



TESIS - ME185401

**KONSEP DESAIN LNG *MOBILE FLOATING*  
*BUNKERING VESSEL* DI PELABUHAN TANJUNG  
PERAK SURABAYA**

HAYY NUR ABDILLAH  
04210750010002

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.  
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN *RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY AND*  
*SAFETY*  
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



THESIS - ME185401

**CONCEPT DESIGN OF LNG MOBILE FLOATING  
BUNKERING VESSEL IN PORT OF PERAK  
SURABAYA**

HAYY NUR ABDILLAH  
04210750010002

SUPERVISOR

Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.  
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

MASTER PROGRAM

FIELD OF EXPERTISE RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY AND  
SAFETY

MARINE ENGINEERING DEPARTMENT

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M. T.)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh  
Hayy Nur Abdillah  
NRP. 04211750010002

Tanggal Ujian : 17 Januari 2019

Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing :

1. Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.  
NIP. 1971 0915 1994 12 1001

2. Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.  
NIP. 1971 0610 1995 12 1001

Dosen Penguji :

1. Ir. Agung Zahdi M. F., M.Eng, Ph.D  
NIP. 1956 0519 1986 10 1001



Fakultas Teknologi Kelautan  
  
Prof. Dr. Arman Zubaydi, M. Eng., Ph. D.  
NIP. 1959 0505 1984 03 1012

Halaman ini sengaja dikosongkan

# ***KONSEP DESAIN LNG MOBILE FLOATING BUNKERING VESSEL DI PELABUHAN TANJUNG PERAK SURABAYA***

Nama mahasiswa : Hayy Nur Abdillah  
NRP : 04211750010002  
Pembimbing : Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.  
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

Penggunaan LNG sebagai bahan bakar terus meningkat dan semakin dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif yang cukup menjanjikan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Transportasi kapal menyumbang emisi global sebesar 3% CO<sub>2</sub> dan lebih dari 5% SO<sub>x</sub>, sehingga dalam perencanaan desain dibuat sistem penggunaan bahan bakar fosil menjadi *dual fuel* atau gas. *LNG bunkering vessel* dalam kajian ini menjadi salah satu komponen penting dalam sebuah rangkaian transportasi dan bahan bakar terutama transportasi kapal di Indonesia. Desain perencanaan teknis berupa *lines plan, general arrangement LNG mobile floating bunkering vessel* memiliki ukuran utama Loa: 54.86 m, Lpp: 53.66 m, B: 15 m, H: 5 m, T: 4 m, Cb: 0.822 dengan kapasitas angkut 1400 m<sup>3</sup> LNG. Hasil analisa stabilitas dilakukan pada dua kondisi ekstrem yaitu muatan penuh dan muatan kosong. Pada kondisi muatan penuh memiliki nilai GZ maksimum 2.39 m dan besarnya nilai GMt adalah 6.603 m. Pada kondisi muatan kosong memiliki nilai GZ maksimum 3.468 m dan besarnya nilai GMt adalah 16.48 m. Kedua kondisi dianalisa menggunakan tiga kriteria stabilitas berdasarkan regulasi *barge carrying hazardous liquids, pontoons, IMO A 749(18)* dengan hasil seluruh kondisi memenuhi kriteria yang disyaratkan. LNG yang disimpan dalam fase cair berpotensi mengalami *sloshing* di dalam tangki. *Sloshing* merupakan efek dari gerak bebas fluida dalam tangki dengan gerakan menghantam dinding tangki sehingga dapat menyebabkan kerusakan struktur. Variasi *filling level* terhadap beban *sloshing* dilakukan dalam tiga kondisi 10%, 50% dan 90% pada dinding tangki *tank wall* adalah 80.12007 [Pa], 162.1433 [Pa], dan 240.1272 [Pa]. Sedangkan pada dinding tangki *long. bulkhead* untuk urutan variasi *filling level* yang sama yaitu 122.2938 [Pa], 253.8503 [Pa], dan 319.2278 [Pa]. Data diatas menunjukkan bahwa variasi *filling level* memiliki pengaruh terhadap peningkatan efek beban *sloshing* pada jenis dinding tangki *long. bulkhead*. Keamanan tangki penyimpanan LNG ini pada saat dioperasikan didasarkan pada implementasi *IGC Code* dipengaruhi oleh tiga faktor utama diantaranya penentuan jenis tangki, pengaturan tekanan katup pengaman dan penentuan jenis material insulasi tangki. Studi kasus yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah pelabuhan perak surabaya.

Kata kunci : *LNG bunkering vessel, stabilitas, sloshing, maxsurf dan ansys fluent.*

Halaman ini sengaja dikosongkan



# ***CONCEPT DESIGN OF LNG MOBILE FLOATING BUNKERING VESSEL IN PORT OF PERAK SURABAYA***

Name : Hayy Nur Abdillah  
NRP : 04211750010002  
Supervisor : Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.  
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

LNG as fuel being considered as an alternative solution to replace fossil fuel. Global emissions from ship transportation produce 3% CO<sub>2</sub> and more than 5% SO<sub>x</sub>, propulsion system using fossil fuels change into dual fuel or gas. The LNG bunkering vessel became one of the important components in the transportation and fuel, especially ship transportation in Indonesia. The principal dimension of ship (lines plan, general arrangement) of LNG mobile floating bunkering vessel has the main size of Loa: 54.86 m, Lpp: 53.66 m, B: 15 m, H: 5 m, T: 4 m, Cb: 0.822 with tank capacity 1400 m<sup>3</sup> LNG. The analysis results of stability are carried out in two extreme conditions, full load and empty load. In full load conditions, the maximum GZ value is 2.39 m and the GMt value is 6.603 m. On the condition that the empty load has a maximum GZ value of 3,468 m and the GMt value is 16.48 m. Both conditions were analyzed using three stability criteria based on the regulation of barge carrying hazardous liquids, pontoons, IMO A 749 (18) with the results of all conditions pass the required criteria. LNG stored in the liquid phase potential to get sloshing in the tank. Sloshing is the effect of free movement of fluid in the tank with a movement to hit the tank wall so that it can cause structural damage. The filling level variation on sloshing load was carried out in three conditions of 10%, 50% and 90% on the tank wall tank walls were 80,12007 [Pa], 162,1433 [Pa], and 240,1272 [Pa]. While on the long. tank wall. bulkhead for the same filling level variation sequence, 122.2938 [Pa], 253.8503 [Pa], and 319.2278 [Pa]. The data above shows that filling level variations have an effect on increasing the sloshing load effect on long. tank wall types. Safety of this LNG storage tank based on the implementation of the IGC Code influenced by three main factors including the determination of the type of tank, setting the pressure of the safety valve and determining the type of tank insulation material. The case study focus in port of Tanjung Perak Surabaya.

*Key words : LNG bunkering vessel, stability, sloshing, maxsurf dan ansys fluent.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena dengan rahmat, karunia serta taufik hidayahnya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan tepat waktu yang berjudul :

### **“KONSEP DESAIN LNG *MOBILE FLOATING BUNKERING VESSEL* DI PELABUHAN TANJUNG PERAK SURABAYA”**

Tesis ini sebagai syarat memperoleh gelar Magister Teknik pada bidang studi *Reliability, Availability, Maintainability and Safety* (RAMS) Program Studi S-2 Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan Tesis ini, yaitu :

1. Kedua orang tua Imam Subejo dan Sucik Anita Erawarni atas perhatian dan dukungan moral serta materi yang diberikan kepada penulis serta satu-satunya adik laki-laki penulis Ghoniyyun Rohmatullah yang selalu mensupport baik dengan dukungan maupun doa. Tidak lupa pula buyut penulis Mak To yang meskipun tidak bisa tulis dan baca namun tidak pernah lupa untuk selalu melantunkan untaian doa kepada cicitnya.
2. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T, M.Sc, selaku dosen pembimbing pertama atas pelajaran baik tentang materi kuliah maupun pembelajaran dalam bersikap, yang selalu menginspirasi penulis, dan terimakasih telah memberikan begitu banyak kesempatan kepada penulis untuk *explore* hal-hal yang baru yang menjadi impian bagi penulis.
3. Bapak Dr. I Made Ariana, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua atas kesabaran dalam mengajarkan ilmunya serta selalu membantu penulis ketika mengalami kesulitan dalam progres pengerjaan tesis.

4. Ir. A.A. Masroeri, M. Eng., D. Eng, selaku kepala UPT. DRKN (NaSDEC) yang juga turut memberikan arahan, support, pengalaman, dan fasilitas di NaSDEC sehingga penulis mendapatkan banyak pembelajaran baru melalui beliau, terimakasih banyak bapak : ).
5. A. A. B Dinariyana S.T., MES., Ph. D sebagai ketua laboratorium RAMS yang selalu memberikan arahan, pelajaran dan wejangan kepada mahasiswanya.
6. Raja Oloan Sautr Gurning, S.T., M.Sc., Ph. D. selaku Kepala Prodi Pascasarjana Siskal ITS, Dr. Eddy Setyo K., S.T., M. Sc. Selaku Sekretaris Prodi Pascasarjana Siskal ITS, Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc., selaku dosen pembina di UPT. DRKN (NaSDEC), terimakasih atas arahan dan pengalaman yang diberikan kepada penulis.
7. Teman-teman NaSDEC telah menemani bekerja, belajar dan berdiskusi bersama, teman-teman yang menjelma menjadi keluarga baru. Terimakasih kepada Danuja (Bapak Wakil Direktur), Mas Syafi (Sesepuhnya NaSDEC yang selalu memberikan wejangan dan paling peka), Mas Gusma (Jendral tempurnya NaSDEC, makasih sudah kasih template proposal :D), *Geng The Comel's* (Bernud, Rian, Insanu, Ayuk) makasih gengs, Nova (Adek gembul dengan selimutnya), Kupang (nama aslinya Dika, suka usil ngagetin orang), Bahru (yang suka nawarin “mau kopi?”, suka baik banget, kadang baik tidak pada tempatnya hehe), Diko (suka maen taekwondo dan biola, jago bikin design2 juga), Jengki (namanya Jangka, bocah Osing), Yonny (suka makan banyak2 tapi ga gembul), Arum (Adek tercomel yang suka bet sama kelinci, bebek, dan sejenisnya), Angga (panggilannya Eng, adek yang cool, hemit bicara), Ago (meskipun sekarang sudah ga di NaSDEC lagi karena S2 di Jepang, semangat kuliahnya Go ..suka usil kek Kupang), Arras (sudah ngak di NaSDEC juga karena bekerja di salah satu perusahaan konsultan, sukses terus ras, member Ghealways).

8. Teman-teman seperjuangan tesis yaitu Yulia Ayu Nastiti (Mbak Ayuk), Dicky Nalendra S. (Dicky), Nazaruddin (Pak Nazar), Birham Hermansyah (Master Birham) semangat menuju wisuda ITS 119.
9. Adek-adek para penghuni kos *Gebang Lor 88A* yang sudah memberikan supportnya yaitu Umirul, Hani, Ekak, Fidhi, Indah, Becca, Vita, Dewi, Pitaloka, Dede, Runi, Titim, terimakasih yaaaa.
10. Teman-teman Pascasarjana 2017 (Thariq, Mas Donny, Mas Frengky, Mas Dimas, Mas Otto, Pak Hari) yang selalu memberikan motivasi dan dukungan kepada teman-teman seperjuangan.
11. Sahabat penulis yang selalu memberikan cinta dan kasih sayangnya, Dewi Suci Nawang Wulan (*mbull*), Nur Cahyati (*mak chay*), Indah Luthfiatullatifah (*indah*), Ihda Nurul Sholehah (*tiee uul*), Elly Andita Pratiwi (*elly*), Kiky Nur Wulandari (*kikay*), serta Nuridha Lestari (*ridha*).
12. Al Taqna Adam Wijaya yang selalu menemani penulis dalam penyusunan tesis ini, yang selalu sabar menjadi tempat berkeluh kesah ketika ada revisian, yang ndak pernah marah sewaktu dingambekin gak jelas dan selalu memberikan doa, dukungan serta supportnya kepada penulis. Terimakasih untuk selalu ada. Cepet nyusul wisuda yaaa. *So lucky to have* :).

Tesis ini tentunya masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun atas ketidaksempurnaan penyusunan Tesis ini sangat penulis harapkan. Semoga Tesis ini dapat memberi manfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penyusun pada khususnya.

Surabaya, 12 Januari 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. LNG sebagai Bahan Bakar .....	7
2.2. Kondisi Geografis Pelabuhan Tanjung Perak.....	8
2.3. Stabilitas Kapal.....	11
2.4. Teori Gelombang.....	17
2.5. Respon Gerakan Kapal di Gelombang .....	18
2.6. Olah Gerak Kapal dalam Enam Derajat Kebebasan.....	19
2.7. Sloshing .....	21
2.8. Metode CFD (Computational Fluid Dynamic).....	26
2.9. Independent Tanks Type C.....	26
2.10. Keselamatan LNG <i>Storage</i> berdasarkan IGDC Code .....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1. Perumusan Masalah.....	33

3.2.	Studi Literatur .....	34
3.3.	Pengambilan Data .....	34
3.4.	Desain Lines Plan dan General Arrangement .....	35
3.5.	Pemodelan Bentuk Lambung 3D .....	35
3.6.	Perhitungan Titik Berat .....	36
3.7.	Perhitungan Stabilitas .....	38
3.8.	Pemodelan Tangki .....	40
3.9.	Simulasi Sloshing.....	40
3.10.	Penentuan Parameter Keselamatan Berdasarkan IGC Code.....	41
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....		43
4.1.	Perencanaan Teknis Desain LNG <i>Mobile Floating Bunkering Vessel</i> .	43
4.2.	Analisa Stabilitas LNG <i>Mobile Floating Bunkering Vessel</i> .....	64
4.3.	Pengaruh Sloshing terhadap Struktur Tangki .....	70
4.4.	Keamanan Tangki berdasarkan Implementasi IGC Code.....	92
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		97
DAFTAR PUSTAKA.....		99



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Perbandingan reduksi emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar .....	2
Gambar 2. 1 Letak Geografis Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya .....	8
Gambar 2. 2 Peta alur pelayaran Tanjung Perak Surabaya .....	10
Gambar 2. 3. Keseimbangan stabil .....	12
Gambar 2. 4. Keseimbangan netral .....	13
Gambar 2. 5. Keseimbangan tidak stabil .....	14
Gambar 2. 6. Gelombang sinusoidal .....	18
Gambar 2. 7 Konfigurasi umum dan konvensi simbol terhadap gerakan kapal ...	20
Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian .....	31
Gambar 3. 2 Logo <i>software (student base)</i> yang akan digunakan .....	34
Gambar 3. 3 Visualisasi pemodelan bentuk lambung 3D .....	35
Gambar 3. 4 Visualisasi analisa stabilitas <i>software maxsurf stability</i> .....	39
Gambar 3. 5 Visualisasi analisa sloshing menggunakan <i>software ansys fluent</i> ....	41
Gambar 4. 1 Contoh pengisian bahan bakar di dua lokasi pelabuhan.....	45
Gambar 4. 2 Desain <i>lines plan LNG mobile floating bunkering vessel</i> .....	49
Gambar 4. 3 Desain <i>general arrangement LNG mobile bunkering vessel</i> .....	50
Gambar 4. 4 Visualisasi pada manuver kapal .....	56
Gambar 4. 5 (a) Turning point ; (b) Plotting manuver <i>bunkering vessel</i> .....	58
Gambar 4. 6 Model bentuk lambung 3D <i>LNG mobile floating bunkering vessel</i>	61
Gambar 4. 7 <i>Wake friction LNG mobile floating bunkering vessel</i> .....	62
Gambar 4. 8 Konfigurasi mesin utama <i>LNG mobile floating bunkering vessel</i> ...	63
Gambar 4. 9 Konfigurasi mesin utama (Lanjutan).....	63
Gambar 4. 10 Grafik stabilitas pada loadcase kondisi muatan penuh.....	65
Gambar 4. 11 Grafik stabilitas pada loadcase kondisi muatan kosong.....	68
Gambar 4. 12 Grafik RAO untuk Gerakan <i>Sway</i> .....	71
Gambar 4. 13 Grafik RAO untuk Gerakan <i>Heave</i> .....	71
Gambar 4. 14 Grafik RAO untuk Gerakan <i>Roll</i> .....	71
Gambar 4. 15 Grafik Sudut Fase <i>LNG bunkering vessel</i> pada kondisi <i>sway</i> .....	73
Gambar 4. 16 Grafik Sudut Fase <i>LNG bunkering vessel</i> pada kondisi <i>rolling</i> ....	73
Gambar 4. 17 Grafik Sudut Fase pada kondisi <i>heaving</i> .....	73

Gambar 4. 18 Grafik <i>Static Pressure on Long. Bulkhead &amp; Tank Wall</i> [Pa].....	75
Gambar 4. 19 Fenomena <i>Sloshing</i> pada <i>Filling Level 10%</i> .....	75
Gambar 4. 20 Grafik <i>Static Pressure on Long. Bulkhead &amp; Tank Wall</i> [Pa].....	76
Gambar 4. 21 Fenomena <i>Sloshing</i> pada <i>Filling Level 50%</i> .....	76
Gambar 4. 22 Grafik <i>Static Pressure on Long. Bulkhead &amp; Tank Wall</i> [Pa].....	77
Gambar 4. 23 Fenomena <i>Sloshing</i> pada <i>Filling Level 90%</i> .....	77
Gambar 4. 24 Grafik <i>Dyamic Pressure on Long. Bulkhead &amp; Tank Wall</i> [Pa] ....	78
Gambar 4. 25 Fenomena <i>Sloshing</i> pada <i>Filling Level 10%</i> .....	78
Gambar 4. 26 Grafik <i>Dyamic Pressure on Long. Bulkhead &amp; Tank Wall</i> [Pa] ....	79
Gambar 4. 27 Fenomena <i>Sloshing</i> pada <i>Filling Level 50%</i> .....	79
Gambar 4. 28 Grafik <i>Dyamic Pressure on Long. Bulkhead &amp; Tank Wall</i> [Pa] ....	80
Gambar 4. 29 Fenomena <i>Sloshing</i> pada <i>Filling Level 90%</i> .....	80
Gambar 4. 30 Grafik <i>Total Pressure on Long. Bulkhead &amp; Tank Wall</i> [Pa] .....	81
Gambar 4. 31 Fenomena <i>Sloshing</i> pada <i>Filling Level 10%</i> .....	81
Gambar 4. 32 Grafik <i>Total Pressure on Long. Bulkhead &amp; Tank Wall</i> [Pa] .....	82
Gambar 4. 33 Fenomena <i>Sloshing</i> pada <i>Filling Level 50%</i> .....	82
Gambar 4. 34 Grafik <i>Total Pressure on Long. Bulkhead &amp; Tank Wall</i> [Pa] .....	83
Gambar 4. 35 Fenomena <i>Sloshing</i> pada <i>Filling Level 90%</i> .....	83
Gambar 4. 36 Grafik Perbandingan <i>Static Pressure</i> pada <i>Tank Wall</i> [Pa].....	84
Gambar 4. 37 Grafik Perbandingan <i>Sttic Pressure</i> pada <i>Long. Bulkhead</i> [Pa].....	85
Gambar 4. 38 Grafik Perbandingan <i>Dynamic Pressure</i> pada <i>Tank Wall</i> [Pa] .....	86
Gambar 4. 39 Grafik Perbandingan <i>Dynamic Pressure</i> pada <i>Long. Bulkhead</i> ....	87
Gambar 4. 40 Grafik Perbandingan <i>Total Pressure</i> pada <i>Tank Wall</i> [Pa] .....	88
Gambar 4. 41 Grafik Perbandingan <i>Total Pressure</i> pada <i>Long. Bulkhead</i> [Pa]....	89
Gambar 4. 42 Hubungan antara ketebalan lapisan insulasi dan laju penguapan ..	94

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Daftar Pelabuhan yang ada di Tanjung Perak Surabaya .....	9
Tabel 2. 2 Data Fasilitas Pemanduan Pelabuhan Tanjung Perak .....	11
Tabel 2. 3 Mode derajat kebebasan pada gerakan kapal .....	19
Tabel 3. 1 Contoh template perhitungan titik berat komponen <i>hull constructions</i> pada <i>vessel</i> .....	36
Tabel 3. 2 Contoh template perhitungan titik berat komponen <i>equipment</i> pada <i>vessel</i> .....	37
Tabel 3. 3 Contoh template perhitungan titik berat komponen <i>interior</i> pada <i>vessel</i> .....	37
Tabel 3. 4 Contoh template perhitungan titik berat komponen <i>machinery</i> pada <i>vessel</i> .....	38
Tabel 3. 5 Contoh template ringkasan hasil perhitungan titik berat tiap pengelompokan.....	38
Tabel 4. 1 Total konsumsi bahan bakar minyak di Pelabuhan Perak Surabaya tahun 2006-2009 .....	44
Tabel 4. 2 Data peningkatan jumlah populasi kapal di Pelabuhan Tanjung Perak	45
Tabel 4. 3 Ringkasan kebutuhan gas pengganti bahan bakar minyak di pelabuhan Tanung Perak Surabaya .....	46
Tabel 4. 4 Data Kapal Pembanding.....	48
Tabel 4. 5 Data Kapal Pembanding (Lanjutan).....	49
Tabel 4. 6 Data analisa manuver kapal pada variasi sudut kemudi .....	56
Tabel 4. 7. Spesifikasi mesin Wartsila 9L20DF .....	63
Tabel 4. 8. Rangkuman data titik berat LNG <i>mobile floating bunkering vessel</i> ...	64
Tabel 4. 9 Loadcase kondisi muatan penuh .....	65
Tabel 4. 10 Hasil analisa kriteria stabilitas LNG <i>bunkering vessel</i> muatan penuh	66
Tabel 4. 11 Loadcase kondisi muatan kosong .....	67
Tabel 4. 12 Hasil analisa kriteria stabilitas LNG <i>bunkering vess.l</i> muatan kosong .....	69
Tabel 4. 13 Data perairan Surabaya dalam kondisi ekstrem .....	70
Tabel 4. 14 Data koordinat RAO pada <i>bunkering vessel</i> .....	72

Tabel 4. 15 Data koordinat RAO pada <i>bunkering vessel</i> .....	74
Tabel 4. 16 Hasil analisa BOR .....	90
Tabel 4. 17 Kekuatan material tanki.....	96

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

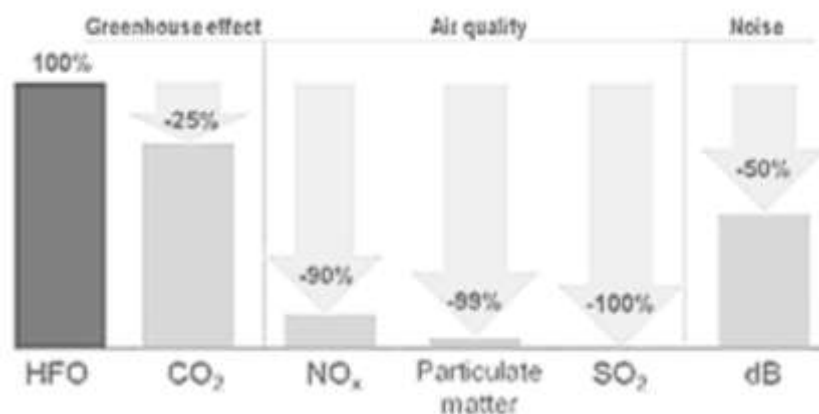
Penggunaan LNG sebagai bahan bakar terus meningkat dan semakin dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif *clean fuel* yang cukup menjanjikan untuk menggantikan bahan bakar fosil (Hongjun, 2018). Sumber cadangan LNG yang masih cukup besar berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis, sehingga mendorong manusia untuk terus berinovasi dan mencari sumber energi baru. Transportasi kapal menyumbang emisi global sebesar 3% CO<sub>2</sub> dan lebih dari 5% SO<sub>x</sub> (Senary, 2016), hal ini menjadi salah satu fokus desainer dalam perencanaan desain dengan membuat kapal yang menghasilkan emisi seminimal mungkin dan tidak sedikit kapal yang dikonversi sistem penggunaan bahan bakarnya dari fosil menjadi *dual fuel* atau gas. Salah satu contoh negara yang sedang mengembangkan transportasi kapal berbahan bakar LNG adalah Cina, sebanyak 1495 kapal akan dikonversi menjadi kapal berbahan bakar LNG yang mana sebanyak 400 kapal telah selesai direkonstruksi dan siap untuk dioperasikan (Haitao, 2016).

LNG bunkering vessel dalam kajian ini menjadi salah satu komponen penting dalam sebuah rangkaian transportasi dan bahan bakar terutama transportasi kapal di Indonesia. Fasilitas pengisian bahan bakar yang hanya tersedia di sebagian kecil pelabuhan terutama di wilayah Indonesia Timur sehingga perencanaan desain stasiun pengisian bahan bakar gas terapung dibutuhkan. LNG yang disimpan dalam fase cair berpotensi mengalami sloshing di dalam tangki. Sloshing merupakan efek dari gerak bebas fluida dalam tangki dengan gerakan menghantam dinding tangki sehingga dapat menyebabkan kerusakan struktur dan masalah pada stabilitas.

Dalam perancangan muatan cair, khususnya LNG *bunkering vessel*, hal utama untuk menentukan kekuatan struktur haruslah dipertimbangkan. Karena beban struktur yang tidak sesuai perencanaan berakibat fatal dikarenakan muatan cair LNG yang bersuhu sangat rendah dapat membuat *brittle* struktur baja karbon. Beban yang terjadi tersebut dapat berhubungan dengan isi muatan antara lain beban gelombang dan beban statis berupa beban lokal untuk

menyangga muatan. Beban gelombang luar yang bersumber dari gerakan kapal merupakan beban yang sangat spesifik yang ditimbulkan oleh perilaku fluida dalam tanki. Masalah *sloshing* menjadi isu utama dalam desain tanki untuk kapal LNG, oleh sebab itu perlu adanya analisa stabilitas menggunakan *maxsurf software* dan simulasi *sloshing* pada tangki akibat gaya yang ditimbulkan oleh beban ketika terjadi gerakan *pitching* dan *heaving* menggunakan *ansys fluent software*.

LNG sebagai bahan bakar tidak menutup kemungkinan untuk dikembangkan secara masif, baik dalam sektor transportasi maupun industri di wilayah Indonesia. Bahan bakar ini juga ramah terhadap lingkungan dan terbukti bahwa LNG yang diaplikasikan pada kapal mampu mengurangi emisi CO<sub>2</sub> hingga sebesar 15-25% (Calderon, 2016). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1 mengenai jumlah emisi yang dapat direduksi oleh bahan bakar kapal berupa LNG dari bahan bakar sebelumnya berupa *heavy fuel oil* (HFO), hasilnya menunjukkan penurunan nilai emisi yang cukup signifikan bahkan dapat menekan SO<sub>x</sub> hingga 100%.



Gambar 1. 1 Perbandingan reduksi emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar LNG vs Heavy Fuel Oil (HFO)  
 Sumber : (EMSA, 2018)

Organisasi terkait yang bersinggungan langsung dengan emisi gas buang kapal adalah IMO yang dituangkan dalam peraturan EEDI (Jeong, 2017), regulasi ini secara bertahap melakukan pencegahan polusi dan membatasi nilai emisi gas buang yang dihasilkan oleh kapal sejak Januari 2013 (IMO, 2014). Peraturan EEDI

dibuat dalam konferensi MEPC (*Marine Environment Protection Committee*) (IMO, 2013). *LNG bunkering vessel* dalam kajian ini menjadi salah satu komponen penting dalam sebuah rangkaian transportasi dan bahan bakar jika nantinya bahan bakar LNG dijadikan sebagai alternatif energi terutama transportasi kapal di Indonesia. Dalam jangka panjang dapat mendukung kebutuhan bahan bakar LNG agar emisi yang dihasilkan kapal sesuai dengan batasan regulasi yang diberlakukan oleh EEDI jika nanti Indonesia telah meratifikasi peraturan tersebut. Fasilitas pengisian bahan bakar yang hanya tersedia di sebagian kecil wilayah pelabuhan Indonesia membuat stasiun pengisian bahan bakar gas terapung dibutuhkan demi mendorong berkembangnya penggunaan bahan bakar LNG dan terpenuhinya sarana pengisian bahan bakar tersebut.

Kajian ini menjadi solusi bagi kapal yang memiliki rute perjalanan jauh namun terdapat keterbatasan pada kapasitas tangki bahan bakarnya sehingga perlu stasiun-stasiun pengisian di pelabuhan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar hingga sampai di tempat tujuan. Lokasi operasional *bunkering vessel* dalam penelitian ini adalah pelabuhan perak Surabaya, pelabuhan ini dipilih karena merupakan salah satu pelabuhan dengan frekuensi kunjungan kapal yang tertinggi ke-2 di Indonesia. Tabel 1. 1 menunjukkan representasi data kunjungan kapal yang di record oleh syahbandar.

Tabel 1. 1. Data Kunjungan Kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

<b>Tahun</b>	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 – Nov.
<b>Jumlah kapal</b>	1045	945	1033	955	1027	944	404	861	1258

Sumber : (Syahbandar, 2018)

Indonesia sebagai poros maritim dunia tidak mustahil untuk diwujudkan namun tentunya haruslah diiringi dengan perbaikan fasilitas penunjang, Surabaya dengan frekuensi kunjungan kapal yang cukup tinggi memiliki potensi yang cukup besar untuk diberikan fasilitas bunkering bahan bakar gas sebagai bahan bakar alternatif pengganti. Keuntungan lain dijadikannya *vessel* sebagai stasiun pengisian adalah mobilitasnya yang dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain secara lebih efisien untuk mendistribusikan bahan bakar sebagai kebutuhan utama alat

transportasi kapal. *Bunkering poontons* dilengkapi dengan bunkering arm & hose serta IMO Type C tanks yang besarnya disesuaikan dengan kebutuhan demand yang akan dipasok.

## 1.2. Perumusan Masalah

*LNG bunkering vessel* merupakan salah satu komponen pendukung jika penggantian bahan bakar alternatif dari bahan bakar fosil menjadi mode bahan bakar ganda (*dual fuel*) atau gas (LNG) secara masif dilakukan di Indonesia. Perubahan ini tentunya diharapkan dapat membawa tujuan yang lebih baik dari berbagai aspek seperti emisi yang menurun akan memberikan dampak positif bagi lingkungan, dari segi ekonomi bahan bakar gas lebih menguntungkan dari bahan bakar fosil. Stasiun pengisian bahan bakar LNG yang direncanakan di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya tentunya harus memiliki perencanaan stabilitas yang baik agar tercipta desain yang optimal. Oleh karena itu, dirumuskan beberapa permasalahan terkait teknis yang akan menjadi topik bahasan pada kajian ini. Diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana perencanaan teknis desain *LNG mobile floating bunkering vessel*?
- b. Bagaimana analisa stabilitas *LNG mobile floating bunkering vessel*?
- c. Akibat adanya gerakan *pitching* dan *heaving*, bagaimana pengaruh *sloshing* terhadap tekanan struktur tangki dan perhitungan *BOG rate LNG mobile floating bunkering vessel*?
- d. Bagaimana memastikan bahwa tangki penyimpanan *LNG* ini aman untuk dioperasikan berdasarkan implementasi *IGC Code*?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Dalam menyatakan hasil kajian perlu adanya bukti atau data otentik yang harus ditampilkan, baik hasil dari metode simulasi, maupun metode eksperimen. Dalam pelaksanaannya kajian ini dilakukan dengan cara simulasi software. Adapun proses awal yaitu mendesain *LNG bunkering vessel*, dari desain tersebut akan disimulasikan menggunakan software dengan beberapa parameter dan variasi



pemodelan. Sehingga, dari parameter tersebut ditujukan untuk menjawab permasalahan diatas. Adapun penjelasannya adalah berikut:

- a. Melakukan perencanaan teknis desain *LNG mobile floating bunkering vessel* berupa *lines plan*, *general arrangement* dan bentuk 3D untuk kemudian dimodelkan dalam software.
- b. Parameter analisis stabilitas bertujuan untuk mengetahui kondisi stabilitas *mobile floating bunkering vessel* saat beroperasi.
- c. Simulasi *sloshing* bertujuan untuk mengetahui pengaruh gerakan *pitching* dan *heaving* terhadap tekanan struktur tangki *LNG mobile floating bunkering vessel*, sedangkan perhitungan BOG rate adalah untuk mengetahui besarnya BOG yang dihasilkan.
- d. Parameter keselamatan bertujuan untuk memastikan bahwa tangki penyimpanan LNG ini aman untuk dioperasikan berdasarkan implementasi *IGC Code*.

#### **1.4. Batasan Penelitian**

Penelitian yang tidak dibatasi, maka cakupan penelitian dan hasilnya akan meluas, serta berpotensi tidak optimal. Oleh karena itu, penelitian ini akan dibatasi oleh beberapa poin yang diantaranya:

- a. Dalam melakukan kajian analisa stabilitas dilakukan pemodelan 3D menggunakan *maxsurf modeler software* dan analisa stabilitas menggunakan *maxsurf stability software* .
- b. Variasi yang dilakukan pada analisa stabilitas dengan kondisi muatan 0% dan 100%.
- c. Tipe tangki LNG yang dipilih adalah tipe C tank.
- d. Amplitudo gelombang pada tangki dihasilkan dari analisa *pitching* dan *heaving* yang besarnya gerakan kapal terjadi pada kondisi ekstrim dari daerah operasi pelayaran.
- e. Gerakan *sloshing* yang dianalisis merupakan akibat *coupled motion* dari gerakan *heaving* dan *pitching vessel* .
- f. Variasi yang dilakukan pada analisa *sloshing* dengan filling level cairan dalam tangki 10%, 50%, dan 90%.

- g. Studi kasus wilayah operasional LNG *Bunkering Vessel* adalah di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.
- h. Skenario pemenuhan bahan bakar LNG adalah sebesar 25% dari kebutuhan bakar yang ada hingga pada tahun 2040.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. LNG sebagai Bahan Bakar**

*Liquefied Natural Gas* (LNG) merupakan salah satu produk dari gas alam (Metana-CH<sub>4</sub>), dimana gas alam dicairkan dengan cara didinginkan hingga mencapai suhu -160<sup>0</sup>C pada tekanan 1 atmosfer yang membuatnya menjadi cair dan volumenya menjadi 1/600 dari kondisi semula sebagai gas. Kondisi cair ini memungkinkan pengangkutan LNG dilakukan dalam jumlah besar. Sebelum gas alam dicairkan, terlebih dahulu partikel-partikel asing dibersihkan dan diproses antara lain melalui desulfurization, dehydration, dan pembersih karbon dioksida. Semua proses ini membuat gas menjadi tidak berwarna, transparan, tidak berbau, tidak beracun serta terhindar dari sulfur oksida dan abu.

LNG merupakan gas cair yang terdiri dari beberapa senyawa kimia kompleks, yaitu 87-90% metana, 8-9% etana dan 0.5-1% nitrogen. Sedangkan komponen lainnya seperti propana, butana, dan isobutana memiliki kandungan kurang dari 0.5% dari total senyawa pembentuk LNG. Komposisi senyawa tersebut dapat mempengaruhi efek sloshing yang ditimbulkan pada tangki muatan saat proses transportasi LNG sedang berlangsung. Beberapa keuntungan memakai LNG sebagai bahan bakar adalah ramah lingkungan karena kandungan karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar mentah yang saat ini masih banyak digunakan dan dapat mengurangi sulfur oksida (SO<sub>x</sub>). (Hedzrik, 2011)

LNG adalah energi bersih (1 KWH energi gas mengandung 446 gram CO<sub>2</sub>) juga karena kandungan nitrogen oksida yang kurang (20-37%) serta karbondioksida (57%) dibanding dengan batu bara. Apabila LNG bersentuhan dengan udara akan menghasilkan uap putih yang dengan mudah terlihat. Karena uap LNG lebih ringan dari udara, ia menguap ke atas. Selain itu karena nyala suhu spontan LNG lebih tinggi dari bensin, sifat ini membuat LNG sebagai energi yang relatif lebih aman. Karena LNG terutama terdiri dari metana, ia mempunyai kalori yang tinggi (12000 kkal/kg) dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya seperti batu bara dan

minyak bumi. sebagai cadangan energi gas alam juga lebih melimpah. (Artana, 2006)

## 2.2. Kondisi Geografis Pelabuhan Tanjung Perak

Pelabuhan Tanjung Perak merupakan salah satu pelabuhan yang ada di propinsi Jawa Timur tepatnya di kota Surabaya pada posisi  $112^{\circ}44'100''$ - $112^{\circ}32'40''$  BT,  $7^{\circ}11'50''$ - $7^{\circ}13'20''$  LS. Pelabuhan ini merupakan salah satu pelabuhan strategis yang menjadi kawasan masuknya komoditas dan barang untuk kemudian didistribusikan ke wilayah Jawa Timur maupun wilayah Indonesia lainnya. Daerah perairan seluas 1546.3 Ha dan daerah pelabuhannya seluas 574.7 Ha. Berbagai fasilitas yang dimiliki oleh pelabuhan ini antara lain meliputi alur pelayaran, pemanduan, peralatan bongkar muat, fasilitas terminal penumpang, peti kemas, dan juga bunker. Letak geografis Pelabuhan Tanjung Perak dapat dilihat pada Gambar 2. 1.



Gambar 2. 1 Letak Geografis Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Sumber : (Perhubungan, 2010)

Fasilitas yang ada di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya meliputi alur pelayaran, pemanduan, bunker, fasilitas terminal penumpang, peti kemas, dan peralatan bongkar muat. Alur pelayaran barat merupakan alur utama memiliki 24

mil laut dengan kedalaman bervariasi antara 10-12 meter dan lebar 100 m, dengan kedalaman tersebut maka desain dari *bunkering vessel* akan disesuaikan dengan kondisi geografis pelabuhan tempat operasional. Pelabuhan Tanjung Perak memiliki 2 terminal penumpang umum yaitu Terminal Gapura Nusantara dan Terminal Gapura Surya, selain itu terdapat pula Terminal penumpang untuk Kapal Ro-Ro dan Terminal cargo lainnya seperti Terminal Nilam, Terminal Mirah, Terminal Kalimas, Terminal Peti Kemas, dll yang ditunjukkan pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Daftar Pelabuhan yang ada di Tanjung Perak Surabaya

No.	Nama Pelabuhan	Draft (m)	Panjang Dermaga (m)	Lebar (m)
A	Jamrud Utara	9.1	1200	15
B	Jamrud Barat	8.2	217	15
C	Jamrud Selatan	7.5	800	15
D	Kalimas	2.5	2270	15
E	Mirah	6.7	640	15
F	Berlian Timur	9.7	785	15
G	Berlian Utara	9.0	140	15
H	Berlian Barat	8.2	700	15
I	Nilam Timur	9.2	920	15
J	Dermaga Domestik TPS	7.5	450	45
K	Dermaga Internasional TPS	10.5	1000	50
L	Dermaga Internasional TTL	10.5	500	50
M	Dermaga Domestik TTL	9	450	30
	Gapura Nusantara	9.0	500	-
	Gapura Surya	9.0	500	-
	Terminal Ro-Ro	7.2	140	-

Sumber : (Perhubungan, 2010)

Bunker merupakan salah satu layanan yang siap melayani kapal melalui pipa dermaga, selain itu ada layanan bunker yang dilakukan oleh pihak swasta melalui tongkang dan truk tangki. Desain dari bunker harus memperhatikan kondisi dari wilayah tempat operasi. Kajian yang akan dibuat dalam rangka desain fasilitas bunkering LNG dalam wilayah operasi Tanjung Perak Surabaya dibatasi oleh wilayah operasi terkait dengan draft dan panjang dermaga, oleh sebab itu desain yang dibuat mengacu kepada pertimbangan disetiap pelabuhan. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. 1 menunjukkan draft terendah pada pelabuhan Tanjung

Perak Surabaya adalah 6.7 m di Pelabuhan Mirah dengan panjang pelabuhan terpendek terdapat pada Terminal Ro-Ro dengan panjang dermaga 140 m. Sedangkan untuk draft terbesar pada pelabuhan Tanjung Perak Surabaya adalah 10.5 m di Terminal Peti Kemas Internasional dengan panjang dermaga 1450 m. Data ini dapat digunakan oleh penulis untuk dijadikan sebagai batasan dalam perencanaan ukuran utama kapal dengan keterbatasan wilayah operasi, sehingga desain yang dibuat disesuaikan dengan ketinggian draft pelabuhan dan panjang dermaga yang ada demi keselamatan dan manuverability yang baik dari pengerjaan desain bunkering LNG. Gambar 2. 2 menunjukkan peta alur pelayaran Tanjung Perak Surabaya.



Gambar 2. 2 Peta alur pelayaran Tanjung Perak Surabaya

Sumber : (Perhubungan, 2010)

Kapal yang akan bersandar di pelabuhan Tanjung Perak dipandu oleh kapal pandu demi menjamin keselamatan di wilayah pelabuhan sehingga pelayanan tugas

pandu selama 24 jam. Berikut merupakan data kapal pandu yang ada di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya :

Tabel 2. 2 Data Fasilitas Pemanduan Pelabuhan Tanjung Perak

<b>Nama</b>	<b>Unit</b>	<b>Tipe</b>	<b>Kapasitas</b>
Kapal Tunda	10	KT	800-2400 HP
Kapal Pandu	4	MP	350-960 HP
Kepil	5	MK	125-250 HP

Sumber : Adpel Tanjung Perak

### **2.3. Stabilitas Kapal**

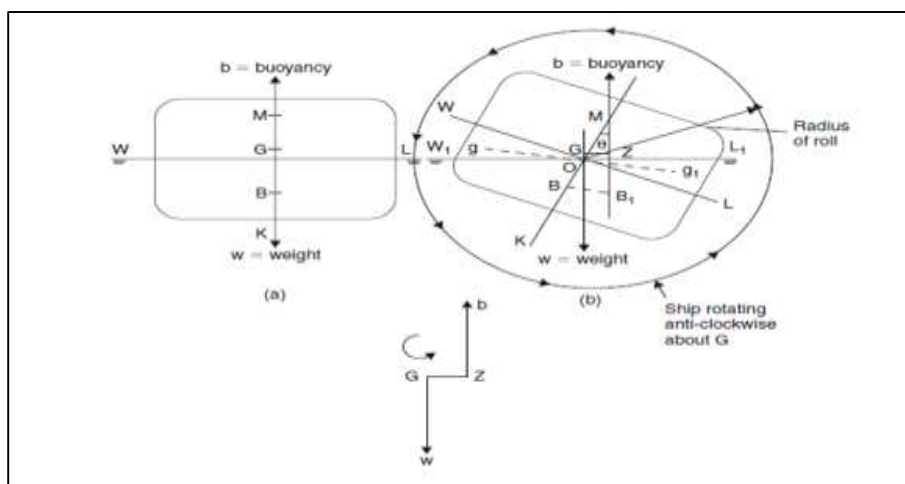
Stabilitas adalah kemampuan suatu benda untuk kembali ke keadaan / posisi semula. Jadi stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk bisa tegak kembali ketika mengalami kemiringan ke kanan / kekiri karena ombak maupun beban lainnya. Pada suatu proses desain kapal, stabilitas kapal adalah perhitungan yang mutlak dilakukan untuk mengetahui apakah desain kapal yang dibuat cukup stabil dan aman ketika beroperasi nantinya. Ada dua perhitungan stabilitas untuk kapal, yaitu *intact stability* dan *damage stability*. *Intact stability* adalah perhitungan stabilitas saat kapal utuh atau dalam kondisi tidak mengalami kebocoran dalam kompartemen manapun yang dihitung pada beberapa kondisi tanki untuk tiap-tiap derajat kemiringan kapal yang besarnya ditentukan oleh standart yang ada. Perhitungan *intact stability* dilakukan untuk mengetahui kemampuan kapal kembali pada posisi kesetimbangannya setelah mengalami kemiringan.

Perhitungan *damage stability* adalah perhitungan kapal bocor atau saat kapal mengalami kerusakan atau kebocoran yang dihitung pada beberapa kondisi untuk tiap-tiap derajat kemiringan, besarnya kemiringan diperhitungkan berdasarkan standart yang ada . Perhitungan *damage stability* ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan kapal untuk menahan kebocoran agar kapal tetap stabil ketika lambung kapal rusak atau bocor akibat kecelakaan atau kondisi-kondisi yang tidak diinginkan. Stabilitas di bedakan menjadi 3 jenis diantaranya adalah (Taylor, 1997) :

**a. Keseimbangan Stabil (*Stable Equilibrium*)**

Kondisi dimana kapal mampu kembali ke posisi tegak semula setelah mengalami olengan akibat gaya – gaya gangguan yang terjadi. Kondisi ini adalah pada saat titik pusat grafitasi (G) berada dibawah titik *Metacenter* (M) atau dapat dikatakan kapal memiliki metasenter positif dengan lengan penegak (GZ) positif sehingga mampu mengembalikan kapal ke posisi semula. Nilai GZ sangat penting dalam menentukan stabilitas statis kapal, stabilitas statis erat hubungannya dengan perhitungan nilai GZ atau lengan penegak pada kapal. Kurva GZ menunjukkan hubungan antara lengan penegak pada berbagai variasi sudut kemiringan pada perubahan berat yang konstan.

Pada gambar dibawah ini merupakan kondisi keseimbangan stabil yang dapat dilihat pada Gambar 2. 3, gambar tersebut menunjukkan bahwa titik M berada di atas titik G sehingga mampu membentuk lengan kopel GZ yang dapat mengembalikan kapal ke posisi semula ketika mendapatkan gaya-gaya dari luar. Kondisi inilah yang diperlukan atau dapat dikatakan bahwa kapal memiliki stabilitas baik apabila berada dalam posisi keseimbangan stabil namun tentunya perlu dikaji ulang apakah derajat kemiringan dan besarnya nilai GZ memenuhi kriteria standart yang digunakan sehingga desainer atau konsultan perlu memperhatikan hal tersebut.



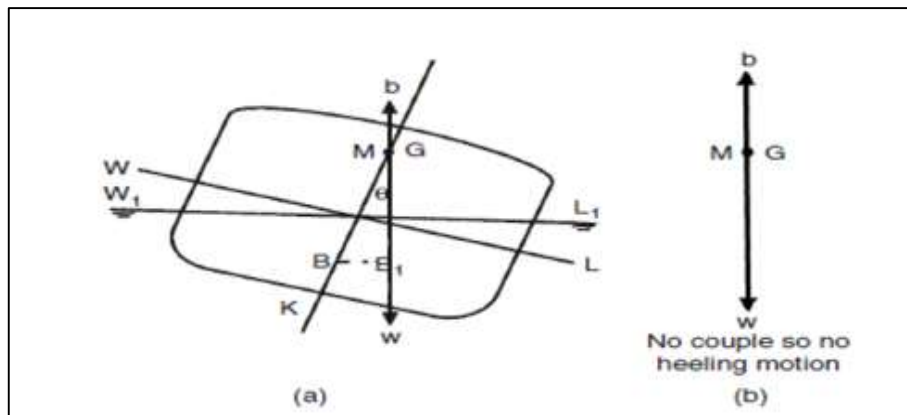
Gambar 2. 3. Keseimbangan stabil

Sumber : (Taylor, 1997)



**b. Keseimbangan Netral (*Neutral Equilibrium*)**

Kondisi dimana kapal tidak mengalami kemiringan akibat gaya yang bekerja dan kondisi ini tetap tidak berubah ke posisi semula ataupun bergerak ke arah kemiringan. Pada kondisi ini, posisi titik (G) berimpit dengan titik *metacenter* (M) disatu titik (*zero GM*) dan tidak dihasilkan dengan kopel GZ. Kondisi ini juga disebut list. Jika sebuah kapal tidak menghasilkan kopel GZ maka ketika kapal mengalami oleng sehingga membuat posisi kapal miring maka kapal tidak mampu kembali ke posisi semula. Bagi para desainer kondisi ini bukanlah kondisi yang baik sehingga apabila dalam praktiknya hasil perhitungan dan analisa stabilitas kopel GZ berada pada titik yang sama maka perlu adanya pengkajian ulang baik dengan *review* perletakan muatan ataupun hal lainnya. Pada gambar dibawah ini merupakan kondisi keseimbangan stabil yang dapat dilihat pada Gambar 2. 4, garis  $W_1 - L_1$  menunjukkan garis air atau sarat kapal pada kondisi even keel, namun setelah mengalami atau mendapat gaya-gaya luar membuat posisi kapal miring hingga garis air menjadi W-L.



