

JURNAL TEKNIK NOM MENSEN

ENERGI TERBARUKAN UNTUK PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DI INDONESIA
Partahi H. Lumbangaol

PERANCANGAN PENGUKURAN DAYA DIGITAL PADA PERALATAN LISTRIK 1000 WATT
Timbang Pangaribuan

**PROGRAM LINIER BILANGAN BULAT DENGAN ALGORITMA FRAKSIONAL DAN TEKNIK
PENCABANGAN & PEMBATAHAN**
Janser Simanjuntak

**JUMLAH PANAS YANG DIBUANG OLEH KONDENSER KE UDARA BEBAS PADA PROSES
PENDINGINAN AIR MINUM**
Waldemar Naibaho

ANALISIS KELAYAKAN STRUKTUR DERMAGA KUALA ENOK
Humisar Pasaribu

**MENENTUKAN ANGKA PERKOLASI UNTUK PERENCANAAN BIDANG RESAPAN PADA SISTIM
TANGKI SEPTIK**
Partahi H. Lumbangaol

**ANALISA KRAKTERISTIK GETARAN TRUK MOLEN KAPASITAS 3-5 METER KUBIK BETON
COR BERDASARKAN KECEPATAN 30 ; 45; 50 (KM/JAM) UNTUK DAERAH HORIZONTAL,
LONGITUDINAL DAN VERTIKAL BERDASARKAN TIME DOMAIN**
Suriady Sihombing

METODE Pengereman Mesin Arus Searah Penguatan Seri
Barani Simanjourang



FT UHN

Volume II No. 2, September 2017

ISSN 2089-8797

JURNAL TEKNIK NOMMENSEN
Vol. II. No. 2, SEPTEMBER 2017

DAFTAR ISI

- ENERGI TERBARUKAN UNTUK PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN
DI INDONESIA** 1-18
Partahi H. Lumbangaol
- PERANCANGAN PENGUKURAN DAYA DIGITAL PADA PERALATAN
LISTRIK 1000 WATT** 19-35
Timbang Pangaribuan
- PROGRAM LINIER BILANGAN BULAT DENGAN ALGORITMA FRAKSIONAL
DAN TEKNIK PENCABANGAN & PEMBATASAN** 36-58
Jamser Simanjuntak
- JUMLAH PANAS YANG DIBUANG OLEH KONDENSER KE UDARA BEBAS PADA
PROSES PENDINGINAN AIR MINUM** 59-78
Waldemar Naibaho
- ANALISIS KELAYAKAN STRUKTUR DERMAGA KUALA ENOK** 79-101
Humisar Pasaribu
- MENENTUKAN ANGKA PERKOLASI UNTUK PERENCANAAN BIDANG
RESAPAN PADA SISTIM TANGKI SEPTIK** 102-114
Partahi H. Lumbangaol
- ANALISA KRAKTERISTIK GETARAN TRUK MOLEN KAPASITAS 3-5 METER
KUBIK BETON COR BERDASARKAN KECEPATAN 30 ; 45; 50 (KM/JAM) UNTUK
DAERAH HORIZONTAL, LONGITUDINAL DAN VERTIKAL BERDASARKAN
TIME DOMAIN** 115-133
Suriady Sihombing
- METODE Pengereman Mesin Arus Searah Penguatan Seri** 134-151
Barani Simanjorang

ANALISIS KELAYAKAN STRUKTUR DERMAGA KUALA ENOK

HUMISAR PASARIBU, ST,MT¹⁾, JOHAN OBERLYN SIMANJUNTAK, ST,MT²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Sipil Universitas HKBP Nommensen, Medan

¹⁾Jl. Rakyat No.61 Medan 20236, HP 081322431809

e-mail : pasaribu.humisar@yahoo.com

²⁾Jl. Gambir Raya No. 7, Perumnas Simalingkar, Kec. Pancur Batu, Kab. Deli Serdang
HP 08126339871

ABSTRAK

Dermaga Pelabuhan Samudera di Kuala Enok Propinsi Riau merupakan pelabuhan milik PT. (Persero) Pelabuhan Indonesia I yang terletak pada 0°31'35.48"LU, 10°24'24.38"BT. Panjang alur pelayaran mencapai 15 km dan lebar 500 m dengan kedalaman alur 5.2 m sampai 12 m LWS. Dermaga ini dapat disandari kapal dengan bobot kurang dari 20.000 DWT.

Secara konstruksi, dermaga ini terbagi atas dua segmen yaitu segmen barat dan segmen timur. Segmen barat berukuran 15 m x 44 m dan segmen timur berukuran 15 m x 42 m. Dermaga ini menggunakan tiang pancang beton diameter 300 mm, tebal 80 mm, jarak antar tiang pancang kearah melintang dan memanjang sebesar 3 m. kedalaman kolam berkisar antara 10 m sampai 12 m LWS. Tingginya perbedaan pasang surut mengharuskan lokasi dermaga dan pantai terdapat bangunan penghubung (*trestle*) dengan ukuran 5 m x 60 m.

Beberapa kemungkinan faktor yang dapat mengakibatkan kerusakan antara lain :

- Faktor masa layan bangunan dan kondisi lingkungan air laut yang bersifat agresif, memungkinkan terjadinya penurunan kualitas bahan.
- Penurunan kualitas bahan akibat kondisi diatas akan mengakibatkan terjadinya degradasi daya dukung komponen struktur dermaga.

Dari kemungkinan faktor yang dapat mengakibatkan kerusakan maka peneliti merasa ingin melakukan penelitian terhadap kelayakan struktur dermaga, diantaranya menganalisa pengujian beton keras dan pengujian ketahanan beton terhadap serangan beban lingkungan.

Sehingga dapat diketahui apakah dermaga tersebut masih aman digunakan atau memerlukan adanya perbaikan-perbaikan atau perkuatan secara struktural oleh karena itu perlu dilakukan penelitian pada dermaga secara komprehensif untuk mengetahui tingkat kerusakan dan evaluasi kapasitas (daya dukung). Sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan tentang kondisi kelayakan bangunan secara keseluruhan.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dermaga Pelabuhan Samudera di Kuala Enok Propinsi Riau merupakan pelabuhan milik PT. (Persero) Pelabuhan Indonesia I yang terletak pada 0°31'35.48"LU, 10°24'24.38"BT. Panjang alur pelayaran mencapai 15 km dan lebar 500 m dengan kedalaman alur 5.2 m sampai 12 m LWS. Dermaga ini dapat disandari kapal dengan bobot kurang dari 20.000 DWT.

Secara konstruksi, dermaga ini terbagi atas dua segmen yaitu segmen barat dan segmen timur. Segmen barat berukuran 15 m x 44 m dan segmen timur berukuran 15 m x 42 m. Dermaga ini menggunakan tiang pancang beton diameter 300 mm, tebal 80 mm, jarak antar tiang pancang kearah melintang dan memanjang sebesar 3 m. kedalaman kolam berkisar antara 10 m sampai 12 m LWS. Tingginya perbedaan pasang surut mengharuskan lokasi dermaga dan pantai terdapat bangunan penghubung (*trestle*) dengan ukuran 5 m x 60 m.

