



Tugas Akhir – ME 141501

**Simulasi Sloshing Pada Tiga Tipe Tangki Kapal Akibat
Gerakan *Pitching* Dan *Heaving***

**Yoga Adhi Pratama
NRP 4214 106 007**

**Dosen Pembimbing
Ir. Toni Bambang Musriyadi. PGD. MMT
Edi Djatmiko. ST. MT**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



Tugas Akhir – ME 141501

**Simulasi Sloshing Pada Tiga Tipe Tangki Kapal Akibat
Gerakan *Pitching* Dan *Heaving***

**Yoga Adhi Pratama
NRP 4214 106 007**

**Dosen Pembimbing
Ir. Toni Bambang Musriyadi. PGD. MMT
Edi Djatmiko. ST. MT**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”



Final Project - 141501

**Sloshing Simulation Of Three Types Tank Ship Due Pitching
And Heaving Motion**

**Yoga Adhi Pratama
NRP 4214 106 007**

**Academic Supervisor:
Ir. Toni Bambang Musriyadi. PGD. MMT
Edi Djatmiko. ST. MT**

**MARINE ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**SIMULASI *SLOSHING* PADA TIGA TIPE TANGKI
KAPAL AKIBAT GERAKAN *PITCHING* DAN
*HEAVING***

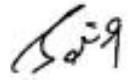
TUGAS AKHIR.

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Manufacture and Design* (MMD)
Program Study S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :

YOGA ADHI PRATAMA
NRP 4214 106 007

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:
Ir. Toni Bambang Musriyadi, PGD, MMT ()
NIP: 1959 0410 1987 01 1001

Edi Djatmiko, ST, MT ()
NIP: 1978 0706 2008 01 1002

SURABAYA
Januari, 2017

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**SIMULASI *SLOSHING* PADA TIGA TIPE TANGKI
KAPAL AKIBAT GERAKAN *PITCHING* DAN
*HEAVING***

TUGAS AKHIR.

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Manufacture and Design* (MMD)

Program Study S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YOGA ADHI PRATAMA

NRP 4214 106 007

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, ST., MT
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

SURABAYA

Januari, 2017

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

SIMULASI SLOSHING PADA TIGA TIPE TANGKI KAPAL AKIBAT GERAKAN PITCHING DAN HEAVING

Nama : Yoga Adhi Pratama
NRP : 4214106007
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan,FTK-ITS
Pembimbing : Ir. Toni Bambang Musriyadi. PGD
Edi Djatmiko. ST. MT

ABSTRAK

Sebagai bagian penting dalam sebuah kapal, tangki/ruang muat dirancang khusus untuk mendistribusikan muatan agar terjaga dengan aman. Dalam klasifikasi IMO terkait tentang LNG carrier, terdapat berbagai macam variasi tipe tangki pada kapal LNG. Secara umum dibagi menjadi dua jenis tangki yaitu (*Independent Self Supporting Tank*) dan (*Non Self Supporting Tank*). Adanya variasi tipe tangki tersebut akan berpengaruh terhadap karakteristik gerakan fluida yang ada didalam tangki. Perlu adanya simulasi *sloshing* dan analisa struktur pada tangki akibat gaya yang ditimbulkan oleh beban ketika terjadi heaving dan pitching. *Sloshing* merupakan efek dari gerak bebas fluida dalam tangki dengan gerakan menghantam dinding dinding tangki yang dapat merusak dinding tangki. Tipe tangki 1 adalah tangki berbentuk segi delapan (*octogonal*) untuk kapal LNG tipe membrane dengan dimensi panjang 38 m lebar 39.17 m tinggi sisi tangki 14.5 m. Tipe tangki 2 adalah tangki berbentuk kapsul dengan dimensi panjang 26,6 m dan diameter 10,5 m. Tipe tangki 3 adalah tangki berbentuk segi empat (*rectangular*) dengan dimensi panjang 49,68 m, lebar 46,92 dan tinggi 32,23 m. Simulasi dilakukan dengan metode Computational Fluid Dynamic (CFD) menggunakan software Ansys Fluent. Dari hasil simulasi disimpulkan bahwa pada tangki 1 dengan bentuk (Octogonal) memiliki total pressure sebesar 3013.99 Pa pada dinding bagian depan dengan ketinggian dari dasar tangki 13.65 m

Kata Kunci : Sloshing, Fluent, Tangki, *Pitching*, *Heaving*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

SLOSHING SIMULATION OF THREE TYPES TANK SHIP DUE PITCHING AND HEAVING MOTION

Name : Yoga Adhi Pratama
NRP : 4214106007
Departement : Teknik Sistem Perkapalan,FTK-ITS
Advisor : Ir. Toni Bambang Musriyadi. PGD
Edi Djatmiko. ST. MT

ABSTRACT

As an important part of a ship, tanker / cargo hold specifically designed to distribute the load to be maintained safely. In a related IMO klasifikasi of LNG carrier, there are a wide variety of types of LNG tanks on ships. Are generally divided into two types, namely tank (Independent Self Supporting Tank) and (Non Self Supporting Tanks). The tank-type variation will affect the characteristics of fluid motion that is inside the tank. Need for simulation of sloshing and analysis of the structure of the tank due to the force created by the load when the heaving and pitching. Sloshing the effect of the free movement of the fluid in the tank with the striking motion wall tank walls that can damage the walls of the tank. Type 1 tank is a tank octagonal (octogonal) for membrane-type LNG carrier with dimensions of length 38 m width 39.17 m 14.5 m high side of the tank. Type 2 tank is a tank-shaped capsule with the long dimension of 26.6 m and a diameter of 10.5 m. Type 3 tank is rectangular tank (rectangler) with dimensions of length of 49.68 m, width 46.92 and 32.23 m high. Simulations conducted using Computational Fluid Dynamic (CFD) using ANSYS FLUENT software. From the simulation results concluded that the tank 1 to form (octogonal) have a total pressure of 3013.99 Pa on the front wall with a height of 13.65 m from the base of the tank

Key words: Sloshing, Fluent, Tank, Heaving, Pitching

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas hidayah dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul "Perbandingan Simulasi Sloshing Pada Tiga Tipe Tangki Kapal Akibat Gerakan Picing Dan Heaving", yang merupakan salah satu syarat kelulusan pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan tugas akhir ini banyak pihak yang bersedia meluangkan waktu untuk membantu penyusunan tugas akhir ini, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Toni Bambang Musriyadi. PGD, selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah memberikan kesempatan atas waktu bimbingan, bantuan, dan nasehat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Edy Jatmiko. ST. MT selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan banyak masukan, arahan dan dorongan agar terselasaikannya Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS, yang telah memberikan kesempatan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Dhimas Widhi Handani, S.T., M.SC., PH.D., selaku Dosen Wali Mahasiswa Lintas Jalur 2014, yang telah membantu memperlancar penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Bapak, Ibu dan keluarga yang telah mendoakan dan melancarkan penyusunan Tugas Akhir.
6. Mas Syaiful Anwar Teknik Perkapalan 2007 yang sudah meluangkan waktunya untuk membantu proses penyusunan tugas akhir ini

7. Pengurus Lab MMD yang bersedia memberikan fasilitas untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Teman – teman teknik sistem perkapalan lintas jalur angkatan 2014 yang tidak segan mendukung tersusunnya tugas akhir ini
9. Kerabat ITS TV yang selalu memberikan support dan hiburan serta fasilitas dalam memperlancar peneliatian ini.
10. Teman – teman kontrakan seperjuangan yang senantiasa memberikan hiburan dan dorongan.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan. Akhir kata dengan Tugas Akhir ini diharapkan dapat bermanfaat dalam hal apapun.

Surabaya, Januari 2017
Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penulisan.....	2
1.4 Manfaat Penulisan.....	3
1.5 Batsan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Jenis Tangki Pada Kapal LNG	5
2.2 Teori Gelombang.....	10
2.2.1 Gelombang laut	10
2.3 Gerakan Kapal Pada Gelombang	14
2.4 Sloshing	16
2.4.1 Penilaian Beban Sloshing	17
2.5 Computational Fluid Dynamic	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Pengumpulan Data	27
3.1.1 Spesifikasi Data LNG.....	27
3.1.2 Pengumpulan Data Tangki	28
3.1.3 Data Lingkungan Pelayaran Kapal LNG.....	30
3.2 Pengolahan Data.....	32
3.2.1 Perhitungan Hydrostatic	32
3.2.2 Pembuatan Model Linesplan	33

3.3 Perhitungan Gerakan Kapal.....	35
3.4 Penggunaan <i>User Defined Function</i>	39
3.5 Validasi.....	42
BAB IV HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Penentuan Node Pressure Pada Tangki	45
4.2 Hasil Simulasi Tangki 1 Type Membrane.....	47
4.3 Hasil Simulasi Tangki 2 Type Bilobe	54
4.4 Hasil Simulasi Tangki 3 Type SPB	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74
BIODATA PENULIS.....	75
LAMPIRAN	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur tipe tangki berdasarkan IMO	5
Gambar 2.2 Tangki tipe membrane pada kapal LNG.....	6
Gambar 2.3 Tangki tipe moss pada kapal LNG	7
Gambar 2.4 Tangki tipe SPB pada kapal LNG	8
Gambar 2.5 Typical filling level berdasarkan rules	9
Gambar 2.6 Definisi gelombang regular	11
Gambar 2.7 Gelombang reguler di permukaan laut	12
Gambar 2.8 Kecepatan lokal pada partikel gelombang laut.....	13
Gambar 2.9 Arah gerakan kapal pada gelombang.....	15
Gambar 2.10 Arah gerakan translasi kapal pada gelombang	16
Gambar 2.11 Arah gerakan rotasi kapal pada gelombang.....	16
Gambar 2.12 Ilustrasi sloshing	17
Gambar 3.1 Variasi desain tangki 1	28
Gambar 3.2 Variasi desain tangki 2	29
Gambar 3.3 Variasi desain tangki 3	20
Gambar 3.4 Perairan India-Qatar daerah pelayaran kapal LNG	31
Gambar 3.5 Pemodelan lines plan dengan maxsurft	32
Gambar 3.6 Output data hydrostatic dari maxsurft	34
Gambar 3.7 Hasil Output Gerakan Heaving (anwar, 2013)	38
Gambar 3.8 Hasil Output Gerakan Pitching (anwar, 2013)	39
Gambar 3.9 Posisi Pressure Tranduser	42
Gambar 3.10 Capture Simulasi Percobaan Filling 50%	43
Gambar 3.11 Validasi Hasil Simulasi Filling 50%	44
Gambar 4.1 Posisi Node Pressure Pada Tangki 1	45
Gambar 4.2 Posisi Node Pressure Pada Tangki 2	46
Gambar 4.3 Posisi Node Pressure Pada Tangki 3	46
Gambar 4.4 Kontur volume fluida pada tangki 1	47
Gambar 4.5 Grafik Pressure pada z3 filling level 50%	47
Gambar 4.6 Grafik Pressure pada z4 filling level 50%	48
Gambar 4.7 Grafik Pressure pada z8 filling level 50%	48

Gambar 4.8 Grafik Pressure pada z9 filling level 50%	49
Gambar 4.9 Kontur Pressure Dinding Depan Dan Belakang	50
Gambar 4.10 Grafik Velocity pada z3 filling level 50%	51
Gambar 4.11 Grafik Velocity pada z4 filling level 50%	51
Gambar 4.12 Grafik Velocity pada z8 filling level 50%	52
Gambar 4.13 Grafik Velocity pada z9 filling level 50%	52
Gambar 4.14 Kontur Velocity Dinding Depan Dan Belakang..	53
Gambar 4.15 Kontur Volume Fluida Pada Jenis Tangki 2.....	54
Gambar 4.16 Grafik Pressure pada z3 filling level 50%	54
Gambar 4.17 Grafik Pressure pada z4 filling level 50%	55
Gambar 4.18 Grafik Pressure pada z8 filling level 50%	55
Gambar 4.19 Grafik Pressure pada z9 filling level 50%	56
Gambar 4.20 Kontur Pressure Dinding Depan Dan Belakang ..	57
Gambar 4.21 Grafik Velocity pada z3 filling level 50%	58
Gambar 4.22 Grafik Velocity pada z4 filling level 50%	58
Gambar 4.23 Grafik Velocity pada z8 filling level 50%	59
Gambar 4.24 Grafik Velocity pada z9 filling level 50%	59
Gambar 4.25 Kontur Velocity Dinding Depan Belakang	60
Gambar 4.26 Kontur Volume Fluida Pada Jenis Tangki 3.....	61
Gambar 4.27 Grafik Pressure pada z3 filling level 50%	61
Gambar 4.28 Grafik Pressure pada z4 filling level 50%	62
Gambar 4.29 Grafik Pressure pada z8 filling level 50%	62
Gambar 4.30 Grafik Pressure pada z9 filling level 50%	63
Gambar 4.31 Kontur Pressure Dinding Depan Belakang.....	64
Gambar 4.32 Grafik Velocity pada z3 filling level 50%	65
Gambar 4.33 Grafik Velocity pada z4 filling level 50%	65
Gambar 4.34 Grafik Velocity pada z8 filling level 50%	66
Gambar 4.35 Grafik Velocity pada z9 filling level 50%	66
Gambar 4.36 Kontur Velocity Dinding Depan Belakang	67
Gambar 4.37 Grafik Pressure Pada Tiga Tipe Tangki	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tiga Kategori Gelombang	14
Tabel 2.2 Enam Derajat Kebebasan Pada Gerakan Kapal.....	15
Tabel 3.1 Data Ukuran Utama Kapal Disha LNG Carrier	27
Tabel 3.2 Data Tangki 1	28
Tabel 3.3 Data Tangki 2.....	29
Tabel 3.4 Data Tangki 3.....	30
Tabel 3.5 Data Statistik Perairan India Selama 1 Tahun.....	31
Tabel 3.6 Perhitungan Hydrostatic	32
Tabel 3.7 Constrain Sebagai Koreksi Dari Hydrostatic	35
Tabel 3.8 Experiment Case Sloshing Gerakan Pitching.....	43
Tabel 4.1 Posisi Node Pressure Pada Tangki 1	45
Tabel 4.2 Posisi Node Pressure Pada Tangki 2.....	46
Tabel 4.3 Posisi Node Pressure Pada Tangki 3	46
Tabel 4.4 Nilai Pressure Maksimal Dinding Depan Belakang..	50
Tabel 4.5 Nilai Velocity Maksimal Dinding Depan Belakang..	53
Tabel 4.6 Nilai Pressure Maksimal Dinding Depan Belakang..	57
Tabel 4.7 Nilai Velocity Maksimal Dinding Depan Belakang..	60
Tabel 4.8 Nilai Pressure Maksimal Dinding Depan Belakang..	64
Tabel 4.9 Nilai Velocity Maksimal Dinding Depan Belakang..	67
Tabel 4.10 Nilai Maksimal Pressure Tiga Tipe Tangki	68
Tabel 4.11 Nilai Maksimal Velocity Tiga Tipe Tangki	69

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tangki merupakan bagian terpenting yang menjadi bagian utama kapal pengangkut cairan dan gas. Oleh karena itu dirancang sebuah kapal pengangkut cairan (*oil tanker*) dan kapal pengangkut LNG dalam ukuran tertentu untuk transportasi fluida agar muatan dapat terdistribusi dengan aman.

Menurut IMO terkait tentang LNG carrier, terdapat berbagai macam variasi tipe tangki pada kapal LNG. Secara umum dibagi menjadi dua jenis tangki yaitu tangki yang berdiri sendiri tidak menyatu dengan konstruksi kapal (*Independent Self Supporting Tank*) dan tangki yang tidak berdiri sendiri dan menyatu dengan konstruksi kapal (*Non Self Supporting Tank*). Adanya variasi tipe tangki tersebut akan berpengaruh terhadap karakteristik gerakan fluida yang ada didalam tangki.

Sebagai media penyimpanan yang utama, tangki akan selalu mendapatkan beban dari fluida yang dibawa maupun beban yang berasal dari luar tangki. *Sloshing* merupakan salah satu beban yang berasal dari dalam tangki dan gelombang laut adalah beban yang berasal dari luar tangki yang mana kedua beban tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada dinding tangki. Oleh karena itu perlu adanya simulasi *sloshing* dan analisa struktur pada tangki akibat gaya yang ditimbulkan oleh beban tersebut. *Sloshing* merupakan efek dari gerak bebas fluida dalam tangki dengan gerakan menghantam dinding dinding tangki yang dapat merusak dinding tangki

Pada penelitian ini mengambil tiga tipe tangki LNG dengan berbeda bentuk. Tangki pertama adalah jenis tangki

self-supporting tank yang biasa disebut *Self supporting prismatic shape* IMO type B (*SPB tank*). Tangki ini didesain mengikuti bentuk badan kapal (*hull shape*) yang mempunyai bentuk seperti kubus dan memiliki konstruksi sederhana hampir serupa dengan konstruksi tangki kapal tanker. Yang kedua adalah jenis tangki tipe *Bilobe* (Berbentuk seperti kapsul) yang diinstal terpisah (*independent*) dari badan kapal dan disangga (*supported*) dengan *steel cylinder (skirt)*. Dan yang ketiga adalah jenis tangki membran. Secara visual tangki ini memiliki bentuk *octogonal*) dan merupakan tangki *non self supporting tank* atau tidak berdiri sendiri.

Oleh karena itu penelitian ini akan melakukan analisa karakteristik gerakan *sloshing* dan arah gerakan sloshing yang berhubungan dengan gerakan kapal. Dengan adanya analisa *sloshing* dapat diketahui bahwa dinding tangki bagian mana yang mengalami potensi kerusakan terbesar saat terjadinya pitching dan heaving.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang ada terdapat pada latar belakang, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh gerakan pitching dan heaving terhadap tipe tangki berbentuk *rectangular, capsul* dan *octogonal*?
2. Bagaimana tekanan/gaya yang terjadi pada tiga variasi desain tangki dengan filling level 50% ?
3. Bagaimana karakteristik gerakan fluida yang ada pada fluida dalam tiga tipe tangki tersebut?

