
**KONSERVASI BALE KAPAL
PADA SITUS TAMAN SOEKASADA UJUNG
KABUPATEN KARANGASEM PROVINSI BALI**

I Ketut Bagiarta

Bagian Pengendalian Pembangunan Setda Kab. Karangasem Bali

Email : bagiartaketut@yahoo.com

Abstract

Taman Soekasada Ujung is a site of cultural heritage in Karangasem Regency, Bali Province. This site has received conservation treatment in 2001-2003 through the Bali Cultural Heritage Preservation Project with activities of Reconstruction and Conservation of Taman Ujung Karangasem, funded by the World Bank. Bale Kapal as one of the existing buildings on this site do not have the physical handling of the reconstruction and what is left in a state of existence. Evaluation and measurement of conservation techniques using interval scale. While experiments using a series of laboratory tests. Experiments using samples of existing modeling column because the columns are structural element that suffered damage on Bale Kapal. Experiments also tested the samples for grouting material selection, selection of alternative materials of concrete and material selection of the most durable alternative. Testing samples of existing column modeling, selection of concrete materials and selection of alternative grouting materials is done by compressive strength tests. Durability testing of alternative materials is done by measuring the resistivity of the concrete samples. Environmental conditions are modeled by soaking the samples in normal water and sea water. The study concluded that the appropriate conservation techniques are strengthening the structure with grouting technique. Modeling of existing column prove that the existing structure allows for strengthened with these techniques. Appropriate reinforcement material used for reinforcing is high strength epoxy resin that is able to restore the existing column compression strength at least 61.66% of the original compressive strength. Appropriate alternative materials used in the process of reconstruction, which meets the requirements of structure and material durability to the resilience of local conditions, is concrete with an additive based on sugar. Concrete with the additive was able to reach an average of compressive strength up to 29.33 MPa of concrete mix design with 20 MPa of compressive strength plan. Its durability against corrosion also proved the best results.

Keywords: column compressive strength, grouting techniques, material durability, reconstruction.

PENDAHULUAN

Taman Soekasada Ujung (TSU) merupakan situs cagar budaya yang ada di Kabupaten Karangasem, Provinsi Bali. Situs ini merupakan salah satu obyek wisata andalan bagi Pemerintah Kabupaten Karangasem dalam meningkatkan pendapat-an asli daerah (PAD).

TSU yang merupakan situs cagar budaya dibangun pada tahun 1919 pada masa pemerintahan Raja I Gusti Bagus Jelantik (1909 – 1945) yang bergelar Anak Agung Agung Anglurah Ketut Karangasem dan diresmikan penggunaannya pada tahun 1921.

Taman ini dipergunakan sebagai tempat peristirahatan raja, selain Taman Tirtagangga, dan juga diperuntukkan sebagai tempat menjamu tamu-tamu penting seperti raja-raja atau kepala pemerintahan asing yang berkunjung ke kerajaan Karangasem (Agung, 1991).

Situs ini pernah mendapat penanganan konservasi pada tahun 2001-2003 melalui proyek Pelestarian Warisan Budaya Bali dengan kegiatan Rekonstruksi dan Konservasi Taman Ujung Karangasem yang didanai oleh Bank Dunia. Kegiatan yang dilaksanakan selama kurun waktu tersebut

terdiri dari dua tahap. Tahap I dengan biaya (nilai kontrak) Rp 1.256.484.000 dan Tahap II dengan biaya Rp 5.226.616.000 (Arsip Badan Perencana Daerah Kab. Karangasem, 2009).



Gbr.1. Taman Ujung sebelum dikonservasi

Bale Kapal sebagai salah satu bangunan yang ada dalam situs ini tidak mendapat penanganan fisik kegiatan rekonstruksi dan dibiarkan dalam keadaan apa adanya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efektivitas penanganan konservasi yang telah dilakukan terhadap Taman Soekasada Ujung, khususnya bangunan Bale Kapal. Juga untuk mengetahui tipe penanganan/ sistem konservasi yang paling tepat diterapkan pada Bale Kapal, mengetahui teknik konservasi dalam pelaksanaan konservasi serta merekomendasikan material yang tepat untuk digunakan dalam pelaksanaan konservasi Bale Kapal.



Gbr.2. Kondisi eksisting Bale Kapal (2010)

Bale Kapal dibiarkan dalam kondisi apa adanya sementara bangunan lainnya dilakukan renovasi dalam Kegiatan Pelestarian Warisan Budaya Taman Ujung Tahap I dan II. Pada awal perencanaan, Bale

Kapal termasuk dalam salah satu bangunan yang akan direnovasi. Atas saran Bank Dunia melalui Kantrika Ebbe dari Social Development Departement World Bank, direkomendasikan untuk membiarkan unsur yang ada pada Bale Kapal apa adanya (Anonim, 2003).

METODE PENELITIAN

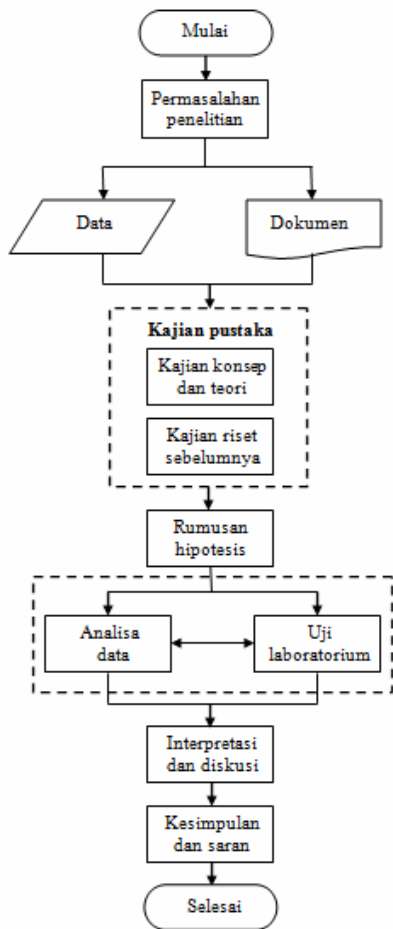
Metode yang dipakai dalam penelitian ini terdiri dari beberapa jenis. Pemilihan metode penelitian tergantung pada permasalahan yang akan dipecahkan dalam penelitian.