Beberapa kemungkinan faktor yang dapat mengakibatkan kerusakan antara lain :

- Faktor masa layan bangunan dan kondisi lingkungan air laut yang bersifat agresif, memungkinkan terjadinya penurunan kualitas bahan.
- Penurunan kualitas bahan akibat kondisi diatas akan mengakibatkan terjadinya degradasi daya dukung komponen struktur dermaga.

Perbaikan struktur dermaga sudah pernah dilakukan pada tahun 2011. Untuk menghindari adanya kekhawatiran apakah dermaga tersebut masih aman digunakan atau memerlukan adanya perbaikan-perbaikan atau perkuatan secara struktural oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada dermaga secara komprehensif untuk mengetahui tingkat kerusakan dan evaluasi kapasitas (daya dukung) serta melakukan perencanaan perbaikan dan peningkatan kapasitas. Penelitian yang dilakukan meliputi pemeriksaan lapangan melalui suatu rangkaian pengujian dengan peralatan uji yang sesuai dan uji laboratorium, sehingga dapat ditentukan tingkat keandalannya, baik dari segi konfigurasi bangunan, kualitas bahan maupun strukturnya, serta karakteristik dinamik bangunannya, sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan tentang kondisi kelayakan bangunan secara keseluruhan melalui proses perhitungan ulang berdasarkan data eksisting dan peraturan-peraturan yang berlaku.

1.2 Perumusan Masalah

Di dalam tulisan ini, penulis akan meneliti tingkat keandalannya, baik dari segi konfigurasi bangunan, kualitas bahan maupun strukturnya, serta karakteristik dinamik bangunannya.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui kondisi struktur dermaga dan trestle secara detail, aktual dan akurat tingkat/intensitas dan jenis kerusakan dan kapasitas struktur eksisting berdasarkan hasil pengumpulan data dan penelitian yang memadai. Sehingga berdasarkan hasil penelitian dapat direncanakan metoda pelaksanaan pekerjaan perbaikan kerusakan dan perkuatan struktur yang efektif dan aman dalam mempersiapkan dermaga dan trestle yang mampu melayani kegiatan bongkar muat penumpang yang aman dan lancar.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dapat dikelompokkan atas 2 (dua) kegiatan, yaitu pengumpulan data sekunder dan data primer atau data survey lapangan. Seluruh data tersebut akan diolah dan dianalisis sehingga siap digunakan untuk penelitian.

a. Data Sekunder

Data sekunder dikumpulkan dari dokumen dari studi terdahulu yang terkait langsung maupun tidak langsung dengan penelitian ini.

Resume data sekunder yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

1. As Built Drawing.
2. Laporan studi yang terdahulu.

Laporan tersebut menjadi referensi dalam pelaksanaan penelitian.

b. Data Primer

Survey ini dilakukan untuk mengetahui kondisi fisik dermaga, terdiri dari 2 macam kegiatan, yakni :

1. Pengujian beton keras.
2. Pengujian ketahanan beton.

2.2 Pengujian Beton Keras

Setelah beton dicetak dan mengeras, untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis beton tersebut, serta untuk mengetahui mutu betonnya, terutama kuat tekannya, perlu dilakukan pengujian. Pengujian mutlak dilakukan pada beton keras terutama untuk beton struktural, karena pada beton tersebut pengawasan mutu, baik terhadap bahan pembentukannya maupun terhadap betonya wajib dilaksanakan. Sedangkan pada beton non struktural, pengawasan mutu relative tidak perlu, terkecuali atas perintah pengawas konstruksi.

Pengujian kuat tekan dapat dilakukan secara destruktif (merusak benda uji) atau dengan non destruktif (tanpa merusak benda uji) yaitu menggunakan alat Hammer atau alat PUNDIT (Portable Ultra Sonic Non Destruktif Instrumen Tester). Selain pengujian kuat tekan pada beton keras juga diuji sifat mekanis lainnya, meliputi uji tarik belah, tarik lentur, serta modulus elastisitas.

Setelah anda mengikuti praktek pada bab ini, diharapkan anda mampu membedakan antara beton struktural dan non struktural, mampu menjelaskan prosedur pengujian sesuai standar SII atau standar ASTM, mampu mengoperasikan peralatan pengujian destruktif maupun non destruktif, mampu menguji sifat mekanis lainnya, dapat menarik hubungan antara kuat tekan destruktif dan non destruktif, dapat menganalisa hasil pengujian.

A. Sifat Fisik Dan Mekanis Beton Keras

a. Pengambilan dan pengujian sampel beton inti (*core drill*)

Pengambilan benda uji

Pengambilan benda uji di lapangan dilakukan dengan menggunakan *Core Drill* dengan mata bor 3-in (69 mm). ASTM C42/C42M memberikan ketentuan sebagai berikut:

Kriteria benda uji:

1. Diameter (D) benda uji sekitar 2.75 in (69 mm).
2. Panjang (L) benda uji 1.9 – 2.1 dari diameter benda uji.

Langkah pengambilan benda uji:

1. Alat diletakkan pada posisi tegak lurus bidang yang akan di-*core*, dan diangkur sedemikian rupa sehingga dalam proses pengambilan sampel tidak terjadi pergeseran.
2. Pengambilan benda uji dilakukan hingga kedalaman sekitar 200 mm.
3. Setelah benda uji diperoleh maka area lubang hasil *coring* ditutup kembali dengan menggunakan semen *grouting* dengan kuat tekan melebihi kuat rencana beton struktur.



Gambar 1 Alat Core Drill

Persiapan benda uji

Benda uji disiapkan berdasarkan sampel yang diperoleh dengan cara meratakan permukaan sisi silinder dan memotong sesuai dengan panjang yang disyaratkan.

Pengujian benda uji

Benda uji yang telah disiapkan selanjutnya diuji dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Langkah pengujian benda uji adalah sebagai berikut:

1. Benda uji diletakkan secara sentris pada mesin uji tekan.
2. Pembebanan dilakukan pada benda uji, dan meningkat secara konstan hingga benda uji mengalami kegagalan.
3. Kuat tekan dihitung berdasarkan besarnya beban yang diberikan pada saat benda uji mengalami kegagalan.