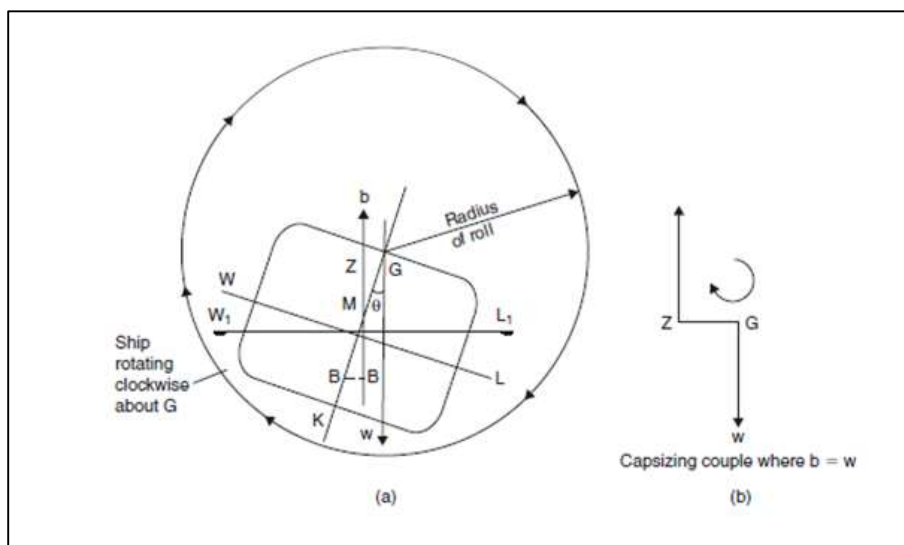
Gambar 2. 4. Keseimbangan netral

Sumber : (Taylor, 1997)

**c. Keseimbangan Tidak Stabil (*Unstable Equilibrium*)**

Kondisi ketika kapal tidak mampu kembali ke posisi semula setelah kapal miring akibat gaya – gaya yang bekerja padanya. Pada kondisi ini kapal akan bergerak terus ke arah kemiringan. Hal ini dapat terjadi apabila pusat gravitasi (G) lebih tinggi dari titik *metacenter* (M) atau kapal memiliki tinggi *metacenter* (GM) negative dan lengan penegak (M) negatif meneruskan gerak ke arah kemiringan

kapal, kondisi ini sangatlah berbahaya bagi keselamatan kapal akibat stabilitas yang tidak stabil seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2. 5, garis  $W_1 - L_1$  menunjukkan garis air atau sarat kapal pada kondisi even keel, namun setelah mengalami atau mendapat gaya-gaya luar membuat posisi kapal miring hingga garis air menjadi  $W-L$ . Jika dalam perhitungan dan analisa ditemukan bahwa titik  $G$  sebagai pusat grafitasi berada di atas titik  $M$  metacenter maka dapat dipastikan kapal memiliki stabilitas yang tidak baik akibat lengan kopel atau penegak  $GZ$  bernilai negatif.



Gambar 2. 5. Keseimbangan tidak stabil

Sumber : (Taylor, 1997)

Kriteria Stabilitas yang disyaratkan oleh IMO *regulation A. 749 (18)* :

- a) Pada sudut  $0^\circ$  hingga  $30^\circ$  area dibawah kurva lengan penegak  $GZ$  tidak boleh kurang dari  $0.055 \text{ m.rad}$ .
- b) Pada sudut  $0^\circ$  hingga  $40^\circ$  area dibawah kurva lengan penegak  $GZ$  tidak boleh kurang dari  $0.09 \text{ m.rad}$ .
- c) Pada sudut  $30^\circ$  hingga  $40^\circ$  area dibawah kurva lengan penegak  $GZ$  tidak boleh kurang dari  $0.03 \text{ m.rad}$ .
- d) Pada sudut kemiringan  $30^\circ$  atau lebih lengan penegak  $GZ$  tidak boleh kurang dari  $0.2 \text{ m}$
- e) Sudut pada lengan penegak maksimum  $GZ$  tidak boleh kurang dari  $25^\circ$ .

- f) Besarnya tinggi nilai *metacenter* awal atau *initial GM<sub>t</sub>* tidak boleh kurang dari 0.15 m.

Apabila karakteristik dari sebuah kapal tidak memenuhi syarat – syarat diatas maka kapal tersebut tidak dapat digunakan. Ditinjau dari sifatnya, stabilitas kapal dibedakan menjadi dua jenis yaitu stabilitas dinamis dan stabilitas statis. Stabilitas statis diperuntukkan bagi kapal dalam keadaan diam dan terdiri dari stabilitas melintang dan membujur. Stabilitas melintang adalah kemampuan kapal untuk tegak sewaktu mengalami kemiringan dalam arah melintang yang di sebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya, sedangkan stabilitas membujur adalah kemampuan kapal untuk kembali ke kondisi semula setelah mengalami kemiringan secara membujur oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya. Stabilitas melintang kapal dapat dibagi ( $0 - 15^0$ ) dan sudut besar ( $>15^0$ ). Akan tetapi untuk menjadi sudut kecil ( $0$ ) perhitungan stabilitas awal pada umumnya diperhitungkan hanya untuk kemiringan  $<15^0$  pada stabilitas melintang saja.

Sedangkan stabilitas dinamis diperuntukkan bagi kapal – kapal yang sedang oleng atau mengangguk ataupun saat miring besar. Pada umumnya kapal hanya miring kecil saja. Jadi kemiringan besar misalnya melebihi  $20^0$  bukanlah hal yang biasa dialami. Kemiringan – kemiringan besar ini disebabkan oleh beberapa keadaan seperti badai atau olengan besar mauoun gaya dari dalam antara lain MG yang negatif. Secara umum hal – hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok, yaitu:

- a) Faktor internal yaitu tata letak barang / kargo, bentuk ukuran kapal, kebocoran karena kandas atau tubrukan.
- b) Faktor eksternal yaitu berupa angin, ombak, arus dan badai.

Oleh karena itu stabilitas erat hubungannya dengan bentuk kapal, muatan, *draft*, dan ukuran dari nilai GM. Pusat B (*bouyancy*) digerakkan oleh *draft* sedangkan pusat grafiti bervariasi posisinya tergantung pada muatan. Sedangkan titik M (*metasentrum*) ialah tergantung dari bentuk kapal, hubungannya dengan bentuk kapal yaitu lebar dan tinggi kapal, bila lebar kapal besar maka posisi M (*metasentrum*) bertambah tinggi begitu juga sebaliknya. Titik - titik penting dalam stabilitas antara lain adalah titik *metacenter* (M), titik berat (G) dan titik apung (B).

**d. Titik *metacenter* (M)**

Titik metasenter adalah titik semu dimana titik G tidak boleh melewati di atas titik M agar kapal tetap memiliki stabilitas positif. Titik metasenter dapat berubah-ubah sesuai dengan kemiringan kapal. Apabila kapal miring dengan sudut kecil (kurang dari 15 derajat), maka titik apung bergerak sepanjang busur dimana titik M sebagai pusatnya yang terletak dibidang tengah kapal akan mengalami sudut kemiringan yang sangat kecil sehingga titik M masih dianggap tetap. Didefinisikan sebagai titik perpotongan antara garis tengah bidang melintang kapal dengan garis gaya apung pada saat kapal miring. Titik M juga menunjukkan perpotongan garis kerja gaya berat saat kapal tidak miring dan garis kerja gaya apung pada saat kapal miring dengan sudut oleng  $< 60$ .

**e. Titik berat (G) terhadap Keel (KG)**

Titik ini adalah titik tangkap semua gaya-gaya yang menekan ke bawah terhadap kapal. Letak titik G di kapal diperoleh dengan menghitung letak pembebanan muatan di kapal. Sehingga dapat dikatakan bahwa titik berat tidak akan berubah selama tidak ada perubahan perletakan muatan di kapal walaupun dalam kondisi miring dan sebaliknya. Titik berat ini sangat dipengaruhi oleh bentuk kontruksi kapal. Perhitungan ini dapat dilakukan dengan teliti dengan cara menghitung momen tiap-tiap komponen berat terhadap keel dengan menggunakan rumus seperti pada persamaan dibawah ini.

$$KG = \frac{\sum W.h}{\sum W}$$

Dimana :

W = berat komponen

h = jarak vertikal titik berat komponen terhadap keel

**f. Titik apung (B) terhadap Keel (KB)**

Titik apung adalah titik tangkap semua gaya-gaya yang menekan ke atas terhadap pembebanan kapal. Berbeda dengan titik berat yang tidak berubah saat kapal dalam kondisi miring, titik apung akan berubah tergantung dari perubahan permukaan yang tercelup air. Titik apung akan berpindah mengikuti arah kemiringan kapal untuk memberikan gaya ke atas agar kapal dapat kembali tegak

setelah mengalami kemiringan. Titik tekan ini sangat dipengaruhi oleh bentuk kapal di bawah permukaan air. Letak titik tekan terhadap keel (KB) dapat dicari dengan rumus pendekatan seperti dibawah ini.

$$KB = T. (1,1 - 0,6 C_m)$$

Dimana :

$C_m$  = koefisien midship

$T$  = sarat kapal (m)

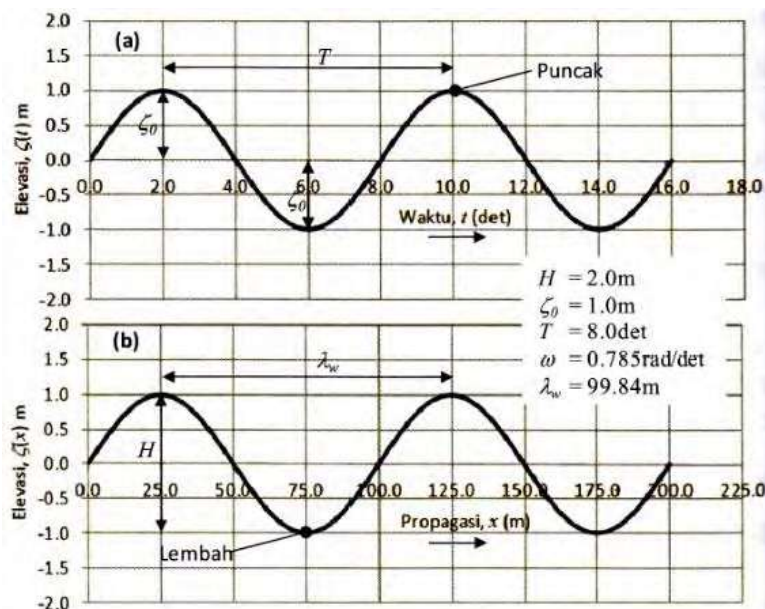
Dalam perhitungan stabilitas menggunakan software *Maxsurf* untuk menggambar kapal tiga dimensi kemudian dilanjutkan dengan penggunaan software *Hydromax Pro* dimana dalam perhitungan ini diperlukan data – data diantaranya adalah berat kapal, LCG, KG, perletakan muatan atau tangki.

## 2.4. Teori Gelombang

Dalam pergerakan tanki dalam menghasilkan *Sloshing* yang diakibatkan gerakan kapal oleh gelombang, maka perlu diketahui bagaimana karakteristik gerakan gelombang yang menggerakkan kapal tersebut. Gelombang yang didefinisikan sebagai perubahan bentuk karena gerakan permukaan air. Selanjutnya setiap gelombang yang dimaksudkan adalah gelombang air laut. Sebelum mempelajari lebih jauh mengenai gelombang, lebih dahulu diperkenalkan hal-hal yang berhubungan dengan gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 6 (Bhattacharrya, 1978) dengan definisi sebagai berikut :

- a. Puncak Gelombang (*Crest*) adalah titik dimana permukaan air berada pada elevasi tertinggi.
- b. Lembah Gelombang (*Trough*) adalah titik dimana permukaan air berada pada elevasi terendah.
- c. Garis Datum adalah Garis datar permukaan air (diambil secara statistik) pada waktu air tenang.
- d. Elevasi Gelombang ( $\zeta$ ) adalah Jarak suatu titik pada permukaan gelombang dengan garis datum pada suatu waktu tertentu.

- e. Amplitudo Gelombang ( $\zeta_w$ ) adalah Garis vertikal antara titik tertinggi atau titik terendah dengan garis datum.
- f. Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) adalah Jarak dari puncak (lembah) gelombang dengan puncak (lembah) gelombang berikutnya.
- g. Kecepatan Gelombang ( $V$ ) adalah perubahan jarak yang ditempuh suatu titik per satuan waktu.
- h. Percepatan gelombang ( $V''$ ) adalah perubahan kecepatan gelombang itu sendiri per satuan waktu
- i. Frekuensi Gelombang ( $\omega$ ) adalah Banyaknya puncak (lembah) gelombang yang dilalui oleh suatu titik per satuan waktu



Gambar 2. 6. Gelombang sinusoidal

Sumber : (Bhattacharya, 1978)

## 2.5. Respon Gerakan Kapal di Gelombang

Nilai periode absolut pada gelombang tidak sama dengan gelombang yang mengalami perubahan akibat kapal yang sedang berlayar. Arah hadap kapal yang berlawanan dengan arah datangnya gelombang (*head sea*) akan mengakibatkan datangnya gelombang yang berturut-turut menjadi lebih cepat dan gelombang akan memiliki periode yang lebih pendek. Sebaliknya, jika kapal bergerak pada kondisi *following sea* (kapal searah dengan datangnya gelombang) akan semakin menjauh

dari gelombang, dan memiliki periode yang lebih panjang. Jika gelombang datang dari salah satu sisi kapal, maka tidak akan ada perbedaan antara periode gelombang dengan periode yang dialami oleh kapal. Periode tersebut secara umum disebut sebagai periode encountering.

## 2.6. Olah Gerak Kapal dalam Enam Derajat Kebebasan

Olah gerak kapal pada gelombang yang kompleks hanya dapat dianalisa dan dipelajari dengan membagi menjadi beberapa komponen gerakan. Metode pembagian komponen yang pertama adalah komponen gerakan translasi, yaitu *surging* terhadap sumbu-*X*, *swaying* terhadap sumbu lateral-*Y*, *heaving* terhadap sumbu vertikal-*Z*. Secara berurutan terhadap sumbu yang sama adalah gerakan rotasi, yaitu *rolling*, *pitching*, *yawing*. Pada Tabel 2. 3 ditunjukkan mode enam (6) derajat kebebasan kapal :

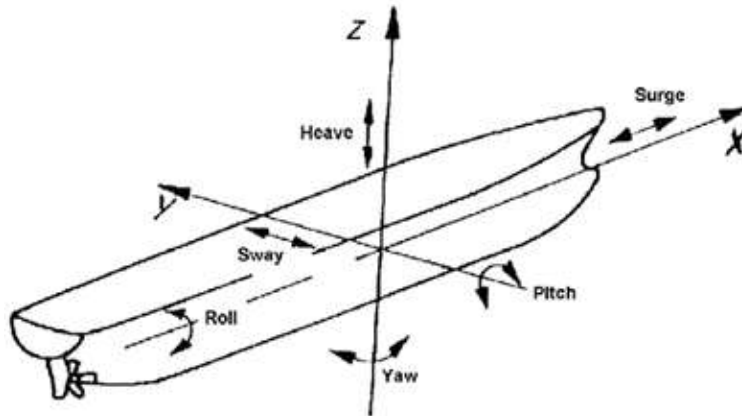
Tabel 2. 3 Mode derajat kebebasan pada gerakan kapal

Nama Gerakan	Model	Sumbu Positif	Simbol
Surge	Translasi	Front	X
Sway		Starboard	Y
Heave		Up	Z
Roll	Rotasi	Starboard Down	$\phi$
Pitch		Bow Up	$\theta$
Yaw		Bow to Port	$\chi$

Sumber : (Bhattacharrya, 1978)

Meskipun telah membagi olah gerak kapal kedalam 6 mode gerakan, pada prinsipnya untuk dapat menjelaskan secara lengkap mengenai permasalahan olah gerak kapal yang rumit, pada analisis teoritis terhadap olah gerak kapal tetap masih membutuhkan penyederhanaan terhadap permasalahannya. Pertama, dengan mengasumsikan bahwa perilaku olah gerak kapal berada dalam kondisi gelombang harmonis sederhana (*regular waves*). Selanjutnya, menganalisis perilaku kapal dalam gelombang acak yang sesuai dengan kondisi pelayaran (*irregukar waves*), yang merupakan suatu representasi dari komponen gelombang regular dengan jumlah yang sangat besar, sehingga dapat diambil hasil akhir sebagai respons kapal

dalam gelombang acak (T. Perez, M. Blanke, 2002). Konfigurasi keenam olah gerak kapal diilustrasikan pada Gambar 2. 7.



Gambar 2. 7 Konfigurasi umum dan konvensi simbol terhadap gerakan kapal

Sumber : (T. Perez, M. Blanke, 2002)

Dari keenam mode olah gerak kapal, hanya tiga gerakan (*heaving, rolling, pitching*) yang merupakan gerakan osilasi alami, ketiga jenis olah gerak kapal tersebut bekerja karena pengaruh gaya atau momen akibat gelombang yang mempengaruhi kapal dari posisi keseimbangan awalnya. Pada mode olah gerak *surging, swaying, dan yawing*, kapal tidak akan kembali ke posisi kesetimbangan awalnya meskipun gaya yang mempengaruhi atau momen yang mengakibatkan olah gerak kapal bekerja dari arah yang berlawanan dengan arah hadap kapal. Berikut merupakan rumusan secara numerik berdasarkan teori (Bhattacharrya, 1978) :

a. Rumusan yang terkait dengan gerakan *heaving*

$$F1(y) = -a x \ddot{Z} \quad (\text{Gaya Inersia})$$

$$F0(y) = B x \dot{Z} \quad (\text{Damping Force})$$

$$F2(y) = C x Z \quad (\text{Restoring Force})$$

$$F = F0 x \cos \omega_e x t \quad (\text{Exciting Force})$$



Dimana :

$a$  = massa kapal

$\ddot{Z}$  = percepatan vertikal

$C$  = konstanta pengembali

$Z$  = displacement kapal pada pusat gravitasi

$F_0$  = amplitude of encountering

$\omega_e$  = circular frequency of the encountering force

$t$  = waktu

b. Rumusan yang terkait dengan gerakan *rolling*

$$a \frac{d^2\phi}{dt^2} + b \frac{d\phi}{dt} + c\phi = M_0 \times \cos \omega_e \times t$$

Dimana :

$$a \frac{d^2\phi}{dt^2} = \text{Momen Inersia}$$

$a$  = massa kapal

$b \frac{d\phi}{dt}$  = damping moment

$b$  = koefisien damping moment

$\frac{d\phi}{dt}$  = kecepatan sudut

$c$  = koefisien momen

## 2.7. Sloshing

*Sloshing* berhubungan dengan berbagai permasalahan sistem dinamis dan masalah pada teknik, seperti osilasi cairan dalam tanki untuk penyimpanan skala besar yang disebabkan oleh gempa bumi, gerakan bahan bakar cair dalam pesawat, gerakan cairan dalam wadah dan aliran air di geladak kapal. Perilaku dinamis dari sistem ini sangat dipengaruhi oleh dinamika permukaan cairan bebas

dan sangat penting karena berkaitan dengan keamanan sistem transportasi, kehidupan manusia dan lingkungan.

Gerakan fluida dalam tanki yang terisi cairan sebagian dapat menyebabkan beban struktur yang besar jika periode gerak tanki dekat dengan periode natural cairan di dalam tanki, fenomena ini disebut *sloshing*. *Sloshing* berarti gerakan yang terjadi pada permukaan cairan bebas di dalam wadah. Tergantung pada jenis gangguan/gaya yang terjadi dan bentuk wadahnya, permukaan cairan bebas dapat mengalami berbagai jenis gerak termasuk planar sederhana, non-planar, rotasi, gaya tidak teratur, simetris, asimetris, quasiperiodic dan gaya tidak impact. Amplitudo dalam *Sloshing*, secara umum, tergantung pada sifat, amplitudo dan frekuensi gerakan tanki, cairan, sifat cair dan geometri tanki.

Gerakan cairan di dalam wadah memiliki jumlah frekuensi alami tak terbatas, tetapi beberapa mode terendah yang paling mungkin ditemukan yaitu pada gerakan kendaraan. Namun, efek non-linear menghasilkan frekuensi respon maksimum yang sedikit berbeda dari frekuensi natural linear dan bergantung pada amplitudo. Perilaku dinamis dari permukaan cairan bebas tergantung pada jenis eksitasi dan frekuensi. Eksitasi dapat impulsif, sinusoidal, periodik dan acak.

Ketika frekuensi gerakan tanki dekat dengan salah satu frekuensi alami dari cairan tanki, amplitudo *Sloshing* yang besar dapat kemungkinan terjadi. Jika kedua frekuensi yang cukup dekat satu sama lain, maka resonansi akan terjadi. Pada dasarnya, faktor redaman tergantung pada tinggi, viskositas kinematik cair dan dimensi tanki. Dari sudut pandang ini, kita bervariasi tingkat mengisi tanki, tanki frekuensi dan amplitudo eksitasi untuk mempelajari efek pada respon tekanan.

Kapal pengangkut LNG (*LNG Carriers*) untuk pelayaran samudera dengan sistem kargo tidak diizinkan dalam pengisian muatan (*filling level*) dengan ketinggian di bawah 10% (Hosain, 2018). Alasan utama dari pembatasan ini karena adanya beban *Sloshing* (*Sloshing impact*) yang sangat tinggi apabila pengisian muatan di bawah standar yang ditentukan.

Secara aplikasi, pertimbangan mengenai pengisian sebagian (*partial filling*) dari LNG sangat dianjurkan dalam operasionalnya. Kapal harus mempertimbangkan ketinggian gelombang selama operasional. Solusi

pengecahan dari *Sloshing* impact adalah dengan memperbanyak jumlah tanki dan mendesain ulang bentuk tanki sehingga dimensinya tidak terlalu luas yang akan menyebabkan besarnya ruang gerak air. Prosedur dalam penilaian *Sloshing* (*Sloshing assessment*) terdiri dari dua tahap. Tahap pertama adalah menghitung estimasi global ship motion dalam pertimbangan gelombang yang mempengaruhi pengisian sebagian (*partial filling*) pada tanki. Sedangkan tahap kedua adalah perhitungan *Sloshing* menggunakan daerah perairan yang telah dipilih sebelumnya.

Pada umumnya, gerak *Sloshing* di dalam tanki tidak dimasukkan dalam analisis konvensional seakeeping karena terlalu rumit. Dalam perhitungan seakeeping, cairan di dalam tanki dianggap sebagai rigid mass. Namun secara teori dan eksperimen telah membuktikan bahwa hubungan antara *Sloshing* dan perilaku gerak kapal dapat menyebabkan efek yang signifikan terutama dalam sudut pandang gerak *pitching* dan *heaving*. (Zhao, 2015). Gelombang pada *Sloshing* akan membentuk gelombang yang berbeda yang bergantung pada kedalaman cairan dan frekuensi osilasi. Ada empat jenis gelombang yang mungkin terjadi yaitu ; *standing wave*, *traveling wave*, *hydraulic jump* dan kombinasi dari semua itu. Untuk cairan dangkal yang berosilasi pada frekuensi yang jauh lebih rendah dari frekuensi resonansi, maka *standing wave* akan terbentuk. Saat frekuensi meningkat, *standing wave* berubah menjadi *traveling wave* dengan panjang gelombang yang sangat pendek. Sedangkan *hydraulic jump* akan terjadi karena gangguan kecil dan muncul di atas rentang frekuensi dekat frekuensi resonansi. Saat frekuensi meningkat lebih besar, *hydraulic jump* akan berubah menjadi *soliter wave*. Untuk cairan lebih dalam, *sloshing* yang dekat resonansinya, akan ditandai dengan pembentukan amplitudo yang besar pada *standing wave*. Gelombang ini asimetris saat terjadi amplitudo besar. (Zhang, 2015)

Liquid *Sloshing* dapat membuat dua jenis tekanan dinamis. Tekanan tersebut disebut tekanan non-impulsif dan impulsif. Tekanan Impulsif adalah tekanan yang berdampak cepat karena dampak antara cairan dan permukaan yang solid. Biasanya terjadi pada *hydraulic jump* dan *traveling wave*. Tekanan non-impulsif adalah tekanan dinamis biasa dalam cairan berosilasi. Mereka perlahan-

lahan berubah pada tekanan yang dihasilkan dari standing wave. Tekanan yang berdampak paling parah terjadi di dekat permukaan air diam atau di persimpangan mendadak dinding tanki. Variasi tekanan ini bukanlah harmonik atau periodik, meskipun eksitasi eksternal harmonik. Untuk diberikan cairan kedalaman / rasio lebar tanki dan frekuensi osilasi, tekanan sloshing pada umumnya sebanding dengan berat jenis cairan, dimensi linear dari tanki dan amplitudo eksitasi tanki. Pada amplitudo eksitasi tinggi tanki, tekanan sloshing kurang sensitif terhadap amplitudo eksitasi karena efek pelunakan non-linear. (Bulian, 2018)

Tingkat beban sloshing dan beban tekanan dinamis menyertainya tergantung pada geometri tanki, kedalaman cairan, amplitudo dan sifat gerakan tanki. Mereka juga tergantung pada frekuensi eksitasi pada rentang frekuensi dekat dengan frekuensi alami dari fluida. Untuk kedalaman dangkal cair, sloshing ditandai dengan lompatan hidrolik. Dalam gulungan eksitasi, kedalaman cairan mempengaruhi frekuensi di mana hydrolic jump akan terjadi dan menurun seiring kedalaman cairan meningkat (Grotle, 2018). Rentang frekuensi mana melompat akan ada juga dipengaruhi oleh lokasi sumbu pitch. Untuk osilasi gulungan pada sumbu tetap, amplitudo gelombang sloshing meningkat secara linear dengan amplitudo eksitasi tanki. Tingkat kenaikan lebih lambat pada tinggi amplitudo eksitasi tanki. Berikut merupakan rumusan secara numerik analisa sloshing :

a. Eksitasi Slohing

$$\dot{\zeta}(t) = \sum_{i=5}^n \zeta_{on} \omega_n \cos(\omega_n t + \varepsilon_n)$$

Dimana :

$$\zeta_{on} = \sqrt{2(S\zeta(\omega))} = \text{amplitudo eksitasi}$$

$$\varepsilon_n = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_o m_4}} = \text{sudut fase eksitasi}$$

b. Pemodelan Aliran Turbulen

$$\Omega(t) = \Omega + \Omega'(t)$$

Dimana :

$\Omega(t)$  = sifat fluida terhadap waktu

c. K-epsilon

$$\nu_t = C_\mu \frac{k_t^2}{\varepsilon_t}$$

Dimana :

$\nu_t$  = viskositas turbulen

$C_\mu$  = konstanta, 0.09

$\varepsilon_t$  = energi kinetik turbulen

d. Persamaan Volume Fraction

$$\frac{1}{\rho_q} \left[ \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) \right] = S_{\alpha q} + \sum_{p=1}^n (m_{pq} - m_{qp})$$

Dimana :

$m_{pq}$  = perpindahan massa dari fase p ke q

$m_{qp}$  = perpindahan massa dari fase q ke p

$\sum_{p=1}^n$  = volume fraction = 1

e. Persamaan Momentum

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v})) = -\nabla p + \nabla [\mu (\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

Persamaan momentum ini merupakan hasil diantara kedua fase kecepatan.

Dengan rasio viskositas yang lebih dari  $1 \times 10^3$  dapat mengakibatkan fenomena konvergensi akibat melakukan proses iterasi.

## 2.8. Metode CFD (Computational Fluid Dynamic)

Kemampuan CFD dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat penggunaan CFD sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia engineering. Penggunaannya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi-aplikasi keilmuan. CFD dapat digunakan untuk menghasilkan prediksi kualitatif dan terkadang bahkan prediksi kualitatif dalam aliran fluida, hal ini banyak dilakukan dengan menggunakan beberapa metode:

- a. Model matematik (PDE)
- b. Metode numeric (diskritisasi dan teknik solusi)
- c. Perangkat lunak

CFD digunakan oleh para desainer untuk melakukan sebuah eksperimen numerik dalam sebuah virtual laboratorium. Dalam karakteristik aliran, CFD dapat memperlihatkan pola-pola aliran yang lebih detail dan akurat yang akan sulit dan mahal, bahkan tidak mungkin dilakukan dengan menggunakan teknik eksperimen. Salah satu contoh aplikasi yang telah dilakukan adalah dalam analisa mendapatkan gaya-gaya dan efek dari sebuah riset yang memiliki sangat panjang dan berada didalam laut dalam.

## 2.9. Independent Tanks Type C

Tangki ruang muat terpisah (*Independent Cargo Compartment*) adalah jenis tangki ruang muat yang tidak menyalurkan tekanan sebagai pembebanan pada lambung kapal ketika diisi muatan. Sehingga, hanya berat tangki & berat muatan yang disalurkan terhadap lambung kapal. Tangki ruang muat didesain sedemikian hingga mencegah tangki dari pergeseran baik kedepan maupun ke belakang atau ke sisi samping kanan dan kiri serta ke atas dan ke bawah. Tangki ruang muat terpisah terbagi kedalam 3 tipe : A, B, dan C. Pengklasifikasian ini didasarkan pada toleransi maksimum tangki dan penggunaan dari dinding pemisah. Tangki tipe A memiliki karakteristik kekuatan yang paling lemah, dan mewajibkan penggunaan dinding pemisah secara penuh. Tangki tipe B memiliki kekuatan yang lebih baik daripada tangki tipe A, dan hanya memerlukan pemakaian dinding pemisah secara tidak

menyeluruh. Tangki tipe C adalah jenis tangki bertekanan tanpa penggunaan dinding pemisah.

Tangki Independent tipe C merupakan *spherical tanks* maupun *cylindrical tanks* dengan kapasitas tangki antara 300 m<sup>3</sup> hingga 2500 m<sup>3</sup>. Tangki jenis ini pada umumnya terbuat dari carbon manganese steel, 2-5% *nickel steel* atau *acid-proof stainless steel*. Tangki jenis ini juga memiliki tingkat keamanan yang tinggi, sehingga tidak membutuhkan penggunaan dinding pemisah. Tangki jenis ini pada umumnya digunakan untuk kapal gas carriers dengan kondisi muatan adalah *fully-pressurised* dan *semi-pressurised*.

## **2.10. Keselamatan LNG Storage berdasarkan IGDC Code**

Keamanan kapal dijamin melalui empat tingkatan atau lebih dikenal dengan *four-tiered barrier*. Perencanaan keamanan didesain dalam empat tingkat, yang pertama adalah keamanan intrinsik peralatan. Kedua adalah jarak aman di dalam *bunkering vessel*. Tingkat ketiga adalah memastikan sistem instrumen keamanan, *emergency shutdown* dan *release system*. Tingkat keempat adalah pelatihan personil dan operasi. Pada tier pertama yaitu, mengenai keamanan intrinsik peralatan, tangki penyimpanan LNG merupakan salah satu hal yang juga diperhatikan.

Pengisian LNG pada dasarnya berbeda dari bahan bakar minyak. Di lingkungan atmosfer, bahan bakar minyak dalam keadaan cair, jadi penyimpanan, transportasi dan pengisiannya pada dasarnya di bawah pengaruh medan gravitasi. Namun, LNG masuk keadaan gas di lingkungan atmosfer, jadi di proses penyimpanannya, transportasi dan pengisian, suhunya dan tekanan harus dikontrol untuk menjaga status cairannya. Oleh karena itu, operasinya terkait dengan medan gravitasi serta bidang temperatur dan bidang tekanan. LNG dipasok ke kapal penerima LNG harus pada suhu rendah untuk memfasilitasi penyimpanan bahan bakar di tangki penerima LNG.

Kontrol suhu dan tekanan bahan bakar LNG terkait dengan dengan jenis tangki penyimpanan. menurut *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk* (IGC Code) ditetapkan oleh *International Maritime Organization* (IMO), tangki LNG terutama dibagi menjadi

tangki membran dan independen tank, serta dibagi lagi menjadi tipe A, tipe B dan tipe C (IMO, 2016). Tangki membran, tipe A dan tipe B tank adalah tangki tekanan normal, dan tank Tipe C milik tangki tahan tekanan. Dalam ponton LNG bunkering, *boil off gas* (BOG) disimpan dan tank disusun pada dek, jadi itu adalah yang paling layak untuk mengadopsi tank Tipe C.

Tagki penyimpanan tipe C dibagi lagi menjadi tangki isolasi *single-wall foam* dan tangki insulasi *double-wall vacuum*. Menurut aturan saat ini, maksimum volume tangki tunggal dari *LNG bunkering vessel* adalah 300 m<sup>3</sup> dan rasio luas permukaan volume yang sesuai, jadi lapisan isolasi harus lebih tebal jika mengadopsi insulasi *busa dinding tunggal tangki diadopsi*. Hubungan antara penguapan rate dan ketebalan lapisan isolasi dari tangki diplot sesuai dengan pengukuran dan pengalaman industri. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat penguapan sehari-hari pada *LNG bunkering vessel* umumnya dikendalikan di bawah 0,30%. Sedangkan untuk tangki dengan kapasitas penyimpanan 250 m<sup>3</sup>, ketebalan lapisan isolasi akan melebihi 1 m jika insulasi yang diadopsi adalah *foam*, namun hal itu dapat dikontrol dalam ketebalan lapisan 200 mm jika insulasi yang diadopsi adalah jenis *vacuum*. Fakta ini menyimpulkan bahwa tangki dengan kapasitas penyimpanan 250 m<sup>3</sup>, insulasi *foam* kurang sesuai jika diaplikasikan di kapal sehingga tangki dengan isolasi jenis *double-wall vacuum* adalah sebuah pilihan optimal. (Hongjun, 2018)

LNG yang didistribusikan menggunakan kapal diharuskan memenuhi persyaratan khusus yang mengatur konstruksi dan peralatan untuk kapal yang memuat gas dalam bentuk cair (*liquid*), persyaratan khusus tersebut terdapat didalam IGC code – *International Codes for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gas in Bulk*. Salah satu hal yang diatur dalam peraturan tersebut adalah batas pengisian muatan LNG atau yang sering disebut sebagai *filling level*, dimana secara umum IGC-Codes mengatur bahwa *filling level* tidak melebihi batas maksimum 98% dari ketinggian tangki, sedangkan untuk keperluan proses insulasi sebagai sistem pendinginan tangki ketika proses unloading selesai, *filling level* minimum dari media yang digunakan berkisar antara 10-15% dari ketinggian tangki LNG. *Filling level* memiliki pengaruh pada tekanan statis dan frekuensi natural dalam kaitannya terhadap permasalahan sloshing. Hal tersebut



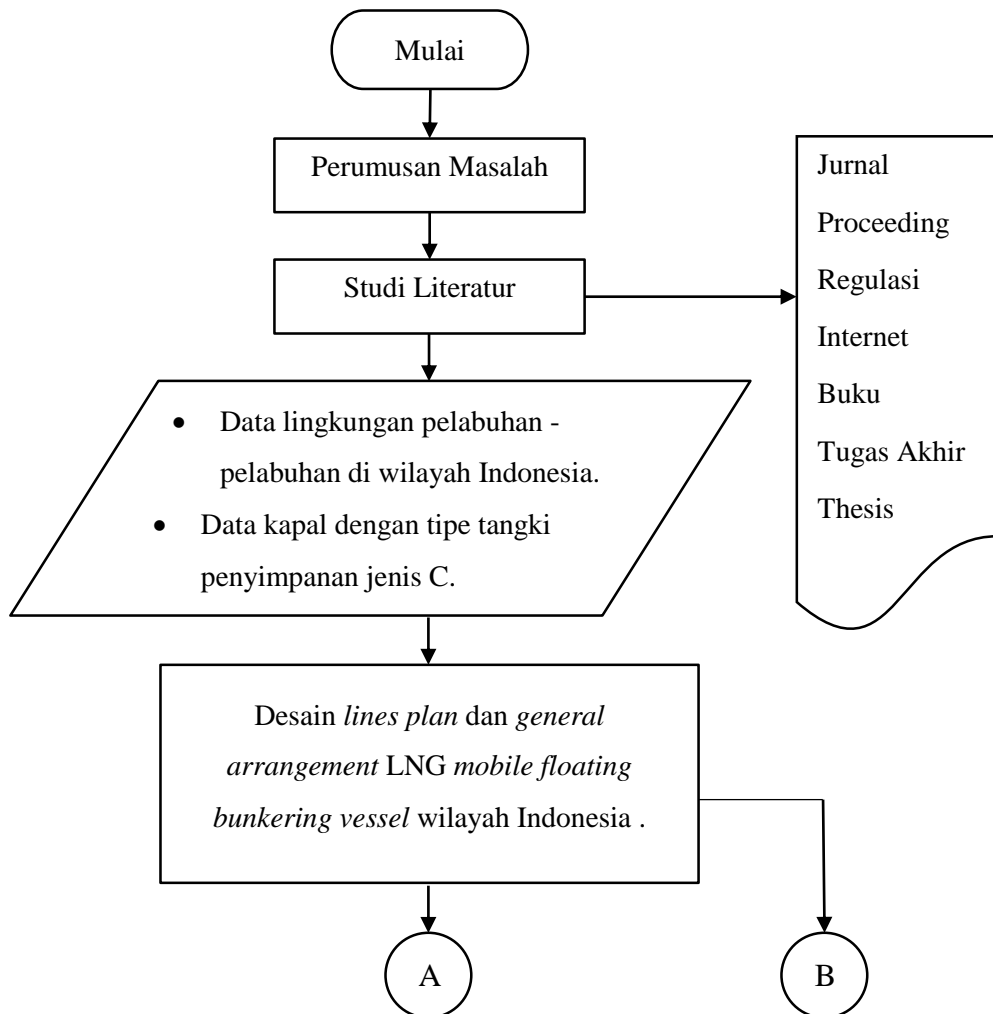
juga akan mengakibatkan implikasi pada pemodelan sloshing menggunakan CFD, dimana model CFD harus dapat menunjukkan tingkat ketepatan besaran fluida primer pada sistem (Soren, 2014).

Halaman ini sengaja dikosongkan

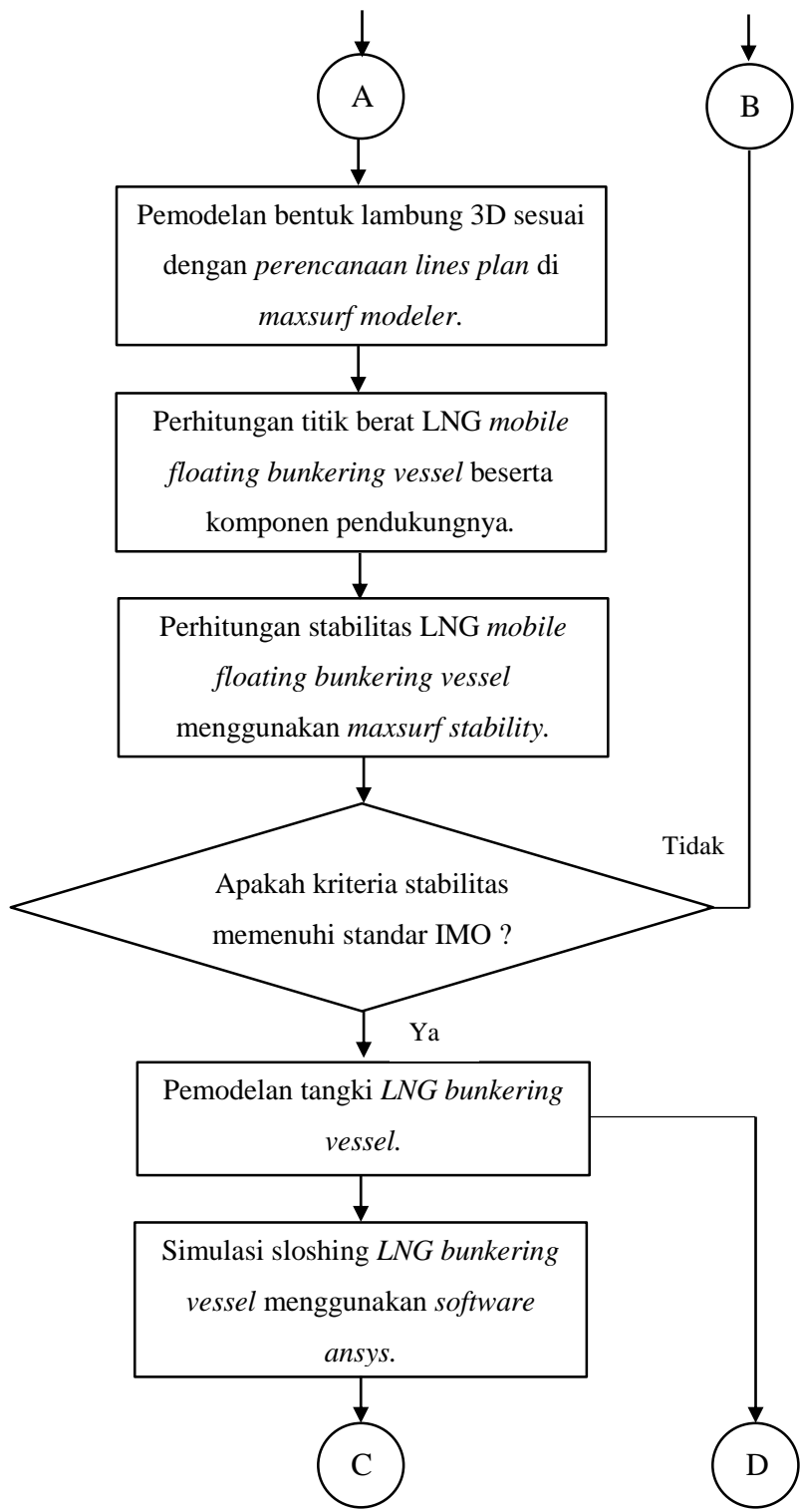
### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

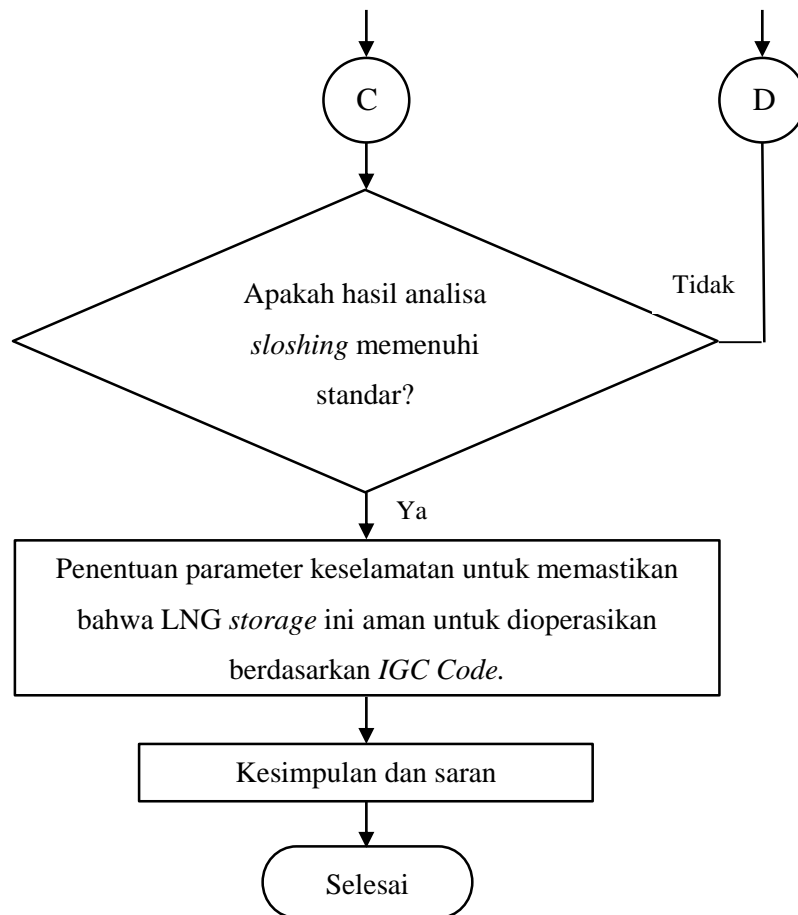
Dalam merencanakan penelitian yang akan dilakukan, penting untuk membuat sebuah kerangka. Kerangka atau bisa disebut metodologi bertujuan untuk memberikan platform struktur sehingga indikator pengerjaan lebih cepat dan tepat dengan hasil yang optimal. Oleh karena itu pada Gambar 3. 1, akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan. Tahapan penelitian ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam penyusunan thesis ini secara berurutan. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian



Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian (Lanjutan)

### 3.1. Perumusan Masalah

Tahap awal dalam sebuah kajian penelitian adalah melakukan penyusunan rumusan masalah yang nantinya point ini akan dijadikan sebagai platform penyelesaian thesis. Perumusan masalah didasarkan pada topik thesis yang telah ditentukan sebelumnya yaitu mengenai desain dan analisa LNG *mobile floating bunkering vessel* di wilayah Indonesia Timur. Desain pada penelitian ini dispesifikasikan menjadi tiga tahapan yaitu desain *lines plan*, desain *general arrangement* dan desain bentuk lambung 3D, sedangkan untuk analisa dibagi menjadi 2 tahapan yaitu analisa dari segi stabilitas dan analisa pengaruh sloshing terhadap struktur tangki LNG *mobile floating bunkering vessel*.

### 3.2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pendalaman teori untuk memperkuat dasar dan analisa yang akan dilakukan, studi literatur terkait desain *vessel*, tipe tangki LNG, stabilitas, *heading angle*, dinamika gerakan *pitching* dan *heaving* kapal serta *sloshing* perlu dipelajari lebih mendalam. Selain itu persiapan dalam penguasaan *software* pendukung sebagai *tools* untuk mengerjakan obyek penelitian juga perlu dipelajari. *Software* yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *maxsurf* dan *ansys* seperti yang terlihat pada Gambar 3. 2, dimana *maxsurf* sendiri akan digunakan dua jenis yaitu *maxsurf modeler* sebagai *tools* untuk membuat model lambung 3D dan *maxsurf stability* untuk menganalisa stabilitas dari objek yang akan dijadikan sebagai penelitian. *Software ansys* akan digunakan sebagai perangkat untuk menganalisa pengaruh *sloshing* terhadap struktur tangki LNG *bunkering vessel*.



