

94

LAPORAN RESEARCH GRANT
DANA DIPA-PNBP
UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
2011



**EVALUASI KERUSAKAN STRUKTUR JEMBATAN FLY-OVER
PULAU BRAYAN PASCA KEBAKARAN**

TIM PENELITI:

Drs. Sarwa, MT

Sutrisno, ST, MT

Andi Solahudin, ST, MT

Drs. Mintoro Priyadi, M.Si

Dr. Putri Lynna A. Luthan, M.Sc

Dibiayai oleh Dana PO Unimed SK Rektor No.0486/UN33.1/Kep/2011

Tanggal 30 Mei 2011

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK BANGUNAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
OKTOBER 2011**

**HALAMAN PENGESAHAN
PROPOSAL RESEARCH GRANT**

1	Judul	: EVALUASI KERUSAKAN STRUKTUR JEMBRAN <i>FLY-OVER</i> PULAU BRAYAN PASCA KEBAKARAN
2	Payung/Tema Penelitian	: Transportasi
3	Ketua a. Nama lengkap dan Gelar b. Pangkat, Golongan, NIP c. Jurusan/Fakultas d. Bidang Keahlian e. Alamat rumah f. Nomor telepon/HP g. Email	: Drs. Sarwa, MT Lektor Kepala, IVA, 19670413 199303 1 004 PTB/ Fak. Teknik Material Struktur Kom. Vetpur D-23, Medan Estate 087880363800 Sarwa_ewo@yahoo.com
4	Nama Anggota	: Sutrisno, ST, MT Andi Solahudin, ST, MT Drs. Mintoro Priyadi, M.Si Dr. Putri Lynna A. Luthan, M.Sc
5	Waktu pelaksanaan	: 5 bulan
6	Biaya yang diperlukan a. Sumber dari Unimed b. Sumber Lain c. Jumlah	: Rp. 10.000.000,- Rp. 10.000.000,-

Ketua Jurusan

Medan, Oktober 2011
Ketua Peneliti,


Drs. Asri Lubis, ST, M.Pd
NIP. 19571212 198203 1 002


Drs. Sarwa, MT
NIP. 19670413 199303 1 004

Mengesahkan
Kepala Penelitian Unimed

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik


Dr. Abdul Hamid K., M.Si
NIP. 19640630 198803 1 017


Prof. Dr. Abdul Hamid K., M.Pd
NIP. 19580222 198103 1 002

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan penelitian lapangan pada jembatan fly-over Pulau Brayan di Kota Medan pasca terjadinya kebakaran pada tanggal 18 Januari 2011. Penelitian ini merupakan penelitian pendahuluan dari rangkaian studi yang harus dilakukan. Tujuan penelitian ini hanya terbatas pada pemetaan kerusakan secara visual dari elemen struktur pascabakar. Penelitian dilakukan 4 hari setelah terjadinya kebakaran.

Secara umum ekspos api hanya mengenai sisi barat jembatan dari jalan Yos Sudarso. Kerusakan secara visual hanya mengenai sisi barat jembatan dari jalan Yos Sudarso sepanjang 3 bentang balok dan 2 baris kolom. Kerusakan terparah terjadi pada balok bentang ke-dua dari abutment barat dan kondisi kolom terparah terjadi pada baris ke-dua dari abutment. Prakiraan suhu yang terjadi pada daerah terparah pada kisaran 500°C-800°C. Secara umum tipikal kerusakan dalam bentuk pelepasan sisi permukaan elemen struktur dan hanya beberapa titik yang terjadi sampai tulangan terekspos. Penyebaran kerontokan/pelepasan (spalling) terjadi pada dua bentang di sisi barat terdekat abutment baik pada bagian kolom atau baloknya.

KATA PENGANTAR

Kegiatan penelitian sebagai elemen penting dalam pengembangan ilmu dan teknologi juga merupakan satu tugas dosen sebagai pengembangan ilmu. Lebih penting dari itu nilai manfaat praktis dan langsung dalam penyelesaian masalah di lapangan. Untuk itulah kegiatan penelitian awal tentang kondisi jembatan *fly-over* Pulau Brayan (*fly-over*) Pertahanan ini dilakukan sebagai ujud sumbang fikir secara akademik.

Pada bagian ini peneliti mengucapkan banyak terimakasih kepada Universitas Negeri Medan yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini. Kepada berbagai pihak yang telah banyak membantu dalam proses penelitian baik di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil FT UNIMED. Kepada semua tenaga teknisi dan anggota tim peneliti saya ucapkan terima kasih terlaksananya penelitian. Kepada pihak UNIMED kami ucapkan terima kasih atas dukungan dana melalui hibah penlitian (*Research Grant*) tahun anggaran 2011)

Akhirnya semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu dan penerapannya, dalam evaluasi *fly-over* Pulau Brayan lebih lanjut .

Medan, Oktober 2011
Ketua Peneliti,

Drs. Sarwa, MT

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Tujuan Penelitian	2
C. Batasan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
E. Beton Pascabakar	4
F. Standar Metode Uji Beton	8
G. Karakteristik Perubahan Material Pascabakar	9
H. Pengamatan Visual	10
I. Metode Dan Teknik Inspeksi yang Dibutuhkan	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
J. Obyek dan Alat Penelitian	14
K. Tahapan Penelitian	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
L. Peta Lokasi Fly-Over Pulau Brayan	16
M. Kerusakan Secara Umum	16
N. Kondisi Tumpuan dan Pier	17
O. Kondisi Kerusakan pada Balok	21
P. Penaksiran Beban Api pada Bagian Balok Terluar	25
BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	26
Q. Kesimpulan	26
R. Rekomendasi	26
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. . Kekuatan Sisa Beton Pasca Bakar pada Beberapa Perlakuan Suhu Pembakaran.....	8
Tabel 2.2. Metode Uji Beton di Lapangan.....	8
Tabel 2.3 Penilaian temperatur yang dicapai pada berbagai material dan komponen dalam kebakaran (Al-Mutairi dan Al-Shaleh, 1997)	9
Tabel 2.4 Criteria Penilaian Tingkat Kerusakan.....	13
Tabel 5.1. Kuat tekan rata-rata mortar pascabakar.....	19
Tabel 5.2. Kuat Tekan Sisa (%) Mortar pascabakar.....	20
Tabel 5.3. Kondisi Visual Mortar Pascabakar.....	23



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa penampilan retak permukaan pada beton pascabakar	11
Gambar 2.2 Retak karena tegangan lentur dan geser	12
Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitiann (sumber : maps.google.co.id).....	16
Gambar 4.2 Daerah kerusakan fly-over Pulau Brayan pasca kebakaran.....	17
Gambar 4.3 Kerusakan pada Tumpuan	18
Gambar 4.4 Kerusakan pada permukaan kolom.....	19
Gambar 4.5 Kerusakan pada permukaan pier.....	20
Gambar 4.6 Detail kerusakan pada bagian kolom terparah	20
Gambar 4.7 Kerusakan pada bagian kolom-balok	21
Gambar 4.8 Kondisi baja penggantung pipa PVC pasca bakar.....	22
Gambar 4.9 Kondisi kerusakan pada balok	22
Gambar 4.10 Kondisi kerusakan pada balok ujung terdekt <i>abutment</i>	23
Gambar 4.11 Kondisi kerusakan pada balok.....	24
Gambar 4.11 Kondisi pipa PVC pascabakar di bagian balok terluar.....	25



