

Peninjauan Masa Layan dan Perbaikan Struktur Dermaga Terhadap Pengaruh Lingkungan Pesisir Pantai

Asiya Nurhasanah Habirun¹, Muhammad Imaduddin Shidiq²

¹Email : asiyanurhasanah@gmail.com

²Email : m.imaduddins@live.com

ABSTRAK

Infrastruktur yang dibangun di area pesisir pantai berpotensi memiliki kelemahan kekuatan struktur akibat pengaruh lingkungan sekitar. Studi ini dilakukan untuk mengevaluasi, menganalisa dan menghitung masa layan struktur yang bersentuhan langsung dengan lingkungan tersebut. Observasi studi ini dilakukan di salah satu dermaga di pulau Jawa yang terindikasi adanya kerusakan setelah beroperasi selama 25 tahun. *Assessment* yang dilakukan adalah inspeksi visual, *Non-Destructive Test*, dan *Destructive Test* pada dermaga. Disamping itu, analisa struktur pun dilakukan berdasarkan hasil *assessment* untuk memperoleh kapasitas eksisting dan masa layan struktur. Hasil inspeksi memperlihatkan beberapa elemen struktur *Steel-pipe pile*, *trestle*, balok, dan *slab* mengalami kerusakan fisik. Elemen struktur mengalami penurunan kapasitas yang disebabkan oleh penurunan mutu material dan dampak dari korosi. Struktur dermaga di tahun ini mampu menahan beban sebesar 80%, ketahanan akan melemah menjadi 50% pada 5 tahun mendatang dengan kondisi eksisting tanpa diterapkan perawatan dan perbaikan. Di samping itu struktur dermaga memiliki umur masa layan hingga tahun ke-66. Metoda perbaikan yang direkomendasikan adalah *concrete jacketing* untuk elemen struktur yang selimut betonnya terkelupas hingga tulangnya terekspose. Sedangkan balok yang terkorosi diberikan penambahan pelat pada *flens* bawah serta penambalan bagian *steel-pipe pile* yang berlubang menggunakan cincin baja.

Kata Kunci

Dermaga, Inspeksi, Masa Layan, Perbaikan Struktur

1. PENDAHULUAN

Sebuah dermaga di pulau Jawa telah beroperasi untuk menjembatani kegiatan bongkar muat di kawasan pelabuhan selama 25 tahun. Selama masa operasi, terdapat beberapa elemen struktur yang terdeteriorasi yang dapat dilihat secara visual. Pengaruh besar dari kerusakan tersebut adalah kondisi lingkungan di area laut yang mengandung klorida relatif besar hingga menimbulkan korosi pada elemen struktur bermaterial baja. Indikasi kerusakan pada elemen struktur pun bisa disebabkan karena beberapa faktor antara lain perubahan udara yang ekstrim, pasang surut air laut, dan abrasi. Oleh karena kondisi tersebut akhirnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui performa struktur eksisting dan masa layannya. Studi ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh lingkungan laut terhadap ketahanan dan masa layan struktur dermaga terhadap elemen struktur yang terindikasi mengalami kerusakan dan pengaruh lingkungan. Analisa difokuskan pada elemen struktur *Steel-Pipe Pile*, Balok *trestle*, Balok *Jetty Head* dan *Slab* dermaga. Disamping itu, studi dilanjutkan hingga diperoleh rekomendasi perbaikan yang perlu diterapkan pada dermaga.

2. METODA PENELITIAN

Kegiatan penelitian yang dilakukan antara lain inspeksi visual, pengujian, analisa struktur, masa layan, dan membuat rekomendasi perbaikan pada elemen struktur

yang mengalami kelemahan. Uraian dari masing-masing kegiatan penelitian tersebut diberikan dalam Tabel 1.