Gambar 3. 2 Logo *software (student base)* yang akan digunakan dalam analisa penelitian

### 3.3. Pengambilan Data

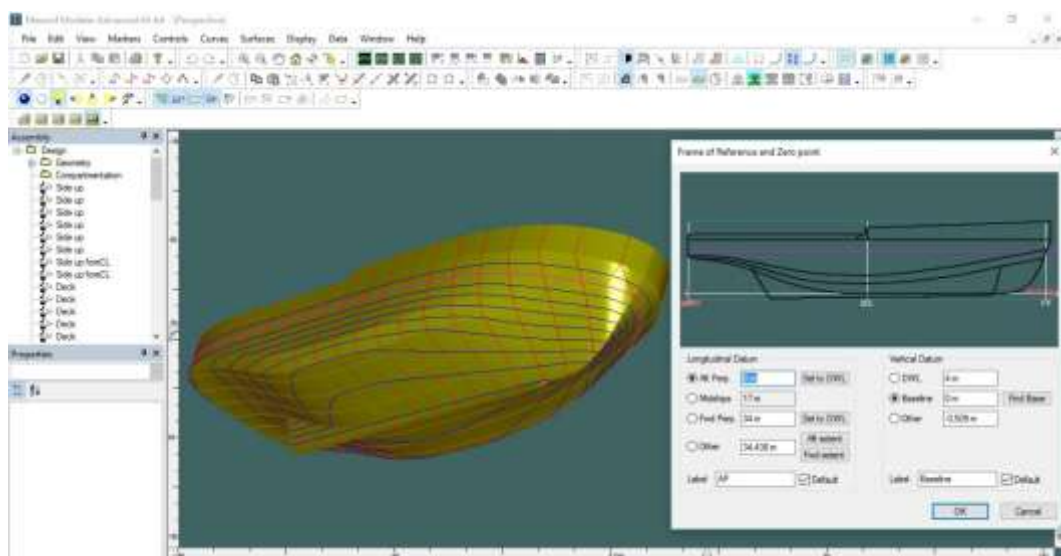
Pengambilan data mengenai kebutuhan bahan bakar LNG di wilayah Indonesia Timur serta rute kapal yang membutuhkan suplai bahan bakar LNG. Data yang didapat akan dijadikan sebagai acuan desain penentuan kapasitas tangki LNG *bunkering* yang dibutuhkan dan terkait dengan karakteristik rute pelayaran yang akan dijadikan wilayah operasi LNG *mobile floating bunkering vessel*. Dari berbagai jenis tipe tangki LNG, tangki yang dipilih merupakan tangki yang sesuai dengan ukuran *vessel* maupun kapasitas yang dibutuhkan oleh demand. Data yang dibutuhkan terkait dengan berapa ketinggian gelombang di wilayah tersebut sehingga desain *draft vessel* yang dibuat akan mampu beroperasi di wilayah tersebut.

### 3.4. Desain Lines Plan dan General Arrangement

Setelah mengetahui parameter desain yang dibutuhkan maka desain *lines plan* dan *general arrangement* bisa dibuat. Ukuran utama *vessel* berdasarkan tahapan pengambilan data sebelumnya sehingga besarnya disesuaikan pula dengan kebutuhan LNG pada tangki *storage* didalamnya. *General arrangement* dibuat dengan memanfaatkan penggunaan ruangan seefisien mungkin dengan memperhatikan tata letak komponen pendukung dan sistem perpipaan saat dibuat kontruksinya. Perletakan tata letak yang baik akan berpengaruh pada perhitungan titik berat sehingga didapatkan kapal yang mendekati *even keel* dengan kondisi tanpa muatan ataupun dengan muatan.

### 3.5. Pemodelan Bentuk Lambung 3D

Pemodelan bentuk lambung 3D dibuat setelah gambar rencana garis atau *lines plan*. Pemodelan lambung ini penting dilakukan karena sebagai acuan untuk menganalisa stabilitas *bunkering vessel* yang memuat tangki LNG. *Maxsurf modeler* merupakan salah satu *tools* yang digunakan untuk mengubah 2D *bunkering vessel* dalam bentuk CAD ke dalam visualisasi 3D. Gambar 3. 3 merupakan visualisasi dari pemodelan bentuk lambung 3D dengan menggunakan *software maxsurf modeler* dimana desain yang ditampilkan tersebut merupakan desain yang sudah ada dalam program *maxsurf* sebagai *sample design*.



Gambar 3. 3 Visualisasi pemodelan bentuk lambung 3D menggunakan *software maxsurf modeler*

### 3.6. Perhitungan Titik Berat

Titik berat *vessel* perlu untuk diperhitungkan sebelum dilakukan analisa stabilitas sehingga dapat diketahui posisi titik berat ketika *vessel* tidak memiliki muatan. Beberapa parameter yang dibutuhkan terkait dengan perhitungan titik berat adalah sebagai berikut :

- a. Daftar berat masing-masing komponen di *vessel*
- b. Daftar *LCG (Longitudinal Center of Gravity)* masing-masing komponen dengan mengukur titik berat komponen tersebut terhadap *midship vessel*.
- c. Daftar *VCG (Vertical Center of Gravity)* masing-masing komponen dengan mengukur titik berat komponen tersebut terhadap *baseline vessel*.
- d. Mengetahui titik berat lambung *poontons* berdasarkan pemodelan 3D yang telah dilakukan.

Setelah parameter perhitungan titik berat didapatkan maka proses perhitungan dapat dilakukan dengan mengalikan jarak titik berat terhadap beratnya masing-masing komponen. Banyaknya komponen perlu dikelompokkan menjadi empat bagian yaitu *hull construction* seperti pada Tabel 3. 1. Dalam tabel tersebut secara garis besar dibagi menjadi dua yaitu *skin plate* dan *deck plate*, dimana *skin plate* merupakan perhitungan kontruksi lambung yang dibagi menjadi 3 prosentase diantaranya 25% *fore*, 50% *middle*, dan 25% *after* (BKI, 2014).

Tabel 3. 1 Contoh template perhitungan titik berat komponen *hull constructions* pada *vessel*

<b>I. HULL CONSTRUCTIONS PART WEIGHT AND CENTER OFGRAVITY</b>										
<i>Steel SG =</i>			7.85	ton/m <sup>3</sup>						
<b>1. SKIN PLATE (source = "maxsurf modeler")</b>										
No.	Item	Unit	A	t	%	W	AP-G	M	KG	M
			m <sup>2</sup>	mm	profil	ton	m	ton.m	m	ton.m
1	25% <i>fore</i>									
2	50% <i>mid.</i>									
3	25% <i>after</i>									
<b>2. DECK PLATE (source dwg = "general arrangement")</b>										
1	<i>Main deck</i>									
Dst.										



Parameter perhitungan titik berat lainnya adalah komponen *equipment* seperti pada Tabel 3. 2, dimana dalam kelompok ini merupakan daftar perhitungan titik berat peralatan pada setiap deck yang kemudian dikalikan dengan masing-masing jarak terhadap *midship* dan *baseline*. Mengetahui perhitungan titik berat peralatan penting guna mengetahui apakah perletakannya sudah tepat dan seimbang antara sisi kanan maupun kiri *vessel*.

Tabel 3. 2 Contoh template perhitungan titik berat komponen *equipment* pada *vessel*

II. EQUIPMENT									
No.	Item		Weight (ton)		AP-G	Moment	KG	Moment	Dim.
	Name	Q/A	Unit	Tot.	m	ton.m	m	ton.m	cm
<b>MAIN DECK</b>									
1	Bollard								
2	Ladders								
Dst									
<b>Total</b>									

Perhitungan titik berat komponen pendukung seperti properti meja, kursi, tempat tidur, dinding pelapis ruangan yang menutupi konstruksi baja dan komponen *interior* lainnya diklasifikasikan dalam tabel tersendiri yang dapat dilihat seperti pada Tabel 3. 3 untuk kemudian dijumlah dan diperhitungkan dimana letak titik beratnya pada masing-masing deck di *vessel*.

Tabel 3. 3 Contoh template perhitungan titik berat komponen *interior* pada *vessel*

III. INTERIOR									
No.	Item		Weight (ton)		AP-G	Moment	KG	Moment	Dim.
	Name	Q/A	Unit	Tot.	m	ton.m	m	ton.m	cm
<b>MAIN DECK</b>									
1	CREW ROOM								
	Bed								
	Desk								
	Chair								
	Wall								
Dst									
<b>Total</b>									

Pengelompokan perhitungan titik berat terakhir adalah bagian *machinery* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. 4. Dalam pengelompokan ini terdapat data komponen permesinan seperti mesin utama, permesinan bantu, propeller dan lain sebagainya yang digunakan pada *vessel* beserta tata letaknya.

Tabel 3. 4 Contoh template perhitungan titik berat komponen *machinery* pada *vessel*

IV. MACHINERY									
No.	Item		Weight (ton)		AP-G	Moment	KG	Moment	Dim.
	Name	Q	Unit	Tot.	m	ton.m	m	ton.m	cm
1	Main Engine								
2	Aux. Engine								
Dst									
<b>Total</b>									

Setelah titik berat dihitung tiap pengelompokannya kemudian dibuat pada ringkasan seperti pada Tabel 3. 5 sehingga diketahui berapa titik berat dari keseluruhan komponen pendukung di atas *vessel*.

Tabel 3. 5 Contoh template ringkasan hasil perhitungan titik berat tiap pengelompokan

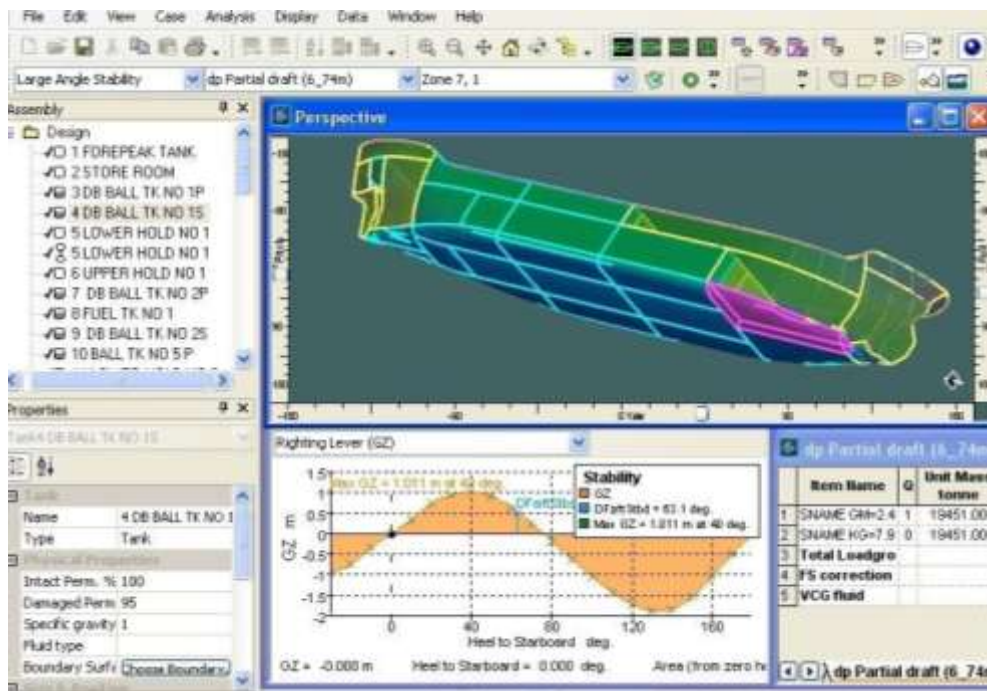
SUMMARY OF HULL CONSTRUCTIONS, EQUIPMENT AND INTERIOR						
No.	Item	W	AP-G	M	KG	M
		ton	m	ton.m	m	ton.m
I	HULL CONSTRUCTIONS					
II	EQUIPMENT					
III	INTERIOR					
IV	MACHINERY					
<b>TOTAL</b>						

### 3.7. Perhitungan Stabilitas

Perhitungan stabilitas dilakukan untuk mengetahui analisa stabilitas *bunkering vessel* dalam tiga kondisi yaitu 100% load, 50% load dan 0% load, artinya masing-masing analisa dalam kondisi muatan penuh, muatan setengah dan kondisi tanpa muatan. Analisa stabilitas menggunakan input model bentuk lambung 3D yang dibuat pada *software maxsurf modeler* sebelumnya, langkah selanjutnya adalah membuat *loadcase* dengan menginputkan data LWT (*lightweight*) berdasarkan perhitungan titik berat sebelumnya maupun DWT (*deadweight*) *vessel*,

dimana dalam menginputkan data dwt diuraikan kembali kedalam beberapa hal seperti berat ballast, air tawar, bahan bakar, pelumas, muatan, dsb. Kemudian DWT inilah yang akan divariasikan berdasarkan kapasitas muatannya pada kondisi 0%, dan 100%.

Analisa stabilitas didasarkan pada tipe kapal dan kriteria stabilitas yang dipilih. *Loadcase* yang telah diinput data kemudian di running dalam *software maxsurf stability* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 4 dan hasil analisa stabilas akan muncul kurva GZ dalam bentuk grafik maupun tabel, dalam bentuk tabel akan menunjukkan apakah stabilitas “*pass*” atau “*failed*”, artinya jika dalam tabel hasil analisa menunjukkan “*pass*” maka analisa stabilitas memenuhi kriteria standar yang ditentukan begitupula sebaliknya. Apabila hasil analisa menunjukkan “*failed*”, maka hal yang perlu dilakukan adalah memperhatikan kriteria apa yang menyebabkan stabilitas tidak memenuhi kriteria dan titik berat kapal dikondisikan sedemikian rupa dengan merencanakan ulang perletakan komponen, tangki maupun bentuk lambung yang mempengaruhi titik berat pada desain *lines plan* atau *general arrangement*.



Gambar 3. 4 Visualisasi analisa stabilitas menggunakan *software maxsurf stability*

### 3.8. Pemodelan Tangki

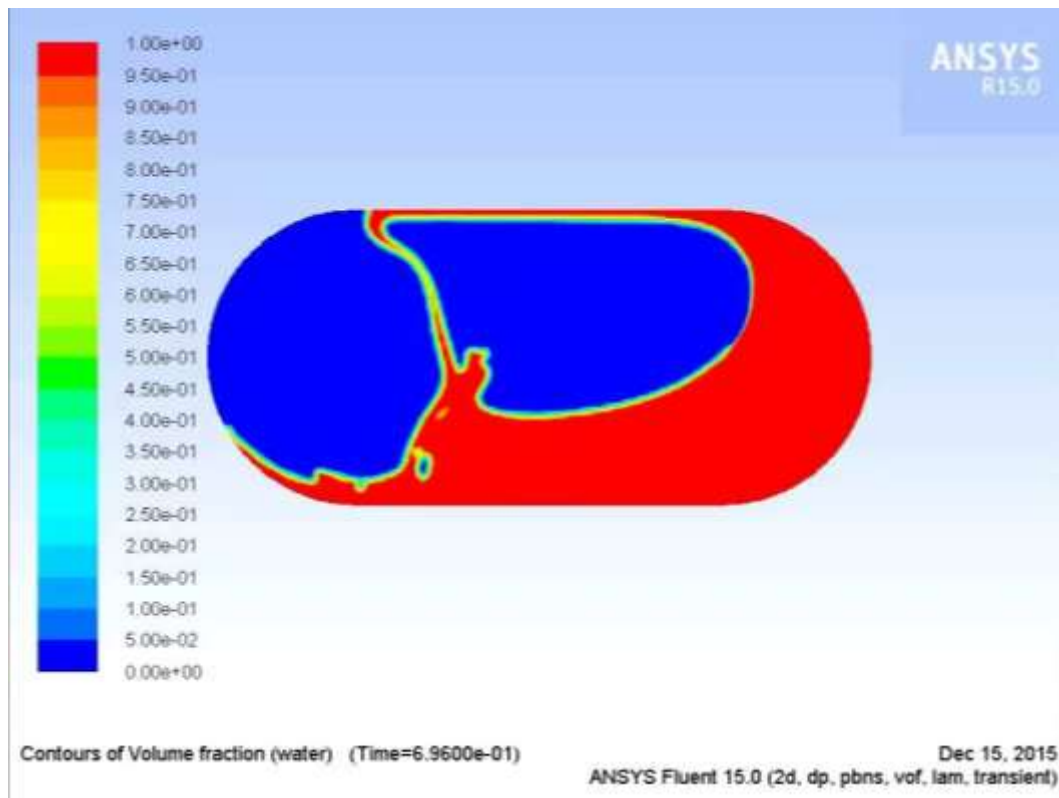
Berdasarkan metodologi penelitian yang dilakukan setelah diketahui hasil analisa stabilitasnya adalah pemodelan tangki LNG. Pemodelan ini guna mengetahui analisa sloshing LNG terhadap struktur tangki. Ukuran tangki disesuaikan dengan kebutuhan LNG sebagai bahan bakar dan kapasitas *vessel* yang didesain. Jenis tangki LNG dapat dibagi menjadi 4 kategori yaitu *integral tanks*, *membrane tanks*, *semi-membrane tanks* dan *independent tanks*. Tangki membran dan tangki semi-membran banyak digunakan dalam kapal LNG dengan kapasitas besar sehingga proses konstruksinya sangat rumit. Untuk jenis kapal LNG berskala kecil digunakan tangki tipe-C atau *independent tanks* yang memiliki banyak kelebihan seperti biaya pembuatan yang relatif lebih rendah, desain sederhana dan memiliki stabilitas yang baik (Yi-qun, 2012). Dalam penelitian ini dipilih tangki tipe-C sesuai dengan perencanaan *bunkering vessel* yang memiliki ukuran utama cenderung berskala kecil.

### 3.9. Simulasi Sloshing

Ada tiga tahapan dalam proses simulasi sloshing diantaranya adalah *preprocessing*, *solving* dan *postprocessing* yang dianalisa dengan menggunakan *software ansys fluent* seperti yang divisualisasikan pada Gambar 3. 5. Tahapan proses analisa adalah diawali dengan proses pemodelan tangki kemudian dilakukan pemeshingan, dalam tahap ini ditentukan *grid independence* serta menuliskan *user defined formulation* (UDF). Persamaan gerakanya (*velocity equation*) telah ditentukan dan diinputkan ke dalam *dynamic mesh* yang sama persis dengan langkah pemodelan gerakan LNG yang akan disimulasikan ini.

Sebelum gerakan fluida yang terjadi pada tanki LNG disimulasikan ke dalam *ansys fluent*, setiap model harus dibuat *meshing* sebaik mungkin. *Meshing* merupakan pembagian objek menjadi bagian atau elemen yang kecil. Karena output yang dihasilkan dalam *ansys fluent* tersebut merupakan perhitungan numerik yang terdiri dari elemen-elemen kecil sehingga hasilnya fluktuatif bergantung pada jumlah elemen yang dihasilkan. Semakin besar elemen yang dibuat maka hasilnya akan semakin akurat, namun disisi lain semakin besar

elemen yang dibuat maka kinerja numerik pada komputerisasi akan semakin besar sehingga membutuhkan performa tinggi. Pentingnya dilakukan analisa sloshing adalah untuk mengetahui pengaruh gerakan permukaan bebas LNG dalam tangki terhadap struktur tangki hingga dapat ditentukan pada *filling level* berapa tekanan kritis terbesar terjadi pada dinding tangki.



Gambar 3. 5 Visualisasi analisa sloshing menggunakan *software ansys fluent*

### 3.10. Penentuan Parameter Keselamatan dan Keamanan Tangki Berdasarkan IGC Code

Pengisian LNG pada dasarnya berbeda dari bahan bakar minyak. Di lingkungan atmosfer, bahan bakar minyak dalam keadaan cair, jadi penyimpanan, transportasi dan pengisiannya di bawah pengaruh medan gravitasi. Namun, LNG akan berubah fase menjadi gas di lingkungan atmosfer, jadi dalam proses penyimpanan, transportasi, pengisian, suhunya dan tekanan harus dikontrol untuk menjaga status cairannya. Kontrol suhu dan tekanan bahan bakar LNG terkait dengan jenis tangki penyimpanannya. Berdasarkan “*International Code for the*

*Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk*” (IGC Code) yang ditetapkan oleh *International Maritime Organization* (IMO), tangki tipe C merupakan tangki tahan tekanan dan sesuai untuk transportasi yang memiliki ukuran relatif dalam skala kecil. (IMO, 2016)

Keamanan dan keselamatan pada tangki *bunkering vessel* perlu direncanakan sebaik mungkin untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan. Perencanaan keamanan didesain dalam empat tingkat, yang pertama adalah keamanan intrinsik peralatan. Kedua adalah jarak aman di dalam *bunkering vessel*. Tingkat ketiga adalah memastikan sistem instrumen keamanan, *emergency shutdown* dan *release system*. Tingkat keempat adalah pelatihan personil dan operasi.

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Perencanaan Teknis Desain LNG *Mobile Floating Bunkering Vessel***

Suplai bahan bahan bakar LNG melalui *bunkering vessel* digunakan untuk mensuplai LNG ke kapal yang menggunakan bahan bakar LNG, kapal ini dapat mengakomodasi operator kapal dengan atau tanpa berlabuh di daerah pelabuhan. Metode suplai ini dapat mengurangi waktu antrian operator kapal. Pengisian bahan bakar menggunakan jasa *bunkering vessel* dapat dilakukan di sepanjang pelabuhan saat kapal bersandar atau dapat juga dilakukan saat di laut. Kapal yang memerlukan jasa pengisian bahan bakar LNG dapat melakukan lego jangkar dalam area yang aman di alur pelayaran barat Surabaya (APBS) dan menghubungi penyedia layanan pengisian bahan bakar LNG.

Dalam rangka menentukan ukuran utama *bunkering vessel* yang optimal untuk dioperasikan di wilayah Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dimulai dengan tahap perhitungan kebutuhan bahan bakar gas apabila kapal-kapal yang beroperasi di wilayah tersebut menggunakan gas sebagai bahan bakarnya. Hal ini dilakukan guna mendapatkan asumsi dalam menentukan ukuran utama *bunkering vessel* yang disesuaikan dengan keadaan pada daerah Alur Pelayaran Barat Surabaya. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai perencanaan teknis daripada desain LNG mobile floating bunkering vessel, hasil dari perencanaan teknis berupa desain *lines plan*, *general arrangement*, dan model 3D bentuk lambung.

##### **a. Perhitungan Kebutuhan Gas**

Tahap pertama yang dilakukan sebelum desain adalah menentukan perhitungan kebutuhan gas terlebih dahulu sehingga dapat ditentukan besarnya ukuran utama *bunkering vessel*. Data kapal yang masuk ke Pelabuhan Tanjung Perak meliputi tipe kapal, ukuran utama kapal, serta tujuan pelayaran. Dari data ini kemudian perlu dilakukan klasterisasi berdasarkan ukuran kapal, kemudian melakukan perhitungan terhadap kebutuhan konsumsi bahan bakar LNG. Dalam

penentuan kebutuhan bahan bakar LNG ini didasarkan pada power kapal (kW), *fuel gas consumption* (gr/kWh), dan waktu pelayaran kapal. Berikut merupakan data kebutuhan bahan bakar gas di pelabuhan Perak Surabaya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 1.

Tabel 4. 1 Total konsumsi bahan bakar minyak di Pelabuhan Perak Surabaya tahun 2006-2009

No.	Tahun	Kebutuhan Bahan Bakar (kL)
1.	2006	187.271,1
2.	2007	197.187,2
3.	2008	210.530,3
4.	2009	238.225,9
<b>Total</b>		<b>833.214,5</b>
<b>Rata-rata kenaikan per tahun</b>		<b>16.984,9</b>

Sumber : (Perhubungan, 2010)

Pada Tabel 4. 1 menunjukkan data statistik konsumsi bahan bakar LNG di pelabuhan Perak Surabaya yang disusun oleh Satuan Kerja Sekretariat Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Perhubungan, maka didapatkan rata-rata kenaikan bahan bakar sebesar 16.984,9 kL setiap tahunnya. Jadi total kebutuhan bahan bakar LNG di APBS berdasarkan data tersebut hingga tahun 2040 yaitu 764.758,8 kL. Dalam kajian ini difokuskan untuk mensuplai kebutuhan bahan bakar sebesar 25% dari total kebutuhan energi yang ada, alternatif penggunaan bahan bakar gas pada transportasi kapal dapat mendorong implementasi dilaksanakannya kebijakan pemerintah yang tertuang dalam Peraturan Presiden RI Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional dan peraturan internasional terkait pengaturan bahan bakar gas untuk kapal, diantaranya *International Maritime Organization* (IMO), IGF Code, MARPOL Annex VI, *International Organization for Standardization* (ISO) dan ISO 28460:2010 – *Installation and Equipment for LNG Ship to Shore Interface and Port Operations*.

Penggunaan bahan bakar alternatif berupa gas LNG diharapkan lebih efisien dan tentunya ramah lingkungan. Pentingnya kesiapan industri kapal dalam bertransformasi untuk mewujudkan lingkungan yang bersih dari polusi didorong oleh fakta semakin meningkatnya jumlah populasi kapal yang beroperasi khususnya



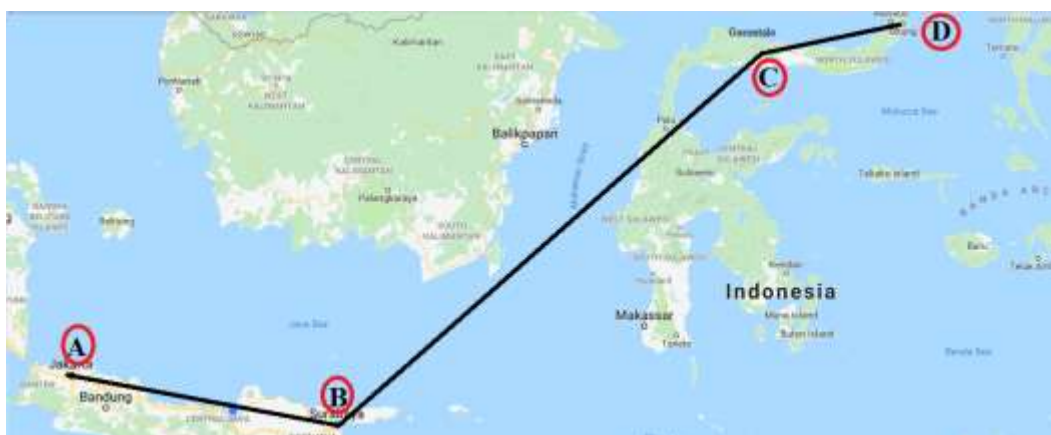
di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya sebagaimana menjadi fokus dalam kajian penelitian ini. Dalam kurun waktu delapan tahun populasi kapal di kawasan tersebut meningkat sebesar 20.4%, berikut merupakan pertumbuhan populasi kapal berdasarkan data syahbandar pelabuhan Tanjung perak ditunjukkan pada Tabel 4. 2. Data ini dijadikan sebagai dasar untuk menentukan potensi penggunaan alternatif bahan bakar gas sebagai pengganti bahan bakar minyak.

Tabel 4. 2 Data peningkatan jumlah populasi kapal di Pelabuhan Tanjung Perak

Tahun	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 – Nov.
Jumlah kapal	1045	945	1033	955	1027	944	404	861	1258

Sumber : (Syahbandar, 2018)

Selain peningkatan populasi kapal perlu diketahui bahwa tidak semua kapal yang merapat di pelabuhan Tanjung Perak mengisi bahan bakar. Gambar 4. 1 menunjukkan rute pada MV. Mamiri yang memiliki rute Tj. Priok (A) – Tj. Perak (B) – Gorontalo (C) – Bitung (D) – Tanjung Priok (A). Kapal jenis container ini memiliki panjang 149.58 m dan lebar 23.1 m melakukan bunkering atau pengisian bahan bakar sebanyak dua kali di pelabuhan Tj. Priok (A) dan Tj. Perak (B) masing-masing sejumlah 70 kL dan 115.56 kL. Kasus ini menunjukkan bahwa untuk pola pengisian bahan bakar tidak selalu dilakukan pada satu tempat saja, hal ini bisa terjadi karena keterbatasan volume tangki bahan bakar di kapal selain itu pertimbangan efisiensi waktu membuat bunkering dilakukan lebih dari satu tempat.



Gambar 4. 1 Contoh pengisian bahan bakar di dua lokasi pelabuhan

Setelah mengetahui konstruksi dasar menentukan kebutuhan bahan bakar di masa depan melalui pendekatan peningkatan jumlah bahan bakar dan peningkatan jumlah populasi kapal dari waktu ke waktu. Maka dapat diprediksi kebutuhan konsumsi energi bahan bakar minyak pada tahun 2040 sebesar 764.758,8 kL, jika dikonversi dalam satuan berat dengan densitas LNG sebesar 470 kg/m<sup>3</sup> maka besarnya kebutuhan di tahun tersebut adalah 359.436,65 ton. Melihat pertumbuhan populasi kapal dan peningkatan bahan bakar setiap tahun maka dalam skenario penelitian ini diasumsikan bahwa sebesar 25% dari kebutuhan energi bahan bakar minyak yang akan digantikan oleh bahan bakar LNG untuk mensuplai bahan bakar di kapal.

Kebutuhan 25% dari bahan bakar total adalah sebesar 89.859,16 ton. Berdasarkan *International Gas Union*, nilai konversi minyak ke dalam LNG adalah 0.82 dalam satuan ton (IGU, 2012). Berdasarkan penyetaraan tersebut maka besarnya LNG yang diperlukan untuk menggantikan 89.859,16 ton minyak adalah 73.684,51 ton LNG dalam kurun waktu satu tahun, sehingga kebutuhan rata-rata dalam sehari adalah 201,88 ton. Tabel 4. 3 merupakan ringkasan perhitungan kebutuhan gas untuk mengganti bahan bakar minyak di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

Tabel 4. 3 Ringkasan kebutuhan gas pengganti bahan bakar minyak di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Item	Nilai	Satuan
Rata-rata kenaikan bahan bakar minyak per tahun	16.984,90	kL
Kebutuhan bahan bakar minyak tahun 2040	764.758,80	kL
25% kebutuhan bahan bakar minyak tahun 2040	89.859,16	ton
Konversi 25% kebutuhan bahan bakar minyak ke gas	73.684,51	ton
Rata-rata kebutuhan gas tiap hari	201,88	Ton

Kebutuhan rata-rata LNG per hari dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan ukuran *mobile floating bunkering vessel*. Kapal pengangkut LNG tidak memiliki sistem pencairan didalamnya sehingga diperlukan pengaturan uap berupa *boil off gas* yang ditimbulkan dari kargo. BOG dikeluarkan dalam dua cara yang pertama yaitu dikeluarkan dengan venting atau membakarnya pada boiler. Jumlah

maksimum BOG yang dihasilkan adalah 0.15% volume kargo per hari (Maulidina, 2006). Selain kebutuhan rata-rata LNG di lokasi operasional, masalah BOG juga perlu dijadikan sebagai acuan dalam menentukan kapasitas *mobile floating bunkering vessel*. Kapasitas kargo LNG yang dibawa diasumsikan dapat mensuplai bahan bakar selama lima hari dengan mempertimbangkan volume maksimum BOG yang dihasilkan jika LNG terlalu lama disimpan di dalam tangki.

Skenario *supply chain* yang diasumsikan pada penelitian ini adalah *mobile floating bunkering vessel* akan mensuplai bahan bakar kapal ketika akan merapat dipelabuhan sehingga tidak perlu kapal merapat terlebih dahulu ketika akan dilakukan pengisian bahan bakar. *Mobile floating bunkering vessel* akan melakukan pengisian LNG di darat sehingga diasumsikan di pelabuhan terdapat storage LNG yang disuplai oleh LNG carrier dari Bontang dan mampu untuk menampung setidaknya 6.100 ton LNG. LNG Carrier akan mensuplai storage di darat dalam kurun waktu satu bulan sekali, dengan waktu tempuh 2 hari 6 jam dari pelabuhan Surabaya menuju Bontang.

#### **b. Desain Lines Plan LNG Mobile Floating Bunkering Vessel**

Penentuan payload dan desain kapal ini memperhatikan kondisi alur pelayaran dan kedalaman pelabuhan di daerah APBS. Data dari Kantor Syahbandar Tanjung Perak Surabaya menyatakan bahwa kondisi alur ini sangat padat akan pelayaran kapal dari dan menuju Pelabuhan Tanjung Perak, sehingga kapal ini harus didesain dengan memperhatikan ukuran kapal sehingga kapal ini lebih cepat dan fleksible dalam proses pengisian bahan bakar LNG. Prediksi kebutuhan bahan bakar hingga tahun 2040 untuk kapal penumpang di Pelabuhan Tanjung Perak dengan peningkatan 8.33% tiap tahunnya adalah sebesar 201.88 ton setiap harinya  $m^3$ , nilai ini akan digunakan dalam penentuan payload LNG *bunkering vessel*. Skenario dalam pengisian bahan bakar LNG adalah menggunakan 1 buah kapal dengan payload sebesar  $1400 m^3$  atau setara dengan ton LNG 658 ton, kapal akan melakukan isi ulang tangkinya setiap tiga hari sekali. Penentuan ukuran utama kapal menggunakan metode kapal pembanding yang telah dibangun dan beroperasi,

berikut merupakan data – data kapal pembanding seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 Data Kapal Pembanding

<i>Name/Owner</i>	<i>Delivery</i>	<i>Principle Dimension</i>
Seagas	2013	Lpp : 46.75 m Loa : 49.65 m B : 11.25 m T : 3.11 m Bunker Capacity 680 m <sup>3</sup> 
Engie Zeebrugge	2017	Loa : 101.8 m B : 18.4 m T : 4.8 m Vs : 14.9 kn Bunker Capacity 5100 m <sup>3</sup> 
Cardissa	2017	Loa : 119.9 m B : 19.4 m T : 5.8 m Vs : 13.0 kn Bunker Capacity 6500 m <sup>3</sup> 
Coralius	2017	Lpp : 92.21 m Loa : 99.73 m B : 17.97 m T : 5.7 m H : 12.06 m Vs : 13.5 kn 
Coralius	2017	Bunker Capacity 5800 m <sup>3</sup> Tonnage 6015 GT, DWT 3100 mtons Main engine 300 kW (Wartsila 6L34DF)
Oizmendi	2018	Loa : 80 m B : 15 m T : 1 m Vs : 5.3/9.3 kn Bunker Capacity 600 m <sup>3</sup> 
Coral Methane	2018	Loa : 117.8 m B : 18.6 m T : 5.7 m Vs : 15.1/13.7 kn Bunker Capacity 7500 m <sup>3</sup> Tonnage 7833 GT DWT 6018 ton 
FlexFueler1	2018	Lpp : 86.8 m Loa : 90 m B : 15.7 m H : 9.4 m T : 4.7 m Vs : 12.5 m Bunker Capacity 4000 m <sup>3</sup> 

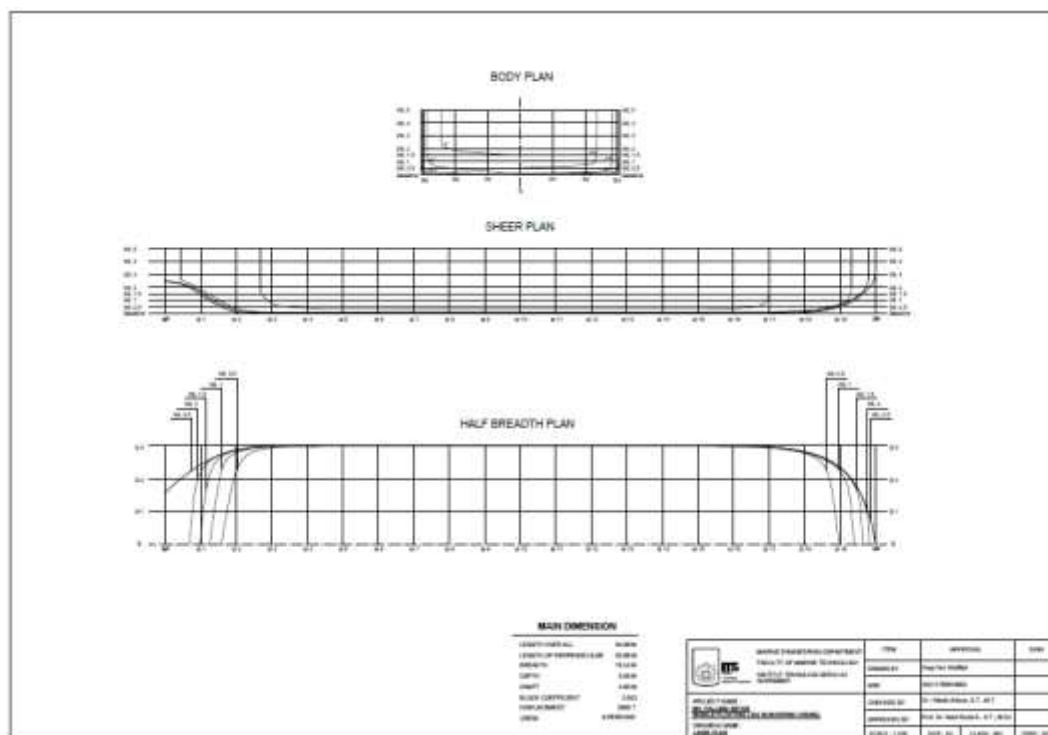
Tabel 4. 5 Data Kapal Pembanding (Lanjutan)

<i>Name/Owner</i>	<i>Delivery</i>	<i>Principle Dimension</i>
CLS Japan	2020	Loa : 81.7 m B : 18 m H : 4.78 m T : 2.5 m Bunker Capacity 3500 m <sup>3</sup> Tonnage 4100 GT



Dari delapan data kapal pembanding tersebut selanjutnya dilakukan perancangan *lines plan* atau rencana garis. Perancangan kapal meliputi gambar pandangan *body plan*, *half breadth plan*, dan *sheer plan*. Setiap pandangan saling terproyeksi satu dengan lainnya. Hasil rancangan garis dapat dilihat pada Gambar 4. 2, dengan ukuran utama sebagai berikut:

Loa : 54.86 m      B : 15.00 m      T : 4.00 m      DWT : 3000 DWT  
 Lpp : 53.66 m      H : 5.00 m      Cb : 0.822



Gambar 4. 2 Desain *lines plan* LNG mobile floating bunkering vessel

Kemudian dilakukan pengecekan batasan-batasan ukuran utama sebagai berikut:

$$L/B = 3.66 \quad \rightarrow \quad 3.5 < L/B < 10$$

$$B/T = 3.75 \quad \rightarrow \quad 1.8 < B/T < 5$$

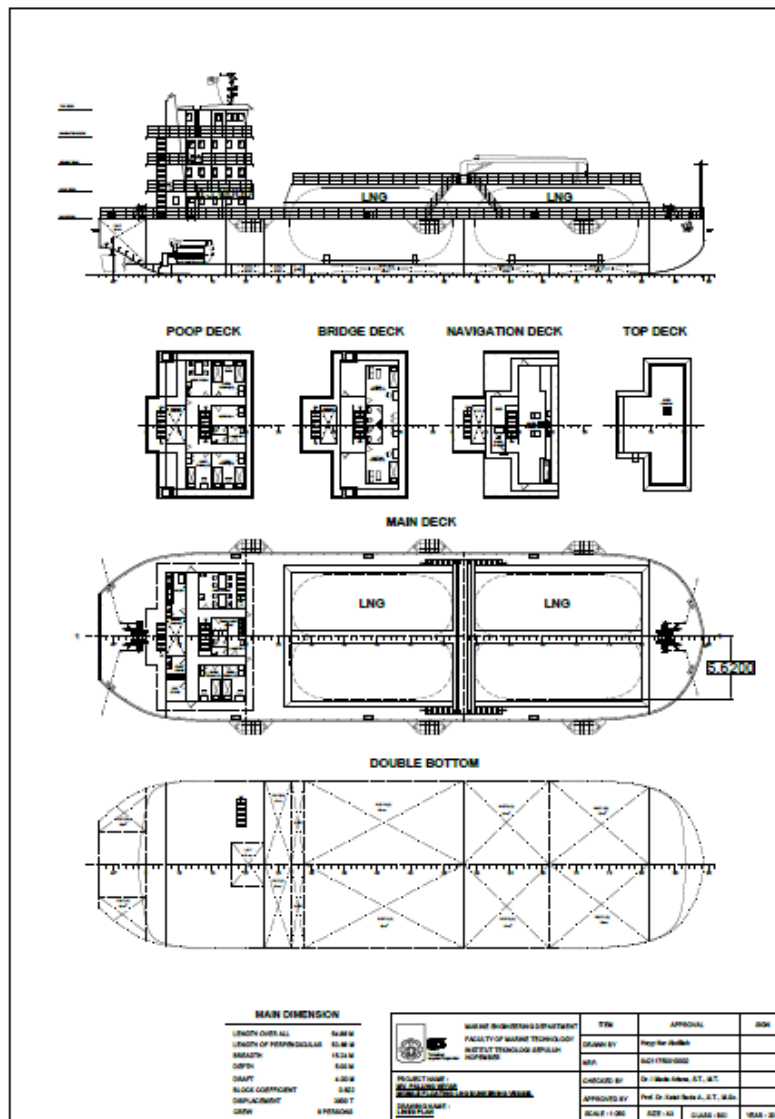
$$L/T = 13.75 \quad \rightarrow \quad 10 < L/T < 30$$

$$L/16 = 3.43 \quad \rightarrow \quad H > L/16$$

Berdasarkan pengecekan batasan-batasan perbandingan ukuran utama yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa ukuran utama kapal yang digunakan memenuhi kriteria perbandingan yang ada. (Lewis, 1988).

**c. Desain General Arrangement LNG Mobile Floating Bunkering Vessel**

Selanjutnya dilakukan desain rancangan umum guna merencanakan layout pada LNG mobile floating bunkering vessel. Hasil desain general arrangement dapat dilihat pada Gambar 4. 3.



Gambar 4. 3 Desain general arrangement LNG mobile floating bunkering vessel

Pada *general arrangement* telah dirancang dengan 2 iso C tank jenis bilobe, dilengkapi dengan 1 buah crane guna mempermudah dalam proses loading-unloading pengisian bahan bakar.

**d. Desain Loading-Unloading Arrangement**

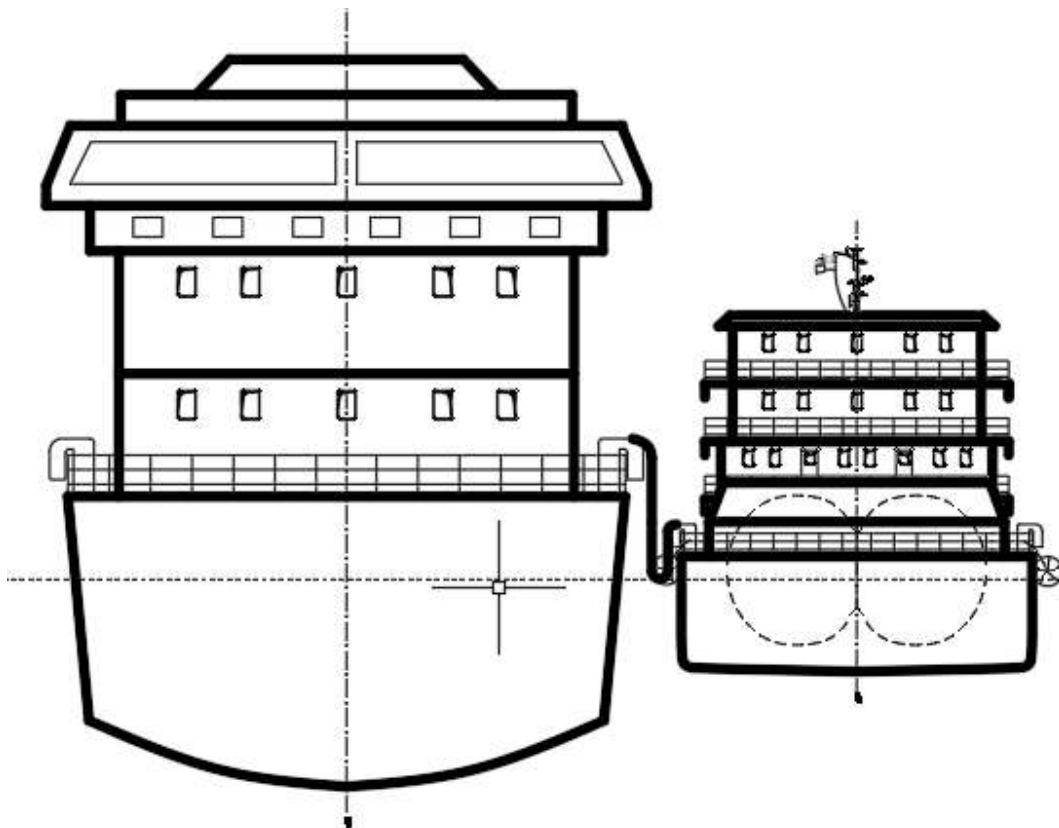
LNG yang ditransportasikan dari tangki penyimpanan di onshore menuju LNG *bunkering vessel* atau dari *bunkering vessel* menuju kapal lain yang akan di suplai bahan bakarnya. selanjutnya akan dilakukan proses *loading-unloading* muatan LNG ke tangki penyimpanan melalui loading arm. LNG yang dimasukkan ke tangki penyimpanan akan melewati kompresor untuk menaikkan tekanan karena adanya perbedaan tekanan antara tangki penyimpanan di *bunkering vessel* dengan tangki penyimpanan di kapal penerima. Dalam tangki penyimpanan, LNG disimpan dan selanjutnya dipompa oleh LNG pump yang berjumlah 2 buah dengan satu pompa yang bekerja dan satu pomp stand by. Sistem yang ada dalam sistem bongkar muat LNG antara lain adalah sebagai berikut (Iqro, et al., 2012):

- Sistem *Loading-Unloading*
- Sistem *Boil of Gas* (BOG)
- Sistem Penyimpanan (*storage tank LNG*)
- Sistem Pemompaan (*LNG pump*)

Dalam proses loading-unloading tentunya didukung oleh fasilitas peralatan yang diperlukan dalam rangka mensuplai bahan bakar LNG dari satu tempat ke tempat lain. Konfigurasi proses loading-unloading dapat dilihat pada Gambar 4. 4, yang menunjukkan posisi flexibel hose diantara dua kapal untuk mensuplai bahan bakar LNG. pangjang dari flexibel hose adalah 15 m dengan diameter 8 inch, hose ini memiliki nilai radius bending minimal 0.65 m. sehingga pada *bunkering vessel* dipasang fender untuk menjaga fleksibilitas bending radius yang dimiliki oleh hose. Berikut merupakan daftar fasilitas utama peralatan beserta fungsinya :

- *Loading-unloading arm*, berfungsi sebagai loading atau unloading LNG dari on shore – *bunkering vessel* atau dari *bunkering vessel* menuju kapal lain.