Besarnya kuat tekan berdasarkan pengujian dihitung berdasarkan rumusan sebagai berikut:

$$K = \frac{P}{A}$$

dimana:

K = Kuat tekan (kg/cm²)

P = Beban maksimum (kg)

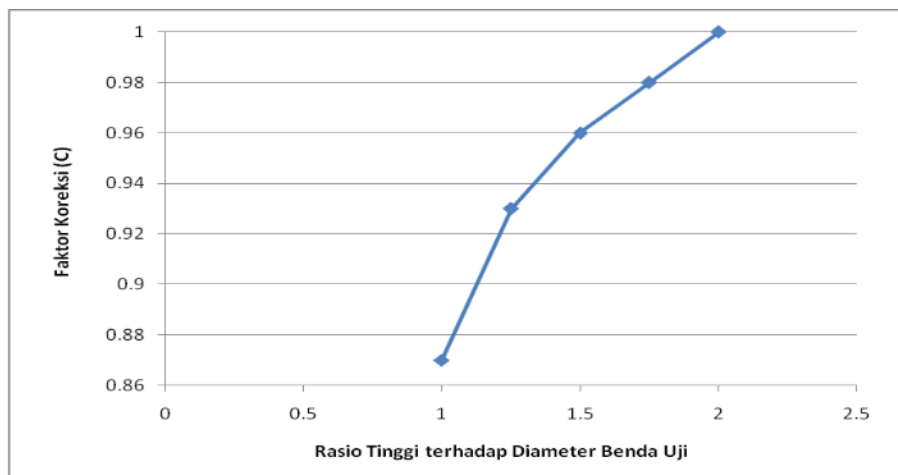
A = Luas bidang tekan benda uji (cm²)

Hasil kuat tekan tersebut berlaku untuk benda uji dengan kriteria benda uji yang memiliki nilai L/D antara 1.9–2.1. Apabila benda uji tidak memenuhi kriteria tersebut, maka hasil rumusan harus dikoreksi berdasarkan nilai perbandingan L/D yang dimiliki. Nilai faktor koreksi adalah sebagai berikut:

Tabel.1 Faktor Koreksi terhadap Rasio L/D

L/D	Faktor koreksi
2	1
1.75	0.98
1.5	0.96
1.25	0.93
1	0.87

Apabila nilai perbandingan L/D tidak terdapat dalam tabel tersebut, maka faktor koreksi dapat diperoleh dari nilai interpolasi berdasarkan grafik seperti pada Gambar 4.



Gambar 2 Grafik Faktor Koreksi terhadap Rasio L/D

b. Uji Non Destruktif

Untuk beton yang sudah jadi, jika mutu betonya tidak memenuhi syarat, harus dilakukan uji non destruktif. Alat yang paling mudah dioperasikan adalah alat Hammer. Alat ini relative kecil, ringan dan mudah dioperasikan adalah alat Hammer. Alat ini relative kecil, ringan dan mudah dioperasikan. Sebelum alat tersebut digunakan harus sudah dikalibrasi. Beton yang akan diuji harus dalam keadaan kering, berumur lebih dari 28 hari, dan licin permukaannya. Apabila bentuknya kasar, terlebih dahulu dihaluskan dengan Gerinda. Demikian pula apabila beton yang akan diuji telah dilapisi dengan plester atau acian, maka lapisan tersebut harus dikupas terlebih dahulu



Gambar 3 Alat Uji Hammer

Prinsip pengujian dengan alat hammer adalah dengan cara memantulkan sebuah batang pada permukaan beton, apabila yang diuji sangat keras, maka pantulannya akan jauh simpangannya, simpangan inilah yang akan di catat (Rebound number). Dari angka Rebound, dengan menggunakan grafik yang biasanya disertakan pada alat tersebut dapat diketahui kuat tekannya. Besar kuat tekan, selain ditentukan oleh angka Rebound juga sangat ditentukan oleh sudut pengujian. Karena angka Rebound ini sangat ditentukan oleh kekerasan betonya, maka pengujiannya tidak cukup hanya satu kali saja, tetapi harus dilakukan pada beberapa titik. Untuk permukaan beton yang sudah rusak, baik terbakar atau terkena bahan kimia pengujian dengan hammer kurang akurat, karena lapisan tersebut tidak mewakili kekerasan seluruh bagian beton.

Alat uji non destruktif lainnya adalah alat PUNDIT, yaitu alat yang menggunakan gelombang ultra sonic. Kemampuan alat ini, selain mengetahui mutu beton, juga dapat mendeteksi tebal lapisan beton yang rusak, atau dalamnya retakan dalam beton.



Gambar 4 Alat PUNDIT

2.3 Pengujian ketahanan beton

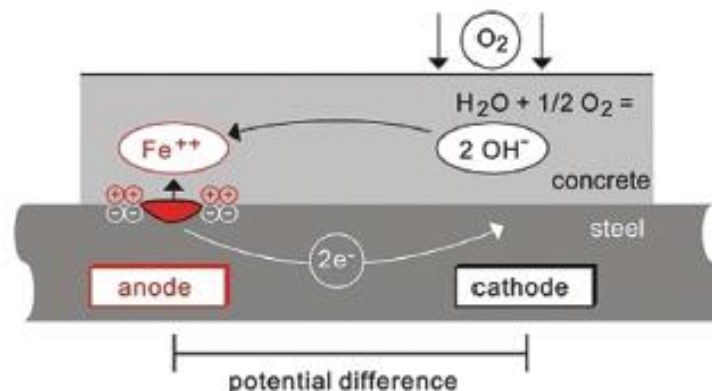
A. Pemeriksaan Potensi Korosi Baja Tulangan Dengan Metoda *Half Cell*

Baja tulangan pada kondisi normal terlindungi oleh lapisan pasif tipis oksida besi terhidrasi. Lapisan ini melindungi tulangan dari proses korosi. Seiring bertambahnya usia beton, lapisan ini terdekomposisi oleh reaksi karbonasi (beton dengan udara atmosfer) atau oleh penetrasi bahan/material agresif ke dalam tulangan (klorida khusus dari air laut).

Prinsip pengujian korosi dengan metoda *half-cell* dilakukan berdasarkan pengukuran perbedaan potensial antara anoda dan katoda di dalam baja tulangan yang disebabkan oleh proses berikut:

1. Ion (Fe^{++}) pada anoda terlarut dan membebaskan elektron
2. Elektron-elektron tersebut mengalir melalui baja tulangan menuju ke bagian katoda
3. Reaksi antara elektron dengan air (H_2O) dan oksigen (O_2) membentuk ion (OH^-)

Ilustrasi proses terjadinya korosi baja tulangan di dalam beton akibat udara bebas (O_2) digambarkan sebagai berikut:



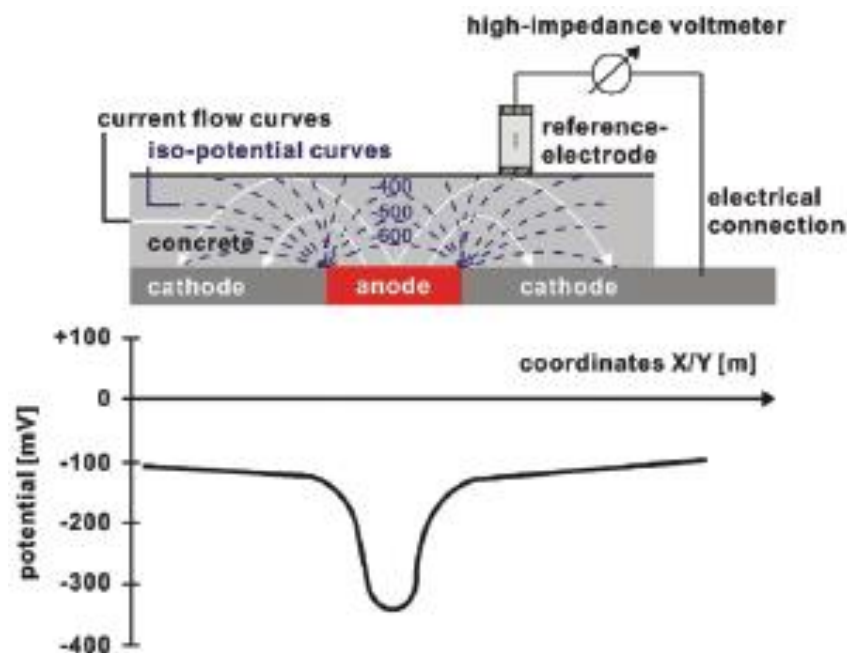
Gambar 5 Prinsip Korosi Tulangan di dalam Beton

