

ASPEK DURABILITAS MATERIAL BETON PADA KONSTRUKSI JEMBATAN

DURABILITY ASPECT OF CONCRETE MATERIALS AT BRIDGE CONSTRUCTION

Ariyadi Basuki

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Jl. Sangkuriang No. 14, Bandung
Email: ariyadib@gmail.com

Diterima: 17 Oktober 2013

Direvisi: 13 November 2013

Disetujui: 18 Desember 2013

ABSTRAK

Untuk menjamin kelayakan pakai dari suatu konstruksi jembatan beton, perlu adanya upaya pengamatan secara berkala guna memastikan tingkat degradasi yang terjadi. Permasalahan yang sering ditemui adalah kerusakan pada permukaan beton karena pengelupasan selimut beton dan korosi. Selain itu, upaya perawatan dan inspeksi yang jarang dilakukan, sehingga proses kerusakan tersebut terakumulasi dari tahun ke tahun. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dilakukan serangkaian kegiatan pengamatan, uji mutu dan kelaikan dari konstruksi jembatan beton. Fokus pengamatan terutama pada aspek durabilitas dari permukaan sisi bawah jembatan yang terindikasi lembab dan terdapat pelapukan. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengamatan pada lokasi untuk mendata, melakukan identifikasi jenis, tingkat dan klasifikasi kerusakan, hingga menelusuri penyebab utama dari kerusakan tersebut, serangkaian pengujian yaitu: penilaian kekuatan beton, tingkat karbonasi, tingkat kepadatan material beton, tingkat kekerasan permukaan beton, deteksi ketebalan selimut beton dan deteksi potensi korosi pada selimut beton. Dari hasil pengamatan ditemukan retakan memanjang pada sisi bawah jembatan dengan lebar 0,5–0,8 mm, indikasi keropos dan delaminasi pada sisi dinding. Hasil uji kekuatan beton berada pada kisaran 263–469 kg/cm², tingkat karbonasi pada kedalaman 2,5–4,8 cm, tingkat kepadatan pada kisaran 3,1–3,4 km/s, kekerasan permukaan 45–47, kedalaman selimut beton 2,5–5,7 cm, dengan peluang korosi mendekati 50%. Hasil pengamatan menunjukkan secara umum kondisi struktur jembatan tersebut masih aman dan kuat untuk saat ini, meski proses degradasi sedang dan terus berlangsung. Hal tersebut diperkuat oleh data-data dari parameter dan pengamatan yang menunjukkan *trend*/ kecenderungan eskalasi kerusakan jika tidak ada upaya pencegahan/perbaikan minor di lapisan permukaan beton pada sisi bawah yang berada pada kondisi lembab.

Kata kunci: aspek durabilitas, kekuatan beton, potensi korosi, jembatan beton

ABSTRACT

To ensure the feasibility of use of a concrete bridge construction, there must be an effort for periodic surveillance to ensure the level of degradation that exist in the field. Problems are often encountered is damage caused by delamination of the concrete cover and corrosion. In addition, maintenance and inspection efforts are rarely performed, so that the damage accumulates from year to year. To overcome these problems, there should be a series of observations, test for quality and feasibility of the construction of concrete bridges. Focusing mainly on observations of the durability aspects of underside of the bridge which are indicated suffer from humid and weathering. In this observational study will be conducted at the site to assess, identify the type, level and classification of damage, to trace the main cause of the damage, a series of tests are performed which are: assessment of concrete strength, carbonation level, the density of the concrete material, concrete surface hardness, thickness detection of the concrete cover and the detection of corrosion probability of the concrete cover. From the observation found elongated cracks on the underside of the bridge with a width of 0.5 to 0.8 mm, honey comb defect and delamination on the side wall. Concrete strength test results in the range of 263-469 kg/cm², carbonation level at a depth of 2.5 to 4.8 cm, the density in the range of 3.1 to 3.4 km/s, surface hardness 45-47, depth of concrete cover from 2.5 to 5.7 cm, with close to 50% chance of corrosion. The results showed the general condition of the structure of the bridge is still safe and strong for the time being, though the degradation process still ongoing. This

is reinforced by data from the parameters and observations that show trends/ tendencies escalation if there is no damage prevention/ repair minor at surface layer of concrete on the underside that are in humid conditions

