

**STUDI PROSES KONVERSI KAPAL TANKER
MENJADI TANKI MINYAK TERAPUNG (FSO)
KAPASITAS 700.000 BBLs**

SKRIPSI

Oleh

JOVAN PATRIOT
NPM : 04 04 08 0218



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERSYARATAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

STUDI PROSES KONVERSI KAPAL TANKER MENJADI TANKI MINYAK TERAPUNG (FSO) KAPASITAS 700.000 BBLs

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 10 Juli 2008

Jovan Patriot

NPM: 04 04 08 0218

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

STUDI PROSES KONVERSI KAPAL TANKER MENJADI TANKI MINYAK TERAPUNG (FSO) KAPASITAS 700.000 BBL

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 2 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 10 Juli 2008

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Sunaryo

NIP 131 473 842

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

Dr. Ir. Sunaryo

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih, terutama kepada kedua orang tua saya, **Ayah dan Ibu**, yang tak hentinya memberikan dukungan rohani dan terus menyemangati saya untuk menyelesaikan skripsi saya ini. Dan kepada **kakak dan kedua adik** saya yang sangat saya cintai.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman dan sahabat saya, **Cindy Melissa, Alvin Leonardi Putra, Arrifan Kartawijaya, dan Ferdie Kristoforus** atas dukungan, doa dan semangatnya.

Serta kepada semua pihak yang telah turut membantu proses pembuatan skripsi ini, baik dukungan secara jasmani maupun rohani hingga skripsi ini dapat selesai tepat pada waktunya.

Jovan Patriot
NPM 04 04 08 021 8
Departemen Teknik Mesin

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Sunaryo

**STUDI PROSES KONVERSI KAPAL TANKER MENJADI TANKI
MINYAK TERAPUNG (FSO) KAPASITAS 700.000 BBL**

ABSTRAK

Hull atau lambung kapal adalah suatu bagian utama dari sebuah kapal, karena pada dinding bagian dalam lambung tersebut dijadikan ruang di mana diletakkan muatan-muatan yang diangkut oleh kapal, khususnya pada kapal tanker. Seiring dengan perkembangan teknologi dan standarisasi peraturan IMO tentang konvensi polusi laut (MARPOL 73/78) bahwa terhitung mulai Juni 2010, kapal-kapal tanker yang mengangkut muatan cair berbahaya khususnya minyak hitam (*black product*) diwajibkan untuk memiliki lambung ganda atau double hull. Karena banyaknya kapal-kapal tanker berukuran besar yang masih berlambung tunggal, namun sudah tidak efektif apabila dimodifikasi menjadi berlambung ganda. Maka muncullah ide untuk dilakukan konversi perubahan fungsi dari sebuah kapal tanker niaga menjadi tanki minyak terapung (Floating Storage Offloading / FSO). Berkaitan dengan hal tersebut maka dalam penulisan skripsi ini akan dilakukan suatu analisa mengenai proses konversi tersebut.

Analisa yang dilakukan adalah mempelajari sejumlah informasi mengenai proses konversi dari kapal tanker menjadi tanki minyak terapung dilihat dari segi teknis, biaya dan waktu yang diperlukan untuk proses konversi tersebut. Metode yang digunakan adalah studi kasus dari sampel sebuah kapal crude oil tanker berukuran 91647 DWT yang hendak dikonversi menjadi FSO di Keppel Shipyard. Pengolahan data dilakukan dengan analisa dan peninjauan kasus dari proses konversi tersebut. Diharapkan dengan hasil analisis ini dapat memberikan gambaran dan perbandingan kepada perusahaan-perusahaan pelayaran nasional yang hendak melakukan konversi kapal tanker mereka menjadi FSO dari segi teknis, biaya dan waktu.

Kata kunci : Konversi, Tanker, Tanki Minyak Terapung (FSO)

Jovan Patriot
NPM 04 04 08 021 8
Mechanical Engineering Department

Counsellor
Dr. Ir. Sunaryo

TANKER CONVERSION PROCESS STUDY INTO FLOATING STORAGE OFFLOADING (FSO) 700.000 BBLs CAPACITY

ABSTRACT

Hull of a ship is a main part of a ship, because inside that part is where we put all the cargo that loaded on the ship, especially for tankers. Related to the development of technology and standardization of IMO convention for sea pollution (MARPOL 73/78) which is mandatory enforce by June 2010, all tankers that load Noxious Liquid Substances have to use double hull construction. Since there are still lots of large tankers that still with single hull construction, and she is not effective anymore to be modified into double hull, based on above condition came out an idea to convert those ships from tankers into Floating Storage Offloading (FSO). And in relation with that matters, in this final assignment will be discussed the process and the analysis of the tanker conversion into FSO.

This paper describes a study of the extent information about the conversion process from tanker into FSO and work through technical, cost and duration aspects. The analysis using case study method, use a sample of a 91647 DWT crude oil tanker that will be converted into FSO in Keppel Shipyard. Besides analyzing this paper also provide some critical review about the conversion process. We do hope this paper could provide some pictures and comparison for the national shipping companies that intend to convert their tankers to FSO, approach from technical, cost and duration aspects.

Keywords : Conversion, Tanker, Floating Storage Offloading (FSO)

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR ISTILAH	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	9
1.3 TUJUAN PENULISAN	9
1.4 BATASAN MASALAH	10
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	10
BAB II. LANDASAN TEORI	12
2.1 METODOLOGI PENULISAN	12
2.2 KETENTUAN KONSTRUKSI DOUBLE HULL	12
II.2.1 Peraturan 19 – Ketentuan double hull dan double bottom untuk tanker minyak pada atau setelah 6 Juli 1996	12
2.3 INDUSTRI HULU MINYAK GAN GAS LEPAS PANTAI	13
2.4 SISTEM ANJUNGAN LEPAS PANTAI	16
2.5 JENIS-JENIS OFFSHORE	18
2.5.1 Tension Leg Platform (TLP)	19
2.5.2 Floating Production, Storage and Offloading system (FPSO)/ Floating Storage and Offloading (FSO)	20
2.5.3 Fixed Offshore Structure tipe Jacket	23

2.6 KAPAL TANKER	24
2.7 FLOATING STORAGE OFFLOADING (FSO)	28
2.8 METODE PENGHITUNGAN STABILITAS DAN TRIM	32
2.8.1 Penghitungan Trim dan Mean Draft	32
2.8.2 Penghitungan dari G_0M	33
BAB III. STUDI KASUS	34
3.1 PERSYARATAN FSO	34
3.2 KAPAL YANG HENDAK DIKONVERSI	36
3.2.1 Spesifikasi Kapal	36
3.2.2 Gambar Kapal	37
3.3 PEKERJAAN KONVERSI	40
3.3.1 Pekerjaan Utama	42
3.3.2 Hal-Hal yang Perlu Diperhatikan Selama Proses Konversi	45
3.3.3 Hasil Proses Konversi	46
3.4 PERHITUNGAN STABILITAS DAN TRIM	49
3.4.1 Kapasitas Tanki	49
3.4.2 Perhitungan Stabilitas dan Kriteria Stabilitas	50
3.4.3 Cross Curve	52
3.4.4 Stabilitas 7 Kondisi FSO Urwasi	53
3.5 PERHITUNGAN DAN ANALISA MOORING ARRANGEMENT	69
3.5.1 Data Lokasi, Kedalaman, dan Tinggi Gelombang	69
3.5.2 Kondisi Cuaca	69
3.5.3 Spektrum Gelombang	70
3.5.4 Konfigurasi Mooring	72
3.5.5 Hasil Analisa	74
3.6 PROSES LOADING DAN OFFLOADING	74
3.7 PENINJAUAN ULANG	75
BAB IV. ANALISA BIAYA DAN WAKTU	77
3.1 ANALISA BIAYA	77
3.2 ANALISA WAKTU	80

BAB V. KESIMPULAN DAN DISKUSI	88
5.1 KESIMPULAN	88
5.2 DISKUSI	91
DAFTAR ACUAN	93
DAFTAR PUSTAKA	94
LAMPIRAN	95



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Peta Negara Kesatuan Republik Indonesia	1
Gambar 1.2 Grafik Perbandingan Produksi dan Konsumsi Minyak di Indonesia	2
Gambar 1.3 Produksi Minyak di Indonesia per hari	3
Gambar 1.4 Produksi Gas Alam di Indonesia per hari	4
Gambar 1.5 Persentase Produksi Minyak di Negara Anggota OPEC	5
Gambar 2.1 Rantai Proses Industri Minyak & Gas	14
Gambar 2.2 Pola Distribusi BBM (Bahan Bakar Minyak)	14
Gambar 2.3 Jenis-Jenis Offshore Platform	19
Gambar 2.4 Tension Leg Platform	20
Gambar 2.5 Floating Production, Storage and Offloading system (FPSO)	21
Gambar 2.6 Fixed Offshore Platform type Jacket	23
Gambar 2.7 Sebuah Kapal Tanker Minyak	25
Gambar 2.8 Distribusi Jumlah Tanker Berdasarkan Ukuran	28
Gambar 2.9 Bagian-bagian Sebuah FSO / FPSO	29
Gambar 2.10 Kondisi Sebuah FSO / FPSO Saat Beroperasi	31
Gambar 3.1 General Arrangement Sebelum Konversi	37
Gambar 3.2 GA Sebelum Konversi Tampak Samping	38
Gambar 3.3 GA Sebelum Konversi Tampak Depan	38
Gambar 3.4 GA Sebelum Konversi Tampak Atas	38
Gambar 3.5 GA Sebelum Konversi untuk Boat Deck dan Crew Deck	39
Gambar 3.6 GA Sebelum Konversi untuk Upperdeck & Capt. Deck	39
Gambar 3.7 GA Sebelum Konversi untuk Nav. Bridge Deck dan Compass Deck	40
Gambar 3.8 General Arrangement Setelah Konversi	46
Gambar 3.9. GA Setelah Konversi Tampak Samping	47
Gambar 3.10 GA Setelah Konversi Tampak Depan	47

Gambar 3.11	GA Setelah Konversi Tampak Bawah	47
Gambar 3.12	GA Setelah Konversi Tampak Atas	48
Gambar 3.13	GA Setelah untuk 1 st Deck, 2 nd Deck dan 3 rd Deck	48
Gambar 3.14	GA Setelah untuk 4 th Deck, 5 th Deck dan 6 th Deck	48
Gambar 3.15	GA Setelah untuk 7 th Deck dan 8 th Deck	49
Gambar 3.16	Plimpsol Mark	49
Gambar 3.17	Capacity Plan FSO Berkapasitas 700.000 bbls Setelah Konversi	50
Gambar 3.18	Lengan Stabilitas	51
Gambar 3.19	Kurva Stabilitas Statis	52
Gambar 3.20	Kondisi Kapal Kosong	53
Gambar 3.21	Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kapal Kosong	55
Gambar 3.22	Kondisi Kapal Penuh	55
Gambar 3.23	Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kapal Penuh	57
Gambar 3.24	Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%	58
Gambar 3.25	Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%	59
Gambar 3.26	Kondisi Kargo 0% dengan Bunker 100% dan Ballast Normal	60
Gambar 3.27	Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 100% dan Ballast Normal	62
Gambar 3.28	Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 10% dan Ballast Normal	62
Gambar 3.29	Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 10% dan Ballast Normal	64
Gambar 3.30	Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 100%	64
Gambar 3.31	Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 100%	66
Gambar 3.32	Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%	67
Gambar 3.33	Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%	68
Gambar 3.34	Gambar Lokasi FSO akan Beroperasi (a)	71

Gambar 3.35 Gambar Lokasi FSO akan Beroperasi (b)	71
Gambar 3.36 Layout Mooring Arrangement dengan 10 Titik	72

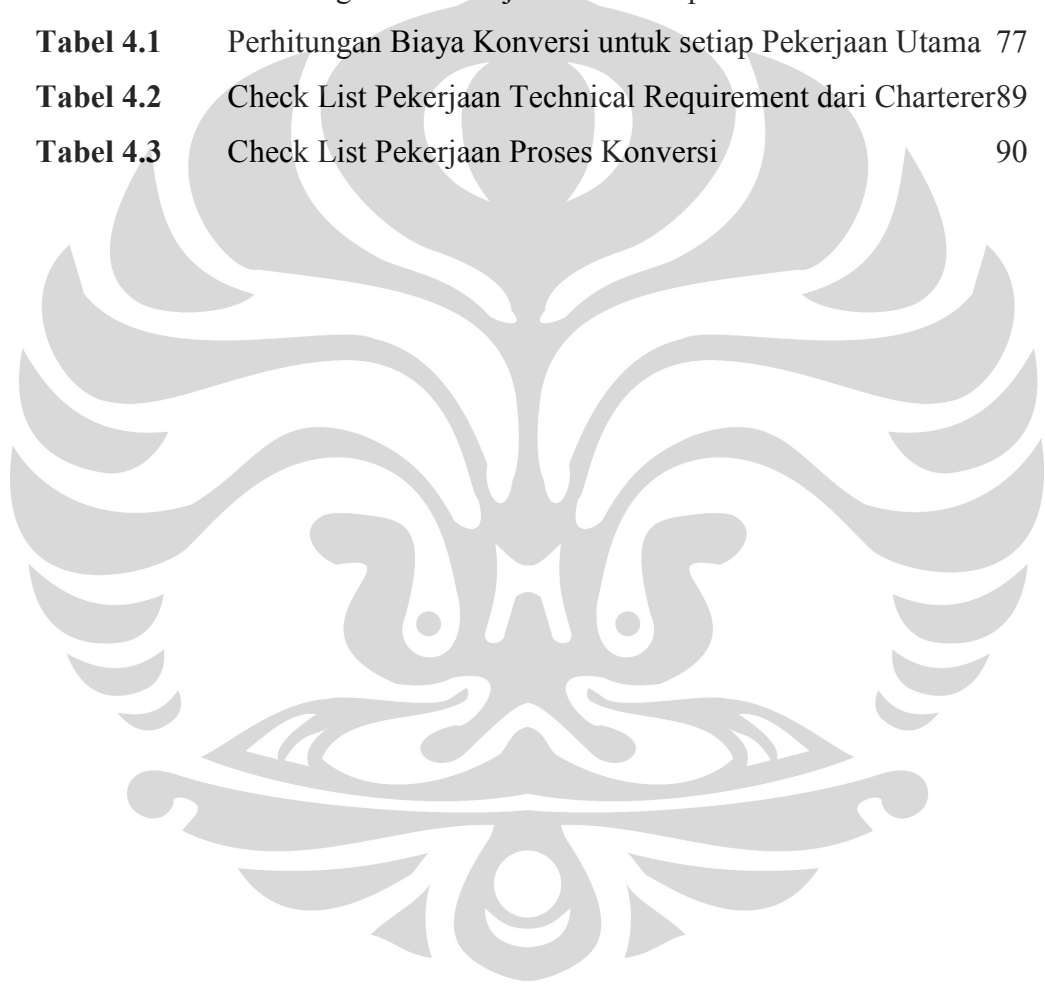


DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Produksi, Ekspor, dan Impor Minyak Mentah Per Tahun di Indonesia	3
Tabel 1.2 Daftar Negara Penghasil Minyak se-Dunia Data 2005	6
Tabel 2.1 Perusahaan Penghasil Minyak Utama di Indonesia	15
Tabel 2.2 Pembagian Kelas Tanker Berdasarkan Ukuran	27
Tabel 2.3 Data Beberapa FPSO/FSO, Lokasi Beroperasi dan Operatornya	31
Tabel 3.1 Persyaratan FSO yang Dibutuhkan untuk Kilang Minyak Widuri	34
Tabel 3.2 Pekerjaan untuk Proses Konversi Menjadi FSO	40
Tabel 3.3 Ketinggian Draft Maksimum, Displacement dan DWT untuk Setiap Kondisi Perairan	50
Tabel 3.4 Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kapal Kosong	53
Tabel 3.5 Keadaan Kapal pada Kondisi Kapal Kosong	53
Tabel 3.6 Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kapal Kosong	54
Tabel 3.7 Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kapal Kosong	55
Tabel 3.8 Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kapal Penuh	55
Tabel 3.9 Keadaan Kapal pada Kondisi Kapal Penuh	56
Tabel 3.10 Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kapal Penuh	56
Tabel 3.11 Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kapal Penuh	57
Tabel 3.12 Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%	58

Tabel 3.13	Keadaan Kapal pada Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%	58
Tabel 3.14	Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%	59
Tabel 3.15	Hasil Analisa Stabilitas Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%	59
Tabel 3.16	Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kargo 0% dengan Bunker 100% dan Ballast Normal	60
Tabel 3.17	Kapal pada Kondisi Kargo 0% dengan Bunker 100% Ballast Normal	60
Tabel 3.18	Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 100% dan Ballast Normal	61
Tabel 3.19	Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 100% dan Ballast Normal	61
Tabel 3.20	Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 10% dan Ballast Normal	62
Tabel 3.21	Keadaan Kapal pada Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 10% dan Ballast Normal	63
Tabel 3.22	Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 10% dan Ballast Normal	63
Tabel 3.23	Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10% dan Ballast Normal	64
Tabel 3.24	Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 100%	65
Tabel 3.25	Keadaan Kapal pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 100%	65
Tabel 3.26	Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 100%	66
Tabel 3.27	Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kargo 50% & Bunker 100%	66
Tabel 3.28	Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%	67

Tabel 3.29	Keadaan Kapal pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%	67
Tabel 3.30	Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%	68
Tabel 3.31	Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%	68
Tabel 3.32	Kondisi Cuaca dan Arus untuk Periode Berulang	69
Tabel 3.33	Perhitungan Usia Kerja Untuk Setiap Titik Tambat	74
Tabel 4.1	Perhitungan Biaya Konversi untuk setiap Pekerjaan Utama	77
Tabel 4.2	Check List Pekerjaan Technical Requirement dari Charterer	89
Tabel 4.3	Check List Pekerjaan Proses Konversi	90



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Tabel Cross Curve untuk sudut 5° - 90°	93
Lampiran 2 Foto-Foto Kapal	98



DAFTAR ISTILAH

Istilah	Keterangan
Base line	Garis yang ditarik dari bagian paling dasar kapal
Breadth moulded	Lebar kapal dihitung pada bagian dalam kapal, tanpa menghitung ketebalan plat
Caisson	Sebuah kotak kosong atau pelampung yang terletak pada bagian bawah fixed platform
Cofferdam	Ruang kosong antar tanki untuk mencegah terjadinya kontaminasi antar tanki apabila terjadi kebocoran
Contingency plan	Rencana pendukung untuk mengatasi masalah pada saat terjadi pergantian FSO antara yang lama dengan yang baru
Depth moulded	Tinggi kapal dihitung pada bagian dalam kapal, tanpa menghitung ketebalan plat
Heating coil	Kawat-kawat pemanas yang di dalamnya dialiri uap panas untuk memanaskan minyak di dalam ruang kargo agar tidak mengalami pembekuan atau proses solidifikasi
Heave	Gerakan naik turun pada permukaan air akibat adanya gelombang
Manifold	Sistem perpipaan atau katup tempat keluar masuknya muatan minyak dari dan menuju kapal tanker
Marginal field	Sumur minyak yang hanya memiliki sedikit kandungan minyak dan hampir tidak efisien untuk dieksplorasi
Oil platform	Anjungan minyak lepas pantai, baik tetap (<i>fixed</i>) maupun terapung tempat dilakukannya eksplorasi sumur minyak
Refinery	Tempat penyulingan minyak mentah hasil eksplorasi menjadi berbagai macam produk minyak yang dapat digunakan
Spar	Salah satu jenis anjungan minyak lepas pantai terapung yang diletakkan di laut yang sangat dalam
Tendon	Salah satu jenis kaki pada sebuah anjungan minyak lepas pantai terapung yang menyerupai otot atau urat dari anjungan minyak tersebut
Trim	Kemiringan kapal akibat adanya perbedaan ketinggian lambung tak tercelup (<i>freeboard</i>) antara bagian depan dengan bagian belakang pada kapal
Umbilicus	Sistem perpipaan dari sumur-sumur yang tersebar di sekitarnya menuju sebuah pusat anjungan minyak lepas pantai

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

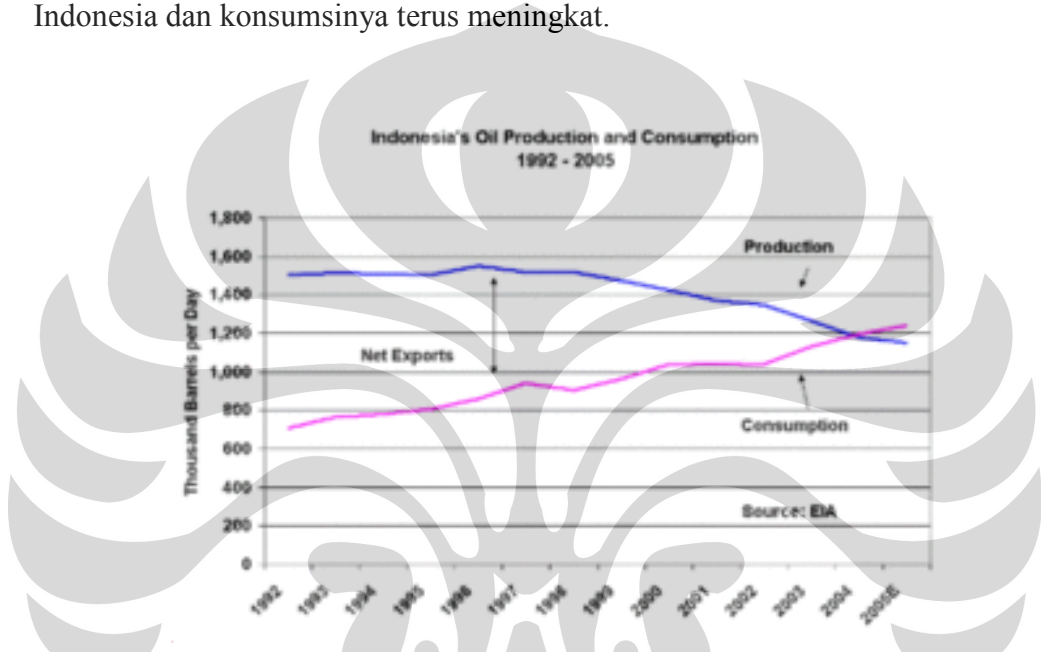
Keberadaan minyak bumi sebagai sumber energi utama sampai saat ini masih belum dapat tergantikan. Minyak mentah (*crude oil*) dan segala hasil olahan selanjutnya tetap menjadi pilihan utama manusia dalam pencapaian kebutuhan masyarakat. Berbagai inovasi dan usaha telah dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak, namun sampai saat ini masih banyak kendala-kendala yang dihadapi, terutama dari sisi ketersediaan teknologi tersebut bagi kebutuhan massal serta daya penerimaan dari masyarakat itu sendiri.



Gambar 1.1. Peta Negara Kesatuan Republik Indonesia

Negara kita adalah negara yang sangat luas dan sangat kaya dengan sumber daya alamnya. Oleh karena itu Indonesia sebagai negara berkembang juga telah berusaha melakukan pencarian energi alternatif yang dapat menggantikan minyak. Penelitian seperti pemanfaatan energi gas alam, panas bumi, bahkan pemanfaatan minyak kelapa sawit dengan proses bio solarnya telah dilakukan sejak beberapa tahun lalu. Akan tetapi inovasi tersebut nyatanya masih belum bisa dimanfaatkan secara langsung oleh masyarakat. Kemajuan dari inovasi-inovasi

tersebut masih belum sejalan dengan teknologi penggunaan energi alternatif secara massal. Inovasi ini terbentur dengan keterbatasan teknologi pendukungnya sehingga tidak dapat diserap oleh pasar, selain itu masyarakat Indonesia sendiri masih belum mampu mengubah preferensi mereka terhadap energi. Hal ini terbukti dengan masih sulitnya pemerintah dalam usaha konversi penggunaan minyak tanah dengan gas elpiji. Dalam hal ini, diambil kesimpulan bahwa sampai saat ini minyak bumi masih menjadi pilihan utama bagi mayoritas masyarakat Indonesia dan konsumsinya terus meningkat.



Gambar 1.2. Grafik Perbandingan Produksi dan Konsumsi Minyak di Indonesia

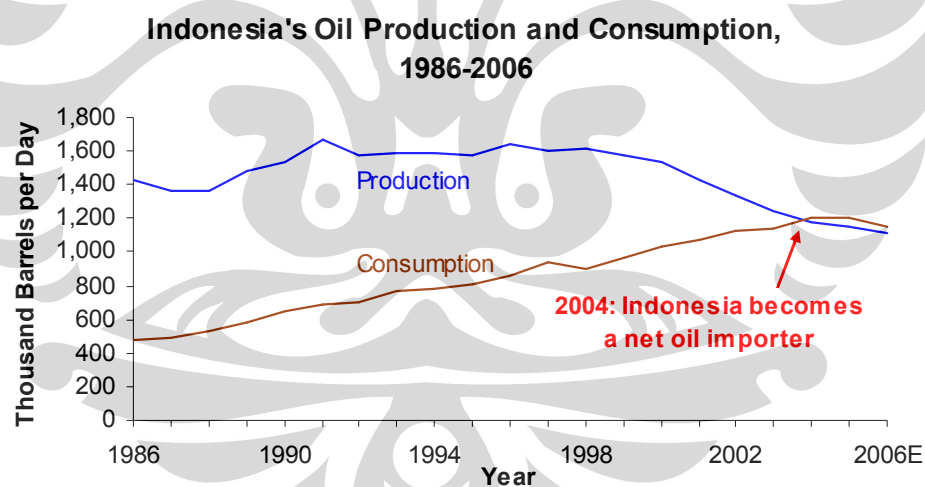
Berikut ini adalah tabel dari hasil produksi minyak mentah yang telah dihasilkan di Indonesia per tahun pada periode tahun 2000 sampai dengan tahun 2006. Kebutuhan minyak mentah yang terus meningkat menuntut para produsen minyak untuk mengeksplorasi minyak lebih banyak lagi. Tak terkecuali untuk para produsen minyak dalam negeri. Namun, di Indonesia ternyata hasil yang didapat justru sebaliknya.

Tabel 1.1. Produksi, Ekspor, dan Impor Minyak Mentah Per Tahun di Indonesia
Tahun 2000 – 2006 (dalam ribu barel)

Tahun	Produksi	Ekspor	Impor
2000	517489	223500	78615
2001	489306	241612	117168
2002	456026	218115	124148
2003	419255	189095	137127
2004	400554	178869	148490
2005	386483	159703	164007
2006	366960	135188	112932

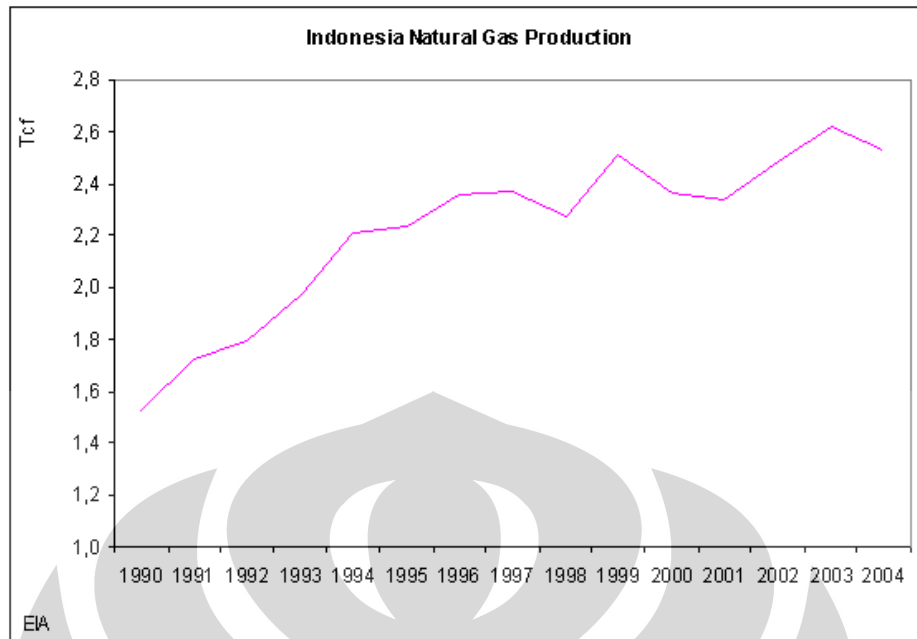
Sumber : Laporan Kementerian ESDM 2007

Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan produksi minyak mentah dan gas alam per hari :



Source: EIA *International Energy Annual* ; *Short-Term Energy Outlook*

Gambar 1.3. Produksi Minyak di Indonesia per hari



Gambar 1.4. Produksi Gas Alam di Indonesia per hari

Sumber : EIA (Energy Information Administration)

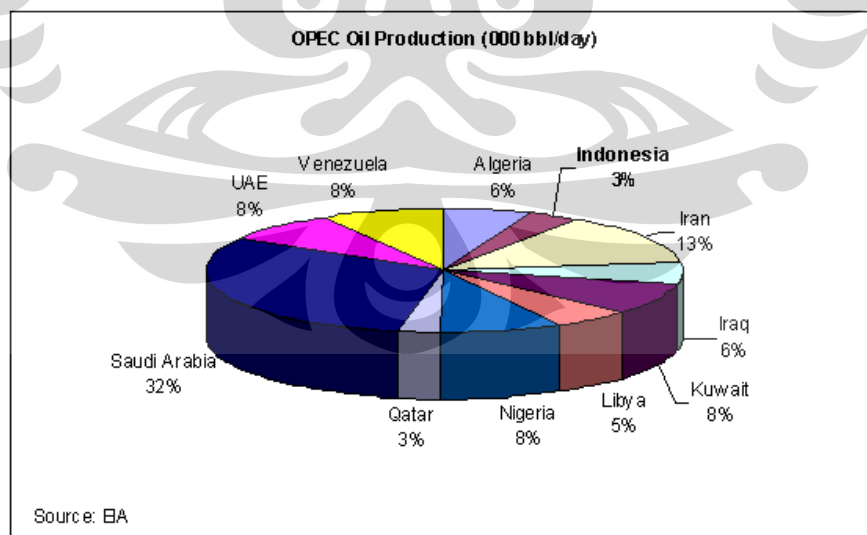
Seperti yang dapat kita lihat pada tabel di atas, produksi minyak nasional terus mengalami penurunan dalam kurun lima tahun terakhir, walaupun produksi gas alam terus meningkat. Sejalan dengan produksi maka volume ekspor minyak juga berbanding lurus, dalam hal ini mengalami penurunan. Besarnya konsumsi minyak nasional juga tidak diimbangi dengan ketersediaan minyak di pasar. Kekurangan BBM (Bahan Bakar Minyak) yang merupakan motor penggerak dari kegiatan masyarakat kerap terjadi beberapa tahun terakhir ini. Bahkan pemerintah hendak mengeluarkan ketentuan-ketentuan untuk pembatasan penggunaan minyak dalam masyarakat. Pertumbuhan penduduk Indonesia yang cepat juga turut memicu peningkatan aktifitas dari kegiatan ekonomi itu sendiri. Jika penggunaan minyak kita diibaratkan sebagai input (alat) bagi masyarakat untuk melakukan aktifitas ekonominya, maka seyogyanya tingginya pertumbuhan penduduk harus diimbangi dengan bertambahnya ketersediaan minyak di pasar. Sehingga maksimalisasi masyarakat pada pemenuhan kebutuhannya menjadi lebih baik.