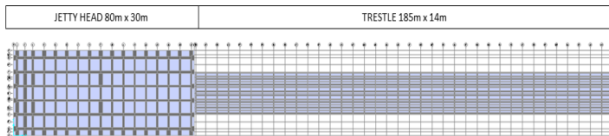
Tabel 1. Metoda Penelitian

Kegiatan	Tujuan	Hasil
Inspeksi Visual	Melihat kondisi eksisting dan merekam lokasi kerusakan.	Data lokasi dan jenis kerusakan.
Pengujian	a. Pengujian Lapangan, menguji kondisi eksisting dengan metoda <i>Non-Destructive Test</i> (NDT) diantaranya <i>Hammer Test</i> , <i>UPV</i> , <i>Rebar Scanning</i> , Uji Karbonasi dan <i>Steel Thickness Test</i> . Sedangkan <i>Destructive Test</i> (DT) yang dilakukan adalah <i>Core Drill</i> . b. Pengujian Laboratorium, menguji sampel material hasil DT	a. Kesesuaian As <i>Built</i> Dokumen dengan terpasang di lapangan. b. Data material dan properti penampang eksisting.
Analisa Struktur & Masa Layan	a. Menghitung kapasitas struktur berdasarkan hasil pengujian lapangan maupun lab. b. Menghitung masa layan berdasarkan kondisi lingkungan.	a. Kapasitas struktur eksisting. b. Usia masa layan struktur
Rekomen	Menentukan perbaikan	Metoda perbaikan

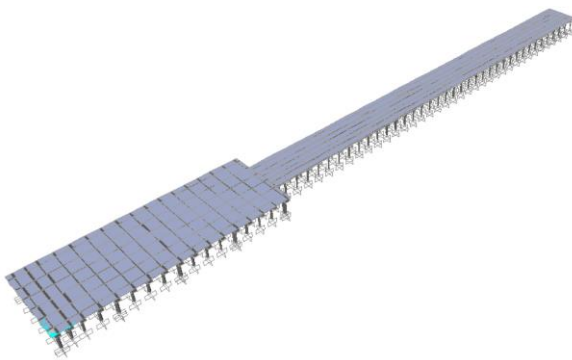
dasi Perbaikan	berdasarkan hasil inspeksi dan pengujian	
----------------	--	--

3. KONDISI EKSISTING STRUKTUR

Struktur dermaga dibangun sejak tahun 1992 menggunakan material *steel-pipe pile*, baja profil untuk balok *trestle* serta beton bertulang untuk elemen struktur balok dan *slab*. Geometri struktur dermaga diberikan pada Gambar 1.



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Tampak Memanjang dan (b) Tampak Melintang Struktur Dermaga.

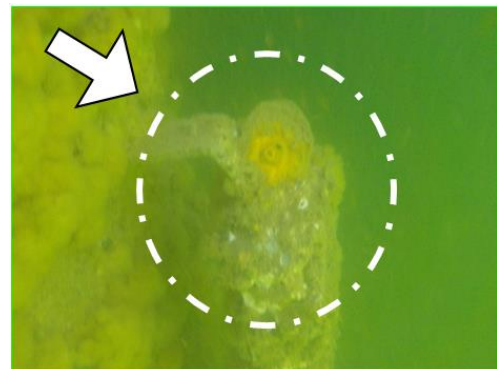
Hasil inspeksi visual memperlihatkan beberapa elemen struktur beton eksisting pada elemen balok dan slab daerah *jetty head* rusak hingga baja tulangan terekspose dan mengalami korosi (Gambar 2). Elemen struktur *Steel-Pipe Pile* dan balok pada *trestle* yang bermaterial baja sudah mengalami korosi hingga lapisan coating terkikis oleh korosi (Gambar 3) bahkan beberapa *Steel-Pipe Pile* permukaannya sudah terlubangi. Beberapa titik *Steel-Pipe* dilengkapi dengan sistem proteksi katodik ditunjukkan pada gambar Gambar 4.



Gambar 2. Selimut Beton Terkelupas Hingga Tulangan Terekspose



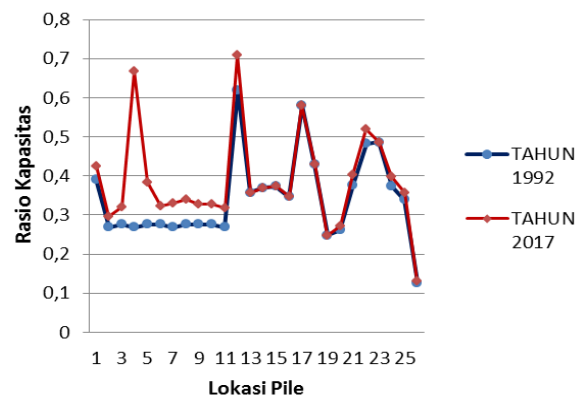
Gambar 3. Korosi pada Elemen Struktur Bermaterial Baja