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa penampilan retak permukaan pada beton pascabakar	11
Gambar 2.2 Retak karena tegangan lentur dan geser	12
Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitiann (sumber : maps.google.co.id).....	16
Gambar 4.2 Daerah kerusakan fly-over Pulau Brayan pasca kebakaran.....	17
Gambar 4.3 Kerusakan pada Tumpuan	18
Gambar 4.4 Kerusakan pada permukaan kolom.....	19
Gambar 4.5 Kerusakan pada permukaan pier.....	20
Gambar 4.6 Detail kerusakan pada bagian kolom terparah	20
Gambar 4.7 Kerusakan pada bagian kolom-balok	21
Gambar 4.8 Kondisi baja penggantung pipa PVC pasca bakar	22
Gambar 4.9 Kondisi kerusakan pada balok	22
Gambar 4.10 Kondisi kerusakan pada balok ujung terdekt <i>abutment</i>	23
Gambar 4.11 Kondisi kerusakan pada balok.....	24
Gambar 4.11 Kondisi pipa PVC pascabakar di bagian balok terluar.....	25



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Jembatan layang (*fly over*) Pulau Brayan pada hari Rabu malam 18 Januari 2011 mengalami kebakaran yang cukup besar. Kebakaran ini telah menyebabkan kerusakan pada struktur balok (gelagar) jembatan mengalami kerusakan yang cukup parah. Salah satu petunjuk dari pengamatan visual balok mengalami retak-retak di sejumlah bagian. Berdasarkan evaluasi sekilas oleh pihak pengelola Jalan dan Jembatan wilayah Sumatera Utara menaksir bahwa daya tahan jembatan terindikasi menurun hingga 75 persen.

Untuk mengantisipasi kekhawatiran akan robohnya jembatan ini Pemkot Medan mengambil kebijakan sebagai upaya antisipasi pengamanan struktur dan penggunaannya dengan membuat larangan kendaraan bertonase besar melintas di atas jembatan tersebut. Dan dialihkan ke jalan sisi Fly Over, yang berada lintasan jembatan. Untuk memastikan kelayakan Fly Over, otoritas pemerinatah Kota Medan, mengakui kebijakan larangan melintas tersebut dibuat untuk sementara waktu menunggu hasil penyelidikan tim investigasi dari Kementerian Pekerjaan Umum. Sampai saat ini sistem pembatasan kendaraan yang diperbolehkan melintas masih diberlakukan sehubungan dengan belum dilakukannya studi investigasi dan analisis kerusakan dan perbaikannya.

Bila melihat fungsi Jembatan *fly over* Pulau Brayan yang sangat vital sebagai akses utama kendaraan pengangkut dari dan ke wilayah Medan bagian barat, kota Binjai dan Propinsi Nanggroe Aceh Darusalam diperlukan evaluasi kondisi jembatan lebih akurat sebagai dasar pelaksanaan pemulihannya. Secara ekonomis jembatan ini

merupakan urat nadi lalu lintas dan industri yang menghubungkan jalur barang dari Kota Medan menuju Pelabuhan Belawan dan sebaliknya.

Pemulihan (*recovery*) fungsi dan layanan Jembatan *fly over* Pulau Brayan harus dilakukan secepatnya untuk menjamin kelancaran transportasi barang menuju Pelabuhan Belawan dan Kota Medan bagian barat dan sebaliknya. Upaya pemulihan dan perbaikan fungsi Jembatan dilakukan dengan tahapan awal studi tingkat kerusakan struktur jembatan dan rekomendasi metode perbaikannya (*retrofitting*).

Sebagai langkah awal proses studi tentang analisis kerusakan Jembatan ada tiga tahapan utama yang harus dilakukan : 1) studi awal, 2) studi investigasi, dan 3) evaluasi dan rekomendasi teknik perbaikan. Studi awal dilakukan survey untuk memetakan titik-titik kerusakan secara detail termasuk tentang kondisi visual dari elemen struktur jembatan. Untuk itulah kami berkeinginan untuk membantu pelaksanaan evaluasi Jembatan *fly over* Pulau Brayan dalam tahapan awal untuk mensurvey dan memetakan kondisi kerusakan secara visual dan uji *non-destructive test*.

B. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gambaran kondisi kerusakan secara visual dan penaksiran sisa kekuatan mengacu pada referensi kondisi *existing* dibandingkan dengan perilaku perubahan material pascabakar.

1. Survey dan pemetaan kerusakan secara visual tentang Jembatan *fly over* Pulau Brayan pasca kebakaran.
2. Survey dan pemetaan kondisi retakan pada pada Jembatan *fly over* Pulau Brayan pasca kebakaran.

3. Survey dan pemetaan kondisi kekuatan sisa beton pada elemen struktur Jembatan *fly over* Pulau Brayan pasca kebakaran.

C. Batasan Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada tahapan studi awal untuk mendapatkan kondisi visual dari penampilan permukaan elemen struktur Jembatan *fly over* Pulau Brayan pasca kebakaran meliputi kondisi retakan, perubahan warna, dan kuat tekan sisa (*residual strength*) material beton bagian luar.

D. Manfaat Penelitian

Setelah hasil penelitian ini dilakukan dapat diperoleh informasi pemetaan kondisi kerusakan dan penampilan secara visual dan mekanik takasiran/estimasi. Hasil yang diperoleh akan dapat digunakan sebagai pedoman metode pelaksanaan dan teknik investigasi lebih lanjut. Berdasarkan peta kerusakan ini Tim *Forensic Engineer* sebagai tim yang akan menelaah tentang kerusakan material dan struktur akan terbantu dalam menentukan dan memilih metode dan peralatan yang diperlukan untuk investigasi. Informasi hasil insvestigasi tahap I merupakan pedoman untuk tahap selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Beton Pasca Bakar

Neville (1975) menyatakan terdapat tiga sifat yang sangat mempengaruhi perilaku beton dalam jangka panjang dengan berbagai kondisi, yaitu daya antar panas (*thermal conductivity*) yang merupakan rasio dari perubahan panas terhadap temperatur. Tingkat konduktivitas air kurang dari setengah tingkat konduktivitas pasta semen, sehingga semakin berkurang kandungan air dalam beton semakin tinggi tingkat konduktivitas beton dan kuat tekan beton bertambah.

Penyebaran panas (*thermal diffusivity*) yang merupakan luasan perubahan temperatur yang dapat terjadi pada suatu benda untuk menentukan hubungan antara waktu-perbedaan temperatur antara bagian dalam dan permukaan benda uji.

Kalor panas (*specific heat*) yang dinyatakan sebagai kapasitas panas beton, bertambah sejalan dengan bertambahnya kandungan air pada beton.

Addleson (1976) menyatakan bahwa pada temperatur yang tidak melebihi 150°C , kerusakan yang ditimbulkan pada struktur beton umumnya hampir tidak berarti. Telah diketahui bahwa kekuatan pada temperatur lebih dari 800°C sangat rendah dimana material utama hanya memberikan nilai kontribusi struktural.

Pengaruh lamanya pembakaran pada temperatur tinggi lebih penting daripada temperatur yang dicapai serta kemampuan struktur untuk kembali pada kekuatan semula setelah adanya pendinginan. Pada baja umumnya perubahan kekuatan dapat kembali semula, tidak demikian hanya dengan beton.