Permasalahan yang akan diselesaikan melalui penelitian ini terdiri dari dua pokok masalah yaitu:

- Teknik konservasi yang paling tepat, dan
- Pemilihan material untuk konservasi.

Penelitian ini merupakan penelitian terapan. Data yang digunakan bersifat kualitatif dan kuantitatif. Karenanya metode penelitian yang digunakan adalah metode evaluasi dan metode eksperimen. Eksplanasi dalam penelitian dilakukan secara deskriptif maupun komparatif. Dengan metode evaluasi dipecahkan permasalahan yang sifat datanya kualitatif. Bagan alir proses penelitian seperti pada gambar 3.

Permasalahan dengan data kuantitatif diselesaikan dengan metode eksperimen melalui rangkain pengujian di laboratorium. Data kualitatif dikuantifikasi menjadi angka-angka dengan menggunakan skala interval. Sementara data kuantitatif diolah dengan metode statistik tertentu guna mendapatkan keluaran yang berupa hasil penelitian.

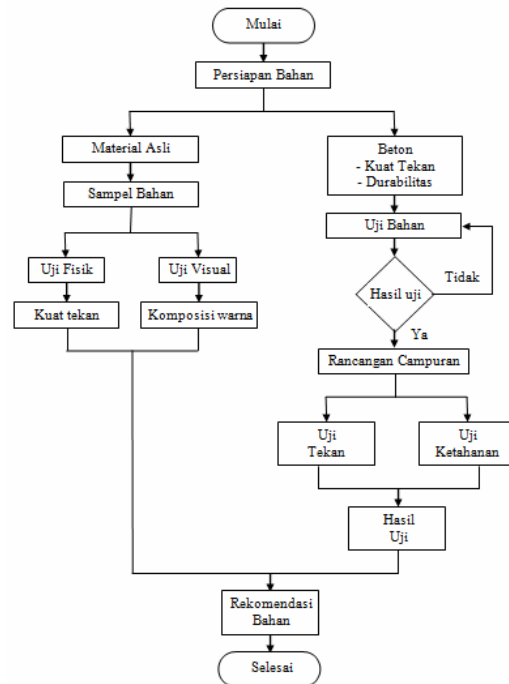


Gbr.3. Bagan alir proses penelitian

Proses eksperimen di laboratorium utamanya terdiri dari dua proses pengujian. Pertama, pengujian terhadap sampel yang diambil dari lokasi obyek Bale Kapal pada situs TSU. Kedua adalah pengujian terhadap sampel yang dibuat di laboratorium yang meliputi uji kuat tekan dan uji durabilitas. Bagan alir proses eksperimen di laboratorium seperti pada gbr 4.

Material yang diuji pada penelitian ini terdiri dari material yang bersifat sebagai pengganti (substitusi) dan bahan tambahan (aditif) disamping bahan yang sudah umum dipakai dalam bidang konstruksi.

Semen sebagai salah satu bahan yang sudah sangat familiar dalam dunia konstruksi merupakan salah satu material yang diuji. Galuh Chrismaningwang (2008) menguji pasta semen dengan tiga varian faktor air semen (fas) yaitu fas 0,3, fas 0,45 dan fas 0,6. Pengujian dilakukan terhadap kuat tekan dan vicat pasta semen dengan tiga varian tersebut.



Gbr.4. Bagan alir proses uji laboratorium

Pengujian kuat tekan menghasilkan rerata kuat tekan pasta semen dengan fas 0,45 paling tinggi yaitu 35,876 MPa. Pengujian vicat menghasilkan *initial setting time* paling efisien pada pasta semen dengan fas 0,45 karena tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lama dibandingkan varian lainnya.

Dari hasil pengujian kuat tekan dan vicat pasta semen menunjukkan bahwa pasta semen dengan fas 0,45 merupakan varian yang paling kuat dan efisien.

Metakaolin biasanya dianggap sebagai pengganti semen portland, dengan proporsi tertentu dari berat semen. Jika air dalam campuran dikontrol, penambahan metakaolin sangat baik meningkatkan kuat tekan dan lentur beton.

Kinerja optimal dicapai dengan mengganti 5% sampai 20% dari semen dengan metakaolin (Sambowo, 2003). Meskipun dimungkinkan untuk menggunakan lebih sedikit, manfaat sepenuhnya baru tercapai sampai setidaknya 10% metakaolin digunakan. Dalam penelitian ini metakaolin digunakan sebanyak 15 % dari berat semen dalam campuran beton.

Berbagai penelitian dan kajian telah dilakukan dalam upaya mendukung teknologi beton yang ramah lingkungan (*sustainable and green concrete*), perilaku material pada

beton dan komposit sementitis, analisa kegagalan struktur berbasis fraktur, aplikasi pada elemen struktur beton, inovasi agregat material lokal, inovasi serat material lokal, dan inovasi bahan tambah (*admixture*) material lokal. Salah satu inovasi bahan tambah (*admixture*) adalah dengan memanfaatkan sukrosa, gula pasir dan larutan tebu (Susilorini, 2009).

HASIL PENELITIAN

Sampel yang diuji (sampel eksisting) diambil dari lokasi obyek penelitian yaitu Situs Cagar Budaya Taman Soekasada Ujung. Karena tidak memungkinkan untuk mengambil sampel dari kolom eksisting pada Bale Kapal, maka sampel diambil dari sisa reruntuhan bangunan dalam situs. Sampel dibuat dengan ukuran 50x50x50 mm.