Gambar 4. Sistem Proteksi Katodik

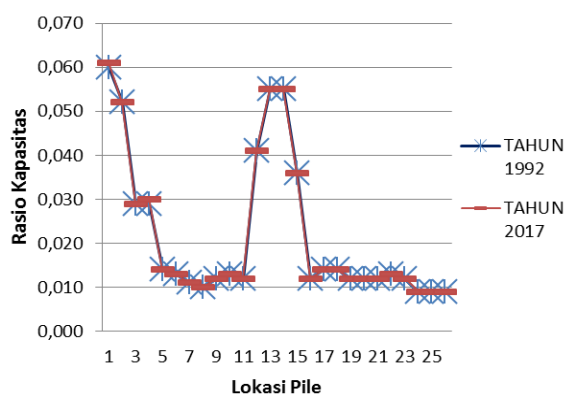
4. ANALISIS STRUKTUR

Pemodelan dan analisa struktur dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Structural Analysis Program* (SAP 2000 ver. 14.2.2) untuk mendapatkan kapasitas struktur dermaga. Pendefinisian material, geometri penampang, dan permodelan struktur disesuaikan dengan struktur desain awal dan kondisi eksisting yang memperhatikan lokasi zonasi gempa. Penerapan beban-beban yang bekerja disesuaikan dengan aktual dilapangan antara lain beban mati (DL), beban superimposed (SDL), beban angin (WL), beban gempa (EL), beban gelombang air laut (WaL) dan beban arus (FL). Beban tersebut dikombinasikan berdasarkan beberapa kemungkinan yang terjadi dan kemungkinan yang paling kritis digunakan sebagai acuan penentuan rasio kapasitas struktur.



Gambar 5. Grafik Rasio Kapasitas Pile tahun 1992 dan 2017

Rasio kapasitas suatu elemen struktur memiliki *range* antara 0,00 – 1,00. Properti penampang elemen struktur yang diterapkan akan semakin ekonomis ketika rasio kapasitas mendekati angka 1,00, namun jika terjadi perubahan rasio kapasitas yang mendekati 1,00 membuktikan bahwa elemen struktur mengalami pengurangan kapasitas. Hal tersebut terjadi pada Gambar 5 yang menunjukkan perbedaan rasio kapasitas desain tahun 1992 dengan kapasitas eksisting tahun 2017. Penurunan kapasitas yang terjadi setelah 25 tahun beroperasi berkisar antara 0 – 11 %, hal ini disebabkan karena menurunnya inersia penampang yang termakan oleh korosi.



Gambar 6. Grafik Rasio Kapasitas Balok Trestle tahun 1992 dan 2017

Rasio kapasitas yang terjadi pada balok trestle bermaterial baja tahun 1992 dan 2017 tidak terdapat pengurangan kapasitas yang signifikan (Gambar 6). Persentasi penurunan kapasitas berkisar antara 0 sampai dengan 0,1%.

Tabel 2. Rasio Kapasitas Slab dan Balok beton bertulang tahun 1992 dan 2017

Elemen Struktur	Tahun 1992	Tahun 2017	Penurunan Kapasitas
B1	0,0649	0,0660	0,11%
B2	0,2459	0,2503	0,43%
B3	0,0671	0,0682	0,12%
B4	0,3471	0,3533	0,61%
B5	0,2780	0,2829	0,49%
B6	0,4045	0,4104	0,60%
B7	0,4711	0,4780	0,69%
B8	0,4051	0,4111	0,60%
B9	0,2755	0,2796	0,41%
B10	0,3330	0,3379	0,49%

Penurunan mutu material dari hasil pengujian kuat tekan beton inti pada elemen struktur balok dan slab menyebabkan penurunan kapasitas yang ditujukan dalam Tabel 2. Penurunan yang terjadi akibat penurunan mutu material ini berkisar antara 0,11% hingga 0,69%.

Secara keseluruhan penurunan kapasitas pada elemen struktur setelah 25 tahun beroperasi diperoleh nilai minimum sebesar 0,00% dan maksimum sebesar 11,00%. Penurunan kapasitas yang paling signifikan terjadi pada elemen struktur *Steel-Pipe Pile*.