Malhotra (1982) menyatakan bahwa akibat temperatur yang tinggi akan menyebabkan turunnya berat jenis beton karena terjadinya pengurangan kandungan kelembaban dalam beton, tetapi karena besarnya pengurangan kecil, maka untuk keperluan praktis dapat diabaikan. Kekuatan tekan dari beton akan secara berturut-turut besarnya sisa kekuatan tekan adalah 95%, 62% dan 25%.

Modulus elastisitas menurun dengan adanya kenaikan temperatur, untuk faktor air semen 0,6 dan pembebanan statik didapatkan modulus elastisitas sisa 90%, 58% dan

40%, sedangkan untuk faktor air semen 0,4 didapatkan sisa 80%, 60% dan 48%. Dari grafik hubungan tegangan-tegangan dapat diketahui bahwa kekuatan ultimit pada beton yang dibakar sampai temperatur 400° C memberikan penurunan yang masih kecil sekitar 20%, tetapi pada temperatur tinggi sekitar 750%, kekuatan ultimit turun sampai 75%.

Castillo dan Durrani (1990) dalam penelitiannya terhadap beton mutu tinggi dengan variasi pemanasan antara 23° C sampai 800° C menyatakan, pada suhu antara 100° C sampai 300° C (212° F sampai 212° F) kehilangan kekuatan pada beton mutu tinggi lebih besar dari beton normal (15-20% dan 6-10%) dibanding kuat tekan pada suhu ruang. Di atas suhu 400° C, persentase penurunan kekuatan beton normal dan mutu tinggi hampir sama, tetapi pada suhu 800° C, kehilangan kekuatan mencapai 30% pada beton mutu tinggi. Terjadi penurunan modulus elastisitas sebanyak 5-15% pada temperatur 100° C -300° C dan 20-25% pada temperatur 800° C dibandingkan pada suhu ruang.

Poh dan Bennets (1995) menyebutkan bahwa banyak sekali faktor yang mempengaruhi perilaku struktur akibat kebakaran, antara lain variasi temperatur terhadap waktu; variasi temperatur sepanjang penampang (melintang dan memanjang) ; pengaruh temperatur terhadap bahan material ; sifat nonlinier material ; bentuk geometri nonlinier ; kombinasi gaya (beban aksial dan lentur biaksial) ; kemungkinan tanpa pembebanan; pembebanan kembali serta pembebanan sekitar siklik material; cacat awal (tegangan sisa); pengekangan eksternal (biasanya pada bagian akhir komponen struktur).

Partowiyatmo (1996) membahas tentang pengaruh temperatur tinggi khususnya pada sifat beton saja, dengan variasi temperatur, umur beton dan kandungan air (w/c) Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada temperatur 400° C sisa kuat tekan beton sekitar 80%, sedangkan pada temperatur 700° C tinggal 35% dari nilai kuat tekan beton awal. Di atas 700° C penurunan kuat tekan beton sudah tidak berarti lagi.

Al-Mutairi dan Al-Shaleh (1997) dalam penelitiannya menyatakan, sampai temperatur 300° C (572° F) beton mengalami pengurangan kandungan air, yang mengakibatkan sedikit pengurangan terhadap kuat tekan dimana perubahan tersebut tidak signifikan dan dapat diabaikan, tidak demikian dengan hal untuk temperatur diatas 300°

C (572° F) kuat tekan akan berkurang secara signifikan; kuat tarik langsung berkurang dan berangsur-angsur berkurang sejalan dengan peningkatan temperatur, pada temperatur 300° C (572° F) sampai 600° C (1144° F) warna beton menjadi merah jambu dan terjadi penurunan kekuatan yang cukup signifikan disertai *spalling* dan retak-retak berjarak dekat setebal 25 mm-50 mm terlihat terpisah dari masa struktur beton; serta pada temperatur di atas 600° C (1144° F) beton menjadi berwarna putih keabu-abuan, sedangkan pada temperatur di atas 900° C (1652° F) warna beton menjadi lebih buram dengan kondisi sangat lemah dan rapuh (*brittle*).

Terro dan Hamoush (1997) meneliti bagaimana pengaruh perkuatan pada beton yang dibakar. Benda uji yang berupa silinder menggunakan *siliceous aggregate* dengan perkuatan berupa tulangan spiral. Pemanasan dan pendinginan dilakukan secara bergantian sampai lima siklus. Pemanasan dilakukan pada temperatur 100° C, 200° C, 300° C, 400° C dan 700° C. Hasil uji kuat tekan silinder bertulangan spiral ini memperlihatkan adanya kenaikan 20%-30% dibandingkan dengan silinder tanpa tulangan, khususnya pada temperatur di atas 400° C. Selain itu perkuatan silinder dengan tulangan spiral ini menaikkan regangan maksimum yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa material tetap daktail walaupun modulus elastistas yang rendah.

Crozier, Sanjayan dan Liew (1998) membahas kekuatan sisa (*residual strength*) balok mutu tinggi yang di bakar. Dari hasil uji tekan silinder beton didapatkan sisa kuat tekan pada temperatur 200° C, 400° C, 600° C dan 800° C berturut-turut sebesar 98,5%; 65,8%; 39,1%; dan 19,9% dibandingkan kuat tekan silinder pengontrol. Sedangkan pada balok beton bertulang, sisa momen ultimit yang dapat ditahan balok yang dibakar pada 200° C, 400° C, 600° C dan 800° C sebesar 93%; 83%; 65% dan 40% dengan sisa kuat geser balok sebesar 97% dan 74% pada temperatur 200° C dan 400° C, dan pada temperatur 600° C dan 800° C tidak didapatkan hasil, karena balok meledak sebelum mencapai temperatur tersebut.

Secara lebih rinci berbagai prosedur penilaian (bagian) struktur bangunan pasca kebakaran telah dilakukan antara lain oleh *Nassif, Burley dan Rigden (1995)* serta *Chew (1993)*, dimana dalam suatu kegiatan rekayasa forensik mencakup tiga tahap kegiatan penting sebagai berikut :

1. Pengumpulan data struktur untuk memperoleh gambaran awal struktur bangunan yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dari dokumen spesifikasi dan *as-built drawing*.
2. Pengujian material, berupa pengujian tak merusak (*non-destructive test*) yaitu dengan alat UPV (*Ultrasound Pulse Velocity*), dan/atau *Hammer test*, serta pengujian merusak (*destructive test*) dengan cara *core drill* dan *compressive test*, atau kombinasi keduanya.
3. Analisis degradasi struktur, yaitu untuk mengetahui kapasitas nilai sisa dari kinerja bangunan secara keseluruhan, serta memenuhi syarat kestabilan dan integritas. Struktur bangunan dengan geometri simetris yang mengalami degradasi di salah satu bagian elemen strukturnya akan menjadi tidak simetris.

