

DESAIN DERMAGA CURAH CAIR UNTUK KAPAL 1500 DWT DI SORONG SELATAN, PAPUA BARAT

Erwin¹ dan Sri Murti Adiyastuti²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung,

Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132

[¹erwinblank165@gmail.com](mailto:erwinblank165@gmail.com) dan [²adiyastuti@ocean.itb.ac.id](mailto:adiyastuti@ocean.itb.ac.id)

Kata Kunci : *Curah Cair, Dermaga, Dolphin, Struktur*

ABSTRAK

Papua merupakan salah satu daerah penghasil minyak kelapa sawit (CPO) di Indonesia dengan luas perkebunan saat ini mencapai 958,094.2 hektar dengan 72 perusahaan perkebunan. Salah satu perusahaan kelapa sawit tersebut berada di daerah Sorong Selatan, Papua Barat. Sistem transportasi minyak kelapa sawit akan menggunakan moda laut agar lebih efisien, sehingga perlu dibangun dermaga sebagai tempat bersandar kapal. Dermaga yang akan dibangun adalah dermaga dengan tipe dolphin yang terdiri atas tiga struktur yaitu *loading platform*, *mooring dolphin* dan *breasting dolphin*.

Desain dermaga meliputi beberapa tahapan dimulai dari data sekunder diolah menjadi gaya yang bekerja pada dermaga mengacu pada British Standard dan OCDI. Kemudian gaya tersebut dijadikan input pada saat memodelkan struktur dengan perangkat lunak SAP 2000. Hasil pemodelan berupa *Unity check ratio* dan defleksi yang digunakan sebagai acuan kehandalan struktur. Hasil pemodelan lain berupa gaya dalam dan reaksi perletakan. Gaya dalam digunakan untuk mendisain tulangan elemen struktur dan reaksi perletakan digunakan sebagai acuan kedalaman pemancangan tiang pancang.

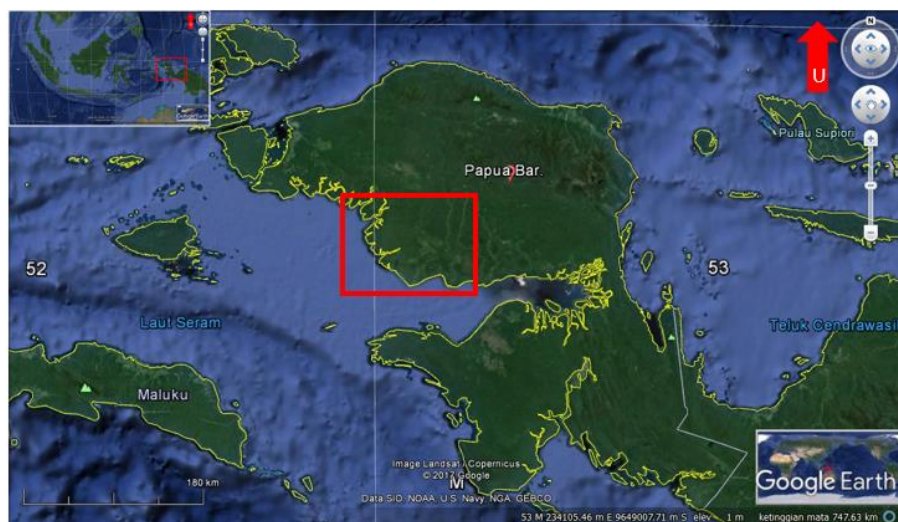
Hasil dari tugas akhir ini berupa desain struktur -loading platform, mooring dolphin, dan breasting dolphin- yang terdiri atas dimensi struktur, dimensi elemen struktur, penulangan elemen struktur, kedalaman pemancangan tiang pancang dan anggaran biaya material struktur dan pengerukan.

PENDAHULUAN

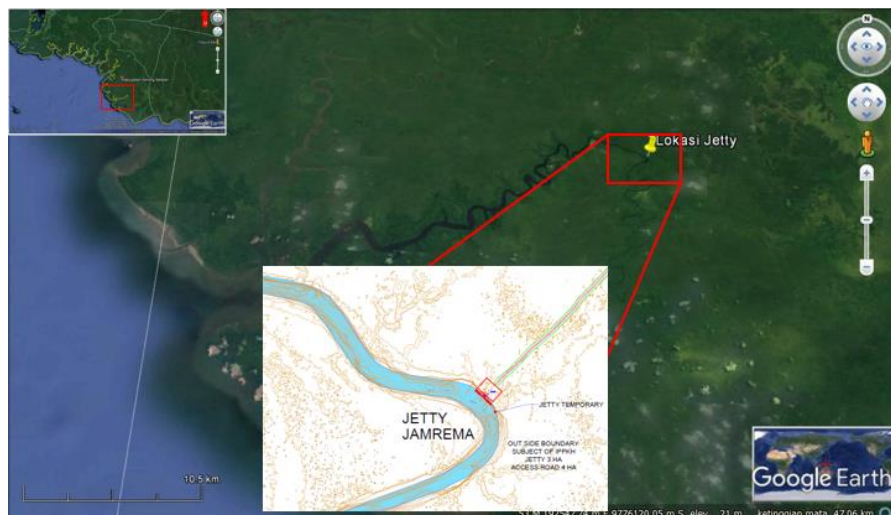
Pendistribusian minyak kelapa sawit (CPO) dari perusahaan di Sorong Selatan akan dilakukan melalui jalur laut tetapi lokasi perusahaan sangat jauh dari pantai ± 50 km sehingga infrastruktur untuk bongkar muat CPO akan dibangun di sungai metamani yang berjarak ± 5 km dari lokasi perusahaan.