5. MASA LAYAN STRUKTUR

Masa layan struktur dipertimbangkan berdasarkan 2 (dua) kondisi yaitu akibat laju korosi pada struktur baja dan laju korosi pada struktur beton berdasarkan kedalaman karbonasi sebagai berikut.

5.1 Masa Layan Struktur Baja

Ketebalan eksisting pada *Steel-Pipe Pile* berdasarkan hasil pengujian NDT menjadi acuan untuk menghitung laju korosi. Metoda yang digunakan adalah perhitungan laju korosi per tahun berdasarkan *weight loss* atau beban yang hilang sepanjang tahun yang diteliti [1].

Pengujian dilakukan di 26 titik yang tersebar di area trestle dan jetty head baik dibawah laut maupun diatas laut. Hasil laju korosi pada struktur baja diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Laju korosi daerah *Topwater* dan *Underwater*

Position		Corrosion Rate	Unit
Topwater	Min	0,0088	mm/year
	Rata-Rata	0,0465	mm/year
	Max	0,0740	mm/year
Underwater	Min	0,0048	mm/year
	Rata-Rata	0,0259	mm/year
	Max	0,0412	mm/year

Potensi korosi terbesar pada elemen struktur *Steel-Pipe Pile* dari Tabel 3 berada di bagian *Topwater* dengan *corrosion rate* 0,0740 mm/year. Kedua data laju korosi dengan nilai maksimum masing-masing digunakan untuk menghitung masa layan struktur yang mempertimbangkan ketebalan korosi. Ketebalan korosi maksimum yang disyaratkan oleh perencanaan adalah 1,00 mm. Berdasarkan hasil pengujian ketebalan baja pada bagian *underwater*, terdapat 8% pile memiliki ketebalan korosi melebihi angka tersebut. Dengan laju korosi sebesar 0,0412 mm/year, persentasi tersebut akan meningkat hingga mencapai angka sekitar 54% dalam kurun waktu 13 tahun mendatang tanpa diterapkan perbaikan. Sedangkan pada bagian *topwater* di tahun ini, terdapat 31% pile yang tidak memenuhi persyaratan. Nilai tersebut akan mencapai angka sekitar 54% pada 5 tahun mendatang.

5.2 Masa Layan Struktur Beton

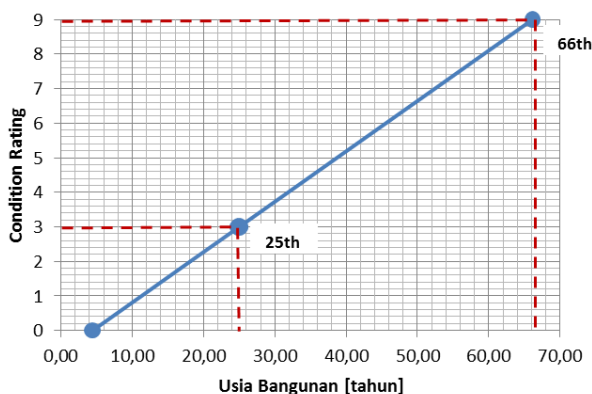
Masa layan struktur beton dihitung menggunakan metoda *Residual service life* [2]. Metoda ini dapat menentukan masa layan struktur berdasarkan tingkat kerusakan terkini dari kondisi eksisting struktur beton, tebal selimut beton, kedalaman karbonasi yang terjadi di permukaan beton dan kandungan klorida yang terdapat pada baja.

Kedalaman karbonasi paling maksimum setelah 25 tahun beroperasi berdasarkan hasil pengujian lapangan sebesar 15,1 mm sehingga diperoleh koefisien karbonasi: $K = (15,1/25)^{1/2} = 0,77$ mm/tahun. Waktu awal terjadinya korosi akibat karbonasi (tcd) diperoleh saat bangunan

beroperasi selama 4,43 tahun yang ditetapkan sebagai periode inisiasi. Selisih antara tebal selimut beton dengan tebal karbonasi (dccd) adalah 24,9mm. Tabel 4 menunjukkan tingkat kondisi terkini struktur beton bertulang berdasarkan nilai kandungan klorida dan nilai dccd. Dari tabel berikut, kondisi terkini struktur dermaga termasuk dalam *Condition Rating*(CR) 3.