Keywords: durability aspects, strength of concrete, corrosion probability, concrete bridge

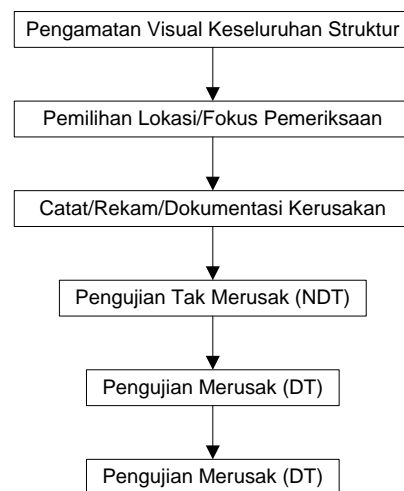
PENDAHULUAN

Konstruksi jembatan merupakan sarana umum yang vital dan penting, terutama terkait dengan daya layannya yang secara kontinu digunakan tanpa ada jeda/berhenti untuk kegiatan transportasi. Performa dari struktur beton, secara umum akan mengalami degradasi dari tahun ke tahun, dikarenakan rusak dipermukaan, beban berlebih, ataupun lingkungan yang ekstrem (cuaca, lingkungan), dll. Konstruksi jembatan pada umumnya didesain dengan usia layan diatas 25 tahun, untuk keperluan tersebut dibutuhkan performa yang optimal baik dari tulangan terpasang dan kondisi material beton yang dipergunakan.

Untuk menjamin kelaikan pakai dari suatu konstruksi/sarana, perlu ada upaya kontrol/ penilaian/pengamatan secara berkala guna memastikan tingkat degradasi yang terjadi, serta ada upaya untuk menghambatnya. Permasalahan yang sering ditemui dilapangan adalah kerusakan pada permukaan beton karena pengelupasan selimut beton dan korosi. Selain itu, tindakan perawatan dan inspeksi yang jarang dilakukan, sehingga proses kerusakan tersebut terakumulasi dari tahun ke tahun. Adanya paradigma bahwa bangunan struktur beton mampu bertahan tanpa perawatan selama usia pakainya, pada kenyataan ditemukan kerusakan konstruksi beton yang cukup banyak dan terkadang kritis (rusak cukup parah). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dilakukan serangkaian kegiatan pengamatan, uji mutu dan kelaikan dari konstruksi jembatan dilapangan. Fokus pengamatan terutama pada aspek durabilitas dari permukaan sisi bawah jembatan yang terindikasi lembab dan terdapat pelapukan. Hasil pengamatan tersebut diharapkan dapat memberikan informasi dan data guna memilih solusi perbaikan dan perkuatan yang mungkin untuk diterapkan. Objek pengamatan pada jembatan underpass persimpangan rel kereta api Jl. A. Yani, PT. Petrokimia Gresik. Lingkup pengamatan pada kondisi beton jembatan saat ini, serta kerusakan yang terjadi pada seluruh elemen yang ditinjau.