1.3 Tujuan Penulisan

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Pemodelan tiga variasi tipe tangki pada CAD (*Computational Aided Design*) dan CFD (*Computational Fluid Dynamic*)
2. Melakukan simulasi *sloshing* terhadap tiga variasi tipe tangki pada filling level yang sama.
3. Mengetahui gerakan LNG dan distribusi tekanan yang terjadi akibat gerakan pitching dan heaving dengan software CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

1.4 Manfaat Penulisan

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada seluruh pihak yang terkait dengan penelitian tugas akhir ini dan terutama pihak yang terkait secara langsung, adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi kerusakan yang akan terjadi akibat gaya/tekanan pada dinding tangki.
2. Mengetahui karakteristik fluida akibat gerakan pitching dan heaving

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan – batasan pada penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Tangki yang dianalisa menggunakan tiga tipe tangki dengan bentuk *octogonal* (tipe SPB), bentuk kapsul (tipe bilobe) dan bentuk *rectanguler*(tipe membrane)
2. Analisa pergerakan fluida dilakukan dengan pemodelan dibantu CAD (*Computational Aided Design*) dan (*Computational Fluid Dynamic*) tanpa mempertimbangkan konstruksi dan material tangki
3. Analisa gerakan pitching dan heaving dilakukan dengan bantuan CAD (*Computational Aided Design*)
4. Filling level cairan dalam tangki adalah 50%
5. Pemodelan fluida memiliki material property yang sama dengan Liquid Natural Gas

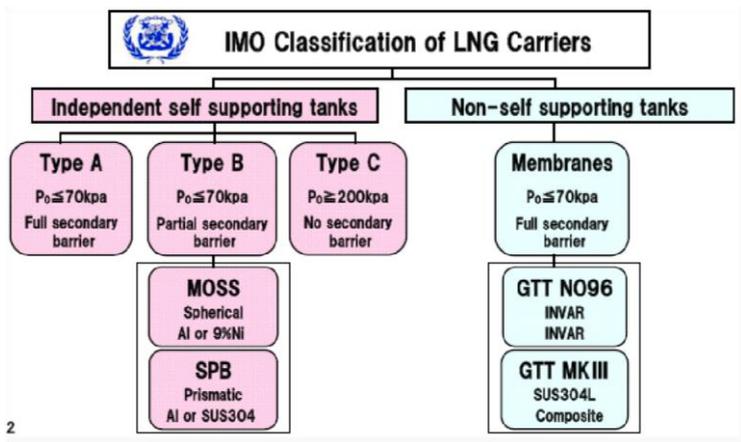
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis Tangki Pada Kapal LNG

Berdasarkan Klasifikasi IMO diatas untuk tipe tangki LNG, ada tiga tipe tangki utama yang akan bersaing untuk digunakan dalam mendesain kapal LNG yaitu :

- 1.SPB (Self Prismatic Type B)/ Kategori Independent Self Supporting Tank Type B
- 2.Moss/ Kategori Independent Self Supporting Tank Type B
- 3.Membrane (GTT MKIII/ NO 96)/ Kategori Non-Self Supporting Tank

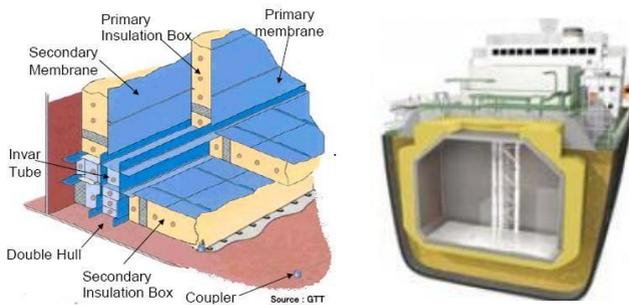


Gambar 2.1 Struktur Tipe Tangki Berdasarkan IMO

Desain tangki yang digunakan pada kapal LNG berdasarkan tinjauan pustaka dari penelitian tugas akhir Anwar, M.S. (2013). *Simulasi Sloshing pada Dinding Tangki Tipe Membran Kapal LNG Akibat Gerakan Heaving dan Pitching di Gelombang Regular (Tugas Akhir)*. ITS Surabaya adalah sebagai berikut:

a. Tipe Tangki Membrane

Tangki membrane terdiri suatu lapisan metal (primary barrier), lapisan insulasi, suatu lapisan liquid-proof, dan suatu lapisan insulasi lainnya. Beberapa lapisan ini kemudian ditempelkan ke dinding tangki pada suatu frame yang telah terpasang.

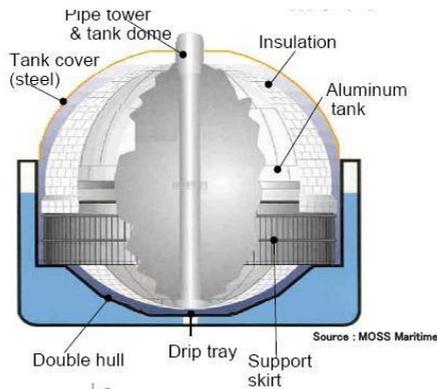


Gambara 2.2 Tangki tipe membrane pada kapal LNG
(Sumber: *Sloshing Assessment Guidance Document for Membrane Tank LNG Operations*)

Pada desain tangki tipe Membrane, primary dan secondary barrier adalah terbuat dari bahan Invar, suatu material yang terdiri dari alloy material 36% nickel steel, dan memiliki ketebalan 0.7mm. Tidak seperti regular steel, invar merupakan bahan yang sulit berkontraksi akibat suhu yang sangat rendah. Lapisan insulasi terbuat dari bahan plywood yang mengandung perlite, suatu bahan yang mengandung glass (seperti kaca).

b. Tipe Tangki Moss

Pada tangki cargo LNG tipe Moss, tangki di-install di main hull kapal. Cargo tank terbuat dari bahan aluminum alloy dan terpisah (independent) dari badan kapal (hull), disangga (supported) dengan steel cylinder (bernama skirt) diseputar lingkaran equator dari tangki. Di dalam palkah (hold space) dibawah tangki, dipasang sebuah drip tray yang berfungsi sebagai secondary barrier apabila terjadi kebocoran LNG.



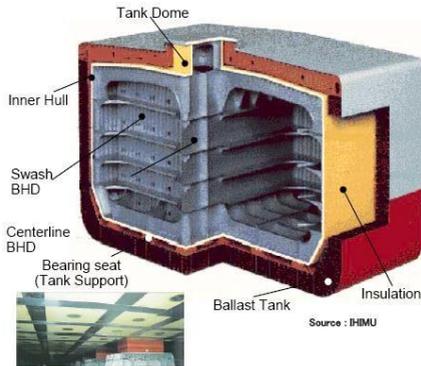
Gambar 2.3 Tangki Tipe Moss pada Kapal LNG

(Sumber: *Slashing Assessment Guidance Document for Membrane Tank LNG Operations*)

Penempatannya tepat dibawah (south pole) dari sphere tangki. Insulasi yang menutupi seluruh permukaan luar sphere tank memiliki alur-alur (channel) bagi fluida pada saat terjadi kebocoran untuk dapat mengalir ke drip tray. Tangki tipe MOSS merupakan salah satu self- supporting tangki pertama yang diaplikasikan di laut.

c. Tangki Tipe SPB

Tipe tangki ketiga setelah MOSS yang merupakan selfsupporting tank (independent) adalah Self-supporting Prismatic Shape IMO Type-B, atau sering disingkat SPB Tank. Tangki jenis ini merupakan penemuan teknologi dari Ishikawajima-Harima Heavy Industries (IHI), salah satu grup industri berat dan galangan kapal terbesar di Jepang. Tangki SPB merupakan tangki independen yang bentuknya mengikuti badan kapal (*hull shape*).

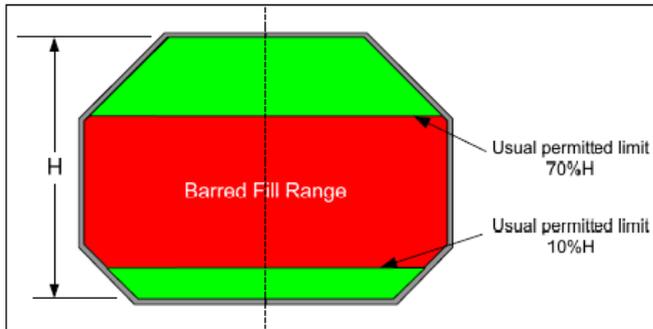


Gambar 2.4 Tangki Tipe SPB pada Kapal LNG

(Sumber: *Slashing Assessment Guidance Document for Membrane Tank LNG Operations*)

Bentuk konstruksinya sederhana (*framing internal* di dalam tangki), mengingatkan kita pada bentuk konstruksi lambung kapal tanker single hull dimasa silam. Material untuk konstruksi yang digunakan dapat berupa aluminum atau stainless steel 304, namun kapal existing yang ada menggunakan baru menggunakan bahan aluminum. Tangki SPB dipasang dalam palkah dari sebuah kapal double hull dan keseluruhan permukaannya diinsulasi menggunakan material polyurethane foam yang juga berfungsi menyediakan alur-alur fluida jika terjadi kebocoran cargo, agar dapat mengalir ke drip tray dibagian bawah tangki

Berdasarkan Sloshing Assessment Guidance Document yang di adopsi dari Llyod Register untuk pengoperasian kapal LNG disebutkan bahwa procedure perbandingan desain target dalam membawa LNG dan desain reference yang diadopsi dari llyod register dimana referensi load dari desain terlihat pada filling level dibawah 10% dan lebih dari 70%

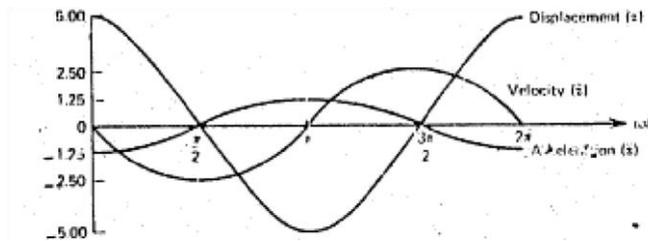


Gambar 2.5 Typical filling level berdasarkan rules Berdasarkan Sloshing Assessment Guidance Document dijelaskan bahwa *prevent good service load* / beban yang di rekomendasikan dari record yang dibuat oleh Llyod Register sejak tahun 2009 untuk tanki LNG tipe membrane NO.96 dengan filling level diatas 70% dan di bawah 5% acceptable atau diterima dan untuk filling level 5% sampai 10 % diterima namun harus di review kembali (*situation under review*) sedangkan untuk 10% sampai dengan 70% Unacceptable dikarenakan data failure yang di records semenjak tahun 2009 oleh Lloyd Register lebih besar.

2.2 Teori Gelombang

Dalam pergerakan tangki yang 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 (Bhattacharyya, 1978) sebagai berikut :

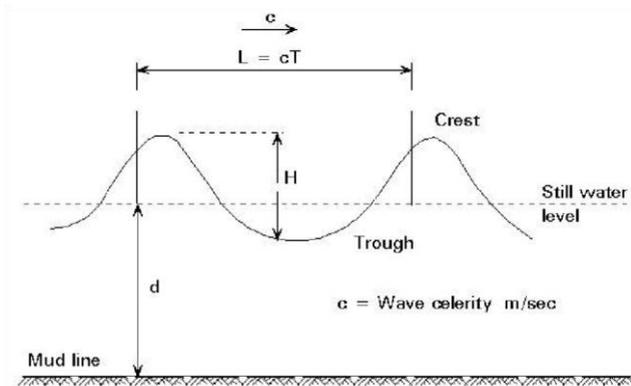
- a. Puncak Gelombang (*Crest*) adalah titik dimana permukaan air berada pada elevasi tertinggi.
- b. Lembah Gelombang (*Trough*) adalah titik dimana permukaan air berada pada elevasi terendah.
- c. Garis Datum adalah Garis datar permukaan air (diambil secara statistik) pada waktu air tenang.
- d. Elevasi Gelombang (ζ) adalah Jarak suatu titik pada permukaan gelombang dengan garis datum pada suatu waktu tertentu.
- e. Amplitudo Gelombang (ζ_w) adalah Garis vertikal antara titik tertinggi atau titik terendah dengan garis datum.
- f. Panjang Gelombang (λ) 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 (ω) adalah Banyaknya puncak (lembah) gelombang yang dilalui oleh suatu titik per satuan waktu



Gambar 2.6. Definisi gelombang regular
(Sumber : *Dynamic of Marine Vehicle*, Bhattacharyya, 1978)

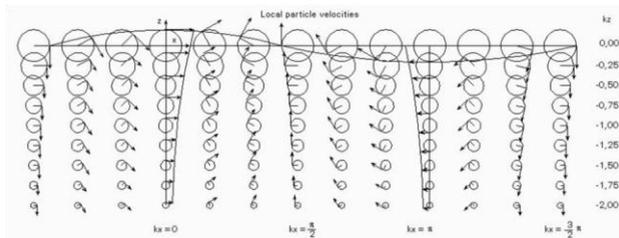
2.2.1 Gelombang Laut

Gelombang laut memiliki kondisi yang berbeda-beda di setiap tempat tergantung dari kondisi alam yang mempengaruhinya. Gelombang laut dipengaruhi oleh dalam atau tidaknya suatu perairan. Oleh karena itu bentuk dan sifat gelombang sangatlah kompleks. Gelombang dibedakan menjadi dua (2) macam, yaitu gelombang *sinusoidal* dan gelombang *trochoidal*. Karena jenis gelombang tersebut sangat kompleks maka untuk melakukan perhitungan ilmiah dilakukan pendekatan agar dapat digambarkan sifat dari gelombang yang kita gunakan. Gelombang *sinusoidal* adalah gelombang harmonik yang mengikuti fungsi sinus, bagian puncak dan lembah gelombang mempunyai bentuk yang sama. Sedangkan gelombang *trochoidal* mempunyai puncak gelombang yang runcing dengan lembah gelombang yang datar dan lebih panjang. Jenis gelombang ini lebih sulit diterapkan dalam perhitungan meskipun bentuknya lebih mendekati bentuk gelombang sesungguhnya (Bhattacharyya, 1978).



Gambar 2.7. Gelombang Reguler di Permukaan Laut
(Sumber : www.wikipedia.org)

Gelombang diasumsikan pada perairan dalam sehingga pengaruh dasar (kedalaman) tidak terjadi atau diabaikan. Selain itu lebar perairan tak terbatas sehingga pengaruh sisi perairan kecil. Teori gelombang sangat berbeda dengan banyak variasi yang kompleks dikembangkan atas dasar asumsi sederhana, sesuai untuk rentang yang berbeda dari parameter gelombang. Di antara teori yang paling umum adalah: teori *Airy linear*, teori Stokes, teori gelombang *soliter*, teori *cnoidal*, teori aliran fungsi Dean dan teori numerik dengan Chappellear. Misalnya hasil dari teori gelombang linier untuk kedalaman terbatas dan kondisi air yang dalam. Jalur partikel sesuai yang diilustrasikan pada di bawah ini. Perhatikan pengaruh kuat dari kedalaman air pada kinematika gelombang.



Gambar 2.8 Kecepatan lokal pada partikel gelombang laut
(Sumber : www.wikipedia.org)

Dari *linear airy theory* menjelaskan terdapat tiga category gelombang pada laut yaitu; *shallow water/* perairan dangkal ($d/L > 0.5$), Perairan terbatas ($d/L < 0.5$), dan perairan dalam ($d/L > 3.0$)

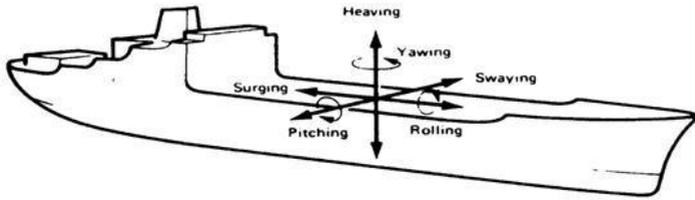
Phase $\theta = kx - \omega t$ Relative water depth d/L	Deep water $d/L \geq 0.5$	Finite water depth $d/L < 0.5$
Velocity potential θ	$\frac{f_a g}{\omega} e^{kz} \sin \theta$	$\frac{f_a g}{\omega} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \sin \theta$
Surface elevation z Dynamic pressure $p_{dyn} = -\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t}$	$z_a \cos q$ $r g z_a e^{kz} \cos q$	$z_a \cos q$ $\rho g f_a \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \cos \theta$
Water particle velocities horizontal $u = \frac{\partial \Phi}{\partial x}$ vertical $w = \frac{\partial \Phi}{\partial z}$	$z_a \omega e^{kz} \cos q$ $z_a \omega e^{kz} \sin q$	$f_a \omega \frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd} \cos \theta$ $f_a \omega \frac{\sinh k(z+d)}{\sinh kd} \sin \theta$

Water particle accelerations horizontal $u' = \frac{\partial u}{\partial t}$ vertical $w' = \frac{\partial w}{\partial t}$	$z_a w^2 e^{kz} \sin \theta$ $-z_a w^2 e^{kz} \cos \theta$	$\int_a^z \omega^2 \frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd} \sin \theta$ $-\int_a^z \omega^2 \frac{\sinh k(z+d)}{\sinh kd} \cos \theta$
Wave celerity $c = \frac{\omega}{k} = \frac{L}{T}$ Group velocity $c_{gr} = \frac{d\omega}{dk}$ Circular frequency $\omega = \frac{2\pi}{T}$ Wave length $L = \frac{2\pi}{k}$ Wave number $k = \frac{2\pi}{L}$	$c_o = \sqrt{\frac{g}{k_o}} = \frac{g}{\omega}$ $c_{gr} = \frac{c_o}{2} = \frac{g}{2\omega}$ $\omega = \sqrt{k_o g}$ $L_o = \frac{g}{2\pi} T^2$ $k_o = \frac{\omega^2}{g}$	$c = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kd}$ $c_{gr} = \frac{c}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right]$ $\omega = \sqrt{kg \tanh kd}$ $L = \frac{g T^2}{2\pi} \tanh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)$ $kd \tanh kd = \frac{w^2}{g} d$
Water particle displacements horizontal ξ vertical ζ	$-\zeta_a e^{kz} \sin \theta$ $\zeta_a e^{kz} \cos \theta$	$-\int_a^z \frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd} \sin \theta$ $\int_a^z \frac{\sinh k(z+d)}{\sinh kd} \cos \theta$

Tabel 2.1 Tiga Kategori Gelombang

2.3. Gerakan Kapal Pada Gelombang

Secara umum dalam pergerakannya, kapal memiliki tiga gerakan displacement yaitu heave, sway atau drift, serta tiga gerakan angular yaitu yaw, pitch dan roll

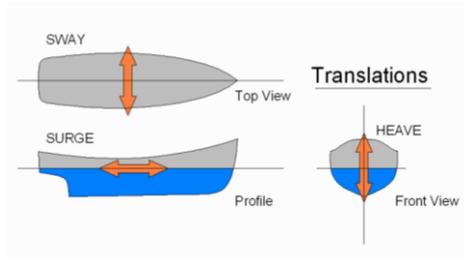


Gambar 2.9 Arah Gerakan Kapal pada Gelombang

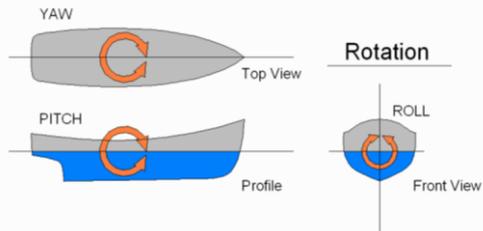
No	Gerakan	Model	Arah Nilai Positif	Simbol
1	Surge	Translasi	Ke depan	X
2	Sway		Ke starboard	Y
3	Heave		Ke atas	Z
4	Roll	Rotasi	Starboard down	ϕ
5	Pitch		Bow up	θ
6	Yaw		Bow to port	X

Tabel 2.2 Enam derajat Kebebasan pada Gerakan Kapal

Terdapat tiga macam gerakan dari enam macam gerakan diatas yang termasuk dalam gerakan osilasi murni, yaitu *heave*, *roll* dan *pitch*, karena hanya tiga gerakan ini yang bekerja dibawah pengaruh gaya atau momen pengembali ketika kapal diganggu saat berada dalam posisi kesetimbangannya. Berbeda untuk *surge*, *sway* dan *yaw*, dimana kapal tidak akan kembali pada posisi semula apabila diganggu, kecuali ada gaya atau momen yang dapat menyebabkan gangguan yang sama dan bekerja pada arah yang berlawanan.