Penurunan produksi minyak ini awalnya diduga karena Indonesia telah mengalami kehabisan sumber daya. Namun dari hasil penelitian BPPT (1998) dari 60 cekungan minyak yang terkandung dalam wilayah Indonesia, sekitar 70% atau

sekitar 40 cekungan berada di lepas pantai. Dan dari 40 cekungan tersebut 10 cekungan telah diteliti secara intensif, 11 cekungan baru diteliti sebagian, sedangkan 29 cekungan lainnya masih belum tersentuh. Diperkirakan dari 40 cekungan lepas pantai itu berpotensi menghasilkan 113,7 miliar barrel setara minyak. Namun hanya sekitar 16,7 miliar barrel yang diketahui secara pasti, 7,5 miliar barrel telah dieksploitasi. Dan sisanya sekitar 89,5 miliar barrel merupakan kekayaan yang belum tersentuh yang dapat dipastikan setidaknya mengandung cadangan minyak sebesar 57,3 miliar barrel.

Berdasarkan data yang didapatkan dari *Energy Information Administration* (EIA) mengenai produksi minyak yang dihasilkan oleh negara-negara anggota OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*), seperti Uni Emirat Arab, Venezuela, Qatar, Kuwait, Iran, Iraq, Saudi Arabia, dan negara Indonesia yang hanya menghasilkan 3% dari produksi minyak bumi di dunia. Walaupun tampaknya 3% adalah angka yang kecil jika dibandingkan dengan minyak yang dihasilkan oleh Saudi Arabia yang mencapai 32%, namun hal tersebut memiliki peran yang besar di mata dunia.

Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan persentase minyak yang dihasilkan oleh negara-negara anggota OPEC :



Gambar 1.5. Persentase Produksi Minyak di Negara Anggota OPEC

Sumber : EIA (*Energy Information Administration*)

Tabel 1.2. Daftar Negara Penghasil Minyak se-Dunia Data 2005

No	NEGARA	OIL PROVED RESERVED (bbl)	OIL PRODUCTION (bbl/day)
1	Saudi Arabia	262,700,000,000	9,475,000.00
2	Canada	178,900,000,000	2,400,000.00
3	Iran	133,300,000,000	3,979,000.00
4	Iraq	112,500,000,000	2,093,000.00
5	United Arab Emirates	97,800,000,000	2,396,000.00
6	Kuwait	96,500,000,000	2,418,000.00
7	Venezuela	75,590,000,000	3,081,000.00
8	Russia	69,000,000,000	9,150,000.00
9	Libya	40,000,000,000	1,643,000.00
10	Nigeria	36,000,000,000	2,451,000.00
11	Mexico	33,310,000,000	3,420,000.00
12	Kazakhstan	26,000,000,000	1,300,000.00
13	Angola	25,000,000,000	1,600,000.00
14	United States	22,450,000,000	7,610,000.00
15	China	18,260,000,000	3,504,000.00
16	Qatar	16,000,000,000	790,500.00
17	Brazil	15,120,000,000	2,010,000.00
18	Aljazair	12,460,000,000	1,373,000.00
19	Norwegia	9,859,000,000	3,220,000.00
20	European Union	7,294,000,000	3,424,000.00
21	Oman	6,100,000,000	769,000.00
22	India	5,700,000,000	785,000.00
23	Indonesia	4,600,000,000	1,061,000.00

Sumber : don85.wordpress.com

Untuk mengeluarkan minyak ini tentu diperlukan kegiatan eksploitasi, namun sebelumnya perlu dilakukan kegiatan eksplorasi terlebih dahulu. Dalam kegiatan eksplorasi, pertama-tama dilakukan survey untuk mengetahui perkiraan jumlah kandungan minyak dan mineral yang ada di dalam sumur tersebut yang umumnya dilakukan dengan melakukan pengeboran dalam skala kecil agar didapatkan data yang diperlukan oleh para ahli. Apabila telah diketahui jumlah kandungan minyak yang ada maka kemudian dilakukan perhitungan apakah sumur tersebut cukup efisien untuk dieksploitasi. Kegiatan eksploitasi merupakan faktor penentu yang penting untuk meningkatkan cadangan dan produksi minyak dan gas bumi nasional. Namun tantangan dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi ini adalah resiko dan dana yang besar seiring dengan semakin tingginya harga minyak dunia yang kini mencapai 130 US\$/barrel. Walaupun hasil yang dicapai juga besar, namun kebutuhan modal yang besar membuat

banyak pengusaha tidak berani melakukan kegiatan tersebut. Selain itu dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi ini juga diperlukan teknologi tinggi yang hanya dimiliki sebagian kecil perusahaan di Indonesia.

Minyak-minyak tersebut setelah dieksploitasi tentu perlu ditransportasikan untuk diolah lebih lanjut dan didistribusikan ke daerah-daerah yang membutuhkan. Dalam proses transportasi tersebut, umumnya digunakan kapal-kapal tanker ataupun pipa-pipa dasar laut yang terhubung dengan daratan. Kapal-kapal tanker ini memiliki berbagai macam ukuran mulai dari yang kecil 1.000 DWT (*Dead Weight Tonnage / Bobot Mati Kapal*) hingga yang sangat besar yang dapat mencapai 250.000 DWT. Kapal-kapal yang sangat besar tersebut yang umumnya memiliki ukuran di atas 200.000 DWT sering disebut dengan istilah Super Tanker, VLCC (*Very Large Crude Carrier*) atau ULCC (*Ultra Large Crude Carrier*).

Kapal tanker pada awalnya hanya berlambung satu (*single hull*), namun karena banyak terjadi kecelakaan pada kapal pengangkut minyak tersebut yang mengakibatkan polusi lingkungan, maka Organisasi Maritim Internasional (IMO) membuat sebuah peraturan tentang Konvensi Polusi Laut (MARPOL 73/78) Annex 2. Seluruh kapal tanker baik yang mengangkut minyak bumi (*crude oil*), minyak sawit (*crude palm oil / CPO*), bahan-bahan kimia (*chemical oil*), dan minyak hasil olahan lainnya harus memiliki konstruksi lambung ganda (*double hull*). Dengan adanya peraturan tersebut, diharapkan apabila terjadi kecelakaan dan menyebabkan terjadinya tumpahan minyak, maka resiko terjadinya pencemaran yang sangat merusak ekosistem dan lingkungan hidup di daerah tersebut dapat berkurang.

Ada solusi yang dapat diberikan untuk mengatasi hal ini. Para pemilik kapal dapat mengubah kapalnya yang berlambung tunggal menjadi berlambung ganda, yang mengakibatkan berkurangnya kapasitas angkut sekitar 20% yang dikarenakan adanya tambahan struktur lambung menjadi berlambung ganda. Hal ini tentu sangat merugikan kapal-kapal yang berukuran besar, sebab dengan biaya operasi yang sama, kapasitas angkutnya berkurang sekitar 20%, belum lagi biaya yang harus dikeluarkan untuk proses perubahan konstruksi kapal tersebut menjadi berlambung ganda.

Oleh karena itu, untuk kapal-kapal berukuran besar ada sebuah solusi berikutnya, yakni memodifikasi kapal tanker tersebut menjadi sebuah tanki minyak terapung (*FSO / Floating Storage Offloading*). Terobosan teknologi ini sejalan dengan perkembangan industri hulu minyak dan gas khususnya untuk daerah lepas pantai. Dengan mengubah fungsi sebuah alat transportasi minyak menjadi sebuah tanki terapung, maka pemilik kapal tidak perlu mengeluarkan biaya besar untuk mengubah konstruksi kapalnya menjadi berlambung ganda, namun hanya perlu menambah beberapa struktur seperti penambahan ruang akomodasi, pompa-pompa, generator, sistem perpipaan dan sistem tambat untuk proses perpindahan minyak baik masuk atau keluar dari FSO tersebut seperti *tower mooring* atau *single buoy mooring*. Dengan adanya solusi ini, maka para pemilik kapal pun berlomba untuk mengubah kapal tanker berukuran besar milik mereka menjadi FSO. Sebab dilihat dari segi ekonomi, biaya untuk mengubah konstruksi sebuah kapal tanker berlambung tunggal menjadi berlambung ganda dapat mencapai sekitar 50% dari biaya pembuatan sebuah kapal baru yang berlambung ganda dengan ukuran yang sama. Maka akan jauh lebih ekonomis apabila kapal berlambung tunggal tersebut dialihfungsikan menjadi sebuah FSO dan sisa dana yang dimiliki dapat digunakan untuk membuat sebuah kapal baru yang berlambung ganda.

Tanki minyak terapung (FSO) akhir-akhir ini sangat dibutuhkan seiring dengan berkembangnya industri minyak dan gas bumi di dunia. Para perusahaan minyak dunia berlomba-lomba untuk mengeksplorasi dan mengeksploitasi sumur-sumur minyak. Namun pada kenyataannya, minyak hasil eksploitasi tersebut perlu ditampung terlebih dahulu sebelum dapat ditransportasikan. Namun karena tanki penampung ini membutuhkan tempat yang luas dan besar maka umumnya dibangun terpisah dari kilang minyak untuk proses pengeboran. Tanki minyak ini dapat dibangun di darat (*onshore*) atau menggunakan sebuah penampungan di laut seperti FSO. Apabila tanki ini dibangun di darat, dikhawatirkan dapat menimbulkan pencemaran di daerah pantai, selain itu apabila laut di sekitar tanki darat tersebut memiliki laut yang dangkal maka kapal-kapal tanker berukuran besar yang hendak memuat minyak tersebut akan mengalami kesulitan untuk melakukan proses pemuatan.

Dengan menggunakan sebuah tanki minyak terapung (FSO) maka pencemaran daerah pantai dapat dihindari dan kapal tanker yang hendak memuat minyak eksploitasi pun lebih mudah mencapai FSO tersebut karena sudah berada di lautan. Selain itu FSO juga memiliki keuntungan seperti dapat berpindah-pindah tempat (*mobile*) sehingga apabila sumber minyak di tempat tersebut telah habis maka FSO dapat dipindahkan ke sumber minyak yang baru, selain itu FSO ini juga dapat mencapai daerah-daerah terpencil (*remote area*) yang sulit untuk membangun tanki minyak di darat.

I.2 PERUMUSAN MASALAH

Sehubungan dengan permintaan akan tanki penampungan yang tinggi terutama untuk tanki minyak terapung dan telah diberlakukannya peraturan baru yang dikeluarkan oleh IMO mengenai kapal berlambung ganda, maka kapal-kapal tanker berukuran besar yang berlambung tunggal terancam tidak dapat digunakan lagi atau disebut *phase out*. Oleh sebab itu para pemilik kapal, terutama kapal-kapal yang berukuran besar yang memiliki lambung tunggal, memiliki alternatif untuk memodifikasi kapal mereka menjadi sebuah tanki minyak terapung (FSO). Dengan ini, mereka tidak perlu mengeluarkan biaya besar dalam merubah konstruksi menjadi berlambung ganda.

I.3 TUJUAN PENULISAN

Penulisan ini bertujuan untuk membuat kajian dan studi mengenai proses modifikasi sebuah kapal tanker menjadi sebuah unit tanki minyak terapung atau FSO (*Floating Storage and Offloading*) dengan kapasitas 700.000 bbls dilihat dari sudut teknis, estimasi waktu, dan estimasi biaya yang diperlukan.

Proses modifikasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran bagi para perusahaan pelayaran dan pemilik kapal tanker jika ingin mengubah kapal milik mereka menjadi sebuah FSO.

I.4 BATASAN MASALAH

Agar permasalahan lebih terfokus dan tujuan penulisan dapat tercapai, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

- a. Pembahasan meliputi : studi literatur mengenai peraturan konvensi IMO tentang MARPOL 73/78 mengenai double hull dan yang berhubungan dengan FSO.
- b. Kajian teknis, estimasi waktu dan estimasi biaya untuk sampel kapal berkapasitas 860,087 bbls yang akan dimodifikasi menjadi FSO.
- c. Studi kasus proyek konversi kapal tanker berkapasitas 860,087 bbls menjadi FSO dan studi dari hasil pekerjaan konversi tersebut.
- d. Peninjauan kasus mengenai studi kasus proses konversi.

I.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika skripsi ini ditulis dalam beberapa bab, yaitu :

Bab I : Pendahuluan

Bab ini berisikan : latar belakang, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab II : Landasan Teori

Bab ini berisikan : Metodologi penelitian dan penjelasan-penjelasan teori seperti,

1. Ketentuan konstruksi double hull untuk kapal tanker
2. Industri Hulu Minyak dan Gas Lepas Pantai dan keterkaitannya
3. Sistem anjungan lepas pantai dan contoh-contohnya
4. Penjelasan mengenai sifat, pengertian dan karakteristik sebuah kapal tanker
5. Penjelasan mengenai sifat, pengertian dan karakteristik FSO / FPSO
6. Proses konversi dan hal-hal utama yang perlu dilakukan
7. Penjelasan proses perhitungan stabilitas dan trim

Bab III: Studi Kasus

Bab ini berisikan :

1. Persyaratan FSO yang dibutuhkan

2. Data spesifikasi kapal yang hendak dikonversi
3. Data lokasi tempat FSO akan beroperasi
4. Proses Pekerjaan Konversi
5. Perhitungan Stabilitas dan Trim dari FSO hasil konversi
6. Perhitungan analisa fatigue pada Mooring Arrangement
7. Peninjauan ulang dari proses konversi tersebut

Bab IV : Analisa Waktu dan Biaya

Bab ini berisikan :

1. Perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk proses konversi
2. Perhitungan waktu yang dikeluarkan untuk proses konversi

Bab V : Kesimpulan dan Diskusi

Bab ini berisikan : Kesimpulan yang diambil dari proses konversi serta hasil diskusi dengan beberapa narasumber dan studi literatur mengenai proses konversi yang lebih efisien dan hal-hal kritis yang perlu diperhatikan dalam proses konversi.

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 METODOLOGI PENULISAN

Dalam penulisan ini digunakan studi literatur dari konvensi IMO MARPOL 73/78, proyek konversi dan data-data yang didapatkan dari internet, penjelasan saat kuliah, serta studi kasus yakni pengambilan sampel dari sebuah proses modifikasi kapal berukuran 860,087 bbls menjadi FSO.

II.2 KETENTUAN KONSTRUKSI DOUBLE HULL

II.2.1 Peraturan 19 – Ketentuan double hull dan double bottom untuk tanker minyak pada atau setelah 6 Juli 1996

Untuk setiap kapal Tanker ≥ 5000 DWT diharuskan :

a. *Wing Tank* (w)

Ballast tank antara sisi kulit kapal (*side shell plating*) dan sisi kulit tanki muatan (*side of cargo tank*), dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$W = 0,5 + \frac{DW}{20.000} \text{ (m)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Minimum, w = 1 m

Maximum, w = 2 m

b. *Double Bottom Tank* (h)

Ballast tank antara kulit bawah kapal (*bottom shell plating*) dan kulit bawah tanki muatan (*bottom of cargo tank*), dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$h = B/15 \text{ (m)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Minimum, h = 1 m

Maximum, h = 2 m

Untuk setiap kapal Tanker ≤ 5000 DWT diharuskan :

a. *Wing Tank* (w)

Ballast tank antara sisi kulit kapal (*side shell plating*) dan sisi kulit tanki muatan (*side of cargo tank*), dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$W = 0,4 + \frac{2,4 \times DW}{20.000} \text{ (m)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Minimum, w = 0,76 m

b. *Double Bottom Tank* (h)

Ballast tank antar kulit bawah kapal (*bottom shell plating*) dan kulit bawah tanki muatan (*bottom of cargo tank*), dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$h = B/15 \text{ (m)} \dots \dots \dots (2.4)$$

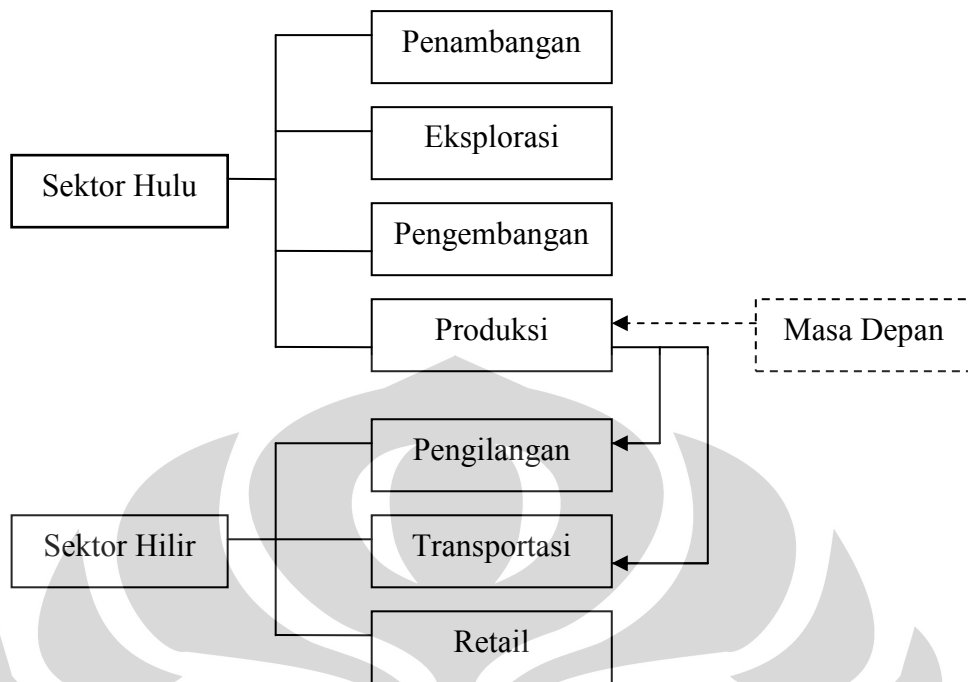
Minimum, h = 0,76 m

II.3 INDUSTRI HULU MINYAK DAN GAS LEPAS PANTAI

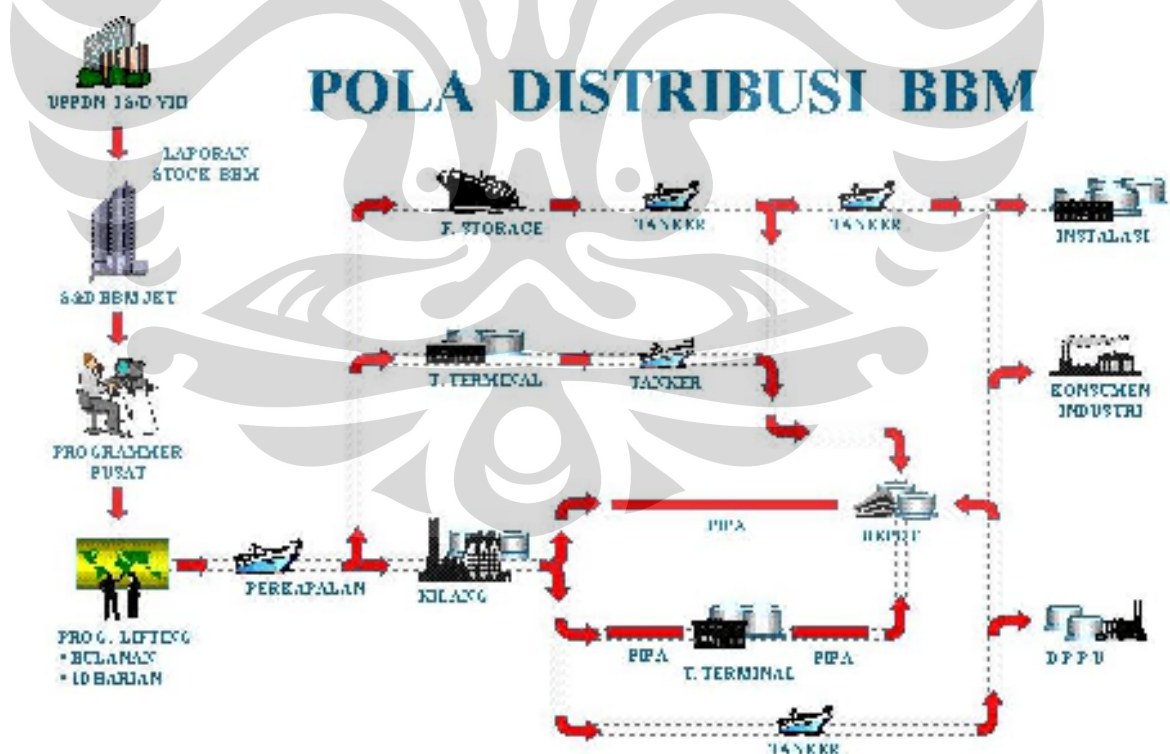
Industri minyak dan gas (untuk selanjutnya akan ditulis sebagai migas) umumnya dibagi menjadi dua sektor utama, yakni sektor hulu (*upstream sector*) dan hilir (*downstream sector*). Semua proses migas ada di dalam kedua sektor tersebut dan saling terkait satu sama lain untuk mencapai suatu tujuan yang sama. Yang termasuk di dalam sektor hulu yaitu kegiatan seperti survey pencarian sumber migas potensial di bawah tanah dan bawah laut, proses pengeboran pada sumur yang telah terbukti, dan pengembangan lapangan eksplorasi baik darat maupun lepas pantai. Tujuan utama dari sektor hulu ini adalah membawa minyak mentah yang ada ke permukaan bumi. Setelah minyak tersebut sampai di permukaan bumi maka dimulailah kegiatan sektor hilir.

Minyak mentah yang telah dipompa ke permukaan akan dibawa ke pengilangan menggunakan sistem perpipaan atau juga menggunakan transportasi kapal-kapal muatan cair yang biasa disebut dengan tanker. Setelah diproses maka minyak yang dihasilkan dalam bentuk beberapa produk maka akan didistribusikan ke masyarakat sebagai pengguna akhir.

Berikut ini adalah diagram dan skema sederhana yang diharapkan kurang lebih dapat menggambarkan rantai proses industri migas di negara kita :



Gambar 2.1. Rantai Proses Industri Minyak & Gas



Gambar 2.2. Pola Distribusi BBM (Bahan Bakar Minyak)

Sumber : rovicky.wordpress.com

Sektor hulu dari industri migas adalah industri yang padat modal. Tidak banyak perusahaan yang bisa begitu saja masuk ke dalam industri ini. Selain modal yang besar, jam terbang yang tinggi juga sangat berpengaruh dalam kompetisi bisnis di dalam industri ini. Kegiatan penambangan dan eksplorasi di darat maupun lepas pantai di negara kita masih didominasi oleh perusahaan-perusahaan minyak utama dunia seperti British Petroleum (BP), Chevron, Conoco Philips, CNOOC, Exxon Mobil, Shell, Total E&P. Perusahaan minyak nasional seperti Pertamina, Medco, dan Star Energy juga memiliki daerah eksplorasi sendiri walaupun tidak banyak.

Berikut ini penulis memiliki data mengenai beberapa perusahaan minyak yang menjadi produsen utama dari proses pengeboran minyak di Indonesia :

Tabel 2.1. Perusahaan Penghasil Minyak Utama di Indonesia

No	Company	2004		2005	
		Crude Oil		Crude Oil	
		BARREL PER DAY		BARREL PER DAY	
1	Chevron Pacific Indonesia*	507,000	46.3%	562,700	51.42%
2	Total	81,800	7.5%	81,800	7.47%
3	CNOOC	81,500	7.4%	81,500	7.45%
4	Unocal*	55,700	5.1%		0.00%
5	Exspan	54,000	4.9%	54,000	4.93%
6	Pertamina	48,400	4.4%	48,400	4.42%
7	ConocoPhilips	44,100	4.0%	44,100	4.03%
8	PetroChina	36,600	3.3%	36,600	3.34%
9	BP	31,300	2.9%	31,300	2.86%
10	Bumi Siak Pusako	30,000	2.7%	30,000	2.74%
11	Vico	28,800	2.6%	28,800	2.63%
12	ExxonMobil	21,200	1.9%	21,200	1.94%
13	Others	74,100	6.8%	74,100	6.77%
	TOTAL	1,094,400	100.0%	1,094,500	100.01%

Sumber : don85.files.wordpress.com

Konsesi yang dimiliki oleh perusahaan minyak dibagi berdasarkan wilayah kerja. Konsesi ini diberikan kepada perusahaan minyak oleh regulator negara melalui proses tender ataupun penunjukkan langsung, regulator migas di Indonesia adalah BP Migas. Berdasarkan data yang saya dapatkan, saat ini dari 50 wilayah kerja yang sedang beroperasi, 26 wilayah kerja berada di lepas pantai (*offshore*), 13 wilayah kerja di daratan (*onshore*), dan sisanya 11 wilayah kerja

berada di kombinasi daerah tersebut. Sementara sekitar 66 wilayah kerja sedang dalam tahap eksplorasi dengan status 34 wilayah kerja di lepas pantai, 18 wilayah kerja di daratan, dan sisanya 14 wilayah kerja di daerah kombinasi.

Kontroversi Menggenjot Target Produksi Minyak

www.republika.co.id

II.4 SISTEM ANJUNGAN LEPAS PANTAI

Offshore Structure atau Bangunan Lepas Pantai adalah suatu bangunan atau struktur yang sangat besar yang merupakan tempat para pekerja dan permesinan yang dibutuhkan untuk mengadakan proses pengeboran pada sumur-sumur minyak dan gas bumi di lautan. Tergantung pada keadaan, *platform* mungkin saja ditanamkan di dasar laut, terdiri dari sebuah pulau buatan, atau mengapung di permukaan laut.

Secara umum, *oil platform* terletak di lapisan laut dangkal, namun dengan kemajuan teknologi dan perkembangan ilmu pengetahuan, produksi minyak di laut dalam, menjadi sebuah hal yang mampu dilakukan dan lebih menguntungkan. Sebuah platform bisa saja terdiri dari sekitar 30 sumur mineral yang terletak di sekitar platform dan proses pengeboran langsung memungkinkan sumur penampung untuk dapat diakses baik dalam kedalaman yang berbeda dan dalam keadaan terpencil mulai 5 mil (8 kilometer) dari platform. Banyak platform juga memiliki sumur yang jaraknya cukup jauh yang dihubungkan dengan sambungan seperti *umbilicus*, keadaan seperti ini digunakan untuk sumur tunggal atau digunakan pusat *manifold* untuk sumur dengan jumlah banyak.

Offshore structure dapat digunakan untuk berbagai kepentingan dan tujuan, diantaranya :

- Eksplorasi minyak dan gas bumi
- Menara pembantu navigasi
- Jembatan dan jalan penghubung
- Fasilitas *loading* dan *unloading* (minyak dan gas) pada kapal

Secara umum unit eksplorasi dalam industri migas lepas pantai terbagi menjadi dua yaitu *fixed unit system* dan *floating unit system*. Sumber minyak di

lautan atau lepas pantai telah mulai dieksplorasi sejak tahun 1950-an. Awalnya, semua anjungan minyak didirikan secara tetap yakni menggunakan *fixed unit system*. Penggunaan sistem produksi mengapung atau *floating production system* dimulai sejak tahun 1970-an. Teknologi ini berkembang sejalan dengan eksplorasi ke dasar laut yang lebih dalam dan lebih jauh, sehingga diperlukan suatu teknologi bangunan yang lebih efisien dan lebih efektif.

Harga minyak bumi yang meningkat tajam beberapa tahun terakhir ini juga berpengaruh terhadap pengembangan sebuah ladang minyak lepas pantai. Investasi yang dikeluarkan akan bertambah besar karena kenaikan harga minyak juga otomatis mempengaruhi faktor-faktor produksi yang digunakan. Teknologi adalah salah satu cara untuk menekan biaya investasi tersebut. Efisiensi dan efektivitas menjadi hal yang sangat menentukan dalam pengembangan sebuah ladang minyak lepas pantai.