- Hose, merupakan salah satu fasilitas yang menghubungkan fasilitas pensuplai dan penerima bahan bakar LNG, fasilitas ini terletak di deck utama. dengan spesifikasi diameter 8", panjang 15 meter, minimal bending radius 0.65 m. Secara umum empat flexible hoses diperlukan untuk melakukan transfer bahan bakar LNG, tiga flexible hose digunakan untuk memuat LNG ke kapal yang menggunakan bahan bakar LNG dan satu flexible hose digunakan untuk mengembalikan uap dari LNG yang dihasilkan selama proses transfer.
- *Vapour return arm*, berfungsi untuk mentransfer gas (*natural gas vapor*)
- *Pump*, pompa sendiri dibutuhkan dalam proses pemindahan bahan bakar LNG dari LNG *bunkering vessel* menuju kapal penerima bahan bakar LNG. pompa dibagi menjadi first stage pump dan second stage pump, yang berjumlah masing-masing dua buah untuk kerja dan standby.
- Sistem perpipaa, untuk menyalurkan LNG car menuju tangki storage yang ada di kapal penerima bahan bakar LNG



Gambar 4. 4 Konfigurasi loading-unloading *bunkering vessel*



## e. **Prosedure Loading-Unloading**

### **Tahap Preparation**

- Petugas memastikan *communication system* diantara kedua kapal terhubung dengan baik untuk koordinasi saat terjadinya proses transfer/*loading-unloading*
- Perhatikan penempatan hose support saddles ketika kapal akan merapat
- Perhatikan susunan manifold dari kedua kapal, mencakup penempatan, spacing diantara kedua pipa outlet, ketinggian posisi center line pipa dari air laut.
- Pastikan kompatibilitas dari ESD (*Emergency Shut Down*) system serta *quick release couplings* pada kedua kapal berfungsi untuk meminimalisir terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan.
- Petugas melakukan *rigging fenders* dan *approach maneuvering*, artinya kedua kapal saling mendekat untuk persiapan transfer bahan bakar LNG.
- *Engaging mooring activities* dilakukan oleh petugas untuk memastikan bahwa kapal akan mempertahankan posisinya saat dihantam gelombang.
- *Pre-transfer safety meeting* penting untuk dilakukan untuk mensinkronasikan kegiatan yang akan dilakukan dan kegiatan transfer bahan bakar tetap mematuhi prosedur keselamatan yang ada.
- *Hoses connection*, pada tahap ini petugas akan mengkoneksikan hose yang dimiliki oleh *bunkering vessel* dengan *hose flanges* kapal penerima bahan bakar LNG.
- *Hose purging and cooling down*, petugas akan melakukan prosedur ini untuk tetap menjaga suhu dari muatan LNG agar tetap berada pada suhu minimal yang ditentukan.
- ESD *testing*, untuk memastikan bahwa ESD bekerja dengan kondisi baik.
- Pastikan apakah tutup pipa sounding yang tidak digunakan telah terpasang dan kedap.

### **Tahap Loading/Unloading Bahan Bakar LNG**

- Transfer LNG dilakukan, dimana antara kapal yang satu dengan kapal yang lain terletak sejajar saling bersebelahan (sisi portside kapal yang satu berdekatan dengan sisi starboard kapal yang lain).

- *Cargo transfer process*, bahan bakar LNG akan di transfer melalui flexible hose dengan pompa dari *bunkering vessel* menuju kapal penerima bahan bakar.
- *Hose drain and purging*, muatan akan terus di transfer hingga volume tertentu menyesuaikan kebutuhan kapal penerima.
- Lakukan monitoring terhadap tekanan dan suhu saat transfer bahan bakar LNG pada kedua kapal pensuplai dan penerima.
- Prosedur yang perlu diperhatikan dalam transfer/*loading-unloading* bahan bakar LNG adalah memperhatikan kondisi dinamis tekanan dan temperature dari cargo di dalam tangki, baik pada *bunkering vessel* maupun kapal penerima bahan bakar LNG.
- Kondisi tekanan jenuh vapour LNG pada saat proses transfer harus dijaga pada level serendah mungkin untuk mencegah terjadinya kenaikan tekanan yang signifikan.

#### **Tahap After Loading/Unloading**

- *Hose disconnection*, petugas melakukan diskoneksi *hose bunkering vessel* terhadap kapal penerima.
- Petugas mengkonfirmasi apakah seluruh pipa, valve, hose yang terhubung sudah ditutup.
- *Disengage mooring lines*, dilakukan oleh petugas sebagai tanda selesainya proses transfer dilakukan oleh *bunkering vessel*.
- *Separation maneuver*, kedua kapal akan melakukan proses ini setelah *disengage mooring lines* dilakukan dan kapal akan kembali ke tujuannya masing-masing

#### **f. Turning Cycle**

*Maneuvering* kapal adalah kemampuan kapal untuk mempertahankan posisinya dibawah kendali operator kapal. Kemampuan ini tentu akan sangat menentukan keselamatan dan efisiensi kapal dalam pelayarannya terutama pada daerah operasi pelayaran yang sempit seperti di daerah pelabuhan. Oleh karena itu kemampuan ini jelas merupakan aspek penting juga dalam hal perancangan kapal (*ship design*) selain olah gerak diantaranya heaving, pitching dan rolling. Pada *bunkering vessel*, prediksi maneuvering kapal sangat diperlukan untuk melakukan

operasi di perairan sempit yang akan menuntut kemampuan maneuvering kapal itu sendiri saat beroperasi. Dalam kajian ini penulis dapat memprediksi kemampuan maneuver kapal dengan menggunakan software Maneuvering Prediction Program Version 1.0 (MPP-1.0). Program ini dirancang untuk menentukan kemampuan berputar dan kemampuan pengontrolan yang dilakukan oleh nahkoda saat kapal berlayar.

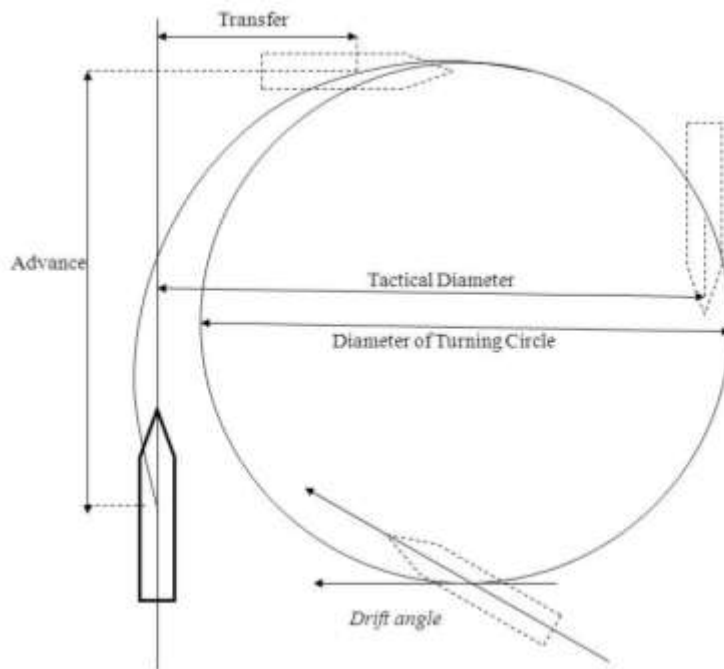
Langkah pertama dalam memprediksi kemampuan maneuver kapal yaitu dengan cara memasukkan nilai input karakteristik model kapal diantaranya sebagai  $Lwl$ , lebar kapal ( $B$ ), Trim depan dan belakang,  $Cb$ , LCG, serta kecepatan dinas ( $Vs$ ). Kemudian dari *input* karakteristik model kapal, program di-*running* untuk mengolah data yang telah dimasukkan. Dari hasil *output running* tersebut didapatkan:

- Diameter *steady* putaran / *steady turning diameter* (meters)
- Dimeter taktis / *tactical diameter* (meters)
- Maju / *advance* (meters)
- *Transfer* (meters)
- Kecepatan *steady* pada putaran (Knot)

Nilai *steady turning diameter* adalah besarnya diameter lintasan yang dilalui oleh kapal dalam melakukan percobaan *turning* sampai dengan diameter  $360^\circ$ . Besarnya diameter ini diukur dari posisi badan kapal yang sudah mencapai sudut  $90^\circ$  dari posisi tahap persiapan awal kapal sebelum melakukan percobaan *turning diameter*. Tingkat keselamatan kapal tergantung pada seberapa besar nilai diameter lintasan yang dilalui kapal, semakin besar nilai diameter lintasan yang dilalui kapal maka mengakibatkan kapal semakin membutuhkan waktu yang lama untuk bermanuver.

Nilai *tactical diameter* adalah jarak yang ditempuh kapal dari posisi awal kapal sebelum bermanuver sampai dengan posisi badan kapal yang sudah mencapai sudut  $180^\circ$  yang diukur searah dengan sumbu koordinat x (horizontal). Nilai *advance* adalah jarak yang ditempuh kapal dari posisi awal kapal sebelum bermanuver sampai dengan posisi badan kapal yang sudah mencapai sudut  $90^\circ$  yang diukur searah dengan sumbu koordinat y (vertical). Nilai *transfer* adalah jarak yang

ditempuh kapal dari posisi awal kapal sebelum bermanuver sampai dengan posisi badan kapal yang sudah mencapai sudut  $90^\circ$  yang diukur searah dengan sumbu koordinat x (horizontal) (House, 2007). Nilai *steady speed in turn* adalah kecepatan rata-rata atau *steady* kapal saat kapal melakukan percobaan *turning diameter*. Visualisasi manuver kapal dapat ditunjukkan pada Gambar 4. 5.



Gambar 4. 5 Visualisasi pada manuver kapal

Berikut ini adalah tabel hasil *running* kemampuan *maneuver* model *bunkering vessel* dengan menggunakan *software Maneuvering Prediction Program (MPP 1-0)*. Pada percobaan *maneuver* ini, penulis memprediksi kemampuan *maneuver* kapal pada tiap-tiap sudut kemudi  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $35^\circ$ . Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik kapal dari putaran pada tiap-tiap sudut kemudi. Hasil analisa ditunjukkan pada Tabel 4. 6

Tabel 4. 6 Data analisa manuver kapal pada variasi sudut kemudi

Data Output	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$25^\circ$	$30^\circ$	$35^\circ$
<i>Steady Turning Diameter</i> (m)	128.41	110.34	101.82	96.72	93.28	90.75

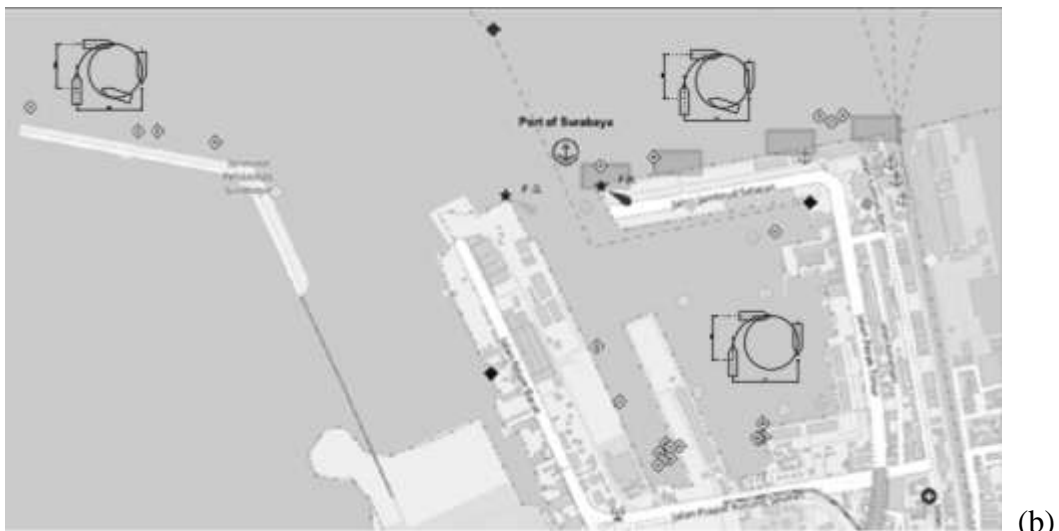
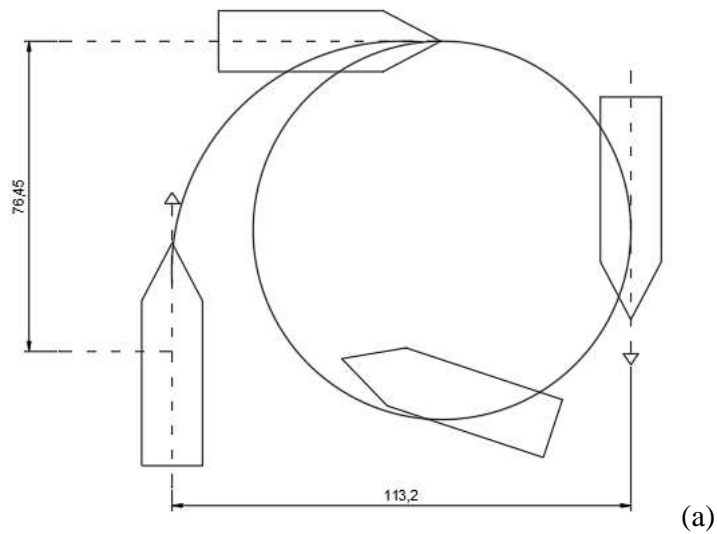
Tabel 4. 7 Data analisa manuver kapal pada variasi sudut kemudi (Lanjutan)

<i>Tactical Diameter</i> (m)	150.18	132.13	124.61	119.46	116.07	113.20
<i>Advance</i> (m)	119.36	107.50	102.24	79.57	77.83	76.45
<i>Transfer</i> (m)	90.53	81.72	75.95	72.22	70.40	69.23
<i>Steady Speed In Turn</i> (knot)	6.20	5.94	5.72	5.61	5.25	5.12

Dari hasil percobaan *turning cycle* kapal dapat dilakukan pengecekan standar syarat untuk mengevaluasi *maneuverability* menurut *International Maritime Organization* (IMO) *applicable to all ships* yaitu menyebutkan bahwa kemampuan berputar panjang lintasan *Advance* tidak lebih dari 4,5 kali panjang kapal dan diameter taktis tidak lebih dari 5 kali panjang kapal. Dibawah ini perhitungan untuk panjang lintasan *advance* dan diameter taktis:

- Panjang kapal (LOA) = 54.86 m
- Panjang lintasan *advance* pada sudut kemudi 35° = 76.45 m
- Panjang diameter taktis pada sudut kemudi 35° = 93.20 m
- Panjang *advance* menurut IMO 4,5x panjang kapal = 246.87 m
- Panjang diameter taktis menurut IMO 5x panjang kapal = 274.30 m

Jadi pada percobaan kemampuan berputar kapal menurut *International Maritime Organization* (IMO) memenuhi standar pada diameter taktis *maneuvering*, sehingga kecepatan awal melakukan *maneuvering* adalah 5.12 knots. Pengurangan kecepatan pada saat *maneuvering* akan menyebabkan diameter taktis pada saat *turning cycle* lebih kecil. Untuk keamanan dan keselamatan, sebaiknya melakukan *maneuvering* pada kecepatan awal maksimum 5.12 knots. Plotting bunkering vessel ditunjukkan pada Gambar 4. 6



Gambar 4. 6 (a) Visualisasi turning point ; (b) Plotting maneuver *bunkering vessel* pada wilayah operasi

#### g. Pemilihan Fender

*Bunkering vessel* yang digunakan untuk melayani kebutuhan bahan bakar kapal di pelabuhan berpotensi untuk mengalami berthing atau beban tumbukan yang diterima oleh kapal saat merapat dengan kapal lain yang akan disuplai kebutuhan bahan bakarnya. Besarnya gaya *berthing* yang terjadi dapat berakibat pada kerusakan badan kapal, oleh sebab itu gaya tersebut dapat diserap energinya oleh fender yang dipasang di kapal. Gaya benturan bekerja secara horizontal dan dapat dihitung berdasarkan energi benturan pada tipe fender yang digunakan.

Fungsi utama dari sistem fender karet adalah untuk mencegah benturan antar kapal satu dengan lainnya dari kerusakan yang timbul selama proses merapatnya kapal dan sewaktu kapal bersandar. Fender dirancang untuk menyerap energi dari benturan kapal (*energy absorption*) sehingga hanya sedikit saja energi yang diterima oleh *bunkering vessel*. Gaya pantul dari energi yang diserap ini dikeluarkan kembali dari fender dan disebut *reaction force*. Oleh karena itu, jumlah energi yang diserap and gaya reaksi yang diberikan menjadi kriteria utama yang dipertimbangkan dalam merancang fender. Berikut persamaan untuk mengetahui besarnya energi *berthing* : (MLIT, 2009)

Ada berbagai tipe fender yang bisa digunakan diantaranya tipe fender cylindrical, tipe V, A, dan M, super cell, super cone, pneumatik, tugboat fender, dsb. Oleh karena itu, untuk memilih tipe fender yang tepat, ada beberapa faktor yang harus menjadi pertimbangan, di antaranya adalah jenis dan berat (dimensi) kapal yang merapat, dan keadaan lingkungan laut.

### **Dimensi Kapal yang Merapat**

Jenis dan berat kapal atau dimensi kapal menjadi faktor signifikan dalam memilih jenis fender karena mempengaruhi tidak hanya jenis fender, tetapi juga besar fender yang harus dipasang. Semakin besar kapal yang akan merapat, semakin besar pula fender yang dibutuhkan untuk melindungi *bunkering vessel*. Umumnya, fender yang dilengkapi dengan frontal frame menjadi pilihan yang tepat karena memiliki luas permukaan kontak yang besar. Dari segi ekonomis, fender tipe V banyak dipilih. Akan tetapi, untuk hasil yang lebih maksimal, fender super cell dan super cone adalah pilihan yang tepat. Untuk pelabuhan yang hanya terbuka untuk kapal kecil dan sedang, fender tipe A, V, cylindrical, M, dan LMD sudah cukup untuk melindungi lambung *bunkering vessel*.

### **Keadaan Lingkungan Laut**

Keadaan lingkungan laut seperti pasang surut air laut, kekuatan angin yang juga berdampak pada besar kecilnya ombak menjadi faktor penentu berikutnya dalam pemilihan sistem fender. Jika pasang surut air laut yang tinggi terjadi pada satu area pelabuhan, maka fender yang panjang menjadi pilihan yang tepat. Hal ini

dimaksudkan agar pada saat air surut, kapal terkecil yang akan merapat ke dermaga masih bisa bersandar. Sama halnya dengan keadaan laut yang berombak yang disebabkan oleh angin kencang, air laut akan bergerak naik dan turun. Hal ini membuat kapal bergoncang dan membentur lambung *bunkering vessel*. Jika struktur kapal tidak dilengkapi dengan pisang-pisangan, fender tipe super cell dan pneumatik atau supercone yang dilengkapi dengan frontal frame yang panjang dapat digunakan. Tetapi apabila kapal yang banyak merapat adalah kapal yang dilengkapi dengan pisang-pisangan, fender tipe V yang berukuran panjang dapat digunakan dengan posisi vertikal.

Berdasarkan faktor yang mempengaruhi area dioperasikannya *bunkering vessel* maka tipe fender pneumatik baik diaplikasikan karena memiliki beberapa keuntungan seperti, penyerapan eneri tinggi dengan gaya reaksi rendah, perawatan yang mudah, biaya transportasi rendah - fender pneumatik dapat dikempiskan dan dilipat untuk pengangkutan, cocok untuk daerah dengan perbedaan pasang surut. Tipe fender pneumatik sendiri terdapat 3 jenis diantaranya adalah *pneumatic fender with tire net*, *pneumatic fender sling*, *pneumatic fender ribbed*. Pemilihan tiga jenis fender pneumatik didasarkan pada perhitungan berthing energy (Sumitomo, 2013) yaitu :

$$E_f = \frac{1}{2} \times \text{Disp. AB} + V^2 \times C_e \times S_f$$

$$E_f = \frac{1}{2} \times (2773 + 30.269) + 10^2 \times 0.5 \times 0.2$$

$$E_f = 165.210$$

Dimana :

$E_f$  : *berthing energy (tf.m)*

Displ.AB : *water displ. Of the berthing ship*

V : *berthing speed of the ship at the movement of impct against the fender (m/sec)*

$C_e$  : *Eccentricity factor*  
 $K^2 / (A^2 + K^2)$

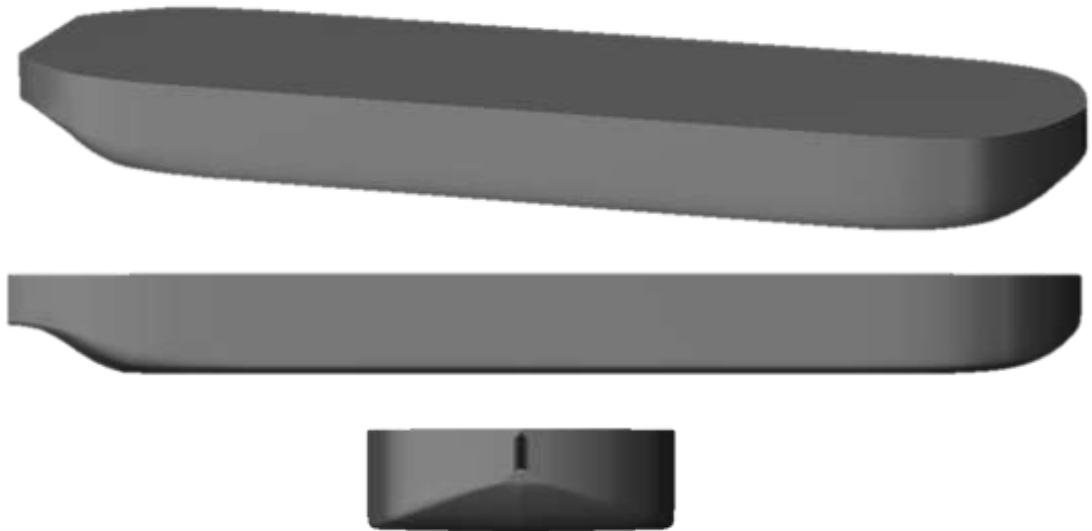
K : *Radius of rotation of the vessel (usually 1/4 of vessel's length)*



- A : Distance of the line paralleled to wharf measured from the vessel's center of gravity to the point of contact.(usually 1/4- 1/5 of vessel's length)
- SF : safety factor (0.2)

Berdasarkan perhitungan berthing energy dibutuhkan tiga buah fender tipe *fender with tire net* di masing-masing sisi dengan ukuran diameter 1.44 m dan panjang 3.33 m. Diameter fender juga disesuaikan dengan minimal lengkungan pipa flange yang tersambung diantara dua kapal ketika sedang melakukan proses bunkering.

#### h. Pemodelan Lambung 3D Mobile Bunkering LNG

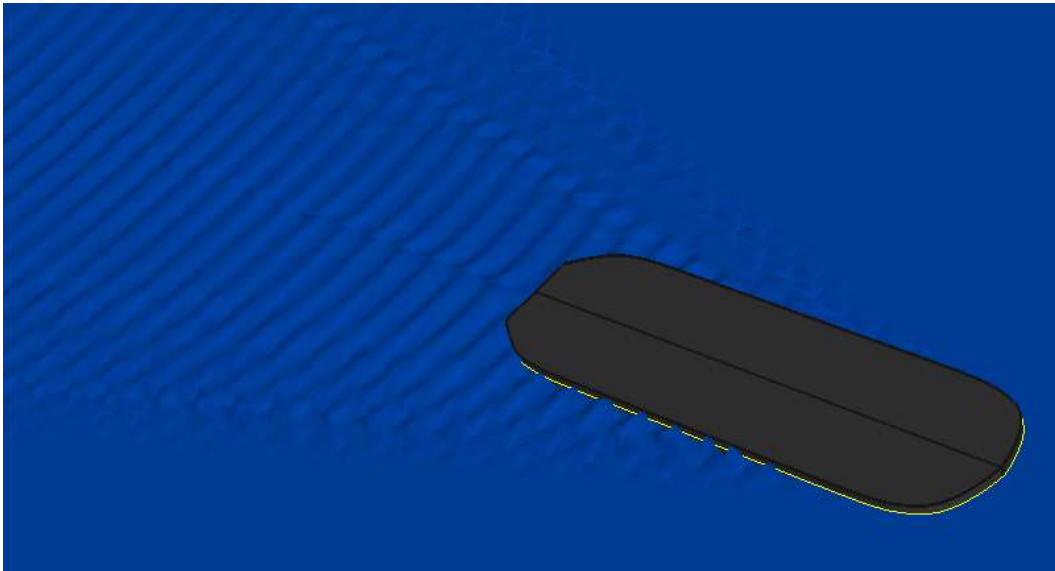


Gambar 4. 7 Model bentuk lambung 3D LNG *mobile floating bunkering vessel*

Pemodelan lambung dari desain *lines plan* pada Gambar 4. 2 dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler. Pemodelan dilakukan guna memvisualisasikan bentuk dari *bunkering vessel* dan menghitung beberapa parameter dalam desain. Bentuk model 3D model dapat dilihat pada Gambar 4. 7. Setelah bentuk model 3D terbentuk dapat dihitung analisa hambatannya untuk mengetahui berapa besar daya yang diperlukan untuk mengatasi gaya hambat

tersebut sehingga kapal dapat beroperasi sesuai dengan kecepatan dinas yang diinginkan.

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu akan mengalami gaya hambat (*resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya gaya hambat yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (*thrust*) yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (*propulsor*). Daya yang disalurkan (DHP) ke alat gerak kapal adalah berasal dari Daya Poros (SHP), sedangkan daya poros sendiri bersumber dari daya rem (BHP) yang merupakan daya luaran motor penggerak kapal. Berdasarkan perhitungan prediksi hambatan yang dianalisa adalah sebesar 272 kN dengan bentuk wake friction seperti pada Gambar 4. 8.



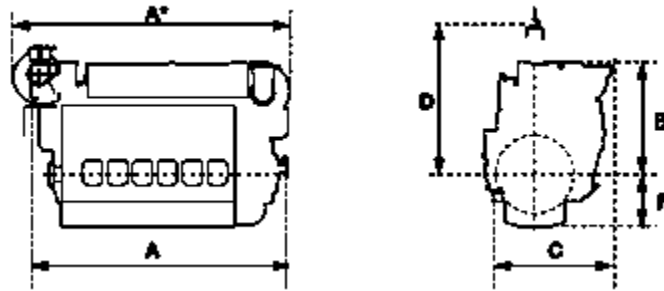
Gambar 4. 8 *Wake friction LNG mobile floating bunkering vessel*

Berdasarkan besarnya hambatan 272 kN maka langkah selanjutnya dilakukan perhitungan daya mesin utama yang dibutuhkan oleh *bunkering vessel* untuk kebutuhan operasionalnya. Perhitungan didasarkan pada persamaan, sehingga menghasilkan kebutuhan daya mesin induk sebesar 1526 kW. Konfigurasi mesin utama yang dipilih dapat dilihat pada Gambar 4. 10.

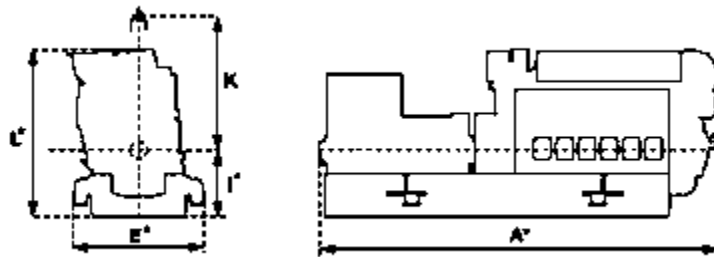
$$\text{EHP} = R_t \text{ dinas} \times V_s$$

$$\text{DHP} = \text{EHP}/P_c$$

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= \text{DHP} / \eta_{\text{snb}} \\ \text{BHP Scr} &= \text{SHP} / \eta_{\text{G}} \\ \text{BHP Mcr} &= \text{BHP Scr} / 0.85 \end{aligned}$$



Gambar 4. 9 Konfigurasi mesin utama LNG *mobile floating bunkering vessel*



Gambar 4. 10 Konfigurasi mesin utama LNG *mobile floating bunkering vessel* (Lanjutan)

Spesifikasi mesin yang dipilih dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4. 8, dengan tipe 9L20DF, daya mesin 1665 kW, berat 11.7 ton. Mesin inilah yang dipilih untuk kebutuhan operasional LNG *bunkering vessel*.

Tabel 4. 8. Spesifikasi mesin Wartsila 9L20DF

Wartsila 20DF		Dimensions (mm)	
Cylinder bore	200 mm	A*	4261
Wartsila 20DF		Dimensions (mm)	
Piston stroke	280 mm	A	4076
Cylinder output	185 kW/cyl	B	1705
Speed	1200 rpm	C	1824

Mean effective pressure	22.0, 21.0 bar	D	1800
Piston speed	9.3, 11.2 m/s	F	624
Engine type	9L20DF	Weight (ton)	11.7
Engine kW	1665		

Sumber : (Wartsila, 2018)

#### 4.2. Analisa Stabilitas LNG *Mobile Floating Bunkering Vessel*

Analisa stabilitas LNG *bunkering vessel* dilakukan guna mengetahui bagaimana kondisi kapal ketika beroperasi, variasi analisa dilakukan pada dua kondisi muatan yaitu pada kondisi muatan penuh dan kondisi muatan kosong. Tahapan perhitungan stabilitas melalui tahapan perhitungan titik berat kapal (LWT), dan titik berat komponen lain seperti tangki LNG, *water ballast tank*, dll.

##### a. Perhitungan Titik Berat Mobile Bunkering LNG

Perhitungan stabilitas didahului dengan melakukan penentuan titik berat kapal, titik berat ini didapatkan dengan melakukan pendataan terhadap konstruksi, interior, mesin dan peralatan bantu, serta jaraknya terhadap AP dan KG. Setelah didapatkan daftar tersebut dapat dilakukan perhitungan momen setiap peralatan dikapal dengan mengalikan berat komponen terhadap jarak titik beratnya. Adapun hasil rangkuman dari perhitungan titik berat menunjukkan total berat LWT kapal adalah 398 ton, dengan titik berat memanjang (AP-G) 26.8 m dan titik berat secara vertikal (KG) 3.39 m seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 9.

Tabel 4. 9. Rangkuman data titik berat LNG *mobile floating bunkering vessel*

No.	Item	Weight	AP-G	Moment	KG	Moment
		ton	m	ton.m	m	ton.m
I	Hull Constructions	346.734	26.573	9213.812	3.345	1159.760
II	Equipment	25.480	44.420	1131.816	4.612	117.507
III	Interior	6.060	11.352	68.793	6.760	40.966
IV	Machinery	19.877	13.420	266.745	1.747	34.733
Total Weight		398.151	26.827	10681.166	3.398	1352.965

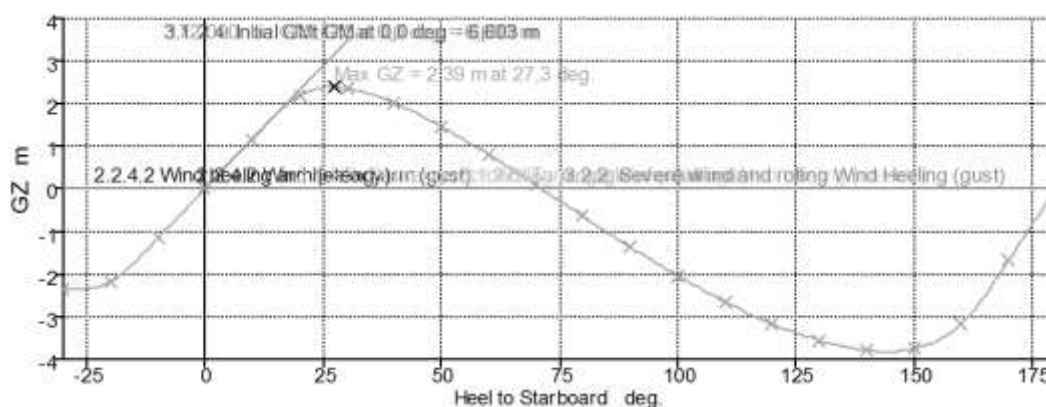
##### b. Perhitungan Stabilitas LNG *Mobile Floating Bunkering Vessel*

Kondisi pertama analisa stabilitas LNG *mobile floating bunkering vessel* pada loadcase kondisi muatan penuh. Pada loadcase kondisi muatan penuh artinya

muatan LNG pada tangki, FWT,FOT dan LOT diasumsikan terisi penuh seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 10.

Tabel 4. 10 Loadcase kondisi muatan penuh

Item Name	Q	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Lightship	1	389,200	389,200	-	-	26,800	0,000	3,390
Crane	1	50,000	50,000	-	-	0,000	0,000	0,000
LNG 1 C Type	1	500,000	500,000	-	-	41,400	0,000	4,550
LNG 2 C Type	1	500,000	500,000	-	-	24,600	0,000	4,550
FWT/S	100%	21,841	21,841	21,841	21,841	2,495	4,440	4,000
FWT/PS	100%	21,841	21,841	21,841	21,841	2,495	-4,440	4,000
FOT/S	100%	16,592	16,592	16,592	16,592	16,200	3,646	0,542
FOT/PS	100%	16,592	16,592	16,592	16,592	16,200	-3,646	0,542
LOT	100%	11,760	11,760	11,760	11,760	13,500	0,000	0,510
WBT 1/S	0%	59,880	0,000	59,880	0,000	45,300	0,001	0,000
WBT 1/PS	0%	59,880	0,000	59,880	0,000	45,300	-0,001	0,000
WBT 2/S	0%	54,000	0,000	54,000	0,000	39,287	0,001	0,001
WBT 2/PS	0%	54,000	0,000	54,000	0,000	39,287	-0,001	0,001
WBT 3/S	0%	99,527	0,000	99,527	0,000	25,178	0,001	0,001
WBT 3/PS	0%	99,527	0,000	99,527	0,000	25,178	-0,001	0,001
Total Loadcase			1527,827	515,440	88,627	28,953	0,000	3,972



Gambar 4. 11 Grafik stabilitas pada loadcase kondisi muatan penuh

Dari Gambar 4. 11 dapat diketahui panjang lengan GZ maksimum pada LNG bunkering vessel bermuatan penuh bernilai 2.39 meter dan sudut GZ 27.3 derajat. Jika ditinjau berdasarkan IMO 749 (18) maka nilai tersebut memenuhi kriteria yang mensyaratkan bahwa minimal panjang lengan GZ adalah 0.2 m yang terjadi pada sudut yang dibentuk minimal 25 derajat atau lebih. Selain panjang lengan GZ maksimum dan sudut yang dibentuknya hal lain yang dapat kita lihat adalah

besarnya *initial GM<sub>t</sub>* yaitu sebesar 6.603 m, jika ditinjau berdasarkan aturan yang adalah maka nilai tersebut memenuhi kriteria dengan syarat minimal 0.15 m untuk tinggi *metacenter* awal atau *initial GM<sub>t</sub>*. Dengan diketahuinya besar nilai GZ maksimum dan sudut yang dibentuk maka kita dapat mengetahui kondisi stabilitas kapal apakah kapal dalam kondisi stabil atau tidak. Hasil penghitungan stabilitas berdasarkan *rule class* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4. 11 dengan 3 macam kriteria diantaranya IMO A.749(18) *applicable to all ship*, kriteria pada kapal pontoons, dan kriteria pada kapal barge yang membawa *hazardous liquids*.

Tabel 4. 11 Hasil analisa kriteria stabilitas LNG *mobile floating bunkering vessel* muatan penuh

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: b - Required GM freeboard Calculation	4,072	m			
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	46,4166	Pass	+1372,93
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	68,6015	Pass	+1230,36
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	22,1849	Pass	+1190,64
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	2,365	Pass	+1082,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	27,3	Pass	+9,09
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GM <sub>t</sub>	0,150	m	6,603	Pass	+4302,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	0,2	Pass	+98,85
	Angle of steady heel / Deck edge immersion	80,00	%	0,93	Pass	+98,84

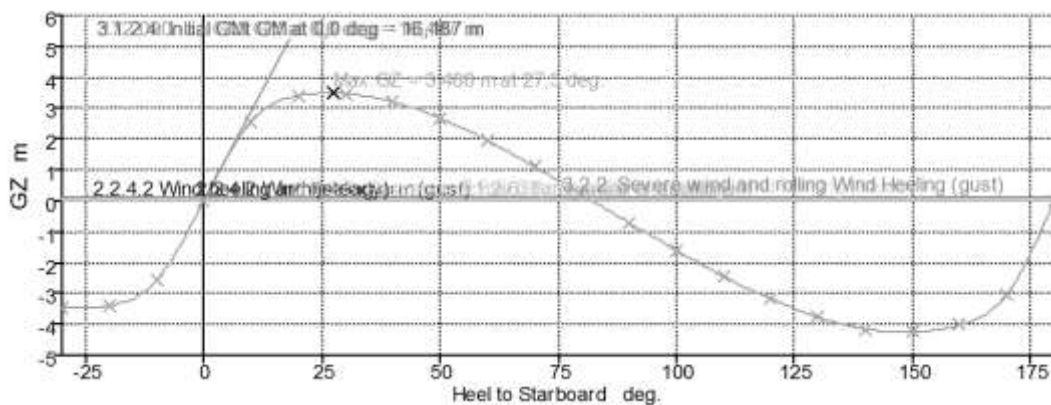
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
	angle shall not be greater than ( $\leq$ )					
	Area1 / Area2 shall not be less than ( $\geq$ )	100,00	%	242,68	Pass	+142,68
2.2 pontoons	2.2.4.1 GZ area: to Max GZ	4,5837	m.deg	39,9236	Pass	+770,99
2.2 pontoons	2.2.4.2 Angle of equilibrium ratio	50,00	%	0,00	Pass	+100,00
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability $\leq$ 100m in length	20,0	deg	71,2	Pass	+255,93
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability $\geq$ 150m in length	15,0	deg	71,2	Pass	+374,57
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a1 - Area 0 to GZmax or df	1,5240	m.deg	39,9236	Pass	+2519,66
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a2 - Area 0 to GZmax or df	3,0480	m.deg	39,9236	Pass	+1209,83
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a3 - Area 0 to GZmax or df	4,5720	m.deg	39,9236	Pass	+773,22
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: b - GMt	4,072	m	6,603	Pass	+62,16

Kondisi pertama analisa stabilitas LNG *mobile floating bunkering vessel* pada loadcase kondisi muatan kosong. Pada loadcase kondisi muatan kosong artinya muatan LNG pada tangki, FWT,FOT dan LOT diasumsikan terisi penuh seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 12.

Tabel 4. 12 Loadcase kondisi muatan kosong

Item Name	Q.	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Lightship	1	389,200	389,200			26,800	0,000	3,390
Crane	1	50,000	50,000			0,000	0,000	0,000
LNG 1 C Type	1	100,000	100,000			41,400	0,000	4,550
LNG 2 C Type	1	100,000	100,000			24,600	0,000	4,550
FWT/S	0%	21,841	21,841	21,841	0,000	2,495	0,000	4,000
FWT/PS	0%	21,841	21,841	21,841	0,000	2,495	0,000	4,000
FOT/S	0%	16,592	16,592	16,592	0,000	16,200	0,000	0,542
FOT/PS	0%	16,592	16,592	16,592	0,000	16,200	0,000	0,542
LOT	0%	11,760	11,760	11,760	0,000	13,500	0,000	0,510
WBT 1/S	0%	59,880	0,000	59,880	0,000	45,300	0,001	0,000
WBT 1/PS	0%	59,880	0,000	59,880	0,000	45,300	-0,001	0,000

Item Name	Q.	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
WBT 2/S	0%	54,000	0,000	54,000	0,000	39,287	0,001	0,001
WBT 2/PS	0%	54,000	0,000	54,000	0,000	39,287	-0,001	0,001
WBT 3/S	0%	99,527	0,000	99,527	0,000	25,178	0,001	0,001
WBT 3/PS	0%	99,527	0,000	99,527	0,000	25,178	-0,001	0,001
Total Loadcase			639,200	515,440	88,627	24,506	0,000	3,336



Gambar 4. 12 Grafik stabilitas pada loadcase kondisi muatan kosong

Dari Gambar 4. 12 dapat diketahui panjang lengan GZ maksimum pada LNG *bunkering vessel* bermuatan kosong bernilai 3.468 meter dan sudut GZ 27.3 derajat. Jika ditinjau berdasarkan IMO 749 (18) maka nilai tersebut memenuhi kriteria yang mensyaratkan bahwa minimal panjang lengan GZ adalah 0.2 m yang terjadi pada sudut yang dibentuk minimal 25 derajat atau lebih. Selain panjang lengan GZ maksimum dan sudut yang dibentuknya hal lain yang dapat kita lihat adalah besarnya *initial GM<sub>i</sub>* yaitu sebesar 16.48 m, jika ditinjau berdasarkan aturan yang adalah maka nilai tersebut memenuhi kriteria dengan syarat minimal 0.15 m untuk tinggi *metacenter* awal atau *initial GM<sub>i</sub>*. Dengan diketahuinya besar nilai GZ maksimum dan sudut yang dibentuk maka kita dapat mengetahui kondisi stabilitas kapal apakah kapal dalam kondisi stabil atau tidak. Hasil penghitungan stabilitas berdasarkan *rule class* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4. 13 dengan 3 macam kriteria diantaranya IMO A.749(18) *applicable to all ship*, kriteria pada kapal pontoons, dan kriteria pada kapal barge yang membawa *hazardous liquids*.



Tabel 4. 13 Hasil analisa kriteria stabilitas LNG *mobile floating bunkering vessel* muatan kosong

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: b - Required GM freeboard Calculation	3,390	m			
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	79,5401	Pass	+2424,04
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	113,1962	Pass	+2095,17
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	33,6561	Pass	+1858,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	3,471	Pass	+1635,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	27,3	Pass	+9,09
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	16,487	Pass	+10891,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	0,2	Pass	+98,82
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	0,60	Pass	+99,25
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	218,12	Pass	+118,12
2.2 pontoons	2.2.4.1 GZ area: to Max GZ	4,5837	m.deg	70,0461	Pass	+1428,16
2.2 pontoons	2.2.4.2 Angle of equilibrium ratio	50,00	%	0,00	Pass	+100,00
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability <=100m in length	20,0	deg	82,3	Pass	+311,60
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability >=150m in length	15,0	deg	82,3	Pass	+448,79
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a1 - Area 0 to GZmax or df	1,5240	m.deg	70,0461	Pass	+4496,20
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a2 - Area 0 to GZmax or df	3,0480	m.deg	70,0461	Pass	+2198,10

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a3 - Area 0 to GZmax or df	4,5720	m.deg	70,0461	Pass	+1432,07
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: b - GMt	3,390	m	16,487	Pass	+386,28

### 4.3. Pengaruh Sloshing terhadap Struktur Tangki

#### a. Data Gelombang

Pada kajian ini, data gelombang diperoleh dari data yang dirilis oleh BMKG dimana kondisi perairan yang di observasi adalah perairan Surabaya. Data gelombang yang diperlukan diantaranya adalah besarnya tinggi gelombang signifikan, sudut gelombang, dan kecepatan angin seperti ditunjukkan pada Tabel 4. 14, yang merupakan ringkasan dari observasi gelombang kurun waktu panjang oleh BMKG yang akan dipakai sebagai input pengolahan data:

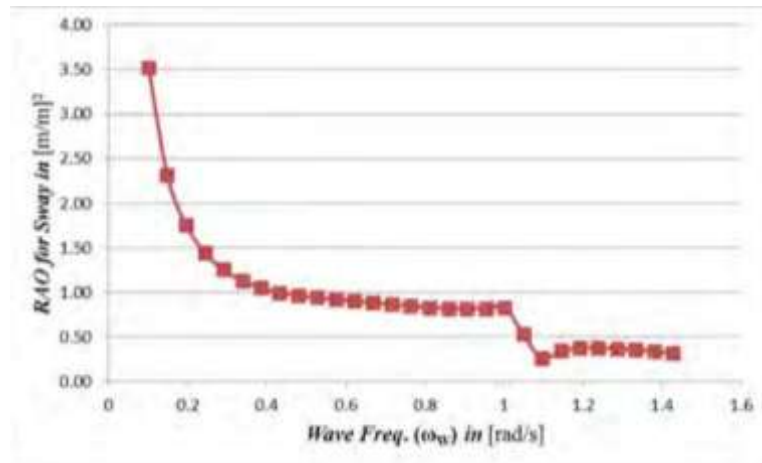
Tabel 4. 14 Data perairan Surabaya dalam kondisi ekstrem

Jenis	Nilai	Satuan
<i>Significant of Wave Height</i>	2.33	m
<i>Wave Heading Angle</i>	90	degree
<i>Wind Speed</i>	14.61	m/s

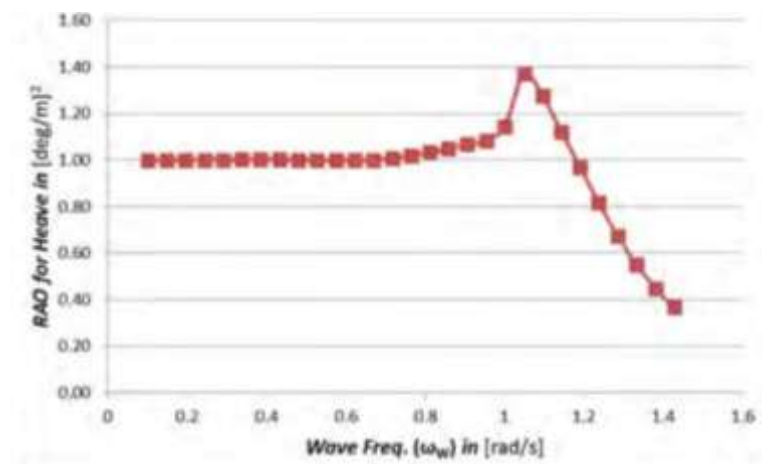
#### b. Data Response Amplitude Operator (RAO)

Data *Response Amplitude Operator* (RAO) mengacu pada data hasil RAO LNG *bunkering vessel* yang telah dilakukan analisis terhadap *seakeeping* untuk kapal derah pelayaran Surabaya. *Seakeeping* adalah gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut. *Seakeeping* dibedakan menjadi 3 yaitu *heaving* (gerakan kapal yang sejajar sumbu Z dan saat terjadi *heaving* kapal mengalami naik turun secara vertikal), *pitching* (gerakan kapal yang memutar sumbu Y, ketika terjadi *pitching* kapal mengalami perubahan trim bagian bow dan stern secara bergantian), *rolling* (gerakan kapal yang mengelilingi sumbu X, ketika terjadi *rolling* bagian sisi kanan kapal bergerak ke sebelah bagian sisi kiri kapal yang terulang secara bergantian). Analisa dilakukan berdasarkan kondisi ekstrem baik mengenai kondisi gelombang maupun kecepatan

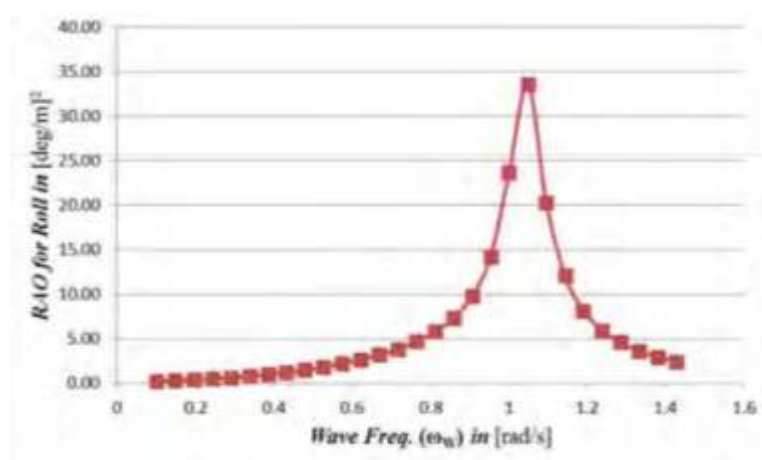
angin. Berikut merupakan grafik RAO pada kondisi gerakan *sway* ditunjukkan pada Gambar 4. 13, grafik RAO pada kondisi gerakan *heaving* Gambar 4. 14, grafik RAO pada kondisi gerakan *rolling* Gambar 4. 15.