Sungai Metamani memiliki lebar dan kedalaman yang potensial untuk dijadikan alternatif jalur pelayaran untuk mendistribusikan CPO. Infrastruktur untuk menunjang pendistribusian CPO berupa dermaga akan dibangun di sungai ini untuk memudahkan proses bongkar-muat CPO.

Lokasi dermaga akan dibangun di sungai metamani, Kabupaten Sorong Selatan, Papua Barat seperti ditunjukkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**



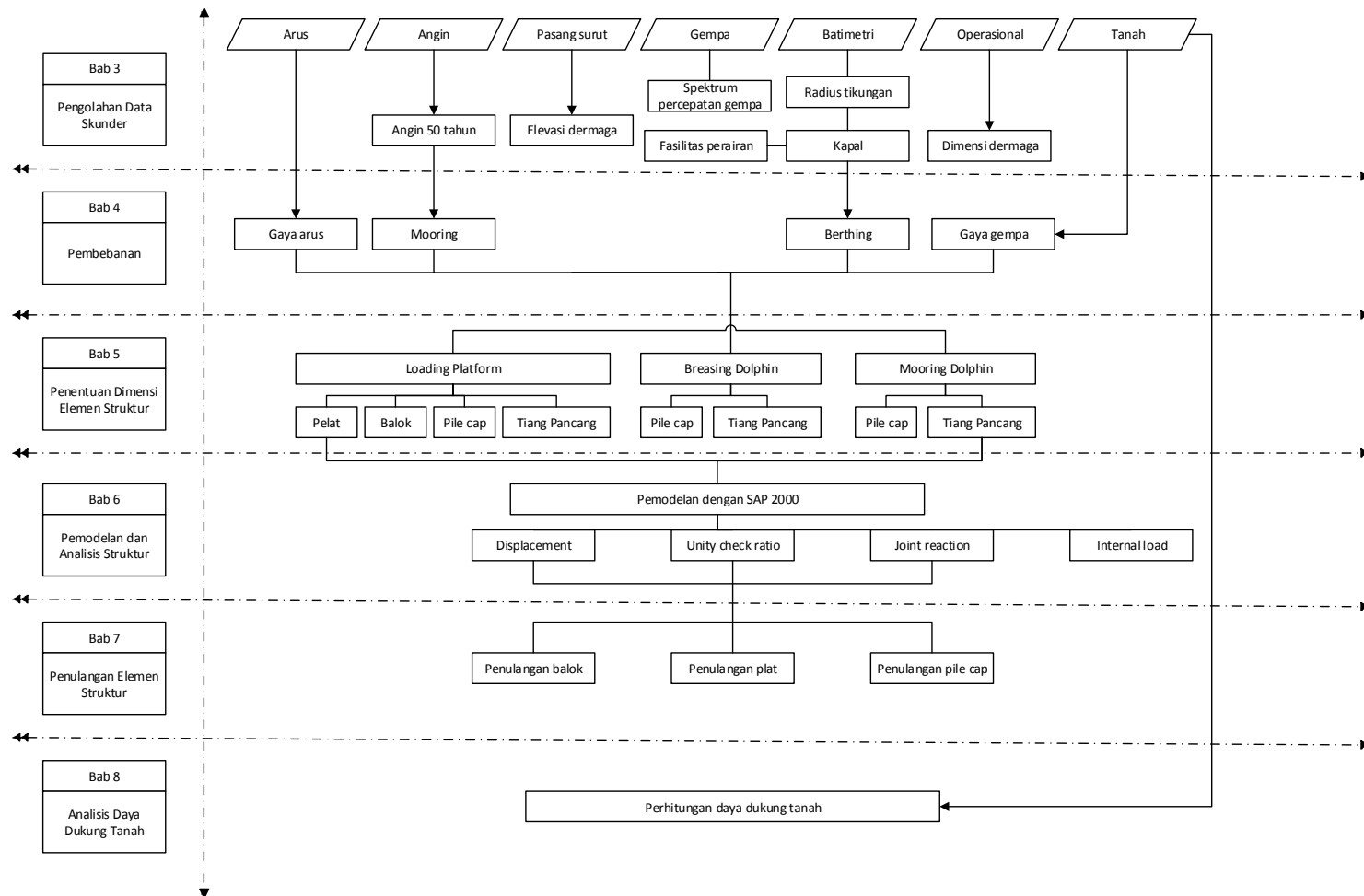
Gambar 1 Papua Barat



Gambar 2 Lokasi Dermaga

METODOLOGI

Metodologi pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada diagram alir pada **Gambar 3**



Gambar 3 Daigram Alur

DATA SEKUNDER

Data Sekunder yang digunakan berupa data angin, data arus, data pasang surut, data gempa, data batimetri, Ringkasan data skunder ditunjukkan pada **Tabel 1**

Tabel 1 Data skunder

parameter		Nominal	Satuan
Angin periode ulang 50 tahun	East	11.276	m/s
	North East	10.268	m/s
	North	48.253	m/s
	Noth West	12.335	m/s
	South	15.543	m/s
	South East	12.365	m/s
	South West	9.509	m/s
	West	12.274	m/s
Arus		4.5	m/s
Pasang surut	HAT upstream	1.564	m
	LAT	1.565	m
	Tunggang pasang	3.129	m
Batimetri	Maksimum	10	m
	Minimum	1	m
Kapal	LOA	40	m
	Beam	17	m
	Draft	4.5	m
	DWT	1496	Ton

Data angin diperoleh dari NOAA dengan rentang data 16 tahun yaitu dari tahun 2001 sampai dengan tahun 2016. Kemudian data angin diolah dengan menggunakan *software* SMADA 6.0 sehingga diperoleh data angin dengan periode ulang 50 tahun untuk setiap arah yang ditunjukkan pada **Tabel 1**. Selanjutnya data angin akan diolah kembali menjadi beban *mooring* yang bekerja pada dermaga.

