



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS *SLOSHING* PADA TANGKI *BILOBE* KAPAL LNG
DENGAN ATAU TANPA PENGGUNAAN *BAFFLE*
MENGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*
DAN ALAT UJI EKSPERIMEN**

Aditya Prakosa Wibawa
NRP 0411154000047

Dosen Pembimbing
Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS *SLOSHING* PADA TANGKI *BILOBE* KAPAL LNG
DENGAN ATAU TANPA PENGGUNAAN *BAFFLE*
MENGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*
DAN ALAT UJI EKSPERIMEN**

**Aditya Prakosa Wibawa
NRP 0411154000047**

**Dosen Pembimbing
Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT - MN 184802

**SLOSHING ANALYSIS IN THE BILOBE TANK OF LNG
SHIP WITH OR WITHOUT BAFFLE USING
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC METHOD
AND EXPERIMENT TEST**

**Aditya Prakosa Wibawa
NRP 4109100047**

**Supervisor
Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *SLOSHING* PADA TANGKI BILOBE KAPAL LNG DENGAN ATAU TANPA PENGGUNAAN *BAFFLE* MENGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC DAN ALAT UJI EKSPERIMEN

TUGAS AKHIR

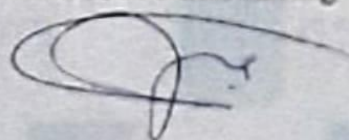
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ADITYA PRAKOSA WIBAWA
NRP 0411154000047

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Ariès Sulisetvono, S.T., MA Sc., Ph.D.
NIP 19710320 199512 1 002

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ic Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 15 JULI 2019

LEMBAR REVISI

ANALISIS *SLOSHING* PADA TANGKI *BILOBE* KAPAL LNG DENGAN ATAU TANPA PENGGUNAAN *BAFFLE* MENGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* DAN ALAT UJI EKSPERIMEN

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 01 Juli 2019

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ADITYA PRAKOSA WIBAWA
NRP 0411154000047

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Hasanudin, S.T., M.T.



2. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.

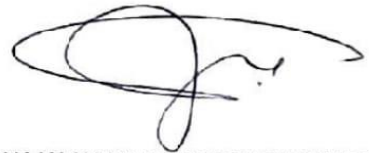


3. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Aries Sulisetyono S.T., M.A.Sc., Ph.D.



SURABAYA, 15 JULI 2019

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Sesungguhnya segala puji hanya milik Allah, kepada-Nya kami memuji, memohon pertolongan dan memohon ampunan. Kami memohon perlindungan kepada Allah dari keburukan diri kami dan kejelekan perbuatan-perbuatan kami.

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir dengan judul “Analisis *Sloshing* pada Tangki *Bilobe* Kapal LNG dengan atau Tanpa Penggunaan *Baffle* Menggunakan *Computational Fluid Dynamic* dan Alat Uji Eksperimen” dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Aries Sulisetyono S.T., MA.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing atas waktu yang telah diluangkan untuk membantu dalam menyusun Tugas Akhir ini bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Muhammad Dani selaku pemilik Gudang Pyramid tempat saya membuat alat uji eksperimen;
3. Kepada Ibu dan Bapak yang berada di kampung halaman yang senantiasa memberikan doa ,motivasi, dan dukungan moril dan materi selama saya berkuliah dan jauh sebelum saya berkuliah;
4. *Arek* Gang makam *Squad* dan teman-teman Sahabat Gang makam yang telah memberikan dukungan moril dan motivasi dan membantu saya selama saya berkuliah;

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 15 Juli 2019

Aditya Prakosa Wibawa

ANALISIS *SLOSHING* PADA TANGKI *BILOBE* KAPAL LNG DENGAN ATAU TANPA PENGGUNAAN *BAFFLE* MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* DAN ALAT UJI EKSPERIMEN

Nama Mahasiswa : Aditya Prakosa Wibawa
NRP : 04111540000047
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Aries Sulistyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Permintaan terhadap *Liquified Natural Gas* yang tinggi serta masalah pengangkutan muatan curah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada konstruksi tangki akibat dari fenomena *sloshing* membuat perkembangan dan studi terhadap tangki, gerakan 6 derajat kebebasan serta *anti-sloshing* terus dilakukan. Tetapi penelitian dengan menggunakan alat uji eksperimen sebagai validasi hasil analisa numerik masih jarang dilakukan. Hal tersebut yang mendasari penelitian ini untuk membuat sebuah alat uji eksperimen yang dapat menggambarkan gerakan tangki dalam *roll* dan *pitch* untuk mendapatkan gerakan permukaan muatan cair secara nyata pada ukuran model. Hasil dari permukaan muatan tersebut akan menjadi pembanding untuk hasil analisa numerik yang menghasilkan *static pressure*, *dynamic pressure* dan gerakan permukaan muatan. Dalam pembuatan alat uji eksperimen, terdapat 2 komponen alat yaitu *docking* dan konverter gerakan. Konverter gerakan memanfaatkan gerakan rotasi yang dihasilkan oleh motor DC yang diubah menjadi gerakan translasi naik turun untuk menggerakkan *docking* secara *roll* dan *pitch*. Desain tangki menggunakan *independent tank type C* yang dikenal dengan tangki bilobe yang memiliki bentuk *cylindrical*. Analisa numerik menggunakan 2 jenis tangki yaitu tangki *bilobe* tanpa *baffle* dan tangki *bilobe* dengan *baffle* pada *filling level* 10%, 50% dan 90% dengan muatan air. Validasi hanya dilakukan pada gerak permukaan tangki dan untuk perhitungan tekanan hanya dilakukan dengan menggunakan analisa CFD. Validasi dilakukan dengan membandingkan gerakan permukaan air pada tangki hasil uji eksperimen dengan gerakan permukaan air pada hasil analisis numerik. Hasil validasi analisa numerik menghasilkan nilai *error* sebesar 4.13% pada *filling level* 10%, 2.1 % pada *filling level* 50% dan 1.74% pada *filling level* 90%. Dan efek penggunaan *baffle* bawah pada hasil analisa CFD, memberikan penurunan tekanan statis maksimum di daerah dinding tangki sebesar 5.59% dalam kondisi *filling level* 10%. Untuk efek penggunaan *baffle* atas, memberikan penurunan pada tekanan statis maksimum di daerah *longitudinal bulkhead* sebesar 4.89% dalam kondisi *filling level* 90%.

Kata kunci: *Bilobe*, *sloshing*, uji eksperimen, CFD, *dst.*

SLOSHING ANALYSIS IN THE BILOBE TANK OF LNG SHIP WITH OR WITHOUT BAFFLE USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC METHOD AND EXPERIMENT TEST

Author : Aditya Prakosa Wibawa
Student Number : 0411154000047
Department / Faculty : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Supervisor : Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

High demand for Liquefied Natural Gas and liquid transport problems that can cause damage to tank construction because the sloshing phenomenon makes the development and research of the tank, 6 degrees of freedom and anti-sloshing movement carried out. But research using experimental tests as validation of numerical analysis results is still rare. This is what underlies this research to make an experimental test tool that can describe the movement of the tank in roll and pitch to get the surface movement of the liquid charge significantly on the size of the model. The results of the surface will be a comparison for the results of numerical analysis that produces static pressure, dynamic pressure and surface movement of the load. In making an experimental test tool, there are 2 components of the device, namely docking and movement converter. The motion converter utilizes the rotation motion produced by a DC motor which is converted into an up and down translational motion to move the docking on a roll and pitch. The tank design uses an independent tank type C known as a bilobe tank which has a cylindrical shape. Numerical analysis uses 2 types of tanks namely bilobe tank without baffle and bilobe tank with baffle at filling levels of 10%, 50% and 90% with water loads. Validation is only done on the surface of the tank and for pressure calculation is only done using CFD analysis. Validation is done by comparing the movement of the water surface of the tank from the experimental test results with the movement of the water surface on the results of numerical analysis. The results of numerical analysis validation produce an error value of 4.13 % at 10% filling level, 2.1 % at 50% filling level and 1.74% at 90% filling level. And the effect of using bottom baffle on the CFD analysis results, gives a maximum reduction in static pressure at the tank wall area of 5.59% in 10% filling level conditions. To effect the use of the upper baffle, it decreases the maximum static pressure in the longitudinal area of the bulkhead by 4.89% in filling level 90%.

Keywords: Bilobe, sloshing, experiment, CFD, etc.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR REVISI.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
Bab I PENDAHULUAN	17
I.1.Latar Belakang Masalah.....	17
I.2.Perumusan Masalah	18
I.3.Tujuan	18
I.4.Batasan Masalah.....	19
I.5.Manfaat.....	19
I.6.Hipotesis.....	19
Bab II STUDI LITERATUR	21
II.1.Karakteristik LNG	21
II.1.1. <i>Viscositas</i>	22
II.1.2. <i>Filling Level</i>	22
II.2.Klasifikasi Tangki LNG.....	23
II.2.1. <i>Independent Tank</i>	24
II.2.2. <i>Baffle</i>	25
II.3.Teori Gelombang	25
II.3.1.Formulasi Gerak Harmonis Sederhana	26
II.3.2.Gelombang Sinusoidal	28
II.4.Respon Gerakan Kapal pada Gelombang	29
II.4.1.Gerak Kapal dalam 6-Derajat Kebebasan.....	30
II.4.2. <i>Rolling</i>	31
II.4.3. <i>Response Amplitude Operator</i>	32
II.5. <i>Sloshing</i>	33
II.5.1. <i>Sloshing Load Assesment</i>	34
II.5.2.Dinamika <i>Sloshing</i>	35
II.5.3.Eksitasi Gelombang	35
II.5.4.Pemodelan <i>Sloshing</i>	36
II.5.4.1. <i>Volume of Fluid</i>	37
II.5.4.2.Persamaan Navier-Stokes	38
II.5.5.Pemodelan Aliran Turbulen.....	38
II.6.Computational Fluid Dynamic (CFD)	41
II.7.CFD ANSYS.....	42
II.8.Grid Independence	43
II.9.Teori Analisis Tingkat Kesalahan <i>Meshing</i>	44

Bab III METODOLOGI	47
III.1.Tahap Penelitian	47
III.2.Studi Literatur	48
III.3.Pengumpulan Data.....	48
III.3.1.Data Spesifikasi Tangki LNG	48
III.3.2.RAO Rolling Hasil Eksperimen	49
III.3.3.Perhitungan Gerakan <i>Rolling</i> Kapal	51
III.3.4.Perhitungan Ketinggian Cairan	52
III.3.5.Pendefinisian Gerakan <i>Rolling</i> pada UDF.....	52
III.3.6. <i>User Defined Function</i>	53
III.4.Pemodelan Geometri Tangki	54
III.5.Simulasi Model Tangki dengan <i>Software</i> CFD.....	55
III.5.1. <i>Geometry</i>	55
III.5.2. <i>Meshing</i>	57
III.5.3. <i>Set Up</i>	59
III.5.4. <i>Solution</i>	65
III.5.5. <i>Results</i>	69
III.6.Validasi	70
Bab IV Pembuatan Alat Uji Eksperimen.....	71
IV.1.Desain Alat Uji Eksperimen.....	71
IV.1.1.Desain Tangki <i>Bilobe</i>	71
IV.1.2.Desain Tatakan untuk Tangki Uji	72
IV.1.3.Desain <i>Converter</i> Gerak Rotasi Menjadi Gerak Translasi.....	74
IV.2.Sistem Kerja Alat Uji Eksperimen	76
IV.3.Produksi Alat Uji Eksperimen.....	78
Bab V Percobaan dan prosedur alat uji eksperimen	81
V.1.Pengujian Alat Uji Eksperimen	81
V.1.1.Percobaan Variasi	82
V.1.2.Prosedur Pengujian	86
Bab VI Validasi gerak permukaan air dan analisa tekanan	89
VI.1.Analisa Hasil Uji Eksperimen	89
VI.1.1.Tangki Tanpa <i>Baffle Filling Level</i> 10%	89
VI.1.2.Tangki Tanpa <i>Baffle Filling Level</i> 50%	93
VI.1.3.Tangki Tanpa <i>Baffle Filling Level</i> 90%	97
VI.2.Hasil CFD.....	101
VI.2.1. <i>Convergence</i>	101
VI.2.2. <i>Grid Independence</i>	101
VI.2.3.Analisa Tingkat <i>Error Meshing</i>	106
VI.2.4.Hasil CFD pada Kondisi Batas.....	107
VI.3.Validasi Hasil CFD dengan Hasil Uji Eksperimen	123
VI.4.Analisa Hasil CFD	126
Bab VII Kesimpulan dan saran.....	131
VII.1.Kesimpulan	131
VII.2.Saran	131
DAFTAR PUSTAKA.....	133

LAMPIRAN

LAMPIRAN A DESAIN ALAT UJI

LAMPIRAN B HASIL VISUALISASI

LAMPIRAN C HASIL PERHITUNGAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Ilustrasi LNG Plan Production oleh Cell Corp	22
Gambar II.2 Klasifikasi Kapal LNG menurut IMO (Delpizzo,2014)	24
Gambar II.3 Ilustrasi Gerak Harmonis Sederhana.....	26
Gambar II.4 Karakteristik pada Gerak Harmonis Sederhana	27
Gambar II.5 Representasi Gelombang Sinusoidal.....	28
Gambar II.6 Sudut Hadap Gelombang terhadap Kapal	29
Gambar II.7 Notasi Umum dan Konvensi Simbol Deskripsi oleh Gerak Kapal	31
Gambar II.8 Fenomena <i>Sloshing</i> pada Tangki <i>Bilobe</i>	34
Gambar II.9 Ilustrasi Skema <i>Sloshing</i>	35
Gambar III.1 Metodologi Penelitian.....	47
Gambar III.2 Penampang Melintang Tangki <i>Bilobe</i>	48
Gambar III.3 Grafik <i>Sway</i> RAO Kapal LNG (Romansyah,2014).....	50
Gambar III.4 Grafik <i>Heave</i> RAO Kapal LNG (Romansyah,2014).....	50
Gambar III.5 Grafik <i>Roll</i> RAO Kapal LNG (Romansyah,2014)	51
Gambar III.6 Format <i>User Defined Function</i> yang Digunakan dalam Analisa.....	54
Gambar III.7 Model Tangki <i>Bilobe</i>	55
Gambar III.8 Menu Tahapan pada CFD	55
Gambar III.9 Model Tangki <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> dalam Menu <i>Geometry</i>	56
Gambar III.10 Model Tangki <i>Bilobe</i> dengan <i>Baffle</i> Atas.....	56
Gambar III.11 Model Tangki <i>Bilobe</i> dengan <i>Baffle</i> Bawah.....	57
Gambar III.12 <i>Meshing</i> pada Tangki <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i>	58
Gambar III.13 <i>Name Selection</i> pada Tangki <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i>	59
Gambar III.14 Menu CFD <i>Launcher</i>	60
Gambar III.15 Set Up General.....	61
Gambar III.16 <i>Set Up</i> Model	61
Gambar III.17 Set Up Multiphase dan Viscous.....	62
Gambar III.18 Set Up Materials	62
Gambar III.19 Pengaturan <i>Phases</i> pada Model Tangki.....	63
Gambar III.20 Menu <i>Operating Conditions</i>	63
Gambar III.21 <i>Dynamic Mesh Zones</i>	65
Gambar III.22 Menu <i>Surface Report Definition</i>	65
Gambar III.23 Model 3 Dimensi yang Terbentuk Setelah Analisa	66
Gambar III.24 Menu <i>Region Adaption</i>	67
Gambar III.25 Menu <i>Patch</i>	67
Gambar III.26 Menu <i>Automatic Export</i>	68
Gambar III.27 Menu <i>Run Calculation</i>	69
Gambar III.28 Menu <i>Result</i>	69
Gambar IV.1 Desain Model Tangki Secara 3 Dimensi	72
Gambar IV.2 Tangki Uji <i>Bilobe</i>	72
Gambar IV.3 Desain Tatakan tampak Atas	73
Gambar IV.4 Desain Tatakan tampak Depan dan Samping.....	73
Gambar IV.5 Desain alat <i>converter</i> gerak rotasi ke gerak translasi	74
Gambar IV.6 Desain <i>converter</i> gerak rotasi menjadi translasi dalam 3 dimensi	74