Tabel 1. Hasil uji sampel dari lokasi obyek penelitian

No. sampel	Berat (gr)	Kuat Tekan	
		kN	MPa
1	315	50	20
2	275	40	16
3	266	50	20
Rerata	285	46,67	18,67

Hasil rerata 18,67 MPa sampel eksisting bila dikonversi untuk kesetaraannya dengan mutu beton karakteristik (K) sesuai PBI-71 akan diperoleh hasil 225 kg/cm² (setara K225).

Pengujian kuat tekan beton dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk:

- 1) Mengetahui kemampuan material *grouting* dalam meningkatkan kuat tekan untuk perkuatan kolom pecah dengan teknik *grouting*.
- 2) Mengetahui pengaruh material *grouting* terpilih terhadap kuat tekan kolom eksisting dengan simulasi kolom eksisting melalui pemodelan kolom di laboratorium. Pada percobaan *grouting* kolom digunakan tiga varian bahan yaitu:
 - a. Pasta semen dengan fas (w/c) 0,45
 - b. Epoksi *grouting* kekuatan tinggi
 - c. Epoksi *grouting* viskositas rendah
 Benda uji dibuat dari beton normal dengan kuat tekan rencana 20 MPa dengan ukuran

10x10x38 cm. Masing-masing kondisi pengujian dibuat tiga sampel.

Pengujian dirancang dengan lima kondisi yaitu:

- 1) Kolom dalam kondisi utuh
- 2) Kolom dengan rekayasa kondisi pecah,
- 3) Kolom pecah setelah dilakukan *grouting* dengan tiga varian bahan *grouting*.

Hasil uji tekan pada kolom sampel tanpa dan dengan *grouting* bertujuan untuk mengetahui material *grouting* yang memberi pengaruh paling baik pada perbaikan kuat tekan kolom pecah. Hasil uji seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji sampel kolom tanpa dan dengan *grouting*

Varia n	Kuat tekan		Rerat a (Mpa)	Std. Dev.
	kgf	Mpa		
Kolom utuh				
1	17.600,00	17,60	18,73	0,99
2	19.400,00	19,40		
3	19.200,00	19,20		
Kolom pecah				
1	15.800,00	15,80	14,23	1,55
2	14.200,00	14,20		
3	12.700,00	12,70		
Kolom pecah dg <i>grouting</i> pasta semen fas 0,45				
1	17.500,00	17,50	19,20	1,70
2	20.900,00	20,90		
3	19.200,00	19,20		
Kolom pecah dg <i>grouting</i> epoksi resin kekuatan tinggi				
1	20.750,00	20,75	20,25	1,00
2	20.900,00	20,90		
3	19.100,00	19,10		
Kolom pecah dengan <i>grouting</i> epoksi resin viskositas rendah				
1	22.300,00	22,30	17,93	3,80
2	15.400,00	15,40		
3	16.100,00	16,10		

Untuk mengetahui perilaku kolom setelah mendapat perkuatan dengan teknik *grouting*, dalam penelitian ini dilakukan pemodelan kolom eksisting dengan benda uji/ sampel yang dibuat di laboratorium. Agar model yang dibuat menyerupai kolom eksisting, maka sampel dibuat dengan mempertimbangkan kuat tekan maupun

kelangsingan kolom sampel sesuai dengan kolom eksisting.

Kolom eksisting memiliki penampang bujur sangkar dengan sisi 27 cm. Panjang bersih kolom 161 cm. Angka kelangsingannya 20,66 dan tergolong kolom pendek.

Kolom sampel dirancang dengan tinggi 50 cm dengan pertimbangan kemudahan dalam pengujian kuat tekan. Penampang yang sesuai dengan kelangsingan kolom eksisting adalah bujur sangkar dengan sisi 8,4 cm.

Bila kolom eksisting menggunakan tulangan dengan diameter 16 mm, berdasarkan perhitungan luas penampang tulangan diperoleh tulangan untuk kolom sampel dengan diameter 5 mm.

Sampel sebagai model kolom eksisting dibuat sebanyak sembilan buah. Pengujian pertama kali merupakan uji kuat tekan. Hasil uji seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji sampel pemodelan kolom eksisting

No. Sampel	Kuat Tekan	
	kgf	Mpa
1	12,500.00	18,14
2	15,800.00	22,94
3	15,000.00	21,77
4	11,900.00	17,27
5	15,600.00	22,64
6	16,400.00	23,81
7	16,200.00	23,52
8	12,400.00	18,00
9	11,800.00	17,13
Rerata	14,177.78	20,58

Sampel kolom yang memiliki pola retak serupa dengan kolom eksisting dan diberikan *grouting* menggunakan Epoksi resin kekuatan tinggi adalah sampel nomor 1,7,8 dan 9. Prosedur *grouting* dilaksanakan sesuai dengan manual material yang bersangkutan. Hasil uji tekan setelah dilakukan *grouting* terhadap kolom pecah tersebut terdapat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji tekan setelah *grouting*

No. Sampel	Kuat Tekan (f'c)			f'c akhir/ f'c awal (%)
	Awal (MPa)	Akhir		
		kgf	Mpa	
1	18,14	9.756,81	14,16	78,05
7	23,52	10.193,68	14,80	62,92
8	18,00	7.645,26	11,10	61,66
9	17,13	11.504,30	16,70	97,49
Rerata	19,20	9.775,01	14,19	75,03

Salah satu tujuan penelitian terhadap Bale Kapal adalah mendapatkan jenis material yang paling sesuai selain untuk perkuatan juga sebagai material yang bisa dipakai untuk melanjutkan penyelesaian Bale Kapal kembali dibangun seperti bentuk aslinya. Material alternatif tersebut selain harus memiliki karakter kekuatan struktur yang sama dengan material asli, juga berkarakter visual yang sama dengan material asli. Sampel dibuat dalam bentuk kubus dengan sisi 10 cm mengikuti British Standard (BS) 1881. Varian material yang diuji adalah:

- 1) Beton normal dengan kuat tekan rencana 20 MPa menggunakan PPC.
- 2) Beton dengan substitusi semen sebanyak 15% menggunakan metakaolin yang dihasilkan dari proses pembakaran pada suhu mencapai 750°C.
- 3) Beton dengan substitusi PPC sebanyak 100% dengan semen instan
- 4) Beton dengan bahan tambah (aditif) berbasis gula sesuai (tabel5).