Gambar 2.10 Arah Gerakan Translasi Kapal pada Gelombang (Sumber: www.wikipedia.org)

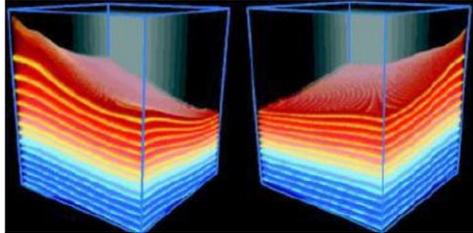


Gambar 2.11 Arah Gerakan Rotasi Kapal pada Gelombang (Sumber: www.wikipedia.org)

2.4 Sloshing

Sloshing merupakan fenomena fisik yang dikarakteristikan adanya gerakan osilasi permukaan bebas fluida pada tangki yang terisi sebagian. Fluida diasumsikan incompressible dan alirannya irrotasional. *Sloshing* terjadi karena fluida bergerak secara transient/steady pada tangki yang terisi sebagian. Dalam kondisi yang demikian, permukaan bebas liquid bergerak dan menghempas dinding tangki. Sehingga timbul gaya yang membahayakan struktur tangki serta konsekuensi yang tidak diinginkan. Pada pengoperasian kapal sistem tangki harus mempunyai kemampuan berbagai level pengisian tanpa harus terjadi kerusakan yang disebabkan impact pressure akibat *sloshing*.

Menurut Mikelis dan Journey (1984) liquid dalam tangki yang terisi sebagian mampu menyebabkan terbentuknya pressure yang bekerja pada bagian dinding dan atap tangki. Untuk memprediksi gerakan liquid dan pengaruh pressure terhadap tangki kapal yang terisi sebagian mereka menggunakan pemodelan 2 dimensi.



Gambar 2.11. Ilustrasi sloshing

(Sumber: *Liquid Sloshing Dynamic* Ibrahim Rouf, 2005)

2.4.1 Penilaian Beban Sloshing

Dalam kasus LNG-FPSO untuk kondisi operasi tertentu, tidaklah mungkin membatasi pengisian pada tangki LNG karena bongkar muatnya menggunakan LNG Carriers. Berbeda dengan kapal pengangkut LNG (LNG Carriers) untuk pelayaran samudera dengan sistem kargo berbentuk membran diizinkan dalam pengisian muatan (filling level) dengan ketinggian di bawah 10% atau 70%. Alasan utama dari pembatasan ini karena adanya beban *sloshing* (*sloshing impact*) yang sangat tinggi apabila pengisian muatan di bawah standar yang ditentukan, dalam hal ini biasanya pada level 30 %. Secara aplikasi, pertimbangan mengenai pengisian sebagian (partial filling) dari LNG-FPSO sangat dianjurkan dalam operasionalnya. Kapal haru mempertimbangkan ketinggian gelombang selama operasional. Solusi pencegahan dari *sloshing impact* adalah dengan memperbanyak jumlah tangki dan mendesain ulang

bentuk tangki 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 tangki. Sedangkan tahap kedua adalah perhitungan sloshing menggunakan daerah perairan yang telah dipilih sebelumnya. Pada umumnya, gerak sloshing di dalam tangki tidak dimasukkan dalam analisis konvensional seakeeping karena terlalu rumit. Dalam perhitungan seakeeping, cairan (*liquid*) di dalam tangki 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 *sway* dan *roll*. Langkah pertama, studi terkonsentrasi ada analisa gerak tangki dipandang dari sudut hidrodinamika. Metodologi yang dipakai adalah *linear potential theory*. Karena fenomena sloshing di dalam tangki sangatlah tidak beraturan terutama pada daerah perairan dengan level gelombang tinggi, maka sloshing dapat mengakibatkan gaya yang mempengaruhi gerak kapal, yang diatur oleh global fluid motion pada dinding tangki. Oleh sebab itu, kita memisalkan gerak liquid pada tangki sebagai *linear potential theory*.

Pada dasarnya, *linear potential flow theory* adalah cara yang paling konvensional dengan mengasumsikan gerakan kecil. Kelebihan dari metode ini adalah kemudahan dan kesederhanaannya. Metode ini dapat menghasilkan data yang bisa menggambarkan tekanan dari beban sloshing yang mengenai dinding tangki, bahkan juga bisa mengetahui

momen yang terjadi akibat tekanan tersebut sekaligus akselerasi dan frekuensi sloshing.

Namun ada pula beberapa kelemahan. Pertama, pemilihan dari potential flow belumlah mewakili fluida secara akurat. Sehingga untuk kasus sloshing yang terjadi pada bentuk tangki yang lebih rumit, seperti bentuk membrane tidak mudah untuk dideskripsikan dengan menggunakan koordinat sistem standar. Keterbatasan ini dapat diselesaikan dengan menggunakan pendekatan elemen batas untuk menyelesaikan tangki dengan bentuk yang lebih rumit. Sebagai jalan keluar dari kekurangan yang terdapat dalam metode linear, maka Faltinsen dan Abramson menemukan ***non-linear theory*** untuk memodelkan secara akurat dengan jangkauan gerak yang lebih luas. Namun metode ini juga tidak luput dari kelemahan. Ketika metode ini berusaha untuk mengatasi keterbatasan dari linear theory, justru asumsi yang dipakai (irrational flow) tidak cukup untuk menyelesaikan permasalahan kompleks. Intinya, potential theory tidak mengizinkan pemisahan atau penggabungan dari fluida yang diobservasi dalam keadaan ekstrim. Eksperimen dengan menggunakan model skala menjadi standar dalam dunia kelautan. Standar ini juga digunakan oleh beberapa biro klasifikasi seperti Det Norske Veritas, Lloyd's Register, dan American Bureau Of Shipping. Ketika percobaan ini menghasilkan data yang lebih valid, justru dalam beberapa hal prosedur penyekalaan masih kurang valid. Karenanya tidak ada kalibrasi dari data yang diskalakan dalam percobaan yang menghasilkan peningkatan dari volume tangki. Kemajuan dari komputer dalam hal ini diwakili dengan kemunculan Computational Fluid Dynamic (CFD) dalam menentukan beban sloshing memberikan banyak kemudahan. Beberapa CFD yang cukup

dikenal antara lain StarCD, *Fluent*, Flow-3D, dan CFX. CFD bisa juga memasukkan pertimbangan viskositas, tekanan, dan bentuk tangki. Namun CFD tidak mampu memberikan data tentang akselerasi dan frekuensi dari sloshing. Sehingga makin besar angka running dari program tersebut makin menghasilkan data yang lebih baik. Sayangnya, tidak ada satu metode pun yang mampu menghasilkan data yang valid dan akurat sesuai dengan skala waktunya. Oleh karena itu, biasanya metode tersebut dikombinasikan satu sama lain. Linear dan non linear biasanya dipakai untuk mengetahui fase desain tahap pertama untuk mendapatkan estimasi awal dari tekanan yang diberikan oleh sloshing. Karena bentuk dari desain tangki semakin baik, eksperimental dan pendekatan CFD diharapkan mampu menghasilkan data yang lebih detail.

2.5 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 ilmuwan dan engineer untuk melakukan sebuah 'eksperiment 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. Schowalter et al menyatakan bahwa toleransi kesalahan dalam pen-skala-an dapat dikurangi dengan adanya CFD. Dalam area penelitian yang berbeda, penerapan CFD dilakukan sebagai pembandingan dengan eksperimen apabila memungkinkan dilakukan eksperimen dan menjadi superior dalam hal eksperimen sangat sulit atau bahkan tidak mungkin dilakukan.

Dalam hal prediksi sebuah fenomena aliran, maka CFD dapat digunakan untuk mendapatkan kuantitas yang diinginkan dengan resolusi yang tinggi untuk setiap bagian dan waktu. Pemanfaatan CFD juga digunakan sebagai metode untuk menyederhanakan (secara virtual) permasalahan dengan kondisi- kondisi operasi yang realistis dan tetap pada domain aliran yang aktual.

Meskipun demikian error/kesalahan selalu ada dan biasanya terjadi karena beberapa hal berikut :

- a) Kesalahan dalam memodelkan objek penelitian
- b) Kesalahan dalam diskritisasi
- c) Kesalahan dalam melakukan iterasi
- d) Kesalahan dalam implementasi

Dalam hal kemampuan mendiskripsikan secara kuantitatif sebuah fenomena, maka metode pengukuran/eksperimen hanya mendapatkan satu kuantitas dalam satu waktu dan terbatas dalam jumlah titik pengukuran dan waktunya. Selain itu skala yang digunakan terbatas pada skala laboratorium dan meliputi area permasalahan dan

kondisi operasi yang terbatas. Dengan demikian error/kesalahan yang mungkin terjadi adalah

- a) Adanya kesalahan dalam melakukan pengukuran
- b) Adanya gangguan pada probe yang digunakan

Sebagai sebuah algoritma, CFD tidak sepenuhnya dapat menggantikan pengukuran secara eksperimen, tetapi jumlah dan biaya eksperimen yang dilakukan dapat berkurang sangat signifikan.

Dalam hal ini perbandingan antar CFD dan eksperimen adalah sebagai berikut :

Eksperimen :

- a) Biaya mahal
- b) Membutuhkan waktu persiapan yang lebih lama
- c) Bersifat sekuensial
- d) Memiliki tujuan tunggal Sedangkan pada sisi CFD :
 - a. Biaya lebih murah
 - b. Lebih cepat dilakukan
 - c. Dapat dikerjakan secara paralel
 - d. Dapat digunakan untuk tujuan yang lebih dari satu.

Namun demikian reliabilitas hasil dari simulasi CFD tidak pernah dapat mencapai 100% dikarenakan data input yang digunakan memiliki potensi perkiraan atau kurang presisi. Selain itu terdapat kemungkinan model matematik yang mungkin tidak sesuai serta akurasi yang terbatas tergantung kemampuan kecepatan komputer yang digunakan. Untuk beberapa kasus telah terbukti bahwa simulasi CFD memiliki reliabilitas yang tinggi, yaitu pada :

- a) Aliran laminar dengan kecepatan yang rendah
- b) Aliran-aliran single-phase (sutiyo, dkk. 2009)

Dengan berkembangnya penelitian yang menggunakan simulasi CFD sebagai metode untuk lebih memperpendek *distance to reality* (DTR) pada banyak kasus dalam

multidisiplin keilmuan [kemudian muncul kaidah-kaidah yang banyak dilakukan oleh para peneliti dalam memposisikan CFD dan eksperiment. Salah satu kaidah yang banyak dipakai adalah menggunakan CFD sebagai metode prediksi dan eksperiment sebagai metode untuk melakukan validasi, seperti terlihat pada gambar di bawah ini.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Paper ini dibagi dalam beberapa tahap yaitu perumusan masalah, studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, pemodelan tangki, proses running, proses running, proses running

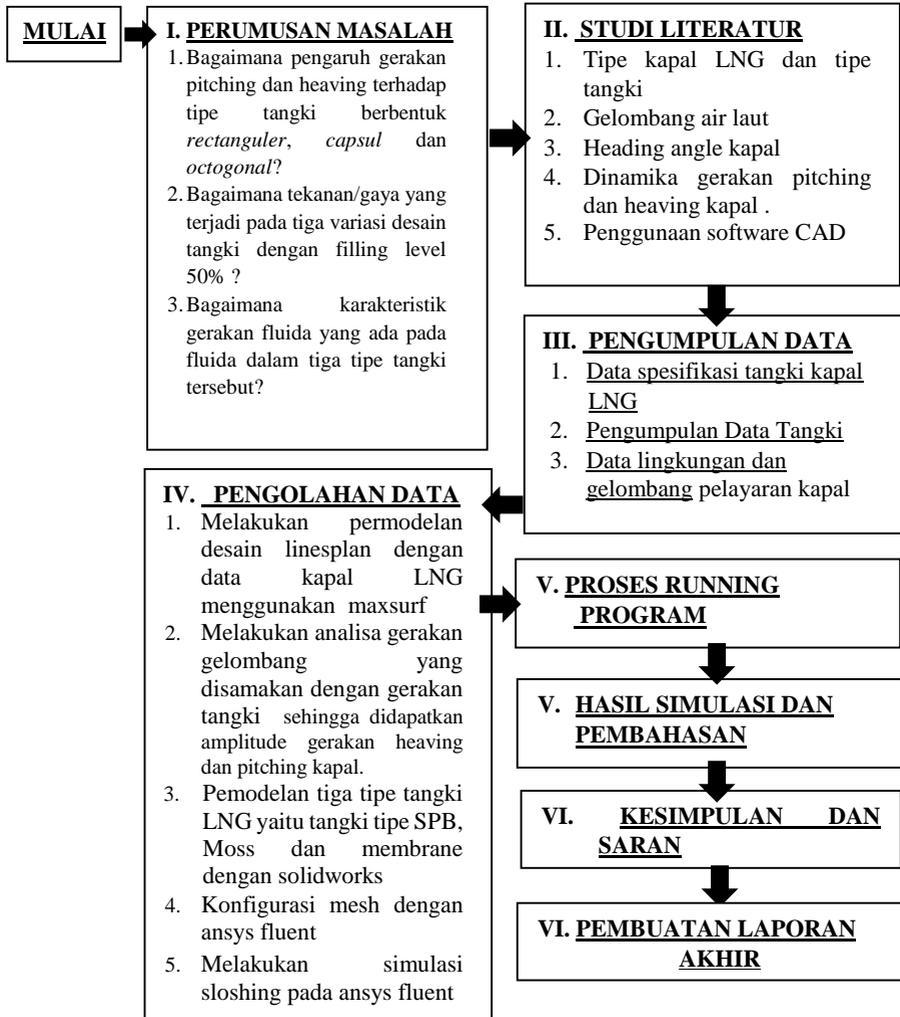
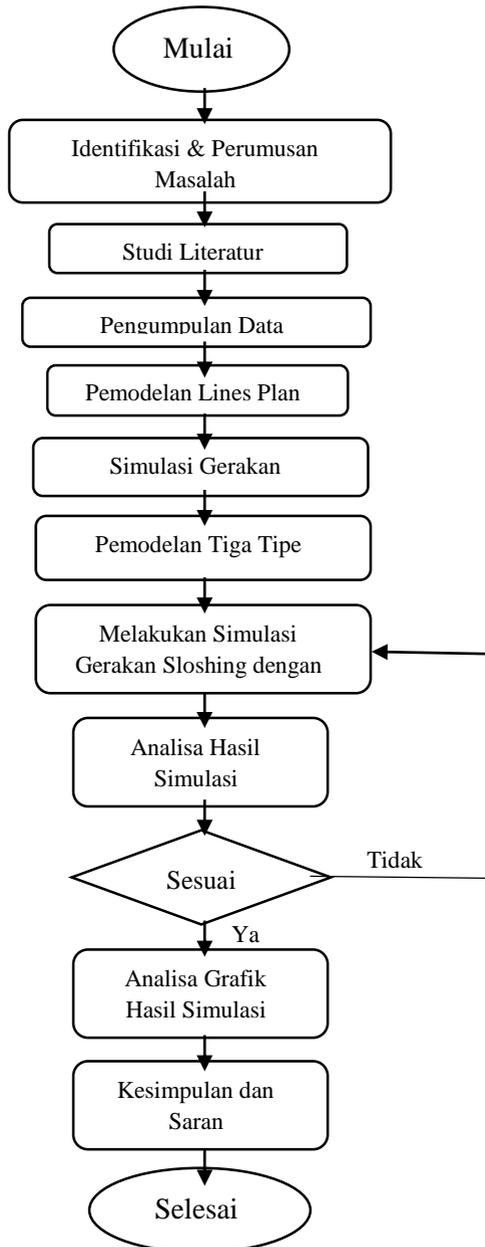


Diagram alir untuk pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



3.1 Pengumpulan Data

3.1.1 Spesifikasi Data LNG

Dalam tugas akhir ini data kapal yang digunakan sebagai permodelan merupakan hasil dari pengamatan data kapal yang sudah jadi. Namun untuk keperluan perbandingan yang seimbang maka diambil salah satu data kapal yang terdapat pada latar belakang. Dalam tugas akhir ini, kapal LNG yang akan dilakukan pemodelan adalah kapal Disha LNG carrier yang jenis tangkinya merupakan jenis tangki membrane NO.96. Data didapat dari gambar general arrangement dan cargo operating manual kapal Disha LNG carrier yang sebelumnya juga sudah digunakan dalam tugas akhir berjudul “Simulasi Sloshing Pada Dinding Tanki Tipe Membran Kapal LNG Akibat Gerakan Heaving dan Pitching di

Gelombang Regular”. Adapun data utama kapal Disha LNG Carrier yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut:

Data Utama Kapal LNG Disha		
LOA	277	m
LPP	266	m
LWL	270.8	m
B	43.4	M
H	26	M
T Design	11.4	M
T Scantling	12.5	M
Displacement	100149	Ton
Deadweight	70151	Ton
V Service	19.5	Knot

Tabel 3.1. Data Ukuran Utama Kapal Disha LNG Carrier
(anwar, 2013)

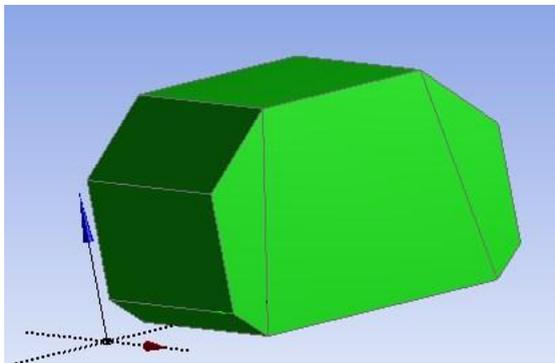
3.1.2 Pengumpulan Data Tangki

Dalam pengumpulan data tangki diambil dari tiga data tangki tugas akhir sebelumnya.