Gambar IV.7 Desain Roda dengan Ulir pada <i>Converter</i>	75
Gambar IV.8 Pengaturan Tatakan dan <i>Converter</i>	76
Gambar IV.9 Piston dengan Roda <i>Converter</i>	77
Gambar IV.10 Alat Uji Eksperimen yang Telah Dirakit.....	77
Gambar IV.11 Penambahan Penahan untuk <i>V-belt</i>	78
Gambar IV.12 Proses Bubut dalam Pembuatan Sistem Piston	79
Gambar IV.13 Proses Pengelasan SMAW pada Pembuatan Sistem Piston.....	79
Gambar V.1 Grafik Sinusoidal untuk Percobaan dengan Amplitudo 2 cm.....	83
Gambar V.2 Grafik Sinusoidal untuk Percobaan dengan Amplitudo 3 cm.....	83
Gambar V.3 Grafik Sinusoidal untuk Percobaan dengan Amplitudo 4 cm.....	84
Gambar V.4 Hasil Percobaan pada Amplitudo 2 cm.....	85
Gambar V.5 Hasil Percobaan pada Amplitudo 3 cm.....	85
Gambar V.6 Hasil Percobaan pada Amplitudo 4 cm.....	86
Gambar VI.1Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 10%, t: 1s.....	89
Gambar VI.2 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 10%, t: 2s.....	90
Gambar VI.3 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 10%, t: 3s.....	90
Gambar VI.4 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 10%, t: 4s.....	91
Gambar VI.5 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 10%, t: 5s.....	91
Gambar VI.6 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 10%, t: 6s.....	91
Gambar VI.7 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 10%, t: 7s.....	92
Gambar VI.8 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 10%, t: 8s.....	92
Gambar VI.9 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 50%, t: 1s.....	93
Gambar VI.10 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 50%, t: 2s	93
Gambar VI.11 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 50%, t: 3s	94
Gambar VI.12 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 50%, t: 4s	94
Gambar VI.13 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 50%, t: 5s	95
Gambar VI.14 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 50%, t: 6s	95
Gambar VI.15 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 50%, t: 7s	96
Gambar VI.16 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 50%, t: 8s	96
Gambar VI.17 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 90%, t: 1s	97
Gambar VI.18 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 90%, t: 2s	97
Gambar VI.19 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 90%, t: 3s	98
Gambar VI.20 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 90%, t: 4s	98
Gambar VI.21 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 90%, t: 5s	99
Gambar VI.22 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 90%, t: 6s	99
Gambar VI.23 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 90%, t: 7s	100
Gambar VI.24 Tangki Uji <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> 90%, t: 8s	100
Gambar VI.25 Grid A dengan Jumlah Elemen 1649	102
Gambar VI.26 Hasil Grafik Tekanan Statis pada Jumlah Elemen 1649	103
Gambar VI.27 Grid B dengan Jumlah Elemen 4537.....	103
Gambar VI.28 Hasil Grafik Tekanan Statis pada Jumlah Elemen 4537	104
Gambar VI.29 Grid C dengan Jumlah Elemen 8192.....	104
Gambar VI.30 Hasil Grafik Tekanan Statis pada Jumlah Elemen 8192	105
Gambar VI.31 Grid D dengan Jumlah Elemen 11968	105
Gambar VI.32 Hasil Grafik Tekanan Statis pada Jumlah Elemen 11968	106
Gambar VI.33 Grafik Tekanan Statis Tangki Tanpa <i>Baffle</i> pada <i>Filling Level</i> 10%.....	108
Gambar VI.34 Grafik Tekanan Statis Tangki Tanpa <i>Baffle</i> pada <i>Filling Level</i> 10%.....	109
Gambar VI.35 Grafik Tekanan Statis Tangki Tanpa <i>Baffle</i> pada <i>Filling Level</i> 50%.....	110
Gambar VI.36 Grafik Tekanan Dinamis Tangki Tanpa <i>Baffle</i> pada <i>Filling Level</i> 50%	110

Gambar VI.37 Grafik Tekanan Statis Tangki Tanpa <i>Baffle</i> pada <i>Filling Level</i> 90%.....	111
Gambar VI.38 Grafik Tekanan Dinamis Tangki Tanpa <i>Baffle</i> pada <i>Filling Level</i> 90%	112
Gambar VI.39 Grafik Tekanan Statis Tangki <i>Baffle</i> Atas pada <i>Filling Level</i> 10%	113
Gambar VI.40 Grafik Tekanan Dinamis Tangki <i>Baffle</i> Atas pada <i>Filling Level</i> 10%.....	113
Gambar VI.41 Grafik Tekanan Statis Tangki <i>Baffle</i> Atas pada <i>Filling Level</i> 50%	114
Gambar VI.42 Grafik Tekanan Dinamis Tangki <i>Baffle</i> Atas pada <i>Filling Level</i> 50%.....	115
Gambar VI.43 Grafik Tekanan Statis Tangki <i>Baffle</i> Atas pada <i>Filling Level</i> 90%	116
Gambar VI.44 Grafik Tekanan Dinamis Tangki <i>Baffle</i> Atas pada <i>Filling Level</i> 90%.....	116
Gambar VI.45 Grafik Tekanan Statis Tangki <i>Baffle</i> Bawah pada <i>Filling Level</i> 10%.....	117
Gambar VI.46 Grafik Tekanan Dinamis Tangki <i>Baffle</i> Bawah pada <i>Filling Level</i> 10%	118
Gambar VI.47 Grafik Tekanan Statis Tangki <i>Baffle</i> Bawah pada <i>Filling Level</i> 50%.....	119
Gambar VI.48 Grafik Tekanan Dinamis Tangki <i>Baffle</i> Bawah pada <i>Filling Level</i> 50%	119
Gambar VI.49 Grafik Tekanan Statis Tangki <i>Baffle</i> Bawah pada <i>Filling Level</i> 90%.....	120
Gambar VI.50 Grafik Tekanan Dinamis Tangki <i>Baffle</i> Bawah pada <i>Filling Level</i> 90%	121
Gambar VI.51 Visualisasi Gerakan Air pada Tangki <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> <i>Filling Level</i> 50% <i>Timestep</i> 1000.....	122
Gambar VI.52 Visualisasi Gerakan Air pada Tangki <i>Bilobe</i> dengan <i>Baffle</i> Atas <i>Filling Level</i> 90% <i>Timestep</i> 1000	122
Gambar VI.53 Visualisasi Gerakan Air pada Tangki <i>Bilobe</i> dengan <i>Baffle</i> Bawah <i>Filling</i> <i>Level</i> 50% <i>Timestep</i> 1000.....	122
Gambar VI.54 Hasil Uji Tangki <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> FL 50%, $t = 3s$	123
Gambar VI.55 Hasil Simulasi Tangki <i>Bilobe</i> Tanpa <i>Baffle</i> FL 50%, $t = 3s$	123
Gambar VI.56 Proses Validasi Hasil Simulasi dan Uji Eksperimen.....	124
Gambar VI.57 Perbedaan Gerakan Permukaan Air pada Eksperimen dan CFD	124
Gambar VI.58 Grafik Batang Nilai Tekanan Statis Tiap Model pada <i>Filling Level</i> 10%	127
Gambar VI.59 Grafik Batang Nilai Tekanan Statis Tiap Model pada <i>Filling Level</i> 50%	127
Gambar VI.60 Grafik Batang Nilai Tekanan Statis Tiap Model pada <i>Filling Level</i> 90%	128

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Enam Mode Derajat Kebebasan Gerakan Kapal	30
Tabel III.1 Ukuran Utama Tangki <i>Bilobe</i>	48
Tabel III.2 Data Koordinat RAO Kapal LNG (Ricky, 2015).....	49
Tabel III.3 Data Filling Level terhadap Ketinggian Tangki Model	52
Tabel III.4 Ukuran Utama Tangki <i>Bilobe</i>	54
Tabel III.5 Ukuran Baffle	54
Tabel III.6 <i>Name Selection</i>	59
Tabel IV.1 Perhitungan Panjang Ulir Terhadap Perubahan Derajat	75
Tabel V.1 Perhitungan Amplitudo dan Frekuensi <i>Ecountering</i> terhadap Variasi.....	82
Tabel VI.1 Variasi Grid	102
Tabel VI.2 Hasil Rata -Rata Tekanan Statis pada <i>Longitudinal Bulkhead</i>	106
Tabel VI.3 RMSE terhadap Grid Acuan D.....	107
Tabel VI.4 Spesifikasi Laptop	107
Tabel VI.5 Hasil Tekanan pada Tangki Tanpa <i>Baffle Filling Level</i> 10%	108
Tabel VI.6 Hasil Tekanan pada Tangki Tanpa <i>Baffle Filling Level</i> 50%	109
Tabel VI.7 Hasil Tekanan pada Tangki Tanpa <i>Baffle Filling Level</i> 90%	111
Tabel VI.8 Hasil Tekanan pada Tangki <i>Baffle Atas Filling Level</i> 10%	112
Tabel VI.9 Hasil Tekanan pada Tangki <i>Baffle Atas Filling Level</i> 50%	114
Tabel VI.10 Hasil Tekanan pada Tangki <i>Baffle Atas Filling Level</i> 90%	115
Tabel VI.11 Hasil Tekanan pada Tangki <i>Baffle Bawah Filling Level</i> 10%	117
Tabel VI.12 Hasil Tekanan pada Tangki <i>Baffle Bawah Filling Level</i> 50%	118
Tabel VI.13 Hasil Tekanan pada Tangki <i>Baffle Bawah Filling Level</i> 90%	120
Tabel VI.14 Hasil Validasi Tangki Tanpa <i>Baffle FL</i> 50%, $t = 3s$	125
Tabel VI.15 Perhitungan <i>Error</i> Validasi Tangki Tanpa <i>Baffle FL</i> 50%	125
Tabel VI.16 Nilai <i>Error</i> Validasi Setiap <i>Filling Level</i>	126
Tabel VI.17 Rekap Nilai Rata – Rata Tekanan pada Variasi Model Tangki dan <i>Filling Level</i>	126
Tabel VI.18 Rekap Nilai Maksimum Tekanan pada Variasi Model Tangki dan <i>Filling Level</i>	126
Tabel VI.19 Persentase Selisih Rata – Rata Tekanan Statis.....	128
Tabel VI.20 Persentase Selisih Maksimum Tekanan Statis	129

DAFTAR SIMBOL

Rn	= <i>Reynolds number</i>
ρ	= Massa jenis (kg/m^3)
Z_o	= Gerakan linier kapal (m)
θ_0	= Gerakan angular kapal (rad)
a_0	= Percepatan vertical (m/s^2)
ζ_0	= Amplitude gelombang (m)
I	= inersia
m	= massa kapal
ω_e	= frekuensi gelombang (Hz)
F_x	= Gaya Inersia secara longitudinal
f	= <i>Restoring force</i>
T	= Periode Gelombang
ω	= Frekuensi sudut
ζ	= Amplitudo gelombang
ϕ_a	= Amplitudo <i>rolling</i>
ω_e	= Frekuensi <i>ecountering</i>
ε_2	= Beda fase
I	= Inersia
ε_n	= Sudut fase eksitasi

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Kebutuhan gas alam di tiap negara mengakibatkan dibutuhkan sebuah alat yang dapat mendistribusikan gas alam dalam jumlah besar secara cepat dan efisien. Penggunaan pipa dalam proses distribusi gas alam memiliki kekurangan seperti jarak yang relatif dekat dan jalur yang bersifat tetap, hal ini dikutip dari Zakki (2014). Oleh karena itu salah satu alternatif dalam mendistribusikan gas alam dengan menggunakan sebuah kapal LNG *carriers*. Gas alam yang diangkut dalam kapal *liquified gas carriers* dibagi menjadi dua kategori, yaitu *Liquified Natural Gas* dan *Liquified Petroleum Gas*. Pengangkutan gas alam menggunakan kapal membuat proses distribusi gas alam semakin cepat dan fleksibel walau dalam jumlah besar.

Penggunaan kapal dalam distribusi gas alam tentu memiliki masalah tersendiri. Menurut (Sipayung, 2016) ketika gelombang menerjang kapal dapat menimbulkan gerakan yang mempengaruhi gerakan fluida di dalam tangki. Gerakan fluida pada tangki kapal dapat menyebabkan kerusakan akibat dari tekanan yang ditimbulkan oleh gerakan fluida fenomena ini disebut dengan *sloshing*. Dikutip dari *Liquid Sloshing Dynamic* yang ditulis oleh Raouf A. Ibrahim, fenomena *Sloshing* dapat diartikan sebagai semua gerakan dari permukaan bebas fluida yang berada dalam suatu wadah, hal ini dapat terjadi dikarenakan oleh gangguan pada wadah yang berisi fluida dalam keadaan tidak penuh atau terisi sebagian. Contoh kasus yang terjadi seperti Kapal Polar Alaska yang mengalami kerusakan pada struktur tangkinya akibat dari pengisian muatan sebesar 15 – 20% dari muatan penuh tangki.