Gambar 4. 13 Grafik RAO untuk Gerakan *Sway*



Gambar 4. 14 Grafik RAO untuk Gerakan *Heave*



Gambar 4. 15 Grafik RAO untuk Gerakan *Roll*

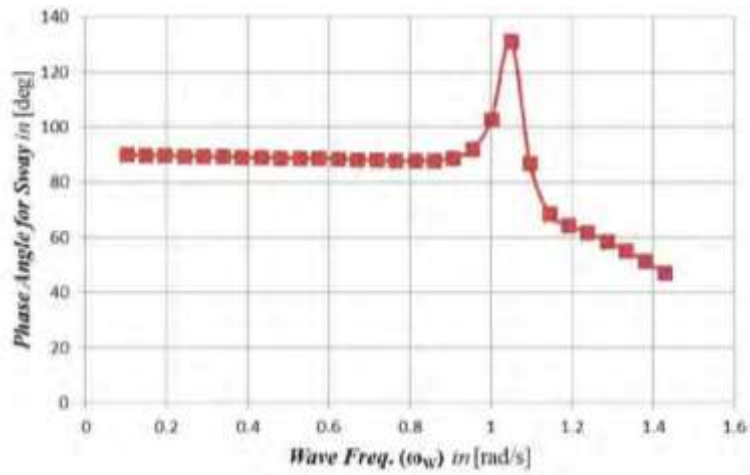
Data RAO yang diambil merupakan data untuk arah *heading* = 90<sup>o</sup> pada mode gerakan *Sway*, *Heave* dan *Roll*. Untuk memudahkan pengamatan terhadap data RAO diatas, berikut adalah nilai-nilai koordinatnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 15

Tabel 4. 15 Data koordinat RAO pada *bunkering vessel*

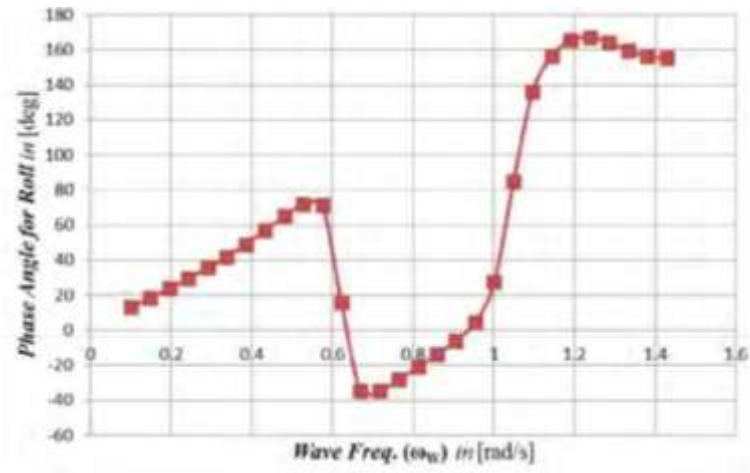
Wave Freq.	RAO		
	Sway	Heave	Roll
[rad/s]	[m/m] <sup>2</sup>	[m/m] <sup>2</sup>	[deg/m] <sup>2</sup>
0.112	3.531	1.001	0.197
0.135	2.319	1.001	2.93
0.234	1.753	1.001	0.394
0.286	1.448	1.002	0.521
0.335	1.261	1.002	0.643
0.376	1.142	1.003	0.793
0.437	1.048	1.003	0.982
0.479	1.002	1.003	1.212
0.565	0.971	1.002	1.483
0.577	0.953	0.988	1.809
0.624	0.932	0.987	2.187
0.671	0.903	0.989	2.644
0.723	0.877	1.002	3.182
0.765	0.872	1.009	3.842
0.812	0.853	1.020	4.677
0.858	0.837	1.034	5.766
0.901	0.833	1.050	7.343
0.952	0.812	1.068	9.796
1.004	0.825	1.086	14.177
1.047	0.838	1.146	23.674
1.090	0.539	1.373	33.712
1.154	0.267	1.278	20.227
1.198	0.346	1.124	12.124
1.236	0.371	0.971	8.091
1.285	0.372	0.816	5.914
1.338	0.354	0.677	4.522
1.382	0.346	0.542	3.672
1.429	0.322	0.443	2.904
1.396	0.317	0.361	2.405

**c. Data Sudut Fase**

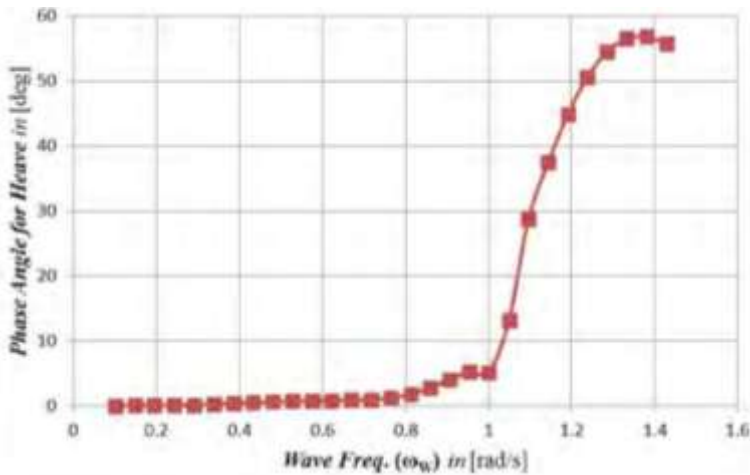
Berikut merupakan hasil grafik sudut fase LNG *bunkering vessel* dari tiga gerakan kapal diantaranya *sway*, *roll* dan *heaving*. ). Analisa dilakukan berdasarkan kondisi ekstrem gelombang. Berikut merupakan grafik sudut fase pada kondisi gerakan *sway* ditunjukkan pada Gambar 4. 16 grafik sudut fase pada kondisi gerakan *rolling* Gambar 4. 17, grafik sudut fase pada kondisi gerakan *heaving* Gambar 4. 18..



Gambar 4.16 Grafik Sudut Fase LNG bunkering vessel pada kondisi sway



Gambar 4.17 Grafik Sudut Fase LNG bunkering vessel pada kondisi rolling



Gambar 4.18 Grafik Sudut Fase LNG bunkering vessel pada kondisi heaving

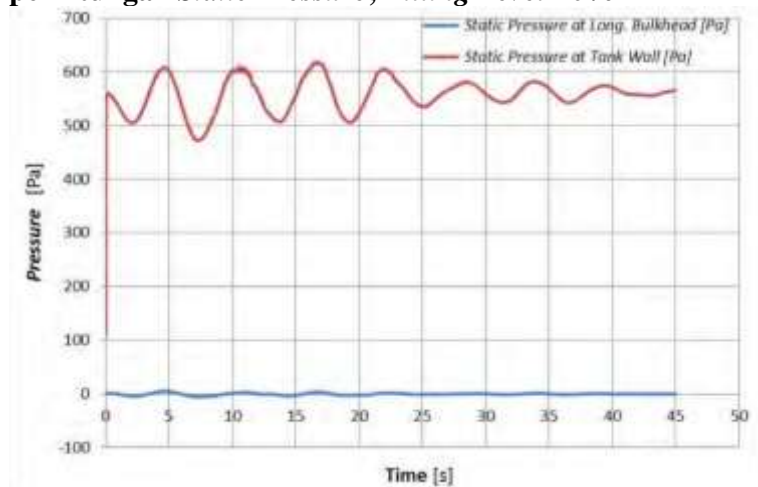
Berikut adalah koordinat grafik dari sudut fase LNG *bunkering vessel* yang dilakukan pada daerah operasi pelayaran ditunjukkan pada Tabel 4. 16

Tabel 4. 16 Data koordinat RAO pada *bunkering vessel*

Wave Freq.	RAO		
	Sway	Roll	Heave
[rad/s]	[m/m] <sup>2</sup>	[m/m] <sup>2</sup>	[deg/m] <sup>2</sup>
0.112	91.132	13.012	0.039
0.135	90.761	17.201	0.067
0.234	89.944	22.993	0.092
0.286	89.593	29.622	0.135
0.335	89.422	35.214	0.198
0.376	89.386	41.963	0.274
0.437	89.198	48.985	0.379
0.479	89.102	57.022	0.531
0.565	88.975	64.973	0.672
0.577	88.782	71.655	0.784
0.624	88.691	71.147	0.762
0.671	88.544	15.894	0.839
0.723	88.370	-33.905	0.911
0.765	88.182	-34.803	1.002
0.812	87.905	-27.345	1.244
0.858	87.782	-21.109	1.821
0.901	88.109	-13.447	2.788
0.952	88.856	-6.238	4.102
1.004	92.377	4.663	5.329
1.047	103.001	27.561	5.207
1.090	131.283	84.906	13.319
1.154	86.894	135.813	28.670
1.198	68.556	157.567	36.882
1.236	64.457	164.386	44.673
1.285	62.090	166.113	50.704
1.338	58.671	165.975	54.331
1.382	55.599	158.008	56.120
1.429	51.422	156.285	56.732
1.396	47.101	154.112	55.809

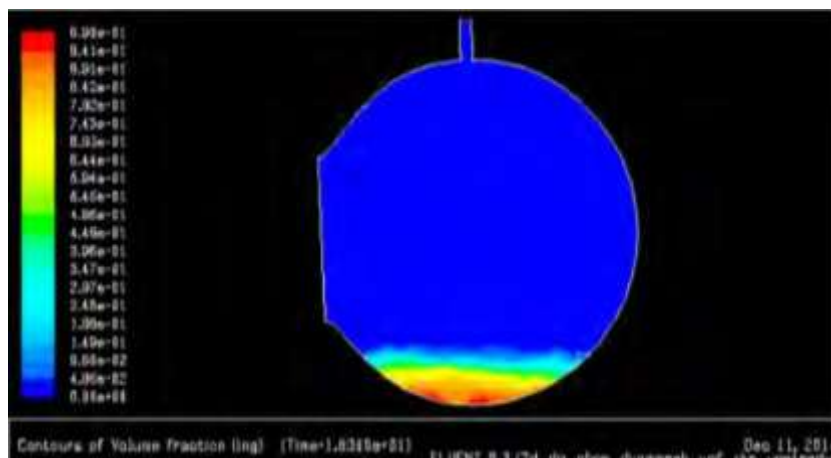
Pada hasil perhitungan ini, data yang diperoleh dari tahap variasi *filling level* 10%, 50% dan 90% adalah data *static pressure*, *dynamic pressure* dan *total pressure* menggunakan jenis *grid C*, sedangkan kondisi batas yang dijadikan acuan adalah dinding tangki jenis *Tank Wall* dan *Longitudinal Bulkhead*. Tank wall didefinisikan sebagai struktur dinding tangki dan lambung kapal yang terkena efek sloshing sedangkan untuk longitudinal bulkhead didefinisikan sebagai sekat pemisah pada tangki tipe C jenis bilobe yang terpisah antara bagian kanan dan kirinya. Hasil perhitungan direpresentasikan dalam bentuk grafik, yang merupakan rekaman data hasil simulasi FLUENT dengan *time step* 0.003s dan *number of time step* 15000.

d. Hasil perhitungan *Static Pressure, Filling Level 10%*



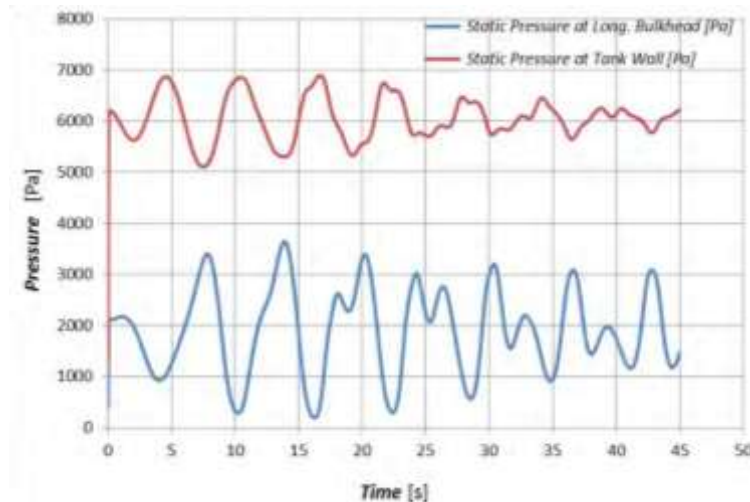
Gambar 4. 19 Grafik *Static Pressure on Long Bulkhead & Tank Wall [Pa]*

Grafik pada Gambar 4. 19 menunjukkan bahwa *static pressure* pada *long bulkhead* memiliki nilai konstan mendekati absis yaitu nol, hal ini diakibatkan karena tinggi dari permukaan fluida pada *filling level 10%* tidak mengenai dari dinding tangki jenis *long Bulkhead* sehingga nilai dari besarnya *static pressure* adalah mendekati nol. Pada dinding jenis *tank wall* memiliki nilai *static pressure* yang berangsur-angsur konstan pada *number of time step > 14000*, hal ini diakibatkan karena pada *number of time step* tersebut, eksitasi tangki mulai hilang/bernilai nol. *Static pressure* maksimum yang terjadi pada dinding *tank wall* pada *filling level* ini adalah 618.3731 [Pa] yang terjadi pada *time step 18.3* detik, Gambar 4. 20 Gambar 4. 24 menunjukkan hasil simulasi pada saat terjadi nilai *static pressure* maksimum pada dinding tangki *tank wall & filling level 10%*:



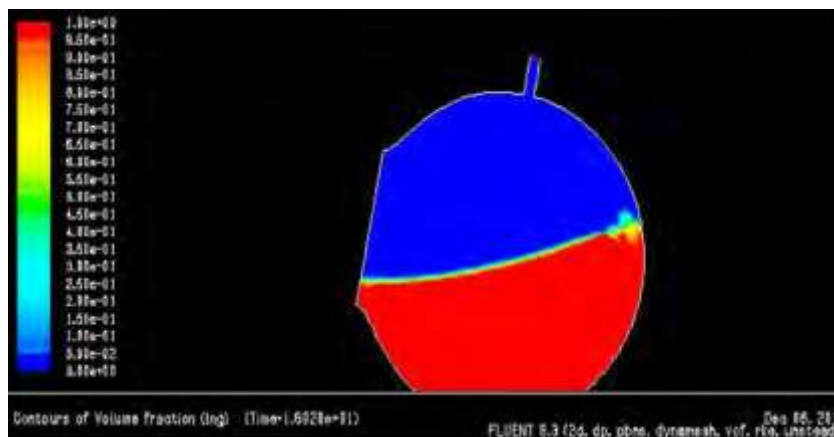
Gambar 4. 20 Fenomena *Sloshing* pada *Filling Level 10%*

e. Hasil perhitungan *Static Pressure, Filling Level 50%*



Gambar 4. 21 Grafik *Static Pressure on Long. Bulkhead & Tank Wall* [Pa]

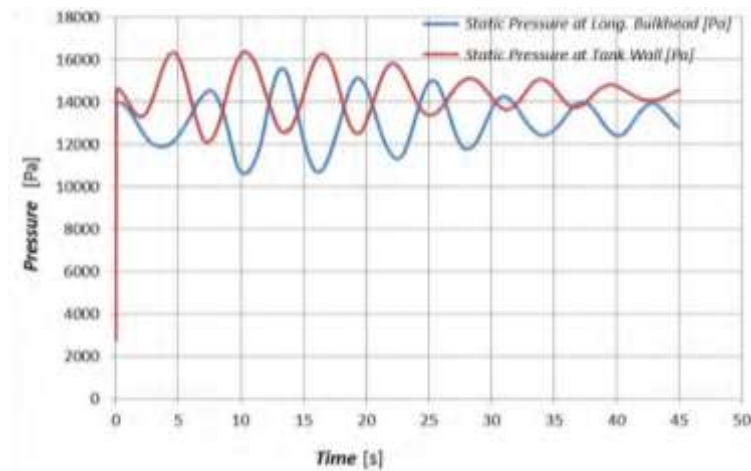
Dari Gambar 4. 21 dapat diketahui bahwa *static pressure* pada *tank wall* memiliki kecenderungan berangsur-angsur menurun setelah mencapai *pressure* maksimum pada nilai 6891.164 [Pa]. Grafik *static pressure* pada *tank wall* akan mencapai nilai konstan pada waktu yang lama, hal ini dikarenakan respons eksitasi tangki yang berangsur-angsur hilang hingga mencapai kondisi diam. Sedangkan pada *long. bulkhead* juga memiliki kecenderungan yang sama yaitu memiliki kecenderungan osilasi *pressure* yang berangsur-angsur menurun setelah mencapai *pressure* maksimum pada 3643.889 [Pa] yang terjadi pada *time step* 16.02 detik. Berikut adalah gambaran fenomena *sloshing* saat terjadi nilai *static pressure* maksimum pada *tank wall filling level 50%* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 22



Gambar 4. 22 Fenomena *Sloshing* pada *Filling Level 50%*

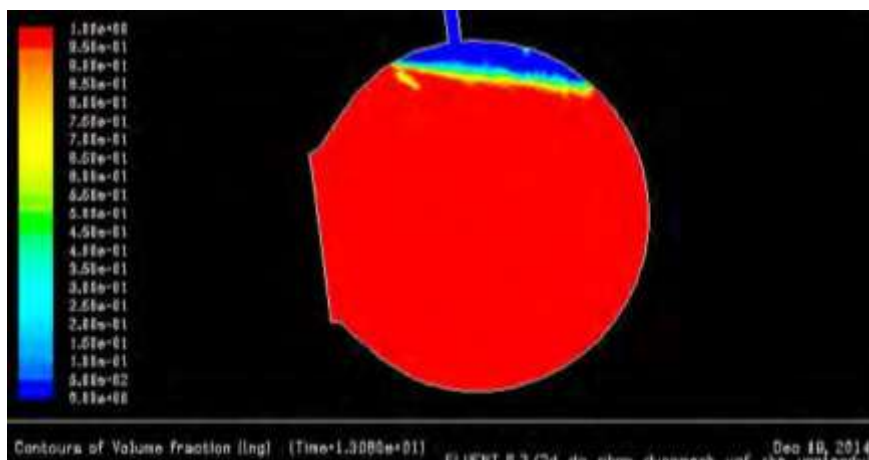


f. Hasil perhitungan *Static Pressure, Filling Level 90%*



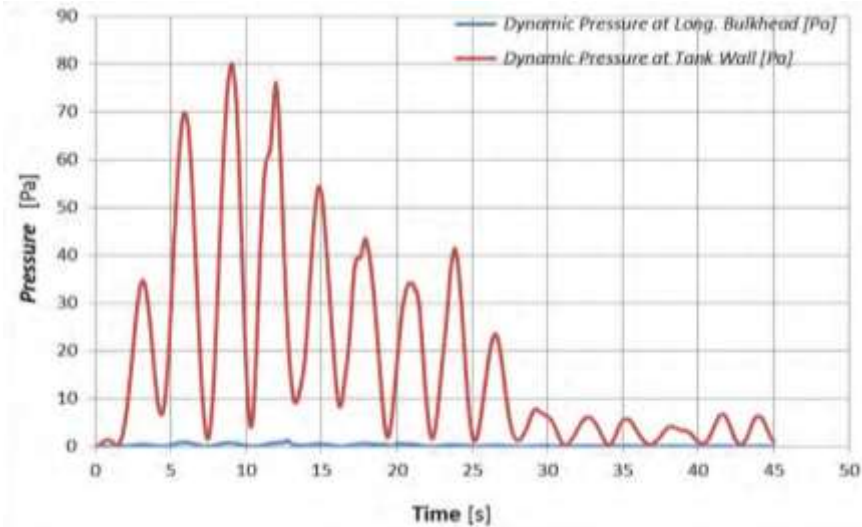
Gambar 4. 23 Grafik *Static Pressure on Long. Bulkhead & Tank Wall [Pa]*

Hasil rekaman *static pressure* pada tingkat *filling level 90%* memiliki nilai yang relatif sama pada kedua jenis kondisi batas tangki seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 23. Hal ini dikarenakan *static pressure* sepenuhnya dipengaruhi oleh ketinggian dari cairan dalam tangki. Pada *filling level 90%* kedua kondisi batas sama-sama tertutup sepenuhnya oleh cairan LNG, sehingga data *pressure* tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Adapun *pressure* maksimum yang terjadi pada *tank wall* adalah 16349.56 [Pa] yaitu pada *time step* 13.06 detik. Sedangkan pada *longitudinal bulkhead* adalah sebesar 15570.17 [Pa]. Berikut adalah visualisasi pada saat terjadi *static pressure* maksimum pada *tank wall filling level 90%* ditunjukkan pada Gambar 4. 24.



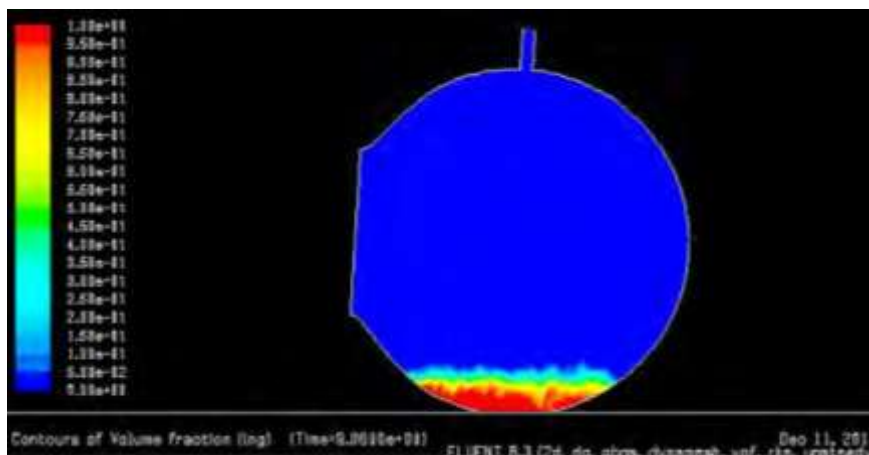
Gambar 4. 24 Fenomena *Sloshing* pada *Filling Level 90%*

**g. Hasil perhitungan *Dynamic Pressure*, *Filling Level 10%***



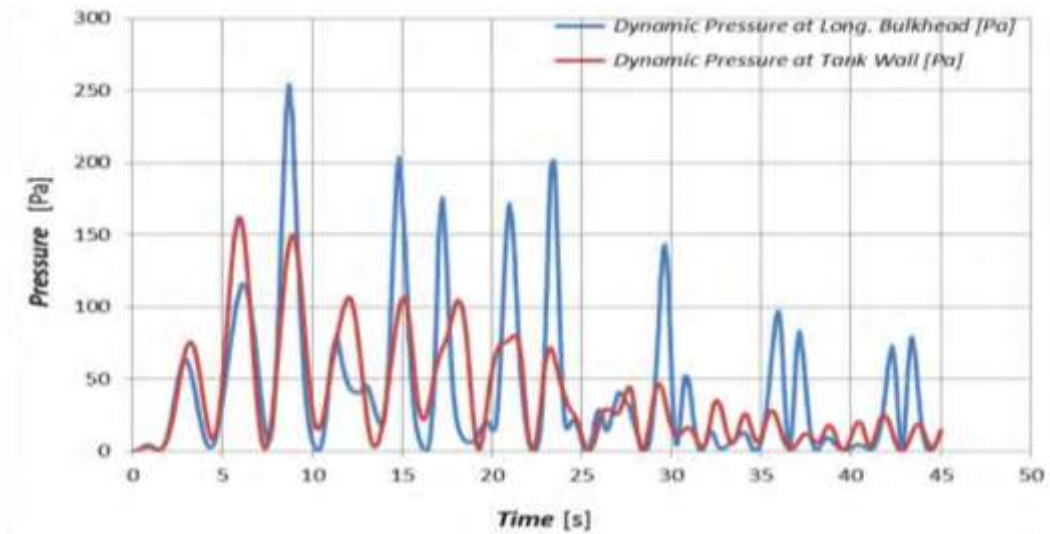
Gambar 4. 25 Grafik *Dyamic Pressure on Long. Bulkhead & Tank Wall* [Pa]

Gambar 4. 25 menunjukkan grafik rekaman data *pressure* yang identik dengan hasil pada Gambar 4. 23, yaitu menunjukkan bahwa pada *long. bulkhead* memiliki nilai *dynamic pressure* yang mendekati nilai nol, sedangkan grafik pada *tank wall* memiliki kecenderungan yang sama dengan kurva spektra respons yang berangsur-angsur menurun setelah mencapai nilai maksimumnya yaitu 80.12007 [Pa] yang terjadi pada time step 9.06 detik. Berikut adalah animasi saat terjadi *dynamic pressure* maksimum pada *tank wall* kondisi *filling level 10%* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 26.



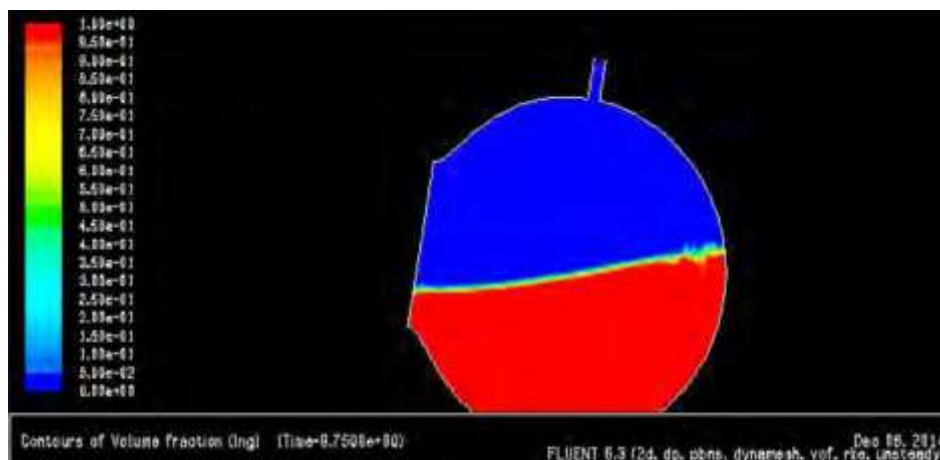
Gambar 4. 26 Fenomena *Sloshing* pada *Filling Level 10%*

h. Hasil perhitungan *Dynamic Pressure, Filling Level 50%*



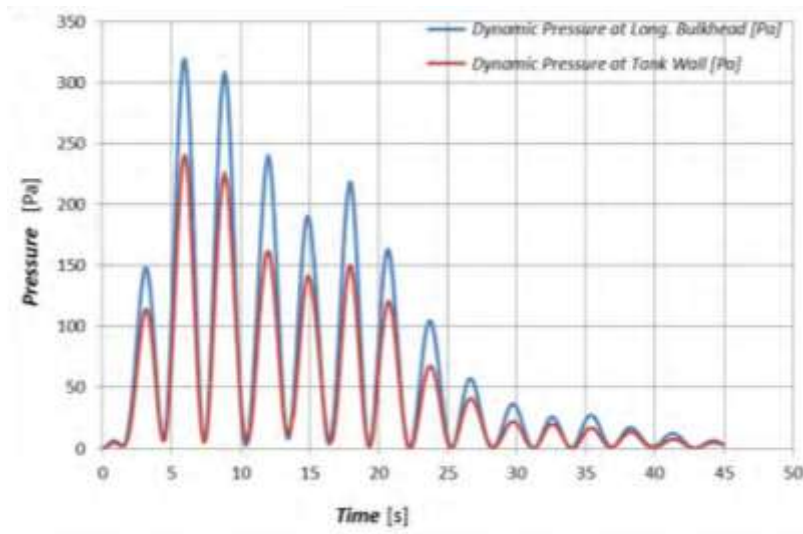
Gambar 4. 27 Grafik *Dynamic Pressure on Long. Bulkhead & Tank Wall [Pa]*

Nilai *dynamic pressure* pada *tank wall* untuk *filling level 50%* adalah 162.1433 [Pa] ditunjukkan pada Gambar 26, sedangkan pada *long. bulkhead* adalah sebesar 253.8503 [Pa]. Pada kenyataannya, besarnya *dynamic pressure* pada *long. bulkhead* akan memiliki tekanan 2x lebih besar daripada hasil simulasi FLUENT pada kajian ini, hal ini diakibatkan karena pemodelan pada kajian ini hanya separuh dari penampang melintang tangki jenis *bilobe*. Berikut adalah fenomena *sloshing* yang mengakibatkan nilai *dynamic pressure* maksimum ditunjukkan pada Gambar 27..



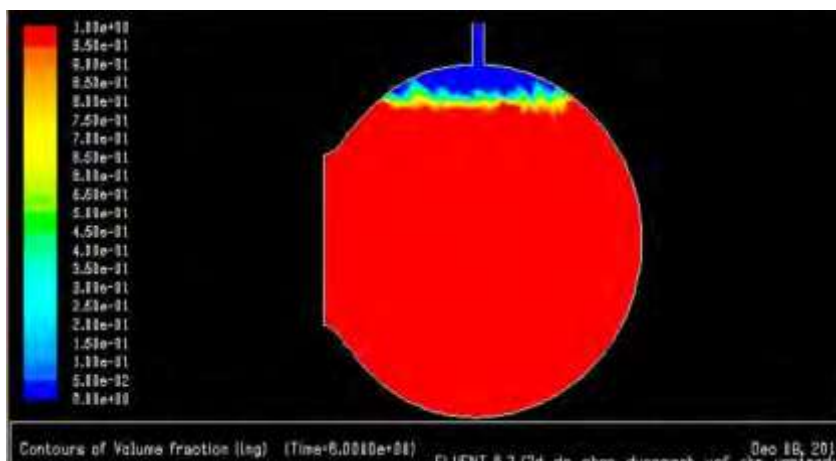
Gambar 4. 28 Fenomena *Sloshing* pada *Filling Level 50%*

i. Hasil perhitungan *Dynamic Pressure* , *Filling Level 90%*



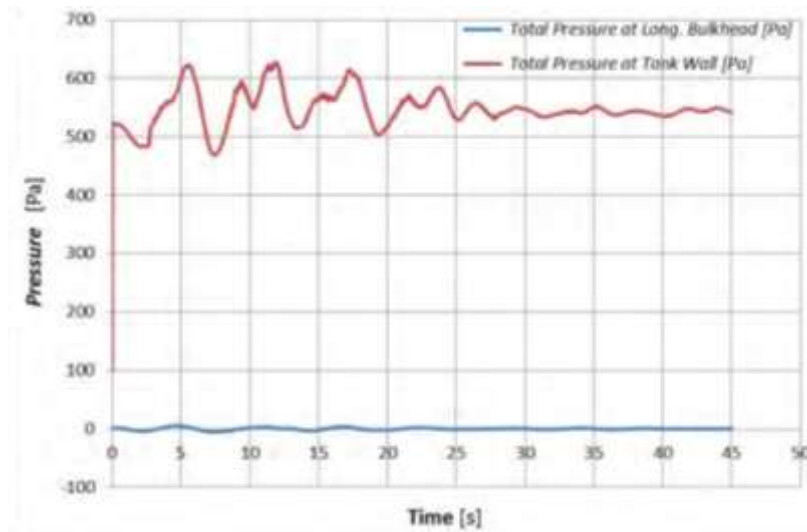
Gambar 4. 29 Grafik *Dyamic Pressure on Long. Bulkhead & Tank Wall* [Pa]

Pada filling level 90%, besarnya *dynamic pressure* memiliki kecenderungan menurun setelah mencapai nilai maksimumnya, pada *tank wall* adalah sebesar 240.1272 [Pa] serta pada *long. bulkhead* 319.2278 [Pa] yaitu pada *time step* 6.0 detik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 29. Berikut adalah visualisasi saat terjadi *pressure* maksimum pada dinding tangki ditunjukkan pada Gambar 4. 30.



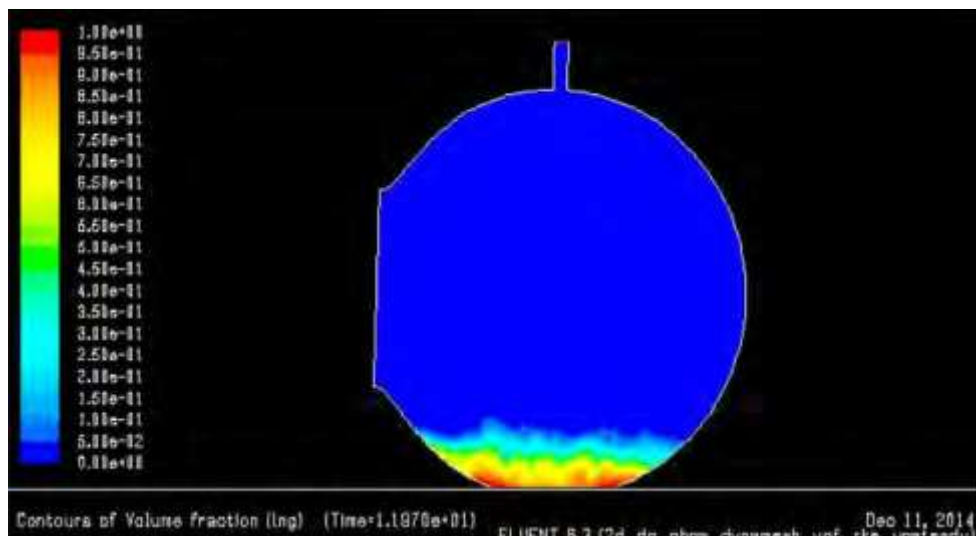
Gambar 4. 30 Fenomena *Sloshing* pada *Filling Level 90%*

j. Hasil perhitungan *Total Pressure* , *Filling Level 10%*



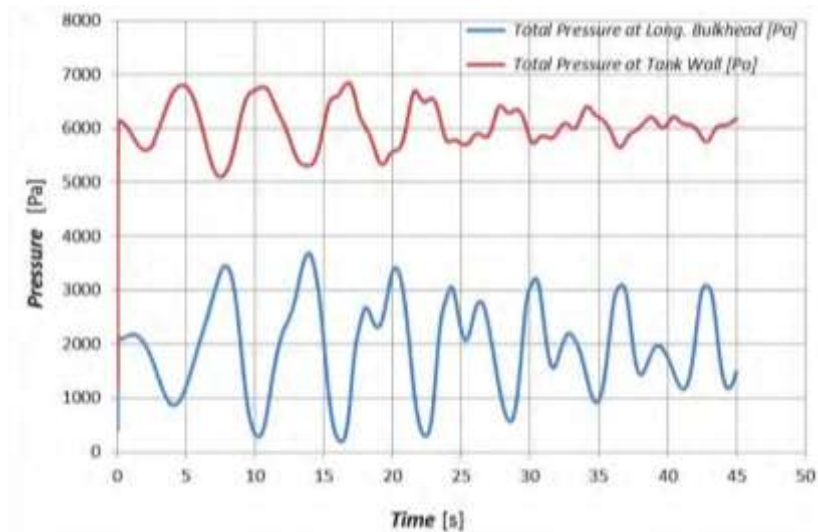
Gambar 4. 31 Grafik *Total Pressure on Long. Bulkhead & Tank Wall* [Pa]

Dari penjumlahan antara *static pressure* dan *dynamic pressure* pada *filling level 10%*, didapat besaran *total pressure* maksimum pada *tank wall* adalah 626.9551 [Pa] yang terjadi pada *time step* 11.97 detik, sedangkan pada *long. bulkhead* adalah 5.228004 [Pa] yang ditunjukkan pada Gambar 4. 31. Berikut adalah gambaran *sloshing* saat terjadi *pressure* maksimum *filling level 10%* ditunjukkan pada Gambar 4. 32.



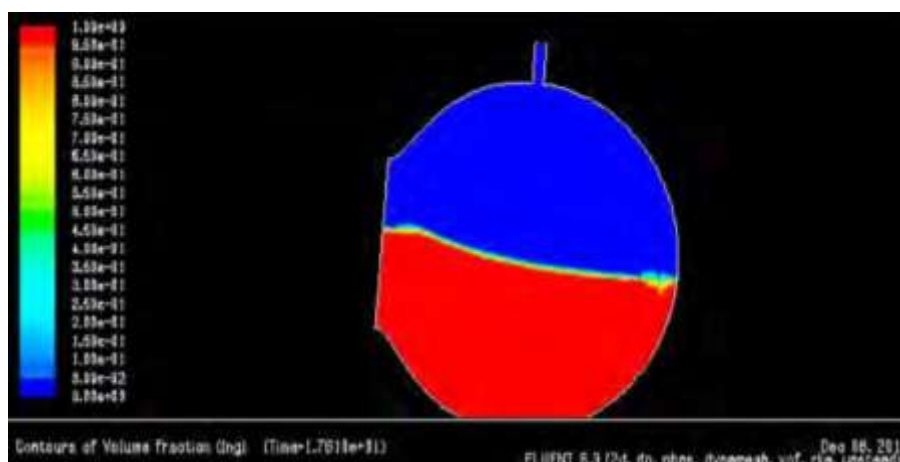
Gambar 4. 32 Fenomena *Sloshing* pada *Filling Level 10%*

k. Hasil perhitungan *Total Pressure* , *Filling Level 50%*



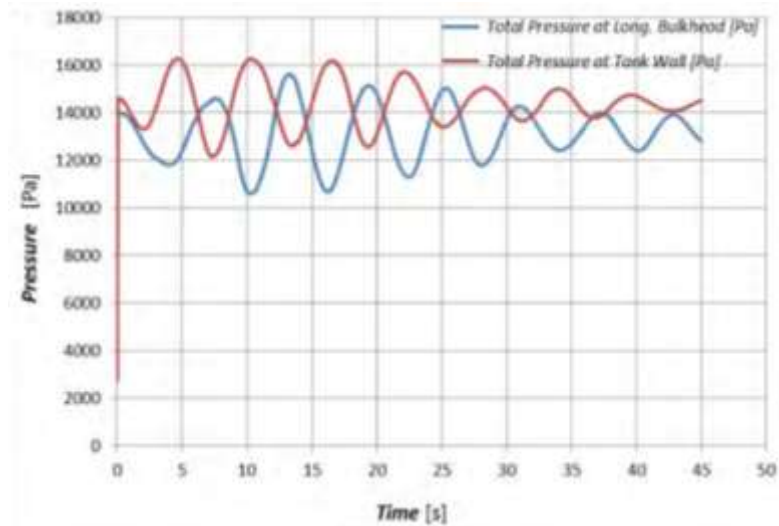
Gambar 4. 33 Grafik *Total Pressure on Long. Bulkhead & Tank Wall* [Pa]

*Total pressure* pada Gambar 4. 33 merupakan hasil penjumlahan dari *static pressure* dan *long. bulkhead* pada *filling level 50%*, sehingga didapatkan nilai maksimum dari *total pressure* pada *tank wall* adalah 6848.524 [Pa] yang terjadi pada time step 17.61 detik, serta pada *long. bulkhead* adalah sebesar 3684.823 [Pa]. Berikut adalah visualisasi dari kondisi maksimum pada kondisi *filling level 50%* seperti ditunjukkan pada Gambar 4. 34.



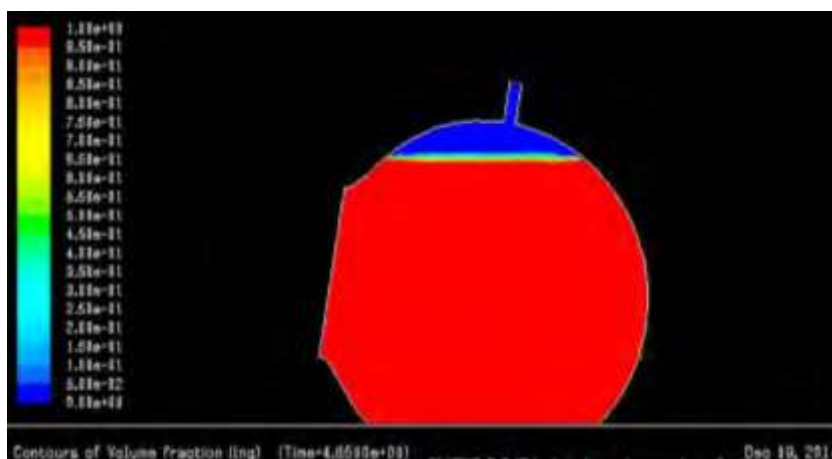
Gambar 4. 34 Fenomena *Sloshing* pada *Filling Level 50%*

1. Hasil perhitungan *Total Pressure* , *Filling Level 90%*



Gambar 4. 35 Grafik *Total Pressure on Long Bulkhead & Tank Wall* [Pa]

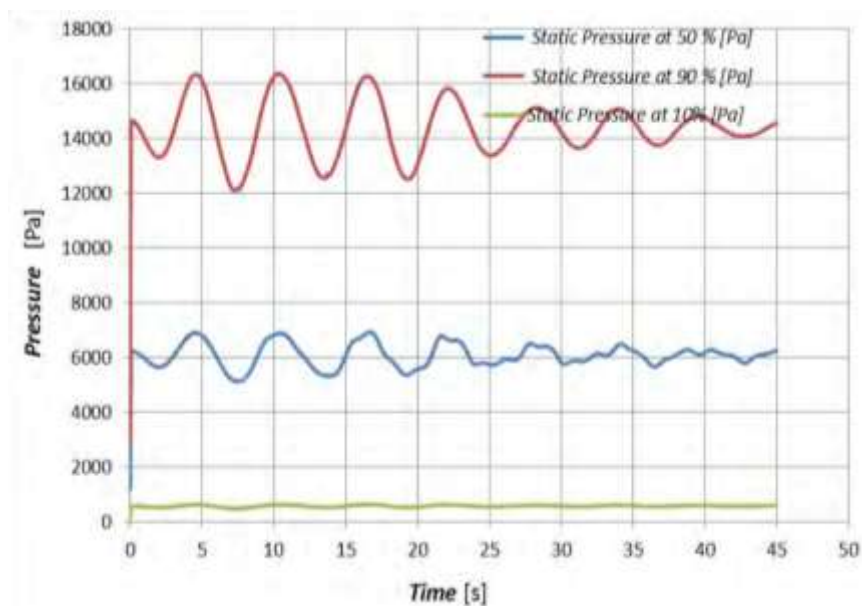
*Total pressure* pada Gambar 4. 35 merupakan hasil penjumlahan dari *static pressure* dan *long bulkhead* pada *filling level 90%*, sehingga didapatkan nilai maksimum dari *total pressure* pada *tank wall* adalah 16253.65 [Pa] yang terjadi pada time step 4.65 detik serta pada *long bulkhead* adalah sebesar 15599.4 [Pa]. Berikut adalah visualisai dari kondisi maksimum pada *filling level 90%* seperti ditunjukkan oleh Gambar 4. 36.



Gambar 4. 36 Fenomena *Sloshing* pada *Filling Level 90%*

Setelah didapatkan hasil output *pressure* (*static*, *dynamic* dan *total pressure*) pada dinding tangki observasi untuk tiap-tiap variasi *filling level*, dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi FLUENT pada tangki *bilobe* memiliki kesesuaian dengan *output pressure* pada dinding tangki observasi. *Static Pressure* dalam simulasi FLUENT sangat dipengaruhi oleh ketinggian/*filling level* dari suatu cairan pada pemodelan tangki observasi. Sehingga, pada simulasi terbentuknya gelombang akibat eksitasi tangki nilai dari *static pressure* digambarkan oleh kemiringan akhir pada suatu langkah ketika gelombang *sloshing* menghantam dinding tangki observasi. Selanjutnya, akan ditampilkan grafik yang menggambarkan perbandingan *static pressure* pada dinding tangki observasi pada pada ketiga variasi *filling level*.

**m. Perbandingan *Static Pressure*, *Filling Level* 10%, 50%, dan 90% pada Tank Wall**



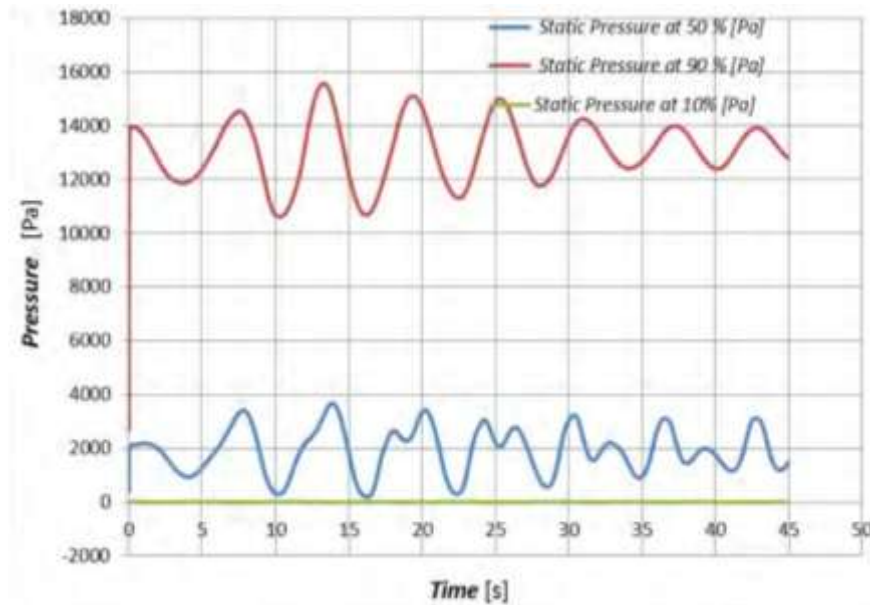
Gambar 4. 37 Grafik Perbandingan *Static Pressure* pada Tank Wall [Pa]

Grafik perbandingan *static pressure* pada *tank wall* menunjukkan bahwa tekanan terbesar terjadi pada *tank wall* pada *filling level* 90% yaitu sebesar 16349.56 [Pa], nilai *static pressure* sangat dipengaruhi oleh ketinggian/*filling level* suatu cairan pada tangki observasi. Sedangkan pada *filling level* 50%, tekanan



maksimum *tank wall* bernilai 6891.164 [Pa], serta pada *filling level* 10% memiliki nilai *pressure* maksimum pada 618.3731 [Pa] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 37. Ketiga nilai rekaman data *pressure* pada *tank wall* untuk tiap-tiap variasi *filling level* memiliki kecenderungan yang identik dengan spektra respon sebagai eksitasi tangki yang berangsur-angsur menuju nilai konstan setelah mencapai nilai maksimumnya masing-masing.

**n. Perbandingan *Static Pressure*, *Filling Level* 10%, 50%, dan 90% pada Long. Bulkhead**



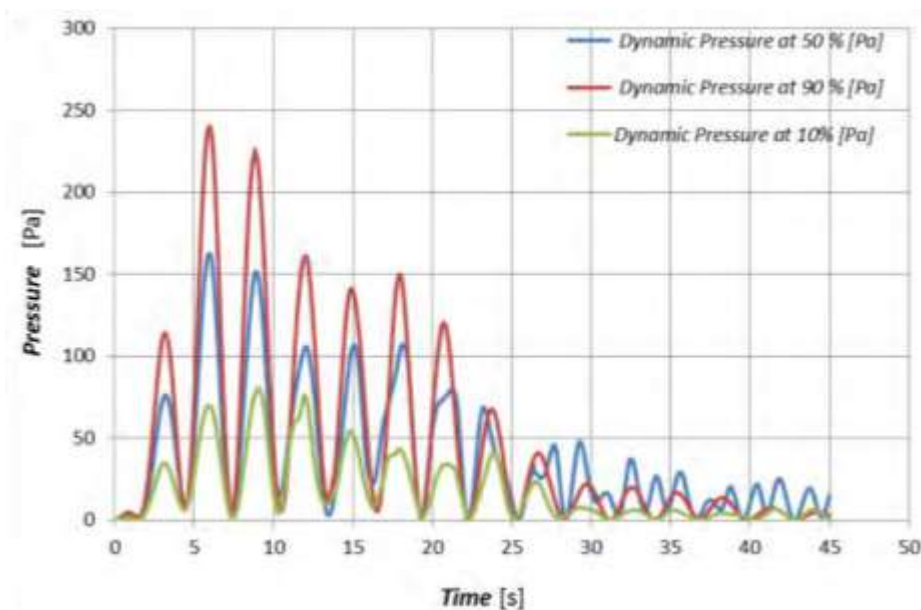
Gambar 4. 38 Grafik Perbandingan *Sttic Pressure* pada Long. Bulkhead [Pa]

Grafik perbandingan yang ditunjukkan pada Gambar 4. 38 untuk tipe *pressure* yang sama yaitu *static pressure*, namun kali ini dinding tangki yang diobservasi adalah *longitudinal bulkhead* memiliki nilai maksimum pada variasi *filling level* 90% yaitu sebesar 15570.17 [Pa]. Nilai maksimum dari *longitudinal bulkhead* lebih kecil daripada *pressure* maksimum pada tipe yang sama untuk *tank wall*, hal ini dikarenakan *longitudinal bulkhead* lebih rendah daripada tinggi cairan LNG, sehingga nilai *static pressure* tidak banyak dipengaruhi oleh efek *sloshing* yang terjadi pada permukaan cairan yang secara langsung berada pada dinding tangki jenis *tank wall*. Untuk tingkat *filling level* 50%, memiliki nilai maksimum

sebesar 3643.889 [Pa]. Nilai tersebut juga lebih kecil dibandingkan *filling level* yang sama dengan *tank wall*, hal ini dikarenakan oleh pendekatan *pressure* pada dinding tangki *longitudinal bulkhead* tidak sebesar *tank wall*, *tank wall* menanggung beban *static* secara menyeluruh pada *filling level* tersebut, sedangkan pada *longitudinal bulkhead* hanya menanggung separuh dari tinggi dinding tersebut. Pada *filling level* 10%, dinding tangki *longitudinal bulkhead* memiliki nilai *static pressure* maksimum sebesar 5.14094 [Pa].