Kay (1992) menyatakan suatu sistem klasifikasi untuk struktur bangunan yang rusak akibat kebakaran telah ditetapkan oleh *Concrete Society* (Inggris), yang terdiri dari 5 kelas kerusakan pada kolom, dinding, lantai dan balok beton, yaitu kelas 0, yang tidak terpengaruh atau daerah luar dari kebakaran; kelas 1, beberapa plesteran atau lapisan lainnya lepas, warna beton tetap, tidak ada retak, defleksi atau penyimpangan lainnya hanya pada benturan kecil; kelas 2, kehilangan yang besar pada plesteran atau lapisan lainnya, permukaan beton berwarna merah jambu tergantung dari jenis agregatnya. >25% tulangan utama balok tidak terlindungi tanpa terjadi tekuk (*buckling*) atau >10% tidak terlindungi tetapi tetap berada pada dinding atau plat lantai; kelas 3, kehilangan total plesteran atau lapisan lainnya, permukaan beton berwarna abu-abu, retakan kecil terjadi tanpa adanya penyimpangan atau defleksi kolom dan elemen lainnya. Akibat ledakan, >50% tulangan utama tidak terlindungi tetapi tetap berada pada dinding dan plat lantai. Hanya satu tulangan pada balok atau kolom yang tidak terlindungi terjadi teku; kelas 4, Plesteran atau lapisan lainnya rusak parah. Permukaan beton berwarna kuning-kuningan. Retak yang besar terjadi pada kolom; retak yang berarti dan besar pada elemen lainnya. Penyimpangan atau defleksi yang berarti dan besar pada elemen lainnya. Hampir semua permukaan meledak dengan >50% tulangan utama pada balok dan kolom tidak terlindung dan >20% terpisah dari dinding atau plat lantai. Lebih dari satu tulangan terjadi tekuk pada balok dan kolom.

Table 2.1. Kekuatan Sisa Beton Pasca Bakar pada Beberapa Perlakuan Suhu Pembakaran *)

Suhu Pembakaran (°C)	Kuat Tekan Sisa (%)					
	Malhotra	ASTM	Djoko Wahjono	Andang	Armand	Patterson
200	95	75	95	105	105	92
400	75	50	78	70	88	71
600	40	20	52	25	50	20
800	15	-	-	15	25	-

*) dimodifikasi dari beberapa sumber

B. Standar Metode Uji Beton

Standar pengujian karakteristik material beton yang harus dilakukan sesuai dengan tujuan pengujian disajikan pada Tabel 2.2. Metode Pengujian visual retakan dan uji mekanik dapat dilakukan *Rebound Hammer Test* (karakter mekanik).

Tabel 2.2. Metode Uji Beton di Lapangan *)

Information required	Methods available
Member behavior and strength	Load test with deflection and strain measurement
Concrete strength	Cores test Rebound hammer test Pull-out&internal fracture test Break-off and pull-off test Penetration resistance test
Crack	UPV (ultra pulse velocity) test UPV (ultra pulse velocity) test Acoustic emission & holography
Honeycombing and compaction	UPV test α -radiography Cores test Pulse echo techniques
Density	α -radiometry
Permeability	Absorption, flow test and capillary rise
Moisture content	Nuclear methods Electrical resistivity Microwave absorption

Information required	Methods available
Cement content	Chemical analysis
Mix properties and constituents	Nuclear methods
	Chemical analysis
	Cores test
Reinforcement detection	Micrometric methods
	Magnetics methods
Concrete deterioration	X and α -radiography
	Chemical analysis
	Thermoluminescence
	UPVtest
Abrasion resistance and soundness	Micrometric methods
	Rebound hammer test
	Wear test
	Physical methods

¹⁾ Bungey, J.H (1982)

C. Karakteristik Perubahan Material Pascabakar

Sebagai dasar untuk untuk menaksir beban api yang pernah terjadi pada material diperlukan referensi perilaku dan perubahan visual material. Table 2.2 menunjukkan pedoman perubahan material metal dan metal setelah terekspos oleh api.

Tabel 2.3. Penilaian temperatur yang dicapai pada berbagai material dan komponen dalam kebakaran (Al-Mutairi dan Al-Shaleh, 1997)

Substances	Typical examples	Conditions	Approximate Temperatur (°C)
Polystyrene	Thin wall food containers	Collapse	120
	Foam, light shades, handles,	Softens	120-140
Polyethylene	Curtain hooks, radio casing	Melts and flows	250
	Bags, film	Shrives	120
	Bottles, buckets	Melts and flows	150
Polymethyl Methacrylane	Handles, covers, "glazing"	Softens	130-200
		Bubbles	250
Celluloce	Wood, paper, cotton	Darkens	200-300
Solder	Plumbing joins	Melts	250
Lead	Plumbing	Melts, sharp edges rounded	300-350
Aluminium	Fixtures, casings	Softens	400
		Melts	650
Glass	Glazing, botles	Softens	700-800
		Flowing easily	850
Silver	Jewellery, spoons	Melts	950
Brass	Locks, taps	Melts (particularly at edges)	800-1000
Copper	Wiring	Melts	1100
Cast iron	Radiators	Melts	1100-1200

D. Pengamatan Visual

Tes visual mungkin yang paling penting dari semua non-destruktif tes. Hal ini seringkali dapat memberikan informasi berharga untuk mata yang terlatih. Fitur visual bagi insinyur sangat penting dapat untuk membedakan antara tanda-tanda berbagai tegangan yang mungkin ditemui, misalnya, retak, pop-out, spalling, disintegrasi, perubahan warna, pelapukan, noda permukaan, dan kurangnya keseragaman warna. Keluasan informasi yang dapat dikumpulkan dari inspeksi visual dapat memberikan indikasi awal dari kondisi struktur dan memungkinkan perumusan program pengujian berikutnya. Para pengamat visual tidak harus dibatasi hanya untuk struktur yang sedang diselidiki. Harus mencakup struktur tetangga, lingkungan sekitar dan iklim kondisi. Ini mungkin juga adalah aspek yang paling sulit dari penyelidikan structural keseluruhan atau setiap proses diagnostik karena apa yang tampak jelas bagi seseorang mungkin tidak begitu bagi yang lain. Pentingnya dan manfaat dari proses survei visual yang tidak boleh diremehkan. Seringkali kelalaian apa yang tampak menjadi bukti signifikan dapat mengakibatkan kesimpulan yang salah. Keuntungan dari mata yang terlatih paling baik dijelaskan oleh Sherlock Holmes ketika dia menulis: "Saya tidak melihat lebih dari Anda tetapi saya telah melatih diri untuk memperhatikan apa yang saya lihat."

Peralatan untuk Inspeksi Visual

Seorang insinyur melakukan survei visual yang harus dilengkapi dengan alat untuk memfasilitasi proses pemeriksaan. Proses itu memerlukan sejumlah peralatan dan aksesoris umum seperti mengukur perekam video atau perekam visual lainnya, spidol, termometer, anemometers dan lain-lain. Teropong, teleskop, borescopes dan endoskopi atau teropong serat lebih mahal mungkin berguna di mana akses sulit diperoleh. Sebuah lebar retak mikroskop atau alat pengukur lebar retak yang berguna, sementara kaca pembesar atau portable mikroskop berguna untuk pemeriksaan lebih dekat. Sebuah kamera yang baik dengan zoom yang diperlukan dan lensa mikro dan aksesoris lainnya, seperti filter polarisasi, memfasilitasi bergambar dokumentasi cacat, dan grafik warna portabel sangat membantu dalam mengidentifikasi variasi dalam warna beton. Informasi kelengkapan gambar yang

relevan menunjukkan pandangan rencana, elevasi dan rincian struktural yang khas yang memungkinkan perekaman pengamatan akan dibuat.