Banyak terobosan-terobosan baru yang tercipta untuk menekan biaya yang dianggarkan, salah satunya adalah sistem anjungan lepas pantai terapung. Dengan menghilangkan biaya konstruksi untuk fondasi yang digunakan maka otomatis biaya investasi dapat ditekan. Sistem ini cocok terutama untuk eksplorasi di laut dalam. Selain itu sistem ini juga cukup efisien bila digunakan di ladang minyak yang cadangan serta kapasitas produksinya tidak terlalu besar, sebab anjungan lepas pantai terapung ini tidak memerlukan konstruksi tetap, cukup ditarik atau dipindahkan ke lokasi dan diikat dengan sistem jangkar tertentu agar tidak bergerak sehingga cukup efisien.

Di atas anjungan umumnya terdapat perlengkapan untuk memproses minyak hasil pengeboran (*process facilities*), peralatan untuk bongkar muat produk dan juga akomodasi untuk kru yang bekerja di anjungan tersebut. Terobosan teknologi yang berkembang menghasilkan penggunaan kapal sebagai anjungan lepas pantai terapung. Kapal yang dibuat dengan desain anjungan lepas pantai terapung memiliki bentuk menyerupai kapal tanker dengan ukuran besar seperti super tanker, namun memiliki peralatan-peralatan anjungan lepas pantai dan memiliki sistem jangkar khusus. Karena kemiripan ini maka terkadang kapal tanker yang berukuran besar dikonversi menjadi anjungan lepas pantai terapung sehingga dapat menekan biaya instalasi struktur anjungan yang sangat besar. Di

bawah ini ialah beberapa sistem terapung yang bisa menggunakan hasil dari konversi kapal :

1. *Floating Production Storage Off-loading (FPSO)*
2. *Floating Production Drilling Storage and Off-loading (FPDSO)*
3. *Floating Storage Off-loading (FSO)*

II.5 JENIS-JENIS OFFSHORE

Platform eksplorasi minyak/gas bumi dapat berupa :

- *Converted jackup barge*
- *Fixed tower structures*
- *Tension Leg Platform (TLP)*
- *Stationary floating (SPAR)*
- *FPSO (Floating Production Storage and Offloading)*

Masing-masing dari tipe ini dipilih pengoperasiannya berdasarkan pertimbangan kedalaman laut, jenis service yang diinginkan dan jumlah dari jenis peralatan-peralatan dek yang penting untuk menjalankan service platform tersebut.

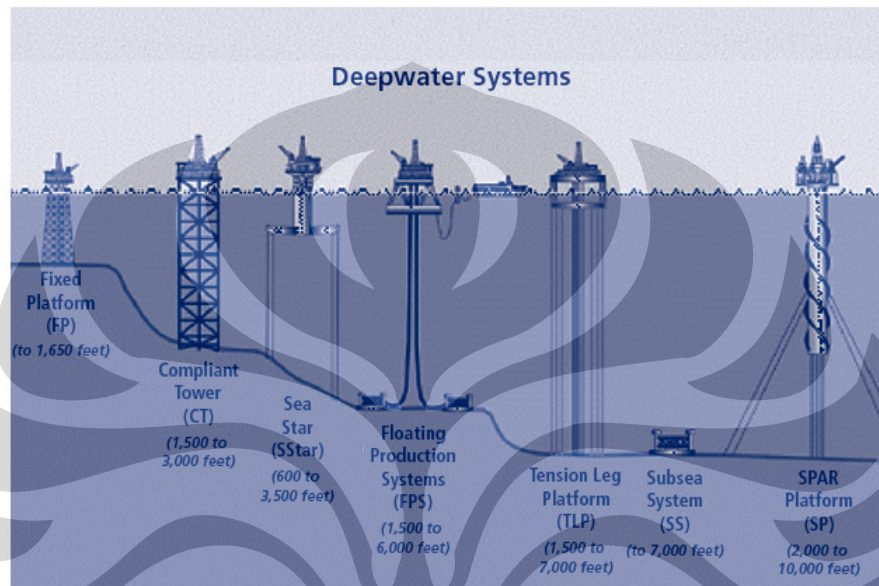
Converted jackup barges merupakan platform yang paling jarang digunakan, dan kemungkinan digunakan di daerah yang cukup jauh dan dengan kedalaman yang dangkal.

Fixed tower structure adalah platform yang paling sering digunakan. Struktur ini bervariasi dalam ukuran dan ketinggian, dan dapat digunakan pada kedalaman 300 meter, walaupun lebih sering dioperasikan pada kedalaman kurang dari 150 meter. Struktur tipe ini bisa tersusun dari tower 4-kaki, 6-kaki, ataupun 8-kaki dan juga struktur kecil di dek yang didukung dengan sebuah atau sejumlah penguat *caisson*. Struktur yang kecil digunakan pada kedalaman kurang dari 50 meter. Tipe penguat tunggal *caisson* juga digunakan sebagai menara bantuan navigasi di sungai dan di pantai.

Tension Leg Platform digunakan pada kedalaman lebih dari 300 meter. Struktur ini terdiri dari sebuah struktur dek terapung yang ditambahkan pada penyangga di dasar laut dengan menggunakan pipa panjang yang selalu terjaga

tegangannya, dan pipa ini dapat bersifat fleksibel tanpa kegagalan karena lendutan sebab rasio panjang pipa dengan kekuatannya yang sangat besar.

Platform SPAR digunakan pada daerah eksplorasi yang sangat dalam. Platform SPAR merupakan struktur silinder terapung vertical, yang terpasang dengan kabel untuk ditambatkan pada dasar laut dengan kedalaman lebih dari 1 kilometer.

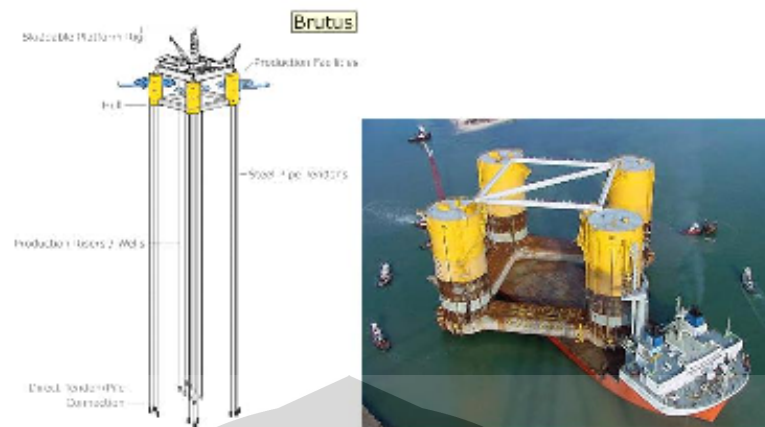


Gambar 2.3. Jenis-Jenis Offshore Platform

Berikut ini adalah penjelasan mendetail dari setiap masing-masing jenis anjungan lepas pantai (*offshore platform*):

II.5.1 Tension leg platform (TLP)

Jenis struktur ini berupa sebuah anjungan apung yang diposisikan dan distabilkan melalui sistem tambat vertikal (*tendon*) bertegangan tarik (minimal tiga tali-tambat yang terpisah) yang dipancang di dasar laut. Tegangan tarik pada tendon dihasilkan oleh adanya daya apung dari bagian lambung anjungan yang tercelup dalam air. Sifat dari anjungan ini, pada saat terkena beban-beban seperti gelombang, angin atau arus, anjungan akan bergerak menyamping dengan tetap pada kondisi horisontal karena aksi paralel dari tendonnya. Gerak vertikalnya (*heave*) dirancang secara ketat agar sangat terbatas gerakannya, sehingga fasilitasnya cocok dipakai untuk *surface completion* dari sumur-sumur



Gambar 2.4. Tension Leg Platform

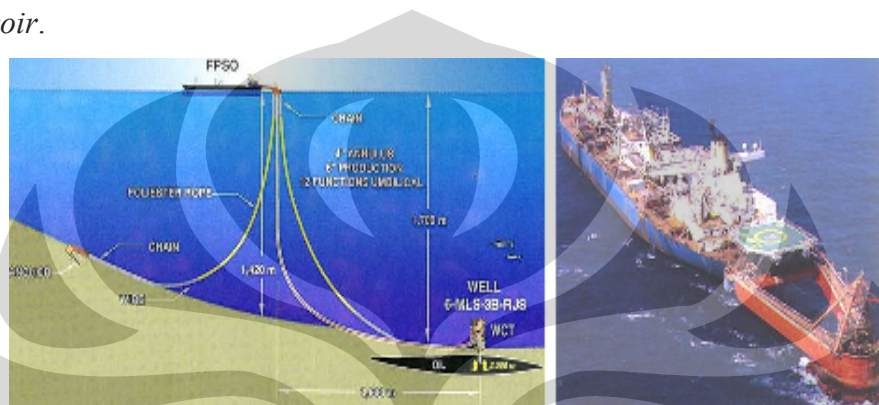
II.5.2 Floating Production, Storage and Offloading system (FPSO)/Floating Storage and Offloading (FSO)

Floating Production Storage Off-loading (selanjutnya akan disebut sebagai FPSO) ialah sebuah fasilitas dengan tipe sistem produksi dan penyimpanan terapung yang digunakan dalam industri migas lepas pantai. Kapal ini dirancang untuk menerima seluruh minyak dan gas bumi yang diproduksi oleh anjungan-anjungan terdekat, memrosesnya, dan menyimpannya di dalam tangki yang ada sampai minyak olahan tersebut dipindahkan ke kapal tanker atau mengirimnya ke pengilangan di darat melalui pipa. (www.wikipedia.org).

Bangunan FPSO ini terdiri dari sebuah struktur pengampung berbentuk sebuah kapal (bangunan baru atau dari modifikasi kapal tanker yang dialihfungsikan) yang secara permanen di tambatkan ditempatnya beroperasi. Ruang muat dari bangunan kapalnya ini digunakan sebagai penyimpan minyak yang diproduksi. Di atas bangunan apungnya ini dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas pemrosesan (*topside facilities*) hidrokarbon dan akomodasi. Konfigurasi sistem tambatnya bisa berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring type*) atau sistem tambat titik tunggal (*single point mooring system*). Tapi pada umumnya berbentuk sebuah turret / menara.

Campuran fluida yang dihasilkan, yang bertekanan tinggi dikirim ke fasilitas pemrosesan yang berada di atas geladak kapalnya. Sedang minyak, gas dan air dipisahkan. Air dibuang ke luar kapal setelah diproses untuk menghilangkan hidrokarbonnya. Hasil minyak mentah yang sudah distabilkan

disimpan dalam tangki-tangki muatnya dan secara berkala dipindahkan ke kapal tanker yang datang berkala (*shuttle tanker*) melalui sebuah buoy atau dengan cara merapatkan kapal tanker ke dekat FPSO secara langsung. Gas hasil produksi bisa digunakan kembali untuk meningkatkan produksi dengan teknik *gas lift* atau menghasilkan energi bagi keperluan di dalam FPSO itu sendiri. Sementara gas yang masih tersisa dibakar atau dimanfaatkan lagi dengan cara dikompres dan disalurkan ke daratan melalui sistem pipeline atau diinjeksikan lagi ke dalam *reservoir*.



Gambar 2.5. Floating Production, Storage and Offloading system (FPSO)

Secara umum bagian-bagian yang ada di atas sebuah kapal FPSO dapat dibagi menjadi lima bagian (*Design of Floating Production Storage Offloading Vessel for the Gulf of Mexico, Ocean Engineering Program Texas A&M University, 2003*) :

1. Akomodasi (*Accommodation & Crew Quarters*)

Akomodasi adalah tempat yang digunakan oleh para kru kapal untuk beristirahat. Umumnya bagian ini terletak di buritan kapal. Beberapa perlengkapan ditambahkan sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi dari perusahaan minyak pemegang konsesi ladang minyak.

2. Landasan Helikopter (*Helideck*)

Merupakan dek tempat mendaratnya helikopter yang merupakan alat transportasi kru. Dek ini biasanya diletakkan di atas bagian akomodasi kru agar dek utama (*main deck*) dapat digunakan untuk perlengkapan lain.

3. Dek Sistem Produksi (*Deck Production System*)

Dek ini terletak di geladak utama tepat di atas tangki penyimpanan minyak. Semua perlengkapan pemrosesan (*processing facilities*) berada pada

bagian ini. Antara tanki penyimpanan dan perlengkapan pemrosesan terdapat jarak yang memisahkan (*cofferdam*), biasanya sekitar 4 meter. Hal ini untuk keamanan tanki penyimpanan dan berfungsi sebagai daerah mobilisasi kru dalam bekerja. *Green Water Effect* (ialah air laut yang masuk ke atas dek dalam jumlah besar, biasanya terjadi pada saat cuaca buruk. Umumnya terjadi pada anjungan kapal atau di sisi samping kapal. Jika ini terjadi, maka dapat merusak peralatan dan fasilitas yang ada) yang berbahaya juga dapat dihindari dengan tingginya posisi perlengkapan pemrosesan ini. *Deck Production System* biasanya terdiri dari 6 komponen besar, yaitu :

- *Water Injection System*
- *Gas Compression System*
- *Water Processed System*
- *Gas Separation System*
- *Power Generation System & Electrical Room*
- *Emergency Flare Tower*

Perlengkapan pemrosesan ini umumnya dilengkapi dengan perangkat pemisah minyak (*oil separation system*), untuk mencegah terjadinya pencemaran akibat tumpahan minyak.

4. Tanki Penyimpanan Minyak (*Oil Tanks*)

Tanki ini umumnya menggunakan tanki penyimpanan minyak kapal yang telah dimodifikasi.

5. Sekoci Penyelamat (*Lifeboats*)

Sesuai dengan regulasi yang ada, maka kapal penyelamat harus ada di setiap kapal. Jumlah kapasitas kapal penyelamat harus dua kali dari jumlah personil yang ada.

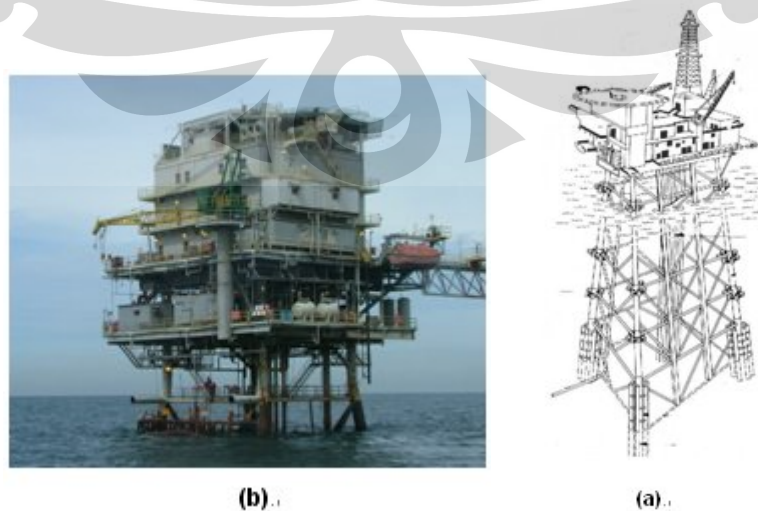
Kapal FPSO dikatakan efektif bila digunakan di lokasi laut dalam (*remote area*) dimana biaya penggunaan sistem anjungan lepas pantai tetap (*fixed offshore unit*) dan sistem perpipaan bawah laut tidak efektif. Dengan menggunakan kapal FPSO maka biasanya perpipaan bawah laut ke darat dapat dihilangkan. Kapal FPSO juga bernilai ekonomis untuk digunakan di daerah ladang minyak yang

diperkirakan akan habis dalam waktu singkat seperti beberapa tahun saja (*marginal field*) apabila dibandingkan dengan instalasi anjungan minyak tetap, sebab FPSO dapat dipindahkan menuju *marginal field* lainnya apabila minyak di tempat tersebut telah habis dieksploitasi.

II.5.3 Fixed Offshore Structure tipe Jacket

Dalam bidang teknik lepas pantai (*offshore engineering*) dikenal bermacam-macam jenis struktur anjungan lepas pantai. Secara garis besar bisa dikelompokkan sebagai berikut : (i) Jenis struktur lepas-pantai terpancang (*fixed offshore structure*) atau biasa disebut juga *pile-supported platform*, atau ada juga yang menyebutnya *jacket steel platform* (ii) Jenis *concrete gravity platform*, (iii) Jenis *guyed tower platform* dan (iv) Jenis *compliant platform*. Pembagian ini didasarkan pada bentuk, jenis material strukturnya maupun bagaimana perilaku responnya terhadap beban-beban lingkungan yang bekerja pada struktur tersebut.

Anjungan yang kita lihat banyak bertebaran di sekitar perairan Jawa Barat dan Kalimantan Timur misalnya, yang beberapa diantaranya berlokasi tidak terlalu jauh dari bibir pantai, kebanyakan adalah dari jenis *jacket steel platform*. Hal ini dikarenakan memang jenis anjungan ini sangat cocok diaplikasikan untuk kedalaman yang kurang dari 100 m. Jenis anjungan ini pada umumnya digunakan pada perairan dangkal. Sebab jika jenis anjungan ini dipakai pada perairan dalam (kedalaman lebih dari 500 m) maka menjadi kurang efektif baik dari sisi teknis maupun ekonomis karena konstruksi fondasi yang terlampau besar.



Gambar 2.6. Fixed Offshore Platform type Jacket

Ketidakefektifan tersebut pada prinsipnya karena adanya kendala kelakuan dinamis dari struktur dan juga dari pertimbangan efektivitas biaya pembangunannya. Struktur *jacket* untuk perairan dangkal (*shallow water*) yang memiliki nilai rasio kecil dan faktor pembesaran dinamisnya (*Dynamic Amplification Factor*) mendekati satu, sehingga hal ini secara prinsip adalah rasio antara periode natural menunjukkan kelakuan statis, dimana rasio struktur dan periode natural gaya gelombang eksitasinya. Jika struktur *jacket* digunakan pada perairan yang makin dalam, maka struktur menjadi makin fleksibel (lentur) sehingga periode natural gerakannya makin mendekati periode gelombang eksitasinya. Hal ini menjadikan struktur kurang baik dari segi perilaku dinamisnya, karena rentan terhadap resonansi. Untuk perairan dalam, dengan makin membesarnya gelombang ekstrim maupun gelombang harian, yang selanjutnya menyebabkan faktor kelelahan terhadap struktur makin dominan, maka pemakaian jenis struktur *jacket* terpancang menjadi makin tidak efisien.

Tetapi di lain pihak, jika kekakuan strukturnya ditambah yaitu dengan cara memperbesar bagian dasar struktur yang terpancang pada dasar laut, maka sebagai konsekuensinya biaya pembangunannya akan meningkat drastis sehingga menjadi kendala dari segi efektivitas biayanya.

Untuk perairan yang lebih dalam dan dengan kondisi yang lebih ganas, seperti perairan Laut Utara, maka hubungan efektifitas biaya-relatif untuk berbagai jenis bangunan lepas pantai terhadap kedalaman perairan operasionalnya juga menunjukkan hal yang tidak jauh berbeda. Tetap saja, jenis struktur terpancang memperlihatkan performansi biaya yang sangat tidak menarik dengan makin bertambahnya kedalaman perairan operasi.

II.6 KAPAL TANKER

Tanker adalah sebuah kapal atau alat angkut muatan cair yang beroperasi di perairan yang umumnya berada di lautan. Tanker minyak adalah salah satu contoh dari berbagai macam jenis tanker lainnya yang diberi nama sesuai dengan muatan yang diangkut oleh kapal tersebut. Tanker memiliki berbagai macam ukuran dari beberapa ratus ton yakni kapal yang melayani daerah di sekitar

pelabuhan, hingga yang berukuran ratusan ribu ton yang melayani jarak jauh seperti antar negara hingga antar benua.

Produk yang dimuat beragam :

- Produk hidrokarbon seperti minyak, LPG (*Liquified Petroleum Gas*), dan LNG (*Liquified Natural Gas*)
- Produk kimia seperti ammonia, klorin, dan styrene monomer
- Air bersih
- Hasil perkebunan seperti buah-buahan, jus jeruk, dan anggur. Dan lain sebagainya.



Gambar 2.7. Sebuah Kapal Tanker Minyak

Tanker dapat dianggap sebagai suatu konsep baru yang ditemukan pada akhir abad ke-19. Kemudian muncul ide untuk membuat sebuah kapal yang membawa muatan cair yang mudah untuk dipindahkan. Saat itu pasar yang membutuhkan muatan cair masih sangat sedikit sehingga sebagian besar kapal memuat berbagai muatan cair di dalam ruang muat yang berbeda-beda dan masih belum memiliki jalur yang tetap.

Muatan cair saat itu masih dimuat dalam bentuk drum / barrel tidak dimuat dalam sebuah tanki besar seperti saat ini. Bahkan muatan air bersih untuk crew pun masih disimpan dalam barrel. Sehingga sampai saat ini untuk menentukan volume ukuran ruang muat suatu kapal terkadang masih menggunakan satuan barrel. Mengangkut muatan cair pada saat itu sangat sulit, terutama untuk beberapa hal berikut ini :

1. Ruang muat

Kapal yang terbuat dari kayu tidak memiliki ruang muat yang kedap air sehingga sangat sulit untuk mencegah terjadinya kebocoran di dalam ruang muat. Namun saat ini dengan ditemukannya ruang muat dari besi dan baja telah mengatasi masalah ini.

2. Bongkar muat

Untuk melakukan proses bongkar muat untuk muatan cair tentu harus menggunakan pompa. Perkembangan mengenai sistem perpipaan dan pompa sangat menunjang berkembangnya industri muatan cair.

3. Efek permukaan bebas (*Free Surface Effect*)

Dalam ilmu perkapalan apabila ada permukaan bebas di dalam suatu muatan cair akan sangat berbahaya, sebab dengan adanya permukaan bebas tersebut apabila terjadi gelombang atau kemiringan maka permukaan bebas tersebut akan mempengaruhi stabilitas dari kapal yang bersangkutan, sehingga harus sangat diperhatikan. Dengan memberikan sekat-sekat pada ruang muat akan memperkecil permukaan bebas yang ada.

Tanker awalnya adalah sebuah alat transportasi yang berfungsi untuk mengangkut muatan cair dan memindahkannya menuju tempat tujuan. Pada proses transportasi tersebut tanker memiliki mesin tersendiri sehingga ia dapat bergerak tanpa harus ditarik atau didorong oleh kapal lain. Pada akhirnya tanker mulai digunakan oleh industri perminyakan, karena banyak perusahaan minyak melihat bahwa mentransportasikan hasil olahan mereka dengan kapal tanker jauh lebih murah daripada menggunakan sistem perpipaan. Maka mulai muncullah tanker minyak.

Setiap muatan memiliki penanganan dan proses pemindahan yang berbeda-beda, maka kemudian mulai dibuat kapal tanker kimia, kapal pengangkut LNG dan kapal khusus lainnya. Tanker dibagi berdasarkan ukuran kapasitas yang mereka miliki sehingga terdapat ukuran yang berbeda-beda. Berikut ini adalah jenis tanker menurut ukuran masing-masing :

10,000–24,999 DWT: *General Purpose tanker*

25,000–44,999 DWT: *Medium Range tanker*

45,000–79,999 DWT: *Large Range 1 (LR1)*

80,000–159,999 DWT: *Large Range 2 (LR2)*

160,000–319,999 DWT: *Very Large Crude Carrier (VLCC)*

320,000–549,999 DWT: *Ultra Large Crude Carrier (ULCC)*

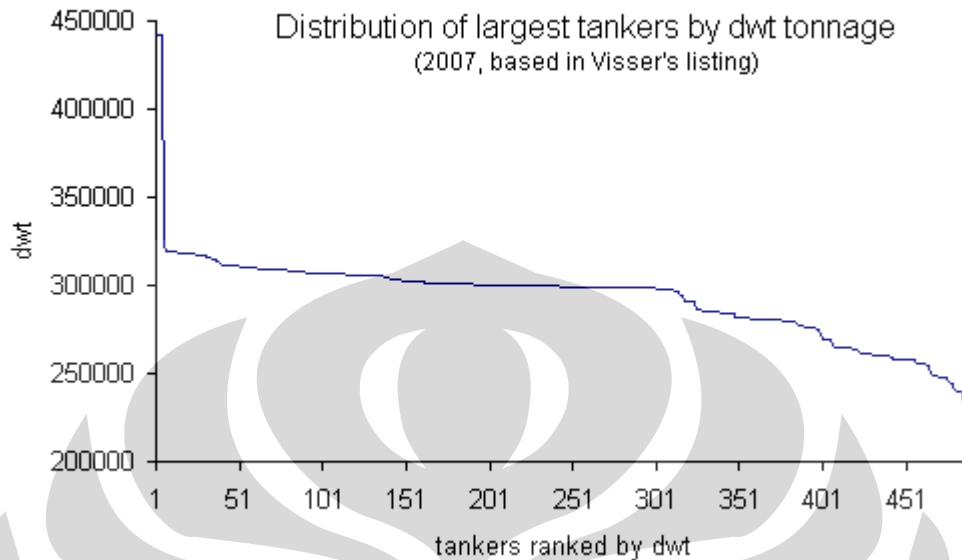
Tabel 2.2. Pembagian Kelas Tanker Berdasarkan Ukuran

Class	Length	Beam	Draft	Typical Min DWT	Typical Max DWT
Seawaymax	226 m	24 m	7.92 m	10,000 DWT	60,000 DWT
Panamax	294.1 m	32.3 m	12 m	60,000 DWT	80,000 DWT
Aframax				80,000 DWT	120,000 DWT
Suezmax			16 m	120,000 DWT	200,000 DWT
VLCC (Malaccamax)	470 m	60 m	20 m	200,000 DWT	315,000 DWT
ULCC				320,000 DWT	550,000 DWT

Saat ini ada sekitar 380 kapal tanker yang memiliki ukuran sekitar 279.000 DWT hingga 320.000 DWT. Ukuran ini sangat digemari untuk kapal kelas VLCC. Dan ada sekitar 90 kapal yang berukuran 220.000 DWT hingga 279.000 DWT.

Umumnya kapal-kapal berukuran besar ini digunakan untuk mentransportasikan minyak dari timur tengah ke daerah Afrika. Kapal terbesar di dunia saat ini adalah sebuah FSO (Floating Storage Offloading Unit) yang dulunya adalah sebuah ULCC yang bernama **Jahre Viking**. Kapal ini memiliki ukuran utama, panjang kapal 458 meter dan lebar 69 meter. Kapal berukuran besar ini memang jauh lebih efisien untuk memindahkan minyak daripada menggunakan sistem perpipaan, namun resiko yang ditanggung sangat besar apabila terjadi kecelakaan pada kapal tersebut yang dapat menimbulkan pencemaran alam yang sangat berbahaya.

Berikut ini adalah grafik distribusi kapal tanker di dunia berdasarkan jumlah dan ukuran mereka :



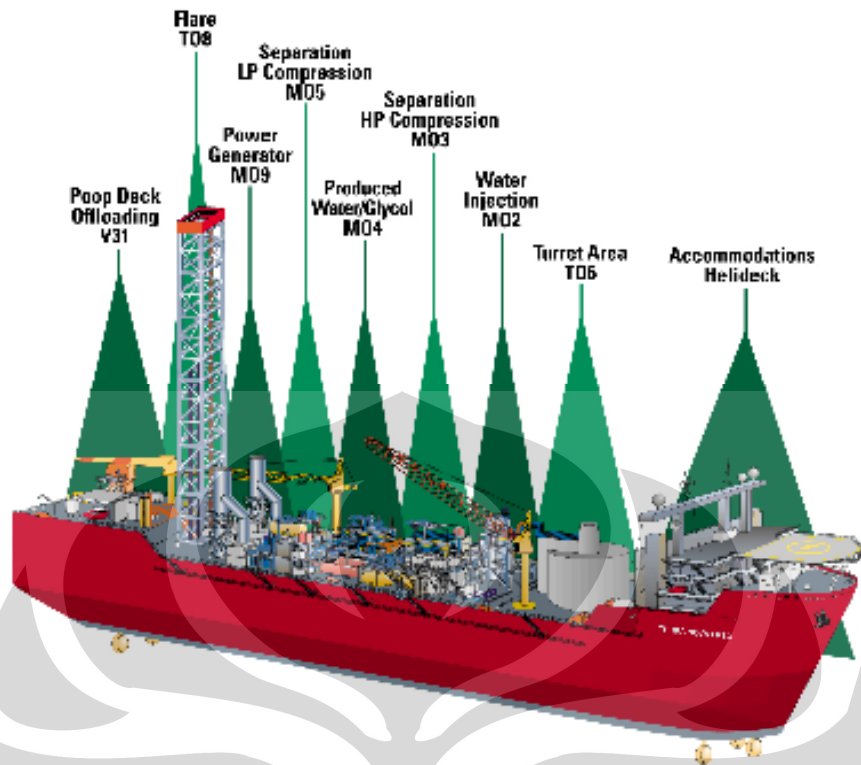
Gambar 2.8. Distribusi Jumlah Tanker Berdasarkan Ukuran

II.7 FLOATING STORAGE OFFLOADING (FSO)

FSO adalah sebuah sistem tanki terapung yang digunakan oleh industri minyak dan gas lepas pantai dan didesain untuk menampung minyak dan gas yang dihasilkan dari sumur-sumur pengeboran di sekitarnya dan menyimpan sampai minyak dan gas tersebut dapat dipindahkan ke kapal-kapal tanker yang akan mentransportasikan hasil tersebut ke tempat tujuan atau dapat menggunakan sistem perpipaan menuju ke darat.