Pengukuran medan potensial dilakukan di permukaan beton untuk memperoleh gambaran karakteristik kondisi korosi pada permukaan baja tulangan di dalam beton. Untuk tujuan ini, sebuah elektroda referensi dihubungkan melalui sebuah voltmeter yang memiliki impedansi tinggi (Canin⁺ R = 10MΩ) pada baja tulangan dan dipindahkan melalui jalur-jalur (grid) yang dibuat di permukaan beton.

Elektroda referensi yang digunakan dalam pengujian adalah (sistem Canin⁺) sebuah *half cell* Cu/CuSO₄. Elektroda ini terdiri dari sebuah batang tembaga (Cu) terendam dalam larutan sulfat tembaga jenuh, yang memiliki potensial diketahui.



Gambar 6 Alat Uji Analisis Korosi (Canin+) dengan Elektroda Batang



Gambar 7 Prinsip Pengujian Korosi Tulangan di dalam Beton dengan Metoda Half-Cell

Sebagai informasi, batasan nilai-nilai potensial *half-cell* dari baja tulangan di dalam beton yang diukur dengan sebuah elektroda referensi Cu/CuSO₄ berada dalam range nilai berikut (RILEM TC 154-EMC):

- Beton lembab terkontaminasi klorida -600 hingga -400 mV
- Beton lembab tanpa kontaminasi klorida -300 hingga +100 mV

Pengaruh-pengaruh utama dari pengukuran potensial *half-cell* dengan asumsi bahwa kondisi korosi konstan (kandungan klorida atau karbonasi beton pada permukaan baja tulangan) adalah:

- Kelembaban, yang dapat mempengaruhi pengukuran potensial menjadi lebih bernilai negatif.
- Temperatur (suhu), dimana pengukuran di bawah titik beku tidak direkomendasikan karena dapat menunjukkan pembacaan yang salah.
- Ketebalan selimut beton, dimana ketebalan selimut beton yang kecil dapat menyebabkan pembacaan yang bernilai lebih negatif, sehingga disarankan pengukuran selimut beton bersamaan dengan pengukuran potensial *half-cell*.
- Tahanan elektrikal dari selimut beton yang terkait dengan penggunaan *wenner probe*.
- Kandungan oksigen di dalam baja tulangan, dimana seiring penurunan konsentrasi oksigen dan peningkatan nilai pH pada permukaan baja tulangan, potensial pada permukaan baja tulangan akan lebih negatif.

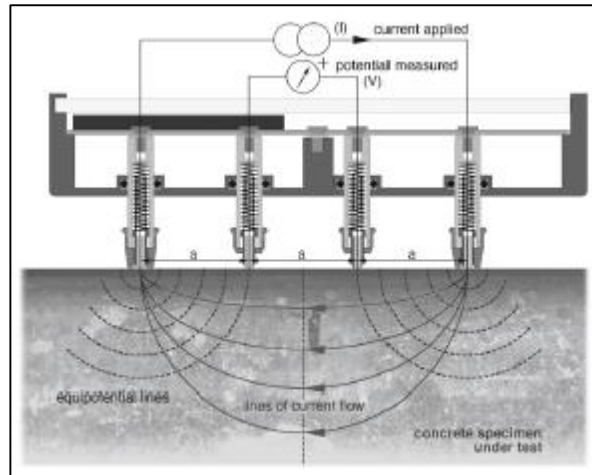
Langkah-langkah pengujian potensial *half-cell* pada baja tulangan dengan elektroda referensi Cu/CuSO₄ adalah sebagai berikut:

1. Persiapan elektroda batang dan larutan sulfat tembaga
Penutup kayu elektroda batang harus direndam di dalam air sekitar satu jam untuk menjenuhkan kayu. Setelah itu elektroda diisi dengan larutan sulfat tembaga yang terdiri dari 40 satuan berat kristal sulfat tembaga dengan 100 satuan berat air suling.
2. Menghubungkan elektroda/probe pada alat pembaca
Menghubungkan kabel dari elektroda referensi ke INPUT A dan juga memerlukan koneksi GND.
3. Persiapan permukaan lokasi pengujian
Permukaan beton pengujian dilembabkan terlebih dahulu dengan cara disiram air. Membuat jalur-jalur (grid) pengujian yang terdiri dari sembilan (9) kotak. Melakukan pengeboran/*coring* hingga menemui tulangan eksisting untuk menghubungkan koneksi GND.
4. Pengukuran/pengambilan data
Pengukuran/pengambilan data dilakukan pada 9 jalur/titik pada grid dengan cara mencatat nilai potensial yang tampak pada alat pembaca.
5. Evaluasi data
Evaluasi nilai potensial dilakukan berdasarkan range nilai dari referensi di atas.

B. Pemeriksaan Ketahanan Elektrik Beton (*Resistivity*)

Proses korosi yang terjadi pada baja tulangan merupakan proses elektro-kimia. Arus antara daerah anodik dan katodik di dalam beton harus terjadi agar proses tersebut dapat berlangsung. Tahanan elektrik pada beton mempengaruhi besaran dan laju arus ion korosif. Semakin besar nilai tahanan beton, arus korosif yang berlangsung akan semakin kecil. Hubungan empiris antara nilai tahanan beton dan laju proses korosi pada baja tulangan dapat ditentukan untuk kondisi struktur aktual.

Resipod (Proceq) merupakan salah satu alat pengukur tahanan elektrik beton yang bekerja dengan prinsip *Wenner Probe* (Gambar 2.11). Sebuah arus dialirkan pada dua *probes* terluar dan beda potensial diukur oleh dua *probes* dalam. Arus dibawa oleh ion-ion di dalam cairan pori beton. Nilai tahanan yang dihitung bergantung pada jarak masing-masing *probe*.