Teori

Aspek durabilitas akan erat kaitannya dengan mutu beton yang terpasang, oleh karena itu perlu kiranya dilakukan kegiatan pengamatan pada konstruksi bangunan/ sarana infrastruktur. Hal ini akan berupa pengamatan pada lokasi untuk mendata, melakukan identifikasi jenis, tingkat dan klasifikasi kerusakan, hingga menelusuri penyebab utama dari kerusakan tersebut. Jika dirasa informasi yang diperoleh masih belum dapat memberikan kepastian akan penyebab utama kerusakan, maka dilakukan uji- uji yang disesuaikan dengan jenis kerusakan yang ada, sehingga didapat gambaran kondisi nyata/ terkini dari material beton yang terpasang. Hal tersebut akan selaras dengan tingkat kemampuan layan bangunan/sarana infrastruktur yang sedang diamati. Secara sederhana, rangkaian kegiatan tersebut dapat terlihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Kegiatan Pemeriksaan

Kegiatan Pengamatan Visual, secara detail akan menginventaris data-data:

Retakan, arah, panjang serta lebarnya

- Kondisi tulangan, melalui bercak karat yang terlihat pada permukaan beton, serta tanda-tanda lainnya.

- Kondisi permukaan beton, yaitu lokasi keropos, pengelupasan serta luasannya.
- Foto dari kondisi saat ini.

Penilaian Kekuatan Beton Aktual

Kekuatan struktur beton selalu dikaitkan dengan nilai kekuatan tekan yang terpasang (aktual), yang diperoleh dari contoh dari lokasi-lokasi yang dipilih/diamati. Untuk keperluan tersebut, contoh beton inti diambil dari lokasi

kritis di lapangan yang selanjutnya diuji kekuatan tekannya di laboratorium, sehingga diperoleh hasil aktual dari kondisi kekuatan material beton yang terpasang. Untuk melakukan pengambilan contoh digunakan mata bor intan yang dipadu dengan air sebagai pendingin dan media untuk membuang partikel debu beton. Nilainya kemudian akan dipengaruhi beberapa faktor, yaitu arah pengambilan contoh serta adanya tulangan beton pada contoh.

Tabel 1. Kriteria Klasifikasi Kerusakan

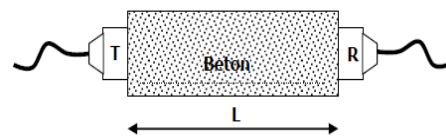
Indikasi	0 (Baik)	I (Ringan)	II (Sedang)	III (Sedang, Agak Berat)
Korosi tulangan	Tidak terlihat bercak korosi	Bercak karat terlihat pada permukaan beton	Bercak karat terlihat sebagian	Bercak karat banyak terlihat
Retakan-retakan	Tidak terlihat retakan	Retakan terlihat sebagian	Sejumlah retakan terlihat / tersebar	Banyak retakan terlihat, celah retakan lebar
Pengelupasan selimut beton (delaminasi dan <i>spalling</i>)	Tidak ada pengelupasan	Tidak ada pengelupasan	Tonjolan pada selimut beton terlihat	Pada selimut beton banyak terlihat pengelupasan
Penilaian urgensi dari pemeriksaan tingkat lanjut	Tidak diperlukan		Diperlukan pemeriksaan lanjutan	

Tingkat Keasaman Selimut Beton (Karbonasi)

Karbonasi merupakan proses kimia yang melibatkan mineral semen yang telah terhidrasi dalam beton dan adanya karbon dioksida, CO₂ di udara sekitar. Pengamatan karbonasi dilakukan dengan memberi larutan phenolphthalein pada contoh beton yang baru diangkat dari permukaan struktur yang terpasang. Kondisi beton yang belum terkarbonasi (kondisi basa, pH diatas 10) berwarna merah muda, sedangkan beton yang terkarbonasi (kondisi asam, pH dibawah 10) tidak berubah warnanya. Satu hal yang perlu diperhatikan dari proses karbonasi adalah hilangnya sifat basa (*passive layer*) dari beton. Perlindungan tulangan dari korosi oleh kondisi alkalin pasta semen yang terkandung dalam beton akan hilang seiring proses karbonasi. Penurunan pH dari di atas 12 menjadi 8 akan memicu korosi tulangan jika disertai adanya kelembaban serta meresapnya oksigen ke dalam beton.