Selain FSO ada juga yang disebut dengan *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO) yakni sistem yang hampir sama dengan FSO namun minyak yang diterima tidak hanya disimpan saja, tetapi diolah lebih lanjut sehingga minyak yang akan diangkut oleh kapal-kapal tanker dapat langsung didistribusikan kepada konsumen (*end user*) tanpa harus melalui *refinery* atau pemrosesan lebih lanjut.

Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan bagian-bagian utama yang harus dimiliki oleh sebuah FSO atau FPSO :



Gambar 2.9. Bagian-bagian Sebuah FSO / FPSO

Minyak telah dihasilkan dari kilang minyak lepas pantai sejak tahun 1950-an. Awalnya sebuah kilang minyak lepas pantai didirikan atau dibangun di atas dasar laut, namun sejak eksplorasi mulai berkembang menuju laut dalam yang menimbulkan kesulitan apabila menggunakan sebuah bangunan tetap yang berdiri di atas dasar laut. Maka mulai sejak tahun 1970-an mulai dibuatlah sebuah kilang minyak terapung, tanpa menggunakan konstruksi kaki-kaki yang dibangun hingga dasar laut.

Minyak yang dihasilkan kemudian ditransportasikan menuju daratan menggunakan sistem perpipaan atau menggunakan kapal-kapal tanker. Ketika dipilih menggunakan kapal tanker, maka kilang tersebut membutuhkan sebuah tanki untuk penyimpanan sementara sebelum minyak tersebut dipindahkan ke kapal tanker tersebut. Sebab tanker tersebut tidak dapat terus menerus menerima minyak hasil olahan kilang, namun kilang terus tetap harus memproduksi minyak, maka diperlukan sebuah tempat penampungan sementara.

Maka mulai dibuatlah sebuah kilang minyak terapung yang dapat memproduksi minyak, mengolahnya, dan juga dapat menampung minyak tersebut

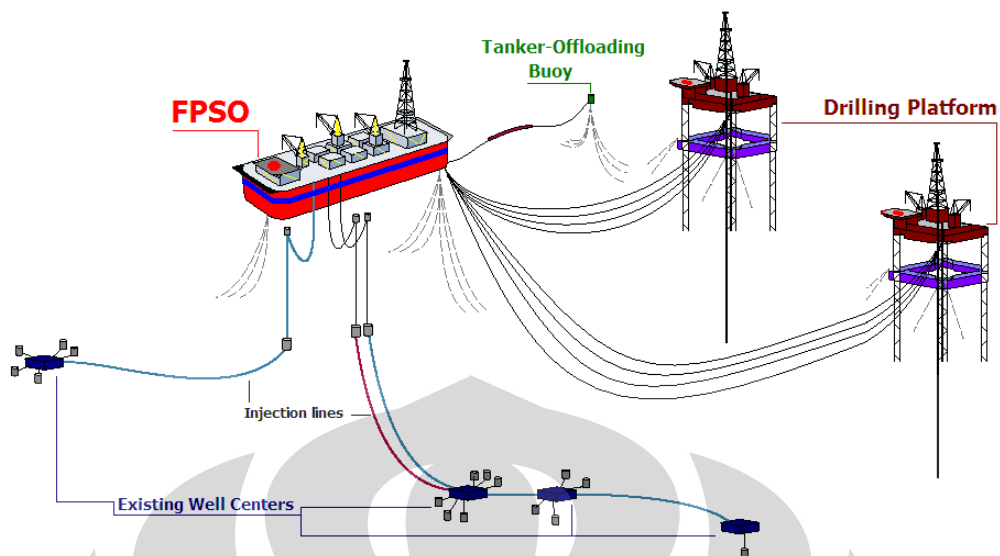
sehingga munculah apa yang disebut dengan FSO / FPSO. Minyak hasil olahan dapat ditampung oleh FSO sampai kapal tanker yang hendak mengangkut minyak tersebut datang dan mulai memindahkan minyak dari bagian belakang FSO dengan menggunakan *mooring buoy*.

FSO selain menampung juga ada yang dapat melakukan pengolahan parsial maupun keseluruhan (untuk FPSO), sebab akan lebih efisien apabila minyak yang hendak dipindahkan melalui jalur pipa ataupun yang akan diangkut oleh kapal tanker telah diolah terlebih dahulu sebab jumlah minyak murni yang dapat diangkut tentu lebih banyak.

Kapal FSO menawarkan beberapa keuntungan yang lebih efektif dibandingkan dengan membuat kilang minyak dengan konstruksi tetap terutama untuk lokasi yang memiliki laut dalam, arus yang kuat, dan kondisi alam yang berbahaya, atau lokasi yang tidak mungkin untuk dipasang sistem perpipaan dasar laut yang memiliki jarak yang jauh menuju daratan. Mereka juga secara ekonomis dapat digunakan pada sumur-sumur minyak yang memiliki kapasitas kecil yang habis dalam beberapa tahun dan tidak berumur panjang. Sebab kapal FSO ini dapat dipindahkan apabila minyak di dalam sumur tersebut telah habis, tidak seperti konstruksi tetap yang harus dipotong dan dibuang setelah tidak digunakan. Sehingga FSO ini jauh lebih ramah lingkungan sebab tidak meninggalkan sampah konstruksi setelah digunakan.

Dengan menggunakan FSO ini maka biaya untuk memasang dan membangun kilang untuk menampung minyak tetap dapat diabaikan, sebab FSO ini bisa dipindahkan ke lokasi baru setelah sumur yang dieksploitasi telah kehabisan minyak.

Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan cara kerja dan kondisi dari sebuah FSO / FPSO yang sedang dioperasikan :



Gambar 2.10. Kondisi Sebuah FSO / FPSO Saat Beroperasi

Selanjutnya adalah data dari beberapa FPSO/FSO yang ada di Indonesia berikut lokasi operasi dan operator yang menjalankan FPSO/FSO tersebut :

Tabel 2.3. Data Beberapa FPSO/FSO, Lokasi Beroperasi, dan Operatornya

No	FPSO / FSO Vessel Name	Location	Operator / Owner
1	FPSO Anoa Natuna	Laut Cina Selatan	Primer Oil
2	FPSO Kakap Natuna	Laut Cina Selatan	Star Energy
3	FPSO Modec Langsa Venture 8	Langsa, Aceh	Modec
4	FSO Intan	Laut Cina Selatan	Conoco Philips
5	FSO Arco Arjuna	Laut Jawa	British Petroleum
6	FSO Cinta Natomas	Madura, Laut Jawa	Codeco
7	FSO Petro China	Jambi	Petro China
8	FSO Laksmiati	Selat Bangka, Sumatera	Trada / Medco
9	FSO Brotojoyo	Utara Irian Jaya	Berlian Laju Tanker
10	FSO Maxus Widuri	Laut Jawa	CNOOC

II.8 METODE PENGHITUNGAN STABILITAS DAN TRIM

II.8.1 Penghitungan Trim dan Mean Draft

Penghitungan trim dan mean draft untuk setiap kondisi pembebanan ditentukan oleh persamaan berikut :

$$\text{➤ Trim} = \frac{\text{Trimming Moment}}{\text{MTC} \times 100} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\text{➤ Draft (mean)} = \text{Draft eqvln to DISP} - \text{Correction by } \Phi F \dots \dots \dots (2.6)$$

Untuk penghitungan ini dibutuhkan data-data berikut ini :

- LPP = *Length Between Perpendicular* (meter)
- Displacement = Total berat saat pembebanan (ton)
- Total momen LCG (ton.meter)
- $LCG_{total} (\Phi G) = \frac{\text{Total LCG momen}}{\Delta} \text{ (m)} \dots \dots \dots (2.7)$
- Draft equivalent to displacement ($T_{eqvln \text{ to } \Delta}$) dari tabel hidrostatis (m)
- ΦB = Longitudinal center of buoyancy equivalent to $T_{eqvln \text{ to } \Delta}$ dari tabel hidrostatis (m)
- ΦF = Longitudinal center of floatation equivalent to $T_{eqvln \text{ to } \Delta}$ dari tabel hidrostatis (m)
- MTC = Moment to Change Trim 1 centimeter equivalent dengan $T_{eqvln \text{ to } \Delta}$; (dari tabel hidrostatis)
- $\Phi G - \Phi F$ = Jarak horizontal antara ΦB dan ΦG (Trimming lever) (m)
- Trimming Moment = Displacement x Trimming lever
- $\text{Trim} = \frac{\text{Trimming Moment}}{\text{MTC} \times 100} \dots \dots \dots (2.8)$
- $\text{Correction by } \Phi F = \frac{\text{Trim} \times \Phi F}{Lpp} \dots \dots \dots (2.9)$
- $\text{Draft (fore)} = T_{\text{equivalent to } \Delta} - \frac{\text{Trim}}{Lpp} \left(\frac{Lpp}{2} + \Phi F \right) \dots \dots \dots (2.10)$
- $\text{Draft (aft)} = T_{\text{equivalent to } \Delta} + \frac{\text{Trim}}{Lpp} \left(\frac{Lpp}{2} - \Phi F \right) \dots \dots \dots (2.11)$

II.8.2 Penghitungan dari G₀M

G₀M harus memiliki nilai positif (+) agar sebuah kapal dapat berlayar. Rumus untuk nilai ini adalah sebagai berikut :

$$G_0M = TKM - KG_0 \dots \dots \dots (2.12)$$

Untuk penghitungan dari nilai G₀M ini, dibutuhkan data-data sebagai berikut :

- Total berat saat kondisi pembebanan (Displacement, dalam ton)
- Draft equivalent to displacement (T_{equivalent to Δ}), dalam meter (dari tabel hidrostatik)
- Total momen KG (ton.meter)
- $KG_{total} = \frac{\text{Total momen KG}}{\Delta}$; dalam meter.....(2.13)
- FSM = Free Surface Moment dari setiap tanki, dalam ton.meter
- TKM = Transverse Metacenter di atas base line

Equivalent to T_{equivalent to Δ}; (dari tabel hidrostatik), dalam meter

- GGo = Loss of GM akibat free surface effect
- $= \frac{FSM}{Displacement}$ (2.14)

- KGo = Koreksi KG dengan GGo
- $= KG + GGo$(2.15)

BAB III

STUDI KASUS

Studi kasus yang dilakukan untuk skripsi ini yang berjudul “STUDI PROSES KONVERSI KAPAL TANKER MENJADI TANKI MINYAK TERAPUNG (FSO) KAPASITAS 700.000 BBLs” adalah dengan menggunakan proyek dari konversi pada sebuah kapal tanker berkapasitas 860,087 bbls.

III.1 PERSYARATAN FSO

Berikut ini adalah ringkasan dari persyaratan FSO yang dibutuhkan di lokasi tersebut :

Tabel 3.1. Persyaratan FSO yang Dibutuhkan untuk Kilang Minyak Widuri

No	Deskripsi	Persyaratan
1	Tahun Pembuatan	Bebas
2	Kapasitas tanki muatan	Minimum memiliki kapasitas 700.000 bbls pada kondisi 98% tanki terisi, termasuk slop
3	Klasifikasi	IACS atau BKI
4	Lama penggunaan	10 tahun tanpa proses <i>dry-dock</i>
5	<i>Cargo oil tank (COT) & Slop tanks</i>	Koil pemanas pada COT dan slop tank harus dapat menaikkan suhu muatan sampai dengan 140 ⁰ Fahrenheit, dan harus memiliki IGS & COW dan <i>tank radar gauges</i>
6	<i>Separated Ballast Tanks (SBT)</i>	Kapasitas minimal SBT adalah harus dapat membuat propeller berada 100% di bawah air dan minimum draft 5 meter pada bagian depan kapal ketika FSO dalam keadaan kosong
7	Jalur pipa pengisian tanki	Setiap COT harus memiliki jalur pipa untuk pengisian tanki

8	Pipa pengeluaran muatan	Jalur untuk pengeluaran muatan dapat disambungkan dengan jalur utama
9	Pompa bongkar muat	Minimal memiliki 2 buah pompa dengan kapastias minimum 250 cu.M / H dengan head 45 m
10	Sistem pengukuran	<i>4 run export meter & prover dan 1 run production meter</i> untuk <i>waxy crude</i> pada suhu 150 F
11	Pompa cargo utama	Memiliki minimal 3 buah MCP (<i>Main Cargo Pump</i>) dengan kapasitas minimal 2500 cu.M / H untuk setiap pompa
12	Pompa ballast	Memiliki minimal 1 buah pompa ballas dengan kapasitas minimal 2000 cu.M / H
13	Laboratorium	Memiliki sebuah laboratorium lengkap dengan peralatan untuk API dan BS&W
14	Boiler mesin utama	Dapat menggunakan 3 jenis bahan bakar (Gas, MDO dan Widuri Crude)
15	Sistem Genset dengan bahan bakar ganda	Dapat menggunakan 2 jenis bahan bakar (Gas dan DO)
16	Mulai penggunaan	Terhitung mulai tanggal 09 September 2008
17	Kapal cepat penyelamat	Memiliki sebuah kapal cepat penyelamat dengan kapasitas minimal untuk 6 orang
18	Crane untuk offshore API 2C	Memiliki 2 buah crane untuk offshore (API 2C) untuk memindahkan material, menyambungkan selang kargo dan memindahkan pekerja, dengan kapasitas minimal 15 ton
19	Boat landing	Pada bagian sisi port & starboard harus memiliki <i>boat landing</i> untuk crew boat
20	Helipad	Memiliki helipad dengan kapasitas Super Puma

21	Kapasitas kabin	Selain kru kapal, juga memiliki minimal 160 tempat tidur untuk pekerja CNOOC
22	<i>Cargo manifolds</i>	Memiliki 6 buah <i>cargo manifold</i> pada bagian midship, 1 untuk gas, 1 untuk minyak hasil produksi, dan 4 untuk export
23	<i>Oily water separator</i>	Memiliki sebuah <i>oily water separator</i> dengan kapasitas 150 cu.M / H, dengan standar 15 PPM
24	<i>Fresh water maker</i>	Cukup untuk memenuhi kebutuhan boiler dan para pekerja yang berjumlah sekitar 200 orang
25	<i>Mooring system</i>	Menggunakan sistem tambat CNOOC spread mooring dengan memiliki minimal 10 kaki rantai

III.2 KAPAL YANG HENDAK DIKONVERSI

Maka berdasarkan kriteria tersebut di atas maka akan dilakukan proses konversi sebuah kapal tanker menjadi FSO agar dapat memenuhi persyaratan yang diminta.

III.2.1 Spesifikasi Kapal

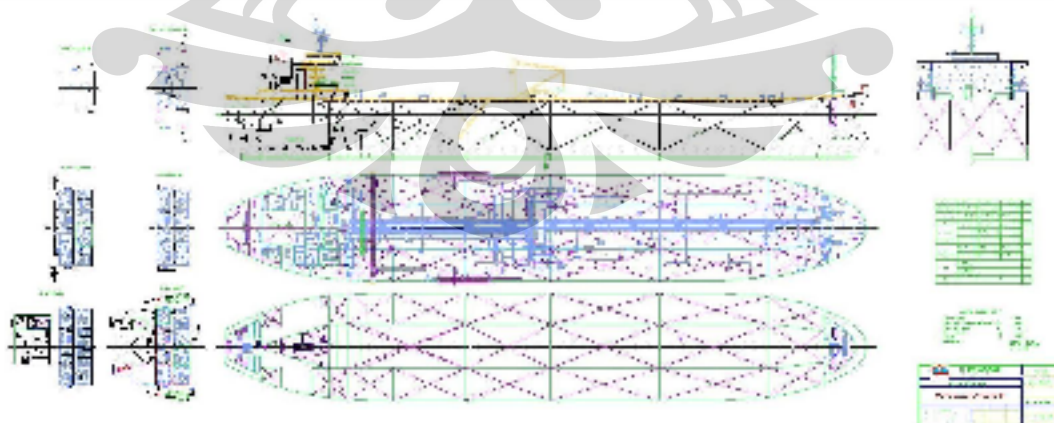
Kapal tanker tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Nama kapal : MT.XXXXXX
2. Official Number : 525011111
3. Tipe kapal : Tanker
Cargo : Oil, Crude Oil
4. Flag : Indonesia
5. Pelabuhan Terdaftar : Jakarta
6. Owner : PT. XX
7. Tahun pembuatan : Juli 1985 oleh ISHIKAWAJIMA DO
BRASIL,EST. S. A.
8. Kapasitas Tanki : 860087 bbls
9. GRT / NRT : 53114 ton / 25649 ton

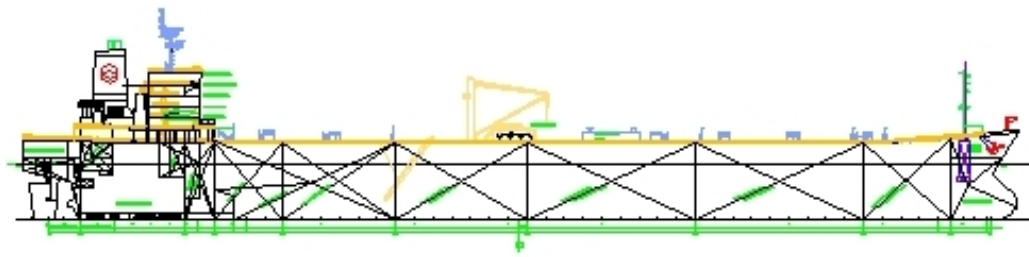
10. Dimensi utama :
- Length Over All : 243,7 m
 - LPP : 232,2 m
 - Breadth Moulded : 41,6 m
 - Breadth : 43,64 m
 - Draught : 13,51 m
 - Depth Moulded : 19,7 m
 - Summer draft : 13,509 m
11. Material : Steel, grade AH, D dan E
12. Klasifikasi : Lloyd's Register
13. Bulbous bow : Kapal memiliki bulbous bow
14. Propulsi : Oil Engine, direct drive, fixed propeller
15. Kapasitas tanki : a. Tanki cargo : 136.896,5 Cu. Metres
b. Tanki ballast : 43.510 Cu. Metres
16. Kecepatan Kapal : 15 knot
17. Energi Keluaran Mesin : 10003 KW

III.2.2 Gambar Kapal

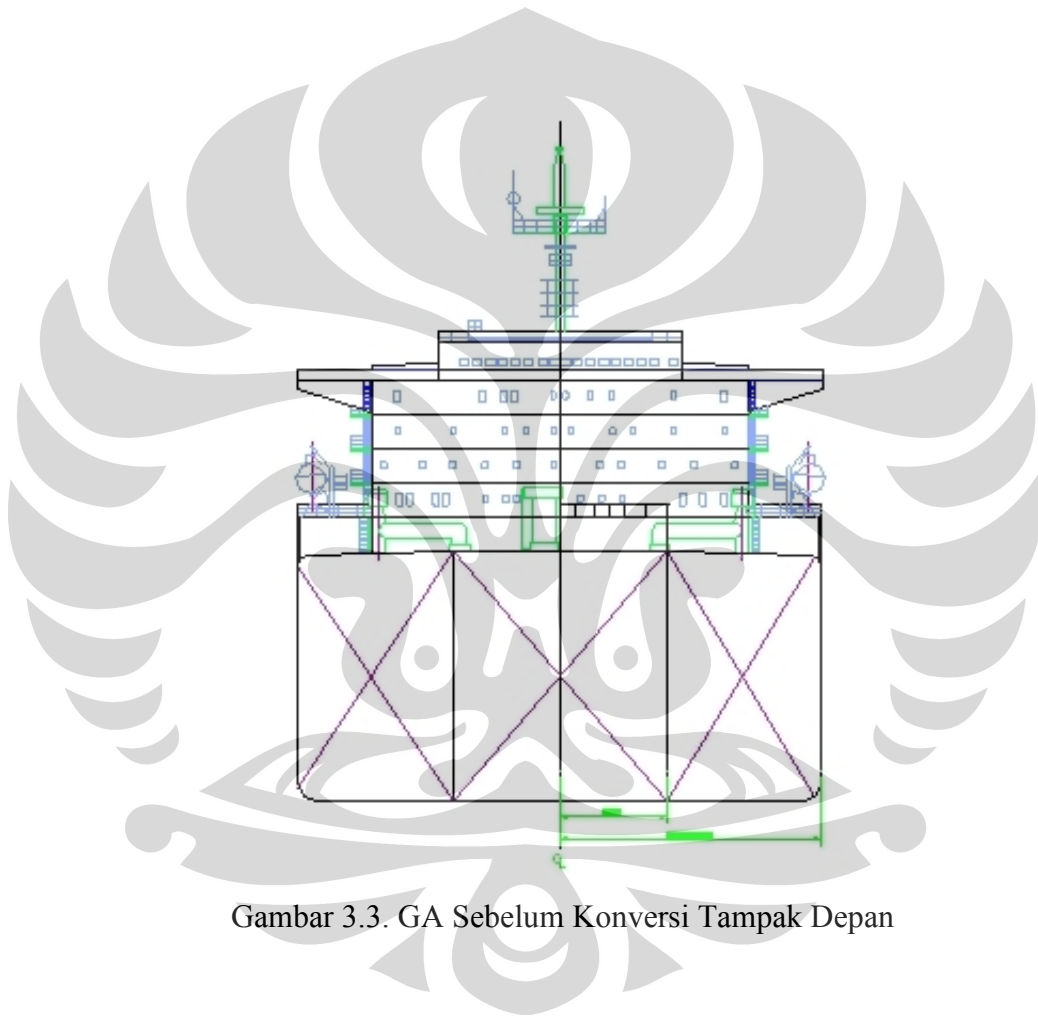
Agar dapat terlihat perbedaan antara kapal sebelum dan sesudah dikonversi maka, berikut ini akan ditampilkan beberapa gambar kapal seperti *General Arrangement (GA)* dan *Capacity Plan* dari kapal sebelum dikonversi :



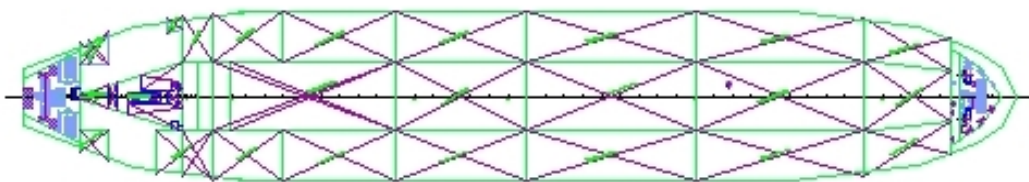
Gambar 3.1. General Arrangement Sebelum Konversi



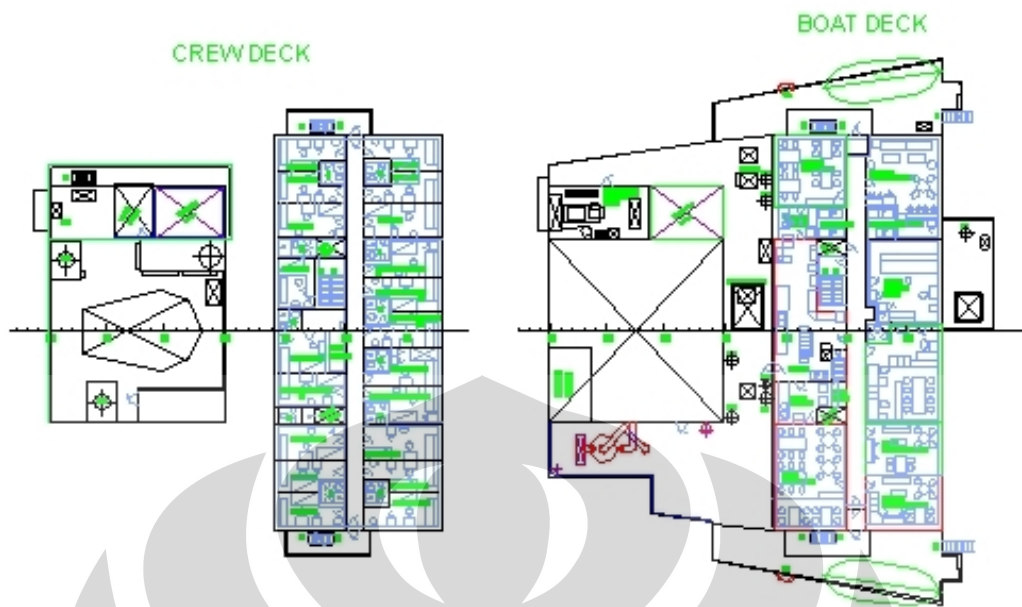
Gambar 3.2. GA Sebelum Konversi Tampak Samping



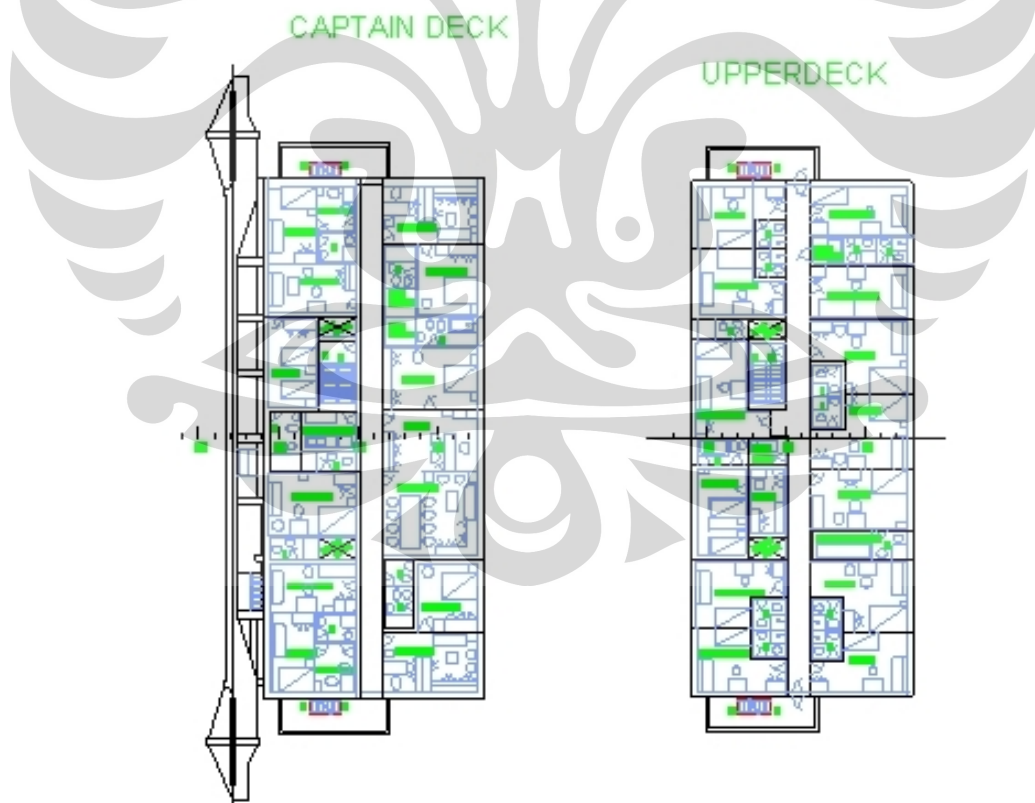
Gambar 3.3. GA Sebelum Konversi Tampak Depan



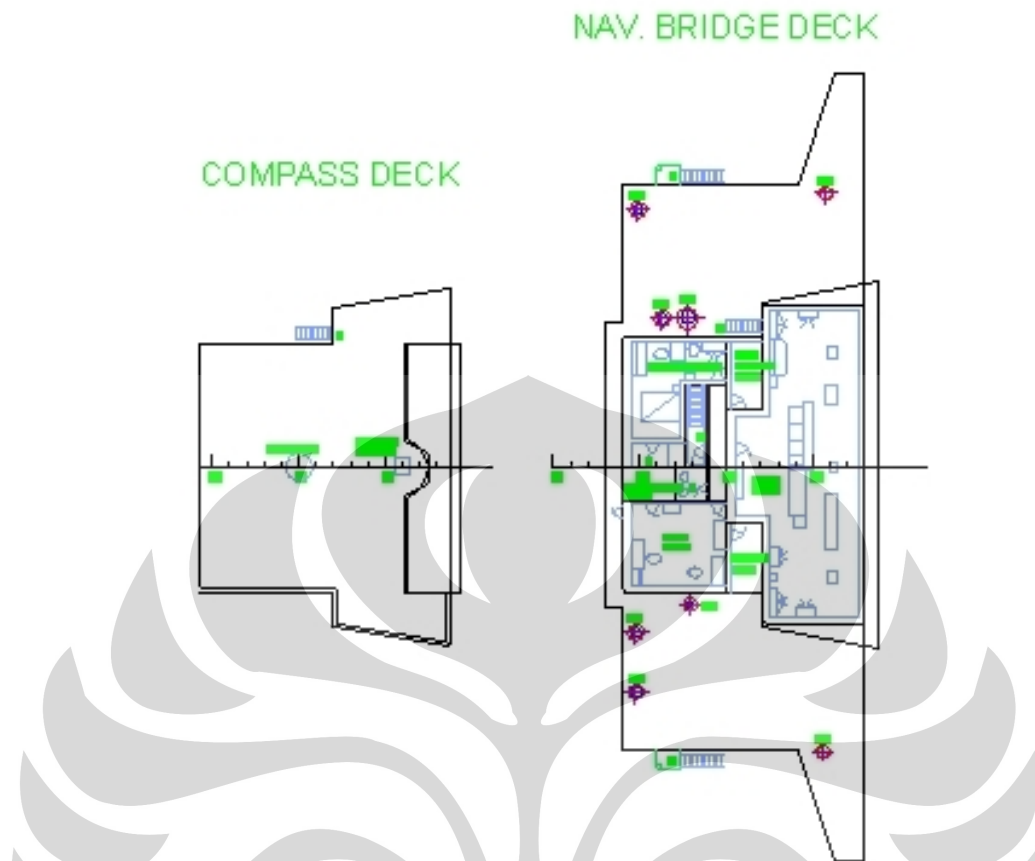
Gambar 3.4. GA Sebelum Konversi Tampak Atas



Gambar 3.5. GA Sebelum Konversi untuk Boat Deck dan Crew Deck



Gambar 3.6. GA Sebelum Konversi untuk Upperdeck & Capt. Deck



Gambar 3.7. GA Sebelum Konversi untuk Nav. Bridge Deck dan Compass Deck

III.3 PEKERJAAN KONVERSI

Untuk memenuhi persyaratan yang disebutkan pada bab III.1 maka pekerjaan konversi yang dilakukan oleh pihak galangan dapat diringkas sebagai berikut :

Tabel 3.2. Pekerjaan untuk Proses Konversi Tanker Menjadi FSO Berkapasitas 700,000 bbls

No	Pekerjaan
1	Lead Time for Engineering, Procurement and Per-fabrication
2	Engineering Work
3	Receive Aproval Owner's Class approved Basic Design Detail Engineering Documents

4	Detail Engineering & Fabrication Drawings
5	Procurement
A	Procurement of Bulk Material
B	Procurement of Equipment
6	Receive of Owner Finished Equipment
A	Receive of Owner Finished Metering System
B	Receive of Owner Finished Triple Fuel Boiler
C	Receive of Owner Finished API 2C Pedestal Cranes
7	Pre-fabrication of Structure of Boat Landing
8	Pre-fabrication of Structure of Helipad
9	Pre-fabrication of Structure of Midship Manifolds
10	Pre-fabrication of Deck Structure for Turbines
11	Pre-fabrication of Deck Structure of Hose Rack
12	Pre-fabrication of Deck Structure for Tripel Fuel Boiler
13	Pre-fabrication of Deck Structure for Metering System
14	Pre-fabrication of Deck Structure for Deck Oil Water Separator
15	Pre-fabrication of Deck Structure for New Accomodation
16	Pre-fabrication of Deck Structure for Knock Out Drums and Pig Receiver
17	Pre-fabrication of Deck Structure for Electric Tray of electric power
18	Pre-fabrication of Deck Structure for New Life-boat's Davits
19	Re-piping of Discharging Line & Connection fro Metering & Prover System
20	Re-piping of Crude Loading Line and filling lines (Drop Lines)
21	Re-piping of Gas Loading Line, Pig Receiver and Knock Out Drums
22	Re-piping of Re-circulation Line Re-piping of Stripping Line
23	Re-piping of Diesel Fuel Line from Storage Tank to Deck Daily Tank of Turbines and to Manifolds for boat
24	Installing of Metering System

25	Installing of Triple Fuel Boiler
26	Installing of API 2C Pedestal Cranes
27	Installing of BOAT Landings on both sides
28	Installing of Helipad
29	Installing of Deck Oil Water Separator
30	Installing of New Main Cargo Pumps
31	Installing of New Stripping Pump
32	Installing of New Sewage Tank
33	Installing of New Water Maker
34	Installing of Main Cargo Pumps
35	Installing of New Life Boats

Agar proses instalasi menjadi mudah, maka bagian-bagian tambahan yang hendak dibangun di atas kapal, tidak dirakit satu per satu di kapal. Bagian tersebut dibuat menjadi beberapa modul yang telah terintegrasi, sehingga pada saat hendak dipasang, modul tersebut tinggal disambung dengan bagian atas kapal. Modul tersebut dibuat di darat sesuai dengan kegunaan dan tujuan masing-masing modul. Setelah modul tersebut selesai dirakit di darat, baru kemudian part yang telah selesai tersebut dipasangkan di atas kapal.