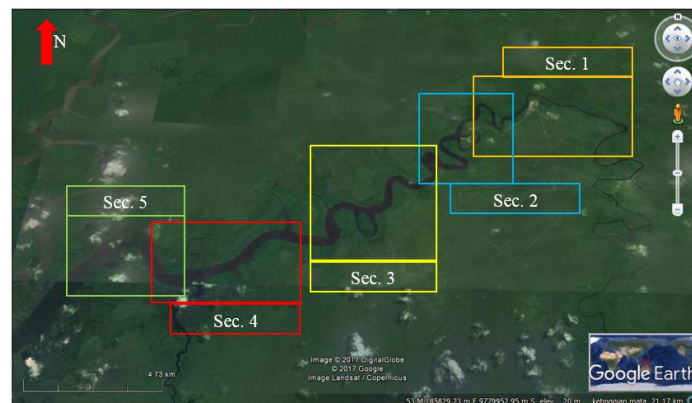
Data arus yang digunakan berdasarkan asumsi karena data arus di daerah tersebut tidak tersedia. Selanjutnya data arus akan diolah menjadi beban arus yang bekerja pada tiang pancang dermaga.

Data pasang surut akan digunakan untuk menentukan elevasi minimum dermaga agar dermaga tidak terendam pada saat kondisi pasang. Data gempa diperoleh dari Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010 kemudian diolah dengan standar yang sama sehingga diperoleh percepatan gempa yang akan digunakan sebagai input di pemodelan.

Data batimetri dan data tikungan akan digunakan untuk menentukan kapal rencana yang selanjutnya akan diolah menjadi beban *berthing* pada dermaga. Data tanah akan digunakan untuk menentukan *fixity point* dan daya dukung tanah. Data operasional akan digunakan untuk menentukan dimensi dermaga dan beban pada dermaga.

KAPAL RENCANA

Panjang kapal (LOA) maksimum kapal ditentukan berdasarkan radius tikungan minimum sepanjang sungai metamani. Adapun radius tikungan sungai dari estuary sampai lokasi dermaga ditunjukkan pada Gambar



Gambar 4 Tikungan sepanjang sungai metamani

Dalam perhitungan tikungan, sungai dibagi menjadi 5 section. Adapun radius minimum dari setiap section ditunjukkan pada Tabel

Gambar 5 Tikungan terkecil setiap section

No	Section	Radius minimum (m)
1	Section 1	164.473
2	Section 2	290.951
3	Section 3	276.579
4	Section 4	692.354
5	Section 5	751.381

Radius tikungan terkecil berada di section 1 dengan nominal 164.473 m. kemudian panjang kapal maksimum yang dapat melewati sungai tersebut dihiutng dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R_s = 4.L$$

$$L = 41.118 \text{ meter}$$

Dimensi kapal rencana yang digunakan ditunjukkan pada Tabel

Tabel 2 Dimensi Kapal rencana

LOA (m)	Beam (m)	Draft (m)	Gross Tonnage (ton)	DWT (ton)
40	17	4.5	1119	1496

DATA OPERASIONAL

Data operasional berupa peralatan bongkar muat yang akan digunakan di dermaga. Data operasional berupa loading arm, mobile crane dan Kendaraan inspeksi. Loading arm yang digunakan adalah loading arm dengan arm size 4". Mobile crane digunakan untuk memasang loading arm. Mobile crane yang digunakan adalah TR-80.

PEMBEBANAN

Beban yang bekerja pada dermaga ditunjukkan pada Tabel

Tabel 3 Beban yang bekerja pada struktur

Jenis Beban	Nominal	Satuan
Berthing	617	kN
Mooring	98.1	kN
Arus	0.418	kN
Fender	15.37	kN
Bollard	0.29	kN
Pile Cap	23.544	kN
Manusia	5	kN/m ²
Mobile Crane	24.73	kN/m ²
Loading Arm	61.8	kN
Momen Loading arm	104.4	kN.m
Pipe rack and pipeline	2.13	kN
Minyak	0.068	kN

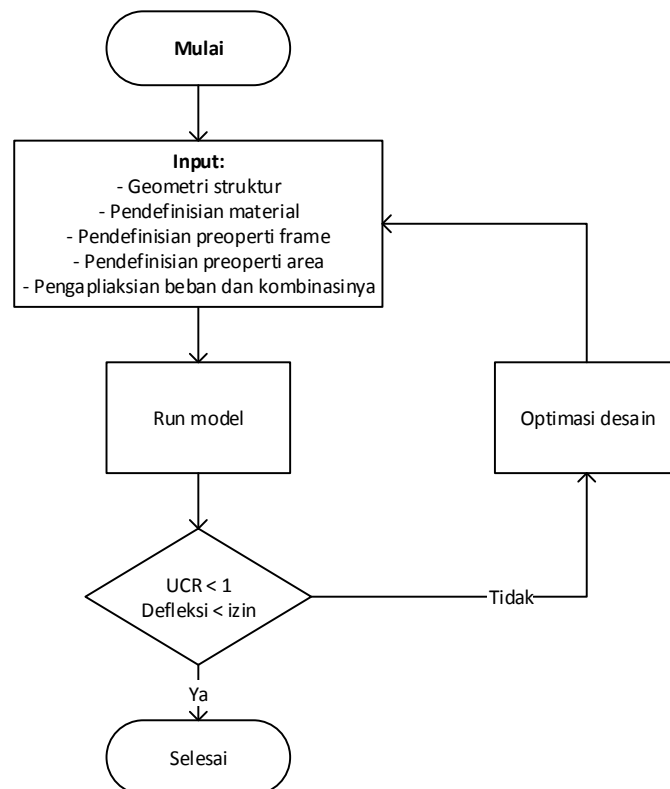
Beban-beban tersebut akan di jadikan input pada saat melakukan pemodelan dengan menggunakan SAP 2000. Ada beberapa beban lagi yang diinput secara khusus yaitu beban mati dan beban gempa. Beban mati akan otomatis dihitung oleh SAP sedangkan beban gempa di input dengan menggunakan respon gempa. Adapun respon gempa yang digunakan ditunjukkan pada Gambar