Tabel 5. Komposisi bahan tambah berbasis gula terhadap berat semen

Untuk 2 kg semen = 2000 gram semen	
Sukrosa	0.10 gram
Gulapasir	0.30 gram
Larutan Tebu	0.20 gram

Sumber: Retno Susilorini, 2010.

Tabel 6. Hasil uji kuat tekan kubus dengan empat varian material

Varian	Kuat tekan		Rerata (Mpa)	Std. Dev.
	kN	Mpa		
Beton normal 20 MPa				
1	210,00	21,00	24,40	3,40
2	244,00	24,40		
3	278,00	27,80		
Beton dengan metakaolin				
1	195,00		19,67	2,75
2	225,00			
3	170,00			
Beton dengan semen instan				
1	110,00	11,00	9,83	1,26
2	85,00	8,50		
3	100,00	10,00		
Beton dengan aditif berbasis gula				
1	335,00	33,5	29,33	5,97
2	320,00	32,00		
3	225,00	22,50		

Untuk uji durabilitas beton, sampel dibuat dalam bentuk kubus dengan ukuran sisi 5 cm. Pada pusat salah satu penampang kubus dipasang tulangan dengan diameter 10 mm.

Dalam penelitian ini aktualisasi pengaruh lingkungan terhadap daya tahan beton dalam melindungi tulangan terhadap korosi dirancang dengan perendaman sampel pada dua varian air yaitu air tawar (air normal) dan air laut. Perendaman dengan air laut diasumsikan untuk mengaktualisasi kondisi lingkungan Bale Kapal yang dekat dengan laut.

Indikator tingkat korosi pada tulangan beton adalah nilai resistivitas beton. Pengukuran resistivitas sampel dilakukan pada perendaman hari ke 1, 2, 3, 4, 7 dan 14. Hasil uji seperti pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengukuran resistivitas pada sampel direndam dalam air normal

Varian	Resistivitas (k Ω .cm) pada perendaman hari ke-n					
	h+1	h+2	h+3	h+4	h+7	h+14
Beton normal 20 Mpa						
Rerata	506.27	200.13	88.78	39.94	25.59	19.05
1	365.20	166.20	26.66	15.45	11.26	24.21
2	871.60	104.20	69.67	81.76	26.02	11.81
3	282.00	330.00	170.00	22.61	39.50	21.13
Beton dengan metakaolin						
Rerata	440.27	233.57	30.08	33.70	13.96	11.96
1	329.20	164.00	27.92	21.99	8.19	16.64
2	658.00	88.30	39.68	65.65	17.64	9.88
3	333.60	448.40	22.65	13.47	16.06	9.36
Beton dengan semen instan						
Rerata	345.53	227.73	27.18	15.18	16.21	15.35
1	201.00	275.20	28.77	14.22	15.09	18.58
2	600.40	147.40	33.59	15.59	12.18	12.78
3	235.20	260.60	19.19	15.72	21.37	14.70
Beton dg aditif berbasis gula						
Rerata	389.87	194.93	189.56	167.70	41.65	21.57
1	209.60	163.40	106.26	269.66	22.10	25.07
2	305.60	153.00	76.41	44.05	81.28	13.13
3	654.40	268.40	386.00	189.39	21.56	26.51

Tabel 8. Hasil pengukuran resistivitas pada sampel direndam dalam air laut

Varian	Resistivitas (k Ω .cm) pada perendaman hari ke-n					
	h+1	h+2	h+3	h+4	h+7	h+14
Beton normal 20 Mpa						
Rerata	114.01	78.41	33.30	14.00	9.52	6.06
1	170.20	98.00	26.83	15.93	8.59	9.21
2	82.83	74.47	53.77	16.31	5.83	8.96
3	88.99	62.77	19.30	9.77	14.15	0.00
Beton dengan metakaolin						
Rerata	127.44	56.55	9.78	33.96	27.76	15.73
1	74.00	46.10	13.01	18.42	25.54	28.77
2	164.00	48.10	8.11	75.03	26.62	6.88
3	144.33	75.46	8.21	8.44	31.12	11.54
Beton dengan semen instan						
Rerata	63.72	49.02	9.04	8.09	14.66	6.25
1	60.37	45.94	6.09	4.65	24.76	6.05
2	68.36	52.65	9.35	13.06	7.13	6.97
3	62.44	48.47	11.69	6.55	12.09	5.74
Beton dg aditif berbasis gula						
Rerata	139.20	98.68	98.40	98.12	66.68	35.98
1	137.00	131.97	134.06	136.15	131.96	13.31
2	95.00	104.94	93.03	81.13	18.41	8.78
3	185.60	59.14	68.11	77.09	49.67	85.84

PEMBAHASAN

Rekonstruksi Bale Kapal membutuhkan kekuatan struktur kolom sebelum membangunnya kembali seperti bentuk semula. Namun status Bale Kapal sebagai bangunan cagar budaya tidak memungkinkan penerapan teknik kekuatan yang umum dilakukan pada jenis bangunan lainnya.