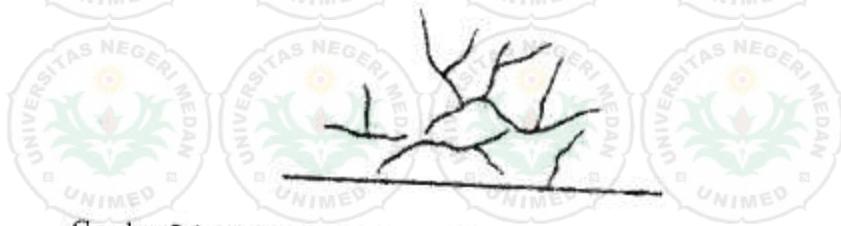
Tata Cara Inspeksi Visual

Sebelum tes visual dapat dibuat, insinyur harus membaca dengan teliti semua struktural yang relevan gambar, rencana dan elevasi untuk menjadi akrab dengan struktur. Tersedia dokumen juga harus diperiksa dan ini termasuk spesifikasi teknis, laporan terakhir dari tes atau pemeriksaan yang dibuat, catatan konstruksi, rincian bahan yang digunakan, metode dan tanggal konstruksi, dll

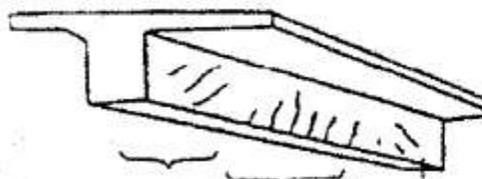
Survei harus dilakukan secara sistematis dan menutupi hadir cacat, saat ini dan masa lalu penggunaan struktur, kondisi struktur yang berdekatan dan lingkungan kondisi. Semua cacat harus diidentifikasi, gelar diklasifikasikan, mirip dengan yang digunakan untuk api beton rusak dan, jika mungkin, penyebab diidentifikasi. Distribusi dan tingkat cacat harus jelas diakui. Sebagai contoh apakah cacat acak atau muncul dalam pola tertentu dan apakah cacat terbatas pada lokasi tertentu dari anggota atau hadir di seluruh struktur. Perbandingan visual dari anggota serupa sangat berharga sebagai awal untuk pengujian untuk menentukan tingkat masalah dalam kasus tersebut. Sebuah studi tentang struktur serupa atau struktur lain di daerah setempat dibangun dengan bahan yang sama.

Tipikal Kerusakan untuk Pengamatan

Berdasarkan pengalaman empirik sebagai pedoman terbaik, tipikal kerusakan retak permukaan disajikan pada Gambar berikut. 2.1-2.2 adalah merupakan sketsa cacat khas yang ditemukan dalam struktur beton pasca bakar.



Gambar 2.1 Sketsa penampilan retak permukaan pada beton pascabakar



Gambar 2.2 Retak karena tegangan lentur dan geser

E. Metode Dan Teknik Inspeksi yang Dibutuhkan

Berbekaldari informasi kondisi bangunan pascabakarakan bisa diperiksa secara visual. Hal ini mungkin memerlukan penggunaan teropong untuk melihat lebih banyak atas bagian-bagian dari bangunan yang sulit diakses. Inspeksi visual perlu dikonsentrasikan pada bidang-bidang yang paling mungkin untuk menunjukkan detail kerusakan, yaitu kolom, balok dan daerah lantai, khususnya daerah-daerah dimana daerah konsentrasi tegangan. Daerah sudut lantai perlu diperiksa dari bagian atas, tengah dan bawah. Setiap celah yang diidentifikasi perlu dilakukan pencatatan. Pada akhir penilaian kita dapat memberikan perkiraan kasar dari kondisi bangunan secara keseluruhan. Jika retakan, bongkahan yang terangkat, pengelupasan kulit, permukaan dan kebocoran air ditemukan mungkin perlu melakukan survei yang lebih rinci pada tahap berikutnya. Keputusan ini biasanya dibuat penyajian tingkatan penurunan kekuatan elemen struktur. Pedoman penentuan tingkat kerusakan berdasarkan kriteria tertentu ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Jika retak telah diklasifikasikan dalam tingkatan III sesuai survei pertama, maka survey kedua diperlukan penentuan pola, lebar dan kedalaman retak dan penyebab-penyebabnya. Sebuah palu dapat digunakan untuk uji suara di daerah sekitar retak. Beton padat akan menghasilkan suara yang berbeda dari beton berisi kosong. Jika retak hanya di lapisan di atas beton maka penilaian lebih lanjut diperlukan. Namun, jika retak merambat lebih ke dalam beton dan tidak hanya retak pada bagian permukaan, lebar retak diukur. Jika perlu, bukti dari lokasi retak dapat direkam dengan sebuah foto. Pedoman penilai retakan dapat diacu dengan seperti menggunakan Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Criteria Penilaian Tingkat Kerusakan

Kind of deterioration	Unit for classification	Grade I	Grade II	Grade III
Cracks along main bars	No. of 1 m crack lengths per 100m ²	0	1-2	3 and over
Cracks along supplementary bars	No. of 1 m crack lengths per 100m ²	0-2	3-4	5 and over
Cracks around openings	Number of cracks for 10 openings	0-2	3-4	5 and over
Mesh cracks	Area of meshed cracks as a %	less than 5%	5-10%	10% and over
Other cracks	No. of 1m crack lengths per 100m ²	0-4	5-9	10% and over
Lifting	(Area lifted/area of side)%	Less than 1%	1-3%	3% and over
Exfoliation - only on finished layer	(Exfoliated area/area of side) %	0%	0-1%	1% and over
No explosion of bars	Number per 100 ²	0	0	1% and over
Explosion of bars	Number per 100 ²	0	0	1% and over
Deteriorated surface				
• stain on surface	no. per 100 ²	0	less than 2	2 and over
• efflorescence	no. per 100 ²	0		4 and over
• pop out	no. per 100 ²	0		1 and over
• weakened surface	% of weakened	less than 1%		3% and over
• other stain	% of weakened	less than 1%		5% and over
Water leaking		no	no	yes
Abnormal structural movement or deflection		no	no	yes

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Obyek dan Alat Penelitian

Obyek penelitian ini adalah struktur Jembatan *Fly Over Pulau Brayon existing* di Kota Medan.

Alat yang digunakan adalah meliputi :

1. Camera Digital 15 MegaPixel.
2. Alat *Rebound Hammer Test* untuk uji mekanik beton.
3. Kaca pembesar.
4. Pita ukur
5. Alat pengukur lebar retakan

B. Tahapan Penelitian

Pelaksanaan pengambilan dan pengamatan visual dilakukan 4 hari setelah terjadinya kebajaran (22 Januari 2011), studi lebih lanjut dilakukan untuk melengkapi pemetaan dilakukan secara bertahap sampai bulan Agustus 2011.

1. Persiapan : dilakukan untuk mengetahui titik yang harus diamati.
2. Pemberian tanda-tanda titik yang akan diamati.
3. Uji visual : rekaman kondisi retak dan warna pada titik yang telah ditandai.
4. Pengujian tekan dengan *Rebound Hammer Test*.

Teknik Analisis dan Penafsiran Hasil Penelitian :

Analisis dan pembahasan penelitian dilakukan pada data visual dalam bentuk foto dan pengamatan langsung secara optikal dengan mata.

1. Data sisa kuat tekan BPB akan ditampilkan secara deskriptif dalam bentuk peta atau konfigurasi tentang kondisi retakan tekan sisa BPB berdasarkan kondisi lapangan.

2. Data sisa kuat tekan BPB akan ditampilkan secara deskriptif dalam bentuk peta atau konfigurasi tentang kondisi visual (warna) BPB berdasarkan kondisi lapangan.
3. Data sisa kuat tekan BPB akan ditampilkan secara deskriptif dalam bentuk peta atau konfigurasi tentang kondisi kuat tekan sisa BPB berdasarkan kondisi lapangan.