Beban atau gaya yang timbul akibat muatan cair yang mengalami *sloshing* pada tangki muat yang tidak penuh dianggap sebagai hal kritis dalam penelitian beberapa tahun terakhir terutama untuk kapal super tanker atau kapal LNG yang memiliki ukuran yang besar. Dengan meningkatnya kebutuhan gas alam serta penggunaan kapal tanker sebagai alat distribusinya permasalahan yang diakibatkan fenomena *sloshing* tidak dapat dipandang sebelah mata. Untuk alasan tersebut perlu dilakukannya analisa *sloshing* untuk mengetahui pergerakan air, khususnya besar tekanan yang terjadi pada dinding tangki serta cara mengurangi ataupun

menghindari kerusakan pada struktur tangki akibat tekanan yang ditimbulkan. Penelitian secara *numeric* untuk fenomena *sloshing* ini telah cukup banyak dilakukan baik berdasarkan jenis tangki seperti *rectangular tank*, *spherical tank* dan *cylindrical tank*, serta penggunaan *baffle* seperti *longitudinal baffle* dan *transversal baffle* untuk mengurangi besar tekanan pada dinding tangki ketika muatan tidak terisi penuh. Tetapi masih sedikit penelitian fenomena *sloshing* menggunakan alat uji eksperimen untuk menggambarkan keadaan yang terjadi pada dinding tangki saat fenomena *sloshing* sedang terjadi.

Maka dari itu saya melakukan sebuah penelitian yang membandingkan hasil analisa *numeric* fenomena *sloshing* pada *independent tank type C* yaitu tangki bilobe dengan hasil yang diperoleh dari alat uji eksperimen dalam keadaan yang sama. Saya membuat alat uji eksperimen yang dapat memenuhi keadaan dari RAO kapal dalam keadaan *pitch* dan *roll* kapal. Saya berharap dengan adanya alat uji ini perkembangan dalam pengujian fenomena *sloshing* dapat berkembang serta dapat menjadi acuan dalam penelitian selanjutnya.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan data yang didapat, maka permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbedaan gerakan permukaan air pada alat uji eksperimen dan analisa CFD akibat pengaruh gerakan *rolling* kapal yang berada di dalam tangki bilobe tanpa *baffle* dengan volume fluida sebesar 10%, 50% dan 90% dari muatan penuh?
2. Bagaimana pengaruh *baffle* terhadap *pressure* pada tangki bilobe dengan atau tanpa menggunakan *baffle* pada volume fluida 10%, 50% dan 90% dari muatan penuh?
3. Bagaimana bentuk desain dan produk alat uji eksperimen yang dapat menggambarkan fenomena *sloshing* yang baik?

I.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang ingin dipecahkan, penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk mengetahui perbedaan pergerakan permukaan air pada alat uji eksperimen dan analisa CFD di dalam tangki bilobe tanpa menggunakan *baffle* pada volume 10%, 50% dan 90% dari muatan penuh.

2. Untuk mengetahui pengaruh *baffle* terhadap besar *pressure* pada tangki bilobe dengan atau tanpa menggunakan *baffle* pada volume 10%, 50% dan 90% muatan.
3. Untuk menghasilkan desain dan produk alat uji eksperimen yang dapat menggambarkan fenomena *sloshing* dengan baik.

I.4. Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah:

1. Penelitian ini hanya membahas tentang desain alat uji eksperimen dan tidak membahas konstruksi atau kekuatan dari alat uji eksperimen tersebut
2. Ketinggian muatan pada ruang muat kapal diasumsikan terisi 10%, 50%, dan 90%.
3. Fluida yang digunakan pada uji eksperimen dan analisis numerik berupa air.
4. Validasi menggunakan alat uji eksperimen hanya dilakukan pada permukaan gerak fluida dalam tangki.
5. Tekanan akibat dari fenomena *sloshing* hanya dihitung menggunakan *software* CFD.

I.5. Manfaat

Manfaat yang akan dicapai dengan dilakukannya penelitian ini diantaranya adalah:

1. Untuk memvalidasi pergerakan air pada tangki bilobe dengan menggunakan alat uji eksperimen.
2. Untuk dapat dijadikan sebagai referensi dalam pengaruh pemasangan *baffle* pada tangki bilobe terhadap tekanan yang ditimbulkan oleh *sloshing*.
3. Untuk dapat dijadikan sebagai referensi dalam mendesain struktur tangki ruang muat.
4. Untuk dapat dijadikan sebagai referensi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan tugas akhir ini.

I.6. Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah yang ingin dipecahkan, dugaan awal pada penelitian ini diantaranya adalah :

1. Pergerakan permukaan air pada tangki bilobe menggunakan uji eksperimen memiliki pergerakan yang sama dengan permukaan air pada analisis numerik menggunakan software.
2. *Pressure* yang timbul pada tangki bilobe tanpa *baffle* akan lebih besar daripada tangki bilobe yang menggunakan *baffle*.

BAB II

STUDI LITERATUR

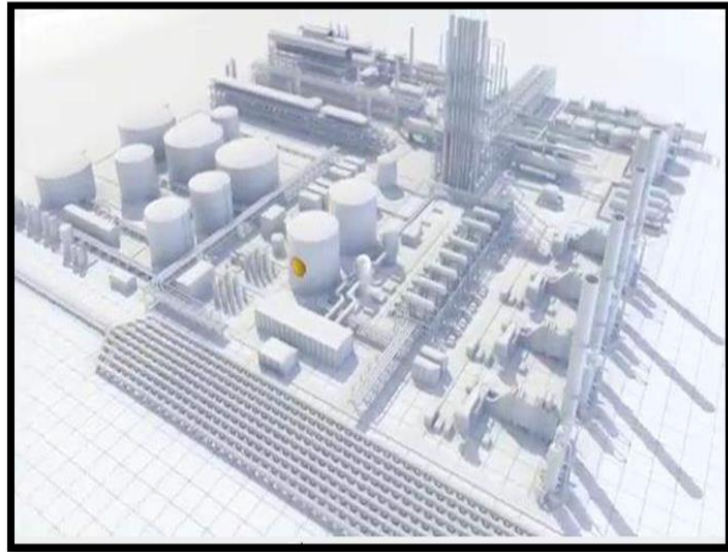
II.1. Karakteristik LNG

Pengangkutan gas alam pada saat ini telah beralih, hal ini dikarenakan banyaknya kekurangan dalam penggunaan pipa untuk distribusi gas alam. Kekurangan penggunaan pipa dalam distribusi gas alam yaitu keterbatasan jarak, keterbatasan gerak, membutuhkan pemeliharaan yang cukup terhadap sistem pipa, kompresor dan lingkungan serta dapat menimbulkan bahaya yang fatal ketika terjadi kebocoran. Oleh karena itu diperlukan sebuah alat yang dapat mendistribusikan gas alam secara aman, efektif dan efisien. Alternatif yang dapat digunakan untuk distribusi gas alam salah satunya menggunakan kapal (Zakki, 2014).

Kapal yang digunakan dalam pengangkutan gas alam dibagi menjadi 2 jenis, yaitu kapal LNG Carrier dan kapal LPG Carrier. LNG dan LPG merupakan sebuah hasil pengolahan gas alam yang mengubah fase dari gas alam tersebut. Pengolahan gas alam menjadi LNG atau *Liquidified Natural Gas* merupakan proses perubahan fase gas alam dari fase gas menjadi cair atau *Liquid* pada suhu -163°C , oleh karena itu *specific volume* dari gas alam yang menjadi fase cair menjadi $1/600$ volumenya ketika dalam fase gas (Zakki, 2014). Perbedaan yang mendasar antara LPG dan LNG adalah kandungan dalam *liquid* tersebut. Untuk kandungan dalam LNG didominasi oleh Metana dan Etana sedangkan untuk LPG didominasi oleh Propana dan Butana. Perubahan fase gas alam menjadi fase cair ini bertujuan untuk memudahkan pengangkutan atau distribusi yang tidak dapat dijangkau menggunakan pipa, dikarenakan distribusi gas alam menggunakan pipa hanya dapat menjangkau jarak yang relatif dekat.

Penggunaan kapal dalam pengangkutan gas alam telah dimulai sejak tahun 1950 yang diawali dengan menggunakan kapal "*Methane Pioneer*". Kapal tersebut merupakan kapal bermuatan LNG pertama di dunia yang memiliki muatan $5,000\text{ m}^3$ dan seiring dengan berkembangnya zaman dibuatlah kapal yang memiliki muatan yang lebih besar sampai dengan muatan $200,000\text{ m}^3$. Kelebihan angkutan laut seperti kapal dalam distribusi gas alam adalah dapat mengangkut gas alam dalam jumlah besar. Hal ini dikarenakan pada saat gas alam berubah fase menjadi cair volume dari gas alam tersebut akan menjadi $1/600$ dari volumenya dalam fase gas. Kelebihan lain dari pengangkutan menggunakan kapal adalah

kapal tidak dibatasi oleh gerakan dan jarak, sehingga dapat dengan mudah dan cepat dalam melakukan distribusi gas alam kepada negara – negara yang membutuhkan.



Gambar II.1 Ilustrasi LNG Plan Production oleh Cell Corp

II.1.1. Viscositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar gesekan di dalam fluida. Untuk kasus dalam penelitian ini fluida yang digunakan adalah air, hal ini dikarenakan kesulitan dalam penggunaan LNG dalam pengujian menggunakan alat uji eksperimen. Viskositas fluida menjadi hal yang perlu diperhatikan pada kasus *sloshing* ketika dalam keadaan amplitudo eksitasi kecil. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan yang dikutip dari Bass *et all* :

“viscous effects are secondary in the scaling of large amplitude non-linear sloshing impact pressures”

Pernyataan tersebut menjelaskan bahwa efek dari viskositas suatu fluida merupakan parameter yang tidak terlalu mempengaruhi pada analisis tekanan untuk kasus non-linear *sloshing* dengan amplitudo besar (Pradana,2019). Oleh karena dalam kasus ini menggunakan kasus *sloshing* dengan amplitude eksitasi besar maka efek dari viskositas dapat ditiadakan.

II.1.2. Filling Level

Karakteristik LNG yang memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi seperti tingkat pendinginan, *flammability*, dan metode penyimpanan LNG mengakibatkan diberlakukan peraturan khusus untuk pengguna dan operator yang terlibat dalam proses transportasi LNG. Contoh dari peraturan khusus tersebut adalah kapal yang digunakan untuk transportasi LNG

diwajibkan untuk memenuhi persyaratan khusus yang mengatur konstruksi dan peralatan. Persyaratan khusus ini diatur di dalam IGC code – International Codes for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gas in Bulk. Salah satu contoh persyaratan khusus yang diatur adalah *filling level* (isi muatan), persyaratan khusus tersebut berisi muatan LNG yang dibawa tidak boleh melebihi 98% muatan penuh tangki. Sedangkan untuk persyaratan khusus untuk insulasi sistem pendingin bahwa ketika *unloading*, *filling level* minimum yang diperbolehkan berkisar antara 10% - 15% dari muatan penuh tangki LNG.

Filling level dalam perhitungan dapat mempengaruhi tekanan statis dan frekuensi natural terhadap fenomena *sloshing*. Hal tersebut juga akan mengakibatkan implikasi pada pemodelan *sloshing* menggunakan CFD, dimana model CFD harus dapat menunjukkan tingkat ketepatan besaran fluida primer pada sistem (Soren, 2014)

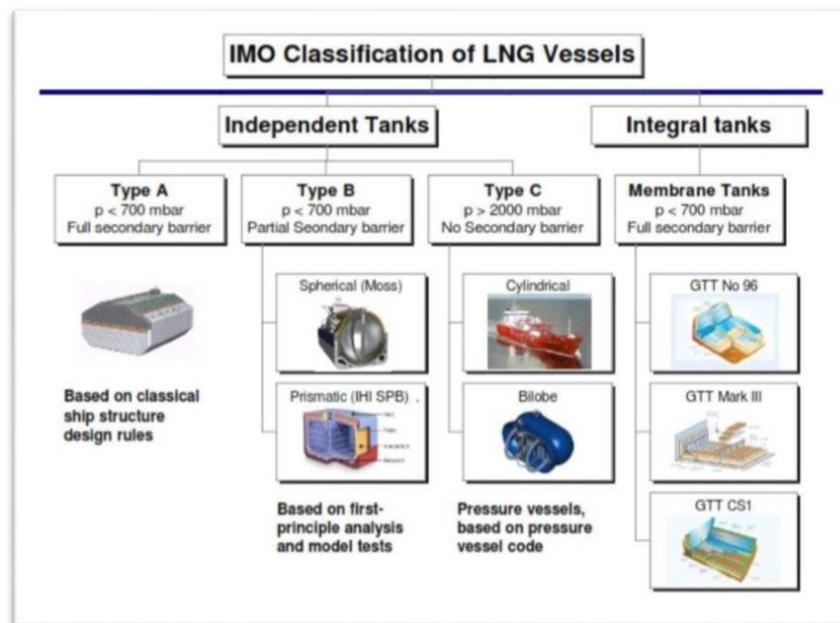
II.2. Klasifikasi Tangki LNG

Perkembangan pasar akibat kebutuhan gas alam di setiap negara membuat perkembangan teknologi dalam dunia perkapalan khususnya untuk teknologi kapal yang mengangkut gas alam. Perkembangan teknologi ini membuat kapal menjadi suatu fasilitas mandiri yang dapat melakukan penerimaan, *processing*, penyimpanan dan *off-loading* di suatu tambang gas di laut. IMO atau *International Maritime Organization* melakukan klasifikasi kepada *gas carriers* berdasarkan kapasitas tangki, proses pengubahan fase gas alam serta tingkat bahaya dari muatan yang dibawa. Klasifikasi berdasarkan bentuk geometri tangki juga menjadi kategori dalam klasifikasi kapal, contohnya seperti *independent tank type C* seperti *bilobe*. Akibat dari kapasitas *bilobe* pada umumnya di bawah 10.000 m³ maka seluruh kapal LNG yang menggunakan tangki jenis ini akan diklasifikasikan dalam kategori *small LNG carriers*. Dikutip dari *IGC Codes-International Codes for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gas in Bulk*, Kapal LNG berdasarkan tangki ruang muatnya dikategorikan seperti berikut ini :

- *Integrated Tanks*
- *Membrane Tanks*
- *Semi-Membrane Tanks*
- *Independent Tanks*

Perbedaan yang mendasar dari ke-empat tangki tersebut adalah konstruksi dari tiap tangki. Untuk *Integrated Tanks*, *Membrane Tanks* dan *Semi-Membrane Tanks* memiliki

konstruksi yang berinteraksi langsung dengan lambung kapal. Hal ini menyebabkan tekanan yang terjadi pada dinding tangki akan tersalurkan kepada lambung kapal di sekitar tangki muat. Berbeda dengan *independent tanks* dikarenakan dinding tangki jenis ini tidak berinteraksi dengan lambung kapal. Sehingga tekanan yang diakibatkan oleh muatan tidak tersalurkan ke dinding lambung kapal, untuk yang disalurkan kepada lambung kapal hanya berat dari muatan saja (Delpizzo, 2014). Berikut ini merupakan bagan klasifikasi kapal LNG oleh IMO yang akan dijelaskan seperti pada gambar II.2 dibawah ini :



Gambar II.2 Klasifikasi Kapal LNG menurut IMO (Delpizzo,2014)

II.2.1. Independent Tank

Independent tank atau yang dikenal dengan tangki ruang muat terpisah merupakan jenis tangki muat yang tidak menyalurkan tekanan akibat muatan sebagai pembebanan pada lambung kapal. *Independent tank* hanya menyalurkan berat tangki dan berat muatan kepada lambung kapal, hal ini dikarenakan tidak ada interaksi langsung antara dinding tangki dengan lambung kapal. Tangki ruang muat terpisah atau *independent tank* dibagi menjadi 3 tipe yaitu:

- *Independent Tank Type A*
- *Independent Tank Type B*
- *Independent Tank Type C*

Dikutip dari Ricky tahun 2015, Tangki Tipe A memiliki karakteristik kekuatan yang paling lemah, dan mewajibkan penggunaan dinding pemisah secara pemenuh. Tangki tipe B memiliki kekuatan yang lebih baik daripada tangki tipe A, dan hanya memerlukan pemakaian

dinding pemisah secara tidak menyeluruh. Tangki Tipe C adalah jenis tangki bertekanan tanpa penggunaan dinding pemisah yang memiliki bentuk *cylindrical* (Delpizzo, 2014).