Teknik kekuatan dengan *jacketing* dan *external reinforcing* akan mengubah tampak bangunan Bale Kapal yang secara kaidah konservasi merupakan sesuatu yang harus

dihindari. Teknik yang memungkinkan adalah penambalan (*patching*) dan pengisian retak (*crack grouting*). Pemilihan teknik perkuatan harus mengacu pada kondisi eksisting Bale Kapal, khususnya kerusakan struktur yang teridentifikasi pada saat penelitian.

Data kerusakan Bale Kapal pada saat diteliti adalah adanya kerusakan pada elemen struktur yang berupa kolom dan dinding eksisting. Kerusakan yang terjadi adalah retak dan pecah. Pola retak yang terjadi vertikal dan horisontal. Ukuran keretakan dari halus hingga lebar. Kedalaman retak dari dangkal hingga menembus penampang kolom maupun dinding.

Dalam memilih teknik perkuatan terdapat beberapa pertimbangan pemilihan seperti karakteristik teknik, ketahanan, masa guna (waktu layanan) dan kemudahan penerapan. Karena sifatnya yang kualitatif maka pertimbangan terhadap teknik perkuatan yang menjadi alternatif diukur dengan skala interval. Preferensi nilainya mulai dari tidak baik sampai sangat baik seperti pada Tabel 12.

Tabel 12. Skala interval untuk pengukuran kesesuaian sistem perkuatan

Skala Nilai	1	2	3	4	5
Preferensi	Tidak baik	Kurang baik	Cukup baik	Baik	Sangat baik

Deskripsi penilaian terhadap teknik perkuatan berdasarkan pertimbangan pemilihan sebagai berikut:

- a. Penambalan merupakan teknik perkuatan kerusakan yang terbatas terjadi pada permukaan saja. Sedangkan pengisian retak diterapkan dalam perbaikan kerusakan retak dangkal maupun dalam. Dalam hal karakteristik teknik perkuatan, penambalan termasuk teknik yang cukup baik (3) dan pengisian retak lebih baik sehingga preferensinya baik (4).
- b. Pertimbangan ketahanan sangat tergantung pada jenis material yang digunakan dalam aplikasi teknik perkuatan. Penambalan memberikan ketahanan yang lebih rendah karena hanya mampu mengatasi kerusakan pada permukaan saja. Preferensinya

kurang baik (2). Dengan teknik pengisian retak, ketahanan perkuatan akan sangat baik karena teknik ini mampu mengatasi keretakan yang dalam. Preferensinya sangat baik (5)

- c. Masa guna atau waktu layanan sangat erat kaitannya dengan ketahanan. Teknik perkuatan dengan ketahanan yang bagus akan memberikan masa layanan yang lama, demikian pula sebaliknya. Penilaian ini dalam konteks penggunaan material perkuatan dengan ketahanan yang setara pada masing-masing teknik perkuatan. Karenanya teknik perkuatan dengan pengisian retak mempunyai preferensi yang lebih baik (4) dibandingkan dengan penambalan yang preferensinya cukup baik (3).
- d. Preferensi berdasarkan pertimbangan kemudahan pelaksanaan adalah makin mudah pelaksanaan suatu teknik perkuatan makin tinggi pula skala nilai preferensinya, demikian pula sebaliknya. Penambalan dalam pelaksanaannya relatif lebih mudah karena hanya pada permukaan struktur saja, sehingga preferensinya adalah baik (4). Sementara pengisian retak pelaksanaannya lebih rumit dengan tuntutan keterampilan yang lebih tinggi, namun preferensinya cukup baik (3).

Berdasarkan deskripsi pengukuran terhadap alternatif teknik perkuatan dengan menggunakan skala interval, hasil preferensinya yang berupa skala nilai dapat disusun dalam sebuah matrik seperti pada Tabel 13.

Tabel 13. Matrik analisis pemilihan sistem perkuatan kolom Bale Kapal

Teknik perkuatan		
Pertimbangan Pemilihan	Penambalan (<i>patching</i>)	Pengisian retak (<i>crack grouting</i>)
Karakteristik teknik	3	4
Ketahanan	2	5
Masa guna	3	4
Kemudahan penerapan	4	3
Jumlah nilai	12	16

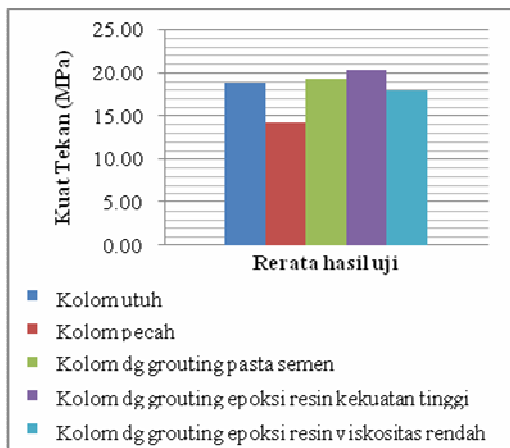
Analisis dengan metode matrik menyatakan bahwa teknik konservasi yang tepat digunakan dalam penanganan Bale Kapal adalah perkuatan kolom dengan teknik *grouting*.

Hasil pengujian material *grouting* seperti terdapat pada tabel 2. Rerata kuat tekan sampel secara grafis ditampilkan pada gambar 5.

Berdasarkan hasil uji terhadap sampel kolom yang mendapat *grouting* tiga varian material, Epoksi resin kekuatan tinggi merupakan material *grouting* yang memberi pengaruh perbaikan kuat tekan paling baik pada kolom pecah.

Sementara uji tekan terhadap sampel pemodelan kolom eksisting memberikan hasil seperti pada tabel 3. Rerata kuat tekan adalah 20,58. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan sampel telah sesuai dengan kuat tekan rencana seperti rancangan campuran yang digunakan.