Tabel 4. Tingkat Kondisi Terkini Struktur Beton Bertulang[2]

CR	Failure Extent	Description (In terms of cl and $dccd$)	Action required
0	Safe	$cl < 0.2$ and $dccd > 0$ and $age \leq 10$	Excellent condition
1	Good	$cl < 0.2$ and $dccd > 0$ and $age > 10$	No maintenance required
2	Low risk but satisfactorily	$cl < 0.2$ and $dccd \leq 0$ or $Cl = 0.2$ and $dccd \geq 0$	Corrosion initiated, required regular inspection
3	Fair	$0.25 > cl > 0.2$ and $dccd > 0$	Required frequent inspections
4	Moderate risk	$0.25 > cl > 0.2$ and $dccd \leq 0$	No immediate maintenance, it may be delayed
5	Poor	$0.3 > cl \geq 0.25$ and $dccd > 0$	Maintenance is required to increase the service life
6	High risk	$0.3 > cl \geq 0.25$ and $dccd \leq 0$	Maintenance is must for continuous use, likely to repair
7	Serious	$0.4 > cl \geq 0.3$ and $dccd > 0$	Structure must be closed for maintenance
8	Critical	$0.4 > cl \geq 0.3$ and $dccd \leq 0$	Poor condition not likely to be repaired
9	Failure	$Cl \geq 0.4$	Replacement of structures



Gambar 7. Masa layan struktur bangunan berdasarkan CR

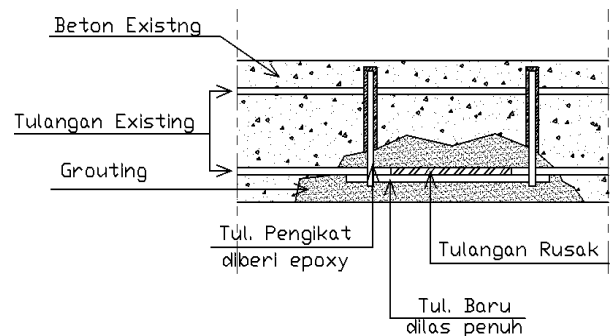
Gambar 7 menunjukkan bahwa dengan usia bangunan pada tahun 2017 mempunyai CR =3, setelah dilakukan ekstrapolasi linier untuk kondisi terburuk yaitu CR sama dengan 9, akan didapat usia bangunan 66 tahun.

6. REKOMENDASI PERBAIKAN

6.1 Perbaikan Kerusakan Beton

Kerusakan pada elemen struktur balok dan plat dilakukan perbaikan dengan metoda *concrete jacketing* dengan material *grouting* yang tidak susut menggunakan *nanoconcrete*.

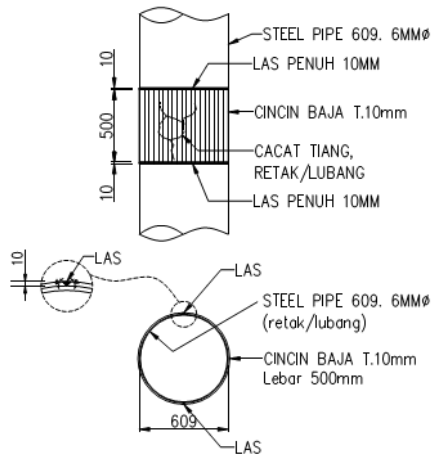
Selama proses perbaikan dibuat *temporary support* dengan membuat *platform* untuk menumpu struktur eksisting. Sebelum pelaksanaan perbaikan, beton yang terkelupas dilakukan *chipping* sekitar 5 cm sedangkan tulangan dibersihkan dari lapisan korosi. Tulangan baru dipasang pada tulangan eksisting dan diikat menggunakan tulangan konektor yang telah dicelupkan bahan *epoxy*. Permukaan beton kemudian dibersihkan dari pasir dan sisa debu dengan *water spraying* hingga beton eksisting jenuh air. Pemasangan dan penggunaan *formwork* disesuaikan dengan dimensi plat dan memiliki struktur yang kokoh untuk menahan tekanan *nanoconcrete* yang mengembang.(Gambar 8)