Gambar 6 Grafik respon spektra desain

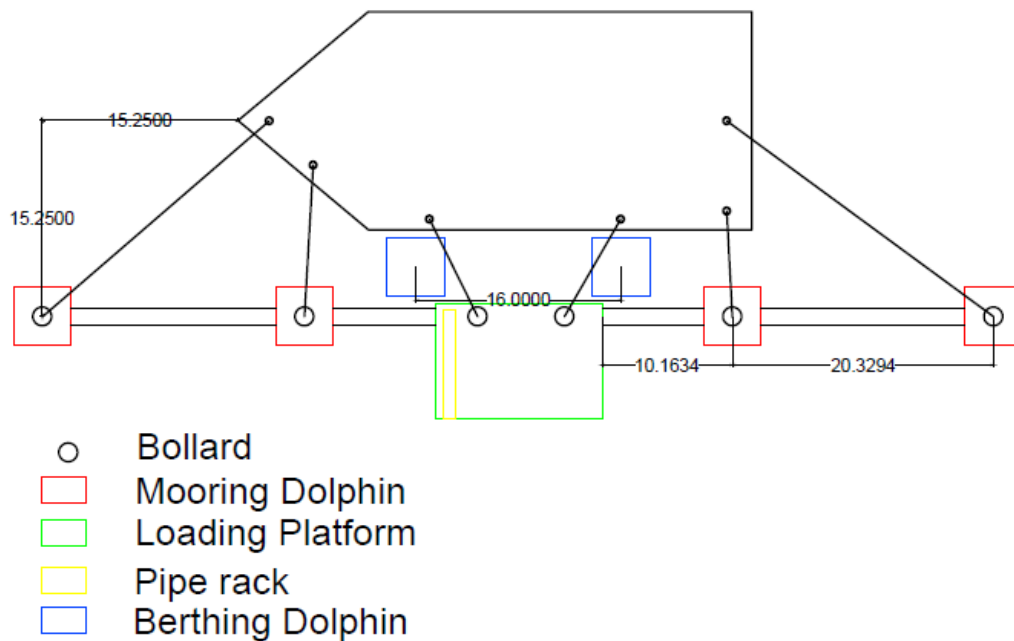
PEMODELAN

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP 2000. Langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut:

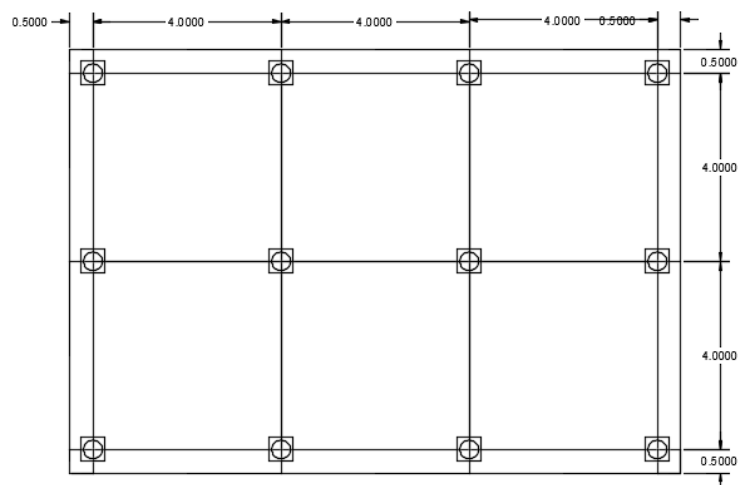


Gambar 7 Diagram alur pemodelan

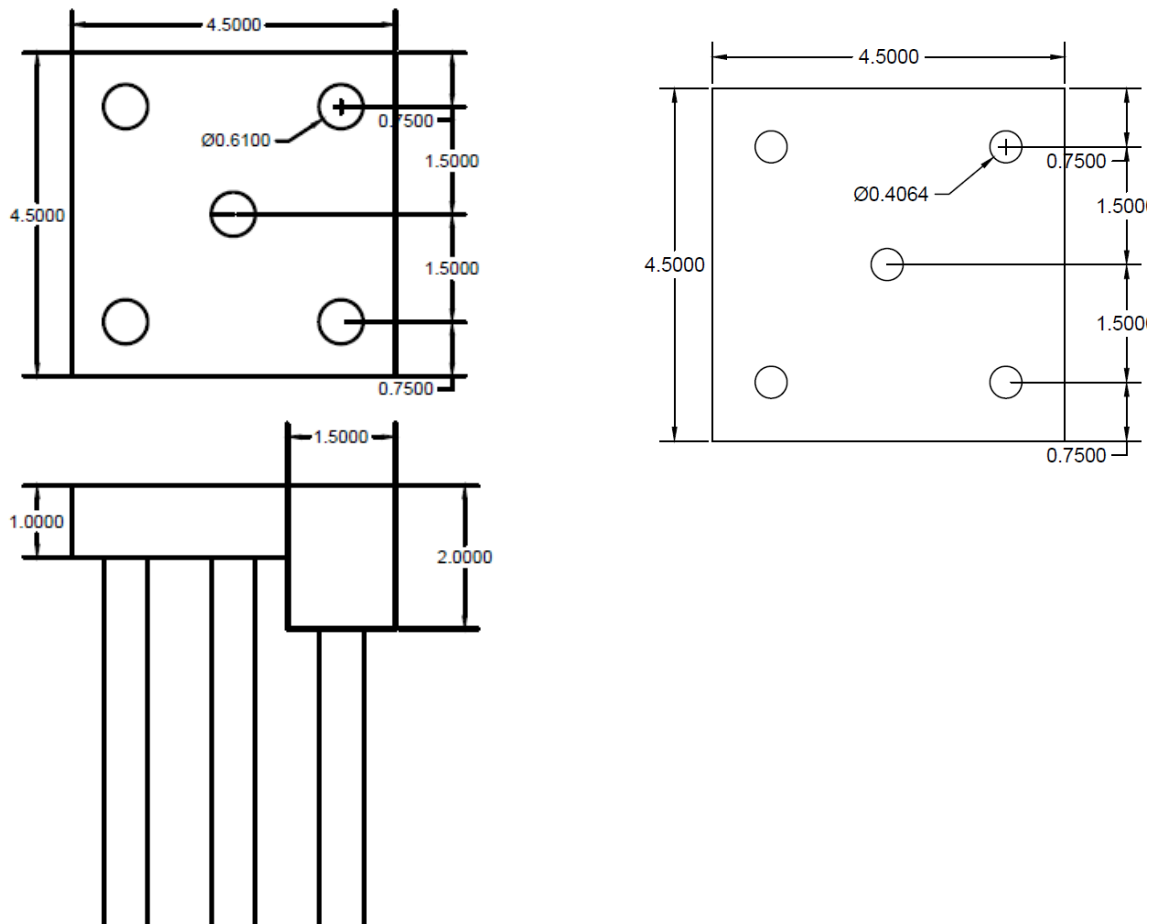
Pemodelan terdiri dari beberapa tahap, yaitu input, run model dan pengecekan terhadap syarat kehandalan struktur. Ada beberapa hal diharuskan di input pada pemodelan diantaranya adalah geometri struktur, material, frame, area, dan pembebanan. Geometri struktur yang di input ke SAP 2000 adalah sebagai berikut