II.2.2. Baffle

Baffle merupakan sebuah baling – baling atau sekat yang tidak menyeluruh yang berfungsi untuk mengarahkan dan menghalangi aliran. *Baffle* sering digunakan pada tangki industri, *heat exchanger* dan *chemical reactors*. Diketahui bahwa gerakan air pada tangki yang terisi sebagian karena eksitasi eksternal dapat menyebabkan gaya hidrodinamik. Penggunaan *baffle* diharapkan dapat mengurangi tekanan dan gaya yang terjadi. Dalam desain *baffle*, salah satu standar nasional yang dapat digunakan adalah standar Cina GB/T 18564-2001. Desain spesifikasi umum tangki dengan *baffle* untuk tekanan normal dalam transportasi barang fluida berbahaya yang berdasar pada standar tersebut mengikuti pernyataan berikut ini

- *Transverse baffle* harus dapat menahan gaya inersia secara longitudinal dengan perhitungan seperti berikut ini

$$F_x = m \times 2g \quad (\text{II. 1})$$

- Daerah bebas dari *transverse baffle* harus lebih besar 40% dari luas penampang tangki. Untuk tangki dengan volume kurang dari atau sama dengan 25 m^3 , volume antara 2 penampang tangki dimana lokasi *baffle* yang berdekatan harus kurang dari atau sama dengan 3 m^3 ; untuk tangki dengan volume lebih besar dari 25 m^3 , volume antara penampang yang bersebelahan bisa mencapai 7 m^3 .
- Dan untuk *manhole* harus berada di tengah *baffle*, dan bagian atas dan bawah harus dihilangkan agar memungkinkan udara dan cairan dapat mengalir.

(Kolaei, 2014)

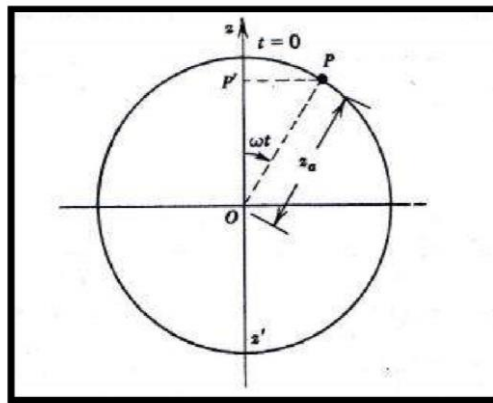
II.3. Teori Gelombang

Gelombang merupakan getaran yang merambat melalui medium tertentu, baik padat maupun cair. Teori gelombang yang paling sederhana adalah gerak harmonis sederhana atau yang dikenal dengan *Simple Harmonic Motion*. Gerak harmonis sederhana adalah gerak bolak – balik secara teratur melalui titik keseimbangannya dengan banyaknya gelombang dalam setiap detik selalu sama atau bernilai konstan. Gaya yang mempengaruhi benda tersebut agar

kembali ke posisi seimbang disebut dengan *restoring force* atau dikenal dengan gaya pengembali. Waktu yang dibutuhkan untuk mengalami satu *cycle* terpendek atau keadaan (posisi dan fase) yang sama pada saat berikutnya disebut dengan periode gerakan. Sedangkan banyaknya *cycle* tiap satuan detik disebut dengan frekuensi. (Bhattacharyya, 1978).

II.3.1. Formulasi Gerak Harmonis Sederhana

Gerak harmonis sederhana merupakan proyeksi dari titik terhadap diameter lingkaran yang melakukan pergerakan mengikuti keliling lingkaran pada kecepatan yang beragam. Atau dalam pengertian lainnya gerak harmonis sederhana merupakan gerak bolak – balik yang terjadi secara teratur melalui titik keseimbangannya dalam keadaan konstan. Hal itu digambarkan seperti gambar II.3 di bawah ini



Gambar II.3 Ilustrasi Gerak Harmonis Sederhana

Seperti yang digambarkan pada gambar di atas, titik P melakukan pergerakan sepanjang keliling lingkaran dengan radius z_a . Jika pergerakan titik P memiliki kecepatan sudut yang konstan sebesar ω radian per satuan waktu, P' adalah hasil dari proyeksi titik P pada diameter lingkaran zz' . Ketika P berputar sepanjang keliling lingkaran, P' bergerak dari z menuju z' dan bergerak terus menuju z lagi. Gerakan titik P' ini merupakan gambaran dari gerak harmonis sederhana, adapun rumus yang digunakan dalam gerak harmonis sederhana seperti berikut ini:

- Jarak titik P' diukur dari $O = OP'$

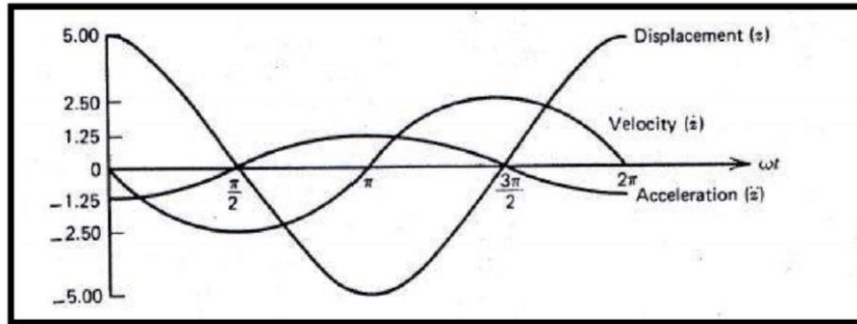
$$Z = Z_a \times \cos \omega t \quad (\text{II. 2})$$

- Kecepatan dari P'

$$\frac{dz}{dt} = -Z_a \times \omega \sin \omega t \quad (\text{II. 3})$$

- Percepatan dari P'

$$\frac{dz^2}{dt^2} = -Z_a \times \omega^2 \cos \omega t \quad (\text{II. 4})$$



Gambar II.4 Karakteristik pada Gerak Harmonis Sederhana

Gambar II.4 di atas merupakan gambaran gerak harmonis sederhana pada garis lurus. Pada gambar tersebut terlihat komponen – komponen seperti *displacement* (Z), *velocity* (Z') dan *acceleration* (Z''). Amplitudo merupakan jarak maksimum Z atau *displacement* kepada pusat lingkaran atau Z_a . Dari gambar di atas didapatkan formula seperti berikut ini :

- *Restoring force*

$$f = cZ \quad (\text{II. 5})$$

- Periode gelombang

$$T = \frac{2\pi Z_a}{\omega Z_a} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{II. 6})$$

- Frekuensi

$$= \frac{1}{T} \quad (\text{II. 7})$$

- Frekuensi sudut

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (\text{II. 8})$$

(Bhattacharyya, 1978)

II.3.2. Gelombang Sinusoidal

Gelombang sinusoidal merupakan gelombang yang terbentuk dari fungsi matematika yang bergerak secara osilasi berulang. Gelombang air yang ideal merupakan sebuah contoh gelombang sinusoidal yang jarang ditemui. Tetapi gelombang ini dapat dilihat dan dibuat pada saat melakukan percobaan dengan menggunakan *water-maker*. Gelombang yang dihasilkan dari *water-maker* dapat memiliki ketinggian amplitude dan waktu yang konstan. Formula yang dapat digunakan dalam menggambarkan gelombang sinusoidal :

- Formula gelombang sinusoidal

$$y(t) = A \times \sin \omega t \quad (\text{II. 9})$$

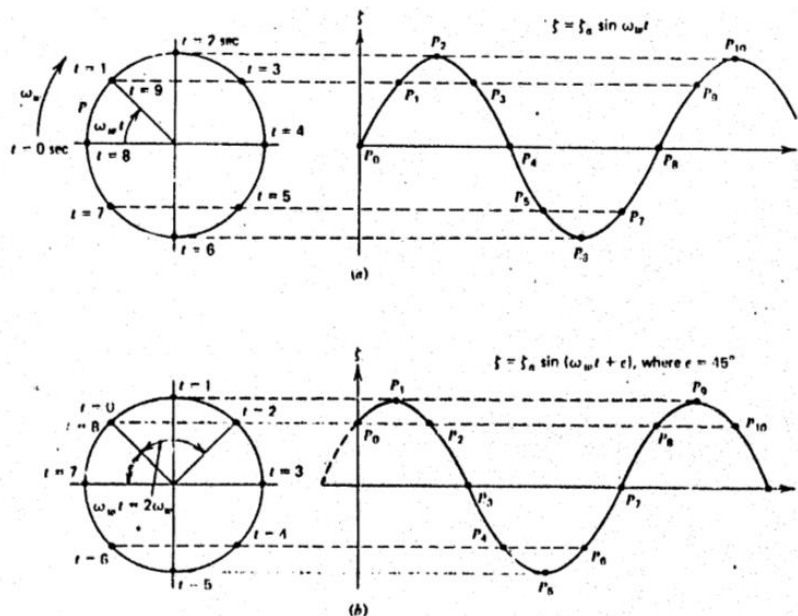
- Formula gerak harmonic sederhana

$$\zeta = \zeta_a \times \sin \omega_w t \quad (\text{II. 10})$$

- Formula gerak harmonic sederhana secara umum

$$\zeta = \zeta_a \times \sin(\omega_w t + \varepsilon) \quad (\text{II. 11})$$

(Bhattacharyya, 1978)



Gambar II.5 Representasi Gelombang Sinusoidal

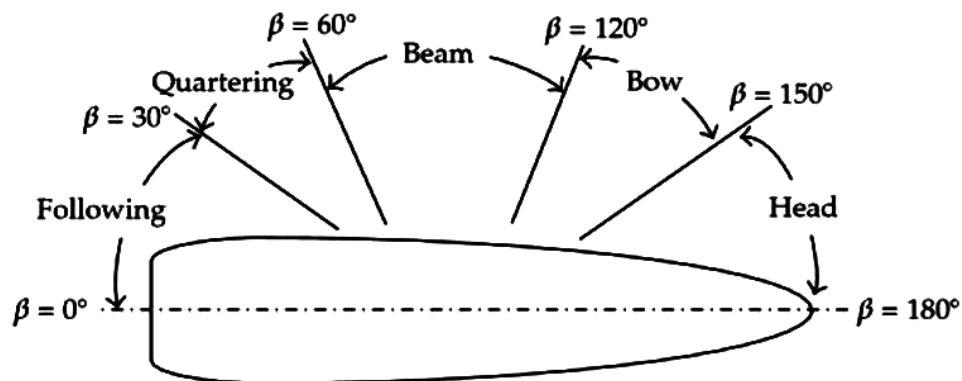
Keterangan dari gmabr II.5 yang menggambarkan gelombang sinusoidal :

- Puncak Gelombang adalah titik pergerakan gelombang saat berada di elevasi tertinggi.

- Lembah Gelombang adalah titik pergerakan gelombang saat berada di elevasi terendah.
- Garis Datum adalah garis datar permukaan gelombang.
- Elevasi Gelombang (ζ) adalah jarak titik pada gelombang dengan garis datum pada waktu tertentu.
- Amplitudo Gelombang (ζ_w) adalah jarak titik terbesar pada permukaan gelombang.
- Panjang Gelombang (λ) adalah jarak dari puncak gelombang ke puncak gelombang berikutnya.
- Kecepatan Gelombang (V) adalah perubahan jarak gelombang dalam per satuan detik.
- Percepatan Gelombang (V') adalah perubahan kecepatan gelombang dalam per satuan detik.
- Frekuensi Gelombang (ω) adalah banyaknya puncak atau lembah gelombang yang dilewati dalam per satuan detik.

II.4. Respon Gerakan Kapal pada Gelombang

Gerakan kapal pada saat di laut dipengaruhi oleh banyak hal contohnya seperti sudut hadap gelombang, frekuensi gelombang dan panjang gelombang. Contoh kasus dari sudut hadap gelombang adalah ketika sudut hadap gelombang yang berlawanan dengan kapal akan cenderung menimbulkan periode yang lebih pendek akibat dari datangnya gelombang yang lebih cepat (frekuensi lebih tinggi). Kasus lainnya ketika sudut hadap dari gelombang searah dengan arah kapal maka akan terjadi periode yang lebih Panjang akibat gerakan yang menjauhi gelombang (frekuensi rendah). Dan periode gelombang yang timbul pada kapal akan bernilai sama dengan periode gelombang laut ketika gelombang datang dari sisi badan kapal.



Gambar II.6 Sudut Hadap Gelombang terhadap Kapal

Gambar II.6 merupakan gambaran dari arah atau sudut hadap gelombang yang mengenai kapal. Terdapat 5 jenis sudut hadap gelombang pada kapal yaitu, *Head sea*, *Bow sea*, *Beam sea*, *Quartering sea* dan *Following sea*. *Head sea* merupakan arah gelombang yang berlawanan dengan arah kapal memiliki sudut diantara 150° - 180° . *Bow sea* adalah arah gelombang yang mengenai sisi samping depan kapal memiliki sudut antara 120° sampai 150° . *Beam sea* merupakan gelombang yang memiliki arah yang mengenai dinding samping badan kapal (60° - 120°). Untuk *quartering sea*, arah gelombang berasal dari dinding samping bagian belakang kapal yang memiliki sudut antara 30° sampai 60° . Dan untuk *following sea* arah gelombang searah dengan arah gerak kapal atau gelombang mengenai dinding bagian belakang kapal dan memiliki sudut antar 0° sampai 30° (Perez & Blanke, 2002).