III.3.1 Pekerjaan Utama :

- Memperbaharui dan memperbaiki mesin-mesin yang ada di atas kapal.
- Konversi konstruksi pemanas (*boiler*) untuk gas dan minyak.
- Pembuatan dan instalasi landasan untuk helikopter (*helideck*).
- Instalasi dari *supply handling deck cranes*, fondasi, *railway*, komunikasi, pencahayaan dan berbagai fasilitas deck lainnya.
- Pembuatan untuk *area supply boat*.
- Modifikasi dan pengembangan dari ruang-ruang akomodasi dan ruang variasi lainnya.

- Instalasi dan fabrikasi dari modul-modul dan perlengkapan penyangga pada bagian struktur dek dengan beban yang bervariasi dari 75 hingga 750 ton.
- Perubahan sistem penambatan kapal, dengan modifikasi struktur. Seperti diberi penguat untuk menahan beban.
- Sistem deteksi, keselamatan dan keamanan untuk kebakaran dan kebocoran gas.
- Dan pemasangan diesel generator, trafo beserta dengan sistem panel yang terintegrasi dengan kapal.

Berikut ini adalah penjelasan secara mendetail dari proses konversi tersebut untuk setiap bagian :

Proses perakitan modul

Diinstall dan difabrikasi modul-modul yang berfungsi untuk pemrosesan air (*water treatment*), fasilitas pelengkap, dan ruang perlengkapan lokal.

Helideck

Helideck dibuat pada poop deck untuk jenis Super Puma type helicopter. Helideck ini memiliki bobot sekitar 150 ton.

Akomodasi

Deckhouse akomodasi tambahan dibangun di bagian akomodasi yang lama. Superstructure akomodasi yang telah ada ditingkatkan dan dikembangkan untuk mengakomodasi 160 orang.

Sistem Perpipaan

Estimasi panjang pipa yang terpasang pada kapal mencapai 20.000 meter dengan total lekukan sampai dengan 3850 lekukan. Hal ini menunjukkan betapa kompleks dan sulitnya proses pemasangan pipa pada konversi kapal tersebut.

Pipa yang digunakan untuk proses pekerjaan ini adalah pipa khusus yang dibuat dari super duplex stainless steel yang cocok untuk kondisi air laut, dan mengangkut gas dan produk hasil pengeboran.

Cargo & Ballast Piping Sistem

Semua perpipaan untuk kargo dan ballast pada geladak utama diangkat, sedangkan perpipaan di dalam ruang kargo dan di tanki ballast diganti dan diperbaharui dengan pipa baru.

Sistem Pemrosesan Gas

Sistem pemrosesan gas juga dibuat dan dipasang yang memiliki pendorong tekanan (*booster compression*), kompresi untuk mendorong gas, dan sistem dehidrasi gas.

Sistem pengolahan Air

Dipasang dan difabrikasi sistem pengolahan air yang dapat menghasilkan 50.000 barrel/day air.

Sistem Injeksi Air

Dipasang sebuah sistem injeksi air yang memiliki kapasitas untuk memberikan air mencapai 110.000 barrel/day.

Generator Tenaga

Dirakit dan dipasang 6 buah Solar A-T1110/A-T1120 Turbines, MOD No.12 of power generation, yang masing-masing menghasilkan 4.486 kW.

Sistem Kontrol Muatan dan Katup

Sistem bongkar muat muatan yang telah ada dimodifikasi, dipasang sebuah katup untuk ruang muat dan ballast dengan sistem hidrolik baru yang dikontrol secara menyeluruh oleh sebuah sistem komputer baru yang terletak di CCR (*Cargo Control Room*).

Konversi Boiler

Boiler utama yang telah ada diangkat dan dimodifikasi sehingga tingkat kapasitas penguapan yang sebelumnya 60 ton/jam menjadi 85 ton/jam. Boiler penyokongnya pun ikut diangkat dan dimodifikasi sistem pembakarannya menjadi *triple fuel boiler* yang dapat menggunakan 3 jenis bahan bakar, yakni HFO, MDO dan Gas alam dari sumur hasil eksplorasi.

Sistem manajemen boiler yang baru juga dipasang pada ruang kontrol mesin (*Engine Control Room*).

Sistem Elektrik dan Peralatan

Seluruh instrumen kelistrikan dan sistem pendistribusian pencahayaan, dengan sistem tegangan tinggi diinstall pada kapal tersebut. Dengan total penggunaan kabel mencapai 450 kilometer.

Sistem komunikasi

Sistem komunikasi internal maupun eksternal baru telah diinstall.

Safety

Pengerjaan konversi FSO ini sangat membutuhkan tingkat keamanan yang tinggi. Karena itu harus dipilih galangan yang dapat diandalkan dan dipercaya tingkat keamanannya.

III.3.2 Hal-Hal yang Perlu Diperhatikan Selama Proses Konversi

Dikarenakan banyaknya pekerjaan konversi yang dikerjakan, maka ada beberapa bagian yang harus mendapatkan perhatian khusus selama proses konversi. Terutama bagian-bagian yang berhubungan dengan sistem produksi minyak di sumur. Sebab apabila produksi terputus akan sangat merugikan bagi semua pihak. Berikut ini adalah bagian-bagian penting tersebut :

- Solar Turbine generator

Solar turbine generator ini adalah jantung dari proses produksi minyak, sebab bagian ini lah yang menghasilkan seluruh tenaga untuk proses eksploitasi seperti tenaga untuk pengeboran, tenaga pompa, pencahayaan serta sistem kelistrikan lainnya. Pada kapal akan diletakkan 6 buah solar turbine generator dengan kapasitas 4.486 kW. Karena itu proses pemasangan generator ini benar-benar harus diperhatikan agar tidak ada masalah ke depannya nanti.

- Heating Coil

Heating coil adalah sistem pemanas di dalam kapal untuk memanaskan kargo yakni minyak mentah (*crude oil*) menjaga viskositas minyak tersebut agar tidak mengalami proses solidifikasi. Sistem pemanasan yang buruk akan menyebabkan minyak mentah mengental atau mengeras dan akan dapat merusak pompa saat hendak dipindahkan menuju kapal ekspor tanker. Karena inilah heating coil juga harus sangat diperhatikan pada saat proses konversi.

- Triple Fuel Boiler

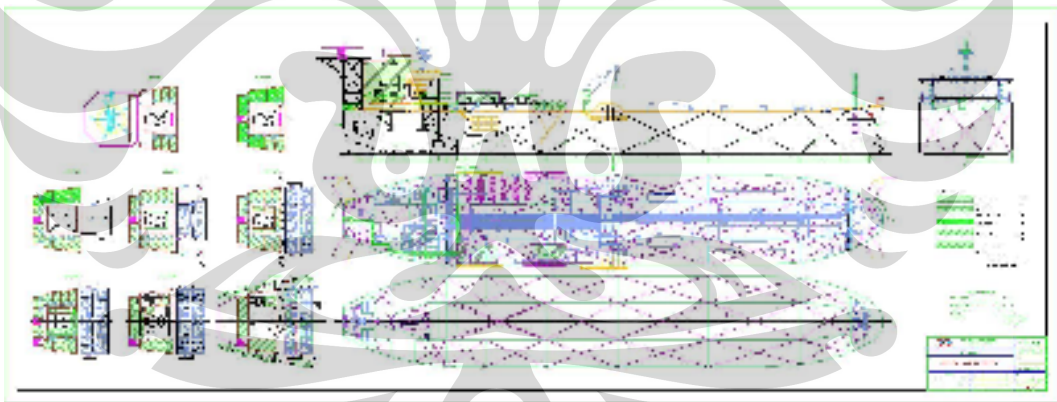
Untuk memberikan panas pada heating coil maka diperlukan uap panas yang dialirkan pada coil tersebut. Triple fuel boiler inilah yang menghasilkan uap panas tersebut. Boiler ini memiliki 3 jenis bahan bakar yang dapat digunakan untuk memanaskan air yakni solar, crude oil, dan

gas. Bahan bakar yang paling efisien dan ekonomis adalah dengan menggunakan gas yang didapatkan dari hasil eksploitasi sumur. Heating coil yang baik tanpa didukung dengan kondisi boiler yang buruk juga dapat mengganggu proses penyimpanan minyak di dalam tanki.

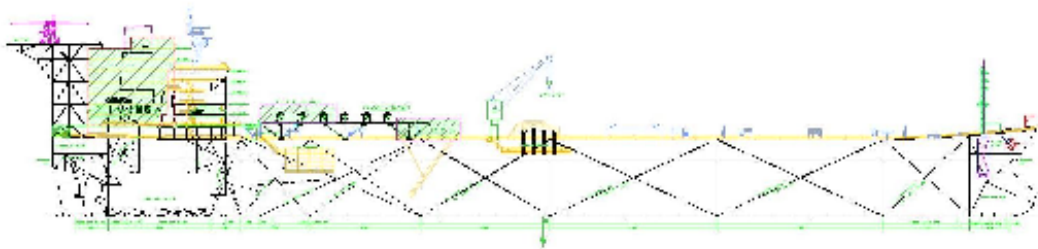
- Fatigue Analysis dan ketebalan plat

Hal penting yang terakhir adalah ketebalan plat dari sistem konstruksi yang ada pada kapal. Kapal ini akan beroperasi selama kurang lebih 10 tahun tanpa proses perbaikan atau docking, karena itu semua sistem konstruksi yang ada di atas kapal harus memadai dan sanggup untuk bertahan minimal selama 10 tahun. Karena itu perhitungan analisa kelelahan (*fatigue analysis*) dan ketebalan plat harus benar-benar diperhatikan sebelum kapal tersebut beroperasi agar tidak mengalami masalah nantinya.

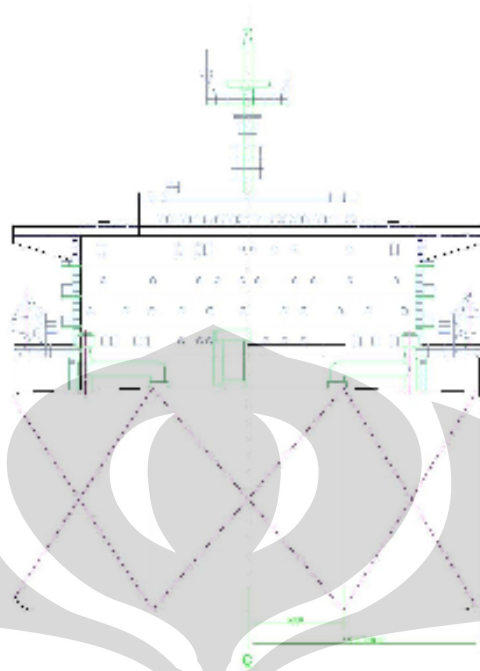
III.3.3 Hasil Proses Konversi



Gambar 3.8. General Arrangement Setelah Konversi



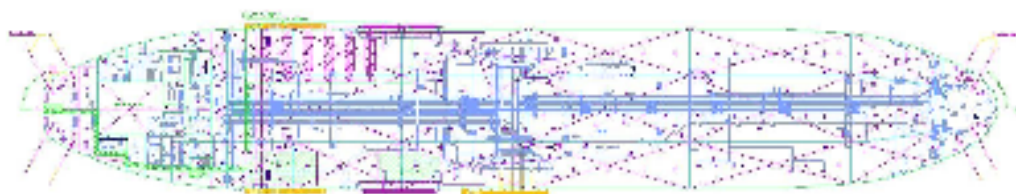
Gambar 3.9. GA Setelah Konversi Tampak Samping



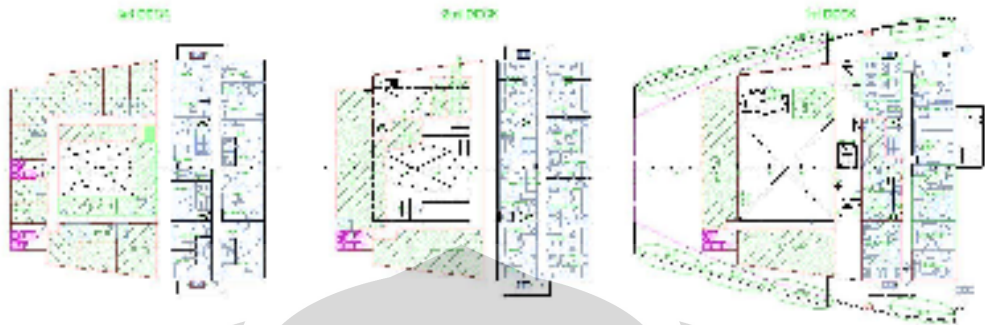
Gambar 3.10. GA Setelah Konversi Tampak Depan



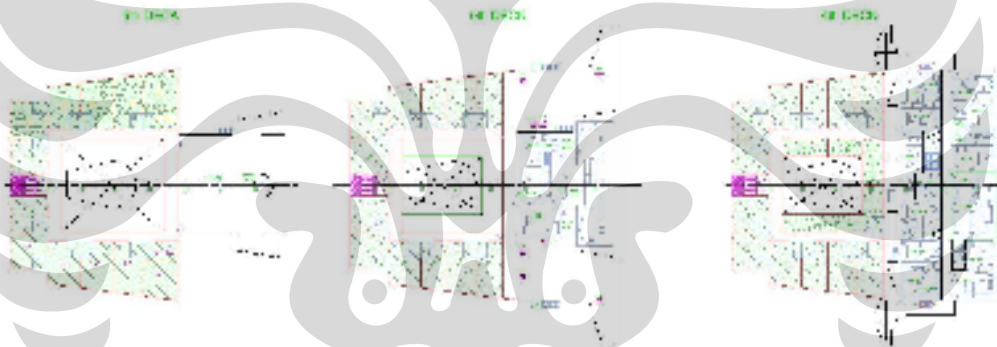
Gambar 3.11. GA Setelah Konversi Tampak Bawah



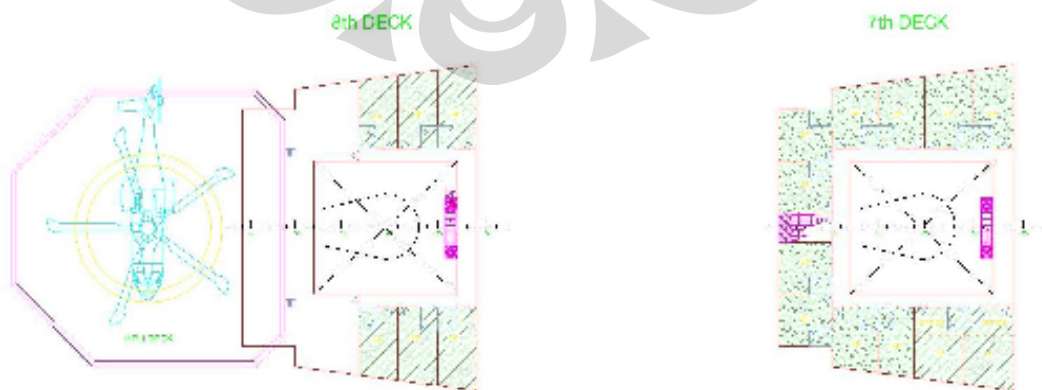
Gambar 3.12. GA Setelah Konversi Tampak Atas



Gambar 3.13. GA Setelah untuk 1st Deck, 2nd Deck dan 3rd Deck



Gambar 3.14. GA Setelah untuk 4th Deck, 5th Deck dan 6th Deck

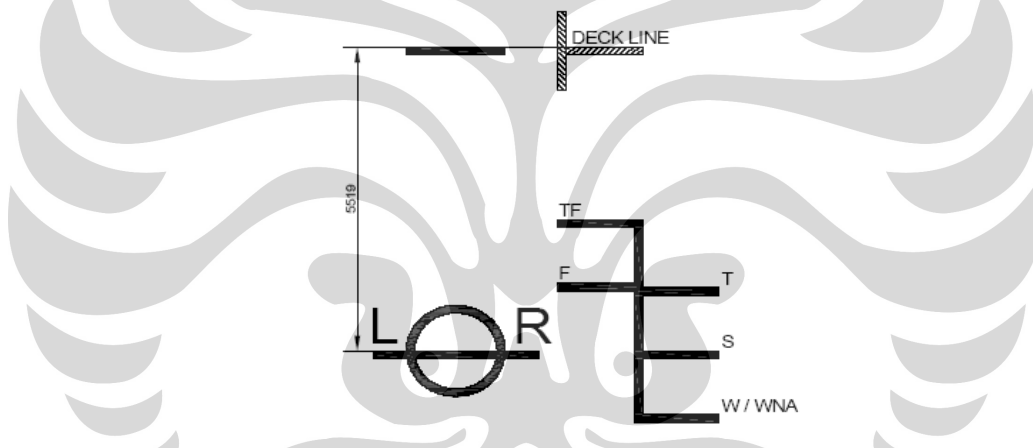


Gambar 3.15. GA Setelah untuk 7th Deck dan 8th Deck

III.4 PERHITUNGAN STABILITAS DAN TRIM

III.4.1 Kapasitas Tanki

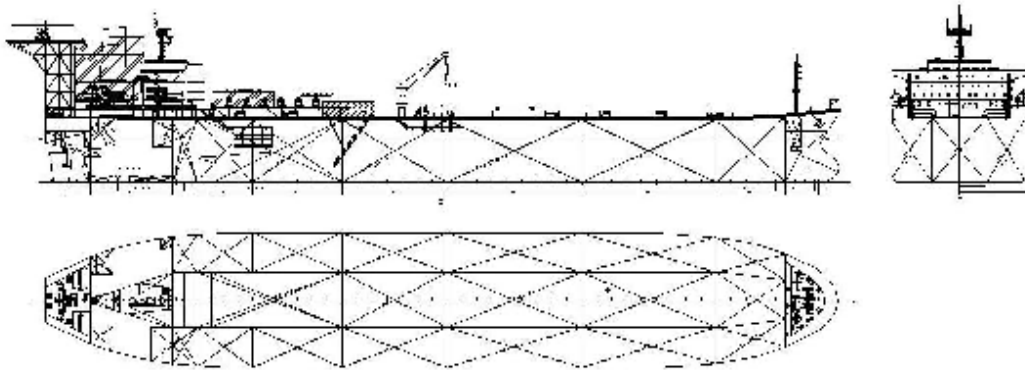
- Cargo Tank (100%) : 136737 m³ = 860087 Barrel
- Slop Tank (100%) : 6481.6 m³ = 40770 Barrel
- Total Cargo tank (100%) : 143218 m³ = 900857 Barrel
- Cargo Tank (98%) : 134002 m³ = 842885 Barrel
- Slop Tank (98%) : 6351.97 m³ = 39955 Barrel
- Total Cargo tank (98%) : 140354 m³ = 882840 Barrel
- Ballast Tank : 23421 m³
- Heavy Fuel Oil Tank : 2705 m³
- Diesel Oil Tank : 253 m³
- Fresh Water Tank : 664 m³



Gambar 3.16. Plimsol Mark

Tabel 3.3. Ketinggian Draft Maksimum, Displacement dan DWT untuk Setiap Kondisi Perairan

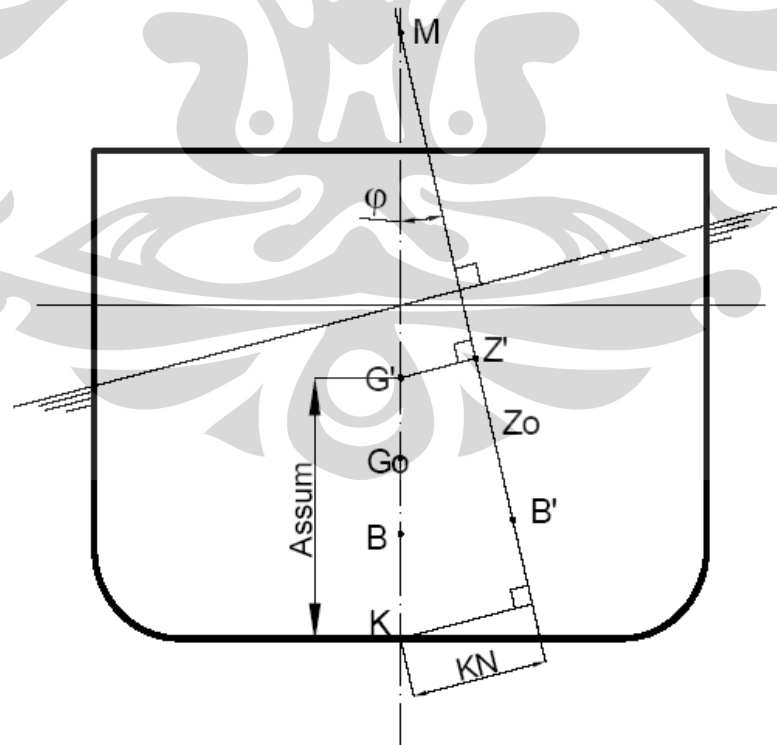
Kondisi	Simbol	Freeboard (mm)	Draught (m)	Displacement (ton)	DWT (ton)
Tropical Fresh Water	TF	4901	14.818	119654	101215
Fresh Water	F	5196	14.523	117074	98635
Tropical	T	5224	14.495	116808	98369
Summer	S	5519	14.2	114240	95801
Winter / WNA	W / WNA	5815	13.904	112387	93948



Gambar 3.17. Capacity Plan FSO Kapasitas 700,000 bbls Setelah Konversi

III.4.2 Perhitungan Stabilitas dan Kriteria Stabilitas

Berikut ini adalah sebuah contoh gambar tampak depan kapal yang berada dalam posisi miring yang akan mempengaruhi stabilitas dari kapal tersebut. Terutama akibat adanya permukaan bebas pada muatan di dalamnya. KG adalah *Centre Of Gravity* terhitung dari *base line*, dan KG_0 adalah hasil koreksi dari nilai COG akibat adanya permukaan bebas pada muatan.



Gambar 3.18. Lengan Stabilitas

Lengan sebelah kanan bernilai :

$$G_0Z_0 = G'Z' - (G'G_0 \times \sin \varphi) \dots \dots \dots (3.1)$$

Di mana : G_0Z_0 = lengan stabilitas sebelah kanan, dalam meter

$G'Z'$ = Ordinat cross curve dari tabel cross curve di atas

$G'G_0$ = Centre of Gravity di atas keel setelah koreksi akibat permukaan bebas
 = $K_{Gasumsi} - KG_0$

$K_{Gasumsi} = 11 \text{ m}$

φ = Sudut kemiringan

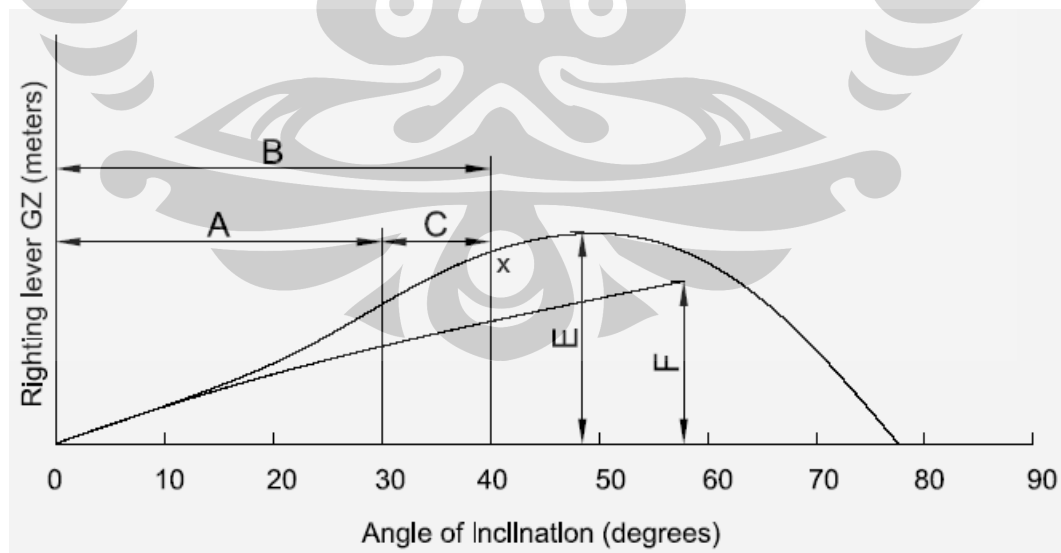
Kurva lengan sebelah kanan adalah tangen dengan sudut antara 0° dan 10° menuju garis lurus yang digambar dari 0 menuju GM yang berada tepat pada ordinat $57,3^\circ$ yakni 1 radian.

Perhitungan untuk luas area di bawah lenga kurva sebelah kanan :

$$e = \int GZ_{at\theta} d\varphi, \dots \dots \dots (3.2)$$

di mana e = stabilitas dinamis

$d\varphi$ = perbedaan sudut



Gambar 3.19. Kurva Stabilitas Statis

A = Area di bawah kurva sampai dengan sudut 30° di mana tidak boleh kurang dari 0.055 meter radian.

B = Area di bawah kurva sampai dengan x° di mana tidak boleh kurang dari 0.09 meter radian.

C = Area antara sudut 30° dan x° di mana tidak boleh kurang dari 0.03 meter radian.

X = 40° atau kurang di mana air mulai dapat memasuki lambung.

E = Nilai Max GZ harus terjadi pada sudut di atas 30° dan tidak boleh bernilai kurang dari 0.2 meter (0.66 Ft) dalam ukuran tinggi.

F = Nilai G.M. tidak boleh kurang dari 0.15 meter (0.49 ft).

III.4.3 Cross Curve

Untuk menghitung stabilitas dari sebuah kapal maka diperlukan data cross curve yang didapat dari menghitung volume kapal yang berada di bawah permukaan air laut untuk setiap sudut kemiringan. Di sini penulis mengambil sudut 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° , 50° , 60° , 70° , 80° , dan 90° . Dengan asumsi :

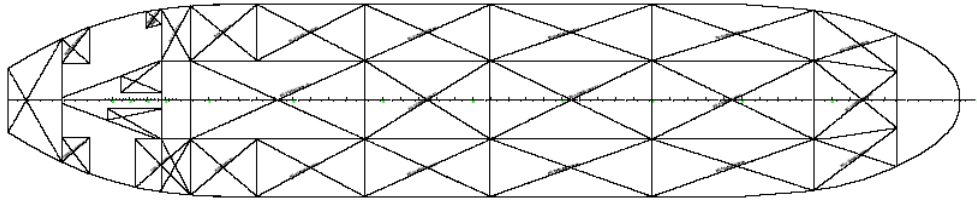
- Digunakan untuk mendapatkan kurva stabilitas pada kondisi apapun.
- Pada tabel ini center gravity / pusat gravitasi (KG) di atas base line diasumsikan bernilai 11 m.
- Jika nilai KG sebenarnya berbeda dari nilai KG asumsi, maka nilai GZ akan dikoreksi sesuai dengan nilai di bawah.