Gambar 8 Lay out dermaga

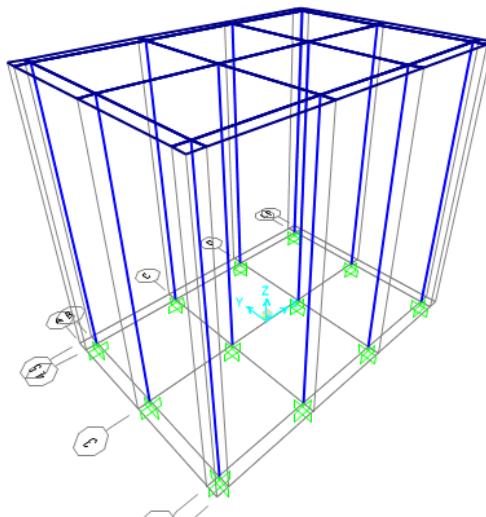


Gambar 9 Geometri loading platform



Gambar 10 Geometri breasting dolphin dan mooring dophin

Terdapat tiga jenis struktur yang dimodelkan yaitu dua breasting dolphin, empat mooring dolphin dan satu loading platform dengan masing masing geometri struktur tersebut ditunjukkan pada **Gambar** dan **Gambar**. Setelah di modelkan di SAP 2000 geometri struktur menjadi seperti pada Gambar



Gambar 11 Geometri struktur loading platform di SAP 2000

Selanjutnya adalah menginput material. Terdapat dua material yang digunakan pada pemodelan ini yaitu beton dan baja. Masing-masing material tersebut di tunjukan pada **Gambar 12**

The image shows two side-by-side screenshots of the 'Material Property Data' dialog box. The left window is for 'Steel' (A36) and the right window is for 'Concrete'. Both windows show various material properties like Modulus of Elasticity, Poisson's Ratio, and Yield Stress.

Property	Steel (A36)	Concrete
Material Name and Display Color	A36	Concrete
Material Type	Steel	Concrete
Weight per Unit Volume	76.9729	23.544
Mass per Unit Volume	7.849	2.4008
Modulus of Elasticity, E	1.999E+08	27805578
Poisson's Ratio, U	0.3	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05	9.900E-06
Shear Modulus, G	76903069	11585658
Minimum Yield Stress, Fy	248211.28	35000
Minimum Tensile Stress, Fu	399896	
Effective Yield Stress, Fye	372316.9	
Effective Tensile Stress, Fue	439885.6	

Gambar 12 Material baja dan beton

Selanjutnya menginput property frame dan area. Adapun frame dan area yang di input pada masing-masing struktur ditunjukan pada **Tabel 4**

Tabel 4 Property frame dan area

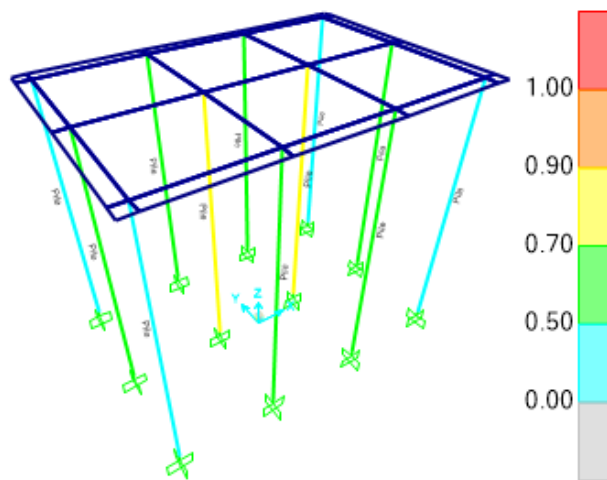
Struktur	Komponen	Jenis	Parameter	Nilai	Satuan
Loading platform	Balok	Frame	h	800	mm
			b	400	mm
	Pelat	Area	Tebal	200	mm
	Tiang pancang	Frame	OD	355.6	mm
			WT	7.9	mm
Mooring Dolphin	Pile cap	Area	h	1000	mm
			b	4500	mm
			l	4500	mm
	Tiang Pancang	Frame	OD	457	mm
			WT	4.8	mm
Breasting Dolphin	Pile cap	Area	h	1000	mm
			b	4500	mm
			l	4500	mm
	Tiang pancang	Frame	OD	610	mm
			WT	11.1	mm