Sampel pemodelan kolom mengalami keretakan setelah dilakukan pengujian. Kolom-kolom retak tersebut dipilih yang memiliki pola retak yang mendekati pola retak kolom eksisting. Pada kerusakan kolom yang berupa retak maupun pecah dilakukan *grouting* dengan menggunakan material *grouting* yang memberi pengaruh perbaikan kuat tekan paling baik pada kolom pecah yaitu epoksi resin kekuatan tinggi.



Gbr. 5. Grafik hasil uji kuat tekan material *grouting*

Pengujian kembali kuat tekan kolom-kolom paska *grouting* hasilnya seperti terdapat pada tabel 4. Bila dibandingkan antara kuat tekan setelah dilakukan *grouting* (kuat tekan akhir)

dengan kuat tekan sebelum kolom mengalami kerusakan (kuat tekan awal) diperoleh prosentase pengembalian kuat tekan sebagai pengaruh perkuatan dengan *grouting* epoksi resin kekuatan tinggi.

Prosentase terendah sebesar 61,66% sedangkan prosentase rata-rata sebesar 75,03%. Ini dapat diasumsikan bahwa dengan dilakukan perkuatan pada kolom eksisting dengan memakai material *grouting* Epoksi resin kekuatan tinggi akan mengembalikan kuat tekan kolom sekurang-kurangnya 61,66% dari kuat tekan semula.

Bila kuat tekan awal kolom eksisting dianggap sebesar hasil uji sampel eksisting sebesar 18,67 MPa seperti terdapat pada tabel 1, maka dengan perkuatan *grouting* memakai Epoksi resin kekuatan tinggi akan mampu mengembalikan kuat tekan kolom eksisting menjadi $18,67 \times 61,66\% = 11,51$ MPa.

Kolom-kolom pada Bale Kapal dianggap mengalami beban aksial murni (*axial load only*) yaitu kolom hanya menahan beban sentris pada penampangnya (tanpa eksentrisitas). Pada kondisi ini gaya luar akan ditahan oleh penampang kolom yang secara matematis dirumuskan dalam persamaan:

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (1)$$

dengan:

P_n : Beban aksial/ tekan maksimal yang mampu ditahan (kN)

f'_c : Kuat tekan beton kolom (MPa)

A_g : Luas penampang kolom (mm^2)

A_{st} : Luas tulangan (mm^2)

f_y : Tegangan leleh tulangan kolom eksisting (MPa)

Untuk mengetahui kemampuan kolom-kolom Bale Kapal setelah mendapat perkuatan dengan *grouting* Epoksi resin kekuatan tinggi, perlu dihitung beban aksial maksimum yang bisa ditahan oleh kolom eksisting setelah perkuatan. Data perhitungan sebagai berikut:

f'_c : 11,51 MPa

A_g : $270 \times 270 = 72.900 \text{ mm}^2$

A_{st} : diameter tulangan eksisting 16 mm = $\frac{1}{4}\pi d^2 = 201 \text{ mm}^2$

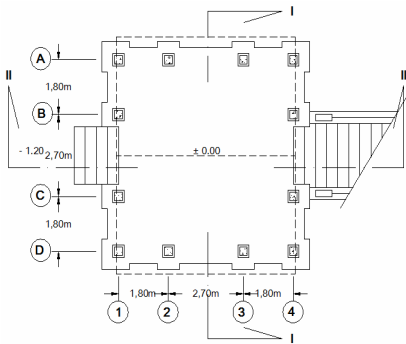
f_y : tulangan kolom eksisting diasumsikan memakai baja U24 = 240MPa

Dengan menggunakan persamaan (1) beban aksial/ tekan maksimal (P_n) yang bisa

ditahan oleh kolom-kolom Bale Kapal adalah:

$$P_n = 0,85 \times 11,51 \times (72.900 - 201) + 201 \times 240 = 7.595 \text{ ton}$$

Berdasarkan perhitungan, beban mati terbesar pada kolom Bale Kapal adalah 3.227,78 kg pada kolom-kolom B1, B4, C1 dan C4.



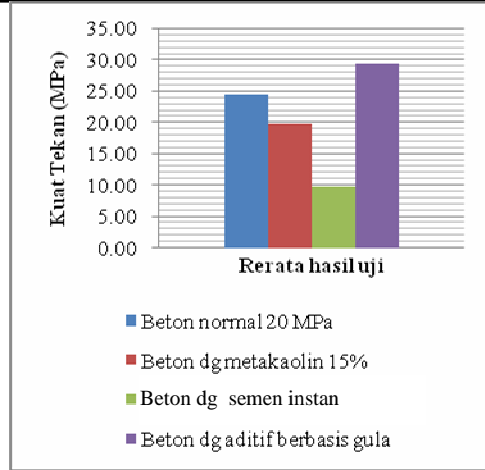
Gbr. 6. Denah Bale Kapal

Tabel 14. Beban mati kolom Bale Kapal

Kode Kolom	Beban mati (kg)
A1, A4, D1, D4	1.696,81
A2, A3, D2, D3	1.651,61
B1, B4, C1, C4	3.227,78

Kolom Bale Kapal ditinjau dari rasio kelangsingan tergolong kolom pendek sehingga momen yang terjadi tidak cukup berarti (bisa diabaikan). Dengan demikian maka kolom-kolom tersebut kuat untuk menahan beban mati ketika Bale Kapal dibuat kembali seperti bentuk aslinya setelah terlebih dahulu dilaksanakan perkuatan kolom eksisting dengan grouting Epoksi resin kekuatan tinggi.

Dalam penelitian ini diuji beberapa varian material yang memungkinkan menjadi material baru dalam rekonstruksi Bale Kapal. Hasil pengujian seperti terdapat pada tabel 6. Rerata kuat tekan sampel secara grafis ditampilkan pada gambar 7.