Tingkat Kepadatan Material Beton Terpasang

Kecepatan gelombang ultrasonik melalui permukaan beton akan dipengaruhi oleh kepadatan serta sifat elastis dari bahan tersebut. Mutu bahan biasanya dikaitkan dengan kekuatan elastisnya, sehingga pengukuran kecepatan rambat gelombang ultrasonik pada bahan sering dijadikan acuan untuk memperkirakan mutu serta kekerasan bahan tersebut. Prinsip dari metode ini adalah bahwa kecepatan gelombang pada sebuah media tertentu secara langsung berbanding lurus dengan kepadatan media tersebut:



Gambar 2. Diagram Alir Kegiatan Pemeriksaan

Tabel 2. Kriteria Klasifikasi Kerusakan

Kecepatan rambat arah memanjang (longitudinal)	Kualitas beton
> 4,5	sangat baik
3,5 - 4,5	baik
3,0 - 3,5	meragukan
2,0 - 3,0	buruk
< 2,0	sangat buruk

Tingkat Kekerasan Permukaan Beton

Prinsip uji ini bahwa pantulan dari sebuah masa elastis akan tergantung pada kekerasan permukaan yang ditekan oleh massa tersebut. Sebuah palu beton memiliki massa dengan energi tertentu yang dimilikinya akibat peregangan pegas setelah palu ditekankan pada bidang uji. Nilai kuat pantul yang dibaca oleh alat ini tergantung pada kekuatan material paduan di permukaan beton. Pengujian yang dilakukan pada permukaan yang halus ini nilainya akan bervariasi akibat variasi beton. Terdapatnya rongga atau agregat dekat permukaan akan menyebabkan nilai yang terbaca lebih kecil dan besar dari nilai yang seharusnya. Semakin keras permukaan beton, pada umumnya akan mengindikasikan kekuatan permukaan selimut/media pelapis yang baik dan tidak lapuk. Selain itu, dengan uji ini akan terindikasi lokasi-lokasi pada permukaan beton yang mengalami gejala pelapukan/penurunan mutu material beton.

Deteksi Ketebalan Selimut Beton

Metode ini menggunakan prinsip elektromagnetik untuk memindai tulangan dari suatu elemen beton. Tujuan utama dari metode ini adalah menentukan lokasi tulangan serta tebal selimut beton. Kondisi selimut beton yang sesuai dengan desain rencana diharapkan mampu untuk melindungi tulangan dalam beton dari kondisi lingkungan yang korosif, sehingga mempunyai usia layan yang cukup lama. Kondisi penipisan selimut beton yang terindikasi, akan menaikkan resiko korosi pada tulangan yang terpasang disetiap elemen struktur beton yang diamati.

Deteksipotensi Korosi pada Selimut Beton

Pada prinsipnya, selimut beton merupakan lapisan pelindung yang mencegah terjadinya korosi pada tulangan terpasang. Kondisi selimut beton yang masih utuh (tidak

terkikis) tidak menjadi jaminan keamanan dari resiko korosi. Kondisi selimut beton yang utuh tapi sudah bersifat asam, akan tetap memicu terjadinya korosi di tulangan dalam beton. Metode ini untuk mengevaluasi potensi korosi pada selimut beton dengan menggunakan prinsip pengukuran beda tegangan pada permukaan beton yang ditinjau, sehingga dapat diketahui potensi korosi pada selimut beton tersebut.

BAHAN DAN METODE

Lokasi/ Obyek pengamatan:

Jembatan perlintasan (underpass) yang dibangun sekitar tahun 1960-an (Cosindit, 1967), Jl. A. Yani, di lingkungan PT. Petrokimia Gresik.

Bahan bantu:

Air, *stempet/ grease, ramset*, belerang.

Peralatan utama:

Mistar retak, meteran, kaca pembesar, kamera, mesin bor beton inti (*core drilled machine*), alat deteksi tulangan (profometer), alat uji kekerasan permukaan beton (*hammer test*), alat uji homogenitas beton (PUNDIT), alat uji potensi korosi pada selimut beton (CANIN).