- a. Tangki 1 diambil dari data tugas akhir “*Simulasi sloshing pada dinding tangki tipe membran kapal lng akibat gerakan heaving dan pitching di gelombang regular*” (Syaiful anwar 2013). Data tangki sebagai berikut:

Membrane Tank	Jarak dari AP (m)	Panjang Tangki (m)	Lebar Moulded Tangki (m)	Lebar Tangki Bagian Bawah (m)	Lebar Tangki Bagian Atas (m)	Tinggi sisi Tangki (m)
No.1 Tank Aft	60.2	38	39.17	31.29	21.49	14.95
No.1 Tank Fwd	98.2					

Tabel 3.2 Data Tangki 1



Gambar 3.1 Variasi Desain Tangki 1

- b. Tangki 2 diambil dari data tugas akhir “*Analisa Pengaruh Sloshing Pada Ruang Muat Kapal LNG Terhadap Stabilitas Kapal Dengan Pendekatan CFD*” (Rizal Falevi 2014). Data tangki sebagai berikut:

Panjang	26.6	m
Radius	5.25	m
Diameter	10.5	m
Material	Steel	
Tot. Cap	3500	m ³
No. Tangki	2	
Type	Ind – C	
Tank Pressure	18	bar
Product	Liquified Natural Gas	

Tabel 3.3 Data Tangki 2

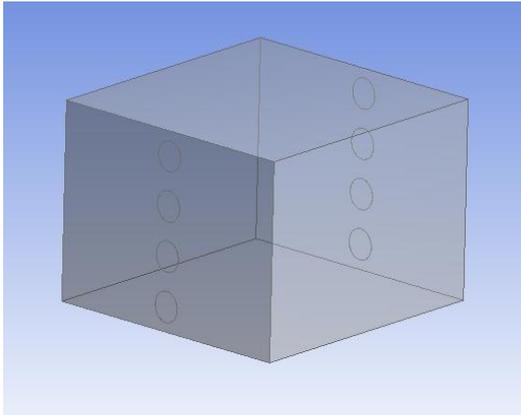


Gambar 3.2 Variasi Desain Tangki 2

- c. Tangki 3 diambil dari data tugas akhir “*Studi Gerakan Sloshing terhadap Tangki Kotak (Rectangular Tank) Dengan dan Tanpa Pelat Memanjang (Baffle) Akibat Gerakan Rolling Kapal Dengan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)*” (Ashar Khoirul Arsad, 2013). Data tangki sebagai berikut:

AFT TANK No.4 (Inner Dimensions Given)		
Tank aft from AP	61.08	m
Tank bottom from keel line	3.3	m
Tank length	49.68	m
Tank breadth	46.92	m
Tank height	32.23	m

Tabel 3.4 Data Tangki 2



Gambar 3.3 Variasi Desain Tangki 3

3.1.3 Data Lingkungan Pelayaran Kapal LNG

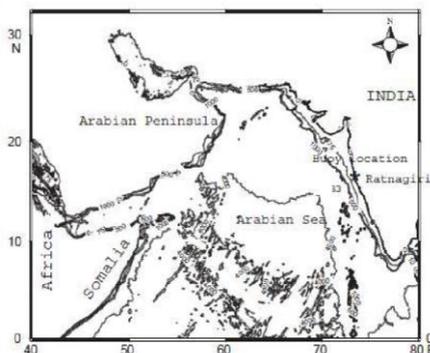
Untuk menghitung gerakan kapal dibutuhkan data lingkungan pelayaran kapal LNG yang akan dimodelkan. Tujuannya adalah untuk mengetahui secara aktual gerakan kapal yang terjadi yang diakibatkan oleh gelombang terbesar dalam pelayaran kapal tersebut. Data gelombang diambil dari pelayaran Kapal LNG Disha yang merupakan kapal yang mengangkut muatan LNG dari Ras- Laffan (Qatar) menuju Dahej (India) sehingga daerah perairan yang dapat mewakili data lingkungan pelayaran kapal tersebut merupakan daerah antara India dan Qatar. Dalam sebuah paper oleh J. Glejin, V. Sanil Kumar, T. N. Balakrishnan Nair, dan J. Singh

menyebutkan bahwa data yang didapat dari Indian National Centre for Ocean Information System (Ministry of Earth Sciences), yang dipublikasikan pada 25 September 2012 adalah sebagai berikut:

Month	Wave parameters											
	Wave direction (°)			Sig. wave height (m)			Mean wave period (s)			Maximum wave height (m)		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Jan 2011	208	333	292	0.3	1.1	0.6	2.9	5.5	4.1	0.4	2.0	0.9
Feb 2011	204	331	279	0.3	1.8	0.6	2.8	6.1	4.1	0.4	3.0	1.0
Mar 2011	197	325	278	0.4	1.2	0.7	3.0	7.9	4.2	0.5	2.3	1.1
Apr 2011	200	319	266	0.4	1.3	0.8	3.1	6.6	4.3	0.5	2.4	1.1
May 2011	204	314	260	0.7	1.7	1.0	3.6	6.7	4.9	0.9	3.0	1.5
Jun 2011	245	287	261	1.1	3.2	2.3	5.2	8.2	6.6	1.6	6.9	3.5
Jul 2011	232	274	259	1.4	4.0	2.3	4.9	8.0	6.5	2.0	7.0	3.5
Aug 2011	233	276	260	1.3	3.1	2.0	5.0	7.7	6.2	1.7	5.5	3.2
Sep 2011	218	276	252	0.6	4.2	1.6	4.0	7.9	6.2	0.8	6.5	2.4
Oct 2011	204	322	241	0.3	1.0	0.6	2.9	10.2	5.6	0.4	1.7	0.9
Nov 2011	203	335	241	0.2	1.3	0.5	2.9	7.8	4.8	0.4	2.4	0.8
Dec 2011	217	322	258	0.4	0.9	0.5	3.4	6.2	4.5	0.5	1.6	0.8

min – Minimum
max – Maximum
avg – Average

Tabel 3.5 Data Statistik Perairan India Selama 1 Tahun Variabel *sea state* dari data lingkungan gelombang tersebut dipantau di pesisir barat india dengan bantuan gerakan *bouy* yang dekat dengan daerah Ratnagiri, india.



Gambar 3.4 Perairan India-Qatar Daerah Pelayaran Kapal LNG disha

Selain data tinggi gelombang, dibutuhkan data kedalaman laut yang dilewati oleh kapal Disha LNG carrier tersebut. Secara umum data kedalaman perairan india digambarkan pada *counter* air laut yang tertera pada gambar di atas. Sehingga, dari data lingkungan yang telah disebutkan, dapat diambil data yang akan dijadikan perhitungan gerakan kapal LNG tersebut yaitu berupa:

- Periode gelombang (T) = 10.2 s
- Tinggi Gelombang (H) = 7 m
- Amplitudo Gelombang (a) = 3.5 m
- Kedalaman air laut (h) = 1000 m

3.2 Pengolahan Data

3.2.1 Perhitungan Hydrostatic

Pemodelan kapal dibuat dengan bantuan software maxsurf dimana dalam pemodelan dalam software tersebut dibutuhkan perhitungan hydrostatic kapal menggunakan rumus empiris dengan hasil akhir berupa linesplan Kapal LNG. Adapun hasil perhitungan hydrostatic menggunakan rumus empiris adalah sebagai berikut :

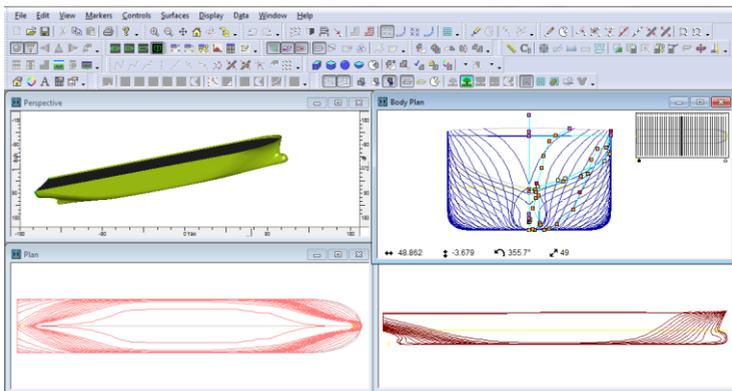
Data	Rumus	Sumber	Hasil	Keterangan
Cb	$C_b = \Delta / L.B.T.\rho$	Hukum Archimedes	0.729	
Cm	$C_m = 1.006 - 0.0056.C_b^{-3.56}$	Kerlen (1970)	0.986	
Cp	$C_p = C_b/C_m$	Adrian Biran	0.738	
Cwp	$C_{wp} = (1+2.C_b)/3$	Schneekluth	0.842	
Lcb	$L_{cb} = (-0.135+0.195.C_p).L$	Kerlen (1970)	133.101	m dari Ap
KB	$KB = T.(0.9-0.3.C_m-0.1.C_b)$	Schneekluth	6.047	
WSA	$WSA = 1.7.L_{pp}.T+\nabla/F$	Denny	152654.378	m ³
ABT	$C_B(WSA-(L_{wl}-(2T+B))\sqrt{C_m}(0.452+0.4425.C_B-0.2862.C_m-0.003467.B/T-0.369.C_{wp})/2.36$	Haltrop and Mannen	69.320	m ³

Tabel 3.6. Tabel Perhitungan Hydrostatic (anwar, 2013)

3.2.2 Pembuatan Model Linesplan

Dengan data hidrostatik yang sudah tersedia, maka pemodelan kapal, pembuatan linesplan dan tangki dapat dilakukan dengan bantuan software maxsurf. Tujuannya adalah dengan ukuran tangki yang lokasinya presisi pada general arrangement dapat dicari gerakan kapal dengan bantuan software seakeeper melalui linesplan yang telah didesain.

Kemudian dengan gerakan tersebut dijadikan sebagai gerakan tangki yang ada di dalam kapal Disha LNG Carrier. Adapun pembuatan model pada software maxsurf yaitu dengan menggunakan beberapa surface sehingga terbentuk lambung kapal yang menyerupai general arrangement dan memiliki perhitungan hydrostatic yang hampir sama dengan perhitungan hydrostatic menggunakan rumus empiris.



Gambar 3.5 Pemodelan lines plan dengan maxsurf (anwar, 2013)

Setelah mendapatkan model lines plan dengan maxsurf maka didapatkan data hydrostatic dari model linesplan tersebut. Perhitungan hidroststic dari maxsurf harus sama dengan perhitungan rumus empiris. Adapun batasan-batasan

hydrostatic software ini dengan perhitungan empiris kurang lebih -0.5% sampai dengan 0.5%

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	100433.866	tonne
2	Volume	97984.259	m ³
3	Draft to Baseline	11.4	m
4	Immersed depth	11.4	m
5	Lwl	270.815	m
6	Beam w/l	43.4	m
7	wSA	14434.133	m ²
8	Max cross sect area	483.57	m ²
9	wWaterplane area	9920.68	m ²
10	Cp	0.748	
11	Cb	0.731	
12	Cm	0.978	
13	Cwp	0.844	
14	LCB from zero pt. (+v)	133.918	m
15	LCF from zero pt. (+v)	127.12	m
16	LCB from zero pt. (+v)	49.45	%
17	LCF from zero pt. (+v)	46.94	%
18	KB	6.061	m
19	KG	0	m
20	BMt	13.982	m
21	BMI	465.763	m
22	GMt	20.042	m
23	GMI	471.824	m
24	KMt	20.042	m
25	KMI	471.824	m
26	Immersion (TPc)	101.687	tonne/c
27	MTc	1781.469	tonne.m
28	RM at 1 deg = GMt.Dis	35130.485	tonne.m
29	Precision	Medium	50 stati

Density Recalculate

Gambar 3.6 Output data hydrostatic dari maxsurf (anwar, 2013)

Setelah itu, constrain perhitungan hydrostatic menggunakan rumus empiris dan perhitungan hydrostatic pada software maxsurf harus diperiksa agar data yang dihasilkan menjadi lebih valid dalam pendesainan. Tetapi pemeriksaan constrain pada ABT dilakukan dengan menghitung luas daerah bulbusbow pada Ap di kurva CSA. Adapun batasan-batasan interval hydrostatic pada desain adalah sebagai berikut:.

Data	Perhitungan	Maxsurf	Constrains	Percent
Cb	0.729	0.73	0.00137174	0.137%
Cm	0.986	0.98	-0.0050852	-0.509%
Cp	0.738	0.74	0.00271003	0.271%
Cwp	0.842	0.843	0.00118765	0.119%
Lcb	133.101	133.918	0.00068219	0.068%
KB	6.047	6.064	0.00281131	0.281%
WSA	14622.962	14745.316	0.00836726	0.837%
ABT	69.32	70.412	0.01575303	1.575%

Tabel 3.7 Constrain atau batasan sebagai koreksi dari hydrostatic (anwzar, 2013)

3.3 Perhitungan Gerakan Kapal

Dalam perhitungan gerakan kapal pada tugas akhir ini menggunakan bantuan software seakeeper. Software seakeeper terintegrasi dengan software maxsurf modeler. Berikut adalah model kapal yang telah diimport ke dalam seakeeper dalam air tenang karena koefisien-koefisien analisisnya yang belum diinputkan. Setelah diimport, maka dilakukan frame of reference yang berguna untuk karakteristik hydrostatic terhadap gerakan kapal tersebut. Analisa gerakan kapal menggunakan software seakeeper terdapat beberapa input data yaitu:

- Measure hull

Measure hull digunakan untuk membagi bagian kapal menjadi beberapa frame. Secara default semua permukaan akan diukur dan terbagi dalam 11 bagian yang sama. Ini sudah cukup untuk awal perhitungan tetapi untuk prediksi yang lebih akurat, jumlah bagian harus meningkat menjadi antara 15 dan 30. Hal ini diperlukan untuk bagian yang memiliki keterbatasan bentuk desain, bagian yang sangat lebar atau mendalam serta memiliki luas penampang rendah akibat pemetaan perhitungan mungkin tidak akurat. Sehingga

semakin besar daerah yang akan diukur, maka akan semakin akurat perhitungannya

- *Vessel Type*

Karena kapal ini merupakan kapal dengan single hull, maka opsi yang dipilih adalah single hull.

- *Mass Distribution*

Untuk menentukan gerakan, seakeeper membutuhkan data mass distribution yang berupa persen dari panjang kapal dan lebar kapal. Dalam seakeeper untuk kapal dengan bentuk single hull default nilai dari pitch gyration antara 25% Loa dan roll gyration antara 35% – 40% dari lebar kapal.

- *Damping Factor*

Respon dari roll damping dihitung berdasarkan sifat hidrostatis kapal. Roll damping hampir seluruhnya diakibatkan efek viskos, yang tidak dimodelkan oleh Seakeeper, Nilai umum untuk sebagian besar kapal adalah antara 0,1-0,05. Lewis 1989 memberikan nilai 0,05 untuk kapal khas tanpa peralatan peredam roll.

- *Environment*

Dalam menu ini merupakan masa jenis dari fluida pelayaran kapal yaitu massa jenis air laut 1,025 ton/m³

- *Frequency Range*

Seakeeper otomatis menghitung rentang frekuensi di mana untuk memprediksi RAO kapal. Namun, sejumlah langkah di mana RAOs dihitung mungkin ditentukan oleh pengguna. Semakin besar nilainya maka prediksi titik dimana perhitungan RAO secara kasar akan semakin akurat. Namun karena kapal ini akan disimulasikan pada gelombang regular, maka option ini dibiarkan default sebesar 21 dari seakeeper.