**o. Perbandingan *Dynamic Pressure* , *Filling Level* 10%, 50%, dan 90% pada Tank Wall**

*Dynamic Pressure* merupakan representasi dari beban *sloshing* pada tangki observasi, hal ini sesuai dengan fenomena *sloshing* itu sendiri yaitu adanya perpindahan dinamis suatu cairan akibat adanya permukaan bebas pada wadah cairan tersebut berada. Berikut merupakan hasil perbandingan nilai *dynamic pressure* pada dinding tangki observasi pada ketiga variasi *filling level*.

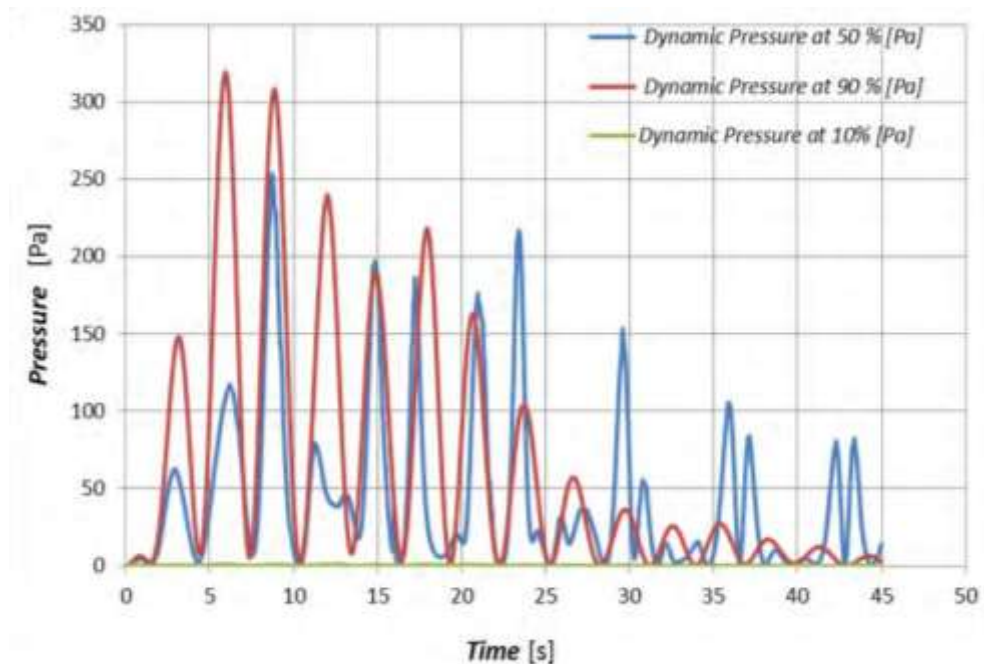


Gambar 4. 39 Grafik Perbandingan *Dynamic Pressure* pada *Tank Wall* [Pa]

Grafik perbandingan *dynamic pressure* pada *tank wall* menunjukkan bahwa tekanan terbesar terjadi pada *tank wall* pada *filling level* 90% yaitu sebesar 240.1272 [Pa], hal ini sesuai dengan visualisasi pada simulasi FLUENT bahwa nilai *dynamic pressure* pada *tank wall* pada *filling level* tersebut terjadi efek *sloshing*

langsung pada permukaan dinding *tank wall* dibandingkan *filling level* yang lain. Sedangkan pada *filling level* 50%, tekanan maksimum *tank wall* bernilai 162.1433 [Pa] serta pada *filling level* 10% memiliki nilai *pressure* maksimum pada 80.12007 [Pa]. Ketiga nilai rekaman data *pressure* pada *tank wall* untuk tiap-tiap variasi *filling level* memiliki kecenderungan yang identik dengan spektra respon sebagai eksitasi tangki yang berangsur-angsur menuju nilai konstan setelah mencapai nilai maksimumnya masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4. 39.

p. **Perbandingan *Dynamic Pressure* , *Filling Level* 10%, 50%, dan 90% pada Long. Bulkhead**



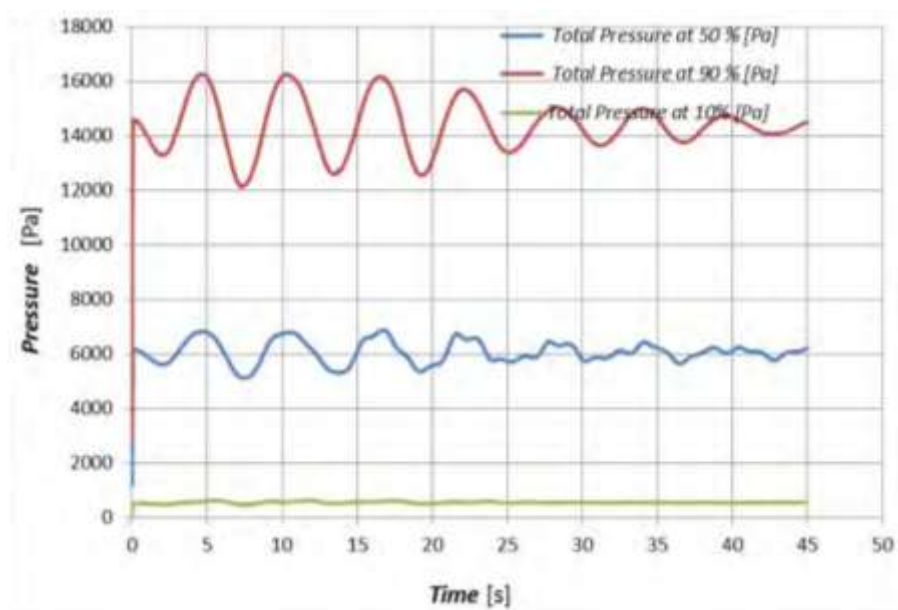
Gambar 4. 40 Grafik Perbandingan *Dynamic Pressure* pada *Longitudinal Bulkhead* [Pa]

Nilai *dynamic pressure* pada *longitudinal bulkhead* ditunjukkan pada Gambar 4. 40 pada *filling level* 10% memiliki nilai yang sangat kecil yaitu sebesar 1.222938 [Pa], hal ini dikarenakan oleh permukaan cairan LNG yang tidak menyentuh bagian dinding *longitudinal bulkhead* sehingga nilainya tidak terlalu signifikan. Nilai maksimum terjadi pada *filling level* 90% yaitu sebesar 319.2278 [Pa]. Namun pada aplikasi di lapangan, efek *sloshing* terhadap beban dinamis paling besar terjadi pada tingkat *filling level* 50% dikarenakan oleh pemodelan

*sloshing* pada kajian ini hanya pada separuh dari geometri tangki dengan *dynamic pressure* maksimum sebesar 253.8503 [Pa], sehingga pada kenyataannya nilai ini seharusnya dikalikan dengan faktor 2 jika pemodelan dilakukan secara penuh terhadap geometri tangki.

**q. Perbandingan *Total Pressure* , *Filling Level* 10%, 50%, dan 90% pada Tank Wall**

*Total Pressure* merupakan hasil penjumlahan antara *static pressure* dan *dynamic pressure*, nilai dari *total pressure* lebih didominasi oleh *static pressure*, hal ini dikarenakan nilai *static pressure* yang lebih signifikan dibandingkan dengan nilai dari *dynamic pressure*. Berikut adalah pembahasan untuk hasil perhitungan *total pressure*.

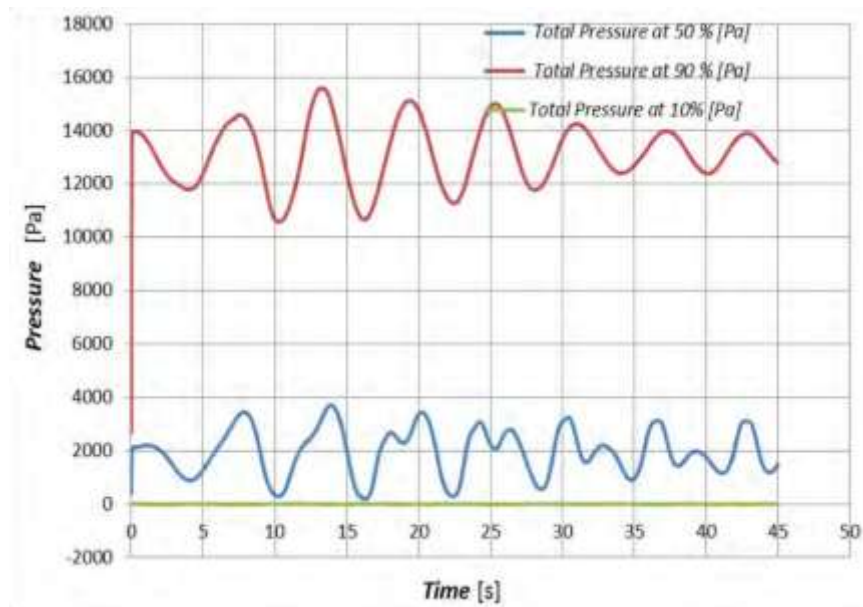


Gambar 4. 41 Grafik Perbandingan *Total Pressure* pada Tank Wall [Pa]

Nilai *total pressure* ditunjukkan Gambar 4. 41 pada kondisi batas *tank wall* memiliki nilai maksimum pada *filling level* 90% yaitu sebesar 16253.65 [Pa], nilai ini sangat dipengaruhi oleh nilai *static pressure* pada dinding dan *filling level* yang sama. Dengan analisis yang sama, maka nilai *pressure* maksimum pada *filling level*

50% dan 10% juga dipengaruhi oleh *static pressure* yaitu masing-masing sebesar 6848.524 [Pa] dan 626.9551 [Pa].

r. **Perbandingan *Total Pressure* , *Filling Level* 10%, 50%, dan 90% pada Long. Bulkhead**



Gambar 4. 42 Grafik Perbandingan *Total Pressure* pada *Longitudinal Bulkhead* [Pa]

Nilai total *pressure* ditunjukkan Gambar 4. 42 pada dinding tangki *longitudinal bulkhead* juga dipengaruhi oleh nilai *static pressure*-nya masing-masing. Nilai maksimum yang terjadi adalah pada tingkat *filling level* 90% yaitu sebesar 15599.4 [Pa]. Sedangkan untuk *filling level* 10% memiliki nilai yang tidak terlalu signifikan, hal tersebut dikarenakan oleh tinggi permukaan cairan LNG yang dibawah dinding *longitudinal bulkhead*. Pada variasi *filling level* 50% memiliki nilai maksimum sebesar 3684.82 [Pa]. Berikut adalah diagram perbandingan *total pressure* pada dinding *long. bulkhead* pada tiap-tiap variasi *filling level* .

s. **BOG Rate**

Proses pengangkutan LNG dengan menggunakan kapal, *boiled-off gas* (BOG) terbentuk sebagai akibat dari perpindahan kalor melalui insulasi tanki LNG pada kapal. Dalam penanganan gas *boiled-off* perlu diperhatikan bahwa gas ini

mengandung metana yang lebih ringan dari udara (Cusdin, 2008). Besarnya BOG dapat diperhitungkan melalui pendekatan teori *conservation law*, teori ini menggunakan analisa termal pada tangki. Pada kajian ini akan diperhitungkan mengenai besarnya BOG yang dihasilkan akibat adanya pengaruh sloshing. BOG dapat diketahui dengan mengetahui volume muatan sebelum dan sesudah sloshing, kapasitas tangki, densitas muatan dan besarnya entalphi. Berikut persamaan yang digunakan dalam perhitungan (Lin, et al., 2018) :

$$BOR = \frac{(V_A + V_B) \times 24 \times 3600}{V \cdot \rho \cdot H_v}$$

Dimana :

- $\rho$  = density of cryogenic liquid
- $H_v$  = enthalpy of vaporization of cryogenic liquid  
= 198.6 (kJ/kg)
- $V$  = tank capacity
- $V_A$  = volume before sloshing
- $V_B$  = volume after sloshing

Tabel 4. 17 Hasil analisa BOR

Item	Filling level	LNG Volume Before Test (m <sup>3</sup> )	LNG Volume After Test (m <sup>3</sup> )	Tank Capacity (m <sup>3</sup> )	BOR (%)
Without sloshing	90%	630	627.13	700	0.38
	50%	350	346.97	700	0.40
	10%	70	67.05	700	0.39
With sloshing	90%	630	628.56	700	0.19
	50%	350	348.33	700	0.22
	10%	70	68.49	700	0.20

Hasil analisa besarnya BOG dapat dilihat pada Tabel 4. 17, data tersebut menunjukkan bahwa ada peningkatan prosentasi BOR ketika terjadi sloshing. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan volume muatan akibat penguapan. Perbedaan besarnya laju penguapan terjadi karena adanya perbedaan luasan pada

setiap gerakan sloshing. Semakin besar pengaruh luasan akibat sloshing maka dapat disimpulkan bahwa BOG rate juga semakin meningkat, begitu pula sebaliknya.

#### **t. BOG Handling**

LNG vessel tidak menyediakan peralatan pendukung berupa kilang pencairan di atasnya ketika terbentuk BOG sebagai akibat penguapan muatan, dalam rancangannya LNG vessel hanya bisa mengatur uap yang timbul (*boil off gas*) dari muatan, yang terjadi karena tidak ada insulasi yang 100% efisien, dengan mengeluarkan (*venting*) atau membakarnya pada *burning facilities*. *Venting* sangat jarang terjadi, yaitu biasanya hanya terjadi pada terbukanya *safety valves*. Jumlah maksimum untuk uap yang timbul pada umumnya sekitar 0,15% volume kargo per hari.

Selain di kapal BOG handling dilakukan ketika sedang melakukan transfer antara LNG *bunkering vessel* dg fasilitas *storage* di pelabuhan maupun kapal lain yang akan di suplai bahan bakar LNG. Selama operasi normal, uap *boil-off* diproduksi pada tangki dan pipa yang berisi cairan akibat transfer panas dari sekitar. Uap ini dikumpulkan pada *boil-off header* yang terhubung dengan *boil-off compressor suction drum*. Sebuah *in-line desuperheater*, yang terletak pada hulu *drum* akan menginjeksi bahan bakar LNG pada aliran gas jika temperatur meningkat di atas  $-80^{\circ}\text{C}$ . Uap *boil-off* yang dihasilkan selama operasi normal karena adanya panas yang terserap ke tangki penyimpanan dan pipa dikompres dan dicairkan pada *recondenser*.

Selama bongkar muat, jumlah uap pada outlet tangki naik secara signifikan. Uap tambahan ini adalah kombinasi dari volume yang digantikan pada tangki oleh LNG yang masuk, uap yang datang dari terbebasnya input energi pada pompa kapal, uap *flash* karena perbedaan tekanan antara kapal dan tangki penyimpanan serta penguapan dari bocornya panas pada penghubung bongkar muat dan pipa transfer.

Uap dapat dialirkan kembali menuju *bunkering vessel* melalui *boil-off gas blower* atau menuju *boil-off compressor*. Uap yang tidak dialirkan kembali ke kapal dikompres dan dialirkan ke *recondenser*. Banyaknya uap yang bisa direkondensasi tergantung pada jumlah LNG yang dikirimkan. Jika tidak terdapat cukup LNG yang

dikirimkan untuk menyerap *boil-off gas*, uap tersebut dikompresi hingga tekanan pipa atau bisa juga dibakar atau dikeluarkan ke atmosfer (*vented*). Prioritas untuk penanganan uap adalah sebagai berikut :

- Untuk penggantian (*displacement*) volume pada kapal dan tangki penyimpanan
- Untuk pencairan kembali pada LNG yang dikirimkan (pada fasilitas *storage on shore*)
- Untuk dikompres hingga tekanan pipa dan ditransportasikan melalui pipa
- Untuk dibakar atau dikeluarkan ke atmosfer (ada *bunkering vessel*)

Jika terjadi kondisi yang tidak diinginkan, uap bisa dihasilkan melebihi kapasitas recondenser dan kompresor pipa (jika ada). Jika ini terjadi, uap harus dikeluarkan ke udara melalui *elevated vent stack* atau dibakar untuk pembuangan secara aman. Metode pembuangan uap yang lebih disukai adalah dengan cara membakarnya. Pengeluaran dengan *venting* memungkinkan tetapi membutuhkan pertimbangan khusus. Walaupun mungkin lebih disukai karena tidak terlihat oleh penduduk sekitar, vent harus dirancang untuk mengantisipasi jika tiba-tiba terjadi percikan oleh petir. Penyebaran gas dingin dari vent juga lebih problematis dibanding dari pembakaran karena gas pembakaran akan selalu naik ke atas. Sistem uap tangki digabungkan pada manifold dan *pressure control valve* mengirimkan uap ke *vent stack* atau *flare stack* sebelum *safety valve* tangki terbuka. Tangki penyimpanan itu sendiri dilengkapi dengan relief valve sebagai pertahanan terakhir menahan *overpressure*.

#### **4.4. Keamanan Tangki Penyimpanan berdasarkan Implementasi IGC Code**

##### **a. Jenis Pemilihan Tangki Penyimpanan**

Keselamatan kapal dijamin melalui penghalang empat tingkat. Tingkat pertama adalah keamanan intrinsik peralatan. Tingkat kedua adalah jarak aman di dalam kapal. Tingkat ketiga adalah sistem instrumen keselamatan, penutupan darurat dan sistem rilis. Tingkat keempat adalah pelatihan personalia dan operasi. Di tingkat pertama keamanan terhadap intrinsik peralatan terutama terkait tangki penyimpanan LNG.

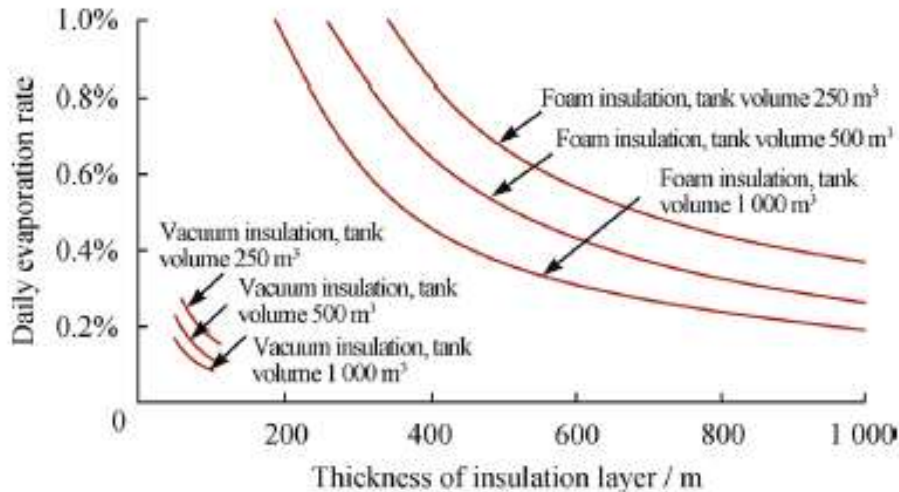


Pengisian LNG pada dasarnya berbeda dari bahan bakar minyak. Dalam lingkungan atmosfer, bahan bakar minyak dalam bentuk cair, sehingga penyimpanan, transportasi dan pengisian pada dasarnya di bawah pengaruh medan gravitasi. Namun, berbeda dengan bahan bakar LNG dalam bentuk gas di lingkungan atmosfer, demikian juga di proses penyimpanan, transportasi dan pengisian, suhunya dan tekanan harus dikontrol untuk menjaga keadaannya. Oleh karena itu, dalam pengoperasiannya terkait dengan tiga hal diantaranya medan gravitasi, suhu dan tekanan. LNG dipasok ke kapal penerima LNG harus pada suhu rendah untuk memfasilitasi penyimpanan bahan bakar di kapal penerima LNG.

Kontrol suhu dan tekanan bahan bakar LNG juga dipengaruhi oleh jenis tangki penyimpanan. Menurut *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code)* yang telah ditetapkan oleh Organisasi Maritim Internasional (IMO), tangki LNG dibagi menjadi tangki membran dan independen tank. Kedua jenis tangki tersebut dibagi lagi menjadi tipe A, tipe B dan tipe C. Tangki membran, tipe A dan tipe B adalah tangki dengan tekanan normal, sedangkan tangki tipe C memiliki spesifikasi khusus untuk dapat tahan terhadap tekanan. Oleh sebab itu desain *bunkering vessel* ini menggunakan tangki penyimpanan tipe C karena mengangkut LNG yang dapat berpotensi menghasilkan *boil off gas* (BOG) di dalamnya.

Tangki tipe C selanjutnya dibagi menjadi *single-wall isolation tank* dan *double-wall vacuum insulation tanks*. Menurut regulasi saat ini, ukuran tangki maksimum dengan *single-wall isolation tank* adalah  $300 \text{ m}^3$  dan jika lebih dari nilai tersebut maka menggunakan *double-wall vacuum insulation tanks*. Hubungan antara tingkat penguapan dan ketebalan lapisan isolasi tangki adalah diplot sesuai dengan pengukuran dan pengalaman industri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 43. Ini menunjukkan bahwa penguapan harian tingkat ponton bunkering LNG umumnya dikontrol di bawah 0,30%. Untuk tangki yang menggunakan *single-wall isolation tank* dengan kapasitas penyimpanan  $250 \text{ m}^3$ , maka ketebalan lapisan insulasi akan melebihi 1 m, namun dengan *double-wall vacuum insulation tanks* itu dapat dikontrol hanya dengan ketebalan lapisan 200 mm saja. Hal ini dapat menyimpulkan bahwa untuk tangki dengan desain kapasitas penyimpanan  $350 \text{ m}^3$ ,

*single-wall isolation tank* tidak menguntungkan untuk diaplikasikan di kapal, sehingga *double-wall vacuum insulation tanks* adalah pilihan yang optimal.



Gambar 4. 43 Hubungan antara ketebalan lapisan insulasi dan laju penguapan pada tangki penyimpanan LNG

Sumber : (Hongjun, 2018)

## b. Penentuan Tekanan Pengaturan Katup Pengaman dalam Tangki Penyimpanan

Penentuan pengaturan tekanan katup pengaman di tangki penyimpanan tergantung pada tiga faktor, yaitu *low pressure limit*, *upper pressure limit* dan *loading limit*.

### Low Pressure Limit

Berdasarkan persyaratan pada desain minimum tekanan ( $p_0$ ) tangki tipe C yang ditetapkan dalam IMO-IGC Code (IMO, 2016),  $p_0$  harus memenuhi persamaan (4.1).

$$p_0 \leq 0.2 + AC (\rho_r)^{1.5}$$

Dimana :

$$A = 0.00185 \left( \frac{\sigma_m}{\Delta\sigma_A} \right)^2$$

$\sigma_m$  = merupakan desain tegangan membran (MPa)

$\Delta\sigma_A$  = merupakan dinamika yang diizinkan tegangan membran

- $\Delta\sigma_A$  = 55 N / mm<sup>2</sup> untuk ferritic (pearlitic) / baja martensit dan austenitik
- C = dimensi karakteristik tangki penyimpanan, ambil maksimumnya diantara h, 0,75 b dan 0,45 l, di mana h mewakili tinggi tangki (diukur sepanjang arah vertikal kapal), b: luas tangki (diukur sepanjang arah lateral kapal), dan l: panjang tangki diukur sepanjang arah kapal vertikal),
- $\rho_r$  = kerapatan relatif dari muatan di bawah suhu desain (air tawar = 1).

Tekanan desain minimum digunakan untuk mengontrol propagasi retak sampai 50% dari ketebalan dinding tangki di dalamnya. Dalam tangki penyimpanan dengan kapasitas 350 m<sup>3</sup>, diameter dalam tangki bagian dalam adalah 5.62 m dan panjang internal tangki dalam adalah 15.2 m. Jika tangki penyimpanannya terbuat dari stainless steel 304L, tekanan desain minimumnya adalah 0,24 MPa. Dan jika terbuat dari baja nikel 9%, minimum tekanan desain adalah 0,32 MPa.

### **Upper Pressure Limit**

Menurut peraturan MSA (Maritime Safety Administration, 2014) dan regulasi CCS (China Classification Society, 2014), tekanan pengaturan maksimum katup pengaman di tangki penyimpanan tidak boleh melebihi 1,2 MPa, untuk suhu kritis metana adalah 190,7 K dan pembacaan jenuh uap sesuai dengan suhu kritis 80% pada tekanan pengukur adalah 1,251 MPa. Untuk memastikan keamanan penyimpanan, MSA dan CCS yang menetapkan nilai-nilai ini.

### **Loading Limit**

IMO IGC Code mengatur *loading limit* penyimpanan tangki. *Loading limit* adalah rasio maksimum volume cairan yang diizinkan untuk dipindahkan ke volume tangki penyimpanan. Sebagai tangki bertekanan, densitas LNG berkurang sehingga mengakibatkan cairan mengembang. *Loading limit* diatur untuk memastikan bahwa ada cukup ruang di tangki penyimpanan untuk mengakomodasi cairan yang diperluas. Gambar. 4 menunjukkan hubungan antara *loading limit* penyimpanan tangki dan tekanan pengaturan katup pengaman di penyimpanan tangki. Hal ini ditunjukkan saat pengaturan tekanan keselamatan katup mencapai 0,9 MPa, *loading limit* tangki penyimpanan akan lebih rendah dari 80%. Dari perspektif rasio

pemanfaatan tangki, pengaturan tekanan katup pengaman di tangki tidak boleh terlalu tinggi, sehingga kontrol yang disarankan adalah dalam 0,9 MPa.

**c. Pemilihan Material Tangki**

Pemilihan *double-wall vacuum insulation tanks* memiliki bahan utama stainless steel austenitic (mis. 304L) atau 9% baja nikel. Dalam desain bagian dalam tangki penyimpanan bertekanan 350 m<sup>3</sup> (*spherical head*, diameter internal tangki bagian dalam: 5.62 m, internal panjang: 15.2 m), tekanan desain diasumsikan 1,0 MPa. Indikator kekuatan austenitik stainless steel dan baja nikel 9% ditunjukkan pada Tabel 4. 18.

Tabel 4. 18 Kekuatan material tanki

<b>Steel</b>	<b>Strength Indicator</b>	<b>Permissible Stress</b>
304L stainless steel	Tension strength 485 MPa	137 MPa
	Yield strength 205 MPa	
9% nickel steel	Tension strength 680 MPa	194 MPa
	Yield strength 565 MPa	

Sumber : (Hongjun, 2018)

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi pada tangki tipe C dengan berbagai variasi dan pembahasan pada sub-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

- Desain perencanaan teknis berupa *lines plan, general arrangement LNG mobile floating bunkering vessel* memiliki ukuran utama Loa: 54.86 m, Lpp: 53.66 m, B: 15 m, H: 5 m, T: 4 m, Cb: 0.822 dengan kapasitas angkut 1400 m<sup>3</sup> LNG.
- Hasil analisa stabilitas dilakukan pada dua kondisi ekstrem yaitu muatan penuh dan muatan kosong. Pada kondisi muatan penuh memiliki nilai GZ maksimum 2.39 m dan besarnya nilai GMt adalah 6.603 m. Pada kondisi muatan kosong memiliki nilai GZ maksimum 3.468 m dan besarnya nilai GMt adalah 16.48 m. Kedua kondisi dianalisa menggunakan tiga kriteria stabilitas berdasarkan regulasi *barge carrying hazardous liquids, pontoons, IMO A 749(18)* dengan hasil seluruh kondisi memenuhi kriteria yang disyaratkan.
- Pengaruh variasi *filling level* terhadap beban *sloshing* untuk kondisi 10%, 50% dan 90% pada dinding tangki *tank wall* adalah 80.12007 [Pa], 162.1433 [Pa], dan 240.1272 [Pa]. Sedangkan pada dinding tangki *long. bulkhead* untuk urutan variasi *filling level* yang sama yaitu 122.2938 [Pa], 253.8503 [Pa], dan 319.2278 [Pa]. Data diatas menunjukkan bahwa variasi *filling level* memiliki pengaruh terhadap peningkatan efek beban *sloshing* pada jenis dinding tangki *long. bulkhead*. Tekanan yang terjadi akibat *sloshing* tidak mempengaruhi stuktur pada kapal karena tekanan yang diberikan dibawah tekanan maksimum tangki tipe C tank sebesar 2 Bar atau setara dengan 200.000 Pa.
- Keamanan tangki penyimpanan LNG ini pada saat dioperasikan berdasarkan implementasi *IGC Code* dipengaruhi oleh tiga faktor utama diantaranya yang pertama penentuan jenis tangki, kedua mengenai pengaturan tekanan katup

pengaman ketika kondisi *low pressure limit*, *upper pressure limit* dan *loading limit*, dan yang ketiga penentuan jenis material insulasi tangki.

## 5.2 Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap hasil simulasi dan kesimpulan yang dihasilkan, maka saran yang terkait dengan permasalahan yang diangkat pada kajian ini antara lain :

- Perlunya dilakukan pemodelan numerik dengan ukuran *mesh* yang bervariasi, utamanya pada daerah pada dinding tangki yang diperkirakan terjadi efek *sloshing*.
- Dilakukannya analisa yang membandingkan hasil simulasi FLUENT dengan *software* lain maupun dengan melakukan proses validasi terhadap permasalahan yang sama pada pengujian di laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

- Artana, K. B. ., S., 2006. *Transportasi LNG Indonesia*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Bhattacharrya, R., 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. Newyork: Wiley Publication.
- BKI, B. K. I., 2014. Rules for the Classification and Construction. Part 1. Seagoing Ships. Dalam: BKI, penyunt. *Volume II Rules for Hull 2014 Edition*. Jakarta: BKI, pp. 4-2/10.
- Bulian, G. J. L. C.-P., 2018. Co-simulation of ship motions and sloshing in tanks. *Ocean Engineering*, Volume 152, pp. 353-376.
- Calderon, M. D. I. J. V., 2016. Facilities for Bunkering of Liquefied Natural Gas in Port. *Transport Research Arena*, Volume 14, pp. 2431-2440.
- China Classification Society, C., 2014. *Rules for LNG bunkering pontoons*. Beijing, China Communication Press.
- Cusdin, D. R., 2008. *The development of Liquefied Natural Gas Carriers – a marine engineering success*. London: The Institute of Marine Engineers.
- EMSA, E. M. S. A., 2018. *Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administration*. s.l.:EMSA.
- Grotle, E. L. V. A., 2018. Dynamic modelling of the thermal response enhanced by sloshing in marine LNG fuel tanks. *Applied Thermal Engineering*, Volume 135, pp. 512-520.
- Haitao, P. H. Z. W. H., 2016. Fuel Bunkering Technology of LNG Fuelled Ship in China. *Port Water Eng.*, Volume 9, pp. 10-46.
- Hedzrik, J., 2011. LNG as a Marine Fuel-Possibilities and Problems. *KONES Powertrain and Transport*, Volume 18.
- Hongjun, F. X. J. W. S. S. G. G. W., 2018. LNG Bunkering Pontoons on Inland Waters in China. *Natural Gas Industry B*, Volume 5, pp. 148-155.
- Hosain, M. L. U. S. R. B. F., 2018. Numerical Investigation of Liquid Sloshing in Carrier Ship Fuel Tanks. *IFAC PapersOnLine*, Volume 51, pp. 583-588.

- House, J. D., 2007. *Ship Handling Theory and Practice*. USA: Butterworth-Heinemann.
- IGU, 2012. *Natural Gas Conversion Pocketbook*. s.l.:s.n.
- IMO, I. M. O., 2013. *Report on the marine environment protection committee on its sixty-fifth session*. [Online] Available at: <https://www.uscg.mil/imo/mepc/docs/MEPC65-report.pdf>. [Diakses 29 April 2018].
- IMO, I. M. O., 2014. *Report on maritime environment protection committee on its sixty-sixth session*. [Online] Available at: <https://www.uscg.mil/imo/mepc/docs/MEPC66-report.pdf>. [Diakses 29 April 2018].
- IMO, I. M. O., 2016. *IGC Code 2016 : International code for the construction and equipment of ships carrying liquefied gases in bulk*. London: IMO.
- Iqro, M. A., Dinariyana, A. A. B. & Artana, K. B., 2012. Kajian Perencanaan Gas Handling System dan Transportation System: Studi Kasus Distribusi di Bali. *Jurnal Teknik ITS*, Volume 1, pp. 253-259.
- Jeong, J. S. S. H. Y. D. C., 2017. Comparative Analysis of a Hibrid Propulsion using LNG-LH2 Complying with Regulation on Emissions. *Int. J. of Hydrogen Energy*, Volume 43, pp. 3809-3821.
- Lewis, E. V., 1988. *Principle of Naval Architecture*. Jersey: SNAME.
- Lin, Y., Yu, Y.-y., Ye, C. & Bi, S.-w., 2018. An approach to estimating the boil-off rate of LNG in type C independent tank for floating storage and regasification unit under different filling ratio. *Journal of Applied Thermal Engineering*, Volume 135, pp. 463-471.
- Maritime Safety Administration, M., 2014. *Provisional Regulations for Inland Waterway LNG Bunkering Pontoons*. Beijing, MSA.
- Maulidina, M., 2006. *Liquefied Natural Gas (LNG) sebagai Pemanfaatan Gas Alam*. Depok: UI.
- MLIT, M. o. L. I. a. T., 2009. *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities*. Tokyo: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan.



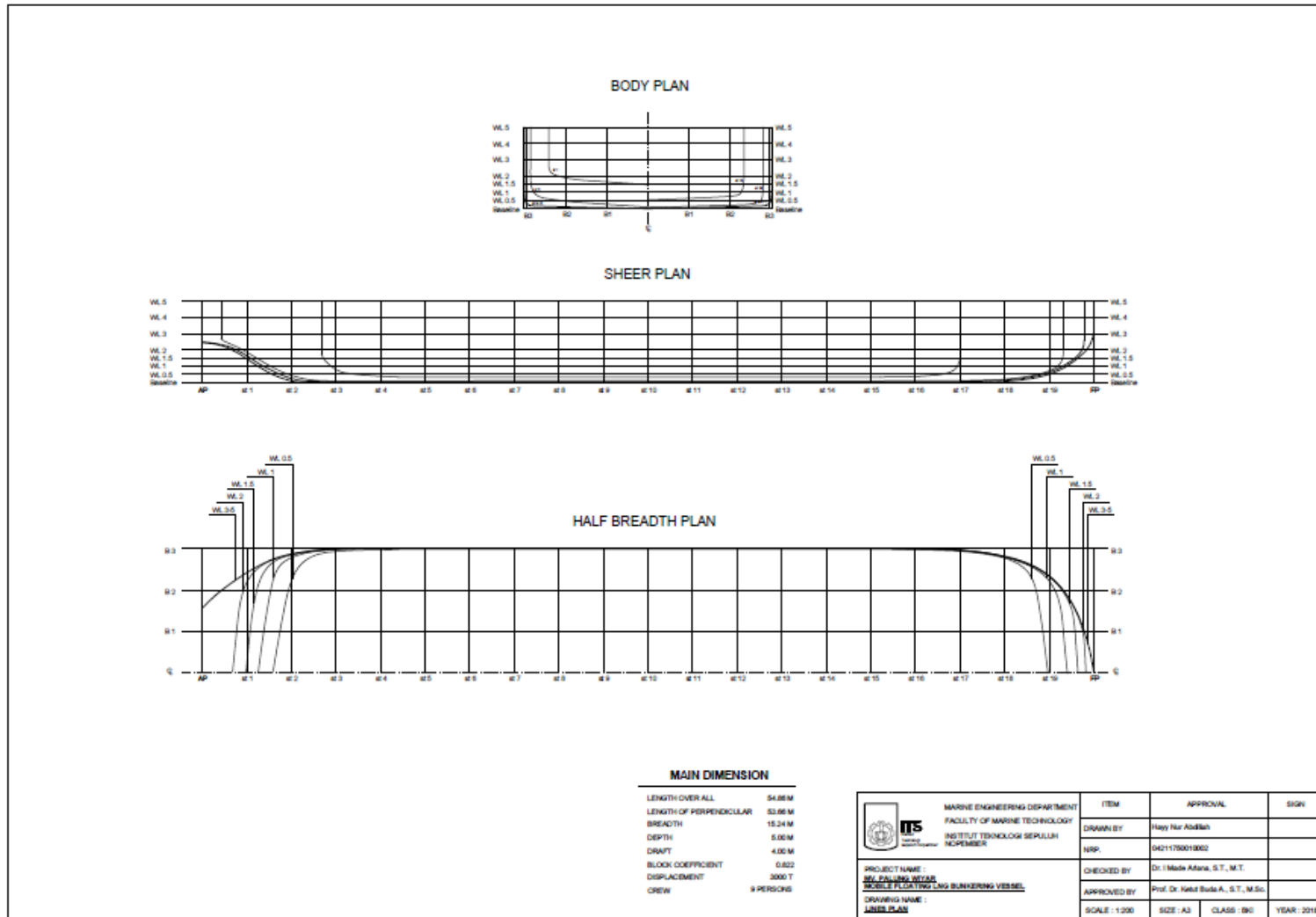
- Nizar, A. M., Artana, K. B. & Ariana, I. M., 2016. Kajian Teknis dan Ekonomis Bunkering LNG untuk Pemenuhan Bahan Bakar Gas Kapal Pelni. *Jurnal Teknik ITS*, Volume 5, pp. 361-366.
- Perhubungan, S. K. S. B. P. d. P. K., 2010. *Statistik Konsumsi Energi Transportasi dan Lingkungan*, Jakarta: Kementrian Perhubungan.
- Senary, K. A. T. E. H. A. A., 2016. Development of a Waste Heat Recovery System Onboard LNG Carrier to meet IMO Regulations. *Alexandria Engineering Journal*, Volume 55, pp. 1951-1960.
- Soren, R., 2014. *Optimal control of an array of non -linear wave energy point converters*. s.l.:Ocean Engineering.
- Sumitomo, 2013. *New Selection of Fender*, Tokyo: Sumitomo Cooperation.
- T. Perez, M. Blanke, 2002. *Simulation of Ship Motion in Seaway*, s.l.: Technical Report EE02037.
- Taylor, L., 1997. *The Principles of Ship Stability*. Darnley Street: Son & Publisher, Ltd., Nautical Publisher.
- Yi-qun, P. L. S. L. W.-h., 2012. Structural Design and Research of Type-C Independent Tank on Small Scale LNG Ship. *Journal of Ship Design*, Volume 02, pp. 28-34.
- Zhang, C., 2015. Analysis of liquid sloshing in LNG carrier with wedge-shaped tanks. *Ocean Engineering*, Volume 105, pp. 304-317.
- Zhao, Y. H. C., 2015. Numerical simulation of 3D sloshing flow in partially filled LNG tank using a coupled level-set and volume of fluid method. *Ocean Engineering*, Volume 104, pp. 10-30.

Halaman ini sengaja dikosongkan

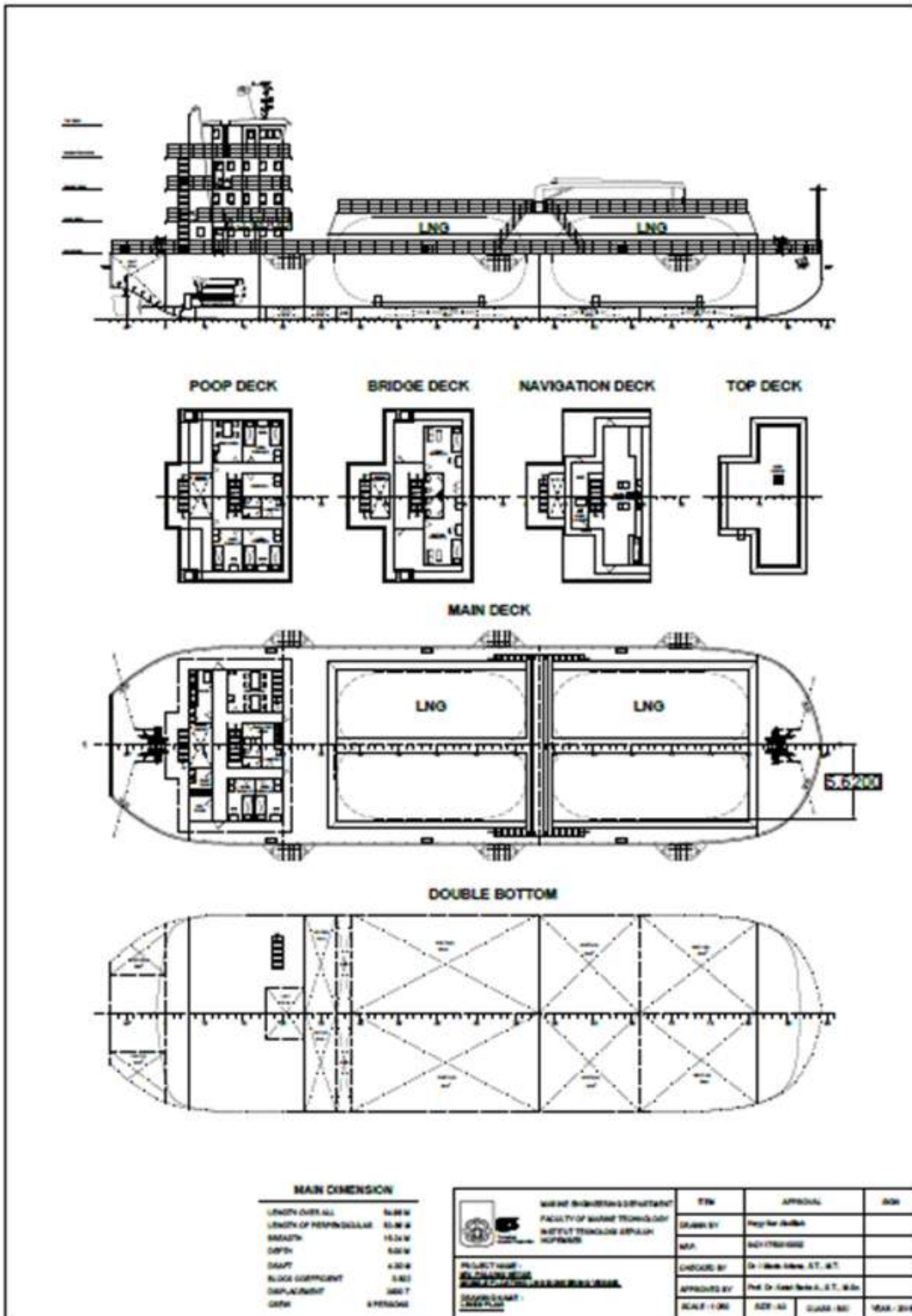
# **LAMPIRAN**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Lampiran 1. Desain *Linesplan Mobile Floating Bunkering Vessel*



Lampiran 2. Desain *General Arrangement* Mobile Floating Bunkering Vessel



### Lampiran 3. Perhitungan LWT *Mobile Floating Bunkering Vessel*

<b>I. HULL CONSTRUCTIONS PART WEIGHT AND CENTER OFGRAVITY</b>										
Steel =			7.85	ton/m <sup>3</sup>						
<b>1. SKIN PLATE (source dwg = "Shell Expantion")</b>										
No.	Item	Unit	Area/L.	t/profil	% profil	Weight	AP-G	Moment	KG	Moment
			m <sup>2</sup> /m	mm		ton	m	ton.m	m	ton.m
1	Plate (25% fore)	1	334.000	0.008	0.35	28.317	48.140	1363.157	2.520	71.358
2	Plate (50% middle)	1	668.000	0.010	0.40	73.413	27.430	2013.724	2.210	162.243
3	Plate (25% after)	1	334.000	0.008	0.35	28.317	7.030	199.065	2.420	68.526
<b>Total</b>						<b>130.046</b>	<b>27.498</b>	<b>3575.946</b>	<b>2.323</b>	<b>302.127</b>
<b>2. DECK PLATE (source dwg = "Construction Profile")</b>										
<b>DECK</b>										
1	Main deck AP-Fr. 25	1	205.020	0.008	0.35	17.382	7.350	127.755	5.000	86.908
2	Main deck Fr. 25-67	1	387.550	0.010	0.40	42.592	27.720	1180.643	5.000	212.959
3	Main deck Fr. 67-FP	1	196.600	0.010	0.40	21.606	47.480	1025.869	5.000	108.032
4	Poop deck	1	119.940	0.006	0.35	7.626	5.140	39.200	7.500	57.198
5	Bridge deck	1	105.360	0.006	0.35	6.699	5.590	37.449	10.000	66.993
6	Navigation deck	1	105.360	0.006	0.35	6.699	5.590	37.449	12.500	83.741
7	Top nav. deck	1	66.480	0.006	0.35	4.227	6.800	28.744	15.000	63.407
8	Deck WL 1 m	1	502.050	0.010	0.40	55.175	31.500	1738.022	1.000	55.175
<b>Total</b>						<b>151.280</b>	<b>27.933</b>	<b>4225.760</b>	<b>4.855</b>	<b>734.413</b>
<b>INSIDE AND SIDE WALL</b>										
7	Poop									
	Side wall									
	Side wall 1 (9 x 2.5)	2	22.500	0.008	0.35	3.815	10.450	39.868	6.250	23.844
	Side wall 2 (12 x 2.5)	2	30.000	0.008	0.35	5.087	10.450	53.157	6.250	31.793
	Inside wall									
	Inside wall wash room	1	8.500	0.006	0.35	0.540	13.500	7.296	6.250	3.378
	Inside wall wash room	1	3.750	0.006	0.35	0.238	13.500	3.219	6.250	1.490
	Inside wall lavatory & wash room	2	12.000	0.006	0.35	1.526	12.000	18.312	6.250	9.538
	Inside wall lavatory	3	3.750	0.006	0.35	0.715	13.500	9.657	6.250	4.471
	Inside wall galley 1	1	10.625	0.006	0.35	0.676	6.900	4.662	6.250	4.222