Setelah menggambar geometri struktur, menginput material dan frame selanjutnya adalah menginput beban pada struktur. Adapun beban yang di input adalah beban yang terdapat pada **Tabel 3** dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut

Tabel 5 Kombinasi pembebanan

No	<i>Service load state</i>	<i>Ultimate load state</i>
1	1.0 D	1.4 D
2	1.0 D+1.0L	1.2 D+1.6 L
3	1.0 D+0.6(C+B)	1.2 D+0.5 (C+B)
4	1.0 D+0.6(C+M)	1.2 D+0.5(C+M)
5	1.0 D+0.45(C+B)+0.75L	1.2 D+1.0 (C+B)+1.0 L
6	1.0 D+0.45(C+M)+0.75L	1.2 D+1.0 (C+M)+1.0 L
7	1.0 D+0.525 E + 0.75 L	1.2 D +1.0 E
8	1.0 D+0.7 E	0.9 D + 1.0 E

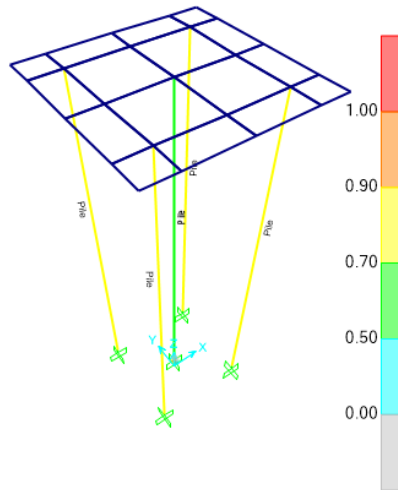
Setelah semua input dimasukan langkah selanjutnya adalah menjalankan model. Setelah model dijalankan akan dikeluarkan output berupa Unity check ratio (UCR), defleksi, reaksi perletakan dan gaya dalam. Syarat UCR adalah $0.7 \leq UCR < 1$ adapun UCR masing-masing struktur adalah sebagai berikut



Gambar 13 UCR loading platform

Tabel 6 UCR loading platform

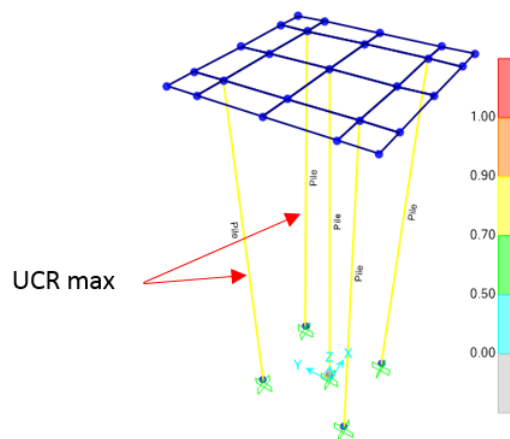
Frame	UCR	Kombinasi	Detail kombinas	Keterangan
5	0.835	ULS2	1.2DL+1.6LL	OK
8	0.835	ULS2	1.2DL+1.6LL	OK



Gambar 14 UCR mooring dolphin

Tabel 7 UCR mooring dolphin

Frame	UCR	Kombinasi	Detail kombinasi	Keterangan
1	0.703	ULS4.05	$1.2DL+1LL+1C^{X-}+1M^{X-}$	OK
3	0.703	ULS4.05	$1.2DL+1LL+1C^{X-}+1M^{X-}$	OK
7	0.703	ULS4.01	$1.2DL+1LL+1C^{X+}+1M^{X+}$	OK
9	0.703	ULS4.01	$1.2DL+1LL+1C^{X+}+1M^{X+}$	OK



Gambar 15 UCR breasting dolphin

Tabel 8 UCR breasting dolphin

Frame	UCR	Kombinasi	Detail kombinasi	Keterangan
56	0.825	ULS4.01	$1.2DL+1LL+1C^{X+}+1B$	OK
60	0.825	ULS4.02	$1.2DL+1LL+1C^{X-}+1B$	OK

Selanjutnya syarat defleksi ditunjukkan pada Tabel

Tabel 9 Syarat defleksi

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$L/360$	-
Balok biasa	$L/240$	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

Adapun defleksi yang terjadi pada masing-masing struktur ditunjukkan pada Tabel

Tabel 10 Defleksi yang terjadi pada masing-masing struktur

Struktur	Elemen	Nominal	Syarat	Keterangan
Loading platform	Balok	-0.0065	0.02	OK
	Tiang pancang	0.027	0.054	OK
Mooring Dolphin	Tiang pancang	0.051	0.053	OK
Breasting Dolphin	Tiang pancang	0.056	0.058	OK

Sedangkan reaksi perletakan, gaya dalam pada balok dan gaya dalam pada pelat yang diperoleh dari pemodelan masing-masing ditunjukkan pada **Tabel 11**, **Tabel 12** dan **Tabel 13**

Tabel 11 Reaksi perletakan

Struktur	Joint	Kombinasi	F3 (kN)
Loading latform	Tumpuan5	ULS2	1064.67
	Tumpuan1	ULS6.02	75.345
Mooring Dolphin	Tumpuan1	SLS4.05	163.107
	Tumpuan2	SLS4.06	163.107
	Tumpuan4	SLS4.01	163.107
	Tumpuan5	SLS4.05	163.107
	Tumpuan1	SLS3.01	45.481
Breasting Dolphin	Tumpuan 2	SLS3.02	496.6
	Tumpuan 5	SLS3.01	496.6
	Tumpuan 3	SLS3.01	-136.74