- *Analysis method*

Dalam menu ini menampilkan metode yang digunakan dalam menganalisis gelombang kapal yang akan digunakan. Karena

kapal ini memiliki transom, maka bagian yang dipilih adalah transom terms. Lalu pilih salvean method dan arbitrary wave heading karena gelombang yang akan disimulasikan berupa gelombang regular serta dengan sudut hadap *head sea*. 57

- *Solve Maxsurf Motion Analys*

Sebelum menggunakan menu ini, sebaiknya data yang didapat berupa heading kapal yang diinginkan, kecepatan kapal, periode gelombang serta amplitude gelombang diinputkan pada menu windows kemudian pilih input windows. Sedangkan cara menambahkan input di tiap table tabnya yaitu dengan memilih edit – add. Dalam tugas akhir ini input yang akan dimasukkan berupa kecepatan kapal yaitu 19.5 knots, sudut heading 180o,dan input spectra menggunakan method DNV dan Jonswap dengan data yang sudah didapatkan yaitu dengan tinggi gelombang 7 m dan periode gelombang 10.2 detik. Jika input windows terinput dengan baik maka solving sudah dapat dijalankan.

- *Calculate Wave Surface*

Pada tahap ini adalah menentukan gerakan gelombang regular dimana dalam inputnya dibutuhkan data kecepatan dinas dan data lingkungan pelayaran kapal sebagai berikut :

- $T = 10,2$ detik
- Kedalaman air laut (h) = 1.000 m
- Kecepatan Kapal (U) = 19,5 Knot = 10,0317 m/s □
Wave Height = 7 m
- $\omega_{\text{wave}} = 2\pi/T = 2 \times 3,14 / 10,2$
= 0,616 rad/detik

Dengan iterasi persamaan disperse relasi $\omega^2 = g.k.tanh. kh$
 $0.37945 \text{ rad}^2/\text{dk}^2 = 9.81 . k \tanh (k. 3.858) \text{ m}/\text{dk}^2$

Maka didapat harga konstanta gelombang (k) = 0.03211 rad²/m

Panjang gelombang (λ) $\lambda = 2\pi/k = 111.282$ m
 Cepat rambat gelombang (c) $c = \lambda/T = 10.91$ m/s
 Sudut heading $\mu = 180^\circ$
 Encounter frequency =

$$\omega_e = \frac{2\pi}{\lambda} (c - U \cos \mu)$$

c = kecepatan gelombang (m/s) λ = panjang gelombang (m)
 U = kecepatan kapal (m/s) μ = Sudut heading gelombang terhadap kapal = 180°

$$\omega_e = \frac{2 \times 3,14 \times (10,909 - 10,0317 \times \cos 180)}{195,6} = 0,674 \text{ rad/det}$$

Setelah frekuensi encounter didapatkan, dipilih gelombang regular dengan perhitungan frekuensi encounter dan amplitudo gelombang sebesar 3.5 m dimana nilai tersebut sesuai dengan data yang didapatkan. Sedangkan untuk menampilkan bentuk gelombang regular terdapat pada menu display-animate. Sehingga hasil output gerakan regular pada seakeeper dengan frekuensi encounter yang dipilih yaitu 0.667 rad/detik yaitu sebagai berikut



Gambar 3.7 Hasil Output Gerakan Heaving (anwar, 2013)

Amplitudo (Z_0) yang dihasilkan oleh software seakeeper dalam heaving kapal LNG tersebut adalah 0,851 m. Sehingga persamaan gerakan heaving kapal LNG tersebut adalah :

$$Z = - Z_0 \cos.(\omega_e.t)$$

$$Z = - 0,851 \cos.(0,67.t)$$



Gambar 3.8 Hasil Output Gerakan Pitching (anwar, 2013)
Sedangkan amplitudo yang dihasilkan oleh software seakeeper dalam gerakan *pitching* kapal LNG tersebut adalah 1.29 derajat atau 0.0255 radian. Sehingga persamaan gerakan *pitching* kapal LNG tersebut adalah :

$$\theta = \theta_0 \cdot \cos(\omega e \cdot t) \quad \theta = 1,19 \cdot \cos(0,67 \cdot t)$$

θ_0 dalam derajat, ωe dalam rad/detik sehingga amplitude diubah ke dalam radian persamaannya dapat ditulis menjadi $\theta = 0.025 \cdot \cos(0,67 \cdot t)$

Hasil gerakan kapal LNG tersebut juga merupakan gerakan tanki yang ada didalam Kapal LNG. Sehingga gerakan tanki membrane Kapal LNG dapat dihasilkan dengan membuat perbagian masingmasing tanki. Hasil gerakan tersebut kemudian dikonversi kedalam satuan kecepatan tangensial dan kecepatan sudut kedalam bahasa C++ untuk mendefinisikan gerakan tanki dan dicompile kedalam user define dari program Ansys Fluent.

3.4 Penggunaan *User Defined Function* (UDF)

User defined function (UDF) merupakan fitur yang diberikan oleh Ansys Fluent yang bertujuan untuk menganalisa gerakan fluida, chemical reaction, property fluida dan sebagainya. Dalam tugas akhir ini menggunakan *User defined function* untuk mendeskripsian gerakan tanki yang telah diperoleh dari hasil simulasi dari seakeeper. Selain itu juga untuk menentukan property fluida dalam tanki yaitu

LNG. *User defined function* (UDF) diexpresikan dalam bahasa C++ yang ditulis dalam visual studio programing. Namun bahasa yang digunakan sudah tersedia dalam Ansys UDF Manual sehingga memudahkan user dalam menentukan definisi simulasi ke dalam Ansys Fluent. User defined yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini yaitu penentuan gerakan couple pitching dan heaving serta property LNG di dalam tanki. User defined yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini yaitu penentuan gerakan couple pitching dan heaving serta property LNG di dalam tanki. Sedangkan dalam mendefinisikan gerakan tanki, dibutuhkan kecepatan gerakan sehingga persamaan gerakan pitching dan heaving yang telah didapat diturunkan menjadi kecepatan gerakan yang dialami tanki di dalam kapal.

$$Z = -0,851 \cos.(0,67.t)$$

$$dZ/dt = - 0.851 \times 0.67 \sin(0.67.t) = 0,57 \sin (0,67.t)$$

$$\theta = 0,025.\cos.(0,67.t)$$

$$d\theta/dt = - 0,025 \times 0,67.\sin(0.67.t) = -0.017.\sin (0,67.t)$$

Berikut adalah UDF yang menggunakan bahasa pemrograman untuk mendefinisikan gerakan gelombang pada ansys fluent

```
#include "udf.h"
DEFINE_CG_MOTION(sloshing, dt, vel, omega, time,
dttime)
{
real w1, pi, a1, a2;

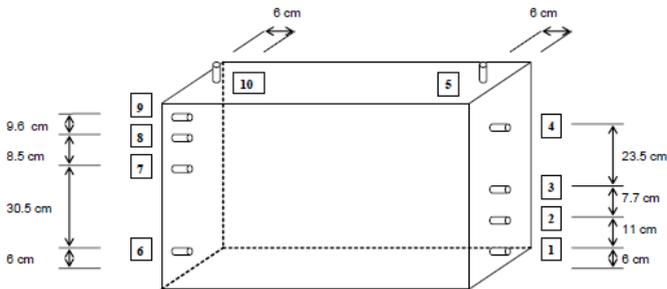
pi = 3.141592654;
w1 = 0.67 ; /* encounter frequency */ a1 = -0.017 ; /*
Pitch Amplitude */ a2 = 0.57 ; /* Heave Amplitude */
NV_S (omega, =, 0.0); omega[0] = 0; omega[1] = 0;
omega[2] = a1 * w1 * sin(w1 * time);
NV_S (vel, =, 0.0); vel [0] = 0;
vel [1] = a2 * w1 * cos(w1 * time); vel [2] = 0;
}
```

Dan berikut adalah UDF untuk mendefinisikan properti fluida pada tugas akhir ini yaitu LNG

```
(Liquid-Natural-Gas fluid
(chemical-formula . C3H8)
(density (constant . 420.2))
(specific-heat (constant . 3492)(polynomial
piecisepolynomial (100 1000 1161.48214452351 -
2.36881890191577
1.48551108358867E-02 -5.03490927522584E-05
9.9285695564579E-08 -1.11109658897742E-10
6.54019600406048E-14 -1.57358768447275E-17)(1000 3000
-
7069.81410143802 33.7060506468204 -5.81275953375815E-
02
5.42161532229608E-05 -2.936678858119E-08
9.23753316956768E-12 -1.56555339604519E-15
1.11233485020759E-19)))
(thermal-conductivity (constant . 0.1683))
(viscosity (constant . 1.133e-04) (sutherland 1.716e-5
273.11 110.56) (power-law 1.716e-05 273.11 0.666))
(molecular-weight (constant . 18))
(lennard-jones-length (constant . 3.711))
(lennard-jones-energy (constant . 78.6))
(thermal-accom-coefficient (constant . 0.9137))
(velocity-accom-coefficient (constant . 0.9137))
(formation-entropy (constant . 194336))
(reference-temperature (constant . 113))
; Critical Properties Perry's Chemical Engineers
Handbook.
(critical-pressure (constant . 4.6e6))
(critical-temperature (constant . 186.5))
(acentric-factor (constant . 0.033))
(critical-volume (constant . 0.00352))
)
```

3.5 Validasi

Untuk mengukur keakuratan hasil dari metode numerik menggunakan Ansys fluent, percobaan yang diambil dalam sebuah jurnal internasional yang berjudul ”*Experimental investigation of pressure distribution on a rectangular tank due to the liquid Sloshing*” oleh Hakan Akyildiz dan Erdem Unal akan disimulasikan dengan bantuan software tersebut dengan problematika gerakan piching pada tanki sehingga nantinya hasil simulasi oleh software tersebut diharapkan sama dengan percobaan yang telah dilakukan sehingga Ansys fluent tersebut dapat digunakan untuk simulasi fluida dalam gerakan tanki



Gambar 3.9 Posisi *Pressure Tranduser* Acuan Pemberian *Node Pressure* Pada Simulasi

Percobaan yang dilakukan dalam journal ilmiah diterangkan bahwa ada delapan belas variasi kasus pitching. Table di bawah merupakan kasus pitching yang diexperimenkan menggunakan pressure tranduser menggunakan pitch angle 4 derajat dan 8 derajat serta bervariasi terhadap baffle vertikal dan horizontal.

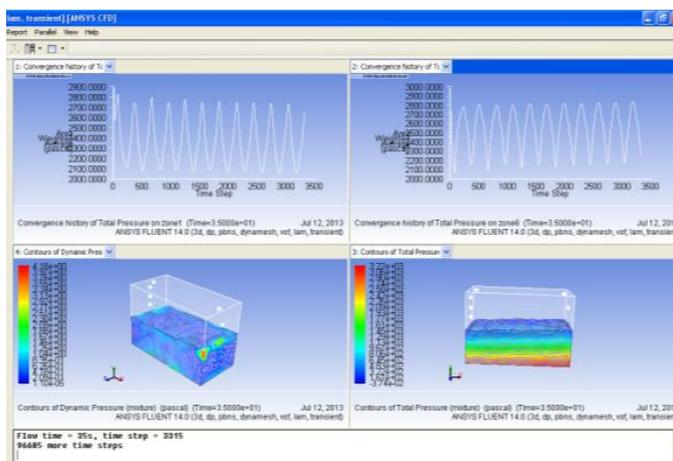
Karena simulasi pada tugas akhir ini merupakan simulasi pitching tanpa adanya baffle, maka data / kasus yang akan

divalidasikan adalah kasus pitching tanpa baffle yaitu kasus nomor satu, dua, dan tiga.

Kasus tersebut akan dimodelkan dengan menggunakan Ansys fluent yang terlebih dahulu dimodelkan, dilakukan pemeshingan, ditentukan grid independence serta menuliskan user defined formulation (UDF) dengan persamaan geraknya (*velocity equation*) yang telah dituunkan dan diinputkan ke dalam dynamic mesh yang sama persis dengan langkah pemodelan geakan tanki

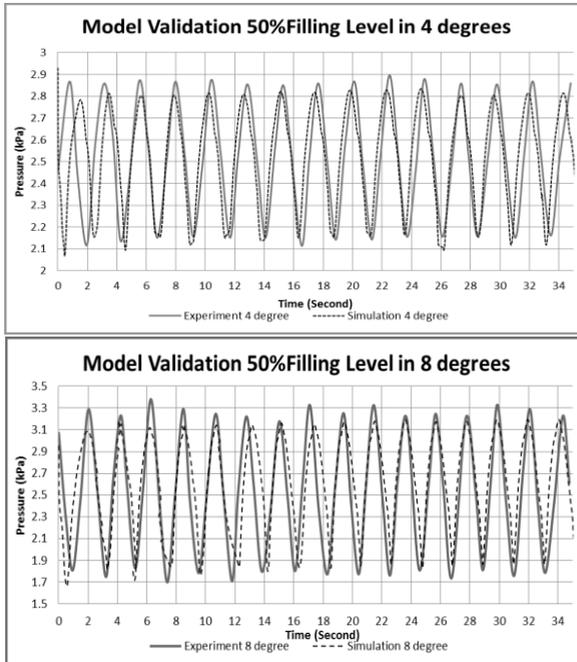
Case No	Filling Depth (%)	Height (cm)	Pitch Angle (degree)	Pitch Angle (Radians)	Freq Pitch	Frequency Range		Vel. Equation
1	0.25	15.5	4	0.06981317	2	0.5	2	$0.13 \cdot \cos(2t)$
2	0.5	31	4	0.06981317	2	0.5	3.9	$0.15 \cdot \cos(2.25t)$
3	0.75	46.5	4	0.06981317	2	0.5	5	$0.17 \cdot \cos(2.5t)$
1	0.25	15.5	8	0.13962634	2	0.5	2	$0.27 \cdot \cos(2t)$
2	0.5	31	8	0.13962634	2	0.5	33	$0.31 \cdot \cos(2.25t)$
3	0.75	46.5	8	0.13962634	2	0.5	4	$0.34 \cdot \cos(2.5t)$

Tabel 3.8 Experiment Case Dalam *Sloshing* Pada Gerakan Pitching



Gambar 3.10 Capture Simulasi Percobaan Filling Level 50%

Dari hasil simulasi terhadap percobaan yang telah dilakukan, didapatkan total pressure yang terjadi pada node 6 yang kemudian dibandingkan dengan hasil percobaan sehingga hasilnya sebagai berikut.

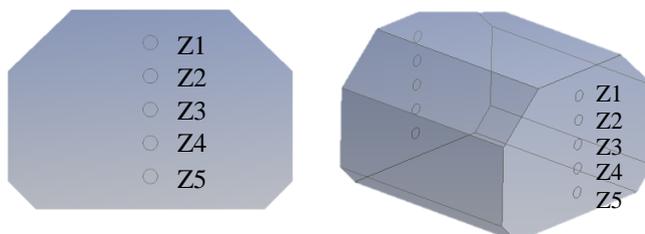


Gambar 3.11 Validasi Hasil Simulasi Pada 50% Filling Level

BAB IV HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan *Node Pressure* pada Tangki

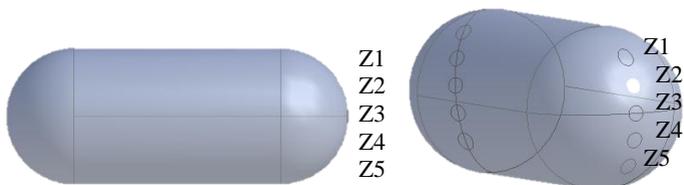
Node pressure merupakan titik untuk menentukan dimana total pressure yang terjadi pada setiap tangki. Oleh karena itu ditentukanlah titik pada bagian depan dan belakang tangki secara merata. Pada masing – masing tangki ditentukan lima titik node pressure pada bagian depan dan lima titik dibagian belakang.



