Science* 1, no. 4 (October- December 2010): 219-26.
- Tuduce-Trăistaru, Timar dan Campean. "Studies upon Penetration of Paraloid B72 into Poplar Wood By Cold Immersion Treatments." *Bulletin of Transilvania University of Brasov Series II: Forestry. Wood Industry* 4, no.1 (2011): 81-8.
- Wang, Y dan A.P. Schuiewind. "Consolidation of Deteriorated Wood with Soluble Resin." *Jurnal of the American for Conservation* 24, no. 2 (1985): 77-91.
- Yap, Felix. *Konstruksi Kayu*. Bandung: Trimitra Mandiri, 1999.