Tabel 12 Gaya dalam pada balok

Tipe Balok	Frame	Gaya Dalam	Nilai	Satuan	Kombinasi	Keterangan
Balok Tengah	4m39	V2+	236.445	kN	ULS2	1.2DL+1.6LL
	4m98	V2-	-238.2	kN	ULS2	1.2DL+1.6LL
	4m52	M3+	275.15	kN.m	ULS2	1.2DL+1.6LL

Tipe Balok	Frame	Gaya Dalam	Nilai	Satuan	Kombinasi	Keterangan
	4m81	M3-	-98.23	kN.m	SLS4.04	1DL+0.75LL+0.45C ^x +0.45M ^x
Balok Kantilever	0.5m2	V2+	69.763	kN	ULS2	1.2DL+1.6LL
	0.5m13	V2-	-69.07	kN	ULS2	1.2DL+1.6LL
	0.5m3	M3+	2.5264	kN.m	ULS1	1.2DL+1.6LL
	0.5m7	M3-	-32.317	kN.m	ULS2	1.2DL+1.6LL

Tabel 13 Gaya dalam pada pelat

Tipe Pelat	Area	Gaya Dalam	Nilai	Satuan	Kombinasi	Keterangan
Pelat Tengah	Area15	M11+	13.88	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
	Area15	M11-	-13.39	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
	Area14	M22+	14.24	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
	Area7	M22-	-14.67	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
Pelat Sisi	Area5	M11+	11.48	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
	Area13	M11-	-10.23	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
	Area3	M22+	7.92	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
	Area3	M22+	-10.44	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
Pelat Sudut	Area17	M11+	3.241	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
	Area4	M11-	-1.094	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
	Area17	M22+	3.185	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL
	Area20	M22-	-1.077	kN.m/m	ULS2	1.2DL+1.6LL

Setelah diperoleh *ouput* dari pemodelan berupa reaksi perletakan dan gaya dalam, selanjutnya dihitung penulangan struktur. Adapun hasil dari penulangan struktur tersebut adalah sebagai berikut

a) Balok

Dimensi penampang : 400x500 mm
Tulangan lentur atas : BJTS-40 D19, 4 buah
Tulangan lentur bawah : BJTS-40 D19, 8 buah
Tulangan geser : BJTP-30 D8

b) Pelat

Tulangan lentur arah x : BJTS-40 D8, spasi 70 mm
Tulangan lentur arah y : BJTS-40 D8, spasi 70 mm

c) Pile cap 1x1x1

Dimensi penampang : 1000 mm x 1000 mm x 1000 mm
Tulangan lentur arah x : BJTS-40 D13, 13 buah spasi 60 mm

Tulangan lentur arah y : BJTS-40 D13, 13 buah spasi 60 mm

d) Pile cap 4.5x4.5x1

Dimensi penampang : 4500 mm x 4500 mm x 1000 mm

Tulangan lentur arah x : BJTS-40 D13, 60 buah spasi 61 mm

Tulangan lentur arah y : BJTS-40 D13, 60 buah spasi 61 mm

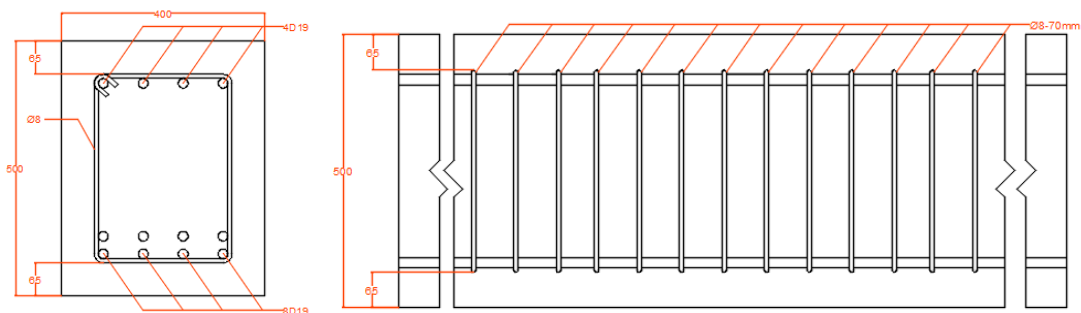
e) Plank fender

Dimensi penampang : 4500 mm x 1500 mm x 1000 mm

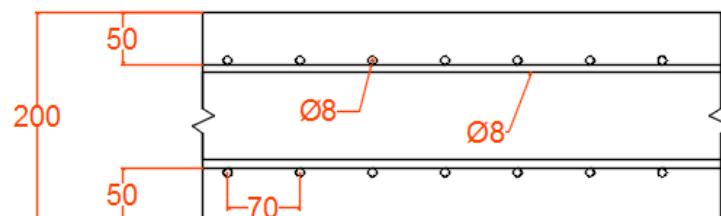
Tulangan lentur arah x : BJTS-40 D13, 20 buah spasi 60 mm

Tulangan lentur arah z : BJTS-40 D13, 20 buah spasi 60 mm

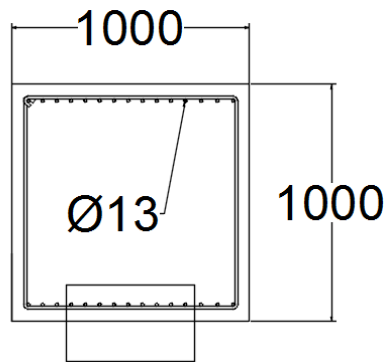
Gambar penulangan elemen struktur ditunjukkan pada **Gambar 16** sampai **Gambar 20**