Gambar 4.1 Posisi Node Pressure Pada Tangki 1

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Z1	22.75 m	Z6	22.75 m
Z2	18.20 m	Z7	18.20 m
Z3	13.65 m	Z8	13.65 m
Z4	9.10 m	Z9	9.10 m
Z5	4.55 m	Z10	4.55 m

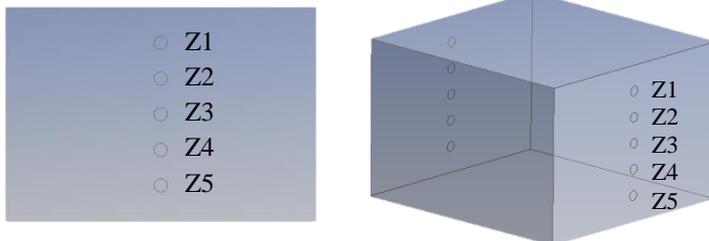
Tabel 4.1 Posisi Node Pressure Pada Tangki 1



Gambar 4.2 Posisi Node Pressure Pada Tangki 2

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Z1	8.76 m	Z6	8.76 m
Z2	6.99 m	Z7	6.99 m
Z3	5.24 m	Z8	5.24 m
Z4	3.49 m	Z9	3.49 m
Z5	1.72 m	Z10	1.72 m

Tabel 4.2 Posisi Node Pressure Pada Tangki 2



Gambar 4.3 Posisi Node Pressure Pada Tangki 3

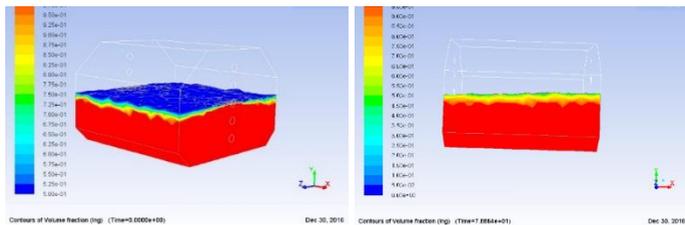
Dinding Depan		Dinding Belakang	
Z1	26.85 m	Z6	26.85 m
Z2	21.48 m	Z7	21.48 m
Z3	16.11 m	Z8	16.11 m
Z4	10.74 m	Z9	10.74 m
Z5	5.37 m	Z10	5.37 m

Tabel 4.3 Posisi Node Pressure Pada Tangki 3

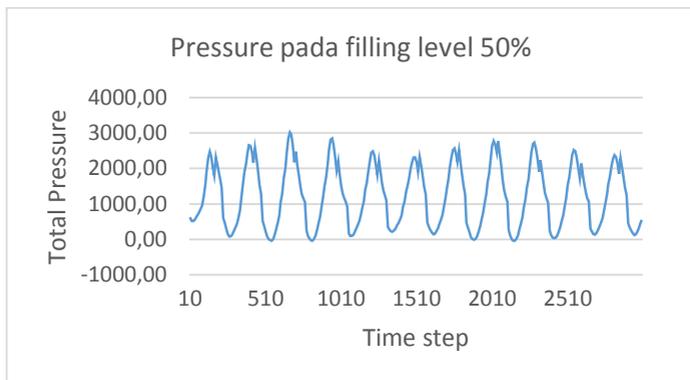
4.2 Hasil Simulasi Tangki 1 Type membrane

4.2.1 Karakteristik Gerakan Fluida Pada Tangki 1

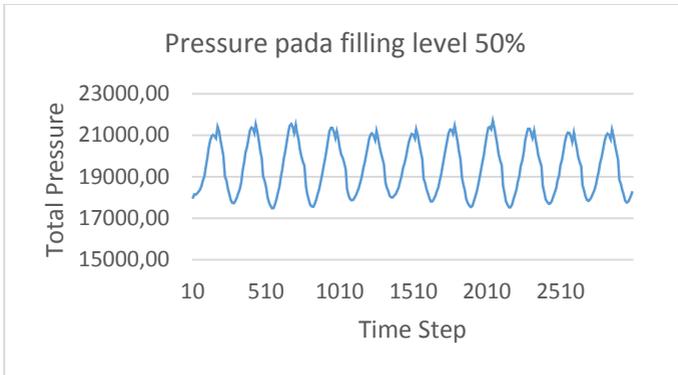
Dari hasil simulasi terdapat perbedaan gerakan fluida pada tiga tangki tersebut. Grafik dibawah dilihat dari total pressure dan velocity yang terjadi pada dinding tangki pertama adalah sebagai berikut :



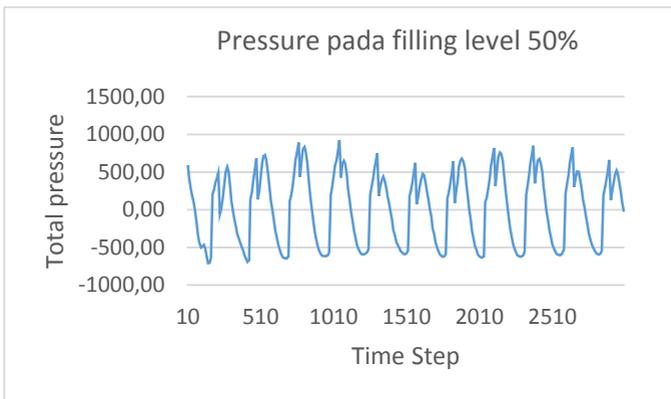
Gambar 4.4 Kontur Volume Fluida Pada Tangki 1



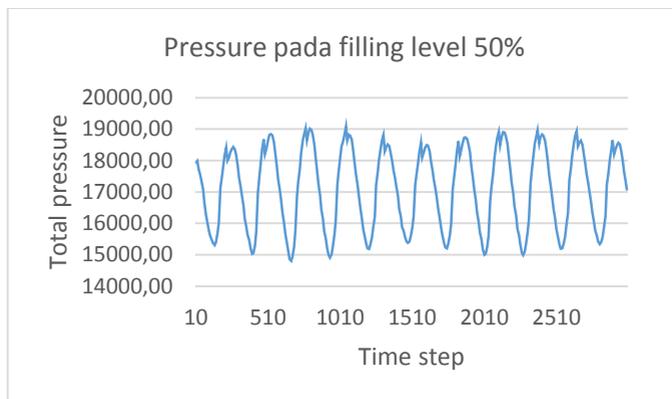
Gambar 4.5 Grafik Pressure pada z3 filling level 50%



Gambar 4.6 Grafik Pressure pada z4 filling level 50%



Gambar 4.7 Grafik Pressure pada z8 filling level 50%



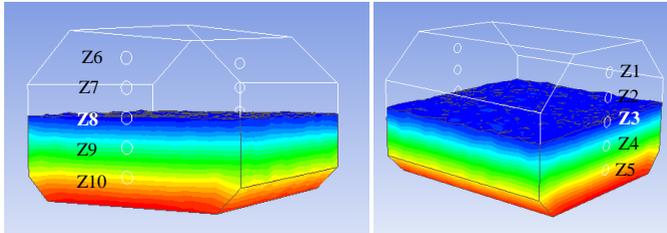
Gambar 4.8 Grafik Pressure pada z9 filling level 50%

Hasil simulasi dengan waktu kalkulasi selama 3000 time step untuk menunjukkan bagaimana gerakan fluida dan total pressure pada dinding tangki sebagai berikut Dinding depan pada z3 (13.65 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 3013.99 kPa dan total pressure rata-rata sebesar 1216.47 kPa, pada z4 (9.10 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 21685.34 kPa dan total pressure rata-rata sebesar 19456.92 kPa.

Dinding belakang pada z8 (13.65 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal 920.49 kPa dan total pressure rata-rata sebesar 24.83 kPa, pada z9 (9.10 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 19084.64 kPa dan total pressure rata-rata sebesar 17123.30 kPa.

Dari grafik dapat dilihat pergerakan pressure pada dinding depan dan belakang rata-rata stabil tidak terlihat kenaikan dan penurunan pressure secara tiba-tiba.

Hasil pressure yang didapat setelah simulasi adalah sebagai berikut:



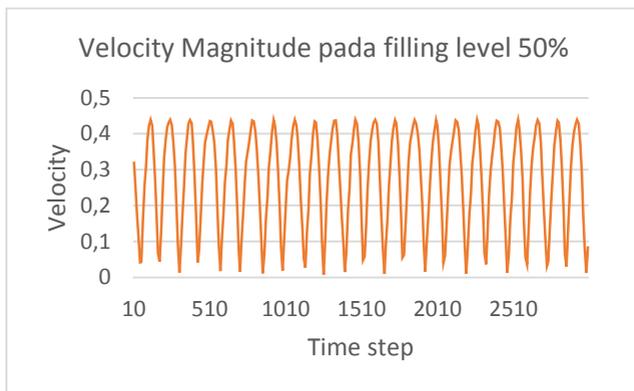
(a)

(b)

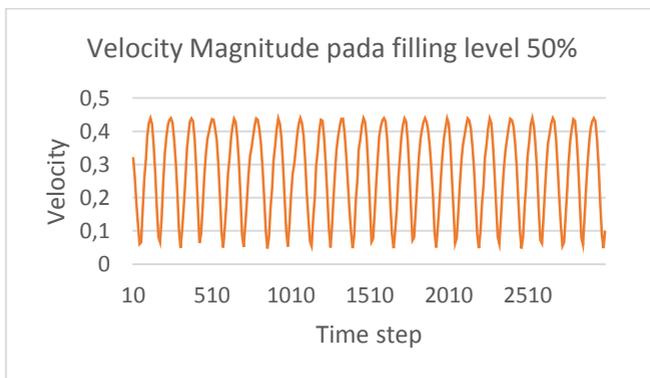
Gambar 4.9 Kontur pressure pada dinding depan (b) dan belakang (a)

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Z1	0	Z1	0
Z2	0	Z2	0
Z3	3013.99 kPa	Z3	920.49 kPa
Z4	21685.24 kPa	Z4	19084.84 kPa
Z5	40750.67 kPa	Z5	38173.32 kPa

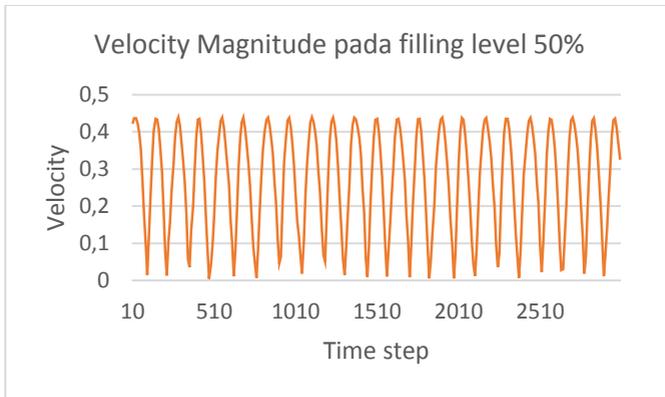
Tabel 4.4 Nilai total pressure maksimal pada dinding depan dan belakang



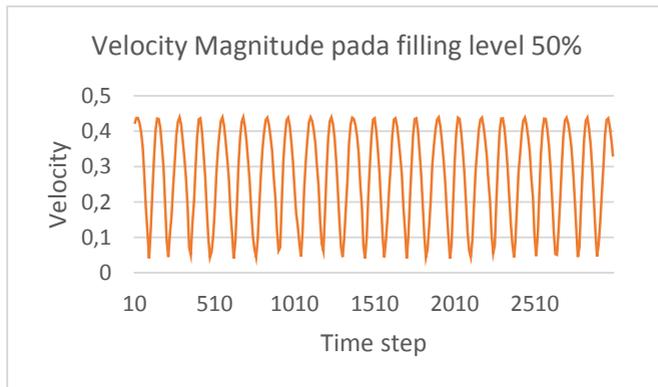
Gambar 4.10 Grafik Velocity pada z3 filling level 50%



Gambar 4.11 Grafik Velocity pada z4 filling level 50%



Gambar 4.12 Grafik Velocity pada z8 filling level 50%

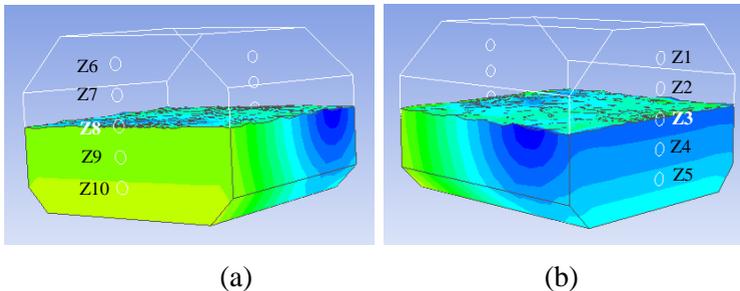


Gambar 4.13 Grafik Velocity pada z9 filling level 50%

Data simulasi dengan waktu kalkulasi 3000 time step untuk menunjukkan velocity pada dinding tangki adalah dinding depan pada z3 (13.65 m dari dasar tangki) menunjukkan kecepatan maksimal sebesar 0.439 m/s, pada z4 (9.10 m dari dasar tangki) menunjukkan kecepatan maksimal sebesar 0.439 m/s

Dinding belakang pada z8 (13.65 m dari dasar tangki) menunjukkan kecepatan maksimal 0.438 m/s, pada z9 (9.10 m dari dasar tangki) menunjukkan kecepatan maksimal sebesar 0.439 m/s

Pada grafik hasil simulasi menunjukkan adanya kestabilan kecepatan yang terjadi pada dinding depan dan belakang tangki. Kondisi kecepatan fluida pada tangki ini bergerak konstan Hasil pergerakan fluida yang didapat setelah simulasi adalah sebagai berikut:



Gambar 4.14 Kontur velocity pada dinding depan (b) dan belakang (a)

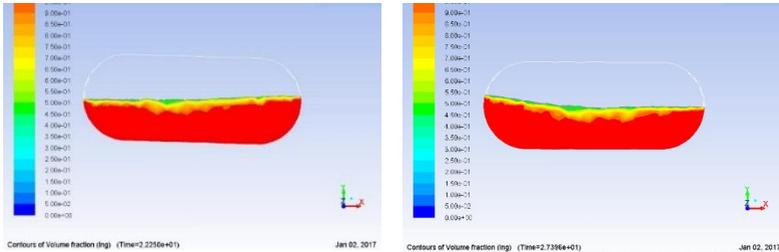
Dinding Depan		Dinding Belakang	
Z1	0	Z6	0
Z2	0	Z7	0
Z3	0.44 m/s	Z8	0.44 m/s
Z4	0.44 m/s	Z9	0.44 m/s
Z5	0.44 m/s	Z10	0.44 m/s

Tabel 4.5 Nilai velocity magnitude maksimal pada dinding depan dan belakang

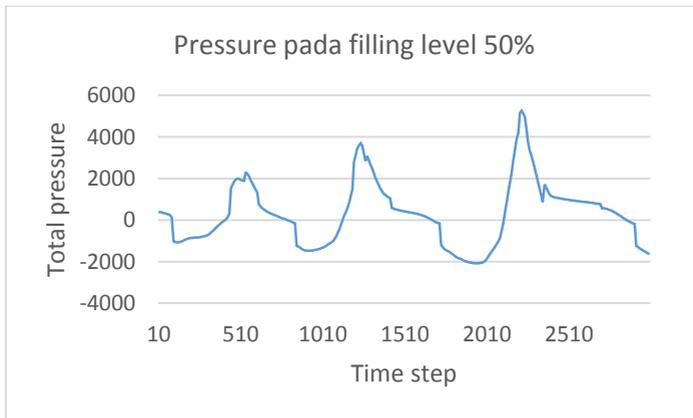
4.3 Hasil Simulasi Tangki 2 Type Bilobe

4.3.1 Karakteristik Gerakan Fluida Pada Tangki 2

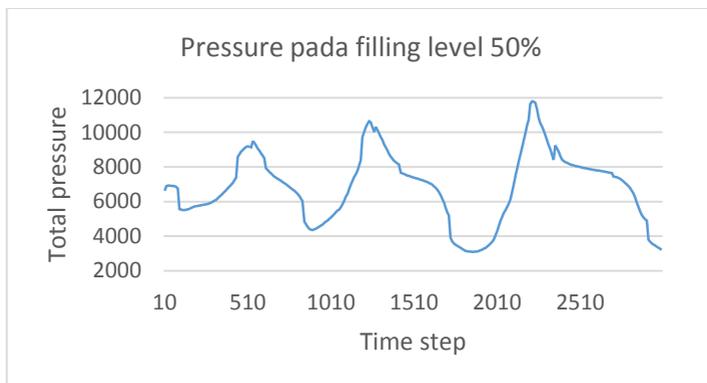
Dari hasil simulasi menghasilkan grafik dibawah dilihat dari total pressure dan velocity yang terjadi pada dinding tangki pertama adalah sebagai berikut :



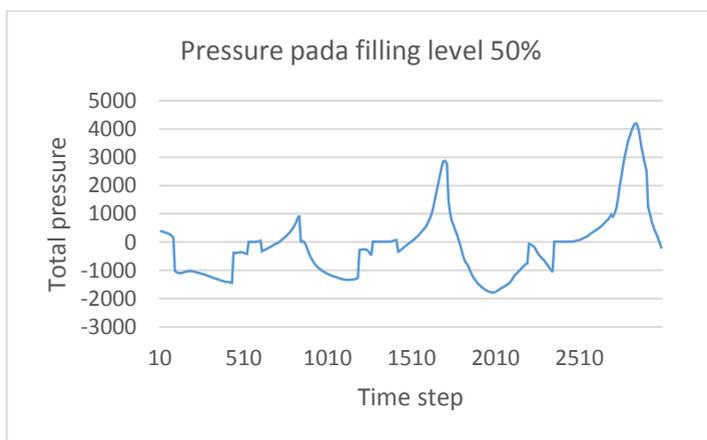
Gambar 4.15 Kontur Volume Fluida Pada Tangki 2



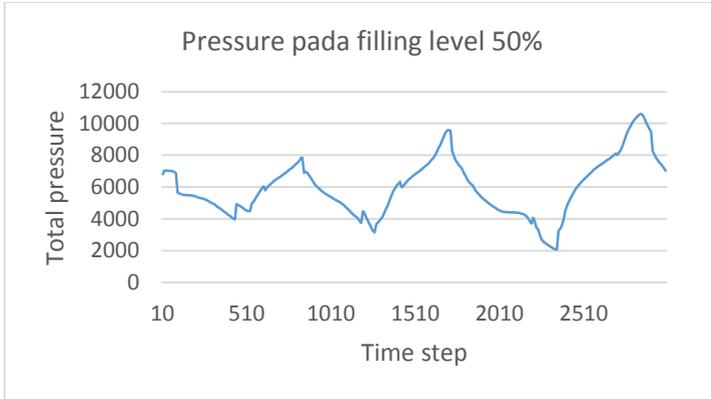
Gambar 4.16 Grafik Pressure pada z3 filling level 50%



Gambar 4.17 Grafik Pressure pada z4 filling level 50%



Gambar 4.18 Grafik Pressure pada z8 filling level 50%



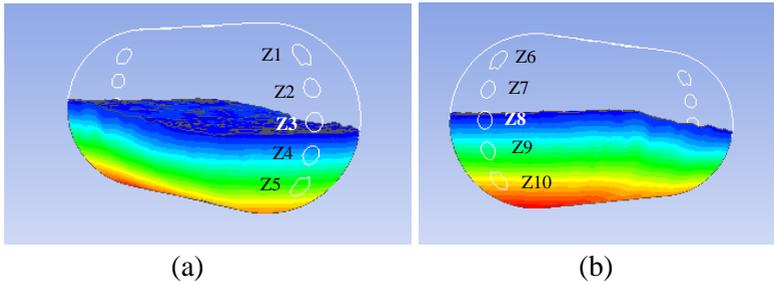
Gambar 4.19 Grafik Pressure pada z9 filling level 50%

Data simulasi dengan waktu kalkulasi 3000 time step untuk menunjukkan total pressure pada dinding tangki 2 adalah pada dinding depan pada z3 (5.24 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 5259.714 kPa, pada z4 (3.49 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 11790.46 kPa.