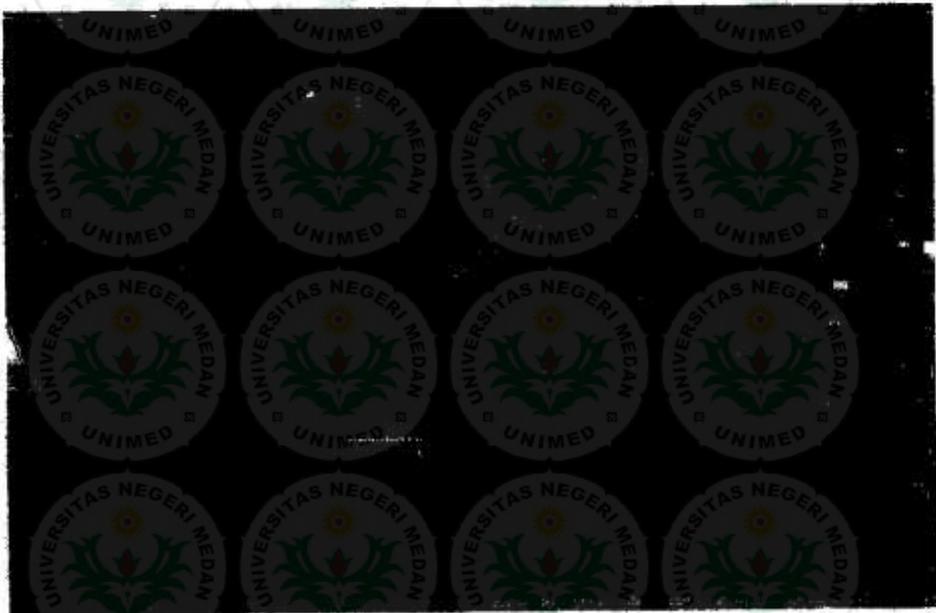


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Peta Lokasi Fly-Over Pulau Brayan

Jembatan *Fly-over Pulau Brayan* dikenal juga dengan *Fly-overPertahanan* karena menghubungkan jalan *Pertahanan* dan jalan *Pertempuran* di Kota medan. Jembatan ini dibangun untuk memabgi kepadatan lalu lintas di persimpangan jalan *Pertahanan* (lingkar luar utara) kota Medan yang merupakan jalur angkutan utama mobil besar (truk) pembawa barang dari arah kota Binjai atau dari wilayah Nangroe Aceh Darussalam (NAD) kea rah pelabuhan Belawan atau sebaliknya.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitiann (sumber : maps.google.co.id)

B. Kerusakan Secara Umum

Proses pengambilan data ini dilakukan 4 hari pasca kebakaran. Seara umum kerusakan jembatan hanya dialami pada sisi barat fly-over sebanyak 3 bentangan gelagar. Tingkat kerusakan jembatan secara umum terbagi atas 3 zona tingkat kerusakan. Tingkat kerusakan terparah dialami pada bentang bagian tengah, kerusakan pada bagian sisi barat (ujung tumpuan)

pada kerusakan tingkat 2 setelah bentang tengah. Pada bentang pada bagian yang terdekat jalan Yos Sudarso relative masih utuh. Secara skema atau denah zona kerusakan seperti gamabr 4.1.



Gambar 4.2 Daerah kerusakan fly-over Pulau Brayan pasca kebakaran

C. Kondisi Tumpuan dan Pier

Struktur fly over yang ter-ekpos api adalah pada sisi barat jalan Yos Sudarso ke arah jalan Pertempuran. Ada 3 bentang/span gelagar balok dengan beton pra-cetak pra-tegang (prestress precast concrete) berbentuk girder I yang ditumpu pada 3 baris tumpuan kolom dan tumpuan *abutment* di ujung barat. Tingkat kerusakan berdasar analisis visual terparah di bentang bagian tengah (Gambar 4.1). Kerusakan pada struktur tumpuan (*support*) jembatan terparah adalah kolom yang menumpu bentang tengah dan dan bentang paling barat.



a) Kerusakan Tumpuan sisi barat-selatan



b) Kerusakan Tumpuan sisi barat-utara

Gambar 4.3 Kerusakan pada Tumpuan

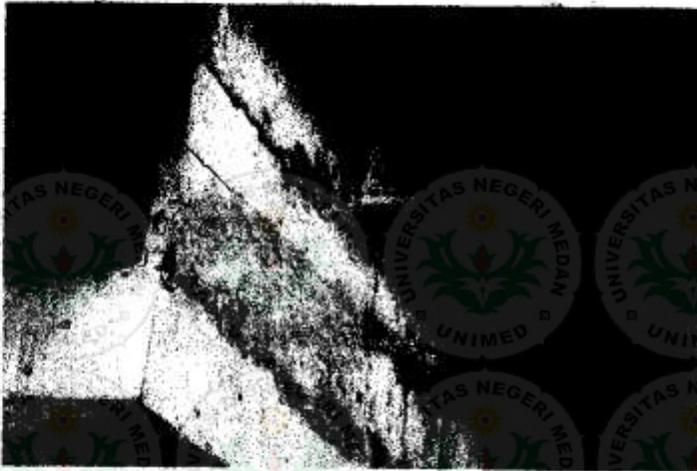
Secara visual tingkat kerusakan pada struktur kolom ini cukup parah, dengan estimasi ekspos suhu pada rentangan 500-800°C. Dengan referensi kondisi rontokan pada pagian kulit (permukaan) kolom yang cukup parah, kondisi pipa saluran pembuangan air yang terbuat dari bahan *poly vinyl chloride* (PVC) yang telah leleh maka di pastikan temperature di daerah yang paling parah telah mencapai 500 °C tetapi belum mencapai 1000°C. Dampak dari tingginya perkiraan suhu yang terjadi akibat material beton pada bagian di sisi dalam cukup berbahaya. Secara teori suhu 500 °C dapat menurunkan kekuatan beton sampai 50%. Pada level 800 °C kekuatan beton sudah pada ambang kritis (20%) hanya mampu mempertahankan bentuk (diri) tetapi

tidak bias menerima beban lagi. Teori ini berlaku hanya pada kedalaman 5 cm pada bagian luar elemen struktur manakala lama pembakaran berlangsung 4 jam atau lebih.

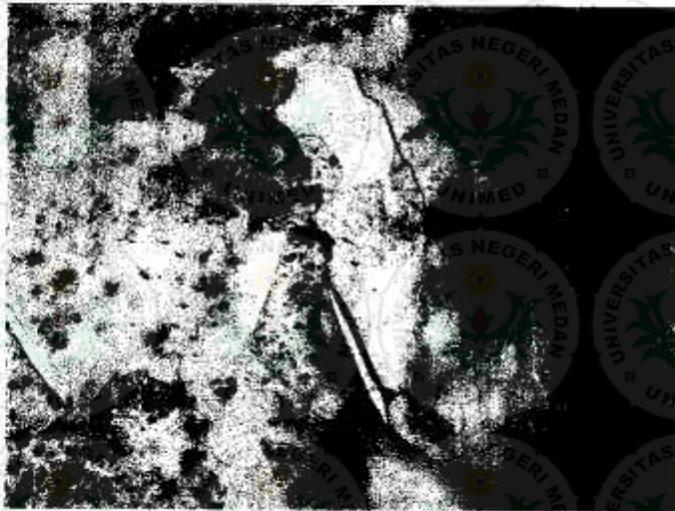


Gambar 4.4 Kerusakan pada permukaan kolom

Bila mengacu pada Gambar 4.4 yang menampilkan kondisi kolom secara visual bagian luar relatif parah, dengan terjadinya pengelupasan permukaannya. Sedang bila dilihat dari Gambar 4.5 kondisi ujung kolom (kepala) bagian samping dan bawah sangat parah. Retakan sangat lebar mungkin sampai ke bagian yang lebih dalam, tapi diperlukan juga melepaskan bagian permukaan yang retak untuk mendeteksi bagian bagian dalam.