	Inside wall galley 2	1	1.800	0.006	0.35	0.114	6.900	0.790	6.250	0.715
	Inside wall E.C 1	1	8.750	0.008	0.35	0.742	6.900	5.119	6.250	4.636
	Inside wall E.C 2	1	4.500	0.008	0.35	0.382	6.900	2.632	6.250	2.384
	<b>Total</b>					<b>13.836</b>	<b>10.459</b>	<b>144.712</b>	<b>6.250</b>	<b>86.472</b>
8	Navigation/Wheel House									
	Side wall									
	Side wall 1 (8 x 2.5)	2	20.000	0.006	0.35	2.543	11.700	29.758	8.750	22.255
	Side wall 2 (5.4 x 2.5)	2	13.500	0.006	0.35	1.717	11.700	20.087	8.750	15.022
	Inside wall									
	ESEP wall 1	1	4.750	0.006	0.35	0.302	10.200	3.081	8.750	2.643
	ESEP wall 2	1	6.000	0.006	0.35	0.382	11.400	4.349	8.750	3.338
	E.C 1	2	3.600	0.006	0.35	0.458	6.600	3.022	8.760	4.010
	E.C 2	2	10.500	0.006	0.35	1.335	6.600	8.813	9.040	12.071
	<b>Total</b>					<b>6.737</b>	<b>10.258</b>	<b>69.109</b>	<b>8.808</b>	<b>59.339</b>
9	Sekat									
	Sekat trubrukan Fr. 10	1	74.840	0.008	0.35	6.345	6.000	38.070	2.390	15.164
	Sekat trubrukan Fr. 80	1	74.840	0.008	0.35	6.345	54.860	348.083	2.390	15.164
	Sekat Fr. 25	1	74.840	0.008	0.35	6.345	15.000	95.174	2.390	15.164
	Sekat Fr. 52	1	74.840	0.008	0.35	6.345	31.200	197.962	2.390	15.164
	Transom depan	1	19.712	0.008	0.35	1.671	48.000	80.217	4.050	6.768
	Transom belakang	1	14.981	0.008	0.35	1.270	0.000	0.000	3.730	4.737
	<b>Total</b>					<b>28.321</b>	<b>26.818</b>	<b>759.506</b>	<b>2.548</b>	<b>72.163</b>
	<b>Total</b>					<b>200.173</b>	<b>25.97</b>	<b>5199.086</b>	<b>4.758</b>	<b>952.388</b>
No.	Total Hull Construction	Unit	Area/L. m <sup>2</sup> /m	t/profil mm	Profil	Weight ton	AP-G m	Moment ton.m	KG m	Moment ton.m
1	Skin plate					130.046	27.498	3575.946	2.323	302.127
2	Deck Plate					200.173	25.973	5199.086	4.758	952.388
	<b>Total</b>					<b>330.220</b>	<b>26.573</b>	<b>8775.033</b>	<b>3.799</b>	<b>1254.515</b>
	Allowance	5%				16.511	26.573	438.752	3.799	62.726
	<b>Total Akhir</b>					<b>346.731</b>	<b>26.573</b>	<b>9213.784</b>	<b>3.799</b>	<b>1317.240</b>



II. EQUIPMENT								
No.	Item		Weight (ton)		AP-G	Moment	KG	Moment
	Name	Q/Area	Unit	Total	m	ton.m	m	ton.m
	<b>MAIN DECK</b>							
1	Bollard	2	0.050	0.100	0.938	0.094	5.380	0.538
2	Bollard	2	0.050	0.100	12.430	1.243	5.380	0.538
3	Bollard	2	0.050	0.100	24.430	2.443	5.380	0.538
4	Bollard	2	0.050	0.100	29.430	2.943	5.380	0.538
5	Bollard	2	0.050	0.100	53.760	5.376	5.380	0.538
13	Steel deck ladders (out door)	1	0.080	0.080	5.600	0.448	6.240	0.499
14	Steel deck ladders (in door)	1	0.080	0.080	9.600	0.768	6.240	0.499
15	Steel deck ladders (in door)	1	0.080	0.080	7.450	0.596	6.240	0.499
16	Winch	2	1.300	2.600	3.620	9.412	5.830	15.158
17	Winch	2	1.300	2.600	51.280	133.328	5.830	15.158
18	Anchor	2	1.440	2.880	52.890	152.323	3.880	11.174
19	Chain	2	7.200	14.400	50.890	732.816	3.880	55.872
20	Mooring rope	2	0.750	1.500	52.890	79.335	5.000	7.500
	<b>Total</b>			<b>24.720</b>	<b>45.353</b>	<b>1121.125</b>	<b>4.411</b>	<b>109.050</b>
	<b>NAVIGATION DECK</b>							
21	Steel deck ladders (out door)	1	0.080	0.080	5.570	0.446	8.740	0.699
21	Steel deck ladders (out door)	1	0.080	0.080	8.600	0.688	8.740	0.699
22	Steel deck ladders (in door)	1	0.080	0.080	9.600	0.768	8.740	0.699
23	Life raft	4	0.165	0.660	11.410	7.531	7.850	5.181
	<b>Total</b>			<b>0.660</b>	<b>14.291</b>	<b>9.432</b>	<b>11.028</b>	<b>7.279</b>
	<b>TOP DECK</b>							
25	Mast	1	0.100	0.100	12.590	1.259	11.780	1.178
	<b>Total</b>			<b>0.100</b>	<b>12.590</b>	<b>1.259</b>	<b>11.780</b>	<b>1.178</b>
	<b>Total</b>			<b>25.480</b>	<b>44.420</b>	<b>1131.816</b>	<b>4.612</b>	<b>117.507</b>

III. INTERIOR									
No.	Item		Weight (ton)		AP-G	Moment	KG	Moment	Dimension
	Name	Q/Area	Unit	Total	m	ton.m	m	ton.m	cm
	<b>MAIN DECK</b>								
1	CAPTAIN ROOM (1P)								
	Bed single tier	1	0.035	0.035	14.520	0.508	5.300	0.186	200 x 80 x 60
	Cloth locker double	1	0.035	0.035	12.550	0.439	5.700	0.200	80 x 40 x 140
	Desk	1	0.035	0.035	13.500	0.473	5.300	0.186	80 x 40 x 60
	Chair	1	0.010	0.010	13.500	0.135	5.500	0.055	45 x 43 x 100
	Ceiling	10.5	0.010	0.105	13.500	1.418	5.230	0.549	
	Wall	32.5	0.010	0.325	13.500	4.388	6.250	2.031	
	TOILET (1P)								
	WC	1	0.004	0.004	12.320	0.049	5.410	0.022	57.5 x 35 x 81
	Dus	1	0.004	0.004	13.160	0.053	5.250	0.021	44.5 x 16 x 5
	Washbasin	1	0.003	0.003	12.160	0.036	5.080	0.015	55 x 44 x 17
	Wall	7.5	0.010	0.075	12.830	0.962	6.250	0.469	
2	C/OFF. & C/ENG. ROOM (2P)								
	Bed doble tier	1	0.045	0.045	9.490	0.427	5.300	0.239	200 x 80 x 60
	Cloth locker double	1	0.035	0.035	11.450	0.401	5.700	0.200	80 x 40 x 140
	Desk	1	0.027	0.027	10.500	0.284	5.300	0.143	80 x 40 x 60
	Chair	1	0.010	0.010	10.500	0.105	5.500	0.055	45 x 43 x 100
	Ceiling	10.5	0.010	0.105	10.500	1.103	5.230	0.549	
	Wall	32.5	0.010	0.325	10.500	3.413	6.250	2.031	
	TOILET (2P)								
	WC	1	0.004	0.004	11.680	0.047	5.400	0.022	57.5 x 35 x 81
	Dus	1	0.004	0.004	10.860	0.043	5.250	0.021	44.5 x 16 x 5
	Washbasin	1	0.003	0.003	11.840	0.036	5.080	0.015	55 x 44 x 17
	Wall	7.5	0.010	0.075	11.310	0.848	6.250	0.469	
3	CREW ROOM (4P/ST)								
	Bed double tier	1	0.045	0.045	14.450	0.650	5.800	0.261	200 x 80 x 160
	Bed double tier	1	0.045	0.045	12.490	0.562	5.800	0.261	200 x 80 x 160
	Cloth locker double	1	0.035	0.035	14.690	0.514	5.700	0.200	80 x 40 x 140

	Cloth locker double	1	0.035	0.035	12.310	0.431	5.700	0.200	80 x 40 x 140
	Desk	1	0.027	0.027	13.510	0.365	5.300	0.143	80 x 40 x 60
	Chair	1	0.010	0.010	13.510	0.135	5.500	0.055	45 x 45 x 100
	Ceiling	10.5	0.010	0.105	13.510	1.419	5.230	0.549	300 x 400
	Wall	32.5	0.010	0.325	13.510	4.391	6.250	2.031	
4	<b>CREW ROOM (2P/ST)</b>								
	Bed double tier	1	0.045	0.045	11.520	0.518	5.800	0.261	200 x 80 x 160
	Cloth locker double	1	0.035	0.035	11.690	0.409	5.700	0.200	80 x 40 x 140
	Desk	1	0.027	0.027	10.650	0.288	5.300	0.143	80 x 40 x 60
	Chair	1	0.010	0.010	10.650	0.107	5.500	0.055	45 x 45 x 100
	Ceiling	6.12	0.010	0.061	11.050	0.676	5.230	0.320	300 x 400
<b>No.</b>	<b>Item</b>		<b>Weight (ton)</b>		<b>AP-G</b>	<b>Moment</b>	<b>KG</b>	<b>Moment</b>	<b>Dimension</b>
	<b>Name</b>	<b>Q/Area</b>	<b>Unit</b>	<b>Total</b>	<b>m</b>	<b>ton.m</b>	<b>m</b>	<b>ton.m</b>	<b>cm</b>
	Wall	26	0.010	0.260	11.050	2.873	6.250	1.625	
5	<b>WASH &amp; DRY ROOM</b>								
	Washing machine	2	0.030	0.060	14.660	0.880	5.300	0.318	80 x 60 x 60
	Cloth locker single	3	0.030	0.090	12.760	1.148	5.700	0.513	40 x 40 x 140
	Ceiling	5.1	0.010	0.051	13.500	0.689	5.230	0.267	240 x 150
	Wall	23.5	0.010	0.235	13.500	3.173	6.250	1.469	
6	<b>LAVATORY</b>								
	WC	1	0.004	0.004	12.330	0.049	5.400	0.022	57.5 x 35 x 81
	Dus	1	0.004	0.004	12.360	0.049	5.250	0.021	44.5 x 16 x 5
	Washbasin	1	0.003	0.003	14.830	0.044	5.080	0.015	55 x 44 x 17
	Ceiling	5.1	0.010	0.051	13.500	0.689	5.230	0.267	
	Wall	23.5	0.010	0.235	13.500	3.173	6.250	1.469	
7	<b>PROV. STORE</b>								
	Refrigerator	2	0.015	0.030	6.340	0.190	5.700	0.171	63 x 60 x 140
	Locker	1	0.030	0.030	6.890	0.207	5.700	0.171	40 x 40 x 140
	Ceiling	3.83	0.010	0.038	6.900	0.264	5.230	0.200	
	Wall	19.625	0.010	0.196	6.900	1.354	6.250	1.227	
8	<b>GALLEY</b>								
	Stove	2	0.015	0.030	6.310	0.189	5.250	0.158	48 x 45 x 50
	Washbasin double	1	0.003	0.003	6.310	0.019	5.700	0.017	80 x 40 x 140

	Locker	1	0.020	0.020	6.320	0.126	5.700	0.114	80 x 40 x 140
	Refrigerator	1	0.015	0.015	6.340	0.095	5.700	0.086	63 x 60 x 140
	Table	1	0.015	0.015	7.450	0.112	5.360	0.080	160 x 50 x 75
	Ceiling	7.65	0.010	0.077	6.900	0.528	5.230	0.400	
	Wall	30	0.010	0.300	6.900	2.070	6.250	1.875	
9	MESS ROOM (8P)								
	Washbasin	1	0.003	0.003	9.350	0.028	5.080	0.015	55 x 44 x 17
	Table	2	0.015	0.030	10.780	0.323	5.350	0.161	120 x 60 x 75
	Chair	4	0.010	0.040	10.190	0.408	5.500	0.220	45 x 43 x 100
	Chair	4	0.010	0.040	11.370	0.455	5.500	0.220	45 x 43 x 100
	Ceiling	10.5	0.010	0.105	10.500	1.103	5.230	0.549	
	Wall	32.5	0.010	0.325	10.500	3.413	6.250	2.031	
	<b>Total</b>			<b>4.359</b>	<b>11.305</b>	<b>49.280</b>	<b>5.926</b>	<b>25.833</b>	
	<b>NAVIGATION DECK</b>								
	RADIO STATION								
	Desk	2	0.015	0.030	9.310	0.279	7.800	0.234	80 x 40 x 60
	Chair	2	0.010	0.020	9.820	0.196	8.000	0.160	45 x 43 x 100
	Locker double	1	0.035	0.035	11.120	0.389	8.200	0.287	80 x 40 x 140
	Ceiling	6.6	0.010	0.066	10.200	0.673	9.800	0.647	
	Wall	25.75	0.010	0.258	10.200	2.627	8.750	2.253	
<b>No.</b>	<b>Item</b>		<b>Weight (ton)</b>		<b>AP-G</b>	<b>Moment</b>	<b>KG</b>	<b>Moment</b>	<b>Dimension</b>
	<b>Name</b>	<b>Q/Area</b>	<b>Unit</b>	<b>Total</b>	<b>m</b>	<b>ton.m</b>	<b>m</b>	<b>ton.m</b>	<b>cm</b>
	WHEEL HOUSE								
	Chart table	1	0.015	0.015	10.640	0.160	7.850	0.118	150 x 60 x 75
	Pilot chair	2	0.010	0.020	13.050	0.261	8.000	0.160	45 x 43 x 100
	Table	1	0.030	0.030	13.890	0.417	7.800	0.234	80 x 40 x 60
	Clear view screen	1	0.007	0.007	14.400	0.095	9.700	0.064	
	Steering stand unit	1	0.150	0.150	13.800	2.070	8.500	1.275	
	Marine clock	1	0.003	0.003	14.400	0.043	9.700	0.029	
	Magnetic compass	1	0.009	0.009	14.000	0.126	9.000	0.081	
	Sextant	1	0.002	0.002	14.400	0.025	9.700	0.017	
	Clinometer	1	0.001	0.001	14.000	0.007	9.700	0.005	
	Chronometer	1	0.001	0.001	14.000	0.007	9.700	0.005	
	Ceiling	29.05	0.010	0.291	11.700	3.399	9.800	2.847	

	Wall	62.00	0.010	0.620	11.700	7.254	8.750	5.425	
	ESEP								
	Battery	1	0.100	0.100	10.200	1.020	8.500	0.850	
	Ceiling	4.56	0.010	0.046	10.200	0.465	9.700	0.442	
	<b>Total</b>			<b>1.701</b>	<b>11.472</b>	<b>19.513</b>	<b>8.897</b>	<b>15.133</b>	
	<b>Total</b>			<b>6.060</b>	<b>11.352</b>	<b>68.793</b>	<b>6.760</b>	<b>40.966</b>	

<b>IV. MACHINERY</b>									
<b>No.</b>	<b>Item</b>		<b>Weight (ton)</b>		<b>AP-G</b>	<b>Moment</b>	<b>KG</b>	<b>Moment</b>	<b>Dim.</b>
	<b>Name</b>	<b>Q.</b>	<b>Per unit</b>	<b>Total</b>	<b>m</b>	<b>ton.m</b>	<b>m</b>	<b>ton.m</b>	<b>cm</b>
1	Main Engine	1	9.40	9.40	10.80	101.520	1.65	15.510	
2	Aux Engine	2	1.01	2.02	12.00	24.288	1.45	2.935	
3	Emer Genset	1	0.32	0.32	11.30	3.560	1.45	0.457	
4	Propeller	1	0.11	0.11	9.20	0.966	0.90	0.095	
5	Sewage Pump	1	0.04	0.04	10.10	0.404	2.70	0.108	
6	Bilge / Vballast Pump	2	0.17	0.34	15.30	5.202	2.05	0.697	
7	FW Hydrophore	1	0.02	0.02	12.40	0.248	2.75	0.055	
8	Fresh Water Hydrophore Hydrophore	1	0.14	0.14	12.40	1.686	2.75	0.374	
9	FW Pump	1	0.21	0.21	13.70	2.877	2.50	0.525	
10	SW Hydrophore	1	0.02	0.02	13.00	0.260	2.75	0.055	
11	Sea Water Hydrophore	1	0.14	0.14	13.00	1.820	2.75	0.385	
12	SW Pump	1	0.21	0.21	14.30	3.003	2.50	0.525	
13	FO Transfer Pump	1	0.05	0.05	14.90	0.805	2.00	0.108	
14	Oily Water Separator	1	0.23	0.23	10.50	2.415	2.70	0.621	
15	Fire & G/S Pump	1	0.17	0.17	15.50	2.635	2.00	0.340	
		1	0.17	0.17	15.10	2.567	2.00	0.340	
16	Main Bilge Pump	1	0.17	0.17	11.30	1.921	2.70	0.459	
17	Sewage Treatment Plan	1	0.55	0.55	10.00	5.500	3.00	1.650	
18	Piping	1	4.07	4.07	20.53	83.619	1.30	5.295	
19	Main Switch Board	1	1.50	1.50	14.30	21.450	2.80	4.200	
<b>Total</b>				<b>19.88</b>	<b>13.42</b>	<b>266.75</b>	<b>1.75</b>	<b>34.73</b>	
<b>SUMMARY OF HULL CONSTRUCTIONS, EQUIPMENT AND INTERIOR</b>									
<b>No.</b>	<b>Item</b>			<b>Weight</b>	<b>AP-G</b>	<b>Moment</b>	<b>KG</b>	<b>Moment</b>	<b>Dimension</b>
				<b>ton</b>	<b>m</b>	<b>ton.m</b>	<b>m</b>	<b>ton.m</b>	<b>cm</b>
I	HULL CONSTRUCTIONS			<b>346.731</b>	<b>26.573</b>	<b>9213.784</b>	<b>3.799</b>	<b>1317.240</b>	
II	EQUIPMENT			<b>25.480</b>	<b>44.420</b>	<b>1131.816</b>	<b>4.612</b>	<b>117.507</b>	
III	INTERIOR			<b>6.060</b>	<b>11.352</b>	<b>68.793</b>	<b>6.760</b>	<b>40.966</b>	
IV	MACHINERY			<b>19.877</b>	<b>13.420</b>	<b>266.745</b>	<b>1.747</b>	<b>34.733</b>	
<b>TOTAL WEIGHT</b>				<b>398.148</b>	<b>26.827</b>	<b>10681.139</b>	<b>3.794</b>	<b>1510.446</b>	

**Lampiran 4. Data Hidrostatik *Mobile Floating Bunkering Vessel***

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	3023	t
2	Volume (displaced)	2949,392	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	4,000	m
4	Immersed depth	4,000	m
5	WL Length	54,860	m
6	Beam max extents on	15,240	m
7	Wetted Area	1201,245	m <sup>2</sup>
8	Max sect. area	59,583	m <sup>2</sup>
9	Waterpl. Area	788,447	m <sup>2</sup>
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,902	
11	Block coeff. (Cb)	0,882	
12	Max Sect. area coeff.	0,978	
13	Waterpl. area coeff. (C)	0,943	
14	LCB length	27,648	from ze
15	LCF length	27,154	from ze
16	LCB %	50,398	from ze
17	LCF %	49,496	from ze
18	KB	2,099	m
19	KG fluid	0,000	m
20	Bmt	4,846	m
21	BML	60,628	m
22	Gmt corrected	6,945	m
23	GML	62,727	m
24	KMt	6,945	m
25	KML	62,727	m
26	Immersion (TPc)	8,082	tonne/c
27	MTc	34,566	tonne.m
28	RM at 1deg = Gmt.Dis	366,412	tonne.m

Density (water)

Std. densities

VCG

## Lampiran 5. Data Analisa Stabilitas *Mobile Floating Bunkering Vessel*

### Stability calculation - LNG Barge 31-07-2018 3D

Stability 21.10.00.39, build: 39

Model file: E:\materi bunkering\desain baru\LNG Barge 31-07-2018 3D (Medium precision, 59 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

#### Loadcase - Loadcase Muatan Penuh

##### Damage Case - Intact

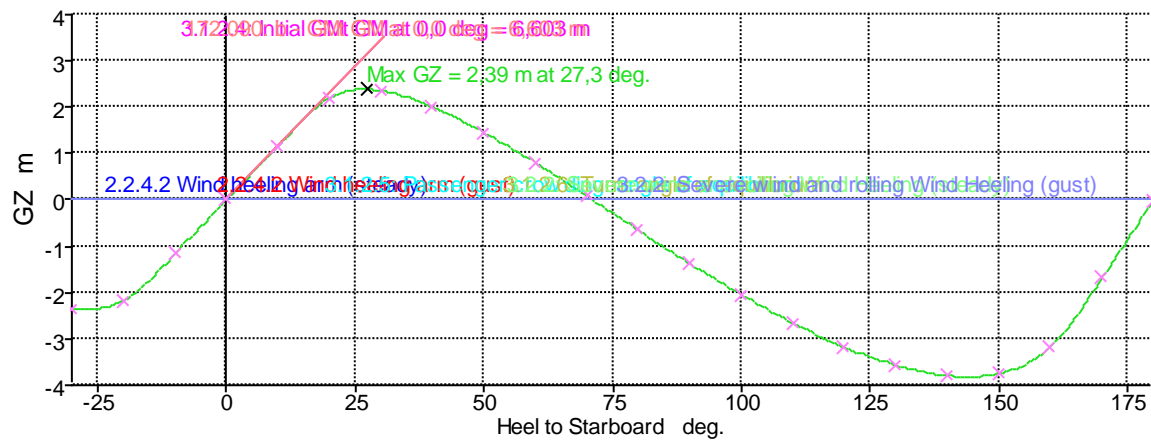
Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m<sup>3</sup>)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	389,200	389,200			26,800	0,000	3,390	0,000	User Specified
Crane	1	50,000	50,000			0,000	0,000	0,000	0,000	User Specified
LNG 1 C Type	1	500,000	500,000			41,400	0,000	4,550	0,000	User Specified
LNG 2 C Type	1	500,000	500,000			24,600	0,000	4,550	0,000	User Specified
FWT/S	100%	21,841	21,841	21,841	21,841	2,495	4,440	4,000	0,000	Maximum
FWT/PS	100%	21,841	21,841	21,841	21,841	2,495	-4,440	4,000	0,000	Maximum
FOT/S	100%	16,592	16,592	16,592	16,592	16,200	3,646	0,542	0,000	Maximum
FOT/PS	100%	16,592	16,592	16,592	16,592	16,200	-3,646	0,542	0,000	Maximum
LOT	100%	11,760	11,760	11,760	11,760	13,500	0,000	0,510	0,000	Maximum
WBT 1/S	0%	59,880	0,000	59,880	0,000	45,300	0,001	0,000	0,000	Maximum
WBT 1/PS	0%	59,880	0,000	59,880	0,000	45,300	-0,001	0,000	0,000	Maximum
WBT 2/S	0%	54,000	0,000	54,000	0,000	39,287	0,001	0,001	0,000	Maximum
WBT 2/PS	0%	54,000	0,000	54,000	0,000	39,287	-0,001	0,001	0,000	Maximum
WBT 3/S	0%	99,527	0,000	99,527	0,000	25,178	0,001	0,001	0,000	Maximum
WBT 3/PS	0%	99,527	0,000	99,527	0,000	25,178	-0,001	0,001	0,000	Maximum
Total Loadcase			1527,827	515,440	88,627	28,953	0,000	3,972	0,000	
FS correction								0,000		
VCG fluid								3,972		





Stability	
<span style="color: green;">█</span>	GZ
<span style="color: blue;">█</span>	2.2.4.2 Wind heeling arm (steady)
<span style="color: red;">█</span>	2.2.4.2 Wind heeling arm (gust)
<span style="color: magenta;">█</span>	3.1.2.4: Initial GMt GM at 0,0 deg = 6,603 m
<span style="color: cyan;">█</span>	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium
<span style="color: yellow;">█</span>	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium
<span style="color: green;">█</span>	3.2.2: Severe wind and rolling Wind Heeling (steady)
<span style="color: blue;">█</span>	3.2.2: Severe wind and rolling Wind Heeling (gust)
<span style="color: red;">█</span>	172.090: b - GMt GM at 0,0 deg = 6,603 m
<span style="color: magenta;">█</span>	Max GZ = 2,39 m at 27,3 deg.

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-2,365	-2,184	-1,166	0,000	1,166	2,184	2,365	2,020	1,464	0,802	0,087	-0,646	-1,365	-2,043
Area under GZ curve from zero heel m.deg	46,3084	23,0345	5,7951	0,0000	5,8023	23,0054	46,4166	68,6015	86,1331	97,5250	101,9959	99,2006	89,1244	72,0409
Displacement t	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528
Draft at FP m	2,283	2,388	2,383	2,368	2,383	2,389	2,285	2,183	2,061	1,885	1,553	0,566	n/a	-4,563
Draft at AP m	1,193	1,694	1,883	1,915	1,883	1,693	1,191	0,528	-0,381	-1,783	-4,421	-11,992	n/a	-17,242
WL Length m	54,741	54,733	54,695	52,652	54,695	54,733	54,742	54,756	54,774	54,793	54,813	54,831	54,846	54,904
Beam max extents on WL m	9,917	14,242	15,457	15,240	15,457	14,242	9,917	7,753	6,527	5,773	5,320	5,071	4,985	5,053
Wetted Area m^2	857,718	869,400	930,780	927,665	930,774	869,389	857,711	860,742	861,609	862,956	864,065	864,816	865,814	866,311
Waterpl. Area m^2	508,842	691,573	773,373	763,314	773,367	691,559	508,836	401,542	339,311	300,815	277,299	264,119	259,496	262,912
Prismatic coeff. (Cp)	0,814	0,812	0,818	0,853	0,818	0,812	0,814	0,814	0,813	0,812	0,811	0,811	0,812	0,813
Block coeff. (Cb)	0,523	0,435	0,531	0,807	0,531	0,435	0,523	0,588	0,639	0,684	0,724	0,764	0,798	0,752
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	29,011	28,990	28,979	28,977	28,980	28,992	29,016	29,046	29,077	29,105	29,125	29,135	29,132	29,114
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	27,791	28,304	27,944	27,965	27,944	28,304	27,792	27,721	27,711	27,767	27,849	27,879	27,888	27,891
Max deck inclination deg	30,0147	20,0111	10,0131	0,4730	10,0131	20,0112	30,0148	40,0182	50,0197	60,0185	70,0145	80,0080	90,0000	99,9919
Trim angle (+ve by stern) deg	-1,1380	-0,7253	-0,5223	-0,4730	-0,5228	-0,7264	-1,1420	-1,7275	-2,5485	-3,8256	-6,2153	-12,8935	n/a	-13,0138

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 45,871 m)		19,3	n/a
Deck Edge (immersion pos = 45,871 m)		19,8	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: b - Required GM freeboard Calculation	4,072	m			
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	46,4166	Pass	+1372,93
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	68,6015	Pass	+1230,36
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	22,1849	Pass	+1190,64
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	2,365	Pass	+1082,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	27,3	Pass	+9,09
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	6,603	Pass	+4302,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than ( $\leq$ )	16,0	deg	0,2	Pass	+98,85
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than ( $\leq$ )	80,00	%	0,93	Pass	+98,84

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
	Area1 / Area2 shall not be less than ( $\geq$ )	100,00	%	242,68	Pass	+142,68
2.2 pontoons	2.2.4.1 GZ area: to Max GZ	4,5837	m.deg	39,9236	Pass	+770,99
2.2 pontoons	2.2.4.2 Angle of equilibrium ratio	50,00	%	0,00	Pass	+100,00
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability $\leq 100$ m in length	20,0	deg	71,2	Pass	+255,93
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability $\geq 150$ m in length	15,0	deg	71,2	Pass	+374,57
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a1 - Area 0 to GZmax or df	1,5240	m.deg	39,9236	Pass	+2519,66
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a2 - Area 0 to GZmax or df	3,0480	m.deg	39,9236	Pass	+1209,83
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a3 - Area 0 to GZmax or df	4,5720	m.deg	39,9236	Pass	+773,22
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: b - GMt	4,072	m	6,603	Pass	+62,16

## Stability calculation - LNG Barge 31-07-2018 3D

Stability 21.10.00.39, build: 39

Model file: E:\materi bunkering\desain baru\LNG Barge 31-07-2018 3D (Medium precision, 59 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%; 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

### Loadcase - Loadcase Muatan Kosong

#### Damage Case - Intact

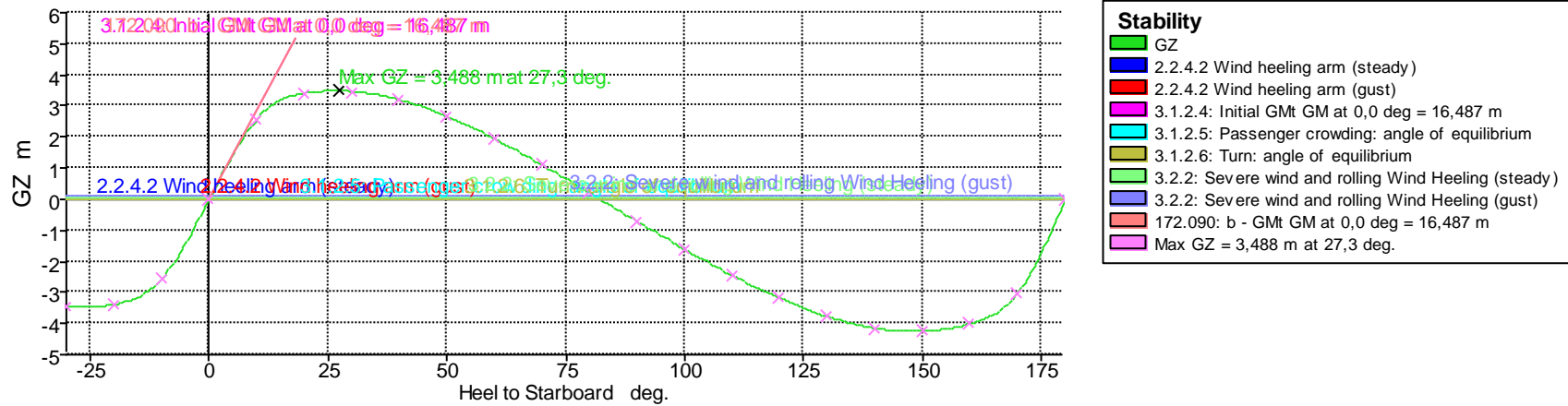
Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m<sup>3</sup>)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Q.	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	389,200	389,200			26,800	0,000	3,390	0,000	User Specified
Crane	1	50,000	50,000			0,000	0,000	0,000	0,000	User Specified
LNG 1 C Type	1	100,000	100,000			41,400	0,000	4,550	0,000	User Specified
LNG 2 C Type	1	100,000	100,000			24,600	0,000	4,550	0,000	User Specified
FWT/S	0%	21,841	21,841	21,841	0,000	2,495	4,440	4,000	0,000	Maximum
FWT/PS	0%	21,841	21,841	21,841	0,000	2,495	-4,440	4,000	0,000	Maximum
FOT/S	0%	16,592	16,592	16,592	0,000	16,200	3,646	0,542	0,000	Maximum
FOT/PS	0%	16,592	16,592	16,592	0,000	16,200	-3,646	0,542	0,000	Maximum
LOT	0%	11,760	11,760	11,760	0,000	13,500	0,000	0,510	0,000	Maximum
WBT 1/S	0%	59,880	0,000	59,880	0,000	45,300	0,001	0,000	0,000	Maximum
WBT 1/PS	0%	59,880	0,000	59,880	0,000	45,300	-0,001	0,000	0,000	Maximum
WBT 2/S	0%	54,000	0,000	54,000	0,000	39,287	0,001	0,001	0,000	Maximum
WBT 2/PS	0%	54,000	0,000	54,000	0,000	39,287	-0,001	0,001	0,000	Maximum
WBT 3/S	0%	99,527	0,000	99,527	0,000	25,178	0,001	0,001	0,000	Maximum
WBT 3/PS	0%	99,527	0,000	99,527	0,000	25,178	-0,001	0,001	0,000	Maximum
Total Loadcase			727,827	515,440	88,627	24,506	0,000	3,336	0,000	

Item Name	Q.	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
FS correction								0,000		
VCG fluid								3,336		



Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-3,471	-3,398	-2,566	0,000	2,566	3,398	3,471	3,210	2,677	1,953	1,114	0,213	-0,706	-1,605
Area under GZ curve from zero heel m.deg	79,4604	44,9033	13,8516	0,0000	13,8574	44,8849	79,5401	113,1962	142,8292	166,1055	181,5139	188,1827	185,7164	174,1309
Displacement t	727,8	727,8	727,9	727,8	727,8	727,8	727,8	727,8	727,8	727,8	727,8	727,8	727,8	727,9
Draft at FP m	-1,042	-0,129	0,477	0,618	0,477	-0,128	-1,042	-2,353	-4,300	-7,346	-13,098	-29,663	n/a	-34,622
Draft at AP m	0,770	1,364	1,621	1,614	1,621	1,363	0,770	-0,123	-1,315	-3,130	-6,541	-16,393	n/a	-21,877
WL Length m	53,384	53,398	52,099	49,917	52,098	53,398	53,384	53,276	53,122	52,978	52,807	52,659	52,546	52,937
Beam max extents on WL m	9,697	11,208	14,851	15,234	14,850	11,207	9,697	7,762	6,492	5,727	5,267	5,016	4,930	4,996
Wetted Area m^2	546,862	593,961	712,425	794,181	712,410	593,941	546,837	531,309	529,702	530,068	530,355	531,529	532,343	533,158
Waterpl. Area m^2	416,969	480,580	629,853	731,537	629,841	480,566	416,951	368,531	319,919	285,083	263,308	251,542	247,234	250,335
Prismatic coeff. (Cp)	0,674	0,667	0,665	0,691	0,665	0,667	0,674	0,684	0,695	0,703	0,710	0,717	0,724	0,725
Block coeff. (Cb)	0,361	0,363	0,376	0,634	0,376	0,363	0,361	0,419	0,482	0,542	0,602	0,661	0,712	0,641

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	24,390	24,415	24,445	24,458	24,446	24,417	24,390	24,362	24,322	24,290	24,265	24,255	24,257	24,276
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	25,559	25,744	26,077	27,498	26,078	25,745	25,559	26,114	26,568	26,633	26,653	26,702	26,699	26,690
Max deck inclination deg	30,0406	20,0513	10,0683	1,0399	10,0683	20,0513	30,0406	40,0331	50,0294	60,0244	70,0174	80,0089	90,0000	99,9918
Trim angle (+ve by stern) deg	1,8921	1,5582	1,1951	1,0399	1,1947	1,5575	1,8922	2,3274	3,1142	4,3942	6,8154	13,5987	n/a	13,0782

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 8,989 m)		30,7	n/a
Deck Edge (immersion pos = 8,989 m)		31,5	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: b - Required GM freeboard Calculation	3,390	m			
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	79,5401	Pass	+2424,04
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	113,1962	Pass	+2095,17
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	33,6561	Pass	+1858,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	3,471	Pass	+1635,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	27,3	Pass	+9,09
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	16,487	Pass	+10891,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	0,2	Pass	+98,82
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	0,60	Pass	+99,25

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
	Area1 / Area2 shall not be less than ( $\geq$ )	100,00	%	218,12	Pass	+118,12
2.2 Pontoons	2.2.4.1 GZ area: to Max GZ	4,5837	m.deg	70,0461	Pass	+1428,16
2.2 Pontoons	2.2.4.2 Angle of equilibrium ratio	50,00	%	0,00	Pass	+100,00
2.2 Pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability $\leq$ 100m in length	20,0	deg	82,3	Pass	+311,60
2.2 Pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability $\geq$ 150m in length	15,0	deg	82,3	Pass	+448,79
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a1 - Area 0 to GZmax or df	1,5240	m.deg	70,0461	Pass	+4496,20
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a2 - Area 0 to GZmax or df	3,0480	m.deg	70,0461	Pass	+2198,10
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: a3 - Area 0 to GZmax or df	4,5720	m.deg	70,0461	Pass	+1432,07
Subpart E - Barges carrying hazardous liquids	172.090: b - GMt	3,390	m	16,487	Pass	+386,28

## Lampiran 6. Data Pemilihan Fender *Mobile Floating Bunkering Vessel*

### 6.2.3 Pneumatic 50 (U.S. Customary)

Table 6-3(a) Pneumatic 50 Standard Sizes

Nominal Size Diameter × Length		Initial Internal Pressure	Guaranteed Energy Absorption (GEA)	Reaction Force at GEA	Hull Pressure at GEA	Safety Valve Setting pressure	Testing Pressure	Weight of Net Type (Type I)				Weight of Sling Type (Type II)
								Approx. Fender Body Weight	Approx. Weight of Net			
(ft × ft)	(mm × mm)	(kips)	(kips)	(kips)	(kips/ft <sup>2</sup> )	(psi)	(psi)	(lbs)	Chain Net	Wire Net	Synthetic Fiber Net	(lbs)
1.6 × 3	500 × 1000	7.3	4.4	14.4	2.72	-	29.0	49	243	66	44	71
2 × 3	600 × 1000	7.3	5.9	16.7	2.59	-	29.0	55	265	66	49	79
2.3 × 5	700 × 1500	7.3	12.5	30.8	2.78	-	29.0	99	331	88	82	121
3 × 5	1000 × 1500	7.3	23.6	41.0	2.51	-	29.0	161	441	176	112	216
3 × 6.5	1000 × 2000	7.3	33.2	57.8	2.72	-	29.0	194	485	309	126	249
4 × 6.5	1200 × 2000	7.3	46.5	66.8	2.59	-	29.0	288	708	419	150	344
4.4 × 8	1350 × 2500	7.3	75.3	96.1	2.67	-	29.0	441	772	441	-	529
5 × 10	1500 × 3000	7.3	113	130	2.72	-	29.0	551	1169	772	-	639
5.6 × 10	1700 × 3000	7.3	141	144	2.63	-	29.0	639	1279	970	-	728
6.5 × 11.5	2000 × 3500	7.3	227	197	2.63	-	29.0	893	2117	1411	-	1025
8 × 13	2500 × 4000	7.3	489	311	2.82	25.4	36.3	1989	2734	2007	-	2381
8 × 18	2500 × 5500	7.3	696	454	3.04	25.4	36.3	2403	4079	2558	-	2911
11 × 15	3300 × 4500	7.3	867	424	2.67	25.4	36.3	3219	3771	2600	-	4057
11 × 21	3300 × 6500	7.3	1339	678	3.00	25.4	36.3	4123	5667	4212	-	4961
11 × 35	3300 × 10000	7.3	2204	1183	3.25	25.4	30.3	5045	10275	7277	-	8747
15 × 30	4500 × 9000	7.3	3507	1293	3.00	25.4	36.3	8686	11885	7762	-	-
15 × 40	4500 × 12000	7.3	4777	1796	3.17	25.4	36.3	10562	15413	11444	-	-

Table 6-3(b) Pneumatic 50 Popular Non Standard Sizes

Nominal Size Diameter × Length		Initial Internal Pressure	Guaranteed Energy Absorption (GEA)	Reaction Force at GEA	Hull Pressure at GEA	Safety Valve Setting pressure	Testing Pressure	Weight of Net Type (Type I)				Weight of Sling Type (Type II)
								Approx. Fender Body Weight	Approx. Weight of Net			
(ft × ft)	(mm × mm)	(kips)	(kips)	(kips)	(kips/ft <sup>2</sup> )	(psi)	(psi)	(lbs)	Chain Net	Wire Net	Synthetic Fiber Net	(lbs)
1.3 × 5	400 × 1500	7.3	4.4	19.6	3.11	-	29.0	51	-	-	-	73
2 × 4	600 × 1200	7.3	7.4	20.9	2.72	-	29.0	62	-	-	-	86
2.6 × 4	800 × 1200	7.3	11.8	26.1	2.51	-	29.0	10	529	-	-	128
4 × 6	1200 × 1800	7.3	40.6	59.0	2.51	-	29.0	271	684	-	-	326
4.4 × 11.5	1350 × 3500	7.3	112	144	2.90	-	29.0	562	1323	-	-	650
5 × 8	1500 × 2500	7.3	90.8	104	2.59	-	29.0	487	970	-	-	576
6.5 × 10	2000 × 3000	7.3	188	164	2.51	-	29.0	809	1985	-	-	942
6.5 × 15	2000 × 4500	7.3	309	267	2.82	-	29.0	1058	2646	-	-	1191
8 × 25	2500 × 7700	7.3	996	664	3.23	25.4	36.3	3021	6659	-	-	3528
11 × 28	3300 × 8600	7.3	1803	931	3.17	25.4	36.3	4895	8181	-	-	5998
15 × 21	4500 × 6400	7.3	2390	654	2.74	25.4	36.3	7497	8800	-	-	-

Note: 1. Figures on the table comply with requirements of ISO 17357.  
 2. Weight of fender body and net may vary ±10%.  
 3. Special sizes are available upon request.



## 6.2 Performance Table

### 6.2.1 Pneumatic 50 (Metric)

Table 6-1(a) Pneumatic 50 Standard Sizes

Nominal Size  Diameter × Length	Initial Internal Pressure	Guaranteed Energy Absorption (GEA)	Reaction Force at GEA	Hull Pressure at GEA	Safety Valve Setting pressure	Testing Pressure	Weight of Net Type (Type I)			Weight of Sling Type (Type II)	
							Approx. Fender Body Weight	Approx. Weight of Net			
								Chain Net	Wire Net		Synthetic Fiber Net
(mm × mm)	(kPa)	(kJm)	(kN)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
500 × 1000	50	6	64	132	-	200	22	110	30	20	32
600 × 1000	50	8	74	126	-	200	25	120	30	22	36
700 × 1500	50	17	137	135	-	200	45	150	40	37	55
1000 × 1500	50	32	182	122	-	200	73	200	80	51	98
1000 × 2000	50	45	257	132	-	200	88	220	140	57	113
1200 × 2000	50	63	297	126	-	200	131	320	180	68	156
1350 × 2500	50	102	427	130	-	200	200	350	200	-	240
1500 × 3000	50	153	579	132	-	200	250	530	350	-	290
1700 × 3000	50	191	639	128	-	200	290	580	440	-	330
2000 × 3500	50	308	875	128	-	200	405	960	640	-	465
2500 × 4000	50	663	1381	137	175	250	902	1240	910	-	1080
2500 × 5500	50	943	2019	148	175	250	1080	1850	1160	-	1320
3300 × 4500	50	1175	1884	130	175	250	1460	1710	1270	-	1840
3300 × 6500	50	1814	3015	146	175	250	1870	2570	1910	-	2250
3300 × 10600	50	3067	5257	158	175	250	2560	4660	3300	-	3060
4500 × 9000	50	4752	5747	148	175	250	3940	5380	3520	-	-
4500 × 12000	50	6473	7984	154	175	250	4790	6990	5190	-	-

Table 6-1(b) Pneumatic 50 Popular Non Standard Sizes

Nominal Size  Diameter × Length	Initial Internal Pressure	Guaranteed Energy Absorption (GEA)	Reaction Force at GEA	Hull Pressure at GEA	Safety Valve Setting pressure	Testing Pressure	Weight of Net Type (Type I)			Weight of Sling Type (Type II)	
							Approx. Fender Body Weight	Approx. Weight of Net			
								Chain Net	Wire Net		Synthetic Fiber Net
(mm × mm)	(kPa)	(kJm)	(kN)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
400 × 1500	50	6	87	151	-	200	23	-	-	-	33
600 × 1200	50	10	93	132	-	200	28	-	-	-	39
800 × 1200	50	16	116	122	-	200	48	240	-	-	58
1200 × 1800	50	55	262	122	-	200	123	310	-	-	148
1350 × 3500	50	152	641	141	-	200	255	600	-	-	295
1500 × 2500	50	123	464	126	-	200	221	440	-	-	261
2000 × 3000	50	255	727	122	-	200	367	900	-	-	427
2000 × 4500	50	418	1188	137	-	200	480	1200	-	-	540
2500 × 7700	50	1350	2951	157	175	250	1370	3020	-	-	1800
3300 × 8600	50	2443	4138	154	175	250	2220	3710	-	-	2720
4500 × 6400	50	3238	3796	133	175	250	3400	3900	-	-	-

Note: 1. Figures on the table comply with requirements of ISO17357.  
 2. Weight of fender body and net may vary ±10%.  
 3. Special sizes are available upon request.



---

***techflow* marine**

---

OFFSHORE AND MARINE SYSTEMS

**LNG HOSE TRANSFER  
SYSTEMS**



[www.techflowmarine.com](http://www.techflowmarine.com)



## LNG Hose & Hose Reel Transfer Systems

*Techflow Marine's LNG hose reeling systems can offer many benefits in comparison to traditional transfer systems such as reduced loading time, less space required coupled with proven safety and reliability.*

Techflow Marine is a proven global supplier of fluid transfer systems to the Oil, Gas and Petrochemical industries delivering solutions to major blue chip companies worldwide.

Working together with internationally recognised companies Techflow Marine has developed a range of fluid, bulk and cryogenic transfer systems facilitating safe and efficient loading, unloading and bunkering.

Techflow Marine operates and maintains an effective quality management system in accordance with ISO 9001:2008, accredited by LRQA (Lloyds Register Quality Assurance). Our quality system is a key factor in providing products and services that consistently satisfy the needs and expectations of our customers.

Our highly qualified team of Design and Project Engineers have extensive experience and knowledge of the design and supply of fluid transfer systems and associated mechanical, electrical and hydraulic equipment to the Offshore Oil & Gas industry.

Our Engineering Support Team can assist the Offshore Installation designers and yards during all phases of engineering from initial Concept / FEED studies through to Commissioning / First Operation ensuring the our products meet the specified requirements.

We have developed long term relationships with strategically located manufacturing partners & suppliers globally. Their familiarity with the processes, equipment and quality required, delivers consistently high standards.

## LNG Bunkering



## Ship to Ship LNG Loading/Unloading



# Ship to Ship LNG Loading/Unloading

Techflow Marine's Ship to Ship Loading / Unloading reel systems provide safe and efficient operation and storage of transfer hoses and ancillary equipment used in ship to ship transfer applications.