Dinding belakang pada z8 (5.24 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal 4185.66 kPa, pada z9 (3.49 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 10587.99 kPa.

Dapat terlihat dari grafik bahwa semakin lama simulasi kalkulasi dilakukan maka terlihat pressure yang diberikan akan semakin besar dan memberikan pressure dengan jarak waktu yang semakin lama.

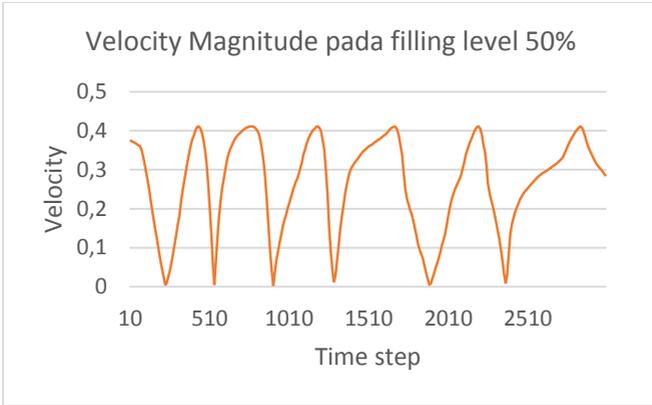
Hasil pressure yang didapat setelah simulasi adalah sebagai berikut:



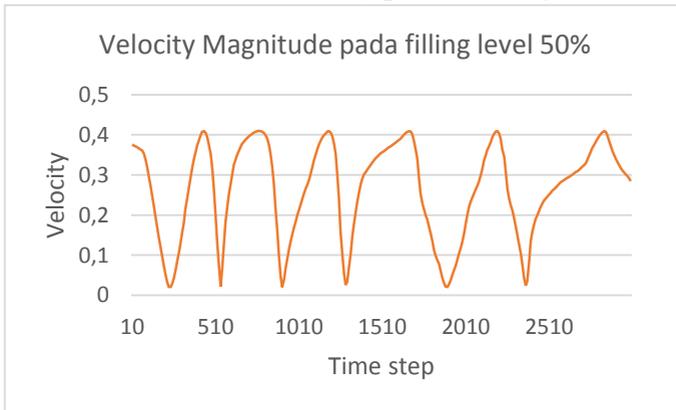
Gambar 4.20 Kontur total pressure pada dinding depan (b) dan belakang (a)

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Z1	0	Z6	0
Z2	0	Z7	0
Z3	5259.71 kPa	Z8	4185.66 kPa
Z4	11790.46 kPa	Z9	10587.99 kPa
Z5	18400 kPa	Z10	17176.11 kPa

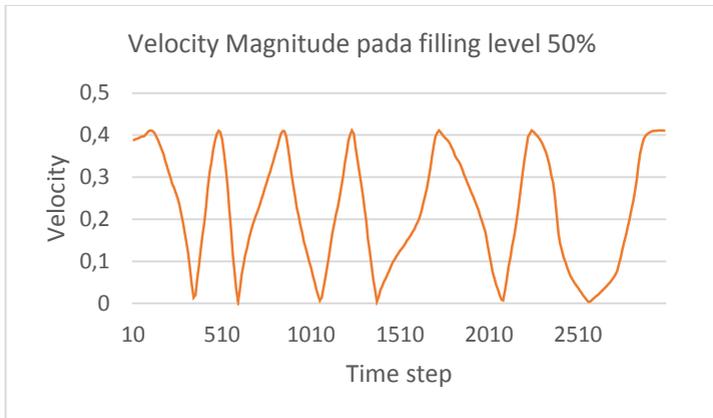
Tabel 4.6 Nilai total pressure maksimal pada dinding depan dan belakang



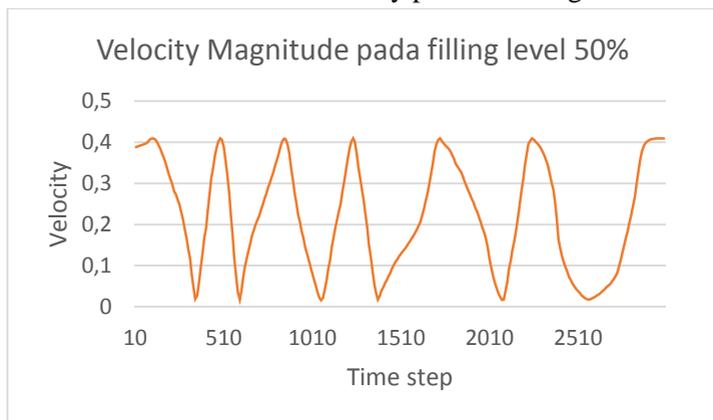
Gambar 4.21 Grafik Velocity pada z3 filling level 50%



Gambar 4.22 Grafik Velocity pada z4 filling level 50%



Gambar 4.23 Grafik Velocity pada z8 filling level 50%



Gambar 4.24 Grafik Velocity pada z9 filling level 50%

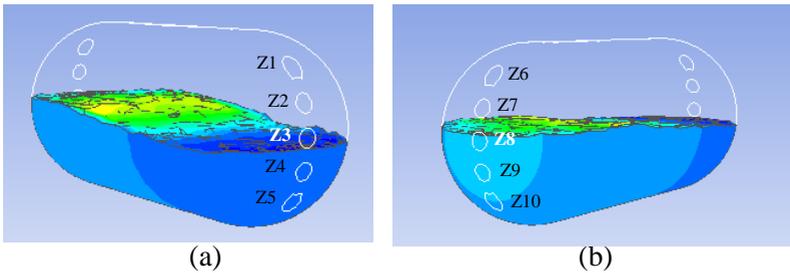
Data simulasi dengan waktu kalkulasi 3000 time step untuk menunjukkan velocity pada dinding tangki 2 adalah pada dinding depan pada z3 (5.23 m dari dasar tangki) menunjukkan kecepatan maksimal sebesar 0.439 m/s, pada z4 (3.49 m dari dasar tangki) menunjukkan kecepatan maksimal sebesar 0.439 m/s

Dinding belakang pada z8 (5.23 m dari dasar tangki) menunjukkan kecepatan maksimal 0.438 m/s, pada z9 (3.49

m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 0.439 m/s.

Terlihat dalam grafik velocity bahwa kecepatan pada dinding depan dan belakang mengalami gerakan yang konstan

Hasil velocity yang didapat setelah simulasi adalah sebagai berikut:



Gambar 4.25 Kontur velocity magnitude pada dinding depan (a) dan belakang (b)

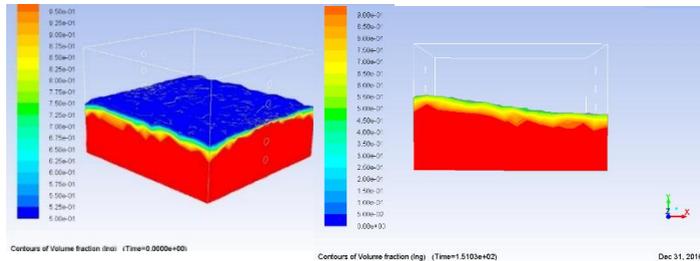
Dinding Depan		Dinding Belakang	
Z1	0	Z6	0
Z2	0	Z7	0
Z3	0.41 m/s	Z8	0.41 m/s
Z4	0.41 m/s	Z9	0.41 m/s
Z5	0.41 m/s	Z10	0.41 m/s

Tabel 4.7 Nilai velocity magnitude maksimal pada dinding depan dan belakang

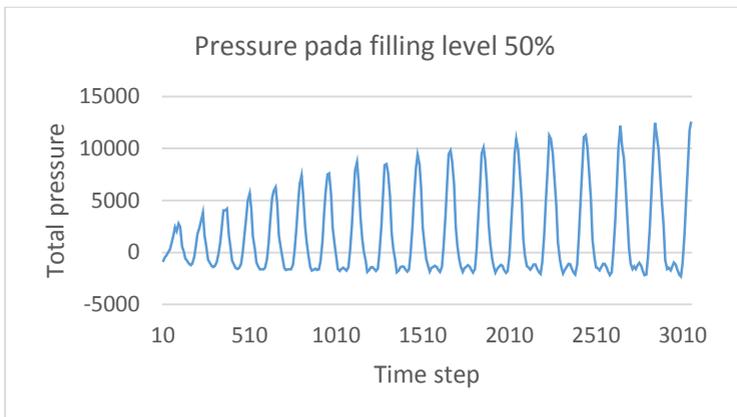
4.4 Hasil Simulasi Tangki 3 Type SPB

4.4.1 Karakteristik Gerakan Fluida Pada Tangki 1

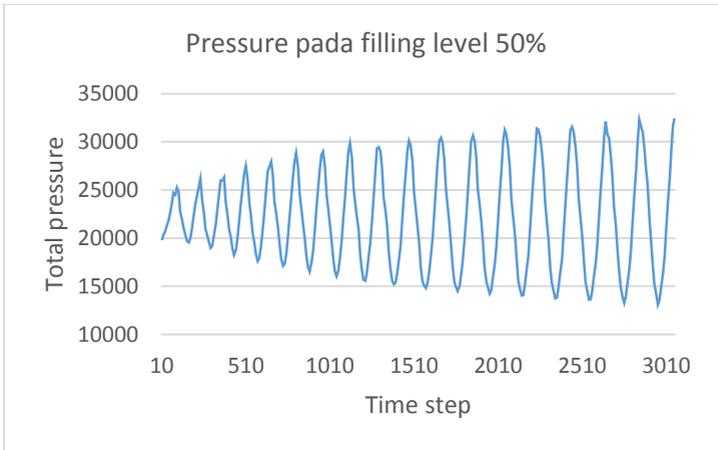
Dari hasil simulasi menghasilkan grafik dibawah dilihat dari total pressure dan velocity yang terjadi pada dinding tangki pertama adalah sebagai berikut :



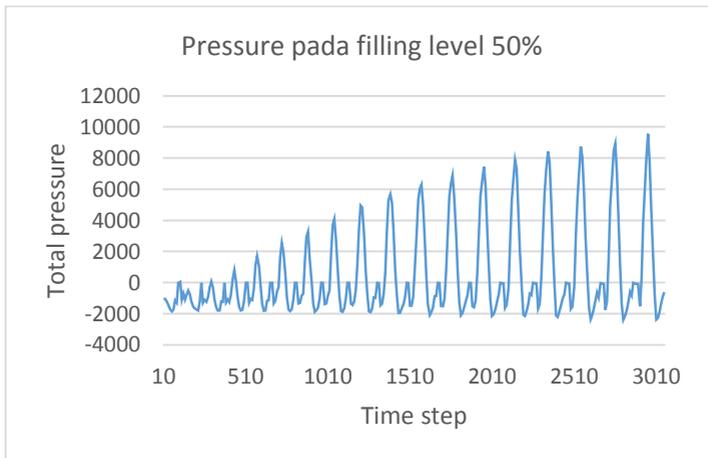
Gambar 4.26 Kontur Volume Fluida Pada Jenis Tangki 3



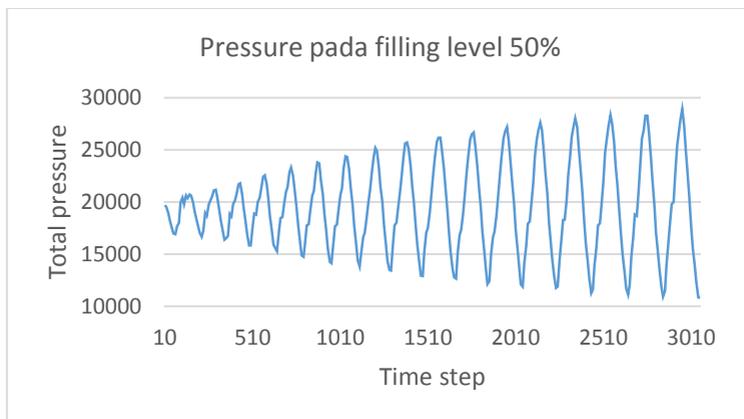
Gambar 4.27 Grafik Pressure pada z3 filling level 50%



Gambar 4.28 Grafik Pressure pada Z4 filling level 50%



Gambar 4.29 Grafik Pressure pada Z8 filling level 50%



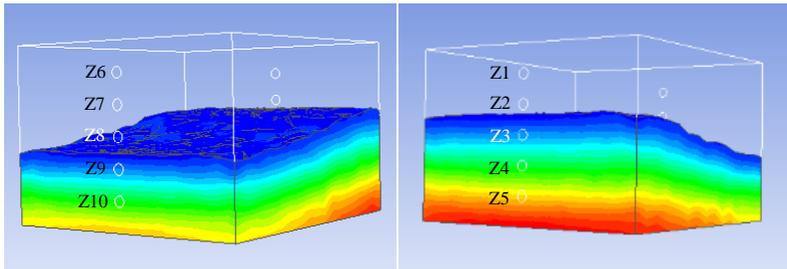
Gambar 4.30 Grafik Pressure pada Z9 filling level 50%

Data simulasi dengan waktu kalkulasi 3000 time step untuk menunjukkan total pressure pada dinding tangki adalah sebagai berikut. Dinding depan pada z3 (16.11 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 12585.41 kPa dan total pressure rata-rata sebesar 1646.39 kPa, pada z4 (10.74 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 32434.84 kPa dan total pressure rata – rata sebesar 22045.27 kPa,

Dinding belakang pada z8 (16.11 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal 9556.34 kPa dan total pressure rata-rata sebesar 486.13 kPa, pada z9 (10.74 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 28897.48 kPa dan total pressure rata-rata sebesar 19453.37 kPa.

Pada grafik menunjukkan pressure bergerak konstan namun terjadi peningkatan pressure pada dinding depan dan dinding belakang tangki, semakin lama waktu yang digunakan untuk kalkulasi maka semakin besar pressure yang diberikan pada dinding tangki.

Hasil pressure yang didapat setelah simulasi adalah sebagai berikut:



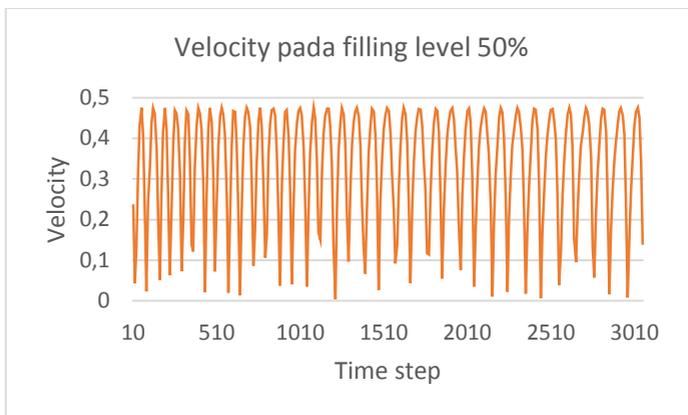
(a)

(b)

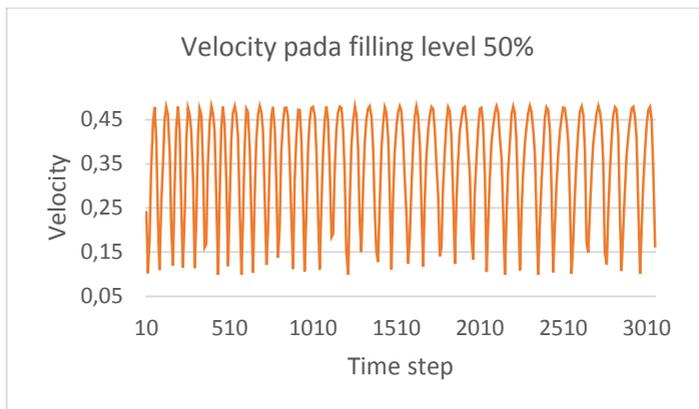
Gambar 4.31 Kontur total pressure pada dinding depan (b) dan belakang (a)

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Z1	0	Z6	0
Z2	0	Z7	0
Z3	12585.41	Z8	9556.34
Z4	32434.84	Z9	28897.48
Z5	53547.02	Z10	49436.56

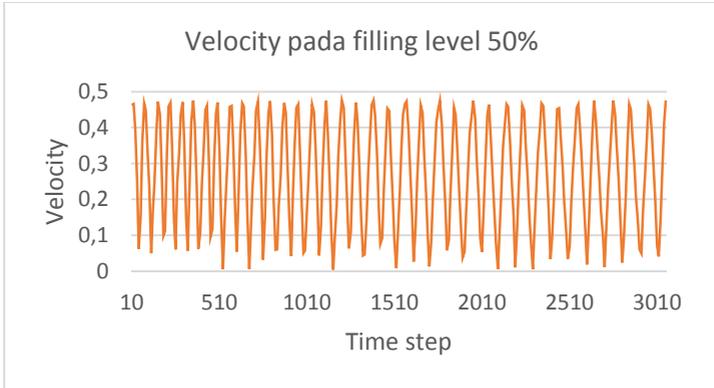
Tabel 4.8 Nilai pressure maksimal pada dinding depan dan belakang



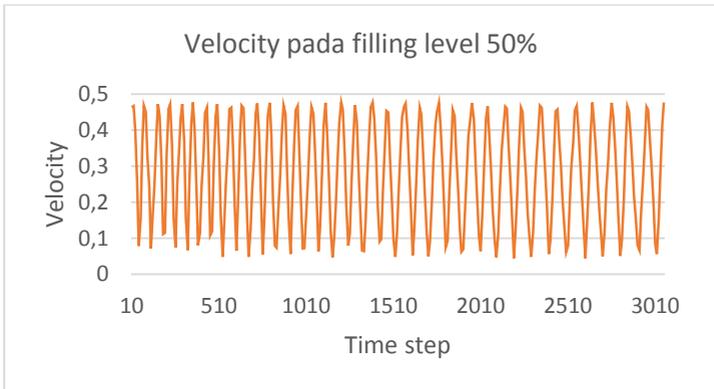
Gambar 4.32 Grafik Velocity pada Z3 filling level 50%