Gambar 4.5 Kerusakan pada permukaan pier



Gambar 4.6 Detail kerusakan pada bagian kolom terparah

Kondisi kerusakan pada kolom terparah ditunjukkan dengan pengelupasan (*spalling*) bagian kulit tidak sampai pada pelepasan/kerontokan agregat kasar. Secara visual kondisi ini menunjukkan besarnya suhu pembakaran relative besar dari 500°C pada bagian permukaan. Tetapi penetrasi atau kedalaman kerusakan belum bisa ditaksir dari analisis visual, diperlukan uji lebih lanjut.

D. Kondisi Kerusakan pada Balok



Gambar 4.7 Kerusakan pada bagian kolom-balok

Kerusakan sisi bagian bawah balok secara visual dapat dilihat dari warna dan tekstur menunjukkan kondisi yang cukup parah. Warna merah bata menunjukkan ekpos api telah melampaui 500°C , diperkuat engan indikasi pengelupasan dan rontokan pada bagian permukaan balok. Tetapi dengan mengacu pada kondisi baja pengikat (klem) seperti digambarkan pada Gambar 4.8, instalasi drainase yang masih utuh tetapi pipa PVC yang tidak bersisa, suhu pemanasan belum mencapai 1000°C .

Kerusakan lebih dalam belum bisa dianalisis hanya dari data visual warna atau retak permukaannya saja. Untuk mengetahui kondisi lebih detail tentang kerusakan struktur balok diperlukan pengujian lebih lanjut. Data visua belum secara dapat menaksir kekuatan struktur jembatan secara keseluruhan.



Gambar 4.8 Kondisi baja penggantung pipa PVC pasca bakar



Gambar 4.9 Kondisi kerusakan pada balok

Berdasarkan gambar 4.9 dapat dijelaskan bahwa kondisi kerusakan cukup parah secara visual dengan indikasi terjadi kerontokan pada bagian susut balok. Secara material pada sisi luar struktur balok telah terdegradasi pada level paling rendah mendekati 0%. Informasi tentang kondisi beton lebih dalam tidak bias dijelaskan di sini.

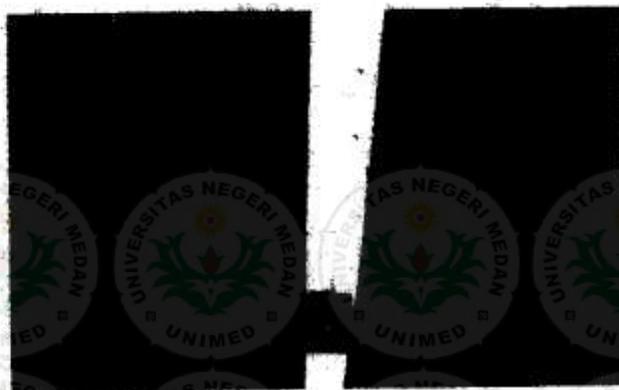
Kerusakan pada balok di ujung bentang yang terdekat dengan tumpuan (*abutment*) barat secara visual hanya kerusakan ringan yang ditunjukkan dengan penampilan warna yang menghitam. Indikasi warna hitam ini bukan *jelaga* (karbon) yang menempel, tetapi perubahan warna beton dari kondisi awal yang berwarna abu-abu. Bila dibandingkan dengan bentang ke-

dua dari tumpuan, maka kerusakan balok pada bentang ujung barat relative lebih ringan. Seperti ditunjukkan pada gambar 4.10 di bawah, dimana kerontokan terjadi di sepanjang balok.



Gambar 4.10 Kondisi kerusakan pada balok ujung terdek *abutment*

Berbeda dengan kondisi balok pada bentang ke-dua dari *abutment* keruskn dalam bentuk rontokan terjadi disepanjang balok seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



a) Penyebaran kerusakan pada balok



b) Kerusakan pada titik terparah struktur balok



c) Kerusakan pada balok (ekspos tulangan)

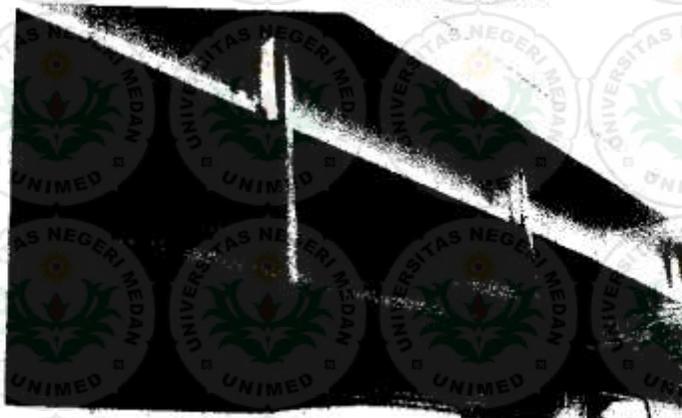
Gambar 4.11 Kondisi kerusakan pada balok

E. Penaksiran Beban Api pada Bagian Balok Tertuar

Balok terluar yang dimaksud adalah balok pada tepi kanan kiri arah melebar jembatan. Berdasarkan penampilan kondisi sisa pipa PVC yang masih tergantung pada beberapa titik (Gambar 4.12) dapat ditarik kesimpulan bahwa suhu pemanasan masih di bawah 400°C , artinya kerusakan pada bagian ini relatif belum berbahaya.