Peralatan bantu:

Sikat kawat baja, gerinda, obeng, tang, kawat besi, alat caping, mesin kuat tekan.

Kegiatan Penelitian

Rangkaian kegiatan pengamatan dan pengujian pada obyek jembatan tersebut akan berupa:

- Pengamatan visual terhadap adanya kerusakan/degradasi beton berupa retakan, *honey comb* (keropos), *spalling* dan korosi tulangan.
- Pengambilan contoh beton silinder (*core drilled*).
- Pengujian jarak tulangan dan tebal selimut beton (profometer).
- Pengujian keseragaman kekerasan permukaan menggunakan metode palu beton (*hammer test*).
- Pengujian kualitas dan keseragaman beton menggunakan metode ultrasonik (UPV/PUNDIT).
- Pengujian potensi korosi menggunakan metode pengukuran beda tegangan (*half-cell test/CANIN*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan Visual

Hasil pengamatan secara visual di lapangan menunjukkan bahwa terdapat retakan melintang, hampir di sepanjang permukaan dinding dan sisi bawah lantai jembatan.

Tipikal retakan melintang, hampir di sepanjang permukaan dinding dan sisi bawah lantai jembatan. Tipikal retakan pada balok yang memiliki lebar antara 0,5 mm hingga 0,8 mm tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



(a). Sisi Bawah Jembatan



(b). Retakan Memanjang pada Dinding



(c). Retakan Memanjang pada Sisi Bawah Pelat

Gambar 3. Pola Retakan pada Sisi Bawah Jembatan

Retakan yang lebih besar (rekahan) dijumpai pada sudut pertemuan dinding beton dengan abutmen jembatan, dengan lebar rekahan antara 10 hingga 25mm. Selain itu terlihat juga bagian beton yang keropos/honeycomb di

beberapa tempat pada dinding. Keropos beton ini akibat proses pengecoran yang kurang sempurna, hal ini terlihat pada Gambar 4; di belakang tulangan terlihat beton yang keropos, kemungkinan akibat agregat tidak masuk melewati tulangan serta pemadatan yang kurang sempurna.



(a). Retakan Tembus Hingga Sisi Dalam



(b). Delaminasi (Pengelupasan) pada Dinding Beton



(c). Keropos (*honeycomb*) dibelakang Tulangan

Gambar 4. Detail Kerusakan pada Permukaan Beton Sisi Bawah

Hasil pengamatan secara visual memberikan gambaran bahwa struktur jembatan tersebut mulai mengalami degradasi pada permukaan beton disisi bawah jembatan. Hal ini ditandai oleh ditemukannya sejumlah retakan yang berpotensi untuk terus meningkat, karena di beberapa titik telah terindikasi terjadinya korosi (secara visual diamati). Faktor lingkungan yang lembab dan basah akan menjadi pemicu kerusakan yang berkelanjutan.

Hasil Uji Kekuatan Beton Inti dan Karbonasi

Pengambilan contoh beton inti (*core drill*) diambil pada seluruh elemen struktur, yaitu dinding jembatan (timur dan barat) serta pelat lantai jembatan. Proses pengambilan contoh beton inti ini sekaligus mengamati potensi tingkat kebasaaan dari beton (karbonasi). Hal ini dilakukan dengan melakukan penyemprotan cairan *phenolphthalein* pada setiap contoh beton inti yang baru diangkat/dibor. Hasil uji terlihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Performa Kekuatan Beton dan Tingkat Keasaman Selimut Beton