Gambar 4.33 Grafik Velocity pada Z5 filling level 50%



Gambar 4.34 Grafik Velocity pada Z8 filling level 50%

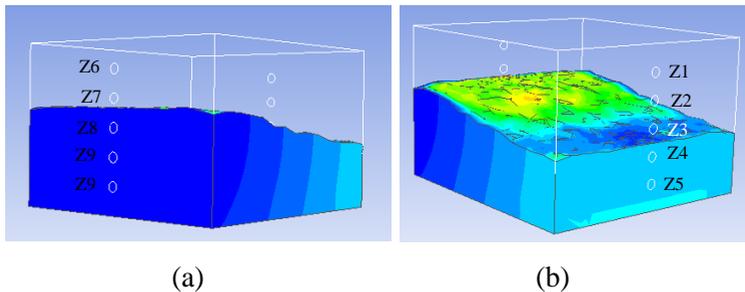


Gambar 4.35 Grafik Velocity pada Z9 filling level 50%

Data simulasi untuk menunjukkan velocity pada dinding tangki sebagai berikut:

Dinding depan pada z3 (16.11 m dari dasar tangki) menunjukkan kecepatan maksimal sebesar 0.475 m/s, pada z5 (5.37 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 0.480 m/s
 Dinding belakang pada z8 (16.11 m dari dasar tangki) menunjukkan kecepatan maksimal 0.475 m/s, pada z10 (5.37 m dari dasar tangki) menunjukkan total pressure maksimal sebesar 0.482 m/s

Hasil velocity yang didapat setelah simulasi adalah sebagai berikut:



Gambar 4.36 Kontur velocity magnitude pada dinding depan (a) dan belakang (b)

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Z1	0	Z6	0
Z2	0	Z7	0
Z3	0.48 m/s	Z8	0.48 m/s
Z4	0.48 m/s	Z9	0.48 m/s
Z5	0.48 m/s	Z10	0.48 m/s

Tabel 4.9 Nilai velocity magnitude maksimal pada dinding depan dan belakang

Tangki 1

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Posisi (m)	Pressure (kPa)	Posisi (m)	Pressure (kPa)
22.75	0	22.75	0
18.20	0	18.20	0
13.65	3013.99	13.65	920.49
9.10	21685.24	9.10	19084.84
4.55	40750.67	4.55	38173.32

Tangki 2

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Posisi (m)	Pressure (kPa)	Posisi (m)	Pressure (kPa)
8.76	0	8.76	0
6.99	0	6.99	0
5.24	5259.71	5.24	4185.66
3.49	11790.46	3.49	10587.99
1.72	18400	1.72	17176.11

Tangki 3

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Posisi (m)	Pressure (kPa)	Posisi (m)	Pressure (kPa)
26.85	0	26.85	0
21.48	0	21.48	0
16.11	12585.41	16.11	9556.34
10.74	32434.84	10.74	28897.48
5.37	53547.02	5.37	49436.56

Tabel 4.10 Nilai maksimal total pressure tiga tipe tangki

Tangki 1

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Posisi (m)	Velocity Magnitude (m/s)	Posisi (m)	Velocity Magnitude (m/s)
22.75	0	22.75	0
18.20	0	18.20	0
13.65	0.44	13.65	0.44
9.10	0.44	9.10	0.44
4.55	0.44	4.55	0.44

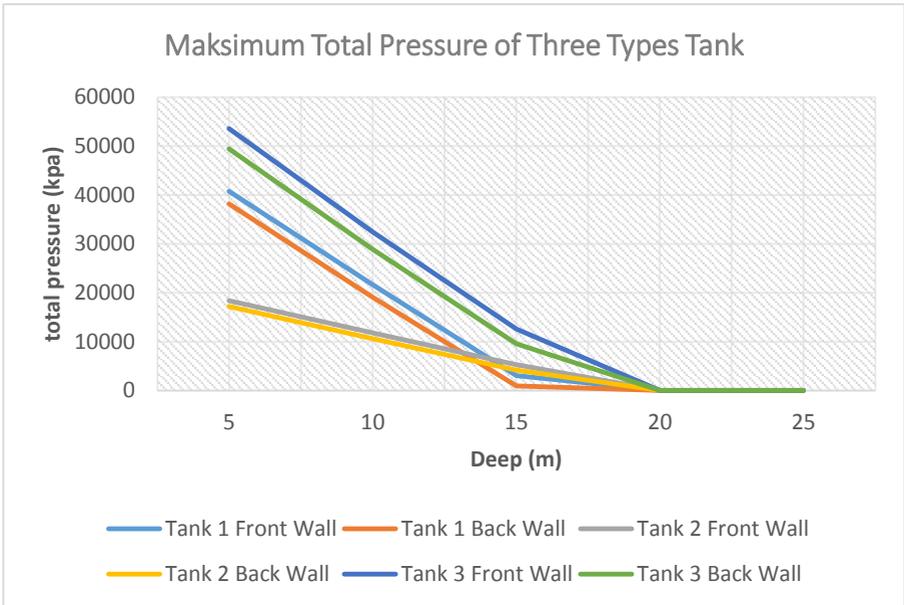
Tangki 2

Dinding Depan		Dinding Belakang	
Posisi (m)	Velocity Magnitude (m/s)	Posisi (m)	Velocity Magnitude (m/s)
8.76	0	8.76	0
6.99	0	6.99	0
5.24	0.41 m/s	5.24	0.41 m/s
3.49	0.41 m/s	3.49	0.41 m/s
1.72	0.41 m/s	1.72	0.41 m/s

Tangki 3

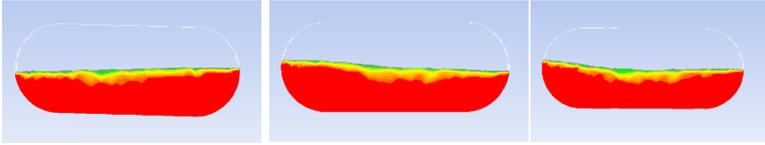
Dinding Depan		Dinding Belakang	
Posisi (m)	Velocity Magnitude (m/s)	Posisi (m)	Velocity Magnitude (m/s)
26.85	0	26.85	0
21.48	0	21.48	0
16.11	0.48 m/s	16.11	0.48 m/s
10.74	0.48 m/s	10.74	0.48 m/s
5.37	0.48 m/s	5.37	0.48 m/s

Tabel 4.11 Nilai maksimal velocity tiga tipe tangki

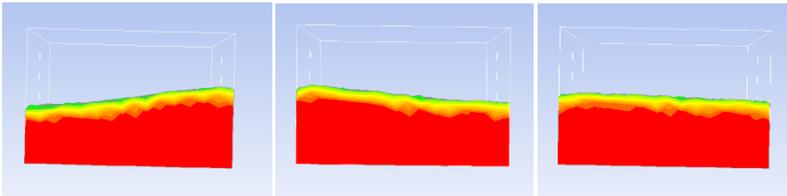


Gambar 4.37 Grafik total pressure maksimum dinding depan dan belakang pada tiga tipe tangki

b. Tangki 2



c. Tangki 3



4. Berdasarkan hasil simulasi pada tiga tipe tangki didapatkan gerakan fluida dalam tangki Tipe tangki 1 dengan bentuk *Octogonal (Tipe membrane)* memiliki total pressure pada dinding bagian depan lebih besar daripada total pressure pada dinding belakang. Tidak ada kenaikan pressure secara tiba-tiba pergerakan cairan berjalan konstan. Kecepatan fluida dalam tangki bergerak dengan kecepatan konstan dengan kecepatan rata-rata 0.3 m/s
5. Tipe tangki 2 dengan bentuk kapsul (*Tipe Bilobe*) memiliki total pressure pada dinding bagian depan lebih besar daripada total pressure pada dinding bagian belakang dilihat dari maksimal total pressure yang diberikan pada kedua dinding tersebut. Dan jika diamati dari grafik hasil simulasi maka terlihat terjadi peningkatan tekanan. Pergerakan fluida dalam tangki memiliki maksimal kecepatan yang konstan tidak terjadi kenaikan dan penurunan kecepatan secara melonjak.

6. Tipe tangki 3 dengan bentuk *rectangular* (*Tipe SPB*) memiliki total pressure pada dinding depan lebih besar daripada total pressure pada dinding belakang dilihat dari hasil simulasi pada tangki tersebut. Diamati dari grafik total pressure yang diberikan ke dinding maka akan mengalami peningkatan pressure pada dinding. Semakin lama waktu kalkulasi yang diberikan maka total pressure akan semakin naik. Untuk kecepatan fluida dalam tangki memiliki kecepatan konstan dengan rata-rata 0.3 m/s

5.2. Saran

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dan didapat kesimpulan dalam penulisan, maka diberikan saran sebagai berikut:

1. Perlu adanya variasi filling level tangki dan letak node yang lain untuk mendapatkan hasil yang lebih spesifik
2. Perlu adanya perbandingan, variasi dan tambahan gerakan selain heaving dan pitching agar gerakan fluida dapat lebih sesuai dengan gerakan kapal sesungguhnya
3. Perlu adanya analisa perbandingan antara analisa hasil eksperimen maupun antar software agar lebih akurat
4. Perlu adanya perbandingan volume yang sama besar pada tiap tangkinya

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Pedoman penulisan Daftar Pustaka adalah sbb.:

- Anwar, M.S. (2013). *Simulasi Sloshing pada Dinding Tangki Tipe Membran Kapal LNG Akibat Gerakan Heaving dan Pitching di Gelombang Regular* (Tugas Akhir). Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arsad, Ashar Khoirul (2013). *Studi Gerakan Sloshing terhadap Tangki Kotak (Rectangular Tank) Dengan dan Tanpa Pelat Memanjang (Baffle) Akibat Gerakan Rolling Kapal Dengan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)*” (Tugas Akhir)
Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bhattacharrya, R. (1978). *Dynamics Of Marine Vehicles*.
New York: Wiley Publication.
- Fahlevi, Rizal (2014). *Analisa Pengaruh Sloshing Pada Ruang Muat Kapal LNG Terhadap Stabilitas Kapal Dengan Pendekatan CFD*”(Tugas Akhir)
Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rifai, S.B. (2012). *Analisa Sloshing Secara Memanjang Pada Tangki FLNG Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic CFD* (Tugas Akhir).
Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sloshing Assessment Guidance Document for Membrane Tank LNG Operations (2009). London; Llyod Register.
- Sugiarso, Adin. (2010). *Maxsurf Training 2010 Basic Level*. Surabaya
- Tautika, Firman. (2008). *Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung: Informatika.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Yoga Adhi Pratama, lahir di Semarang, 27 April 1993, penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar dimulai dari SDN Taman Pekunden Semarang, SMPN 3 Semarang, SMAN 1 Semarang dan Diploma Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Setelah lulus D3, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S1 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan,

Fakultas teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2014 melalui program lintas jalur.

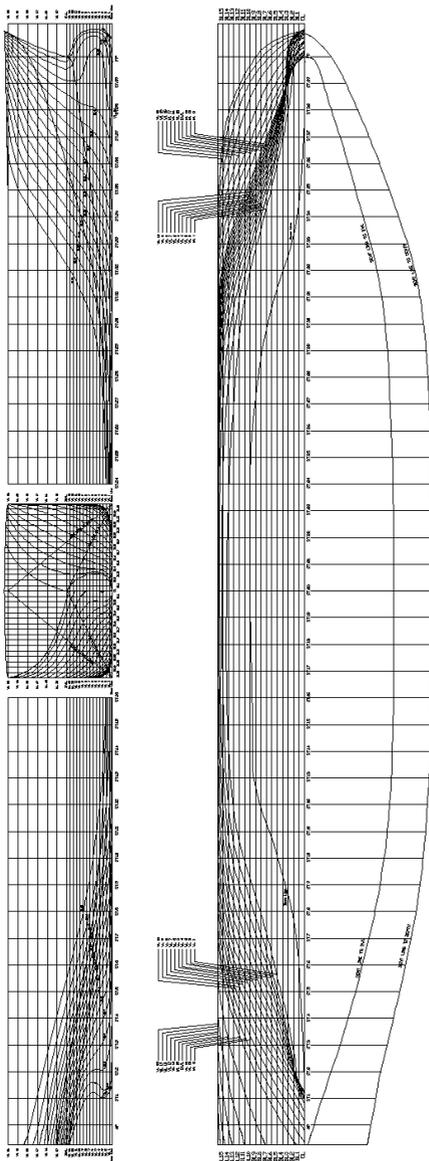
Sebagai mahasiswa lintas jalur Jurusan Teknik Perkapalan, Penulis mengambil bidang Marine Manufactue and Design untuk penyelesaian tugas akhir. Dan selama studi di ITS penulis aktif bergabung sebagai Kru ITS tv yang berdiri dibawah rektorat bagian kehumasan ITS.

Untuk memenuhi persyaratan menjadi sarjana teknik, penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul “Simulasi Sloshing Pada Tiga Tipe Tangki Kapal Akibat Gerakan *Pitching* dan *Heaving*” karena sloshing merupakan efek terbesar yang dialami kapal saat berlayar

Email: yogaadhi2704@gmail.com

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

1. Data Rencana Garis Kapal

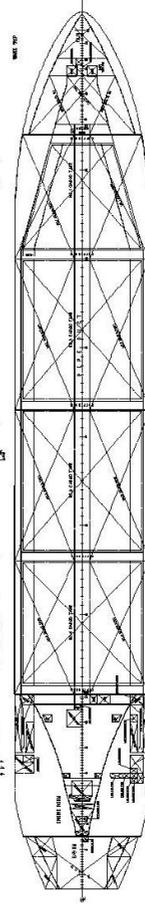
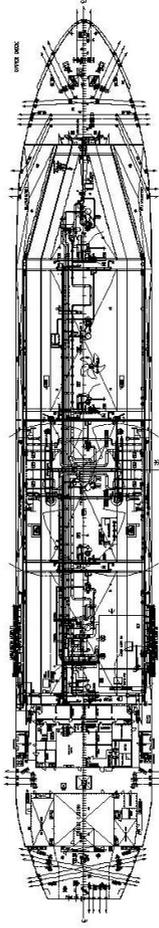
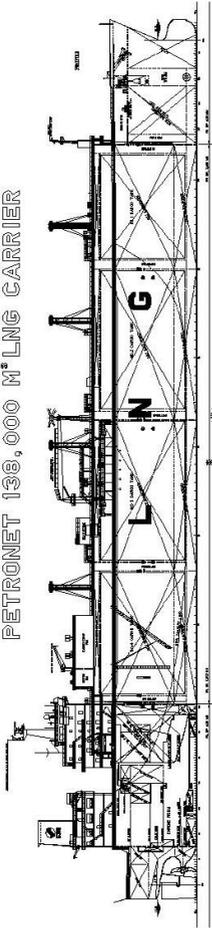
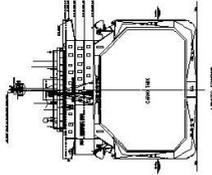


PRINCIPAL PARTICULARS

Length Over All	277.00 M
Length Between Perp.	266.00 M
Breadth (mld)	48.40 M
Depth (mld)	26.00 M
Draft Design (exl)	11.42 M
Scant. (exl)	12.52 M
SERVICE SPEED	19.6 Knts at 90% MCR WITH 21% S.M.
MAIN ENGINE	TYPE : MARINE STEAM TURBINE
	MCR : 39.000 PS x 88.0 RPM
	NCR : 32.400 PS x 65.0 RPM

2. Data Rencana Umum Kapal

PETRONET 138,000 M³ LNG CARRIER



PRINCIPAL PARTICULARS

Length Over All	277.00 M
Length Between Perps	256.00 M
Beam	33.40 M
Depth	23.40 M
Deck Design	11.42 M
Draft	11.42 M
Scant.	12.42 M

SERVICE SPEED 19.0 KNOTS at 80% MCR WITH 21% S.M.L
 TYPE : MARINE STEAM TURBINE
 MAIN ENGINE
 MCR : 35,000 PS x 86.0 RPM
 NCR : 33,400 PS x 86.0 RPM

CLASSIFICATION

BURSAI VERITAS :
 1 * BULL + MACH. Liquefied gas carrier/LNG,
 Ship type 30 (-68°C, 500kg/m³, 0.15 bar)
 *NON-SHAFT INWATERS/RTWT,
 *S19-NCL-1, *NON-SHAFT INWATERS/RTWT,
 COMPLIMENT : 41 PERSONS + 8 SUEZ CREW

3. Data Karakteristik LNG

```

(Liquid-Natural-Gas
fluid
(chemical-formula . C3H8)
(density (constant . 420.2))
(specific-heat (constant . 3492)(polynomial piecewise-
polynomial (100 1000 1161.48214452351 -2.36881890191577
1.48551108358867E-02 -5.03490927522584E-05
9.9285695564579E-08 -1.11109658897742E-10
6.54019600406048E-14 -1.57358768447275E-17)(1000 3000 -
7069.81410143802 33.7060506468204 -5.81275953375815E-02
5.42161532229608E-05 -2.936678858119E-08
9.23753316956768E-12 -1.56555339604519E-15
1.11233485020759E-19)))
(thermal-conductivity (constant . 0.1683))
(viscosity (constant . 1.133e-04) (sutherland 1.716e-5
273.11 110.56) (power-law 1.716e-05 273.11 0.666))
; viscosity of air at 273 K obtained from Kays &
Crawford
; (Convective Heat & Mass Transfer) & also from White's
book on
; turbulent flow
; 1.7894e-5 Pa.s is the value at 293 K
(molecular-weight (constant . 18))
(lennard-jones-length (constant . 3.711))
(lennard-jones-energy (constant . 78.6))
(thermal-accom-coefficient (constant . 0.9137))
(velocity-accom-coefficient (constant . 0.9137))
(formation-entropy (constant . 194336))
(reference-temperature (constant . 113))
; Critical Properties Perry's Chemical Enginners
Handbook.
(critical-pressure (constant . 4.6e6))
(critical-temperature (constant . 186.5))
(acentric-factor (constant . 0.033))
(critical-volume (constant . 0.00352))
)

```