II.4.1. Gerak Kapal dalam 6-Derajat Kebebasan

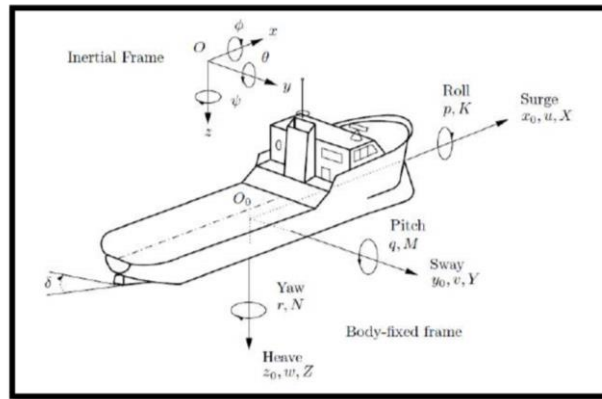
Pergerakan kapal akibat gelombang cukup sulit dianalisa apabila tidak dibagi dalam beberapa bagian, hal ini dikarenakan gerakan kapal yang dihasilkan oleh gelombang laut cukup kompleks. Oleh karena itu gerakan kapal dibagi dalam 2 kategori yaitu menurut komponen geraknya dan menurut sumbu kartesian. Menurut komponen geraknya gerak kapal dibagi menjadi dua yaitu translasi dan rotasi, sedangkan menurut sumbu kartesian dibagi menjadi tiga yaitu sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z. Berikut ini merupakan tabel pembagian gerak kapal dalam 6-derajat kebebasan.

Tabel II.1 Enam Mode Derajat Kebebasan Gerakan Kapal

Nama Gerakan	Model	Sumbu positif	Simbol
<i>Surge</i>	Translasi	Ke- Depan	X
<i>Sway</i>	Translasi	Ke- Starboard	Y
<i>Heave</i>	Translasi	Ke- Atas	Z
<i>Roll</i>	Rotasi	<i>Starboard Down</i>	ϕ
<i>Pitch</i>	Rotasi	<i>Bow up</i>	θ
<i>Yaw</i>	Rotasi	<i>Bow to Port</i>	ψ

Penggambaran gerak kapal akibat gelombang laut masih memerlukan beberapa tahap akibat gerak kapal yang terlalu kompleks, walaupun gerak kapal telah dibagi menjadi 6 komponen. Oleh karena itu diperlukan penyederhanaan terhadap analisis gerak kapal akibat gelombang laut. Langkah – langkah yang perlu dilakukan adalah mengasumsikan gerak kapal sebagai gelombang harmonis sederhana dan terjadi pada *regular waves*. *Regular waves* merupakan bentuk gelombang yang terjadi secara teratur dan konstan baik dalam kecepatan, amplitudo maupun periode. Setelah melakukan analisis di *regular waves*, maka dapat dilanjutkan dengan melakukan analisis pada gelombang acak atau *irregular waves*. *Irregular*

waves merupakan gambaran gelombang sebenarnya pada kondisi kapal berlayar pada daerah tertentu. Sehingga dapat menghasilkan hasil akhir gerak respons kapal dalam gelombang acak atau gelombang sebenarnya (Perez & Blanke, 2002). Gambar II.7 merupakan gerak olah kapal terhadap 6-derajat kebebasan yang diakibatkan oleh gelombang.



Gambar II.7 Notasi Umum dan Konvensi Simbol Deskripsi oleh Gerak Kapal

Pergerakan kapal akibat gelombang laut yang mengalami osilasi alami hanyalah *heaving*, *rolling* dan *pitching*. Ketiga gerakan tersebut terjadi akibat dari gaya dan momen pada gelombang yang mempengaruhi kapal dari posisi keseimbangannya. Perbedaan dengan ketiga jenis gerak lainnya (*surgings*, *swaying* dan *yawing*) adalah pergerakan kapal tidak akan kembali pada posisi keseimbangannya. Walaupun gerak kapal dalam 6 komponen tersebut bergerak dalam satu kesatuan dan pada penelitian hanya dianalisa satu gerakan saja yaitu *rolling* (Perez & Blanke, 2002).

II.4.2. Rolling

Dikutip dari (Bhattacharyya, 1978) *rolling* adalah gerakan angular pada sumbu longitudinal dan bergerak secara memutar dari *starboard* ke *port* kembali lagi *starboard* dan sebaliknya. Menurut (Romadhoni, 2016) *rolling* merupakan gerakan kapal yang mengelilingi sumbu X. Gerakan *rolling* ini terjadi akibat gelombang air laut yang mengenai sisi samping kapal baik bagian depan belakang maupun tengah, dan gerakan ini terjadi secara berulang. Pada Gambar II.7 menunjukkan gerakan kapal pada 6 derajat kebebasan, terlihat pada gambar gerakan *rolling* yang terjadi di kapal pada sumbu X.

$$\phi = \phi_a \sin(\omega_e t - \varepsilon_2) \quad (\text{II. 12})$$

Dimana :

- ϕ = Gelombang *rolling*
- ϕ_a = Gelombang amplitude *rolling*

- ω_e = Frekuensi *ecountering*
- ε_2 = Beda fase

Dan untuk menghitung periode *rolling* kapal (T_ϕ) digunakan rumus seperti berikut ini:

$$T_\phi = \frac{2\pi}{\omega_\phi} \quad (\text{II. 13})$$

(Bhattacharyya, 1978)

II.4.3. Response Amplitude Operator

Response amplitude operator atau yang dikenal dengan RAO adalah suatu fungsi yang menggambarkan respon gerak kapal akibat dari frekuensi gelombang yang disajikan dalam sebuah grafik non-dimensional. Nilai – nilai RAO ini dipengaruhi oleh bentuk geometri dari lambung kapal dan kondisi beban pada kapal yang berdasar pada kecepatan dan arah terhadap datangnya gelombang. RAO diperlukan untuk perhitungan atau Analisa yang bersifat spectral untuk penelitian lebih lanjut. Contohnya adalah penelitian *sloshing*, RAO berperan dalam menggambarkan gerakan yang terjadi pada tangki pada kapal saat berlayar di laut.

Dalam grafik RAO yang terlihat pada gambar 2.8 dijelaskan bahwa pada umumnya grafik RAO disajikan dalam bentuk grafik, dimana absis merupakan parameter frekuensi dan ordinatnya merupakan *amplitude*. Frekuensi yang digunakan dalam grafik RAO ada beberapa jenis seperti frekuensi gelombang insiden (ω), frekuensi gelombang papasan (ω_e) atau frekuensi non-dimensional, hal ini tergantung dari keperluan analisis yang akan dilakukan (Djarmiko, 2012). Berikut ini merupakan formula umum yang digunakan dalam menghitung nilai RAO :

- Untuk gerakan linier (*heaving, sway, surge*)

$$RAO_z = \frac{Z_0}{\zeta_0} \quad (\text{II. 14})$$

- Untuk gerakan angular (*rolling, pitching, yaw*)

$$RAO_z = \frac{\phi_0}{\zeta_0} \quad (\text{II. 15})$$

- Untuk percepatan vertical

$$RAO_z = \frac{a_0}{\omega_e^2 \zeta_0} \quad (\text{II. 16})$$

Dimana

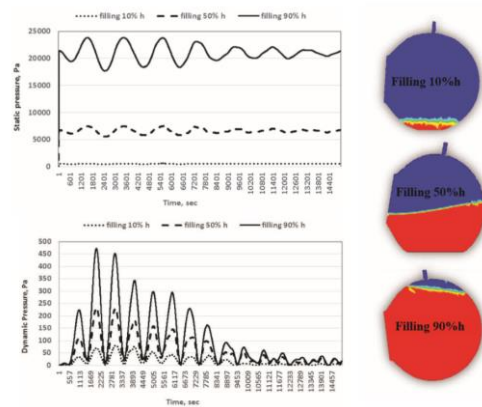
- Z_o = Gerakan linier kapal (m)
- θ_0 = Gerakan angular kapal (rad)
- a_0 = Percepatan vertical (m/s^2)
- ζ_0 = Amplitude gelombang (m)
- k = radius girasi, ($k = \sqrt{\frac{l}{m}}$)
- I = inersia
- m = massa kapal
- ω_e = frekuensi gelombang (Hz)

(Bhattacharyya, 1978)

II.5. *Sloshing*

Dikutip dari Liquid Sloshing Dynamic yang ditulis oleh (Raouf A. Ibrahim, 2005), fenomena Sloshing dapat diartikan sebagai semua gerakan dari permukaan bebas fluida yang berada dalam suatu wadah, hal ini dapat terjadi dikarenakan oleh gangguan pada wadah yang berisi fluida dalam keadaan tidak penuh atau terisi sebagian. Perpindahan fluida akibat dari permukaan bebas fluida yang tidak terisi penuh berkaitan dengan pembebanan pada struktur tangki muat. Pembebanan yang besar akibat perpindahan fluida ini bersifat merusak struktur tangki. Efek terbesar dari kasus *sloshing* sering terjadi pada kapal yang membawa muatan fluida dengan metode pengisian sebagian atau *partially filled*. Tingkat bahaya dari fenomena *sloshing* mengakibatkan perhitungan desain untuk keselamatan kapal mulai mempertimbangkan beban *sloshing* terhadap kekuatan struktur kapal serta stabilitas kapal.

Perhitungan beban akibat fenomena *sloshing* perlu mempertimbangkan karakteristik dari jenis fluida yang dibawa. Hal ini merupakan parameter kunci dalam memperhitungkan beban *sloshing* dalam rumusan model matematika. Selain dari karakteristik jenis fluida, geometri dari bentuk tangki dan pergerakan tangki juga menjadi hal penting dalam proses perhitungan beban atau *pressure* akibat fenomena *sloshing*.



Gambar II.8 Fenomena *Sloshing* pada Tangki *Bilobe*

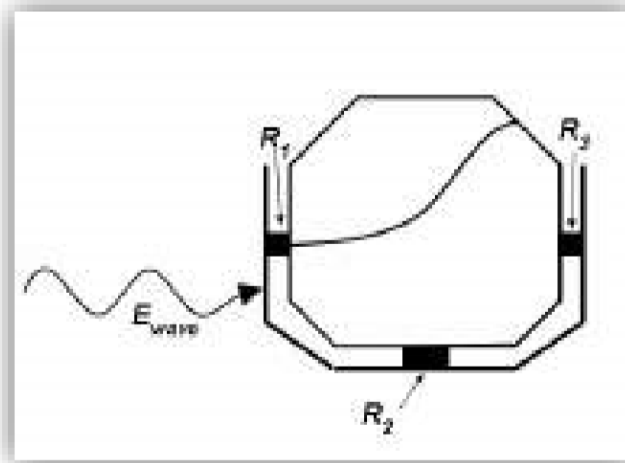
II.5.1. *Sloshing Load Assesment*

Pada saat ini terdapat 3 macam metode yang dapat dilakukan untuk melakukan proses pemecahan masalah beban akibat fenomena *sloshing*. Metode yang paling pertama muncul adalah teori aliran potensial yang memberikan asumsi bahwa eksitasi gerakan yang terjadi kecil. Metode ini memiliki keunggulan dari metode yang lain karena pemodelan permasalahannya yang sederhana, sehingga tekanan, gaya, momen putar tangki, karakteristik tangki, percepatan dan frekuensi *sloshing* dapat dirumuskan. Namun akibat dari pemodelan masalah yang sederhana menyebabkan aliran potensial tidak dapat memberikan hasil yang akurat terhadap gerakan fluida. Asumsi terhadap eksitasi yang kecil juga membatasi validitas hasil dari metode ini. Kelemahan lainnya bentuk membrane tangki yang kompleks tidak dapat dideskripsikan dengan sistem koordinat sederhana. Banyaknya kelemahan dari metode ini memunculkan metode panel (*boundary element*) untuk mendeskripsikan bentuk tangki yang lebih rumit (Dinham, 2008).

Perkembangan zaman turut serta dalam membantu perkembangan pemecahan permasalahan *sloshing*. Teori yang dikembangkan salah satunya teori linear, akibat dari keterbatasan dalam hal pemodelan permasalahan dan ditunjangnya perkembangan teknologi maka muncullah teori non-linear. Teori non-linear dapat memodelkan beban *sloshing* lebih baik dengan eksitasi gerakan yang lebih luas. Perkembangan teknologi juga memunculkan metode pendekatan beban *sloshing* lainnya yang dikenal dengan *computational fluid dynamic* atau disingkat CFD. CFD memiliki kelebihan dalam menganalisa karena dapat memasukan parameter efek viskositas dan kenaikan atau penurunan tekanan dalam bentuk tangki yang bermacam – macam.

II.5.2. Dinamika *Sloshing*

Permasalahan *sloshing* merupakan hal yang memerlukan perhatian secara mendetail terhadap interaksi gerakan cairan dengan geometri tangkinya. Dalam penelitian ditunjukkan bahwa adanya hubungan antara efek *sloshing* dengan efek gerakan tangki akibat gelombang laut. Pada gambar II.8 menunjukkan skema dari fenomena *sloshing*. Kapal yang terkena gaya luar yang diakibatkan eksitasi gelombang (E_{wave}) yang menghantam lambung kapal akan menyebabkan tangki bergerak dan menimbulkan efek *sloshing*. Pada saat kapal LNG berlayar pada perairan dengan gelombang regular, proses perhitungan beban akibat *sloshing* harus dimasukkan pada gaya eksitasi *irregular*. Pada awal perhitungan beban *sloshing* akan timbul beban transien, tetapi pada data beban *steady state* akan mengabaikan beban transien ini.



Gambar II.9 Ilustrasi Skema *Sloshing*

Oleh karena itu, interaksi antara cairan dengan struktur tangki akan diselesaikan secara terpisah atau ditiadakan semuanya. Interaksi antara cairan dan struktur tangki hanya bias diselesaikan dengan metode *computational fluid dynamic* yang dibantu dengan *finite elements*. Tetapi kelemahan dari metode ini adalah memerlukan kemampuan komputer yang canggih akibat dari kebutuhan performa yang tinggi (Ibrahim, 2005).