No.	Elemen Struktur	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Karbonasi (mm)
1	Dinding Barat - 3	358	35
2	Dinding Barat - 7	297	48
3	Dinding Barat - 9	455	25
4	Dinding Timur - 2	316	45
5	Dinding Timur - 6	263	50
6	Dinding Timur - 8	412	40
7	Dinding Timur - 8'	419	
8	Dinding Timur - 10	430	42
9	Lantai Jembatan (Barat Laut)	437	0
10	Lantai Jembatan (Timur Laut)	469	0

Nilai kekuatan material beton terlihat berkisar pada nilai 263 hingga 469 kg/cm². Jika diambil rata-ratanya, kekuatan beton struktur jembatan ini ada pada kisaran 300 kg/cm², hal ini memenuhi nilai kuat yang menjadi persyaratan minimum suatu konstruksi jembatan sederhana. Sedangkan jika dilihat hasil uji karbonasi, proses intrusi karbonasi mencapai 2,5 hingga 4,8 cm. Hal ini mengindikasikan lapisan selimut beton telah mengalami penurunan tingkat kebasaaan, sehingga fungsi pelindung (*passive layer*) telah berkurang. Hal ini diperkuat oleh hasil pengamatan di beberapa titik yang telah mengalami proses korosi (bercak karat) di permukaan selimut beton.

Hasil Uji Homogenitas Beton

Dari hasil uji kepadatan beton dengan menggunakan metode *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), dapat terlihat bahwa kondisi beton saat ini tergolong *doubtful* atau antara jelek dan baik namun kondisinya seragam. Hal ini diperkuat dari hasil contoh beton inti, dimana di bekas lubang, terindikasi adanya keropos (*honeycomb*) yang disebabkan oleh proses pemadatan yang kurang baik. Hal ini terindikasi hanya di beberapa titik pengamatan, tidak menggambarkan kondisi struktur beton jembatan secara keseluruhan.

Tabel 4. Performa Kepadatan Beton

No.	Elemen Struktur	Kecepatan (km/s)	Klarifikasi
1	Dinding Barat	3,4	Meragukan
2	Dinding Umur	3,1	meragukan

Hasil Uji Kekerasan Permukaan

Nilai angka pantul hasil uji palu beton merupakan nilai rata-rata pembacaan dari setiap elemen struktur beton. Dari hasil uji tersebut, dapat disimpulkan bahwa mutu beton jembatan ini relatif seragam (uniform) dengan nilai angka pantul antara 45 hingga 48 atau di atas 30, sehingga dapat dikategorikan cukup keras/tidak terindikasi mengalami pelapukan. Jika terdapat pengelupasan selimut beton, hal tersebut dipicu oleh adanya korosi di tulangan dalam beton.

Tabel 5. Performa Kekerasan Permukaan Beton

No.	Elemen struktur	rata-rata angka pantul
1	Dinding barat	45
2	Dinding timur	48
3	Pelat lantai	47

Hasil uji pemindaian tulangan dalam beton

Pengujian lokasi tulangan menggunakan alat lebar meter memberikan nilai tebal selimut beton (kedalaman tulangan) antara 2,5 hingga 5,7 cm. Idealnya tebal selimut beton untuk bangunan sebagai perlindungan dari korosi maupun karbonasi adalah 5 cm. Penggabungan dengan data kedalaman karbonasi (2,5–4,8 cm) maka dapat disimpulkan penetrasi karbonasi sudah mencapai tulangan, sehingga korosi tulangan akan dengan mudah terjadi. Pengujian ketebalan selimut ini hasilnya disarikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Ketebalan Selimut Beton

No.	Elemen struktur	Tebal selimut (mm)
1	Dinding Barat	30 - 57
2	Dinding Timur	25 - 55
3	Pelat lantai	26 - 43

Dari hasil pengujian tebal selimut terlihat bahwa tebalnya rata-rata di bawah persyaratan tebal minimum (5 cm) untuk kondisi beton terekspos dari lingkungan luar. Sehingga perlindungan bagi tulangan dari serangan karbonasi sangat minimal dan kondisi ini jika terus dibiarkan akan menjadi kritis serta berpotensi untuk terjadinya eskalasi tingkat kerusakan.