Gambar 8 Prinsip Kerja Wenner Probe

Nilai tahanan elektrik beton ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{2\pi aV}{I} [\text{k}\Omega\text{cm}]$$



Gambar 9 Proceq Resipod

RILEM TC154-EMC: *Electrochemical Techniques for Measuring Metallic Corrosion* merekomendasikan pengukuran sebanyak 5 bacaan di lokasi yang sama dengan memindahkan *probes* beberapa mm antar pengukuran.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai bacaan tahanan elektrik beton antara lain:

1. Baja tulangan mempengaruhi nilai pengukuran tahanan elektrik beton karena arus listrik akan lebih mudah mengalir melalui media ini. Hal ini menjadi perhatian khusus jika tebal selimut beton lebih kecil dari 30 mm. Oleh karena itu, pengukuran tahanan elektrik dengan prinsip *wenner probe* sebisa mungkin harus menghindari baja tulangan (arah pengukuran paralel) dan direkomendasikan arah pengukuran yang disesuaikan dengan jarak antar tulangan.
2. Ukuran agregat maksimum dalam beton juga akan mempengaruhi nilai bacaan karena arus listrik ion diukur melalui cairan pori di dalam beton. Oleh karena itu, jarak antar *probes* disarankan lebih besar dari ukuran maksimum agregat (material batuan biasanya tidak menghantarkan listrik).
3. Beton yang terkarbonasi memiliki nilai tahanan elektrik yang lebih besar. Tetapi karena kedalaman beton terkarbonasi secara umum masih lebih kecil dari jarak antar *probes*, efek lapisan ini terhadap nilai tahanan kecil.

Nilai empiris relasi antara nilai tahanan elektrik beton (ρ) dan kemungkinan terjadinya korosi pada beton yang menggunakan jenis semen Portland biasa di suhu 20°C:

$\geq 100 \text{ k}\Omega\text{cm}$

Risiko korosi dapat diabaikan

= 50 s/d 100 kΩcm	Risiko kecil untuk korosi
= 10 s/d 50 kΩcm	Risiko menengah untuk korosi
< 10 kΩcm	Risiko besar untuk korosi

C. Pengambilan Dan Pengujian Kandungan Klorida Pada Sampel Beton

Pengujian kandungan klorida pada sampel beton keras dilakukan berdasarkan ASTM C 114. Metoda penentuan kandungan klorida dilakukan dengan proses titrasi potensiometrik klorida dengan nitrat perak.

Peralatan yang diperlukan antara lain:

- Klorida, elektroda ion perak/sulfida
- Potensiometer dengan skala bacaan milivolt hingga 1 mV atau lebih baik
- Buret, Kelas A, dengan kapasitas 100 mL dan skala 0.05 mL

Bahan reaksi (reagen) yang digunakan antara lain:

- Sodium Klorida (NaCl)
- Nitrat Perak (AgNO₃)
- Potasium Klorida (KCl)
- Air sesuai ketentuan spesifikasi D 1193 untuk air reaksi Tipe III

Prosedur pengujian kandungan klorida yang dilakukan antara lain sebagai berikut:

1. Menimbang sampel beton (10 gr) pada gelas kimia kapasitas 250 mL. Melarutkan sampel dengan 75 mL air. Menambahkan 25 mL larutan nitrit yang dicairkan dan menghancurkan gumpalan-gumpalan yang ada. Jika bau hidrogen sulfat tercium kuat, tambahkan 3 mL hidrogen peroksida (campuran 30%). Menambahkan 3 tetes indikator jingga metil dan aduk merata. Menutup gelas kimia dengan kaca dan biarkan selama 1 hingga 2 menit. Jika warna kejinggaan muncul pada bagian atas sampel, campuran belum memiliki sifat asam yang cukup. Tambahkan larutan nitrit sambil diaduk hingga warna merah muda atau merah muncul. Kemudian tambahkan 10 tetes. Memanaskan gelas kimia tertutup hingga mendidih. Tidak membiarkan larutan mendidih lebih dari beberapa detik. Pindahkan gelas kimia dari pemanas.
2. Mencuci kertas penyaring (ukuran 9 cm) dengan 4 kali penambahan air 25 mL dengan sistem penyaring Buchner (250 mL atau 500 mL). Menyaring campuran sampel. Mencuci gelas kimia dan kertas penyaring dua kali dengan air. Memindahkan larutan hasil penyaringan sampel pada gelas kimia 250 mL. Mendinginkan larutan hasil penyaringan pada suhu ruangan. Volume tidak boleh melebihi 175 mL.
3. Untuk peralatan yang dilengkapi dengan bacaan perlu ditentukan sebuah pendekatan nilai "titik ekuivalen" dengan merendam elektroda di dalam gelas kimia yang terisi air dan menyesuaikan peralatan pada bacaan sekitar 20 mV atau lebih kecil dari skala tengah. Mencatat bacaan milivolt terdekat. Memindahkan gelas kimia dan menyeka elektroda dengan kertas penyerap.
4. Menambahkan 2 mL larutan NaCl standar (0.05 N) pada gelas kimia yang didinginkan. Meletakkan gelas kimia pada pengaduk magnetik dan menambahkan sebuah batang pengaduk TFE (*fluorocarbon coated*). Merendam elektroda pada larutan dan menghindari batang pengaduk tidak bersentuhan dengan elektroda, mulai mengaduk perlahan.
5. Melakukan titrasi bertahap, mencatat jumlah larutan NaCl standar (0.05 N) yang diperlukan untuk membuat bacaan menjadi -60.0 mV dari titik ekuivalen yang ditentukan di dalam air.
6. Melanjutkan proses titrasi dengan peningkatan 0.20 mL. Mencatat bacaan pada buret dan bacaan millivoltmeter terkait pada kolom 1 dan 2 dari 4 kolom yang tersedia. Membiarkan beberapa waktu hingga penambahan elektroda mencapai keseimbangan dengan larutan sampel (sekitar 2 menit).

7. Saat titik ekuivalen hampir tercapai, penambahan larutan AgNO_3 akan menyebabkan perubahan yang besar pada bacaan millivoltmeter. Perubahan per peningkatan akan menurun saat melalui titik ekuivalen. Melanjutkan proses titrasi hingga tiga bacaan di atas titik ekuivalen telah di catat.
8. Menghitung perbedaan bacaan (dalam millivolt) antara bacaan berurutan penambahan larutan dan memasukkan nilai pada kolom 3. Menghitung perbedaan antara nilai berurutan pada kolom 3 dan memasukkan pada kolom 4. Titik ekuivalen dari titrasi akan berada dalam interval nilai Δ mV maksimum yang tercatat pada kolom 3. Nilai titik ekuivalen secara akurat dapat diinterpolasi dari data yang ada pada kolom 4.

Perhitungan prosentase kandungan klorida dengan ketelitian mendekati 0.001% diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Cl, \%} = 3.5453 \times V. N/W$$

Dimana:

V = larutan AgNO_3 0.05 N yang digunakan untuk proses titrasi (mL) – titik ekuivalen

N = normalitas absolut dari larutan AgNO_3 0.05 N

W = berat sampel (gr)

Batasan ion klorida yang diperbolehkan ada pada beton (ACI – 318) adalah sebesar 0.15% dari berat semen untuk jenis struktur beton bertulang yang terekspos klorida. Dalam hal ini beton diasumsikan memiliki kekuatan setara K-300 dengan perbandingan berat semen/beton per m^3 adalah sebesar 0.14 – 0.15. Oleh karena itu, diperoleh batasan ion klorida yang diijinkan adalah sekitar 1% dari berat sampel beton.

III. ANALISIS STRUKTUR

3.1 Hasil pengujian kedalaman retak dan/atau homogenitas beton dengan ultrasonic pulse velocity.

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian kedalaman retak dan prediksi volume retak pada masing – masing area Dermaga Samudera Kuala Enok berdasarkan kode – kode elemen pada gambar denah kunci.