Tabel perhitungan nilai cross curve

(Lampiran 1)

III.4.4 Stabilitas 7 Kondisi FSO Kapasitas 700.000 bbls

1. Kondisi Kapal Kosong (Light Ship)



Gambar 3.20. Kondisi Kapal Kosong

Tabel 3.4. Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kapal Kosong

ITEM	CAPACITY	CENTER OF GRAVITY		MOMENT		$I \times \rho$
		LCG	VCG	M-LCG	M-VCG	T - meter
	Ton	Meter	Meter	T - meter	T - meter	T - meter
LIGHT WEIGHT	16746.00	16.25	12.98	272122.50	217363.08	0.00
D/D CONSTANT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PROVISIONS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HEAVY FUEL OIL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIESEL OIL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FRESH WATER	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CARGO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BALLAST	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DWT	0.00			0.00	0.00	0.00
DISPLACEMENT	16746.00	16.25	12.98	272122.50	217363.08	0.00

Tabel 3.5. Keadaan Kapal pada Kondisi Kapal Kosong

Displacement	T	16746.00	
Draft Corresponding to Displacement	m	2.33	
ΦG	m	16.25	
ΦB	m	12.40	
ΦF	m	11.56	
MTC	T.m	970.86	
$\Phi G - \Phi B$	m	28.65	
Trimming Moment	m	479772.90	
Trim	m	4.94	
Correction by ΦF	m	2.2443	
Draft	Mean	m	2.57
	Fore	m	0.10
	Aft	m	5.04
TKM	m	56.16	
KG	m	12.98	

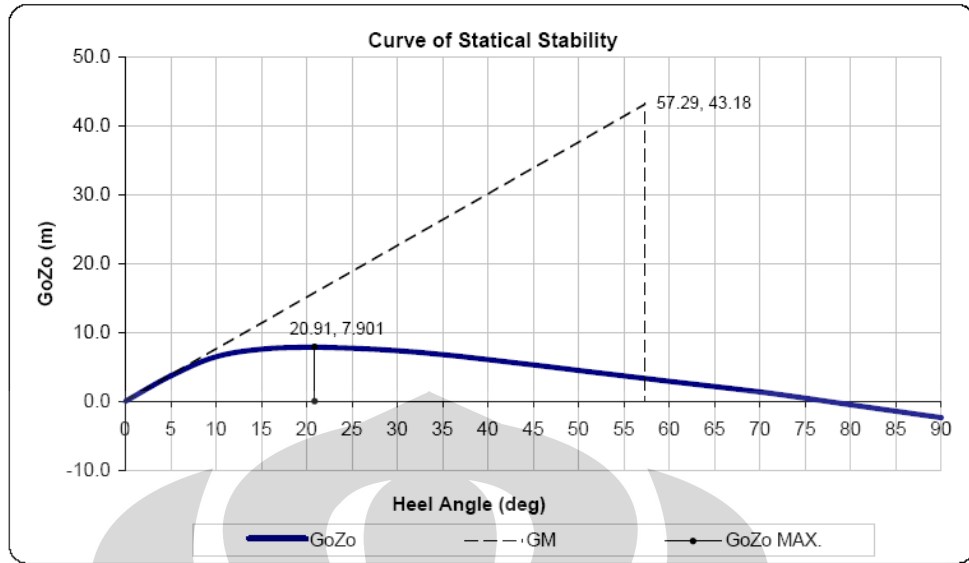
GGo	m	0.00
KGo	m	12.98
GoM	m	43.18
G'Go	m	1.98

Tabel 3.6. Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kapal Kosong

STATICAL STABILITY				DYNAMICAL STABILITY	
θ	G'Z'	-G'Go X Sin θ	GoZo	Integral	h
I	II	III	IV=(II+III)		
0	0	0	0	0	0
5	3.867	0.173	3.694	3.69	0.161
10	6.801	0.344	6.457	13.85	0.604
15	8.083	0.512	7.571	27.87	1.216
20	8.527	0.677	7.85	43.29	1.889
25	8.556	0.837	7.719	58.86	2.568
30	8.331	0.990	7.341	73.92	3.226
35	7.902	1.136	6.766	88.03	3.841
40	7.345	1.273	6.072	100.87	4.401
50	6.006	1.517	4.489		
60	4.635	1.715	2.92		
70	3.239	1.861	1.378		
80	1.466	1.950	0.484		
90	0.396	1.980	2.376		

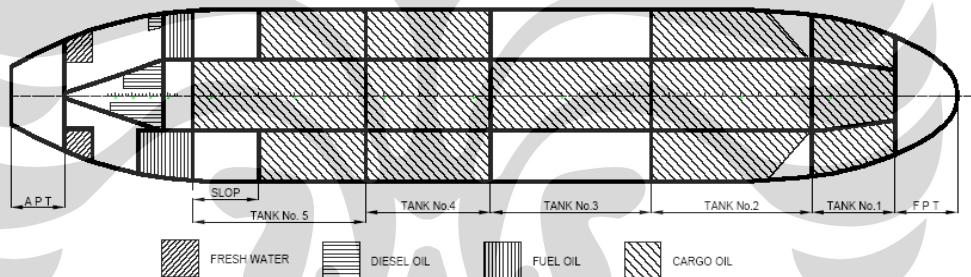
Tabel 3.7. Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kapal Kosong

STABILITY ANALYSIS		
IMO RESOLUTION. A 749		
ITEM	Request	Actually
AREA 0° TO 30° DEG	> 0.055	3.226
AREA 0° TO 40° DEG	> 0.09	4.401
AREA 30° TO 40° DEG	> 0.03	1.176
GZ AT 30° DEG	> 0.2	7.341
ANGLE OF MAX GoZo	25.000	20.910
INITIAL GM	> 0.15	43.180



Gambar 3.21. Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kapal Kosong

2. Kondisi Kapal Penuh (Fully Loaded)



Gambar 3.22. Kondisi Kapal Penuh

Tabel 3.8. Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kapal Penuh

ITEM	CAPACITY	CENTER OF GRAVITY		MOMENT		I x ρ
		LCG	VCG	M-LCG	M-VCG	
	Ton	Meter	Meter	T - meter	T - meter	T -meter
LIGHT WEIGHT	16746.00	16.25	12.98	272122.50	217363.08	0.00
D/D CONSTANT	264.00	84.09	14.70	22199.76	3880.80	0.00
PROVISIONS	10.00	86.00	25.00	860.00	250.00	0.00
HEAVY FUEL OIL	2461.87	80.24	13.53	197547.05	33307.87	1810.55
DIESEL OIL	209.41	86.63	7.78	18142.29	1628.86	259.50
FRESH WATER	663.13	103.85	16.87	68868.56	11187.76	0.00
CARGO	92297.51	716.52	9.84	71524396.67	908652.76	80172.45
BALLAST	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DWT	95905.91			0.00	958908.10	82242.50
DISPLACEMENT	112651.91	78.39	10.44	7944656.51	1176271.13	82242.50

Tabel 3.9. Keadaan Kapal pada Kondisi Kapal Penuh

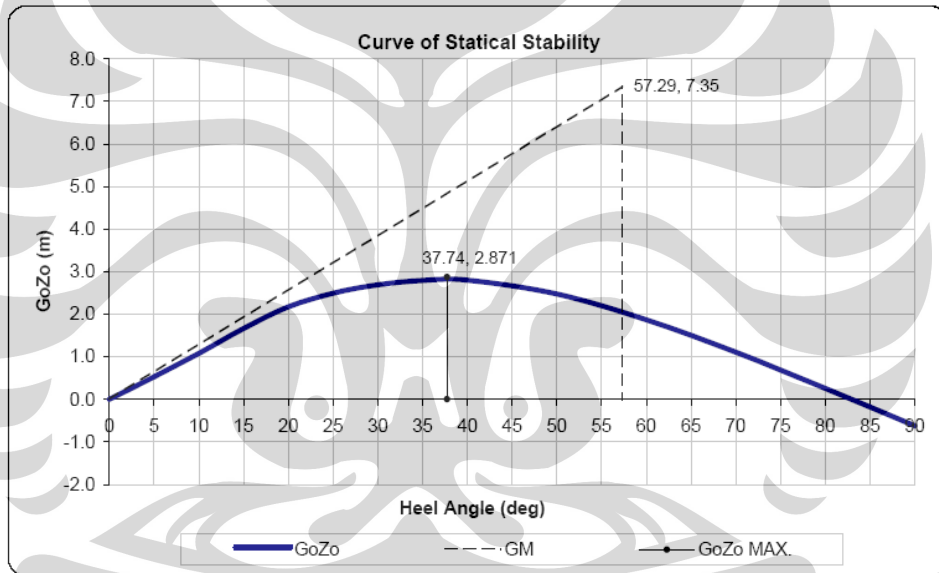
Displacement	T	112651.91
Draft Corresponding to Displacement	m	13.99
ΦG	m	78.39
ΦB	m	78.06
ΦF	m	70.82
MTC	T.m	1424.15
$\Phi G - \Phi B$	m	70.33
Trimming Moment	m	737013.82
Trim	m	70.26
Correction by ΦF	m	0.0009
Draft	Mean	m 13.99
	Fore	m 14.12
	Aft	m 13.86
TKM	m	17.26
KG	m	10.44
GGo	m	0.73
KGo	m	11.17
GoM	m	6.09
G'Go	m	0.17

Tabel 3.10. Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kapal Penuh

STATICAL STABILITY				DYNAMICAL STABILITY	
θ	G'Z'	-G'Go X Sin θ	GoZo	Integral	h
I	II	III	IV=(II+III)		
0	0	0	0	0	0
5	0.549	70.015	0.534	0.53	0.023
10	1.11	70.030	1.08	2.14	0.094
15	1.709	70.044	1.665	4.89	0.213
20	2.232	70.059	2.173	8.73	0.381
25	2.564	70.073	2.491	13.39	0.584
30	2.777	70.086	2.691	18.57	0.81
35	2.892	70.098	2.794	24.06	1.01
40	2.909	70.110	2.799	29.65	1.294
50	2.607	70.132	2.475		
60	2.019	70.149	1.87		
70	1.267	70.161	1.106		
80	0.426	70.169	0.257		
90	70.449	70.172	70.621		

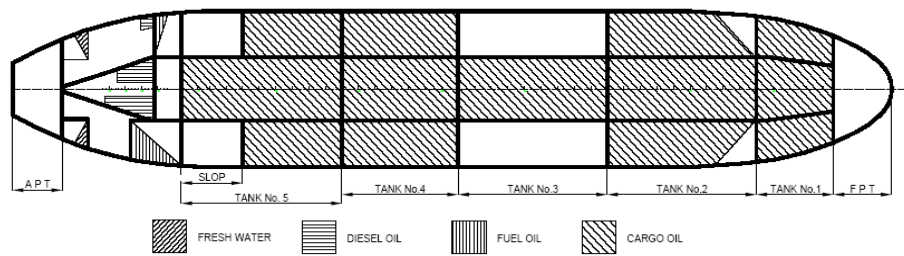
Tabel 3.11. Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kapal Penuh

STABILITY ANALYSIS		
IMO RESOLUTION. A 749		
ITEM	Request	Actually
AREA 0° TO 30° DEG	> 0.055	0.810
AREA 0° TO 40° DEG	> 0.09	1.294
AREA 30° TO 40° DEG	> 0.03	0.483
GZ AT 30° DEG	> 0.2	2.682
ANGLE OF MAX GoZo	25.000	37.744
INITIAL GM	> 0.15	6.090



Gambar 3.23. Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kapal Penuh

3. Kondisi Minimum Bunker (10%), Kargo Penuh



Gambar 3.24. Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%

Tabel 3.12. Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%

ITEM	CAPACITY	CENTER OF GRAVITY		MOMENT		I x ρ
		LCG	VCG	M-LCG	M-VCG	
	Ton	Meter	Meter	T - meter	T - meter	T -meter
LIGHT WEIGHT	16746.00	16.25	12.98	272122.50	217363.08	0.00
D/D CONSTANT	264.00	84.09	14.70	22199.76	3880.80	0.00
PROVISIONS	10.00	86.00	25.00	860.00	250.00	0.00
HEAVY FUEL OIL	1651.69	81.03	13.48	133836.61	22257.09	933.80
DIESEL OIL	209.41	86.63	7.78	18142.29	1628.86	259.50
FRESH WATER	207.08	102.89	16.86	21306.74	3491.20	0.00
CARGO	91836.17	76.34	9.82	71500827.2	901868.01	79350.20
BALLAST	533.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DWT	94711.34			71304481.8	933376.00	80543.50
DISPLACEMENT	111457.34	79.26	10.32	71032359.30	1150739.04	80543.50

Tabel 3.13. Keadaan Kapal pada Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%

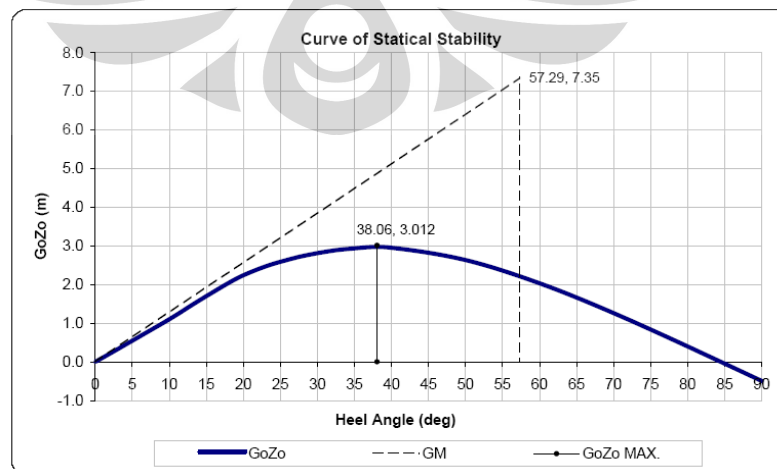
Displacement	T	111457.34
Draft Corresponding to Displacement	m	13.86
ΦG	m	79.26
ΦB	m	78.13
ΦF	m	70.93
MTC	T.m	1417.51
ΦG - ΦB	m	1.13
Trimming Moment	m	125939.87
Trim	m	70.89
Correction by ΦF	m	0.0035
Draft	Mean	m 13.85
	Fore	m 14.30
	Aft	m 13.41
TKM	m	17.28
KG	m	10.32
GGo	m	0.72
KGo	m	11.05
GoM	m	6.24
G'Go	m	0.05

Tabel 3.14. Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%

STATICAL STABILITY				DYNAMICAL STABILITY	
θ	G'Z'	-G'Go X Sin θ	GoZo	Integral	h
I	II	III	IV=(II+III)		
0	0	0	0	0	0
5	0.549	0.004	0.545	0.54	0.024
10	1.113	0.008	1.105	2.19	0.096
15	1.714	0.012	1.702	5.00	0.218
20	2.258	0.016	2.242	8.94	0.390
25	2.609	0.020	2.589	13.78	0.601
30	2.837	0.024	2.813	19.18	0.837
35	2.965	0.027	2.938	24.93	1.088
40	2.981	0.030	2.951	30.82	1.345
50	2.673	0.036	2.637		
60	2.072	0.041	2.031		
70	1.304	0.044	1.26		
80	0.444	0.046	0.398		
90	0.450	0.047	0.497		

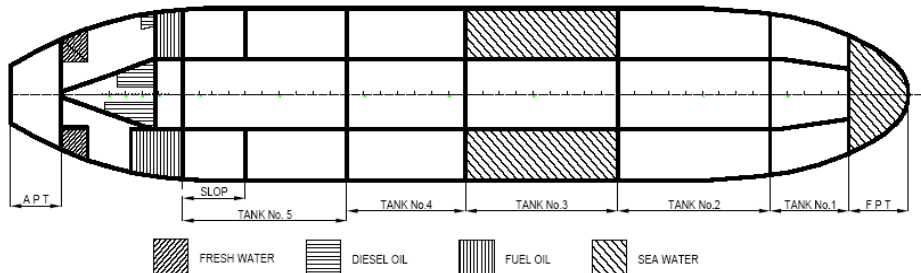
Tabel 3.15. Hasil Analisa Stabilitas Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%

STABILITY ANALYSIS IMO RESOLUTION. A 749		
ITEM	Request	Actually
AREA 0° TO 30° DEG	> 0.055	0.837
AREA 0° TO 40° DEG	> 0.09	1.345
AREA 30° TO 40° DEG	> 0.03	0.508
GZ AT 30° DEG	> 0.2	2.814
ANGLE OF MAX GoZo	25.000	38.063
INITIAL GM	> 0.15	6.240



Gambar 3.25. Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10%

4. Kondisi Maksimum Bunker, Ballast Normal



Gambar 3.26. Kondisi Kargo 0% dengan Bunker 100% dan Ballast Normal

Tabel 3.16. Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kargo 0% dengan Bunker 100% dan Ballast Normal

ITEM	CAPACITY	CENTER OF GRAVITY		MOMENT		I x ρ
		LCG	VCG	M-LCG	M-VCG	
	Ton	Meter	Meter	T - meter	T - meter	T -meter
LIGHT WEIGHT	16746.00	16.25	12.98	272122.50	217363.08	0.00
D/D CONSTANT	264.00	84.09	14.70	22199.76	3880.80	0.00
PROVISIONS	10.00	86.00	25.00	860.00	250.00	0.00
HEAVY FUEL OIL	2461.87	80.24	13.53	197547.05	33307.87	1810.55
DIESEL OIL	209.41	86.63	7.78	18142.29	1628.86	259.50
FRESH WATER	663.13	103.85	16.87	68868.56	11187.76	0.00
CARGO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BALLAST	23374.51	32.67	9.94	763727.79	232298.32	0.00
DWT	26982.92			756110.10	282553.60	2070.05
DISPLACEMENT	43728.92	7.21	11.43	7183987.63	499916.69	2070.05

Tabel 3.17. Kapal pada Kondisi Kargo 0% dengan Bunker 100%, Ballast Normal

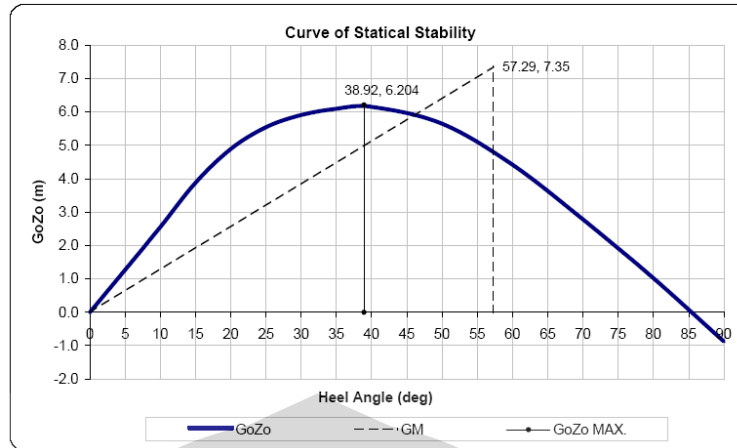
Displacement	T	43728.92	
Draft Corresponding to Displacement	m	5.77	
ΦG	m	7.21	
ΦB	m	11.42	
ΦF	m	10.26	
MTC	T.m	1090.45	
ΦG - ΦB	m	7.21	
Trimming Moment	m	315456.45	
Trim	m	2.89	
Correction by ΦF	m	10.1270	
Draft	Mean	m	5.90
	Fore	m	4.45
	Aft	m	7.34
TKM	m	25.93	
KG	m	11.43	
GGo	m	0.05	
KGo	m	11.48	
GoM	m	14.45	
G'Go	m	0.48	

Tabel 3.18. Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 100% dan Ballast Normal

STATIC STABILITY				DYNAMICAL STABILITY	
θ	G'Z'	-G'Go X Sin θ	GoZo	Integral	h
I	II	III	IV=(II+III)		
0	0	0	0	0	0
5	1.312	0.042	1.27	1.27	0.055
10	2.634	0.083	2.551	5.09	0.222
15	4.004	0.124	3.88	11.52	0.503
20	5.054	0.164	4.89	20.29	0.885
25	5.741	0.203	5.538	30.72	1.340
30	6.143	0.240	5.903	42.16	1.840
35	6.366	0.275	6.091	54.16	2.363
40	6.458	0.308	6.15	66.40	2.897
50	6.010	0.367	5.643		
60	4.834	0.415	4.419		
70	3.233	0.451	2.782		
80	1.496	0.472	1.024		
90	0.396	0.480	0.876		

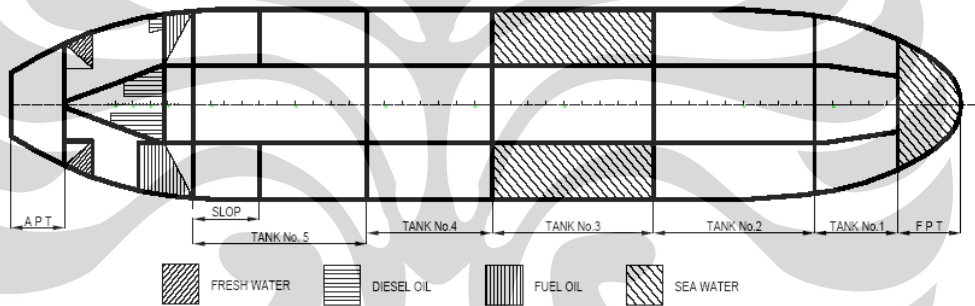
Tabel 3.19. Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 100% dan Ballast Normal

STABILITY ANALYSIS		
IMO RESOLUTION. A 749		
ITEM	Request	Actualy
AREA 0 ⁰ TO 30 ⁰ DEG	> 0.055	1.840
AREA 0 ⁰ TO 40 ⁰ DEG	> 0.09	2.897
AREA 30 ⁰ TO 40 ⁰ DEG	> 0.03	1.057
GZ AT 30 ⁰ DEG	> 0.2	5.903
ANGLE OF MAX GoZo	25.000	38.919
INITIAL GM	> 0.15	14.450



Gambar 3.27. Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 100% dan Ballast Normal

5. Kondisi Minimum Bunker (10%), Ballast Normal



Gambar 3.28. Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 10% dan Ballast Normal

Tabel 3.20. Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 10% dan Ballast Normal

ITEM	CAPACIT Y	CENTER OF GRAVITY		MOMENT		I x ρ
		LCG	VCG	M-LCG	M-VCG	
	Ton	Meter	Meter	T - meter	T - meter	T -meter
LIGHT WEIGHT	16746.00	16.25	12.98	272122.50	217363.08	0.00
D/D CONSTANT	264.00	84.09	14.70	22199.76	3880.80	0.00
PROVISIONS	10.00	86.00	25.00	860.00	250.00	0.00
HEAVY FUEL OIL	1651.69	81.03	13.48	133836.61	22257.09	933.80
DIESEL OIL	209.41	86.63	7.78	18142.29	1628.86	259.50
FRESH WATER	207.08	102.89	16.86	21306.74	3491.20	0.00
CARGO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BALLAST	23374.51	32.67	9.94	763727.79	232298.32	0.00
DWT	25716.68			767382.40	263806.30	1193.30
DISPLACEMENT	42462.68	36.95	11.33	295259.89	481169.35	1193.30

Tabel 3.21. Keadaan Kapal pada Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 10% dan Ballast Normal

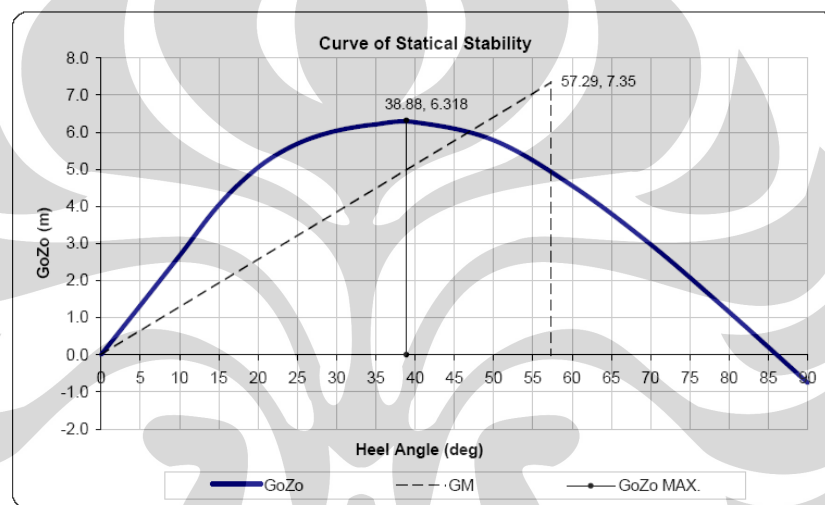
Displacement		T	42462.68
Draft Corresponding to Displacement		m	5.61
ΦG		m	7.95
ΦB		m	71.46
ΦF		m	710.34
MTC		T.m	223699.39
$\Phi G - \Phi B$		m	4.51
Trimming Moment		m	191362.48
Trim		m	0.01
Correction by ΦF		m	70.0004
Draft	Mean	m	5.61
	Fore	m	5.61
	Aft	m	5.62
TKM		m	5.76
KG		m	11.33
GGo		m	0.03
KGo		m	11.36
GoM		m	7.60
G'Go		m	0.36

Tabel 3.22. Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 10% dan Ballast Normal

STATICAL STABILITY				DYNAMICAL STABILITY	
θ	G'Z'	$-G'Go \times \sin\theta$	GoZo	Integral	h
I	II	III	IV=(II+III)		
0	0	0	0	0	0
5	1.360	70.031	1.329	1.33	0.058
10	2.735	70.062	2.673	5.33	0.233
15	4.128	70.093	4.035	12.04	0.525
20	5.174	70.123	5.051	21.12	0.922
25	5.836	70.152	5.684	31.86	1.390
30	6.217	70.180	6.037	43.58	1.901
35	6.415	70.206	6.209	55.82	2.436
40	6.495	70.231	6.264	68.30	2.980
50	6.055	70.276	5.779		
60	4.868	70.311	4.557		
70	3.312	70.338	2.974		
80	1.509	70.354	1.155		
90	70.398	70.360	70.758		

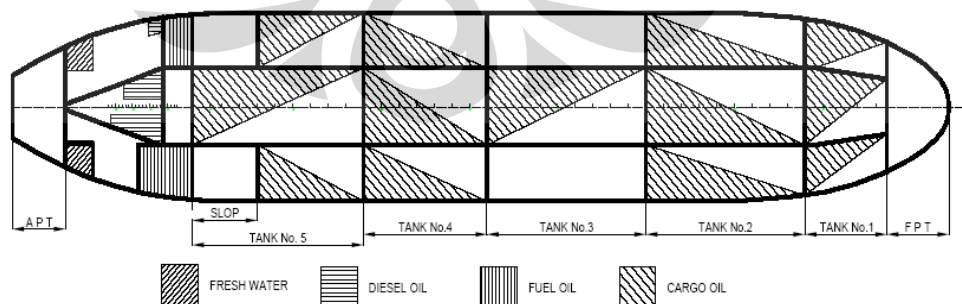
Tabel 3.23. Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kargo Penuh dengan Bunker 10% dan Ballast Normal

STABILITY ANALYSIS		
IMO RESOLUTION. A 749		
ITEM	Request	Actually
AREA 0° TO 30° DEG	> 0.055	1.901
AREA 0° TO 40° DEG	> 0.09	2.980
AREA 30° TO 40° DEG	> 0.03	1.079
GZ AT 30° DEG	> 0.2	6.037
ANGLE OF MAX GoZo	25.000	38.883
INITIAL GM	> 0.15	7.600



Gambar 3.29. Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kargo Kosong dengan Bunker 10% dan Ballast Normal

6. Kondisi Maksimum Bunker, Cargo 50% penuh



Gambar 3.30. Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 100%

Tabel 3.24. Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 100%

ITEM	CAPACITY	CENTER OF GRAVITY		MOMENT		I x ρ
		LCG	VCG	M-LCG	M-VCG	
	Ton	Meter	Meter	T - meter	T - meter	T -meter
LIGHT WEIGHT	16746.00	16.25	12.98	272122.50	217363.08	0.00
D/D CONSTANT	264.00	84.09	14.70	22199.76	3880.80	0.00
PROVISIONS	10.00	86.00	25.00	860.00	250.00	0.00
HEAVY FUEL OIL	2461.87	80.24	13.53	197547.05	33307.87	1810.55
DIESEL OIL	209.41	86.63	7.78	18142.29	1628.86	259.50
FRESH WATER	663.13	103.85	16.87	68868.56	11187.76	0.00
CARGO	53912.87	23.48	6.04	1265861.41	325735.43	88289.00
BALLAST	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DWT	57521.28			958243.80	375990.70	90359.05
DISPLACEMENT	74267.28	29.24	7.99	686121.25	593353.80	90359.05

Tabel 3.25. Keadaan Kapal pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 100%