II.5.3. Eksitasi Gelombang

Metode aliran potensial merupakan salah satu metode yang dapat memberi hasil terbaik untuk eksitasi yang signifikan dari efek *sloshing* dengan gaya dan tekanan yang telah dirumuskan dalam karakteristik gerakan model. Banyak jenis bentuk tangki LNG seperti *rectangular*, *spherical* dan *cylindrical*, untuk tangki *rectangular* atau tangki kotak merupakan representasi yang cukup sebagai contoh tangki LNG sesungguhnya. Aliran potensial

diasumsikan sebagai model fluida, dan analisis dilakukan untuk memperoleh amplitude eksitasi dan frekuensi pada beban *sloshing*.

Pada saat kapal berlayar, eksitasi yang terjadi digambarkan dengan fenomena alam yang bersifat *irregular*. Maka diperlukan analisis fourier untuk mendekomposisikan suatu persamaan kecepatan eksitasi yang bersifat *irregular* $\zeta'(t)$ menjadi komponen *regular* seperti yang ditunjukkan dengan persamaan di bawah ini :

$$\zeta'(t) = \sum_{i=1}^n \zeta_{0n} \omega_n \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \quad (\text{II. 17})$$

Dimana

$$\zeta_{0n} = \sqrt{(2(S_{\zeta}(\omega)))} \quad (\text{II. 18})$$

ζ_{0n} = Amplitudo eksitasi

$$\varepsilon_n = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}} \quad (\text{II. 19})$$

ε_n = Sudut fase eksitasi

(Bhattacharyya, 1978)

II.5.4. Pemodelan *Sloshing*

Permasalahan perilaku permukaan bebas atau *free surface behaviour* dapat diselesaikan dengan 2 metode numerik yaitu:

- *Interface capturing technique*

Metode ini merupakan penyelesaian masalah permukaan bebas dengan menggunakan *volume of fluid*. Metode lainnya menggunakan *level set method*.

- *Smoothed Particle Hydrodynamics*

SPH atau *Smoothed Particle Hydrodynamics* merupakan metode yang digunakan dalam permasalahan komputasi pada fluida yang mengalir. Metode ini juga menggunakan *mesh* bebas metode Lagrangian. Metode Lagrangian merupakan metode yang membuat titik koordinat ikut bergerak dengan fluida. Metode ini dikembangkan

oleh Gingold dan Monaghan. Metode ini juga diperluas cakupannya menggunakan *free surface incompressible flows* yang diperkenalkan oleh (Monaghan, 2005).

II.5.4.1. Volume of Fluid

Metode *volume of fluid* atau dikenal dengan VOF merupakan metode yang dapat memodelkan dua atau lebih fluida yang tidak dapat dicampur. Pada saat menjalankan metode lokasi pertemuan fase ditentukan dengan penambahan definisi komputasi yang didasarkan pada sebaran dari penandaan yang ada pada elemen. Cara ini dianggap tidak konsisten dalam aplikasinya jika hanya menggunakan satu nilai untuk tiap elemen dari *meshing* pada penentuan variable yang mendefinisikan tingkatan fluida. Oleh karena hal ini, dibuatlah metode baru yang bernama *Fractional Volume of Fluid*. Dalam penggunaan metode VOF pada CFD terdapat batasan – Batasan yang perlu diketahui seperti berikut ini :

- *Solver* yang digunakan harus dengan tipe *pressure-based*.
- Volume di dalam model harus berisikan minimal satu atau lebih fase dari suatu fluida. Ketika terdapat volume kosong dalam model maka metode ini tidak dapat berjalan.
- Hanya ada satu fase yang dapat dipilih sebagai *compressible ideal gas*.
- Pada skema eksplisit, formulasi untuk langkah waktu dengan tipe *second order implicit* tidak akan dapat digunakan.

Metode VOF dalam CFD menggunakan waktu sebagai parameternya untuk melakukan komputasi, dan dua atau lebih fluida di dalam model saat dilakukan komputasi tidak akan dapat bercampur. Pada proses penambahan fase dalam metode VOF terdapat *variable* yang harus diperhatikan. Variabel itu adalah kolom komputasi volume pada tiap fase, tiap volume fase dalam model akan dijumlahkan dalam satu kesatuan. Sehingga variabel dan karakteristik yang diberikan pada tiap kolom merupakan gambaran dari salah satu fase maupun campuran fase, tergantung volume yang pecah. Dapat disimpulkan bahwa, jika q^{th} dari kolom volume fluida yang terpecah yaitu dinotasikan sebagai α_q , sehingga dapat diklasifikasikan tiga kondisi yang berpeluang terjadi, yaitu :

- $\alpha_q = 0$:kolom bersifat kosong (pada nilai q^{th} fluida)
- $\alpha_q = 1$:kolom terisi (pada nilai q^{th} fluida)
- $0 < \alpha_q < 1$: kolom bernilai pertemuan antara nilai q^{th} fluida satu dengan fluida lain.

II.5.4.2. Persamaan Navier-Stokes

Pada VOF atau *volume of fluid* digunakan persamaan Navier-Stokes dalam dasar – dasar pergerakan fluida. Persamaan ini merupakan system persamaan diferensial non-linier yang dapat menggambarkan bagaimana fluida mengalir. Metode yang digunakan selama ini dalam menggambarkan pergerakan fluida adalah metode euler yang berisi *Finite Element* (FE) dan *Finite Difference* (FD). Metode Euler ini mengasumsikan bahwa fluida merupakan system yang bergerak secara kontinyu dan menerapkan hukum gerak newton, tetapi metode ini dianggap tidak efektif. Hal ini dikarenakan metode ini tidak dapat mencakupi persamaan Navier-Stokes merupakan persamaan yang kompleks.

Persamaan Navier-Stokes didapat dengan mensubstitusikan hukum ketiga newton ke dalam elemen fluida. Bentuk umum dari persamaan Navier-stokes dituliskan seperti di bawah ini (Gilson,2005) :

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} \right) = - \nabla P + F + \mu \nabla^2 \vec{u} \quad (\text{II. 20})$$

Dimana:

$$\nabla \vec{u} = 0 \quad (\text{II. 21})$$

Persamaan Navier-Stokes dapat digunakan untuk mencari solusi simulasi aliran fluida, tetapi solusi dari persamaan Navier stokes ini hanya dapat dicari dengan metode numerik. Hal ini terjadi karena belum ada pencarian solusi persamaan Navier-Stokes yang menggunakan metode analitik. Pada proses pemecahan masalah pergerakan fluida diperlukan syarat awal dan syarat batas, secara umum untuk syarat awal yang digunakan dapat dituliskan seperti berikut ini ($\rho(t = 0, x, y, z)$, $u^{\rightarrow}(t = 0, x, y, z)$) dan untuk syarat batas terletak pada permukaan fluida.

II.5.5. Pemodelan Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah pola gerakan acak yang secara umum terlihat pada fluida, gas, maupun cairan. Saat ini pemodelan turbulen menjadi salah satu parameter yang banyak diteliti pada permasalahan dinamika fluida. Pemodelan turbulen ini dapat meningkatkan pemikiran terhadap pendekatan awal kondisi batas untuk mendapatkan pola aliran terbaik. Observasi yang dilakukan pada hasil percobaan sebelumnya dapat meningkatkan pemahaman kita tentang pola aliran acak atau turbulen.

Perkembangan pemahaman terhadap proses *chaotic* mengharuskan adanya perbaikan pada definisi tersebut, sehingga munculah konsep *time-averaging*. Suatu komponen acak dari sinyal / gelombang turbulen ketika dirata-rata terhadap waktu memiliki nilai \approx nol. Sehingga rata-rata dari waktu berdasarkan sifat fluida $\Omega(t)$ terhadap rata-rata waktu T adalah :

$$\bar{\Omega} = \frac{1}{T} \int_0^T \Omega(t) dt \quad (\text{II. 22})$$

Sehingga,

$$\Omega(t) = \bar{\Omega} + \Omega'(t) \quad (\text{II. 23})$$

Dengan tingginya kecepatan dari Ω'

$$\overline{\Omega'(t)} = 0 \quad (\text{II. 24})$$

Aplikasi dari tahapan tersebut terhadap rumusan umum Navier-Stokes II.19 sehingga akan menghasilkan Reynolds-Averaged Navier Stokes Equation (RANS).

$$\frac{\partial(\rho \bar{U}_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (\text{II. 25})$$

$$\frac{\partial(\rho \bar{U}_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{U}_i \bar{U}_j + \rho \bar{U}_i' \bar{U}_j') = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (\text{II. 26})$$

Pada model aliran turbulensi digunakan pendekatan yang berkaitan dengan *turbulence stress* terhadap rata-rata alirannya. Terdapat dua variabel yang digunakan dalam menentukan aliran turbulen yaitu k dan ε . Symbol k merupakan energi kinetik turbulensi dan didefinisikan sebagai varian dari fluktuasi kecepatan. Nilai k memiliki dimensi ($L^2.T^{-2}$); misalnya, m^2/s^2 . Symbol ε adalah *eddy dissipation* atau laju fluktuasi yang menghilang, dan memiliki dimensi per satuan waktu ($L^2.T^{-3}$); misalnya, m^2/s^3 (Ansys guide). Dalam penentuan aliran turbulensi ini digunakan skala panjang, skala waktu dan kuantitas dari dimensi seperti viskositas turbulensi. Oleh karena itu model k- ε dapat dikatakan memenuhi kelengkapan matematis.

Dalam model k- ε diperkenalkan dua variabel baru ke dalam sistem persamaan, maka untuk persamaan kontinuitas menjadi :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j) = 0 \quad (\text{II. 27})$$

Dan untuk persamaan momentum menjadi :

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i U_j) = -\frac{\partial p'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_{eff} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] + S_M \quad (\text{II. 28})$$

Dimana :

- S_M = jumlah *body forces*
- μ_{eff} = viskositas efektif untuk turbulensi
- p' = *modified pressure*

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (\text{II. 29})$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (\text{II. 30})$$

- C_μ = k- ε *turbulence model constant* (0.09)

$$p' = p + \frac{2}{3} \rho k + \frac{2}{3} \mu_{eff} \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \quad (\text{II. 31})$$

Model merupakan salah satu cara dalam melakukan pemodelan aliran turbulen yang digunakan dalam komputasi CFD. Pembuatan model ini membutuhkan dua tambahan persamaan perpindahan. Dalam pemodelan turbulensi dengan model k- ε asumsi yang digunakan adalah asumsi Boussinesq, yaitu :

$$v_t = C_\mu \frac{k_t^2}{\varepsilon_t} \quad (\text{II. 32})$$

Dimana

- v_t = viskositas turbulen
- ε_t = energi kinetic turbulen

Model k- ε telah digunakan baik dalam dunia industry maupun dunia Pendidikan dalam jangka waktu yang lama. Model ini juga masih memiliki kekurangan yang perlu diperbaiki. Berikut ini merupakan beberapa kekurangan dalam model k- ε :

- Ketidak-akuratan pada gradien tekanan yang besar.
- Model tidak dapat memodelkan kondisi tanpa koreksi viskositas.
- Kesulitan dalam hal pemodelan akibat tingkat gaya geser yang kompleks
- Identifikasi dari nilai awal pada suatu domain.

Persmasalahan ini dapat diatasi dengan melakukan komputasi permasalahan mulai dari kecepatan nol (Ansys Help).

II.6. Computational Fluid Dynamic (CFD)

CFD adalah merupakan sebuah metode yang dapat melakukan hitung, prediksi dan pendekatan terhadap aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Dalam kehidupan nyata, aliran fluida memiliki jenis dan karakternya masing – masing yang bersifat kompleks, penggunaan CFD dapat membantu melakukan pendekatan sifat -sifat fluida dengan metode numerasi dan persamaan fluida. CFD menggunakan control dimensi, luas dan volume dalam melakukan perhitungan. Prinsip yang diterapkan oleh CFD pada saat melakukan perhitungan adalah membagi daerah yang berisi fluida menjadi beberapa bagian (*meshing*). Bagian yang terbagi merupakan sebuah control perhitungan yang akan dilakukan dalam aplikasi. Kontrol perhitungan ini akan dihitung oleh aplikasi dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan sebelum proses perhitungan dimulai.

CFD merupakan proses perhitungan yang mengkhususkan permasalahan fluida. CFD dapat melakukan perhitungan dengan menerapkan prinsip – prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa dan spesies. Artian sederhana, proses perhitungan *software* CFD menggunakan kontrol – kontrol perhitungan yang ditetapkan maka kontrol perhitungan tersebut akan dilibatkan dalam perhitungan dengan persamaan yang bersangkutan. Persamaan – persamaan yang digunakan hanya akan ikut terlibat ketika parameter yang berhubungan dengan persamaan tersebut dimasukkan ke dalam permasalahan.

Pada proses pemodelan masalah fluida, analisa CFD akan dilakukan dengan bantuan *software* ICEM CFD dan. ICEM CFD digunakan untuk melakukan pembuatan lambung, baik geometri dan *meshing* fluida. Analisa CFD yang akan dilakukan pada pemodelan lambung tangki bilobe adalah analisa *static pressure*, *dynamic pressure* dan visualisasi pergerakan fluida dalam tangki. Program CFD terdiri dari tiga tahap yang terdiri dari Pre-processor, Flow Solver dan Post-processor (Arsad,2012). Berikut ini merupakan penjelasan dari ketiga proses tersebut:

- Pre-processing

Tahap ini merupakan tahap pembuatan dan pengaturan model yang akan dianalisa. Ada beberapa proses dalam mtahap ini yaitu pembuatan model yang dapat dilakukan dengan *software* (contoh: CAD), menerapkan *mesh* dan *boundary condition* dan terakhir menentukan batasan dan parameter yang diperlukan dalam proses analisa.

- Flow Solver (Solving)
Tahap ini merupakan tahap perhitungan dari masalah yang telah ditentukan batasan dan parameter yang digunakan dalam proses pre-processing.
- Post Processing
Tahap ini merupakan tahap dimana hasil analisa akan dikumpulkan dan diinterpretasi untuk menghasilkan kurva, gambar dan animasi.

II.7. CFD ANSYS

Permasalahan fluida yang menggunakan CFD akan dibantu dengan beberapa *software* lain seperti desain modeler (CAD) dan CFD, kedua *software* ini memiliki fungsinya masing – masing. Desain modeler akan digunakan untuk membuat desain tangki yang akan digunakan dalam analisis. Sedangkan Fluent merupakan salah satu jenis program CFD yang menggunakan volume hingga untuk melakukan perhitungan analisa masalah. Program CFD ini juga menyediakan sistem *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan relative mudah.

Jenis *mesh* yang terdapat dalam program CFD memiliki tipe 2D, *quadrilateral*, 3D, *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge* dan *mesh* campuran. Pada proses *mesh* juga dapat memperhalus *meshing* dengan mengatur besar atau kecil ukuran tiap elemen. Sehingga pada proses *mesh* pengaturan akan dapat dilakukan secara fleksibel.