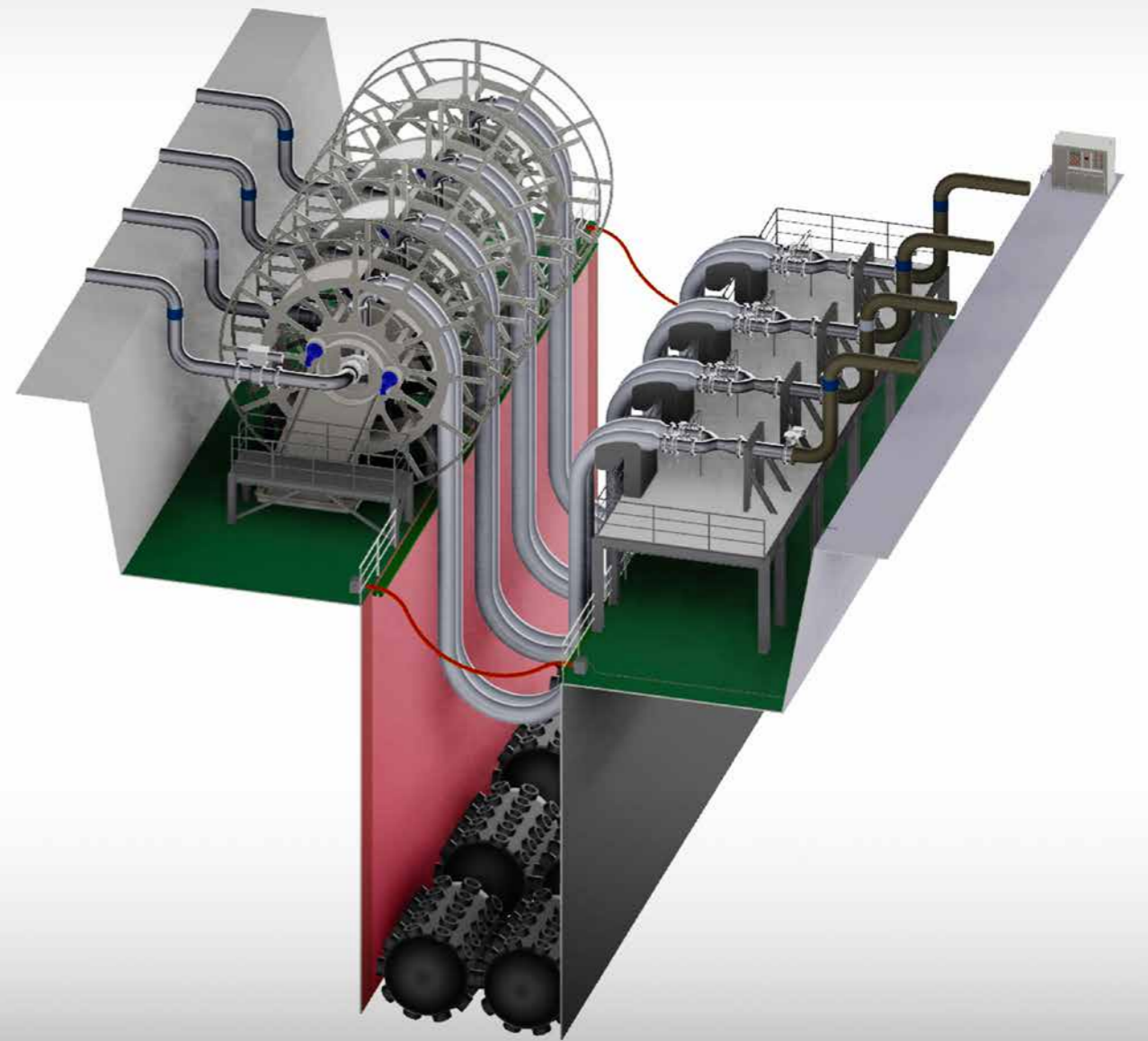
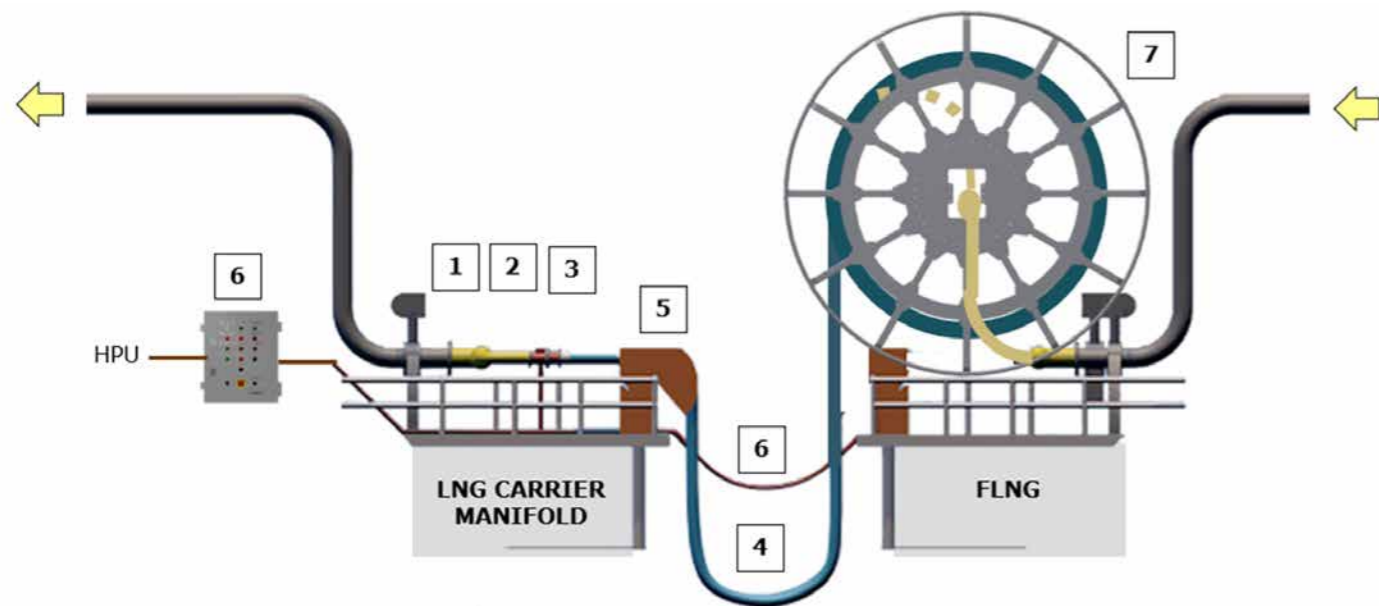
They are used for LNG transfer between offshore Floating Liquefied Natural Gas Vessel (FLNG) to LNG carrier (LNGC) or from LNGC to Floating Storage & Regasification Unit (FSRU).



Equipment Used in Ship to Ship Transfer

- 1. LNG vessel manifold
- 2. Y-Piece
- 3. Emergency Release Coupling
- 4. LNG transfer hose

- 5. Hose protection saddle and fall arrest system
- 6. Drift off sensor and control unit
- 7. Hose reel



## Shore to Ship LNG Loading / Unloading

Techflow Marine's Shore to Ship Loading / Unloading reel systems provide safe and efficient operation and storage of cryogenic transfer hose utilised in LNG transfer applications. The system is suitable for areas with shallow coastal waters or existing quay facilities and allows for installation without large port infrastructure investment.



- Suitable for areas with shallow coastal waters or existing quay facilities
- Allows for installation without large port infrastructure investment
- Quantity of reels / hoses to suit application
- Permanent connection to transfer pipework via rotary swivel

- Full bore LNG transfer hose
- Hose can be floating or submarine
- Quick connect, dry break couplings available
- Passive or active LNG emergency release coupling (ERC)
- Hydraulic, pneumatic or electrically driven



## LNG Bunkering

Techflow Marine's bunkering systems provide safe and efficient operation and storage of transfer hoses during LNG bunkering operations such as refuelling of LNG powered vessels dockside or refuelling of LNG powered vessels offshore.



- Quantity of reels to suit application
- Full bore LNG transfer hose
- Quick connect, dry break coupling
- In-line minimal spill LNG safety break away coupling
- Can be installed on vessel or onshore
- Hydraulic, pneumatic or electrically driven



# LNG Hose, Couplings & Emergency Features

Techflow Marine offers an extensive suite of hoses, couplings and emergency release connectors / systems allowing clients to tailor packages to their specific needs.



## Hose Options

- Composite or Rubber Bonded
- Floating or non - floating
- ID from 4" to 20"
- Individual lengths up to 40m
- Bend Radius <3m
- Max Working Pressure 20bar
- In accordance with EN13766 or EN1474-2
- Temp range -196 °C to +40 °C



## Emergency Release Connectors (ERC)

- ID from 4" to 20"
- Passive or active operation
- Load and pressure monitoring options
- Vessel drift off sensor
- Temp range -196 °C to +40 °C
- Fall arrest protection system available



## Couplings

- Quick connect / disconnect (QCDC)
- Dry break connection
- Camlock couplings
- Y piece coupling adaptors

# Power, Control & Monitoring Systems

Techflow Marine LNG Hose and Reel systems are supplied with self-contained power and control packages to suit the client's individual needs. Options of hydraulically, electrically or pneumatically driven are available.



## Electro/Hydraulic Power

- Dedicated Hydraulic Power or Ring Main Solutions
- Safe Area, Zone 1 & Zone 2
- Protection Enclosures
- High performance, Low Noise levels
- Integrated drip pan
- Local or Remote Start/Stop

## Pneumatic Drives

- Pneumatic motor, brake and gearbox assembly
- Air Filter, regulator and lubricator assembly
- 5-7 bar pressure
- 70/80 litres/s air consumption

## Electric Drives

- Direct drive units
- Variable Speed Drive (VSD) units
- Hazardous area installation including compliance with directives such as ATEX / IECEx / NEMA / AS / NZS etc

## Control Systems

- Hydraulic proportional control which has fixed or portable options
- Pneumatic proportional control
- Electrical proportional control with wireless remote control option
- Hazardous area installation including compliance with directives such as ATEX / IECEx / NEMA / AS/NZS etc





---

# **techflow marine**

---

OFFSHORE AND MARINE SYSTEMS

**T. +44(0)191 250 1865**  
**sales@tfm-uk.com**

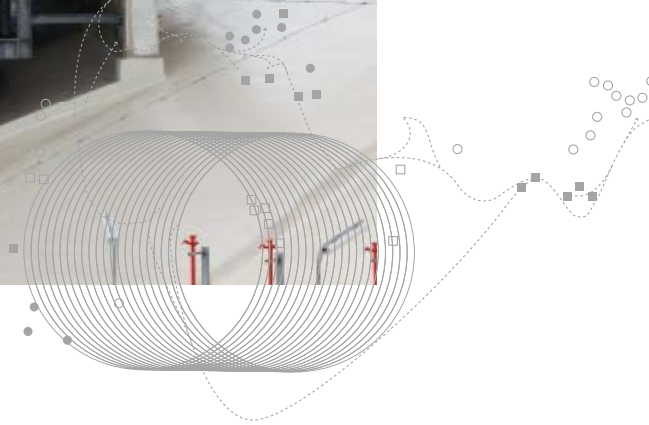


[www.techflowmarine.com](http://www.techflowmarine.com)



# The LNG Engineering Solution

10. 2015



*Partner of Experts*

**STAHL**  
CraneSystems 

# Liquefied Natural Gas

Liquefied natural gas (LNG) is purified natural gas containing more than 90% methane and cooled down to  $-164$  to  $-161^{\circ}\text{C}$ . In this state it is odourless, colourless, only slightly toxic and non-corrosive. It is more than 600 times more compact than in its gaseous state and weighs half as much as water. In the form of LNG, natural gas can be safely and cost-effectively transported by sea over long distances in special tankers. This makes it a significant alternative to pipeline-bound natural gas. Experts are of the opinion that LNG will be the fastest growing energy source in the next 20 years. Global reserves will presumably not be exhausted for many years.

New exportation methods have enabled additional gas sources to be opened up and states previously barred from this market on the basis of their location to enter the international gas business. Gas-rich countries, particularly in the Arabian and Asian regions, have been investing in liquefaction plants and port terminals for some years. The major LNG exporters are at present Qatar, Indonesia, Malaysia, Nigeria and Algeria. Recently Russia, Iran, Norway, Angola and Ivory Coast have also emerged as suppliers. Importing countries

are most notably Japan, India, South Korea, Pakistan, Chile and Brazil. Germany, Croatia and Poland may also import liquefied natural gas in the future.

Natural gas is extremely sensitive and easily inflammable. For this reason strict safety regulations must be observed and safety precautions taken in LNG trains, the large industrial plants for liquefying and regasifying natural gas.

STAHL CraneSystems is recognised internationally as an explosion protection specialist and is a world market leader in explosion protection technology. As a developer of numerous innovations in this field we have had perceptible influence on crane technology. The experience and knowledge gained in many decades, our own fundamental development, approvals from the Federal Physico-Technical Institute (PTB) and other inspection authorities in many countries around the world underline our particular expertise in major international projects.

All explosion-protected hoist and crane components and our systematic engineering solutions are based on our standard programmes. All parts, from motor and brake to control and switchgear, come from our in-house production with






certified quality assurance system. This guarantees the comprehensive high-quality explosion protection on which users, crane builders, systems builders and EPC contractors around the world have relied for decades.

The strict ATEX directives and international IECEx regulations on mechanical and electrical explosion protection are of course met.

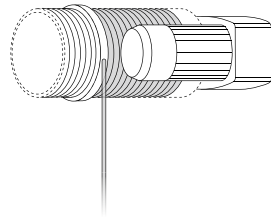
→ Please order our brochure on the subject of expertise in explosion protection.



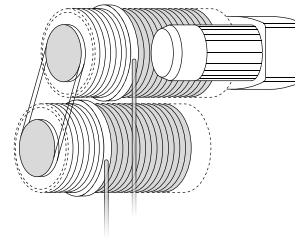


-  LNG liquefaction plant with LNG hoists from STAHL CraneSystems
-  LNG liquefaction plant
-  LNG receiving terminal with LNG hoists from STAHL CraneSystems
-  LNG receiving terminal
-  Main LNG trade route

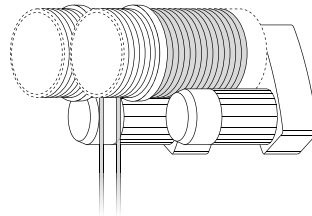
# The engineering solution for LNG tanks



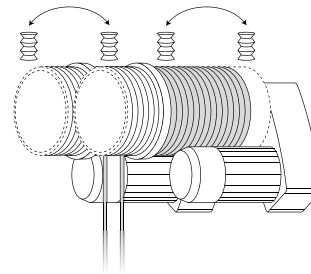
**Safety Level 1**



**Safety Level 2**



**Safety Level 3A**



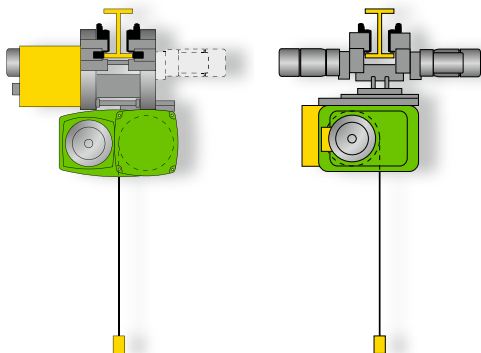
**Safety Level 3B**

STAHL CraneSystems offers suitable wire rope hoists for all safety levels

	Rope drums	Wire ropes	Hoist gear	Reeving	Floating and spring-loaded suspension
<b>Safety Level 1</b>	1	1	1	1/1	–
<b>Safety Level 2</b>	2	2	1	1/1	–
<b>Safety Level 3A</b>	2	2	2	1/1	–
<b>Safety Level 3B</b>	2	2	2	1/1	■

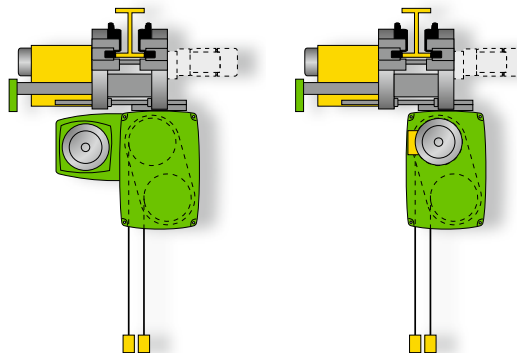
### Safety Level 1

As a basic principle, LNG hoists are custom built to the individual specifications and requirements provided by systems builders and EPC contractors. Safety Level 1, the lowest level, employs explosion-protected hoists from STAHL CraneSystems' SH wire rope hoist programme or AS wire rope hoist programme, specifically designed for routine maintenance work on LNG trains. The modular principle enables various customer requirements to be met.



### Safety Level 2

In Safety Level 2, two rope drums from the SH wire rope hoist programme, permanently connected by a chain, are driven by one motor. As an option, a fast action lock can be used to exchange the standard wire rope and the rope of the liquefied gas pump. The LNG pump's ropes can be taken up on one drum or on both drums in parallel as required. There is only one motor, hoist gear and brake. The modular principle enables various customer requirements to be met.

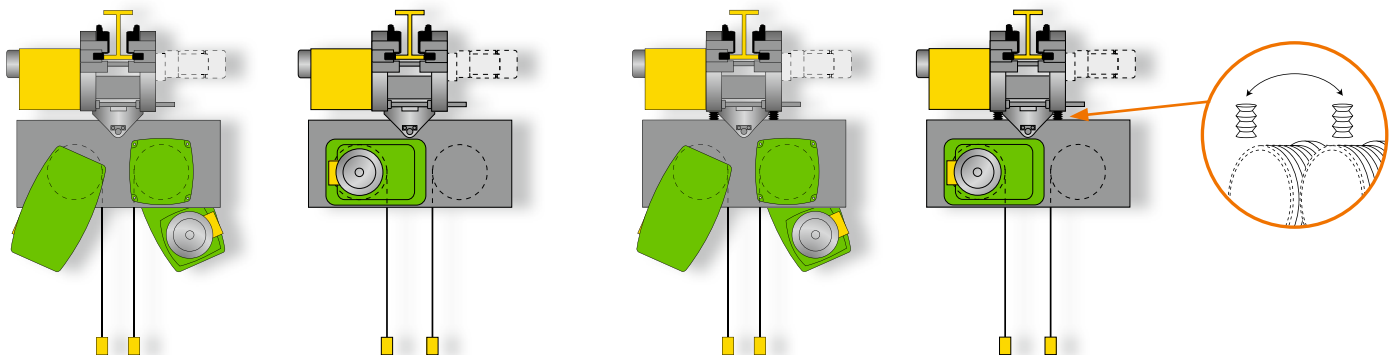


### Safety Level 3A

The LNG hoist in Safety Level 3A is equipped with two separately driven motor-gear units running parallel, two rope drums and two brakes. The brakes are designed so that each one individually is able to brake or hold the load in an emergency. The brakes are synchronously controlled and act as service and holding brakes. The off-standard wire ropes permanently connected to the pump are attached to the rope drum of the LNG hoist by an optional fast action lock. Generally, lifting is performed by one load-bearing rope, the second rope runs parallel as a dead rope without load. In the unlikely event that one of the ropes should break, the second hoist can take over the load and continue lifting.

### Safety Level 3B

LNG wire rope hoists in Safety Level 3B are masterpieces of STAHL CraneSystems' engineering and are regarded as the safest, most technically mature hoists in the world. As with the LNG hoists in Safety Level 3A, their construction is fully redundant. Increased safety is guaranteed by the additional floating and spring-loaded suspension. Only one rope acts as lifting rope when lifting the pump. The second hoist runs in parallel with a dead rope as backup. If the load rope should break during lifting, the second hoist takes over. However in safety level 3B, the hoist's floating and spring-loaded suspension absorbs the impact of the abrupt load change without jolting and ensures that the load's centre of gravity stays centred under the hoist. Lifting can continue without disruption and without damaging the valuable pump or any part of the system.





STAHL CraneSystems' LNG hoists are specifically designed for maintenance work on LNG tanks and are now employed successfully in many plants and terminals throughout the world. Thanks to the high-quality components, robust construction, corrosion-resistant paint and extensive additional equipment they are optimally suited for use in coastal areas with challenging climate conditions. The pumps in the tanks, which pump the liquefied natural gas into a pipe system at temperatures of  $-164$  to  $-161^{\circ}\text{C}$ , have to be lifted out of the 70 m high tanks and transported to the exterior up to five times a year for maintenance. The extreme conditions prevailing in the tank necessitate off-standard ropes permanently connected to the liquefied natural gas pump and remaining constantly in the tank. These ropes are attached to the rope drum and the hoist for maintenance work.

The experts in our engineering department develop these customised hoists individually for each systems builder and EPC contractor to meet their individual requirements, specifications, quality standards and national regulations. Manufacture in our factory with cost-effective standard components, strict test procedures and certified quality control guarantee optimum explosion protection. Thanks to our expertise, our first-class product portfolio, our systematic engineering solutions, international certification and customer-specific documentation we are able to complete projects cost-effectively, efficiently and in consistently high quality.

STAHL CraneSystems' LNG hoists are available in four safety levels, from Level 1 with increased safety to Level 2 with two rope drums running in parallel, Level 3A with redundantly built hoist and Level 3B with additional floating, spring-loaded suspension. STAHL CraneSystems' LNG hoists in Level 3B are regarded as the safest explosion-protected hoists currently on the market.

### The facts

- Sophisticated engineering ideally adapted to your project
- Technically mature, using field-proven standard components
- International specialist for explosion-protected hoist and crane technology
- Our own production with certified quality assurance
- All customised solutions certified to ATEX directives or IECEx regulations
- Partner for official international procedures
- Full documentation



# Explosion-protected hoist technology for LNG trains



For all other operations in LNG trains, STAHL CraneSystems offers the whole portfolio of explosion-protected standard wire rope and chain hoists, from individual custom-built solutions to complex engineering solutions. As an international specialist with experience and expertise in all the world's climate zones, we also supply safe and cost-effective hoist and crane technology for extreme climatic conditions such as saline air, offshore and onshore plants, extreme heat or Siberian cold. Even if maintenance and auxiliary cranes are shut down for long periods, you can rely on STAHL CraneSystems' technology to be fully operational and work reliably and safely. Spare parts supply for decades is a matter of course.

STAHL CraneSystems' SH ex, AS 7 ex and AS 7 ex ZW explosion-protected wire rope hoists in systematically modular design are available for the safe working load range from 1,000 kg to 100,000 kg. They are built for use in Zone 1 or Zone 21, however are also available for use in Zone 2 or Zone 22. The explosion-protected SHW ex winches are available for the heavy lifting range up to 160,000 kg. The ST ex chain hoist, one of the world's most comprehensive chain hoist programmes, is designed for the safe working load range from 125 kg to 6,300 kg. It is specifically designed for use in Zone 1 or Zone 21, however it is also available for use in Zone 22.

## The facts

- International specialist for explosion-protected hoist and crane technology
- One of the widest comprehensive hoist product ranges in the world
- Our own production with certified quality assurance
- SH ex and AS 7 ex wire rope hoists for use in Zone 1, Zone 21, Zone 2 and Zone 22
- SHW ex winches for use in Zone 1, Zone 21, Zone 2 and Zone 22
- ST ex chain hoists for use in Zone 1, Zone 21 and Zone 22
- All designs certified to ATEX directives or IECEx regulations







3

- 1 A slewing crane equipped with an explosion-protected AS 7 ex wire rope hoist, S.W.L.: 5,200 kg
- 2 Single girder overhead travelling crane with an explosion-protected ST 20 ex chain hoist, S.W.L.: up to 1,600 kg. The travel drives for the underhung crane endcarriages are also explosion-protected.
- 3 Gantry crane with an explosion-protected SH 6 ex wire rope hoist, S.W.L.: 15,000 kg
- 4 LNG wire rope hoists on slewing cranes, Safety Level 2, engineering solution comprising two explosion-protected AS 7 ex wire rope hoists per crane, S.W.L.: 2,000/2,900 kg.
- 5 Single girder overhead travelling crane with two explosion-protected SH 40 ex wire rope hoists in tandem operation, S.W.L.: 3,200 kg each



4



5

# Danger areas

A challenging industry is involved in natural gas liquefaction plants. Work with inflammable gas is hazardous. In an explosive atmosphere, both electrical and non-electrical components and elements in the lifting, drive and control technology can trigger an explosion. As a technological leader in explosion-protected crane technology, STAHL CraneSystems supplies hoist equipment suitable for all fields of LNG technology. The range extends from standard explosion-protected wire rope and chain hoists for routine maintenance work to the dual safety LNG wire rope hoists guaranteeing a maximum of safety. It is reassuring to know what convincing technology is concealed behind each hoist and each component. Everything is perfectly coordinated and thus provides unvarying high performance, long service life and high efficiency.

## Motors



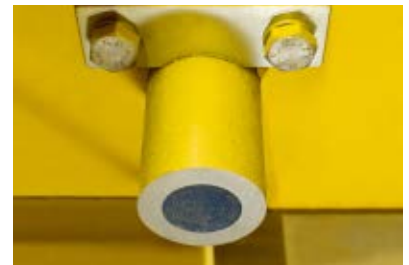
Motors for Zone 1 and Zone 21 are of grey cast iron, protection is a combination of flameproof enclosure »d«, increased safety »e« and protection by enclosure »tD«. For Zone 2 the motors are of aluminium and protection is non-sparking equipment »nA«. For Zone 22 the motors are in IP 66 and with protection by enclosure »tD«.

## Panel box and control



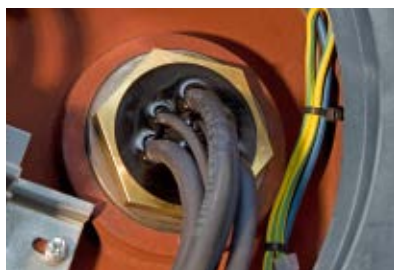
The type of protection of panel boxes for Zone 1, Zone 2 and Zone 21 on crane and hoist combines flameproof enclosure »d«, increased safety »e« and protection by enclosure »tD«.

## Overload protection



Overload protection for 1/1 reeving depends on the type of hoist and is provided by evaluation devices with field-proven analog or digital load measurement.

### Cable entry



Indirect cable entry, extremely high safety level, provided by protection types increased safety »e« and flameproof enclosure »d«. Connection from the Ex e connection box to Ex d is by means of post-type bushings.

### Off-standard rope drum



Off-standard rope drum for accommodating a work rope, with a recess for the fast action lock available as an option.

### Rope lock



The client's off-standard ropes for pump maintenance are connected by rope locks. With the aid of the fast action lock, the hoist can easily be equipped with a bottom hook block to suit its application.

### Control pendant



The SWH 5 ex control pendants are specifically designed for controlling hoists and cranes in hazardous areas. The two-step control pendant SWH ex in protection type IP 66 is used on explosion-protected wire rope hoists for Zone 1.

### Signal transmitters



Visual and acoustic signal transmitters such as horns and flashing lights meet ATEX directives and IECEx regulations. They can be used in Zone 1, Zone 2, Zone 21 and Zone 22. The signal transmitters can be activated by a button in the control pendant.

### Wheels



The protection type of all wheels is constructional safety »c«. Among other measures, wheels are made of brass for high travel speeds.

## In action across the world

Experts in all countries immediately recognise hoists and crane components of the STAHL CraneSystems brand. Our systematically engineered and highly developed solutions are in use everywhere. STAHL CraneSystems ranks among world market leaders for explosion-protected crane technology. With the world's widest product portfolio, we know what is important and always find the ideal solution combined with maximum cost-effectiveness. The off-standard LNG hoists and the explosion-protected hoist and crane technology programme as a whole meet European ATEX directives or the international IECEx regulations. STAHL CraneSystems is represented on all continents by subsidiaries, sales and crane building partners.



The Netherlands  
Rotterdam ●

### The Netherlands

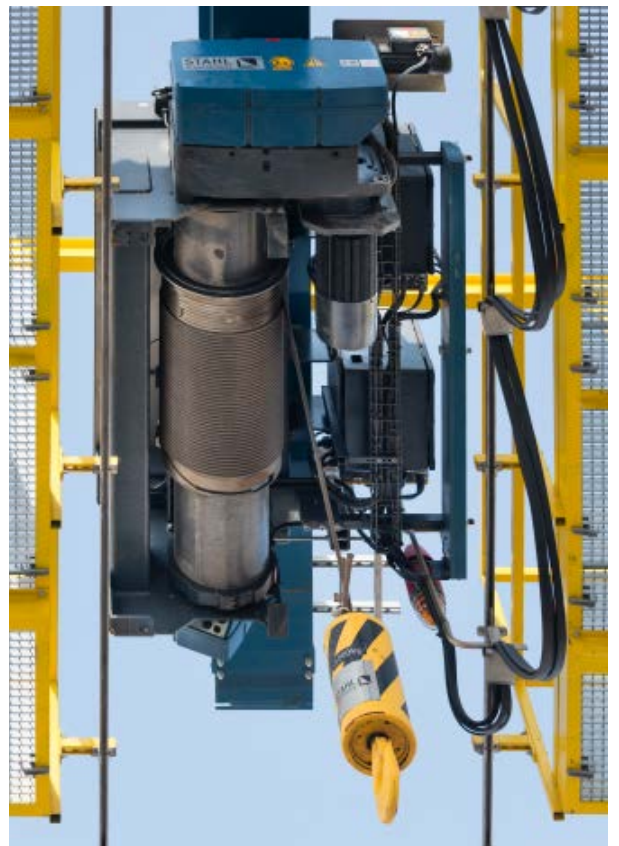
At the GATE terminal (Gas Access To Europe) in Rotterdam, Netherlands, there are three LNG tanks with a total volume of 540,000m<sup>3</sup>. Each tank is equipped with LNG hoist technology from STAHL CraneSystems in Safety Level 3A. The hoists, each equipped with two separately driven rope drums and with 2,400kg S.W.L., are used for maintenance work on the tanks' liquefied gas pumps. The custom-built hoists are protected from the severe environmental conditions such as wind and rain by a housing with maintenance bridges on both sides. Supplementing the maintenance crane, there is a further slewing crane equipped with an explosion-protected SH 30 ex wire rope hoist on each of the liquefied gas tanks. These slewing cranes transport tools and small components up to the tank's platform.



## China

STAHL CraneSystems has been producing custom-built hoists for LNG plants and gas tanks in all safety levels since 1997. Our subsidiary in Shanghai, China, has from 2006 up to the present processed orders for twelve LNG terminals in China, comprising both standard explosion-protected hoists and custom-built LNG hoists. The current project in North China involves LNG wire rope hoists in Safety Level 1. The hoists are based on the SH 60 ex wire rope hoist and are mounted on slewing cranes on the liquefied gas tanks. They have a safe working load of 3,500 kg and a lifting height of 58 metres. The wire rope hoists were adapted to meet Chinese specifications for use on the LNG tanks by modifying the controls and the rope drums. The saline air and the harsh coastal climate made special corrosion-resistant paint necessary. A housing protects the hoists from adverse weather conditions during shutdowns, which may often last several months. The maintenance bridges on both sides provide better access to the hoists when changing the ropes and for maintenance.





## Australia

The Ichthys LNG project, one of the most significant oil and gas projects and one of the largest offshore plants in the world, is at present under construction approximately 220km off the coast of Western Australia. It combines three major projects in one, the offshore Central Processing Facility (CPF), the Floating Production, Storage and Offloading Facility (FPSO tanker) and onshore facilities with LNG trains. All crane systems must meet the numerous requirements and specifications demanded by the contractors, the countries involved and the responsible test authorities. Top quality project implementation, specific material requirements and material certifications and detailed testing of the equipment to

be used in hazardous and non-hazardous areas were stipulated, in addition to strict specifications from the marine classification company DNV, including design testing and certification and a certified overload test with 125% of the maximum working load. One of STAHL CraneSystems' specialised Australian crane building partners rose to this challenge. A total of six cranes, custom-built for ambient temperatures up to +45°C, is to be erected in the offshore plant, three of them explosion-protected. The cranes are also equipped with space heaters so that they are always available even at low temperatures. One of the maintenance cranes is a spectacular custom-built solution for lifting the thruster of the FPSO tanker. This double girder overhead travelling crane has an S.W.L. of 70,000 kg and is equipped with two SHWF 8 winches, each with 50,000 kg S.W.L. Two SH wire rope hoists, each with 5,000 kg S.W.L., act as fast auxiliary hoists. The two SHWF 8 winches are in fully redundant design. They are equipped with off-standard centrifugal brakes with brake release and integrated automatic coupling, with which the load can be safely lowered even during a power cut. Both long and cross travel drives are rack-and-pinion, enabling them to be used even in rough seas. All the hoists are equipped for offshore use and possible contact with seawater.

Australia

Perth







## Russia

At present one of the most ambitious LNG plants ever built is rising on the Jamal peninsula in Russia and is scheduled for commissioning in 2017. The explosion-protected crane systems and LNG hoists operate in partially open, unheated buildings and are constantly exposed to temperatures well below 0°C. Material durability, compliance with strict explosion protection directives and constant operational availability must be guaranteed even in these extreme conditions. All the cranes' hoist and trolley components are therefore enclosed in housings and equipped with heaters and individual safety circuits. The temperature inside the housing can be maintained at above -20°C. The crane control evaluates several temperature sensors before permitting the crane to be put into operation. Crane bridges, crab beams, endcarriages and crabs are manufactured from P355 NL1, a special low-temperature steel. STAHL CraneSystems is supplying the explosion-protected customised hoists for maintenance cranes. The explosion-protected AS 7 ex ZW twin hoist with an S.W.L. of 100,000 kg is used for the maintenance of the heavy gas compressors. For lighter loads and faster hoisting speeds, each of the cranes is equipped with an auxiliary hoist from the SH ex series of wire rope hoists, also mounted on the large crab inside the heated housing.



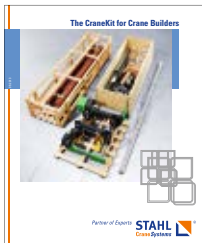
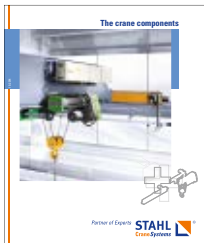
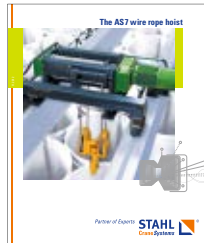
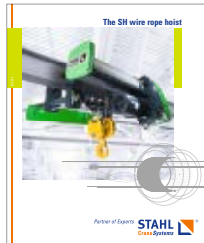
Argentina Australia Austria Belgium Brazil Canada Chile **China** Columbia Croatia Czech Republic  
Denmark Ecuador Egypt Estonia Finland **France** Germany **Great Britain** Greece Hongkong Hungary **India** Indonesia

Ireland Israel Italy Jordan Latvia Lebanon Lithuania Malaysia Mexico  
Netherlands Nigeria Norway Pakistan Peru Philippines Poland **Portugal** Rumania Russia

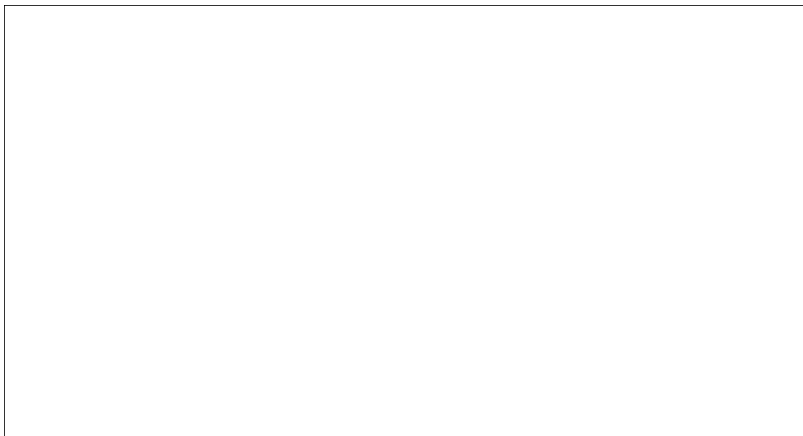
**Singapore** Slovakia Slovenia South Africa South Korea **Spain** Sweden Syria  
Taiwan Thailand Turkey **UAE** Uruguay **USA** Venezuela Vietnam

Sales partners **Subsidiaries**

Please order our other brochures



Presented by



→ [www.stahlcranes.com](http://www.stahlcranes.com)

STAHL CraneSystems GmbH  
Daimlerstr. 6, 74653 Künzelsau, Germany  
Tel +49 7940 128-0, Fax +49 7940 55665  
marketing.scs@stahlcranes.com

*Partner of Experts*



All specifications and illustrations are non-binding.  
Subject to modification, errors and printing errors excepted.  
Printed in Germany. Sach-Nr. 990 070 0 F-PB-10-EN-10.15-vis visuell.de



# Gas Combustion Unit

**Alfa Laval Gas Combustion Unit for liquefied natural gas carriers**



Reliable, simple and compact, the Alfa Laval Gas Combustion Unit (GCU) reflects Alfa Laval's commitment to LNG transport. It handles boil-off on vessels with dual-fuel or low-speed dual-fuel engines. With a unique compact design and low-maintenance operation, it combines easy integration with true reliability.

The Alfa Laval GCU joins the inert gas generators, burners, boilers, heat exchangers and more in our already extensive LNG portfolio. And perhaps most important for your LNG business, it comes with our worldwide network of service and support.



## Application

During the last decade, the major part of new-building LNG carriers have changed main propulsion system from steam turbine into Dual Fuel Diesel Electric (DFDE) propulsion. The use of DFDE engines or the new generation 2-stroke DF engines provides LNG ship-owners and operators with economical and environmentally sound alternatives to traditional systems.

These engines, however, require additional means with which to regulate LNG cargo tank pressure. There are a number of alternative systems that can be applied but the large part of the DFDE vessels being build today are equipped with GCUs. The GCU has been introduced as a crucial part of the vessel's boil-off management strategy and provides a safe, reliable method to burn the excess boil-off gas that is not used by the ship propulsion system.

## Gas Combustion Unit from Alfa Laval

Proven and with a simple design, the Alfa Laval GCU is a compact system that safely disposes of excess boil-off gas. Available as a stand-alone unit, the Alfa Laval GCU has proven capabilities to burn gas mixture with high nitrogen content in a safe way, ensuring the disposal of all methane gas without requiring the use of pilot oil burners.

The Alfa Laval GCU is considered to offer the smallest footprint on-board and the lowest maintenance cost on the market today. These factors combined with proven technology and simplicity in design makes the Alfa Laval GCU the clear choice for today's LNG Carriers. It provides ship-owners with gas combustion technology that is easy to integrate, and reliable to operate and easy to maintain due to fewer spare parts. This is made possible, in part, through the use of:

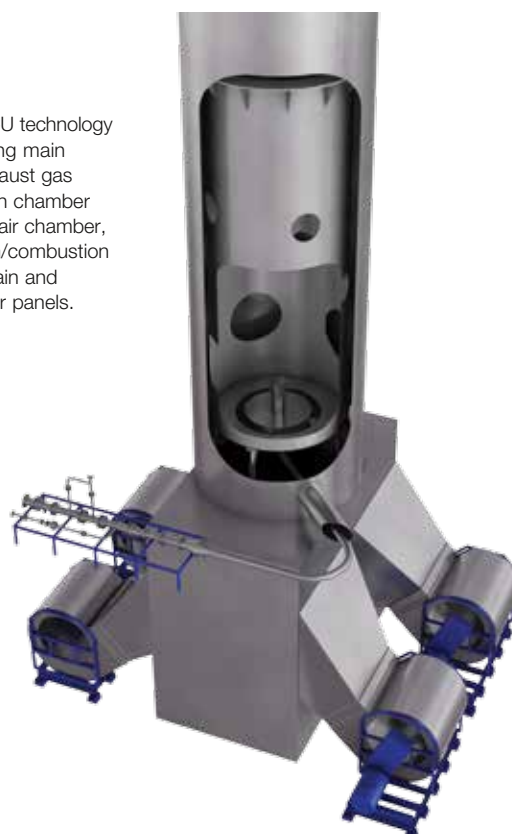
- Lowest possible operating costs for gas combustion technology
- Simple and compact design without any moving parts inside the combustion chamber
- Combined combustion and dilution fans that do not require silencers or duct pipes

- All-metallic combustion chamber with no refractory lining
- Electric igniters instead of an oil pilot and associated equipment
- Induct-type burner that offers a robust and extremely reliable design

## Capacity range

The Alfa Laval GCU is available in four standard sizes, which accommodate capacities of 1.5 to 2.5 t/h, 2.5 to 4.2 t/h, 4.2 to 5.0 t/h, and 5.0 to 8.4 t/h methane, using either single or dual combustion chambers.

The Alfa Laval GCU technology consist of following main components: exhaust gas stack, combustion chamber including burner, air chamber, combined dilution/combustion fans, gas valve train and control and power panels.



## Gas Combustion Unit range

GCU capacity (Methane flow)	GCU design	Fan arrangement
1.5 to 2.5 t/h	Single combustion chamber	2 x 100% or 3 x 50%
2.5 to 4.2 t/h	Single combustion chamber	3 x 50% or 4 x 33%
4.2 to 5.0 t/h	Dual combustion chamber	4 x 33%
5.0 to 8.4 t/h	Dual combustion chamber	4 x 33% or 6 x 20%

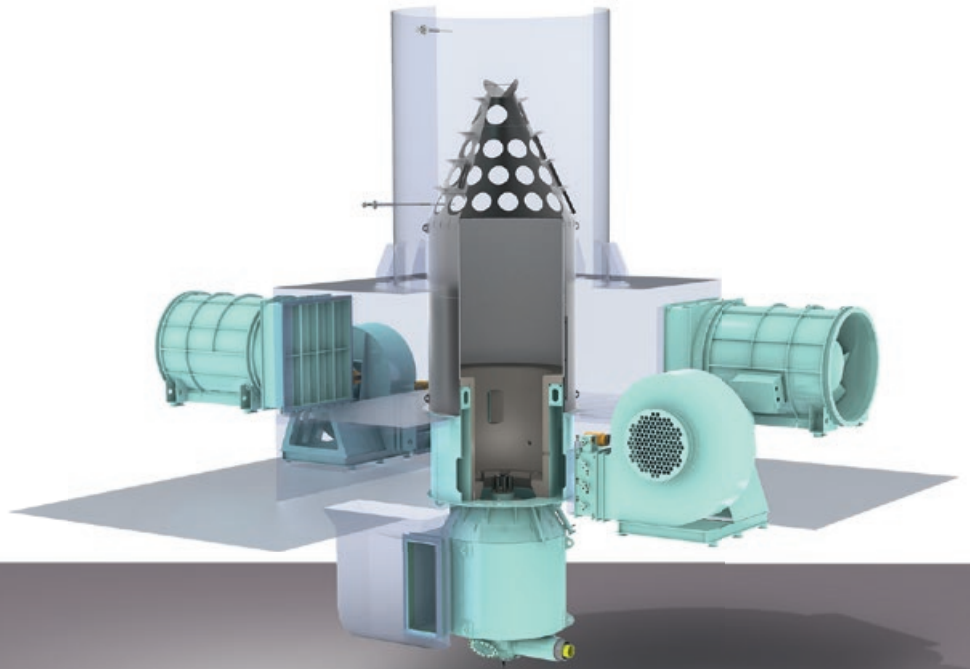
Alfa Laval is a trademark registered and owned by Alfa Laval Corporate AB. Alfa Laval reserves the right to change specifications without prior notification.

How to contact Alfa Laval  
Contact details for all countries are continually updated on our website. Please visit [www.alfalaval.com/marine](http://www.alfalaval.com/marine) to access the information directly.

The information contained herein is correct at the time of issue, but may be subject to change without prior notice

LNG carriers

FSRU



## Gas Combustion Unit – GCU-Series

With its special design, the GCU combines all advantages of economic, operationally reliable and environmentally friendly combustion on sea.

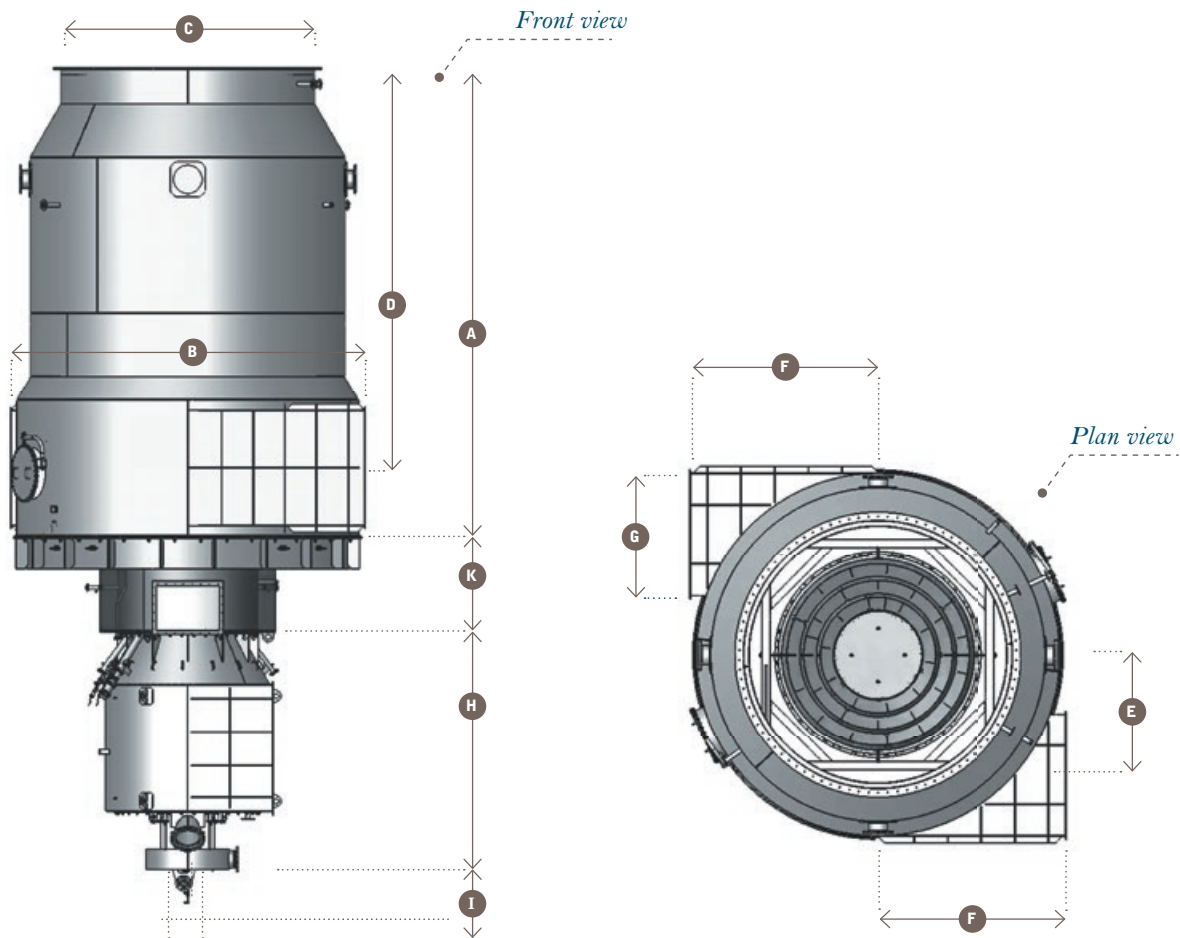
### Technical data: GCU

Capacity	0.15-6.5 t/h methane
----------	----------------------

### Product information

- Rain-proof design to avoid corrosion and wearing of the GCU components, especially the burner and the combustion chamber bottom
- The inner lining in the combustion chamber provides a cold and therefore strong structure of the GCU
- High air excess provides low flame temperature for low heat radiation and low NO<sub>x</sub> emissions
- No flame touching of the combustion chamber wall if the ship is rolling in heavy sea and therefore no wearing or damaging of the combustion chamber
- No belt driven fans for low maintenance cost
- Oil pilot burner for unlimited continuous operation if required during special circumstances
- Controlled fuel air ratio for safe combustion and low emissions
- For maintenance it is possible to remove or replace inner parts like combustion chamber and burner via funnel
- Gap between combustion chamber and outer shell is accessible
- 100 % free flow possible
- All gases are completely burned

## Dimensions GCU-Series



### Burner dimensions\* and weight

Model	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	Burner weight**
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg (ca.)
GCU 300	6,100	2,900	2,600	5,230	800	1,650	1,200	2,200	2,600	1,300	36,000
GCU 450	6,900	4,880	3,620	5,310	1,530	2,800	1,800	3,150	4,000	1,400	40,000
GCU 550	7,400	5,400	4,010	6,310	1,790	2,800	1,800	3,800	5,000	1,500	46,000
GCU 650	7,850	5,900	4,410	6,580	2,000	3,100	1,800	3,800	5,000	1,500	50,000

### Burner data

Model	Boil-off-Gas (100% CH <sub>4</sub> )	P	Flue gas temperature	Flue gas flow
	t/h	MW	°C	m <sup>3</sup> N/s
GCU 300	3.0	41.5	450	77.75
GCU 450	4.5	62.3	450	116.61
GCU 550	5.5	76.1	450	142.53
GCU 650	6.5	89.9	450	168.44

\* details and other sizes on demand \*\* including insulation