a) PVC masih utuh secara bentuk



b) PVC telah mencapai titik leleh

Gambar 4.11 Kondisi pipa PVC pascabakar di bagian balok terluar

BAB V

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

A. Kesimpulan

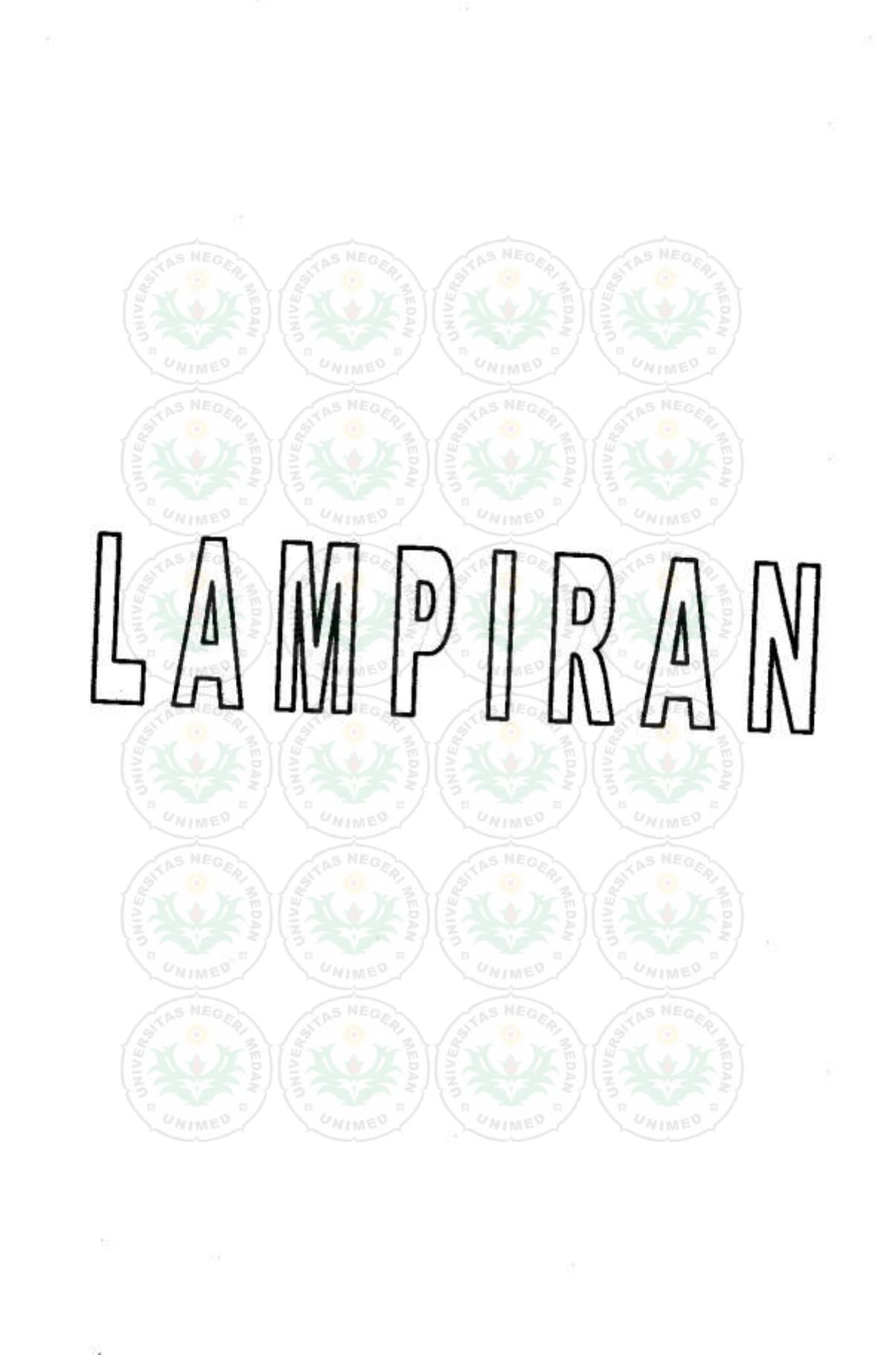
1. Ekpos terjadi hanya pada bagian sisi barat jembatan.
2. Tingkat Kerusakan Balok paling berbahaya hanya pada bentang dua dari tumpuan barat arah Jalan Pertempuran.
3. Kolom yang paling parah tingkat kerusakannya hanya pada baris ke-dua dari tumpuan barat arah Jalan Pertempuran.
4. Prakiraan suhu api yang terjadi pada bagian yang paling parah pada kisaran 500-800°C.
5. Karakteristik kerusakan paling parah dalah pengelupasan bagian beton luar pada balok sampai kondisi tufangan begel terlihat.
6. Diperkirakan kesukan penurunan mutu beton hanya pada 5 cm bagian terluar dengan estimasi hanya tinggal 25% dari kekuatan awal.
7. Kekuatan balok, kolom, atau jembatan secara keseluruhan diperlukan studi lanjut dengan instrumen standar yang bisa mendeteksi kondisi pada bagian yang lebih dalam.

B. Rekomendasi

1. Analisis atau studi lanjut diperlukan pada pada bentang dua dan kolom baris ke-dua dari tumpuan barat arah Jalan Pertempuran.
2. Kerusakan pada bagian balok atau kolom masih relatif aman untuk menerima beban normal sesuai desain.
3. Metode pengujian difokuskan pada pada bentang dua dan kolom baris ke-dua dari tumpuan barat arah Jalan Pertempuran.

Daftar Pustaka

- ACI Manual 216R-89, Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements, Reapproved 1994)
- Anonim, 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 NI-2*, Bandung : DPMB Departemen Pekerjaan Umum RI
- Anonim, 1991, "*Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*", SK SNI-M-14-1989, Bandung : Badan Penerbit DPU
- Anonim, 1992, "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Rumah dan Gedung*", SNI.03-2487-1992, Bandung : Badan Penerbit DPU
- Anonim, 1997, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (318R-95)*
- Gustaferro.,A.H, 1996, *Design Criteria : Fire Resistance*, Handbook of Concrete Engineering, New York : McGraw Hill
- Malhotra, H.L., 1982, *Design of Fire-Resisting Structures*, New York: Surrey University Press
- Mark Fintel, 1987, *Buku Pegangan Tentang Teknik Beton*, Jakarta :Pradnya Paramita
- Richard Stoddard, 2002, *Inspection And Repair Of A Fire Damaged Prestressed Girder Bridge*, Project Report of Puyallup River Bridge Railroad After Expose to Tanker Fire, December 2002
- Sarwa, 2000, Pengaruh Penetrasi Panas terhadap Degradasi Kuat Tekan Beton Pascabakar, Thesis S-2 UGM
- www.concretecentre.com, 2004, *Concrete and Fire* , Concrete Centre



LAMPIRAN

Lampiran :

FOTO JEMBATAN/FLY-OVER BRAYAN PASCA BAKAR
(Gambar diambil 5 Hari Setelah Kejadian)



Tampak samping jembatan pascabakar



Tampak kolong jembatan pascabakar



Kondisi bagian kolom dan balok yang paling parah kerusakannya



Kondisi pipa PVC pascabakar sebagai pedoman perkiraan suhu pemanasan



Kondisi pipa PVC pascabakar sebagai pedoman perkiraan suhu pemanasan



Kondisi pipa PVC pascabakar sebagai pedoman perkiraan suhu pemanasan



Kerusakan pada bagian Kolom (terdekat denggan tumpuan barat)



Detail kerusakan pada bagian Kolom (terdekat denggan tumpuan barat)



Detail kerusakan pada bagian Kolom (terdekat dengan tumpuan barat)



Kondisi pipa PVC pascabakar sebagai pedoman perkiraan suhu pemanasan



Detail kerusakan pada bagian *pier* kolom (terdekat dengan tumpuan barat)



Detail kerusakan pada bagian *balok* (bentang ke-2 dari tumpuan barat)
Dengan petunjuk baja sebagai pedoman perkiraan suhu yang terjadi



Detail kerusakan pada bagian *balok* (bentang ke-2 dari tumpuan barat)



Detail kerusakan pada bagian *balok* (bentang ke-2 dari tumpuan barat)



Detail kerusakan pada bagian *pier* kolom (terdekat dengan tumpuan barat)



Detail kerusakan pada bagian *pier* kolom (terdekat dengan tumpuan barat)



Detail kerusakan pada bagian *kolom* (terdekat dengan tumpuan barat)
Dengan petunjuk baja sebagai pedoman perkiraan suhu yang terjadi



Detail kerusakan pada bagian *kolom* (baris kedua dari jalan Yos Sudarso)