Tabel.2 Hasil Pengujian Kedalaman Retak Dermaga Samudera

No	Lokasi (titik pengujian)	Jarak transducer b (mm)	waktu tempuh gelombang t_1 (μ s)	waktu tempuh gelombang t_2 (μ s)	Kedalaman Retak c (mm)	Lebar Retak (mm)	Panjang Retak (mm)	Volume Retak (mm^3)
1	P17 (Trestle)	50	55.7	85.2	56	0.3	125	2087
2	LT17 (Trestle)	50	60.4	99.2	44	0.25	180	1980
3	P146	50	73.1	91.2	105	0.15	150	2363
4	P145	50	45.5	73.8	46	0.3	320	4544
5		50	42.4	83.2	11	0.3		
6		50	51.2	68	85	0.3		
7	BB140	50	56.9	80.1	72	0.25	260	4225
8		50	53	80.1	58	0.25		
9	P150	50	43.9	64.1	64	0.2	200	3680
10		50	51.8	62.2	120	0.2		
11	LT114	50	42.5	76.7	29	0.1	290	1373
12		50	49.2	70.2	69	0.1		
13		50	43.3	71.2	44	0.1		
14	LT114	50	51	75.6	61	0.1	235	1163
15		50	47.1	80.1	38	0.1		
16	P129	50	45.6	51	166	0.2	180	3762
17		50	49	81.1	43	0.2		
18	P134	50	40.6	72	32	0.1	270	945
19		50	44	75.8	36	0.1		
20		50	45.9	78.9	37	0.1		
21	B108	50	45.6	56.9	104	0.3	150	2820
22	B11 (Trestle)	50	44.8	79.2	32	0.2		
23		50	45.8	79.2	36	0.3	250	2700
24	LT38	50	44	67.2	56	0.1	375	3263
25		50	44.4	66.9	58	0.1		
26		50	39.4	45.1	147	0.2		
27	BB140	50	83.2	121.3	65	0.3	220	3168
28		50	46.7	89.2	31	0.3		
29	LT42	50	48.7	53.2	191	0.2	215	5268
30		50	44.3	68.3	54	0.2		

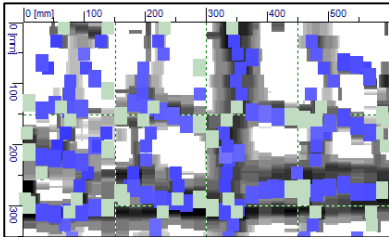
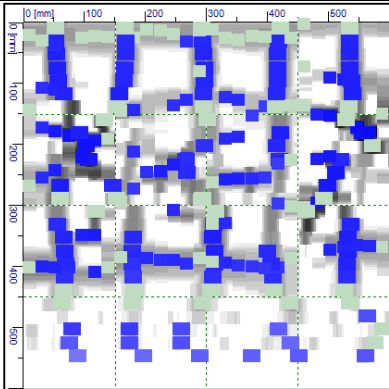
Keterangan:

Volume retak yang diperoleh terbatas pada jumlah titik pengujian yang dilakukan. Pengamatan visual memberikan perkiraan bahwa volume retak yang diuji berada pada kisaran 20 – 25% dari total kerusakan aktual di lapangan.

3.2 Pemeriksaan konfigurasi penulangan dengan Rebar Scanning

Pemeriksaan konfigurasi penulangan akan dibandingkan langsung dengan gambar kerja yang ada. Dalam hal ini, pengaruh ketebalan selimut beton memberikan koreksi pembacaan yang signifikan.

Tabel.3 Hasil Pemeriksaan Konfigurasi Penulangan

No.	Identitas Elemen Struktur	Tampilan <i>Post-Processing</i>	Diameter Tulangan (mm)	Jumlah Tulangan	Spasi Tulangan (mm)	Selimut Beton (mm)	Keterangan
1	Balok B34 (Trestle)		<u>Vertical Rebar</u> 20 ± 2	4	100 ~ 120	79 ~ 88	(Samping)
			<u>Horizontal Rebar</u> 30 ± 2	2	100 ~ 110	85 ~ 102	
2			<u>Vertical Rebar</u> 20 ± 2	5	100 ~ 130	32 ~ 33	(Bawah)
			<u>Horizontal Rebar</u> 30 ± 2	3	120 ~ 130	39 ~ 50	

3.3 Pemeriksaan kedalaman beton terkarbonasi

Hasil pemeriksaan kedalaman beton terkarbonasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel.4 Hasil Pemeriksaan Kedalaman Beton Terkarbonasi

No.	Kode Sampel	Kedalaman Karbonasi (mm)
1	B17	5
2	P36	0
3	B34	14
4	LT11	10
5	P34	3
6	B17	15
7	P35	0
8	LT40	0
9	P6	0
10	B120	14
11	P36	0
12	P1	0
13	P52	0
14	B114	6
15	B120	12
16	B66	3
17	B70	8
18	LT66	2
19	B110	0
20	B86	15
21	LT14	10
22	Mooring Dolphin-1	8
23	B8	0
24	LT93	2
25	LT112	8
26	B98	16
27	P10	0
28	B19	0
29	LT73	1
30	LT57/61	0
31	Mooring Dolphin-2	18
32	P23	0
33	LT4	10
34	LT99	0
35	LT27	12
36	LT50	10
37	LT82	8
38	LT13	5
39	LT67	10
40	PC10	20
41	PC4	45
42	PC8	30
43	PC2	45
44	B8	12
45	B114	15

3.4 Pengujian sampel beton inti

Hasil pengujian beton inti dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel.5 Hasil Pengujian Beton Inti

No	Kode Sampel	Berat Sampel (kg)	Tinggi Sampel (L) (cm)	Diameter Sampel (D) (cm)	Rasio L/D	Beban Max (P) (kg)	Tegangan Hancur Silinder (f'c) (kg/cm ²)	C ₀	C ₁	C ₂	f'cc (kg/cm ²)	Kuat Tekan Kubus Beton (kg/cm ²)
1	B86	1.179	13.5	6.8	1.99	7,250	199.63	1.00	1.00	1.00	199.40	240.24
2	B70	0.964	11.5	6.8	1.69	11,320	311.70	1.00	0.98	1.00	304.00	366.27
3	B66	0.848	9.9	6.8	1.46	10,500	289.12	1.00	0.95	1.00	276.03	332.56
4	B90	1.205	14.0	6.8	2.06	8,125	223.73	1.00	1.00	1.00	224.78	270.82
5	B34	0.804	9.5	6.8	1.40	8,000	220.28	1.00	0.95	1.00	208.75	251.51
6	B17	0.759	9.2	6.8	1.35	8,750	240.94	1.00	0.94	1.00	227.05	273.55
7	B98	0.659	8.70	6.8	1.28	6,750	185.86	1.00	0.93	1.00	173.51	209.05
8	B120	0.723	8	7	1.24	5,575	153.51	1.00	0.93	1.00	142.22	171.35
9	B19	0.703	8	7	1.18	7,250	199.63	1.00	0.91	1.00	182.13	219.44
10	B110	0.511	6.8	6.8	1.00	8775	241.62	1.00	0.87	1.00	210.21	253.27
11	B8	0.576	7.2	6.8	1.06	6250	172.10	1.00	0.88	1.00	152.15	183.32