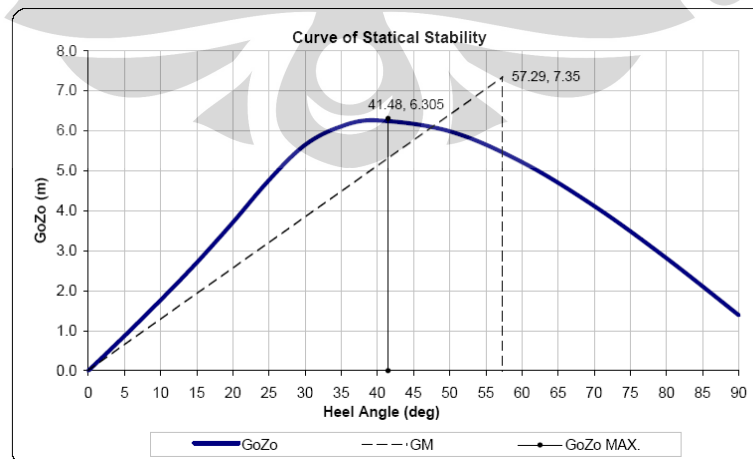
Displacement	T	74267.28	
Draft Corresponding to Displacement	m	9.51	
ΦG	m	29.24	
ΦB	m	10.34	
ΦF	m	6.95	
MTC	T.m	1191.20	
ΦG - ΦB	m	1.10	
Trimming Moment	m	81802.39	
Trim	m	0.69	
Correction by ΦF	m	0.0204	
Draft	Mean	m	9.53
	Fore	m	9.19
	Aft	m	9.87
TKM	m	19.13	
KG	m	7.99	
GGo	m	1.22	
KGo	m	9.21	
GoM	m	9.92	
G'Go	m	1.79	

Tabel 3.26. Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 100%

STATICAL STABILITY				DYNAMICAL STABILITY	
θ	G'Z'	-G'Go X Sin θ	GoZo	Integral	h
I	II	III	IV=(II+III)		
0	0	0	0	0	0
5	0.714	0.156	0.870	0.87	0.038
10	1.455	0.312	1.767	3.51	0.153
15	2.24	0.464	2.704	7.98	0.348
20	3.099	0.614	3.713	14.39	0.628
25	4.006	0.758	4.764	22.87	0.998
30	4.748	0.897	5.645	33.28	1.452
35	5.078	1.029	6.107	45.03	1.965
40	5.107	1.153	6.260	57.40	2.504
50	4.615	1.374	5.989		
60	3.661	1.554	5.215		
70	2.433	1.686	4.119		
80	1.047	1.767	2.814		
90	0.407	1.794	1.387		

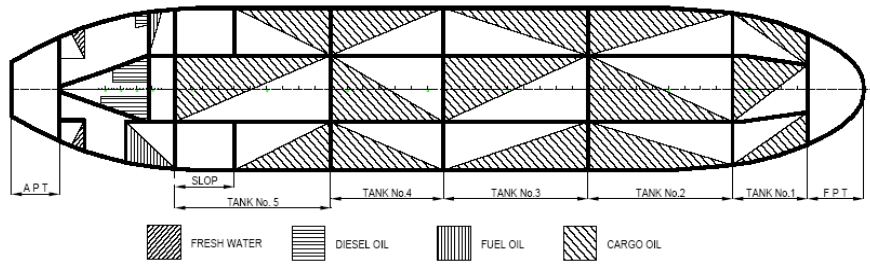
Tabel 3.27. Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kargo 50% & Bunker 100%

STABILITY ANALYSIS		
IMO RESOLUTION. A 749		
ITEM	Request	Actually
AREA 0 ⁰ TO 30 ⁰ DEG	> 0.055	1.452
AREA 0 ⁰ TO 40 ⁰ DEG	> 0.09	2.504
AREA 30 ⁰ TO 40 ⁰ DEG	> 0.03	1.052
GZ AT 30 ⁰ DEG	> 0.2	5.645
ANGLE OF MAX GoZo	25.000	41.479
INITIAL GM	> 0.15	9.920



Gambar 3.31. Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 100%

7. Kondisi Minimum (10%) Bunker, Cargo 50% penuh



Gambar 3.32. Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%

Tabel 3.28. Perhitungan Displacement dan Moment pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%

ITEM	CAPACITY	CENTER OF GRAVITY		MOMENT		I x ρ
		LCG	VCG	M-LCG	M-VCG	
	Ton	Meter	Meter	T - meter	T - meter	T -meter
LIGHT WEIGHT	16746.00	16.25	12.98	272122.50	217363.08	0.00
D/D CONSTANT	264.00	84.09	14.70	22199.76	3880.80	0.00
PROVISIONS	10.00	86.00	25.00	860.00	250.00	0.00
HEAVY FUEL OIL	1651.69	81.03	13.48	133836.61	22257.09	933.80
DIESEL OIL	209.41	86.63	7.78	18142.29	1628.86	259.50
FRESH WATER	207.08	102.89	16.86	21306.74	3491.20	0.00
CARGO	53912.87	23.48	6.04	1265861.47	325735.43	88289.00
BALLAST	533.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DWT	56788.05			1069516.10	357243.40	89482.30
DISPLACEMENT	73534.05	10.84	7.81	797393.57	574606.46	89482.30

Tabel 3.29. Keadaan Kapal pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%

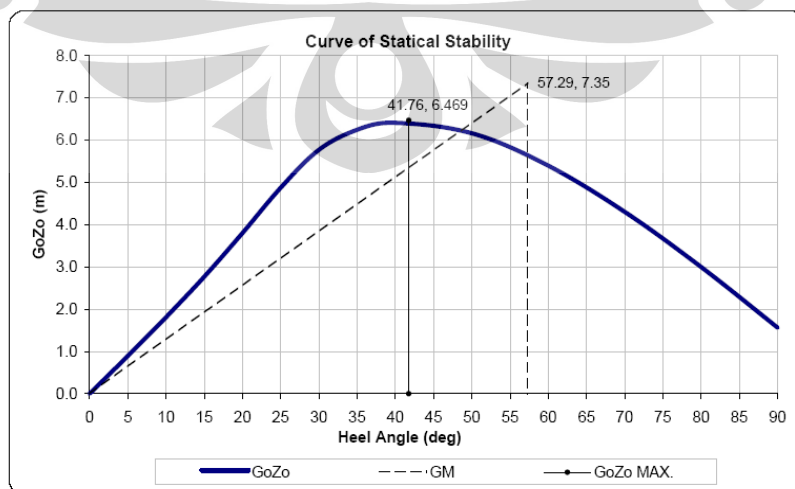
Displacement	T	73534.05	
Draft Corresponding to Displacement	m	9.42	
ΦG	m	10.84	
ΦB	m	10.37	
ΦF	m	7.06	
MTC	T.m	1188.15	
ΦG - ΦB	m	0.47	
Trimming Moment	m	34845.49	
Trim	m	0.29	
Correction by ΦF	m	0.0089	
Draft	Mean	m	9.41
	Fore	m	9.56
	Aft	m	9.27
TKM	m	19.20	
KG	m	7.81	
GGo	m	1.22	
KGo	m	9.30	
GoM	m	10.17	
G'Go	m	1.97	

Tabel 3.30. Nilai Stabilitas Statis dan Dinamis pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%

STATICAL STABILITY				DYNAMICAL STABILITY	
θ	G'Z'	-G'Go X Sin θ	GoZo	Integral	h
I	II	III	IV=(II+III)		
0	0	0	0	0	0
5	0.720	0.172	0.892	0.89	0.039
10	1.468	0.342	1.810	3.59	0.157
15	2.261	0.510	2.771	8.17	0.357
20	3.128	0.673	3.801	14.75	0.643
25	4.038	0.832	4.870	23.42	1.022
30	4.782	0.984	5.766	34.05	1.486
35	5.116	1.129	6.245	46.07	2.01
40	5.145	1.266	6.411	58.72	2.562
50	4.652	1.508	6.160		
60	3.692	1.705	5.397		
70	2.455	1.850	4.305		
80	1.060	1.939	2.999		
90	0.406	1.969	1.563		

Tabel 3.31. Hasil Analisa Stabilitas pada Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%

STABILITY ANALYSIS		
IMO RESOLUTION. A 749		
ITEM	Request	Actually
AREA 0 ⁰ TO 30 ⁰ DEG	> 0.055	1.486
AREA 0 ⁰ TO 40 ⁰ DEG	> 0.09	2.562
AREA 30 ⁰ TO 40 ⁰ DEG	> 0.03	1.076
GZ AT 30 ⁰ DEG	> 0.2	5.767
ANGLE OF MAX GoZo	25.000	41.765
INITIAL GM	> 0.15	10.170



Gambar 3.33. Kurva Stabilitas untuk Kondisi Kargo 50% dengan Bunker 10%

III.5 PERHITUNGAN DAN ANALISA MOORING ARRANGEMENT

III.5.1 Data Lokasi, Kedalaman, dan Tinggi Gelombang

Data lingkungan dari lokasi operasi proyek adalah sebagai berikut :

- Lokasi : Java Sea
- Posisi : Latitude $4^{\circ} 40' 50.260''$ S
Longitude $106^{\circ} 39' 8.650''$ E
- Kedalaman air (*Chart datum*) : 68 feet / 20,726 meter
- Tinggi gelombang maximum : 4,90 feet / 1,5 meter
- MSL (*Mean Sea Level*) : +1,4 feet
- LAT (*Lowest Astronomical Tide*) : -0,9 feet
- HAT : +4,2 feet
- 100 yr storm surge : +0,7 feet
- 100 yr storm tide : +4,9 feet

III.5.2 Kondisi Cuaca

Kondisi cuaca dan arus untuk periode berulang selama 100 tahun ditampilkan oleh tabel berikut ini :

Tabel 3.32. Kondisi Cuaca dan Arus untuk Periode Berulang

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Sig. Wave Height, Hs in m	4.0	3.9	4.03	3.85	3.53	3.20	2.87	4.28
Wave period, Tp in sec	9.2	9.2	8.6	8.4	8.0	7.7	7.3	8.8
Wind Speed, V wind in m/s	34.4	31.3	27.3	25.9	21.5	24.7	31.7	35.8
Current V current in m/s	0.98	0.95	0.79	0.85	0.79	0.82	0.76	0.91

III.5.3 Spektrum Gelombang

Perhitungan dari tinggi gelombang untuk keadaan lingkungan jangka panjang dapat diwakilkan dengan beberapa kondisi sesaat, setiap kondisi harus memiliki referensi arah dan referensi karakteristik keadaan laut yang jelas dengan distribusi tinggi gelombang serta rekomendasi periode gelombang. Keadaan gelombang yang acak direpresentasikan dengan analisis spectrum ISSC dengan rumus sebagai berikut :

$$S(\omega) = \frac{H_s^2}{4\pi} \left(\frac{2\pi}{T_z} \right)^4 \omega^{-5} \exp \left(-\frac{1}{\pi} \left(\frac{2\pi}{T_z} \right)^4 \omega^{-4} \right)$$

And

$$T_z = T_p \left(\frac{5 + \gamma}{11 + \gamma} \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

Di mana :

H_s : *significant wave height*

T_z : *average zero up-crossing wave period*

T_p : *spectral peak period*

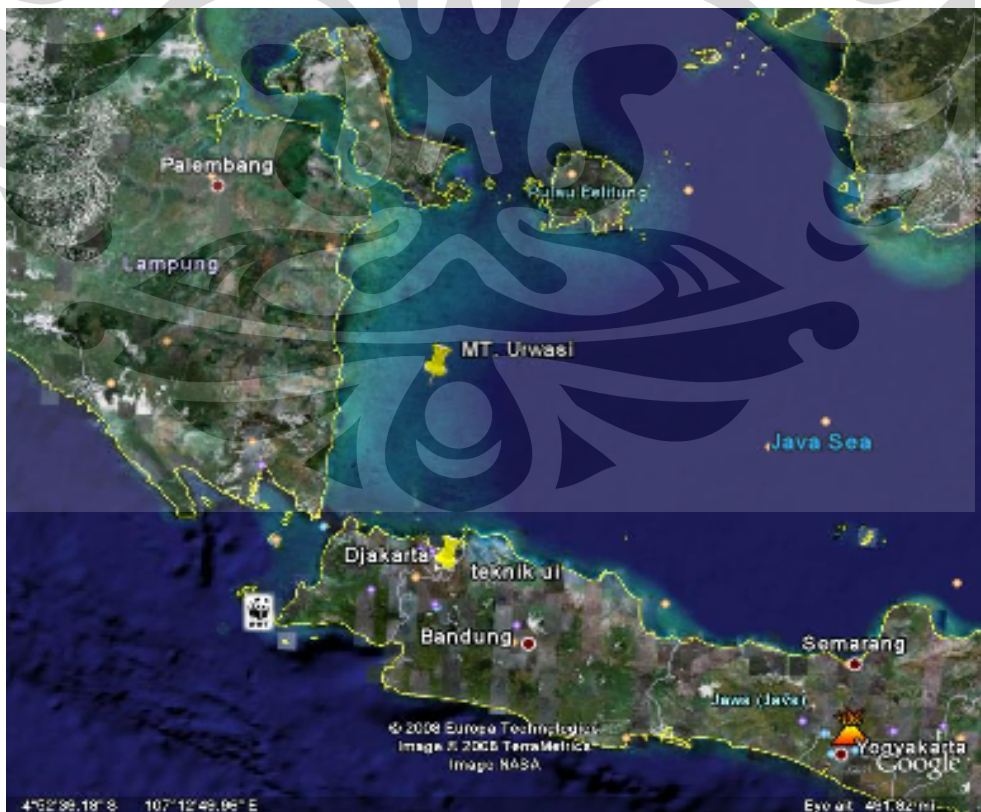
ω : *encounter frequency*

γ : *peakness parameter*

Berdasarkan data di atas maka saya mencoba mencari lokasi tepat dari proyek Widuri ini sebenarnya melalui program Google Earth dan dapat memberikan gambaran lokasi sebagai berikut :



Gambar 3.34. Gambar Lokasi FSO akan Beroperasi (a)



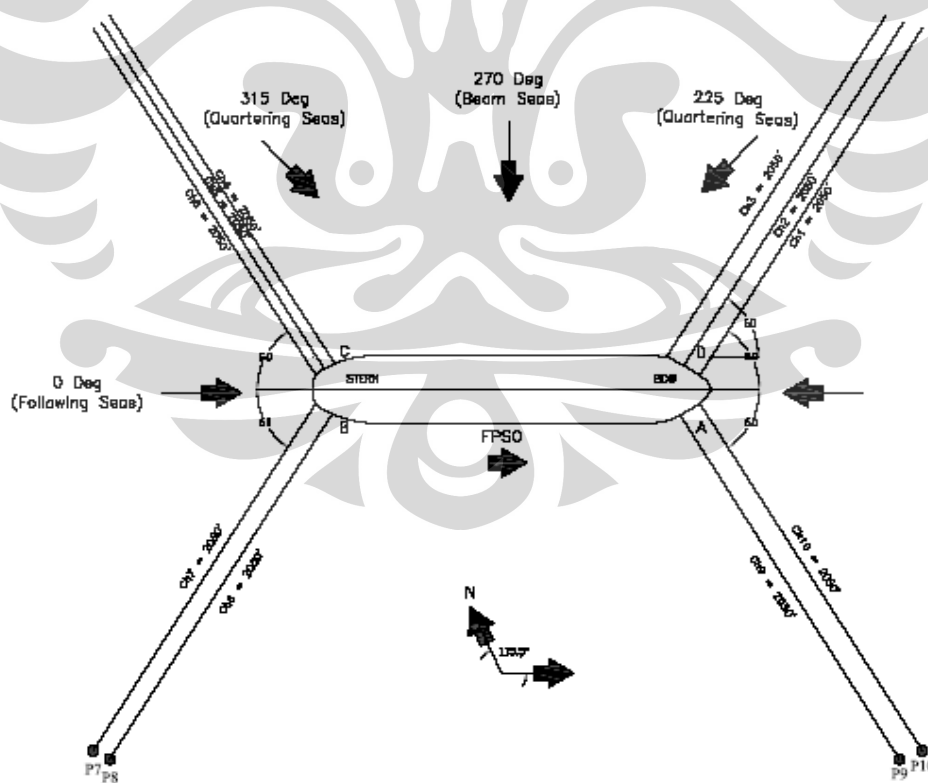
Gambar 3.35. Gambar Lokasi FSO akan Beroperasi (b)

III.5.4 Konfigurasi Mooring

Kapal yang digunakan untuk perhitungan analisis kekuatan mooring adalah tanker berkapasitas 860,087 bbls, sebagai kapal yang akan dikonversi menjadi FSO dan akan digunakan pada proyek di laut Jawa. Ukuran dari dimensi utama kapal tersebut adalah sebagai berikut :

Length Over All	: 243,7 m
LPP	: 232,2 m
Breadth Moulded	: 41,6 m
Breadth	: 43,64 m
Draught	: 13,51 m
Depth Moulded	: 19,7 m
Summer draft	: 13,509 m

Kapal ini akan menggunakan sistem tambat permanen yang akan menghadap kearah tenggara untuk waktu kerja minimum selama 10 tahun dengan menggunakan sistem tambat 10 titik dengan layout seperti gambar berikut :



Gambar 3.36. Layout Mooring Arrangement dengan 10 Titik

Tali tambat ini terbagi menjadi 3 segmen yakni, rantai – tali baja – rantai. Rantai dan tali baja ini diasumsikan akan menggunakan produksi oleh Vicinay Cadenas S.A. yakni sebuah perusahaan yang berlokasi di Bilbao, Spanyol yang berkecimpung di dalam bisnis tali tambat kelautan terutama rantai dan kawat baja.



Berdasarkan CBS (*Catalogue Breaking Strength*) yang diberikan oleh perusahaan Vicinay maka rantai dan kawat yang akan digunakan untuk perhitungan analisis kekuatan mooring system memiliki data sebagai berikut :

Mooring Line Data

Segmen 1 (fairlead)	: ORQ Grade 4
Chain Nominal diameter	: Ø 4" (101,6 mm)
Catalogue Breaking Strength (CBS)	: 10146 kN
Payout length	: 990 feet
Segmen 2 (midsection)	: Steel Wire Rope
Nominal Diameter	: Ø 5" (127 mm)
Catalogue Breaking Strength (CBS)	: 10215 kN
Payout length	: 950 feet
Segmen 3	: Grade 3
Chain Nominal diameter	: Ø 4 3/4" (120,65 mm)
Catalogue Breaking Strength (CBS)	: 9800 kN
Payout length	: 270 feet

Normal seabed friction (assumed) : 0,80

Axial seabed friction (assumed) : 0,56

Maka berdasarkan keterangan dan data di atas, dapat dilakukan perhitungan untuk usia setiap rantai dan kawat baja sebelum mencapai kelelahan. Berikut ini adalah tabel yang saya dapatkan yang menunjukkan hasil perhitungan tersebut dan berapa lama waktu dan usia yang tersisa dari rantai dan kawat baja tersebut, untuk setiap titik :

Tabel 3.33. Perhitungan Usia Kerja Untuk Setiap Titik Tambat

Chain No	Damage		Fatigue Life T (years)	Remaining Service Life t (years)
	D	1/D		
1	2	3	4	5
CH 1	0.0439310250	22.76295625	455.26	45.53
CH 2	0.0303913556	32.90409329	658.08	65.81
CH 3	0.2282002745	4.382115675	87.64	8.76
CH 4	0.0049811620	200.7563697	4015.13	401.51
CH 5	0.0072824716	137.3160178	2746.32	274.63
CH 6	0.0295236030	33.87120468	677.42	67.74
CH 7	0.0000075725	132056.7844	2641141.82	264114.18
CH 8	0.0000075619	132241.8969	2644830.56	264483.06
CH 9	0.1108791119	9.018831256	180.38	18.04
CH 10	0.0658068449	15.19598761	303.92	30.39

III.5.5 Hasil Analisa

Pada tabel di atas kita dapat melihat perhitungan analisa fatigue damage dan fatigue life untuk setiap rantai, di mana pada kapal ini akan menggunakan sistem tambat dengan 10 titik. Untuk setiap titik nilai fatigue factor of safety harus lebih dari 3. Untuk setiap nilai yang lebih dari 3 dan kurang dari 10 maka harus dilakukan inspeksi secara berkala dan perawatan.

Hasil perhitungan tersebut mengindikasikan bahwa dengan nilai fatigue factor untuk safety (1/D) yang lebih besar dari 10 maka akan memberikan usia kerja lebih dari 10 tahun untuk semua rantai sehingga tidak diperlukan inspeksi berkala, kecuali rantai nomor 3 (CH 3). Walaupun untuk CH 3 nilai safety factor lebih dari 3, namun setelah melewati usia kerja rantai tersebut hanya berkisar 8 tahun sebelum mencapai kondisi fatigue, oleh karena itu rantai pada titik tersebut perlu diinspeksi dan diperiksa kelayakannya setelah melewati usia kerja 8 tahun.

III.6 PROSES LOADING DAN OFFLOADING

Berdasarkan informasi yang telah diperoleh pada bagian ini akan dijabarkan secara sederhana mengenai proses loading dan offloading dari sumur minyak, menuju FSO hingga ditransfer ke ekspor tanker.

Minyak yang telah dieksploitasi dari setiap sumur langsung dipompa dan ditransfer menuju proses platform melalui pipa bawah laut (*subsea pipeline*). Di

platform tersebut minyak akan diproses dan diolah hingga mencapai kualitas yang diinginkan. Setelah selesai diproses maka minyak akan kembali dipindahkan kembali menggunakan pipa bawah laut dan kemudian dipompa menuju FSO untuk ditampung sebelum dipindahkan menuju eksport tanker. Selama di dalam FSO minyak hasil olahan tersebut tetap dipanaskan menggunakan *heating coil* yang ada di dalam kapal untuk menjaga viskositas minyak tersebut agar tidak mengental atau mengalami proses solidifikasi.

Pada saat eksport tanker telah datang untuk mengangkut minyak hasil olahan, FSO akan memompa minyak yang ditampungnya menuju SPM (*single point mooring*) tempat kapal eksport tanker tersebut ditambatkan. Kondisi teknis di lapangan terdapat 4 buah SPM agar dapat dilakukan proses transfer muatan menuju beberapa kapal sekaligus.

III.7 PENINJAUAN ULANG

Pada studi kasus yang telah dilakukan masih terdapat banyak kekurangan, untuk itu dilakukan peninjauan ulang untuk menyempurnakan proses konversi FSO yang efisien dan efektif.

- Berdasarkan hasil studi mengenai kondisi lapangan pada kasus di atas, sekitar 40 sea mile dari lokasi sumur terdapat sebuah pulau yang cukup besar yang bernama pulau Sabila. Setelah dilakukan analisa ulang maka untuk ruang akomodasi 160 orang dan peletakkan 6 buah diesel generator yang hendak diletakkan di atas kapal dapat diletakkan di pulau tersebut. Sehingga pekerjaan untuk konversi kapal tanker dapat diminimalisir sehingga membutuhkan waktu dan biaya yang lebih sedikit. Dan untuk perhitungan jangka panjang ke depan tentu dengan peletakkan ruang akomodasi dan generator di pulau Sabila akan lebih menguntungkan karena biaya pemeliharaan yang lebih murah dan pada saat proses pergantian kapal selanjutnya maka kapal berikutnya tidak perlu melakukan modifikasi untuk ruang akomodasi dan diesel generator yang sangat memakan biaya.
- Selain proses konversi, di sini yang juga perlu diperhatikan adalah proses pergantian operasional kapal, dari FSO yang lama dengan FSO yang baru,

bagaimana proses pergantian dan rencana kontingensi (*contingency plan*) selama proses pertukaran tersebut. Berdasarkan data yang didapatkan, karena produksi tetap harus berjalan selama proses pergantian maka pihak *charterer* akan memberikan sebuah kapal ekstra storage untuk menampung sementara minyak hasil produksi hingga kapal FSO yang baru dapat beroperasi secara penuh untuk menampung minyak hasil produksi.

- Untuk tanki, berdasarkan data yang diperoleh, memungkinkan bahwa untuk dibuat sebuah tanki darat untuk proses penampungan minyak dari sumur di proyek Widuri ini di pulau Sabila. Namun seiring dengan produksi minyak yang terus menurun sampai saat ini, sudah tidak efektif dan menguntungkan lagi untuk membuat sebuah tanki darat berikut dengan sistem perpipaan bawah lautnya.
- Selama proses konversi di sini perlu diperhatikan bahwa dengan adanya penambahan ruang akomodasi untuk 160 orang maka perlu dipikirkan sistem persediaan air tawar dan sistem pendingin untuk penambahan ruang akomodasi tersebut serta peralatan keselamatan yang cukup dan pelatihan untuk keadaan darurat. Semua hal tersebut harus memadai dan cukup untuk setiap awak kapal dan para pekerja yang tinggal di ruang akomodasi tersebut. Untuk bahan makanan (*provisions*) yang dikirim setiap minggunya maka perlu adanya penambahan untuk ruang pendingin penyimpanan bahan makanan tersebut.
- Satu hal lagi yang perlu diperhatikan adalah peletakkan solar turbine generator yang terlalu dekat dengan ruang akomodasi. Solar turbine generator yang menggunakan sistem turbin tentu akan menimbulkan polusi suara akibat suara bising yang ditimbulkan. Diesel generator juga menimbulkan radiasi panas yang cukup besar sehingga tidak baik untuk diletakkan di dekat bagian akomodasi. Diesel generator tersebut lebih baik diletakkan di bagian tengah atau bagian depan kapal jika memungkinkan.

BAB IV

ANALISA BIAYA DAN WAKTU

Setelah melakukan studi kasus pada bab III maka berikut ini penulis juga akan memberikan analisa mengenai berapa besar biaya yang dibutuhkan dan lama waktu yang diperlukan untuk proses konversi kapal Tanker menjadi FSO.

III.1 ANALISA BIAYA

Untuk analisa biaya pada bab ini, saya akan menggunakan data yang saya dapatkan yakni data perhitungan biaya yang diestimasi oleh pihak perusahaan, untuk proses konversi tanker berkapasitas 860,087 bbls. Perhitungan alokasi dana ini memang masih sangat kasar, namun diharapkan dapat memberikan gambaran berapa besar biaya yang dibutuhkan untuk mengkonversi sebuah kapal tanker berukuran sekitar 90.000 DWT menjadi sebuah FSO.

Berikut ini adalah tabel estimasi biaya yang dibutuhkan :

Tabel 4.1. Perhitungan Biaya Konversi untuk setiap Pekerjaan Utama

No	Description	US\$ MILL	REMARKS
1	General Service		General Service normal docking
2	Air press test tanks and pipings line		Test ballast & cargo tk, all piping lines before and after repair
3	10 Point spread mooring point		Fabrication, install 200 swl with load cell and remote
4	Loading system		Loading line to midship manifold 400 mm
5	Bunkering system		Install bunker line diameter 200mm sch40,supply 2 telephone, 2 stop butt.
6	Accomodation extention for 160 person		Base on 475T steel, outfitted furniture, FW line, sanitary, HW lines, sawage lines, Aircond, Electricities,lighting, telephone, fire detector, galley and loundry, prayer room for Moslem and church
7	Galley equipment (stainless steel)		Supply electric and warm plate, etc

8	Lifeboat and Davits		Fabrication, install 6 new boat with davit cap. 60 men, access platform for new boat.
9	Rescue Boats		Fabricate and install cradle on deck for rescue boat 1 unit.
10	Liferaft		Fabricate and install cradle ondeck for lifebuoy in total 12nos.20 men ondeck
11	Laboratory		Fabricate room, outfitted, with facilities aircond, HW & FW line, Exh.blower etc
12	Helideck w/ refueling, etc		Fabricate and install a helideck structure for superpuma base on 500T of steel.
13	Freshwater		Install new Freshwater and modification old evaporator 2 unit with steam system
14	Sewage treatment Plant		Remove existing and install new unit cap. 240 men interconnect piping lines
15	Cargo pump, Stripping, Ballast pumps repair		General overhaul cargo,stripping,ballast pp for 10 years trouble free
16	Installation stripping pump		Install new stripping pp interconnect with pipe system.
17	Fire Fighting system		Supply and install add 2 fire monitors complete w interconnect pipe
18	Ballast and Slop tk Coating		SA2.5 based on 68,000sqm, scaffolding 56,095 cum
19	Painting		Supply sigma paint and paint
20	Anodes for ballast tank and slop tk		Based on 25,700 kg of aluminium anodes.
21	Cargo tank Coating		on head plus 1 mtr down and bottom in, based on 80,000 sqm SA 2.5, scaffolding 167,000 cum
22	Deck cranes pandestal and installation		Fabricate pedestal and rest boom, wiring for 2 units offshore crane
23	Gas Turbine pancake and support on deck		Based on 250T steel A grade, control room platform based 10T, Fuel tk based 5T fitting base and all interface within power generation system arrangement by owner
24	Strong beam rack 2 nos		Fabricate and install A frame A grade, based on 10T

25	Boat landings		Fabricate & install boat landing stair tower, fender, etc
26	Store room		Fired
27	Cargo control room		modify and supply, install anemometer
28	Communication and Navigation		Install owner supply PA equipment
29	Meter and prover Unit		Fabricate,install support structure on main deck est 10T steel plate.
30	Piping		Cargo line drop,heating coil partly and insall for No.1P/S & 5P/S, IGS and stripping lines
31	COW, PV , HHL , tank gauging for No.1P/s, 5P/S		Install and supply COW 8 unit, tank gauging 4 unit, PV valve 4 unit, HHL alarm 4 unit
32	ICCP		Inslall and supply ICCP for external hull
33	External hull		based on 23,000 sqm. SA 2.5
34	Oil Water Separator		Install and supply new OWS on deck completed with ODM system, interconnect with piping lines.
35	Automation at Engine Room		Repaired ,checked all safety device and automation system in Engine room
36	Steel renewal based on 700T		Croped and renewd HT steel for main deck,bottom,shell etc according UT measurent
37	UT		based on 20,000 spot
38	Boiler Retubeing		Retubing all tube in old boiler will carry out by MMI in shipyard.
39	Drawing and documentation		preparation drawings & documentation for scope conversion work
40	Fatigue Analysis		Engineering calculation for fatigue analysis and mooring analysis
41	Boiler Analysis		Calculated boiler analysis
42	Inclining test		Inclining test and report plus intac stability calculation
43	Engineering Cost		Prepare drawings, plans, manuals for class and flag
44	Supervision during conversion		Team project during conversion 6 men x 6 month @ US\$.10,000

45	Crew cost during conversion		
46	Misc unfroresen cost		
	ESTIMATED TOTAL CONVERSION COST	46.581	
	ADDITIONAL COSTS		
	Conversion boiler to triple burner (in shipyard)		
	Conversion Aux.Engine to dual burner (in shipyard)		
	Installation New Boiler		
	Metering skid w/ prover loop		
	ESTIMATED TOTAL ADDITIONAL	11.177	
	Mobilisation to Shipyard		
	Mobilisation to flied and installation		
	ESTIMATED TOTAL MOBILISATION	2.035	
	VESSEL PRICE	10.800	
	TOTAL PROJECT COST INCL. VESSEL	70.593	

Maka besar total biaya yang dibutuhkan untuk melakukan konversi kapal tanker berukuran 91.647 DWT menjadi sebuah FSO berkapastias 700.000 bbls adalah **70,593 juta US\$**.