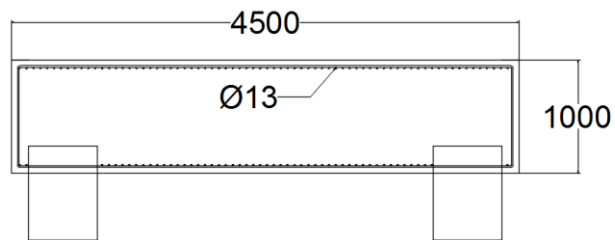
Gambar 16 Tulangan balok



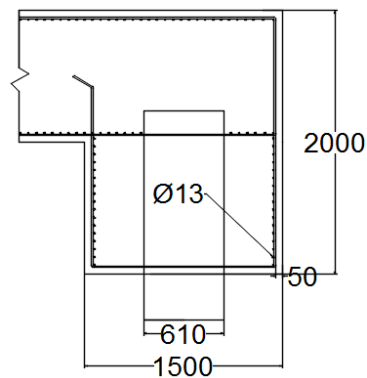
Gambar 17 Tulangan pada pelat



Gambar 18 Tulangan pada pile cap 1m x 1m x1m



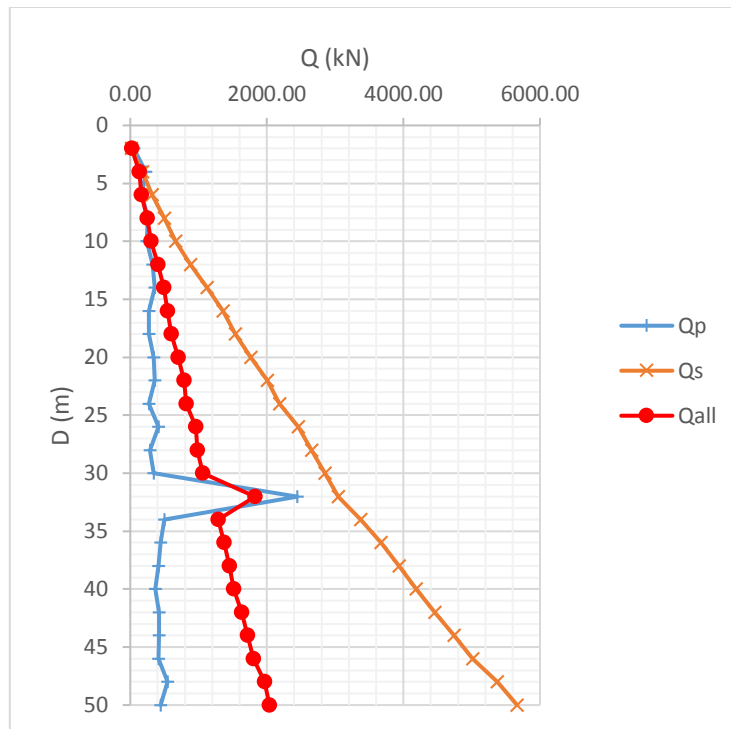
Gambar 19 Tulangan pada pile cap 4.5m x 4.5m x 1 meter



Gambar 20 Tulangan pada plank fender

DAYA DUKUNG TANAH

Selanjutnya dihitung daya dukung tanah dilokasi pembangunan dermaga. Dari hasil perhitungan daya dukung tanah, diperoleh daya dukung tanah dilokasi pembangunan dermaga ditunjukkan pada **Gambar 21**



Gambar 21 Daya dukung tanah

Karena NSP dan daya dukung tanah di kedalaman 32 meter memadai, maka semua struktur akan dipancang sampai kedalaman 32 meter.

PERHITUNGAN BIAYA MATERIAL DAN Pengerukan

Terakhir adalah perhitungan biaya untuk material struktur dan pengerukan fasilitas pelayaran. Dari hasil perhitungan diperoleh biaya untuk material dan pengerukan sebagai berikut

Tabel 14 Biaya material struktur dan pengerukan

No	Struktur	Biaya/struktur	Jumlah struktur	Jumlah biaya
1	Loading platform	IDR 817,710,686.91	1	IDR 817,710,686.91
2	Mooring Dolphin	IDR 251,077,891.72	4	IDR 1,004,311,566.87
3	Breasting Dolphin	IDR 740,957,795.66	2	IDR 1,481,915,591.31
4	Pengerukan			IDR 412,412,000.00
Total				IDR 3,716,349,845.09

KESIMPULAN

Berdasarkan UCR dan defleksi, struktur sudah memenuhi standar desain dan mampu menahan gaya yang bekerja pada struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2015. *SNI 1729:2015 Spesifikasi Bangunan Baja Struktural*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *SNI 2847:2013 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Computers and Structures, Inc. 2017. "SAP2000 Help Files." *docs.csiamerica.com*.
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. Stamford: CENGAGE Learning.
- Fentek Marine System GmbH. 2010. "Fentek Marine Fendering System." Rigmarine.
<https://www.rigmarine.com/downloads/marine/Fentek-catalogue.pdf>.
- Imran, Iswandi dan Ediansjah Zulkifli. 2014. *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. Bandung: Penerbit ITB.
- Panitia Pembaharuan Peraturan Beton Bertulang 1971. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.
- The Overseas Coastal Area Development Institute. 2002. *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*. Tokyo: OCDE.
- Thoresen, Carl A. 2014. *Port Designers Handbook*. London: ICE Publishing.
- Triatmodjo, Bambang. 2010. *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wight, James K. dan James G. MacGregor. 2012. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Ajiwibowo, H. *Diktat Kuliah Perencanaan Dermaga*
- British Standard Institution. . *British Standard Code of Practice for Marine Structure Part 1-6*. BS6349
- Kementrian PU. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*. Kementrian PU
- Badan Pusat Statistik. 2015. *Indeks Kemahalan Konstruksi*
- Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu. . *Waterway Guideline*