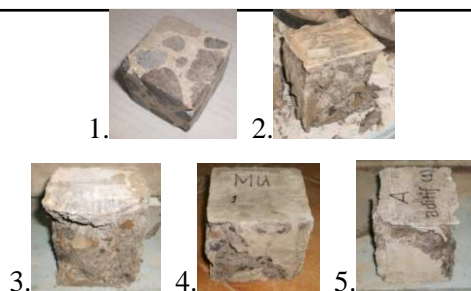
Gbr. 7. Grafik hasil uji material grouting

Untuk menentukan alternatif material yang paling sesuai dipakai dalam konservasi Bale Kapal, selain berdasarkan kuat tekan juga mempertimbangkan kemiripan warna dan tekstur dengan material asli. Hal ini dilakukan dengan melakukan uji visual terhadap sampel material asli terhadap semua varian sampel uji laboratorium.

Tampilan visual sampel asli dan sampel laboratorium seperti terlihat pada gambar 8.

Karakter warna dan tekstur antara sampel asli dan semua sampel material alternatif secara visual terdapat kemiripan. Dengan hasil ini berarti pertimbangan warna dan tekstur tidak menjadi faktor penentu yang dominan karena semua alternatif material menghasilkan karakter warna dan tekstur beton yang mirip.

Dengan demikian kuat tekan menjadi dasar pertimbangan utama dalam menentukan pilihan terhadap alternatif material yang bisa dipakai sebagai bahan pengganti dalam rekonstruksi Bale Kapal. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan terhadap sampel, maka material yang paling direkomendasikan adalah beton normal dengan aditif berbasis gula. Beton normal juga bisa digunakan karena uji kuat tekannya menunjukkan hasil yang lebih tinggi dari kuat tekan rencana dan kuat tekan beton asli.



Keterangan:

- 1) Sampel kolom dari obyek eksisting
- 2) Beton normal dengan kuat tekan 20 MPa.
- 3) Beton dengan substitusi semen sebanyak 15% menggunakan metakaolin.
- 4) Beton dengan semen instant MU tipe MU-200
- 5) Beton dengan bahan tambah (aditif) berbasis gula.

Gambar 8. Visualisasi warna dan tekstur sampel

Pengujian terhadap durabilitas material beton dalam melindungi tulangan dari korosi dilakukan dengan menguji kemampuan empat varian material beton yang diuji dalam pemilihan material alternatif.

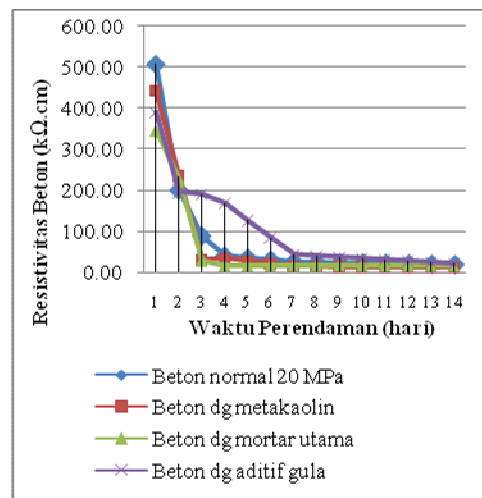
Pengujian/ pengukuran dilakukan terhadap resistivitas beton yang mengindikasikan laju korosi yang terjadi pada tulangnya. Hasil pengujian dengan perendaman sampel pada air normal seperti terdapat pada tabel 7 dan perendaman sampel pada air laut seperti terdapat pada tabel 8. Angka resistivitas pada kedua pengujian tersebut secara grafis ditampilkan pada gambar 9 dan 10.

Tabel 15. Hubungan antara resistivitas dan tingkat korosi

Resistivitas (KΩ.cm)	Tingkat Korosi
<3	Sangat tinggi
5-10	Tinggi
10-20	Rendah
>20	Tak berarti (<i>negligible</i>)

Berdasarkan indikator hubungan antara resistivitas beton dan tingkat korosi tulangan seperti terdapat pada tabel 15, maka makin rendah resistivitas beton mengindikasikan

tingkat korosi tulangan di dalamnya makin tinggi.



Gambar 9. Resistivitas Beton Direndam dalam Air Tawar

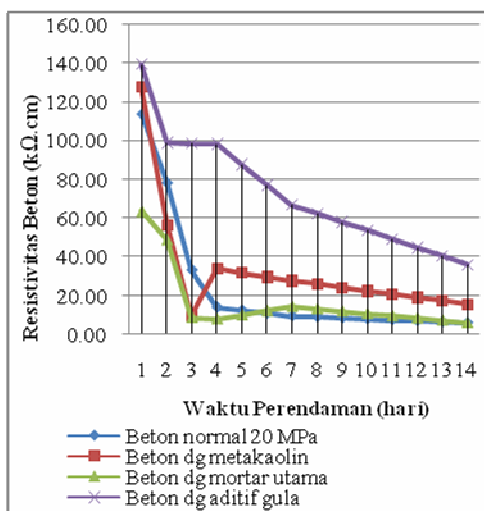
Perendaman dalam air normal sampai dengan hari ke-4 belum menunjukkan tingkat korosi yang berarti (*negligible*) pada semua varian material karena resistivitasnya masih di atas 20 kΩ.cm. Sampai dengan hari ke-14 perendaman tingkat korosi masih rendah dan tidak berarti dengan perbedaan angka resistivitas yang tidak signifikan.

Dari hasil uji diketahui bahwa pengaruh perendaman air normal sampai dengan hari ke-14 terhadap semua varian material tidak menimbulkan tingkat korosi yang signifikan. Dengan asumsi bahwa kondisi perendaman dengan air normal sama dengan kondisi bangunan terbuka pada lingkungan normal, maka durabilitas varian material komponen beton dalam melindungi tulangan terhadap korosi adalah setara.