3.5 Pengujian hammer test

Tabel.6 Analisis Hammer Test di Trestle

No	Pengujian	Satuan	Trestle	Dermaga
1	Pur	Kg/cm ²	351,24	348,59
2	Balok	Kg/cm ²	337,21 332,81	337,21 332,81
	• Samping			
3	• Bawah	Kg/cm ²	374,06 355,88	374,06 355,88
	Pelat Lantai			
	• Samping			
	• Bawah			

3.6 Pemeriksaan potensi korosi (metoda *Half Cell*)

Hasil pemeriksaan potensi korosi pada sample baja tulangan terpasang di lapangan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel.7 Hasil Pemeriksaan Potensi Korosi Baja Tulangan

No	Lokasi Pengujian	Bacaan Beda Potensial [mV]			No	Lokasi Pengujian	Bacaan Beda Potensial [mV]				
			1	2	3			1	2	3	
1	B19					2	B17 (Trestle)				
		1	-77	-58	-45			1	-54	-55	-115
		2	-223	-70	-60			2	-85	-83	-82
		3	-129	-109	-108			3	-110	-138	-57
3	P34 (Trestle)		1	2	3	4	B34 (Trestle)		1	2	3
		1	-278	-183	-201			1	-214	-263	-258
		2	-363	-235	-313			2	-185	-165	-249
		3	-341	-280	-337			3	-156	-186	-240
5	BB17 (Trestle)		1	2	3	6	P36 (Trestle)		1	2	3
		1	-244	-283	-296			1	-214	-263	-258
		2	-278	-291	-283			2	-185	-164	-249
		3	-293	-299	-315			3	-156	-186	-246
7	B16 (Trestle)		1	2	3	8	B33 (Trestle)		1	2	3
		1	-23	-43	15			1	-74	-69	-53
		2	-26	-13	-25			2	-97	-72	-58
		3	-119	4	-30			3	-129	-101	-70
9	LT17 (Trestle)		1	2	3	10	B8		1	2	3
		1	-85	-237	-147			1	-140	-128	-108
		2	-94	-241	-157			2	-208	-170	-102
		3	-125	-156	-169			3	-98	-97	-100
11	P10		1	2	3	12	P1		1	2	3
		1	-283	-324	-320			1	-395	-408	-404
		2	-329	-307	-261			2	-438	-417	-428
		3	-261	-310	-310			3	-483	-476	-473
13	P2		1	2	3	14	P52		1	2	3
		1	-313	-250	-286			1	-279	-290	-281
		2	-343	-231	-271			2	-295	-292	-273
		3	-352	-203	-295			3	-299	-296	-279
15	B6		1	2	3	16	B6		1	2	3
		1	-397	-402	-411			1	-290	-267	-278
		2	-393	-402	-414			2	-357	-321	-328
		3	-389	-401	-420			3	-408	-383	-410
17	LT6		1	2	3	18	B114		1	2	3
		1	-103	-202	-195			1	-276	-278	-292
		2	-163	-194	-195			2	-209	-275	-300
		3	-200	-156	-193			3	-496	-298	-329
19	B82		1	2	3	20	B86		1	2	3
		1	-261	-267	-286			1	-203	-211	-298
		2	-280	-293	-295			2	-212	-208	-222
		3	-371	-318	-287			3	-184	-190	-186
21	B66		1	2	3	22	B18 (Trestle)		1	2	3
		1	-220	-214	-261			1	-456	-411	-452
		2	-208	-239	-241			2	-433	-510	-499
		3	-226	-264	-310			3	-476	-475	-467
23	LT 1 (Trestle)		1	2	3	24	B78		1	2	3
		1	-232	-388	-278			1	-628	-618	-628
		2	-288	-258	-374			2	-517	-627	-628
		3	-397	-229	-403			3	-587	-615	-596
25	BB101		1	2	3						
		1	-338	-265	-309						
		2	-311	-289	-308						
		3	-260	-299	-296						

Berdasarkan pemeriksaan potensi korosi dengan metoda *half cell*, sebagian besar beton dalam kondisi yang tidak terkontaminasi klorida (nilai beda potensial < 300 mV), tetapi beberapa sample beton di lapangan terindikasi terkontaminasi klorida (warna kuning – nilai beda potensial > 300 mV).

3.7 Pemeriksaan ketahanan elektrik beton (*Wenner Probe*)

Hasil pemeriksaan ketahanan elektrik beton dengan *wenner probe* pada sample beton dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel.8 Hasil Pemeriksaan Ketahanan Elektrik Beton (*Wenner Probe*)

No	Lokasi Pengujian	Bacaan Tahanan Elektrik [k Ω .cm]
1	B17 (Trestle)	421
2	P18 (Trestle)	28.7
3	LT17 (Trestle)	52.2
4	BB16 (Trestle)	145.1
5	P34 (Trestle)	26.9
6	LT16 (Trestle)	206
7	B16 (Trestle)	134.2
8	BB141	76.2
9	P151	7.2
10	LT114	420
11	B118	122
12	P146	20.9
13	BB141	28.8
14	LT110	400
15	LT100	437
16	B108	287
17	P134	29.3
18	CW 2	75.1
19	LT4	357
20	B8	110.5
21	P10	35.2
22	P45	41.5
23	B38	32.2
24	BB45	287
25	LT38	669

Berdasarkan hasil pemeriksaan ketahanan elektrik beton di atas, diperoleh bahwa variasi nilai ketahanan elektrik beton di masing – masing area.

- Warna merah menunjukkan bahwa nilai ketahanan elektrik beton yang rendah (< 10 k Ω cm) dan memiliki risiko besar untuk korosi.
- Warna kuning menunjukkan bahwa nilai ketahanan elektrik beton yang cukup (10 – 50 k Ω cm) dan memiliki risiko menengah untuk korosi.
- Warna hijau menunjukkan bahwa nilai ketahanan elektrik beton yang besar (50 – 100 k Ω cm) dan memiliki risiko kecil untuk korosi.
- Warna putih menunjukkan bahwa nilai ketahanan elektrik beton yang sangat besar (> 100 k Ω cm) dan risiko korosi dapat diabaikan.