Gambar 8. Metoda Perbaikan Beton Bertulang

6.2 Perbaikan Kerusakan Tiang Baja

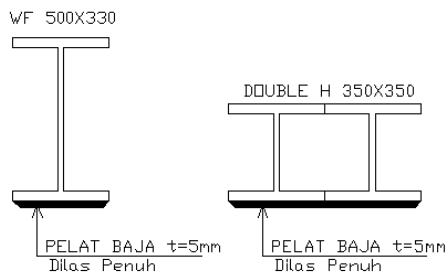
Tiang baja *Steel-Pipe Pile* yang permukaannya berlubang akibat korosi diperbaiki dengan menambahkan tambalan menggunakan cincin pipa baja dengan diameter dalamnya sama dengan diameter luar tiang (Gambar 9). Cincin dipotong menjadi 2 (dua) bagian yang masing-masing membentuk setengah lingkaran dan pada kedua bagian ujungnya diberi kemiringan 45 derajat dengan sisi susut tajam berada pada tiang. Bagian ujung dari setengah cincin harus beradu sehingga kedua cincin yang dipadukan membentuk sudut 90 derajat kemudian dilakukan pengelasan penuh pada sisi bawah, sisi atas, dan kedua ujung cincin yang dipadukan. Sistem proteksi katodik perlu diperbarui setelah pembersihan dan pekerjaan penambalan selesai untuk menghambat proses terjadinya korosi pada permukaan baja.



Gambar 9. Metoda Perbaikan Steel-Pipe Pile

6.3 Perbaikan Kerusakan Balok Baja *Trestle*

Kerusakan yang terjadi pada balok *trestle* dilakukan dengan menambahkan inersia penampang pada flens bawah struktur tersebut menggunakan plat baja (Gambar 10). Kerak pada permukaan yang terkena korosi dibersihkan dengan *sand blasting* kemudian pelat baja dilas ke permukaan bawah flens. Permukaan balok dilakukan pengecatan sebagai finishingnya untuk memproteksi struktur baja terhadap korosi.



Gambar 10. Penerapan perbaikan pada balok baja *trestle*

7. KESIMPULAN

Performa struktur setelah masa operasi selama 25 tahun mengalami perlemahan kapasitas maksimum sekitar 11% akibat penurunan inersia penampang terkorosi dan mutu material. Sebanyak 20% elemen struktur *Steel-Pipe Pile* ketebalan korosinya melebihi persyaratan. Laju korosi diperoleh sebesar 0,074 mm/tahun sehingga pile yang korosinya melampaui persyaratan pada 5 tahun mendatang akan bertambah sebanyak 50%. Berdasarkan hasil uji karbonasi, struktur dermaga memiliki umur masa layan hingga tahun ke-66. Metoda perbaikan yang direkomendasikan adalah *concrete jacketing* pada elemen struktur beton bertulang dan penambahan inersia penampang pada elemen struktur baja yang terdeteriorasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fontana, M.G., "Corrosion Engineering, 3rd edition", McGraw Hill Book Company., Sao Paulo, 1987, pp. 14, 171 sd 174.
- [2] Verma, Sanjeev Kumar, Sudhir Singh Bhadauria, dan Saleem Akhtar. "Estimating Residual Service Life Of Deteriorated Reinforced Concrete Structures". American Journal of Civil Engineering and Architecture 2013, Vol. 1, No. 5, 92-96. Madhya Pradesh, India.
- [3] A.Teran and J. Ruiz. 1992. "Reinforced concrete jacketing of existing structures". 1992.
- [4] M.G. Alexander, H-D. Beushausen, F. Dehn & P. Moyo. Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II.
- [5] Bungey, John H., Stephen G. Milliard & Michael G. Grantham. "Testing concrete in structure 4th edition". 2Taylor & Francis Group, 2006.
- [6] Metha, P. Kumar. "Concrete in the Marine Environment". Taylor & Francis Books, Inc, 2003.
- [7] Ashadi, Henki W., Sulistyoweni W, Irma Gusniani. "Pengaruh Unsur-Unsur Kimia Korosif Terhadap Laju Korosi Tulangan Beton : II. Di Dalam Lumpur Rawa". Makara, Teknologi, Vol 6, No. 2, Agustus 2002
- [8] The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan". 2009