CFD sering digunakan dalam dunia industry dan Pendidikan khususnya untuk mendesain sistem fluida dan menganalisa kegagalan dari suatu sistem fluida. Program ini sering digunakan karena relative mudah untuk digunakan, memiliki model yang realistic, *meshing* yang efisien, cepat dalam penyajian hasil dan hasil dapat divisualisasikan sehingga mudah dimengerti.

Penggunaan analisa CFD dalam pemecahan masalah mengubah persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum dan energi dengan persamaan yang lebih sederhana seperti aljabar. CFD merupakan program yang dapat melakukan pendekatan permasalahan fluida yang bersifat kontinum (jumlah sel takhingga) menjadi model yang diskrit (jumlah sel terhingga). Berikut ini merupakan metode diskritasi, diantaranya adalah :

- Metode beda hingga (*finite difference method*).
- Metode elemen hingga (*finite elements method*).
- Metode volume hingga (*finite volume method*).

- Metode elemen batas (*boundary element method*).
- Metode skema resolusi tinggi (*high resolution scheme method*).

Metode diskritisasi yang akan digunakan pada umumnya dipilih dengan menentukan kestabilan dari program numerik yang akan digunakan. Oleh karena hal itu diperlukan pengetahuan dalam cara mendiskritkan model khususnya cara mengatasi bagian yang kosong atau diskontinyu.

II.8. Grid Independence

Grid Independence merupakan salah satu dasar untuk mengetahui akurasi dari hasil simulasi CFD yang telah dilakukan. Hal ini didefinisikan sebagai proses pemilihan jumlah *grid* yang optimum untuk proses perhitungan dalam analisa CFD. Ukuran dari *grid* akan mempengaruhi hasil dari analisa CFD yang dilakukan, tetapi pemilihan jumlah *grid* ini juga harus dipertimbangkan. Pengaruh dari jumlah *grid* akan membuat hasil analisa CFD menjadi kurang akurat, maka dari itu diperlukan proses untuk mendapatkan jumlah *grid* yang optimum.

Dikutip dari (Jamaluddin dkk), pada saat melakukan pemodelan grid tetrahedral digunakan untuk bentuk *unstructural* yang digunakan untuk *the viscous flow code* untuk komputasi domain dan jenis *grid* quadrilateral dengan *the potential flow code* untuk pemodelan kapal dan permukaan air di sekitar badan kapal. Pemodelan dengan menggunakan *grid un-uniform* akan membuat setiap elemen memiliki ukuran yang berbeda, sedangkan *grid uniform* yang memiliki ukuran yang sama akan membantu untuk mendefinisikan model pada daerah – daerah yang kritis terutama untuk daerah dengan lekukan tajam. Hal ini memiliki hubungan dengan kualitas *grid* yang digunakan untuk konvergensi dan keakuratan perhitungan CFD.

Tingkat kompleksitas yang tinggi pada permasalahan aliran yang dipengaruhi oleh viskositas cairan akibat atribut yang non-linier pada persamaan momentum Navier-stokes dan persamaan energi menyebabkan permasalahan ini harus diselesaikan dengan metode numerik. *Grid* dalam permasalahan ini digunakan untuk menggambarkan permasalahan pada metode CFD yang didasarkan pada teori *finite volume elements*. Sehingga akan banyak bermunculan kualitas *grid* yang baik dan telah banyak bermunculan literatur yang mendukung pemodelan *grid* tersebut. Berikut ini merupakan parameter yang mempengaruhi pemodelan *grid* pada metode CFD :

- *Spacing*

Pembuatan *grid* membutuhkan tingkat kerapatan dalam untuk dapat menghasilkan konservasi dari massa dan momentum. Maka, dengan mengurangi ukuran *grid* mengakibatkan kebutuhan akan kemampuan dan kualitas komputasi yang tinggi. Dan pada kasus tertentu membutuhkan penetapan *time step* yang didasarkan pada ukuran *grid* (*mesh* kecil membutuhkan *time step* yang kecil).

- *Resolution*

Jarak dari *grid* diusahakan dibuat dalam ukuran yang kecil yang dimaksudkan untuk menentukan pola aliran pada seluruh kondisi batas. Pada permasalahan aliran turbulen, posisi *grid* yang paling dekat dengan dinding memiliki pengaruh yang besar terhadap kualitas hasil CFD.

- *Geometry*

Grid dalam proses pemecahan masalah harus dapat memberikan representasi tingkat akurasi dari geometri yang digunakan. Hala ini akan mempengaruhi ketika ada perubahan ukuran *grid* dalam bentuk yang kecil pada permukaan dinding.

II.9. Teori Analisis Tingkat Kesalahan *Meshing*

Pada umumnya permasalahan yang diselesaikan dengan menggunakan CFD dengan metode *grid independence* adalah *pressure*, *force* dan *free surface position*. Penelitian yang pada *grid independence* menggunakan teori Richardson sebagai dasarnya. Diasumsikan bahwa algoritma dari parameter k digunakan pada *grid* dengan ratio penghalusan kolom $r = n_2/n_1$, $r > 1$ atau dapat dituliskan menjadi :

$$I - I_n = C_n \cdot n^{-k} \tag{II. 33}$$

Dimana I merupakan solusi sebenarnya, I_n adalah solusi yang menggunakan titik n dan C_n yang memiliki nilai konstan. Menggantikan nilai n pada pers. II.31 dengan rn memberikan analogi untuk *grid* yang halus dengan :

- Rasio tingkat kehalusan r

$$I - I_{rn} = C_{rn} \cdot (rn)^{-k} \tag{II. 34}$$

Dengan asumsi bahwa

$$I \approx \frac{r^k I_{rn} - I_n}{r^k - 1}$$

(II. 35)

Diberikan nilai ekstrapolasi Richardson's ($I \approx R_{est}$). Dengan tingkat error pada *grid* yang dihaluskan adalah :

$$E_{rn} = |R_{est} - I_{rn}| \quad (II. 36)$$

Kemudian mengganti R_{est} dengan persamaan I tingkat error oleh Richardson adalah :

$$E_{rn} = \left| \frac{I_n - I_{rn}}{r^k - 1} \right| \quad (II. 37)$$

Estimasi error Richardson dapat digunakan pada kuantitas efek global (*force, momentum*), dan dapat juga digunakan dalam efek lokal (*pressure, velocity*). Persamaan algoritma terhadap laju konvergen k yang tidak dapat secara langsung didapat dari proses penyelesaian komputasi. Roache memberikan hasil untuk menetapkan konvergensi pada algoritma menggunakan tiga *grid*, dengan dua rasio penghalusan *grid* r_1 dan r_2 :

$$\frac{\epsilon_{1,2}}{r_1^k - 1} = r_2^k \left[\frac{\epsilon_{2,3}}{r_2^k - 1} \right] \quad (II. 38)$$

Dimana rasio penghalusan $r_1 = n_2/n_1$, $r_2 = n_3/n_2$ dengan r_1 tidak sama dengan r_2 dan k adalah algoritma rata- rata dari konvergen.

$$\epsilon_{i,i+1} = \phi_{i+1} - \phi_i, \quad (II. 39)$$

Dimana nilai $i = 1,2$ untuk aliran global maupun lokal ϕ . Pers. II.38 tidak dapat memberikan solusi secara langsung, sehingga langkah – langkah yang digunakan adalah prosedur iterasi:

$$k = \omega \rho + (1 - \omega) \frac{\ln \beta}{\ln r_2} \quad (II. 40)$$

$$\beta = \frac{r_2^\rho - 1}{r_1^\rho - 1} \left(\frac{\epsilon_{1,2}}{\epsilon_{2,3}} \right) \quad (II. 41)$$

Dimana $\rho = k_{sebelumnya}$ dan $\omega = 0.5$ adalah *relaxation parameter*. Rataan nilai konvergensi k pada algoritma telah ditetapkan dengan nilai $k = 1.87$. Untuk tujuan pada penelitian kali ini persamaan tingkat error (*non-dimensional*) adalah :

$$\epsilon' = \frac{\phi_{current} - \phi_{reference}}{\phi_{reference,max}} \quad (\text{II. 42})$$

Pada estimasi tingkat error Richardson tersebut tidak dapat menggambarkan kuantitas aliran. Rumusan tersebut merupakan nilai signifikan dalam penentuan tingkat kesesuaian terhadap *grid* pada kasus *sloshing*. Rataan, tingkat error berdasarkan perbedaan tekanan pada suatu nilai n dirumuskan sebagai :

$$\bar{\epsilon}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta P_i| \quad (\text{II. 43})$$

Dengan nilai simpangan baku atau kuadrat rata – rata didefinisikan sebagai :

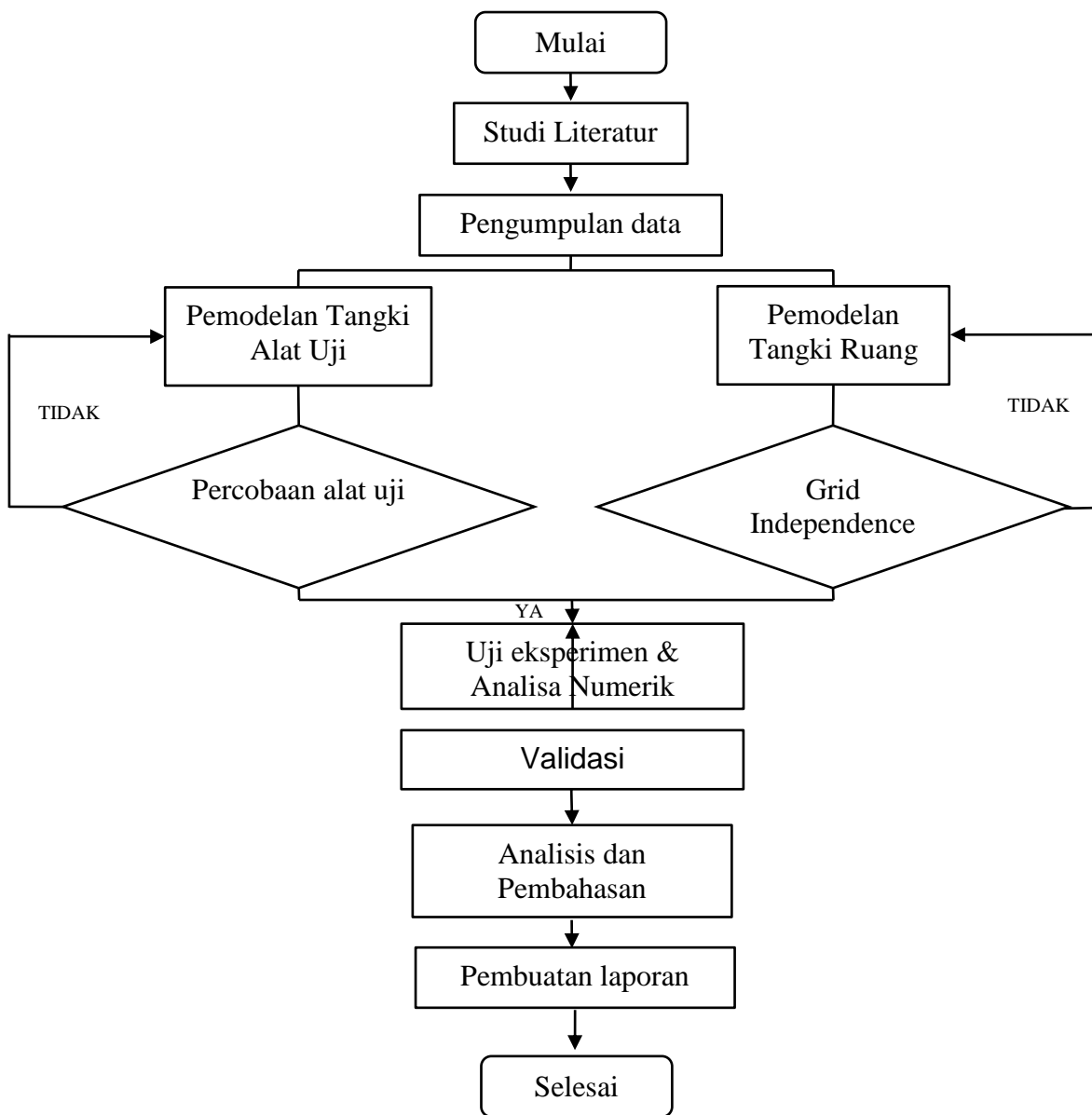
$$\bar{\epsilon}'_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta P_i)^2} \quad (\text{II. 44})$$

Rumusan di atas dapat digunakan untuk memfokuskan pada daerah dengan tingkat error yang besar.

BAB III METODOLOGI

III.1. Tahap Penelitian

Metodologi secara umum yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat dalam gambar III.1 di bawah ini.



Gambar III.1 Metodologi Penelitian

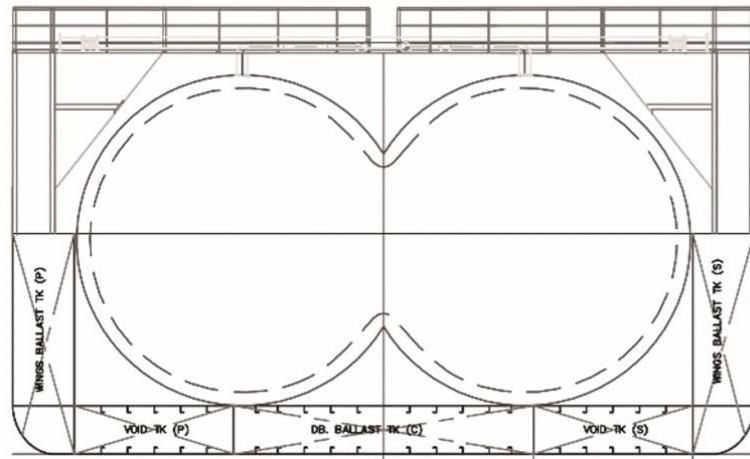
III.2. Studi Literatur

Dalam tahap ini, penulis mencari sumber informasi yang berkaitan dan mendukung penelitian, seperti buku, paper, hasil penelitian, hasil seminar dan lain - lain yang berhubungan terkait gerakan kapal, tangki dan sloshing.