3.8 Pengujian kandungan klorida pada sampel beton

Hasil pengujian kandungan klorida pada sampel beton dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel.9 Hasil Pengujian Kandungan Klorida pada Sampel Beton

No	Kode Contoh	Kedalaman (cm)	% berat sampel
1	Balok B8	0-2	0.3282
2		2-4	0.1859
3		4-6	0.1357
4	Balok B17	0-2	0.1887
5		2-4	0.1928
6		4-6	0.12
7	Balok BB18	0-2	0.1342
8		2-4	0.0675
9		4-6	0.0448
10	Balok B19	0-2	0.2054
11		2-4	0.0997
12		4-6	0.0567
13	Balok B34	0-2	0.2075
14		2-4	0.2264
15		4-6	0.0883
16	Balok B43	0-2	0.9298
17		2-4	0.876
18		4-6	0.6835
19	Balok B90	0-2	0.0636
20		2-4	0.1152
21		4-6	0.0497
22	Balok B114	0-2	0.066
23		2-4	0.0586
24		4-6	0.044
25	Poer P149	0-2	0.2072
26		2-4	0.0612
27		4-6	0.0735
28	Balok B121	0-2	1.108
29		2-4	0.8234
30		4-6	0.5312
31	Balok B122	0-2	0.9515
32		2-4	1.1055
33		4-6	0.6733
34	Poer P151	0-2	0.1236
35		2-4	0.0783
36		4-6	0.0674
37	Poer P2	0-2	1.0036
38		2-4	0.6201
39		4-6	0.2753

Berdasarkan hasil pengujian kandungan klorida di dalam sampel serbuk beton di atas, diperoleh bahwa kondisi batas kandungan klorida dalam beton sebagai berikut:

- Warna merah menunjukkan bahwa nilai kandungan klorida di dalam sampel beton sudah melebihi batas yang diijinkan dalam standar/peraturan (sebesar 1% berat sampel)
- Warna kuning menunjukkan bahwa nilai kandungan klorida di dalam sampel beton sudah hampir mendekati batas yang diijinkan dalam standar/peraturan (sebesar 0.8 – 0.9% berat sampel)

IV. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

1. Hasil pengujian kedalaman retak beton menunjukkan kedalaman retak sebagian besar melampaui selimut beton, untuk meminimalkan tulangan terekpose kondisi lingkungan perlu dilakukan perbaikan beton dengan injection crack /grouting.
2. Hasil pengujian konfigurasi tulangan pada trestle dan dermaga, memberikan variasi diameter tulangan vertikal $\pm 16-30$ mm dan diameter tulangan horizontal $\pm 25-30$ mm, cat walk2 memberikan diameter tulangan vertikal dan horizontal 30mm, moring dolphin2 memberikan diameter tulangan vertikal dan horizontal 20mm dan juga jarak antar tulangan, selimut beton bervariasi untuk elemen pur, balok, pelat lantai, cat walk2 dan moring dolphin
3. Beton secara umum terkarbonasi, khusus elemen pelat lantai kedalaman rerata 8 mm sama dengan tebal minimum selimut betonnya 8 mm, sedangkan untuk elemen pur, balok dan moring dolphin kedalaman beton terkarbonasi masih dibawah tebal selimut beton minimum.
4. Kuat tekan beton inti (Core Drill) untuk elemen pur 207,513 kg/cm², balok 246,867 kg/cm² dan pelat lantai 294,93 kg/cm², nilai kuat tekan beton untuk balok dan pelat lantai masih diijinkan yaitu lebih besar dengan 80% dari mutu beton minimum K300 yang dipersyaratkan sesuai standart perhubungan tahun 2012 sehingga perlu dilakukan perbaikan dan perkuatan beton terutama untuk elemen pur.
5. Keseragaman mutu beton (Hammer) untuk trestle antara 332,81 – 374,06 kg/cm² dan untuk dermaga 332,81 – 374,06 kg/cm², nilai kuat tekan beton masih lebih besar dari mutu beton minimum K300 yang dipersyaratkan sesuai standart perhubungan tahun 2012.
6. Hasil pengujian potensi klorida (metoda half cell) beton trestle untuk elemen pur, balok, dan pelat lantai secara umum bagus, dan untuk beton dermaga untuk elemen pur dermaga terkontaminasi klorida dan elemen balok berpotensi untuk terkontaminasi klorida, untuk meminimalkan potensi korosi perlu dilakukan perbaikan/pelapisan permukaan beton.
7. Ketahanan elektrik beton trestle pada elemen pur ada yang berpotensi besar untuk korosi namun secara umum (rerata) potensi korosinya menengah, untuk elemen balok dan pelat lantai potensi korosi dapat diabaikan. Beton dermaga untuk elemen pur potensi menengah, untuk elemen balok dan pelat lantai potensi korosi dapat diabaikan, untuk elemen cat walk2 potensi korosinya kecil, namun untuk meminimalkan potensi korosi terutama pada elemen pur perlu dilakukan perbaikan/pelapisan permukaan beton.
8. Kandungan klorida rerata untuk elemen pur, balok, dan pelat lantai, secara umum dibawah 1% (dibawah kriteria) yang dipersyaratkan, namun secara parsial untuk pur dan balok ada beberapa sampel yang yang lebih kurang kandungan kloridanya 1%.

4.2 Saran

1. Mengalir pada kesimpulan (butir 1 sd 8) secara umum struktur TRESTLE dan DERMAGA masih bagus, namun untuk memperlambat dan meminimalkan potensi korosi perlu dilakukan perbaikan / pelapisan permukaan beton dengan menggunakan admixture kimia/grout.
2. Beton trestle dan dermaga retak dan kedalaman retak secara umum melampaui tebal selimut beton, untuk meminimalkan tulangan terekpose kondisi lingkungan perlu dilakukan perbaikan beton dengan injection crack/groting.
3. Untuk struktur TRESTLE dan DERMAGA elemen pur, balok, pelat lantai, cat walk2 dan moring dolphin yang telah mengalami kerusakan (beton pecah dan tulangan karatan/ putus) perlu dilakukan perbaikan dan perkuatan struktur beton.
4. Untuk tulangan yang telah terkorosi (karatan / putus) harus dibersihkan dan atau diganti dengan tulangan baru serta ditutup kembali dengan bahan grouting.
5. Perbaikan dan perkuatan struktur beton dapat dengan penambahan dimensi penampang / tulangan dan atau dengan sistim pemasangan bahan betuk lembaran mutu tinggi.
6. Untuk konstruksi elemen (pur, balok dan plat lantai) yang mutu betonnya berdasarkan hasil pengujian beton inti (core drill) dibawah 210 kg/cm² (70% dari K300) dilakukan pelapisan permukaan beton dengan bahan admixture beton dengan mutu yang lebih tinggi.
7. Perbaikan dan perkuatan struktur beton harus dilakukan oleh ahlinya atau aplikator yang berpengalaman.
8. Untuk pembangunan dermaga baru hendaknya memperhatikan mutu beton dengan K350 minimal serta selimit beton 4 cm agar lebih tahan terhadap potensi korosi.

V. DAFTAR PUSTAKA

- DjeDjen Achmad, *Pengujian Bahan*, Dipa Politeknik Negeri Jakarta, 2007.
- Ir. Tri Mulyono, MT, *Teknologi Beton*, Andi, 2004, 2005.
- Kementerian Perhubungan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, Direktorat Pelabuhan Dan Pengerukan, *Standar Dermaga*, 2012.
- Kementerian Perhubungan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, Petunjuk Pelaksanaan Pekerjaan Pembetonan, 2016.
- Paul Nugraha, Antoni, *TEKNOLOGI BETON dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi*, Andi, 2007.
- SNI-2847-2013, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013.
- Soedjono Kramadibrata, *Perencanaan Pelabuhan*, 2002.