Hasil uji potensi korosi

Berdasarkan uji potensi korosi dengan metode beda tegangan (*half-cell*), peluang terjadinya korosi tulangan beton antara 10% hingga 50%, yaitu peluang terkorosinya tulangan kecil hingga sedang. Pengamatan visual terhadap kondisi tulangan beton juga mendukung hal ini, terlihat rata-rata tulangan utama masih dalam kondisi baik, terkecuali tulangan yang sudah terekspose udara secara langsung. Secara umum kondisi jembatan tersebut masih berpeluang untuk terjadinya korosi, mengingat hasil dari data visual maupun uji lainnya yang mendukung potensi korosi nya akan meningkat, jika tidak ada upaya untuk perbaikan lapisan selimut beton guna menghambat potensi korosi yang sudah berada di kisaran 50%.

Tabel 7. Potensi Korosi pada Selimut Beton

No.	Elemen struktur	Beda potensial	peluang korosi
1	Dinding barat	-41 s/d - 156	10% (rendah)
2	Dinding timur	-21 s/d - 195	10% (rendah - sedang)
3	Pelat lantai	-75 s/d - 341	50% (rendah - sedang)

KESIMPULAN

1. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa secara umum kondisi struktur jembatan tersebut masih aman dan kuat untuk saat ini, meski proses degradasi sedang dan terus berlangsung. Hal tersebut diperkuat oleh data-data dari parameter dan pengamatan yang menunjukkan *trend/kecenderungan* eskalasi kerusakan jika tidak ada upaya pencegahan/perbaikan minor di lapisan permukaan beton pada sisi bawah yang berada pada kondisi lembab.
2. Kondisi kestabilan struktur jembatan masih memenuhi persyaratan dari segi kekuatan struktur, sedangkan dari sisi durabilitas, kondisi permukaan beton mengalami degradasi. Mengingat pentingnya sarana infrastruktur tersebut bagi pelayanan umum, maka faktor durabilitas haruslah menjadi pertimbangan penting bagi perlu atau tidaknya dilakukan tindakan perawatan/perbaikan guna memulihkan kondisi tersebut ke kondisi sesuai desain rencana.
3. Perlu adanya tindakan perbaikan yaitu berupa perkuatan lapisan sisi bawah jembatan pada bagian dinding geser dan pelat sehingga selain fungsinya memperkuat struktur yang telah ada, juga sekaligus memberikan lapisan pelindung (*passive layer*) baru untuk tulangan dalam beton sehingga secara alami proses korosi pada struktur jembatan dapat dihambat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

- Rekan-rekan Laboratorium Beton atas semua bantuan dan saran selama proses penelitian ini berlangsung.
- PT. Petrokimia Gresik, atas kesediaannya untuk mendanai kegiatan penelitian ini hingga dapat berlangsung lancar dan sesuai rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, 2012, "Laporan Pemeriksaan & Pengujian a.n PT. Petrokimia Gresik", Balai Besar Bahan dan Barang Teknik.
- [2] Neville, A. M, Brooks, J.J, 1987, *Concrete Technology, Second Edition*, Prentice Hall, Pearson Education Limited, England.
- [3] Comite Euro-International Du Beton (CEB), 1989, *Durable Concrete Structures - Design Guide, Second Edition*, Thomas Telford Services Ltd, London.
- [4] Mehta, Kumar P, Monteiro, Paulo, 2006, *Concrete Microstructure, Properties and Materials, Third Edition*, The McGraw-Hill Companies, Inc, USA, 2006.
- [5] ACI, ICRI, 2010, *Concrete Repair Manual, Third Edition*, ACI Committee 2010, USA.
- [6] ASTM Standard, 2011, *ASTM Volume 04.02 Concrete and Aggregates*, Annual Book of ASTM Standards, USA, 2011.