III.2 ANALISA WAKTU

Untuk analisa waktu, saya akan menggunakan data yang saya dapatkan yakni data estimasi waktu pekerjaan konversi yang dibuat oleh pihak galangan berdasarkan spesifikasi yang diberikan oleh pihak perusahaan, untuk proses konversi tanker berukuran 91,647 DWT. Perhitungan alokasi waktu ini memang masih sangat kasar, namun diharapkan dapat memberikan gambaran berapa lama

waktu yang dibutuhkan untuk mengkonversi sebuah kapal tanker yang memiliki ukuran tanki sekitar 700.000 bbls menjadi sebuah FSO.

Perhitungan waktu ini dihitung berdasarkan pekerjaan-pekerjaan utama yang berkenaan dengan proses konversi. Berikut ini adalah tabel estimasi waktu (*time schedule*) yang dibutuhkan :













Maka besar total waktu yang dibutuhkan untuk melakukan konversi kapal tanker yang berukuran 91.647 DWT menjadi sebuah FSO adalah selama **214 hari**.



BAB V

KESIMPULAN DAN DISKUSI

V.1 KESIMPULAN

1. Sebuah unit Floating Storage Offloading (FSO) dapat dibuat dengan proses konversi dari sebuah kapal tanker dengan beberapa perubahan. Perubahan-perubahan yang utama dan harus diperhatikan adalah bagian yang berhubungan dengan sistem produksi :
 - 6 buah Diesel Generator
 - Heating coil
 - Triple fuel boiler
 - Ketebalan plat dan analisa kelelahan (fatigue analysis)
2. Untuk contoh studi kasus yang dilakukan dalam skripsi ini, yakni untuk kapal yang berukuran 91647 DWT, maka dibutuhkan biaya kurang lebih sebesar 70,593 juta US\$ termasuk dengan harga kapal itu sendiri. Dan dengan waktu kurang lebih selama 214 hari.
3. Perubahan atau konversi yang dilakukan dari kapal tanker menjadi FSO tidak menyebabkan perubahan stabilitas yang berarti, sebab hasil perhitungan stabilitas setelah penambahan ruang akomodasi dan bagian peralatan lainnya menunjukkan bahwa FSO tersebut masih cukup stabil, terutama dengan sistem mooring arrangement 10 titik yang akan diberlakukan.
4. Untuk sistem mooring arrangement dengan 10 titik yang menggunakan sistem 3 segmen yakni, rantai – tali baja – rantai yang diproduksi oleh Vicinay Cadenas S.A. telah dilakukan perhitungan yang mengindikasikan bahwa usia setiap titik memiliki usia kerja lebih dari 10 tahun, kecuali untuk rantai nomor 3 (CH 3). Usia kerja rantai pada titik tersebut hanya berkisar 8 tahun sebelum mencapai kondisi fatigue, oleh karena itu rantai

pada titik tersebut perlu diinspeksi dan diperiksa kelayakannya setelah melewati usia kerja 8 tahun.

5. Berdasarkan hasil studi kasus di atas maka saya dapat membuat sebuah check list atau daftar hal apa saja dari *technical requirement* dari pihak charterer dan apa saja yang harus dilakukan untuk melakukan proses konversi sebuah kapal tanker menjadi tanki minyak terapung.

Tabel 4.2. Check List Pekerjaan Technical Requirement dari Charterer

No.	Deskripsi	Hasil Pengecekan	Keterangan
1	Surat kesanggupan untuk mengantarkan FSO tepat waktu		
2	Surat keterangan mengenai FSO yang hendak dikonversi, seusai dengan FSO yang didaftarkan sebelumnya		
3	Laporan mengenai analisa kelelahan (fatigue analysis) dari FSO yang akan digunakan per 10 tahun		
4	Surat keterangan dari perusahaan boiler mengenai konversi boiler menjadi triple fuel system atau diganti dengan sebuah unit boiler yang baru		
5	Duplikat dari gambar general arrangement dari FSO sebelum proses konversi		
6	Gambaran skematis dari deck FSO yang menunjukkan semua peralatan baru yang telah dipasang setelah proses konversi		
7	Analisa sistem tambat spread mooring system untuk FSO yang akan digunakan		
8	Gambar dari fasilitas akomodasi tambahan untuk para pekerja dan krew dari pihak charterer		
9	Duplikat gambar Deadweight Scale dari FSO yang bersangkutan		
10	Duplikat dari gambar sistem perpipaan pada bagian bawah kapal di cargo oil tank dan pump room dari FSO yang bersangkutan		
11	Duplikat dari Capacity Plan untuk cargo, ballast, fuel dan fresh water tanks dari FSO yang bersangkutan		
12	Duplikat dari tabel pengukuran (ullage tables) untuk cargo oil, ballast, fuel oil dan		

	fresh water tanks dari FSO yang bersangkutan		
13	Duplikat dari laporan Dry-Dock terakhir yang dibuat oleh pihak klasifikasi, hasil dari inspeksi, laporan perbaikan dan perawatan beserta laporan mengenai perbaikan atau kerusakan luar biasa bila ada		
14	Duplikat laporan klasifikasi dari ultrasonic gauging yang terakhir untuk seluruh lambung		
15	Jadwal dari proyek konversi		
16	PEP (Project Execution Plan) dari proses konversi		

Tabel 4.3. Check List Pekerjaan Proses Konversi

No.	Item	Pekerjaan	Check List
1	Boiler	Konversi boiler utama menjadi triple fuel system boiler	
2	Helideck	Pembuatan dan instalasi landasan untuk helicopter dengan kapasitas super puma	
3	Area supply boat	Dibuat area untuk supply boat bersandar	
4	Mooring system	Modifikasi sistem penambatan kapal dengan penambahan penguat, windlass dan tension meter untuk spread mooring system 10 titik	
5	Akomodasi Tambahan	Penambahan akomodasi dengan kapasitas untuk 160 orang	
6	Fresh Water Generator	Ditambahkan sebuah fresh water generator dengan kapasitas 50.0000 barrel/hari	
7	Generator	Penambahan fondasi pada geladak utama untuk peletakkan 6 buah diesel turbine generator dengan kapasitas masing-masing 4.486 kW	
8	Fire Fighting Equipment	Penambahan sistem pemadam kebakaran di setiap titik rawan dan penambahan peralatan fire fighting di ruang akomodasi tambahan	
9	Heating Coil	Modifikasi dari sistem perpipaan kawat pemanas kargo dengan penambahan lajur heating coil agar dapat mencapai suhu 64 ⁰ C	
10	Tension Monitoring Device	Pemasangan tension meter pada setiap titik tambat untuk menjaga ketegangan rantai tambat dan menjaga kapal tetap pada lokasinya	
11	Life Boats & Winches	Penambahan lifeboat dan winches serta rescue boat dan life raft disesuaikan	

	Rescue Boat & Life Raft	dengan jumlah awak kapal dan pekerja yang tinggal di atas kapal	
12	Offshore Deck Cranes	Penambahan 2 buah crane untuk offshore dengan kapasitas masing-masing 15 ton	
13	Store Rooms	Penambahan store rooms pada FSO	
14	Metering System	Penambahan alat pengukuran pada setiap tanki kargo	
15	Laboratorium	Penambahan laboratorium sesuai dengan standar API untuk para pekerja dari charterer	
16	Anodes	Penambahan beberapa anode pada lokasi kapal yang rawan terhadap korosi	
17	Fire Detection & Monitoring System	Penambahan alat deteksi dini kebakaran dan sistem pemantauan di atas kapal	
18	Emergency Ligthing	Penambahan sistem pencahayaan darurat di atas kapal	

V.2 DISKUSI

Selama pembuatan proses skripsi ini, hasil diskusi dengan beberapa narasumber dan dosen pembimbing mengenai kondisi dan prospek ke depan dari keberadaan FSO di Indonesia menghasilkan beberapa pendapat dan pemikiran berikut ini :

1. Proses pembuatan FSO dengan cara konversi dari sebuah tanker jauh lebih efisien daripada membuat sebuah FSO yang baru.

Hal	FSO Konversi	FSO Baru
Waktu	Lebih singkat	Lebih lama
Biaya	Lebih murah	Lebih mahal

2. Kondisi saat ini sangat mendukung untuk proses konversi ini. Sebab saat ini banyak sumur minyak yang membutuhkan unit FSO seperti ini dikarenakan biaya operasional yang lebih rendah daripada membuat sebuah tanki darat atau membuat sebuah tanki dengan konstruksi tetap di laut seperti sistem jacket. Dan untuk jangka panjangnya lebih menguntungkan, sebab FSO ini dapat dipindahkan apabila sumur tersebut sudah tidak efektif dan efisien lagi untuk dieksploitasi.

Selain itu dengan diberlakukannya peraturan baru untuk kapal tanker agar terhitung mulai Juni tahun 2010 semua kapal tanker di Indonesia harus memiliki konstruksi double hull, maka untuk kapal-kapal tanker berukuran besar dapat memiliki pilihan mengkonversi kapal mereka menjadi FSO selain harus merubah konstruksi kapal mereka menjadi double hull.

3. Penggunaan FSO untuk penampungan minyak memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan tanki di darat. Untuk proses bongkar muat dari dan ke kapal eksport tanker lebih mudah dan lebih aman terhadap lingkungannya karena kapal tidak perlu sandar di pelabuhan. Konstruksi di darat menjadi bangunan mati dan tidak dapat dipindahkan seperti FSO apabila sumur telah mati dan tidak efektif untuk dieksploitasi lagi. Selain itu pembuatan tanki darat untuk kasus kali ini sudah sangat tidak ekonomis lagi terutama dikarenakan produksi sumur yang terus menurun.
4. Konversi kapal ini dapat lebih optimal dengan membuat ruang akomodasi dan meletakkan diesel generator di pulau terdekat dari sumur. Tanpa mengubah bagian akomodasi dan membuat konstruksi untuk diesel generator maka proses konversi akan menjadi lebih cepat dan lebih ekonomis. Karena tidak ada perubahan konstruksi yang berarti pada kapal. Dan untuk ke depan nanti pada saat terjadi pergantian kapal selanjutnya, maka tidak perlu dilakukan konversi lagi untuk membuat ruang akomodasi dan diesel generator. Selain itu, apabila sumur tersebut telah habis dan tidak dapat dieksplorasi lagi maka bangunan akomodasi ini dapat digunakan untuk akomodasi bagi para pekerja proyek-proyek lepas pantai (*offshore*) lainnya di sekitar lokasi tersebut.

DAFTAR ACUAN

- [1] Lloyd's Register Rulefinder 2006 – Version 9.6, Juli 2006
- [2] Tempointeraktif, “*Harga Minyak Mentah Bisa Tembus US\$ 130*”, 9 Maret 2008.
<http://www.tempointeraktif.com>
- [3] “Produksi, Ekspor, dan Impor Minyak Mentah Per Tahun di Indonesia,” Laporan Kementerian ESDM 2007
- [4] Dokumen Tender CNOOC untuk Fasilitas FSO di area kerja Widuri, 19 Desember 2007.
- [5] Spread Mooring Fatigue Analysis “Mooring Chain Fatigue Limit State (FLS)” oleh PT. Westvaria, Desember 2007.
- [6] Trim & Stability Calculation, oleh PT. APOL Cemerlang, Desember 2007.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS & Affiliated Companies. "Mobile Offshore Drilling Units 1997" , Part 1 Classification and Surveys. 1997.
- Adito, Puku. "Modifikasi Kapal CPO Tanker Single Hull Terkait Amandemen Annex 2 Marpol 73/78 tentang Muatan Berbahaya dan Beracun" Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007.
- Association of Oil & Gas Producers. "Guideline for managing marine risks associated with FPSOs", Report No: 377. April 2006.
- C.J.L. Yuen. "Fatigue Screening Assessment Urwasi LR 8124010", Lloyd's Register Marine Consultancy Services. November 2007.
- Don. "Outlook Minyak dan Gas Indonesia 2006". 31 Mei 2007
<http://don85.wordpress.com/2007/05/31/outlook-minyak-dan-gas-indonesia-2006/>
- Energy Information Association. "Indonesia's Oil Production and Consumption".
<http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/Indonesia/Oil.html>
- "Kontroversi Menggenjot Target Produksi Minyak," *Republika*, 26 Oktober 2007.
- "Peliknya Arus BBM di Indonesia," 15 Mei 2007.
<http://rovicky.wordpress.com/2008/05/15/peliknya-arus-bbm-di-indonesia->
- Talahatu, Marcus Albert. "Teori tugas merancang kapal" , Buku, Program Studi Teknik Perkapalan FTUI, Depok
www.wikipedia.org

Tabel Nilai KG Pada Sudut 5⁰ – 35⁰ untuk Nilai DWT 10.000 – 60.000

Displacement (ton)	HEEL ANGLE (deg)						
	5	10	15	20	25	30	35
10000	6.048	9.035	9.910	10.018	9.740	9.213	8.503
11000	5.583	8.651	9.597	9.765	9.540	9.062	8.406
12000	5.185	8.304	9.300	9.527	9.349	8.926	8.312
13000	4.626	7.963	9.022	9.298	9.170	8.791	8.217
14000	4.556	7.631	8.754	9.078	8.996	8.663	8.130
15000	4.291	7.315	8.498	8.872	8.829	8.541	8.046
16000	4.028	7.017	8.259	8.671	8.672	8.419	7.962
17000	3.812	6.728	8.023	8.478	8.517	8.301	7.882
18000	3.631	6.461	7.800	8.300	8.371	8.191	7.800
19000	3.478	6.197	7.589	8.124	8.228	8.081	7.731
20000	3.326	5.956	7.387	7.948	8.090	7.970	7.657
21000	3.174	5.736	7.184	7.782	7.957	7.869	7.585
22000	3.301	5.516	6.990	7.627	7.827	7.769	7.515
23000	2.893	5.306	6.807	7.472	7.704	7.670	7.446
24000	2.760	5.110	6.623	7.323	7.582	7.574	7.381
25000	2.632	4.929	6.449	7.134	7.467	7.484	7.315
26000	2.512	4.754	6.278	7.046	7.352	7.395	7.253
27000	2.394	4.598	3.113	6.907	7.243	7.305	7.191
28000	2.285	4.443	5.945	6.773	7.134	7.220	7.132
29000	2.189	4.287	5.797	6.649	7.031	7.139	7.073
30000	2.092	4.139	5.648	6.526	6.928	7.058	7.016
31000	1.998	3.998	5.503	6.402	6.828	6.977	6.961
32000	1.913	3.859	5.364	6.279	6.737	6.904	6.906
33000	1.836	3.730	5.224	6.164	6.635	6.831	6.854
34000	1.766	3.601	5.093	6.050	6.544	6.759	6.802
35000	1.707	3.431	4.963	5.939	6.452	6.686	6.754
36000	1.632	3.361	4.843	5.832	6.364	6.621	6.706
37000	1.602	3.250	4.725	5.724	6.277	6.556	6.658
38000	1.552	3.153	4.607	5.618	6.191	6.480	6.601
39000	1.503	3.047	4.490	5.517	6.109	6.425	6.563
40000	1.460	2.950	4.384	5.415	6.028	6.362	6.520
41000	1.419	2.860	4.278	5.314	5.946	6.303	6.477
42000	1.379	2.774	4.173	5.218	5.871	6.244	6.434
43000	1.338	2.689	4.075	5.122	5.796	6.186	6.394
44000	1.303	2.614	3.977	5.029	5.721	6.127	6.355
45000	1.268	2.546	3.882	4.939	5.646	6.071	6.315
46000	1.235	2.479	3.791	4.849	5.574	6.016	6.276
47000	1.204	2.421	3.700	4.762	5.505	5.962	6.238
48000	1.173	2.364	3.616	4.677	5.435	5.910	6.202
49000	1.142	2.306	3.532	4.593	5.369	5.859	6.166
50000	1.111	2.249	3.452	4.514	5.304	5.808	6.130
51000	1.085	2.201	3.374	4.435	5.238	5.759	6.095
52000	1.059	2.153	3.297	4.356	5.175	5.711	6.059
53000	1.036	2.106	3.225	4.282	5.113	5.663	6.022
54000	1.013	2.058	3.153	4.208	5.050	5.616	5.986
55000	0.991	2.015	3.085	4.138	4.992	5.571	5.949

56000	0.970	1.974	3.020	4.070	4.933	5.527	5.912
57000	0.952	1.933	2.955	4.003	4.874	5.483	5.875
58000	0.933	1.896	2.869	3.936	4.817	5.438	5.836
59000	0.914	1.859	2.836	3.869	4.762	5.395	5.795
60000	0.898	1.823	2.786	3.806	4.706	5.353	5.753
61000	0.883	1.786	2.735	3.747	4.651	5.312	5.711
62000	0.868	1.752	2.687	3.687	4.599	5.271	5.666
63000	0.853	1.720	2.644	3.632	4.547	5.230	5.621
64000	0.838	1.690	2.601	3.577	4.495	5.189	5.577
65000	0.822	1.663	2.558	3.522	4.442	5.148	5.532
66000	0.807	1.636	2.516	3.472	4.393	5.106	5.488
67000	0.793	1.610	2.478	3.421	4.344	5.065	5.439
68000	0.782	1.583	2.443	3.372	4.295	5.023	5.390
69000	0.770	1.561	2.408	3.325	4.246	4.932	5.341
70000	0.759	1.539	2.373	3.279	4.197	4.940	5.292
71000	0.747	1.517	2.338	3.234	4.152	4.897	5.243
72000	0.735	1.495	2.307	3.192	4.107	4.852	5.194
73000	0.725	1.477	2.277	3.150	4.062	4.807	5.144
74000	0.716	1.460	2.247	3.109	4.017	4.761	5.092
75000	0.707	1.443	2.220	3.071	3.975	4.713	5.039
76000	0.698	1.425	2.194	3.033	3.935	4.666	4.987
77000	0.690	1.408	2.167	2.996	3.895	4.619	4.935
78000	0.683	1.391	2.141	2.963	3.854	4.572	4.882
79000	0.676	1.373	2.115	2.929	3.814	4.524	4.827
80000	0.668	1.356	2.089	2.895	3.773	4.476	4.772
81000	0.661	1.341	2.067	2.866	3.735	4.426	4.717
82000	0.654	1.329	2.044	2.836	3.699	4.376	4.662
83000	0.646	1.316	2.023	2.806	3.662	4.326	4.607
84000	0.640	1.303	2.005	2.779	3.625	4.279	4.552
85000	0.634	1.291	1.987	2.754	3.588	4.255	4.497
86000	0.629	1.278	1.969	2.729	3.551	4.171	4.442
87000	0.623	1.266	1.950	2.705	3.515	4.118	4.387
88000	0.618	1.256	1.934	2.685	3.478	4.065	4.333
89000	0.613	1.247	1.919	2.664	3.441	4.012	4.278
90000	0.608	1.237	1.905	2.643	3.404	3.959	4.222
91000	0.603	1.227	1.895	2.619	3.367	3.899	4.166
92000	0.599	1.228	1.880	2.601	3.331	3.845	4.110
93000	0.595	1.210	1.867	2.584	3.294	3.792	4.053
94000	0.591	1.202	1.853	2.567	3.257	3.738	3.996
95000	0.587	1.194	1.841	2.550	3.220	3.685	3.939
96000	0.584	1.187	1.829	2.533	3.183	3.632	3.881
97000	0.581	1.180	1.818	2.516	3.160	3.573	3.824
98000	0.578	1.173	1.807	2.500	3.109	3.525	3.766
99000	0.575	1.168	1.798	2.484	3.072	3.472	3.708
100000	0.572	1.162	1.789	2.468	3.035	3.420	3.650
101000	0.569	1.157	1.780	2.453	2.998	3.367	3.591
102000	0.567	1.152	1.773	2.437	2.961	3.315	3.533
103000	0.565	1.147	1.766	2.420	2.924	3.264	3.474
104000	0.563	1.142	1.758	2.404	2.887	3.212	3.415
105000	0.560	1.138	1.751	2.386	2.850	3.161	3.355

106000	0.558	1.133	1.744	2.367	2.812	3.111	3.295
107000	0.556	1.129	1.738	2.348	2.775	3.060	3.236
108000	0.555	1.125	1.732	2.328	2.738	3.010	3.175
109000	0.553	1.121	1.726	2.309	2.701	2.960	3.115
110000	0.551	1.118	1.721	2.288	2.663	2.910	3.054
111000	0.550	1.114	1.716	2.268	2.626	2.860	2.993
112000	0.548	1.111	1.712	2.246	2.588	2.81	2.932
113000	0.547	1.109	1.707	2.224	2.551	2.76	2.870
114000	0.546	1.106	1.702	2.201	2.514	2.71	2.808
115000	0.545	1.104	1.697	2.178	2.476	2.66	2.746

Tabel Nilai KG Pada Sudut 40⁰ – 90⁰ untuk Nilai DWT 10.000 – 60.000

Displacement (ton)	HEEL ANGLE (deg)					
	40	50	60	70	80	90
10000	7.684	5.823	3.838	2.286	1.039	0.366
11000	7.629	5.854	4.010	2.498	1.159	0.372
12000	7.575	5.884	4.132	2.685	1.232	0.378
13000	7.525	5.911	4.244	2.843	1.289	0.383
14000	7.476	5.937	4.354	2.972	1.342	0.387
15000	7.427	5.963	4.458	3.085	1.391	0.391
16000	7.379	5.983	4.560	3.181	1.436	0.394
17000	7.334	6.014	4.660	3.259	1.476	0.397
18000	7.289	6.040	4.745	3.314	1.511	0.399
19000	7.248	6.063	4.821	3.345	1.541	0.401
20000	7.208	6.087	4.896	3.369	1.566	0.402
21000	7.167	6.110	4.954	3.391	1.585	0.403
22000	7.129	6.132	4.997	3.412	1.598	0.403
23000	7.092	6.153	5.032	3.431	1.605	0.404
24000	7.055	6.174	5.061	3.448	1.606	0.404
25000	7.019	6.193	5.084	3.463	1.606	0.405
26000	6.986	6.213	5.105	3.476	1.605	0.405
27000	6.952	6.232	5.122	3.486	1.605	0.405
28000	6.919	6.245	5.084	3.494	1.605	0.405
29000	6.885	6.256	5.084	3.499	1.605	0.405
30000	6.852	6.264	5.122	3.501	1.604	0.405
31000	6.821	6.267	5.116	3.500	1.602	0.404
32000	6.790	6.268	5.102	3.496	1.599	0.404
33000	6.758	6.260	5.089	3.488	1.595	0.403
34000	6.729	6.248	5.071	3.476	1.590	0.403
35000	6.700	6.233	5.052	3.461	1.584	0.402
36000	6.671	6.215	5.031	3.442	1.576	0.402
37000	6.642	6.197	5.008	3.422	1.566	0.402
38000	6.615	6.179	4.984	3.402	1.556	0.401
39000	6.589	6.158	4.959	3.382	1.545	0.400
40000	6.562	6.130	4.932	3.362	1.535	0.399
41000	6.536	6.101	4.906	3.342	1.524	0.398
42000	6.509	6.072	4.880	3.322	1.514	0.398
43000	6.479	6.036	4.854	3.301	1.503	0.397

44000	6.450	6.001	4.827	3.208	1.493	᠗.396
45000	6.420	5.963	4.801	3.259	1.482	᠗.395
46000	6.391	5.923	4.775	3.237	1.470	᠗.395
47000	6.361	5.882	4.749	3.215	1.459	᠗.394
48000	6.326	5.841	4.719	3.192	1.447	᠗.393
49000	6.291	5.797	4.687	3.168	1.434	᠗.393
50000	6.253	5.754	4.650	3.144	1.421	᠗.392
51000	6.213	5.710	4.612	3.118	1.408	᠗.392
52000	6.173	5.666	4.572	3.092	1.394	᠗.392
53000	6.134	5.622	4.532	3.065	1.380	᠗.391
54000	6.094	5.578	4.491	3.037	1.366	᠗.391
55000	6.054	5.535	4.450	3.007	1.352	᠗.391
56000	6.011	5.491	4.409	2.977	1.338	᠗.391
57000	5.967	5.447	4.368	2.948	1.324	᠗.391
58000	5.921	5.403	4.328	2.918	1.310	᠗.391
59000	5.875	5.360	4.287	2.889	1.296	᠗.391
60000	5.829	5.315	4.246	2.859	1.281	᠗.392
61000	5.783	5.269	4.205	2.829	1.266	᠗.392
62000	5.735	5.222	4.164	2.800	1.251	᠗.393
63000	5.686	5.175	4.124	2.770	1.236	᠗.393
64000	5.637	5.128	4.083	2.740	1.221	᠗.394
65000	5.588	5.079	4.042	2.711	1.205	᠗.395
66000	5.538	5.031	4.001	2.681	1.188	᠗.396
67000	5.487	4.982	3.960	2.651	1.172	᠗.397
68000	5.436	4.932	3.920	2.621	1.155	᠗.398
69000	5.385	4.881	3.879	2.591	1.138	᠗.399
70000	5.332	4.831	3.838	2.561	1.121	᠗.400
71000	5.279	4.780	3.797	2.531	1.104	᠗.402
72000	5.226	4.729	3.755	2.501	1.087	᠗.403
73000	5.173	4.679	3.714	2.471	1.069	᠗.405
74000	5.151	4.628	3.672	2.441	1.052	᠗.406
75000	5.068	4.578	3.631	2.411	1.035	᠗.408
76000	5.015	4.527	3.589	2.380	1.018	᠗.410
77000	4.962	4.477	3.548	2.350	1.000	᠗.412
78000	4.909	4.426	3.506	2.320	0.983	᠗.415
79000	4.856	4.376	3.464	2.289	0.966	᠗.417
80000	4.801	4.325	3.422	2.259	0.949	᠗.419
81000	4.746	4.274	3.379	2.228	0.932	᠗.421
82000	4.691	4.224	3.337	2.198	0.916	᠗.423
83000	4.636	4.173	3.294	2.168	0.899	᠗.425
84000	4.580	4.121	3.252	2.137	0.883	᠗.427
85000	4.525	4.070	3.210	2.107	0.866	᠗.429
86000	4.470	4.018	3.167	2.077	0.850	᠗.431
87000	4.415	3.966	3.125	2.046	0.833	᠗.433
88000	4.357	3.915	3.082	2.016	0.817	᠗.434
89000	4.301	3.863	3.040	1.985	0.800	᠗.436
90000	4.244	3.812	2.998	1.955	0.784	᠗.438
91000	4.186	3.762	2.956	1.925	0.767	᠗.439
92000	4.128	3.710	2.914	1.894	0.751	᠗.441
93000	4.071	3.658	2.871	1.864	0.735	᠗.442
94000	4.014	3.606	2.828	1.834	0.718	᠗.444

95000	3.956	3.553	2.785	1.803	0.702	᠗.445
96000	3.898	3.501	2.742	1.773	0.686	᠗.446
97000	3.840	3.448	2.699	1.743	0.670	᠗.447
98000	3.781	3.396	2.656	1.712	0.654	᠗.448
99000	3.723	3.343	2.613	1.682	0.638	᠗.449
100000	3.664	3.290	2.570	1.652	0.622	᠗.450
101000	3.605	3.237	2.527	1.621	0.606	᠗.450
102000	3.546	3.183	2.483	1.591	0.591	᠗.451
103000	3.487	3.130	2.440	1.561	0.575	᠗.451
104000	3.427	3.077	2.397	1.530	0.559	᠗.451
105000	3.368	3.023	2.353	1.500	0.544	᠗.451
106000	3.308	2.969	2.310	1.470	0.528	᠗.451
107000	3.248	2.915	2.266	1.439	0.513	᠗.451
108000	3.189	2.861	2.223	1.409	0.497	᠗.450
109000	3.129	2.907	2.179	1.379	0.482	᠗.450
110000	3.069	2.752	2.136	1.348	0.467	᠗.450
111000	3.009	2.698	2.092	1.318	0.451	᠗.450
112000	2.948	2.643	2.048	1.287	0.436	᠗.449
113000	2.888	2.588	2.004	1.257	0.421	᠗.449
114000	2.828	2.533	1.960	1.227	0.406	᠗.449
115000	2.767	2.478	1.916	1.196	0.391	᠗.448