Perendaman dalam air laut sampai dengan hari ke-4 pada sampel beton normal dan dengan mortar utama menunjukkan tingkat korosi yang rendah (resistivitas 10-20), sedangkan sampel beton dengan metakaolin dan aditif berbasis gula tingkat korosinya tidak berarti (*negligible*) karena resistivitasnya lebih besar dari 20. Pada umur perendaman tujuh hari masih menunjukkan indikasi yang sama dengan perendaman umur empat hari.

Pada umur perendaman 14 hari, sampel beton normal dan dengan mortar utama menunjukkan tingkat korosi tinggi, sampel

beton dengan metakaolin mengalami korosi rendah, sedangkan sampel beton dengan aditif berbasis gula tetap terindikasi dengan korosi yang tak berarti (resistivitas >20).



Gambar 10. Resistivitas Beton Direndam dalam Air Laut

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada Bab IV maka dapat dirumuskan kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Mengacu pada kondisi Bale Kapal saat penelitian ini dilakukan, maka teknik konservasi yang tepat untuk diterapkan adalah perkuatan struktur kolom dengan teknik *grouting*. Dalam penerapan teknik tersebut, material *grouting* yang memberikan pengaruh peningkatan kuat tekan paling baik pada kolom berdasarkan hasil penelitian ini adalah epoksi resin kekuatan tinggi. Dari hasil pengujian sampel pemodelan kolom eksisting dan perhitungan terhadap beban mati pada Bale Kapal, maka setelah kolom-kolomnya mendapat perkuatan dengan *grouting* epoksi resin kekuatan tinggi, kolom tersebut kembali andal sehingga rekonstruksi bisa dilaksanakan untuk mengembalikan Bale Kapal seperti bentuk aslinya.
- 2) Berdasarkan hasil uji kuat tekan, material beton yang paling baik untuk dipakai dalam konservasi Bale Kapal adalah beton dengan aditif berbasis gula. Beton normal dengan rancangan kuat tekan 20 MPa yang mengikuti

rancangan campuran sampel tetap direkomendasikan karena hasil uji kuat tekannya lebih tinggi dari kuat tekan beton asli. Dari sisi warna dan tekstur beton normal maupun beton dengan aditif berbasis gula menunjukkan visualisasi yang hampir sama dengan beton asli, sehingga keduanya bisa digunakan dalam konservasi. Material beton dalam melindungi tulangan terhadap korosi yang durabilitasnya paling baik untuk digunakan dalam konservasi Bale Kapal adalah beton dengan aditif berbasis gula.

SARAN

Saran-saran yang dapat disampaikan dari hasil penelitian ini adalah:

- 1) Bila cara perkuatan kolom dengan teknik *grouting* menggunakan epoksi resin kekuatan tinggi dari hasil penelitian ini akan diterapkan pada Bale Kapal, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap tingkat korosi riil pada tulangan kolom eksisting sebelum proses *grouting* dilakukan.
- 2) Dalam penerapan teknik *grouting* pada kolom Bale Kapal perlu dikaji teknik pengerjaan/operasional yang tepat sehingga pelaksanaan pekerjaan berhasil dengan efektif.
- 3) Pengujian terhadap daya tahan (durabilitas) beton dalam melindungi tulangan terhadap korosi pada lokasi obyek penelitian perlu dilakukan dengan cara meletakkan benda uji pada lokasi Bale Kapal untuk mendapatkan hasil uji yang lebih akurat sesuai dengan kondisi iklim setempat.
- 4) Material lain yang akan digunakan dalam rekonstruksi hendaknya mengikuti kaidah konservasi yaitu sedapat mungkin sama dengan bahan aslinya. Dalam pemilihannya harus melalui proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anak Agung Ketut Agung, 1991, *Kupu-kupu Kuning yang Terbang di Selat Lombok, Lintasan Sejarah Kerajaan Karangasem (1661-1950)*, Upada Sastra, Denpasar.

- Anonim, 1999, *Arsip Kegiatan Bali Cultural Heritage Conservation*, Denpasar.
- Anonim, 2003, *Arsip Kegiatan Pelestarian Warisan Budaya Taman Ujung Tahap I dan II*, Amlapura.
- Anonim, 2004, *Laporan Bulanan 28 Supervisi Proyek DPSC dan CHC (Kabupaten Karangasem)*, Denpasar.
- Anonim, 1992, *Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1992 tentang Benda Cagar Budaya*, Jakarta.
- Anonim., 1979, *The Burra Charter*, Australia
- Anonim, 1988, *Diagnosis of Deterioration in Concrete Structure*, Technical Report No. 54, The Concrete Society, UK.
- Cormack, Jack, 2005, *Design of Reinforced Concrete*, 7th edition, W/y Publisher, *Desain Beton Bertulang Jilid 1*, Ed. V, 2005, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Galuh Chrismaningwang, 2008, *Efektivitas Material Perbaikan Soko Guru Dalem Ageng Pura Mangkunegaran*, Tesis Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta.
- Robert T. Ratay, 2005, *Structural Condition Assessment*, John Wiley & Sons. Inc., New Jersey.
- Sambowo, Kusno Adi, 2003, *Engineering Properties and Durability Performance of Metakaolin and Metakaolin-PFA Concrete*, Thesis University of Sheffield, UK.
- Susilorini, Retno, 2010, *Laporan Akhir Penelitian Pemanfaatan Material Lokal untuk Teknologi Beton Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan*, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang.
- Wang, Chu-Kia, Charles G. Salmon, 1985, *Reinforced Concrete Design*, Harper & Row, Inc., Binsar Hariandja (penterjemah), 1987, *Disain Beton Bertulang Jilid 1*, Ed. IV, Penerbit Erlangga, Jakarta