III.3. Pengumpulan Data

III.3.1. Data Spesifikasi Tangki LNG

Data yang didapatkan penulis pada penelitian ini merupakan data penampang melintang dari tangki LNG jenis *bilobe*. Data ukuran utama tangki LNG jenis *bilobe* ini yang didapat akan menjadi acuan yang dipakai pada pemodelan numerik 2D menggunakan *software* desain modeler yaitu CAD. Adapun data dimensi ukuran utama tangki yang didapat dari penelitian sebelumnya terlihat pada tabel III.1 dan dijelaskan pada gambar III.2 di bawah ini (Ricky,2015) :



Gambar III.2 Penampang Melintang Tangki *Bilobe*

Tabel III.1 Ukuran Utama Tangki *Bilobe*

<i>Items</i>	<i>Dimension</i>	<i>Units</i>
<i>Section Area</i>	73.84	[m ²]
<i>Length</i>	17.2	[m]
<i>Volume</i>	1270	[m ³]
<i>Thickness of Insulation</i>	300	[mm]
<i>Tank Half Breadth</i>	6.65	[m]
<i>Tank Height</i>	6.9	[m]

Data karakteristik seperti titik berat dari tangki juga dibutuhkan dalam pemodelan numerik di CAD dan analisa *sloshing* menggunakan CFD. Menurut (Senjanovic, 2008)

tentang analisis struktur pada tangki ruang muat kapal dengan muatan *liquid gasses* beserta pemaparan letak titik berat tangki, baik secara memanjang dan melintang.

III.3.2. RAO Rolling Hasil Eksperimen

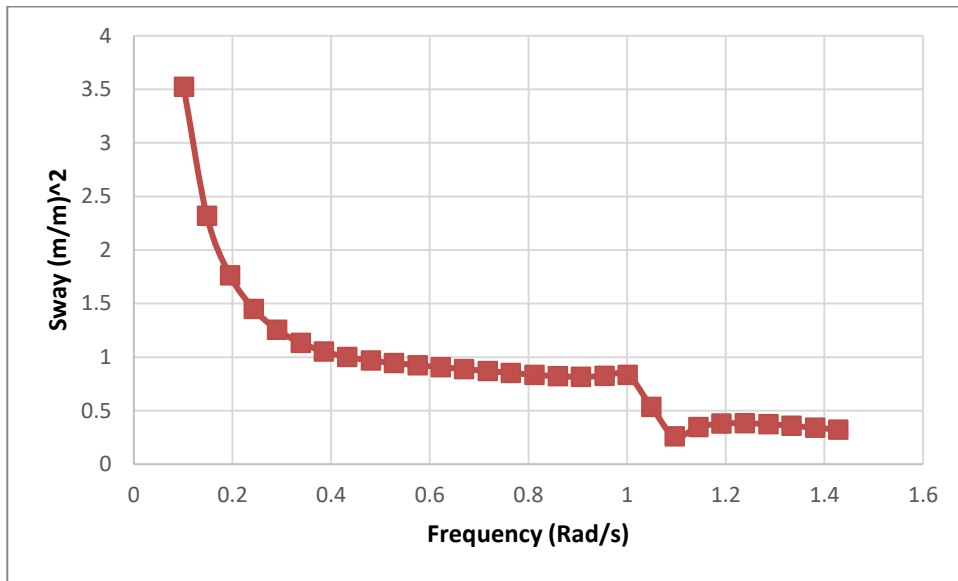
Data RAO yang didapat merupakan data RAO berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ricky pada tahun 2015 yang berupa grafik perbandingan antara frekuensi (rad/s) dengan RAO *sway*, *heave* dan *roll*. RAO diambil pada saat sudut hadap 90°. Untuk memudahkan pengamatan terhadap RAO maka berikut ini merupakan nilai – nilai koordinatnya :

Tabel III.2 Data Koordinat RAO Kapal LNG (Ricky, 2015)

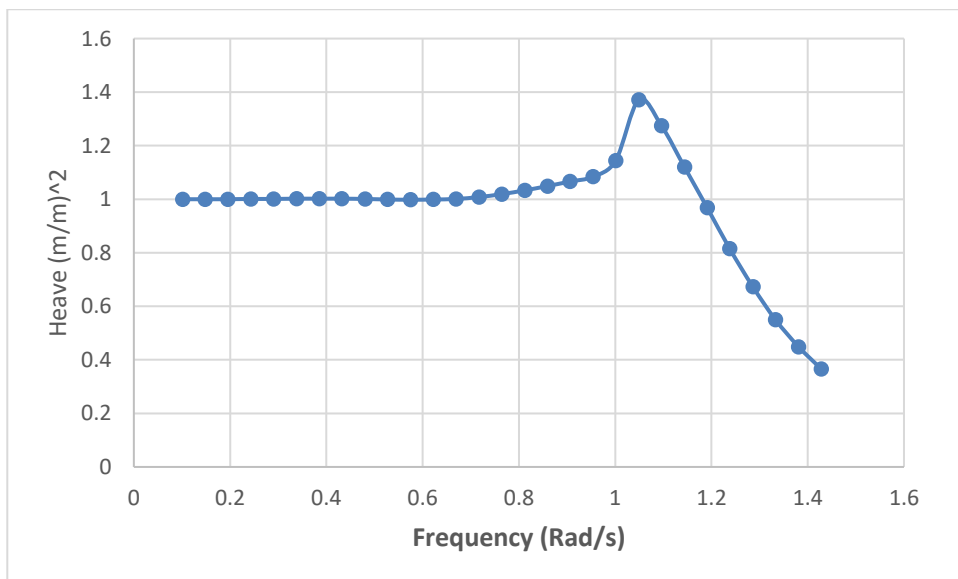
Wave Freq (ω_w)	RAO		
	sway (y_a/ζ_a) ²	heave (z_a/ζ_a) ²	roll (ϕ_a/ζ_a) ²
0.101	3.523	1	0.199
0.148	2.32	1	0.292
0.195	1.763	1	0.395
0.243	1.45	1.001	0.51
0.29	1.257	1.001	0.642
0.338	1.134	1.002	0.798
0.385	1.053	1.002	0.984
0.432	1.001	1.002	1.21
0.48	0.968	1.001	1.482
0.527	0.944	0.999	1.806
0.575	0.924	0.998	2.188
0.622	0.906	0.999	2.642
0.669	0.888	1.001	3.184
0.717	0.87	1.008	3.843
0.764	0.852	1.019	4.675
0.812	0.835	1.033	5.775
0.859	0.822	1.049	7.338
0.906	0.816	1.066	9.788
0.954	0.824	1.084	14.228
1.001	0.835	1.144	23.737
1.049	0.536	1.371	33.617
1.096	0.261	1.275	20.269
1.144	0.347	1.12	12.069
1.191	0.379	0.969	8.16
1.238	0.382	0.815	5.959
1.286	0.373	0.673	4.574
1.333	0.358	0.55	3.635

Wave Freq (ω_w)	RAO		
	sway (y_a/ζ_a) ²	heave (z_a/ζ_a) ²	roll (ϕ_a/ζ_a) ²
1.381	0.341	0.449	2.956
1.428	0.323	0.366	2.43

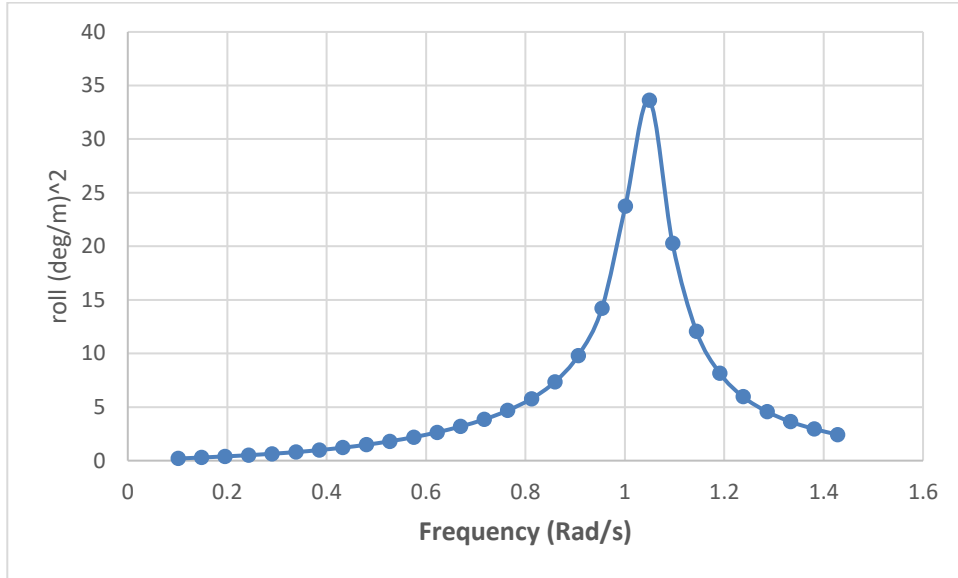
Data RAO atau *Response Amplitude Operator* mengacu pada data hasil RAO kapal LNG pada tugas akhir (Romansyah,2014), yang telah melakukan *seakeeping* untuk kapal dan daerah pelayaran yang sama. Pada Gambar



Gambar III.3 Grafik *Sway* RAO Kapal LNG (Romansyah,2014)



Gambar III.4 Grafik *Heave* RAO Kapal LNG (Romansyah,2014)



Gambar III.5 Grafik *Roll* RAO Kapal LNG (Romansyah,2014)

III.3.3. Perhitungan Gerakan *Rolling* Kapal

Dalam penentuan persamaan sebagai dasar dalam penelitian masalah *sloshing* dibutuhkan data – data seperti amplitudo dan *frekuensi encountering*. Penentuan variabel – variabel yang digunakan dalam pemecahan masalah dilakukan dengan pendekatan matematis. Untuk mendapatkan variabel – variabel dibutuhkan perhitungan menggunakan variabel lainnya, contohnya tinggi gelombang dan RAO. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan dalam menentukan pergerakan model :

$$\phi = \phi_a \sin(\omega_e t - \varepsilon_2) \quad (\text{III. 1})$$

$$RAO = \left(\frac{\phi_a}{\zeta_a} \right)^2 \quad (\text{III. 2})$$

Dalam penentuan amplitudo (ϕ_a) diasumsikan bahwa tinggi gelombang (ζ_a) sebesar 1 meter. Dan RAO yang digunakan dalam perhitungan di bawah merupakan nilai RAO terbesar yang bernilai 33.617 (degree/m)² pada frekuensi gelombang 1.049 rad/s. untuk nilai frekuensi *encountering* (ω_e) dan frekuensi gelombang (ω_w) akan bernilai sama ketika sudut hadap gelombang (μ) sebesar 90°. Maka hasil perhitungan menjadi:

$$\phi_a = \sqrt{RAO} \zeta_a$$

$$\phi_a = \sqrt{33.617} * 1$$

$$\phi_a = 5.798017 \text{ degree}$$

$$\phi_a = 0.101235 \text{ rad}$$

Untuk perhitungan periode rolling kapal (T_ϕ) digunakan formula seperti berikut ini :

$$T_\phi = 2\pi/\omega_\phi$$

$$\omega_\phi = 1.049 \text{ rad/s}$$

$$T_\phi = 5.98s$$

III.3.4. Perhitungan Ketinggian Cairan

Filling Level atau tinggi muatan dari fluida pada penelitian kali ini telah ditentukan dan dituliskan dalam batasan masalah. *Filling level* pada penelitian kali ini menggunakan 10%, 50% dan 90% dari tinggi tangki. Tinggi tangki yang digunakan pada penelitian ini memiliki skala 1:50 dari ukuran asli tangki. Maka untuk ukuran tinggi model yang digunakan dalam penelitian kali ini sebesar 13.8 cm. Data ketinggian fluida pada tabel III.3 akan menjadi acuan dalam proses *region adaption* dari fluida dengan menggunakan *software* CFD. Data tinggi *filling level* pada ukuran tangki model akan dijelaskan pada tabel III.3.

Tabel III.3 Data Filling Level terhadap Ketinggian Tangki Model

<i>Filling Level</i>	Ketinggian Fluida (cm)
10%	1,38
50%	6.9
90%	12.42

III.3.5. Pendefinisian Gerakan *Rolling* pada UDF

Gerakan *rolling* yang terjadi pada fenomena *sloshing* diasumsikan sebagai gerakan sinusoidal pada gelombang regular. Pergerakan dari tangki diturunkan dari persamaan posisi untuk menjadi persamaan kecepatan.

$$\phi_{roll} = \phi_a \sin(\omega t) \tag{III. 3}$$

Dimana :

- ϕ_{roll} = posisi dari tangki (m)
- ϕ_a = amplitude dari *rolling* (m)

Berikut ini merupakan turunan persamaan posisi gelombang *rolling* :

$$\omega_{roll} = d(\phi_{roll})/dt \quad (III. 4)$$

Sehingga :

$$\omega_{roll} = (\phi_a \sin(\omega t))/dt \quad (III. 5)$$

$$\omega_{roll} = \phi_a(\omega) \cos(\omega t) \quad (III. 6)$$

Dimana :

- ω_{roll} = Fungsi kecepatan osilasi dari *rolling*

Persamaan di atas merupakan persamaan yang akan digunakan dalam menggambarkan pemodelan gerakan olah kapal. Pada rumus tersebut nilai Amplitudo (θ_a) sebesar 0.101235 *rad* dan nilai frekuensi *encountering* sebesar 1.049 rad/s.

III.3.6. User Defined Function

UDF atau yang dikenal dengan *User Defined Function* merupakan sebuah fungsi yang mendefinisikan pergerakan dari model yang dibuat. Pada sub-bab sebelumnya telah dibahas tentang formula yang digunakan dalam menggambarkan gerak *rolling* kapal LNG pada gelombang *regular*. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk UDF :

$$\omega_{roll} = \theta_a(\omega) \cos(\omega t) \quad (III. 7)$$

$$\omega_{roll} = 0.101235(1.049) \cos(1.049. t)$$

Persamaan ini akan digunakan dalam program C agar dapat dihubungkan ke dalam *software* CFD. Pada gambar III.6 merupakan gambaran bahasa pemrograman untuk UDF yang digunakan dalam pemodelan CFD dibuat menggunakan Microsoft Visual Studio.

```

1  #include "udf.h"
2  #include "dynamesh_tools.h"
3  DEFINE_CG_MOTION(degree, dt, vel, omega, time, dtime)
4  {
5  omega[2]=0.101235*1.049*cos(1.049*time);
6  }
7

```

Gambar III.6 Format *User Defined Function* yang Digunakan dalam Analisa

III.4. Pemodelan Geometri Tangki

Tahap ini dilakukan pembuatan model geometri tangki menggunakan *software* desain modeler. *Software* desain modeler yang digunakan adalah CAD. Model yang dibuat merupakan model 2 dimensi yang memiliki ukuran 1:50 ukuran aslinya. Tabel III.4 merupakan data ukuran model tangki bilobe yang akan digunakan. Pada Tabel III.5 dijelaskan ukuran dari *baffle* yang digunakan untuk dua model tangki lainnya.

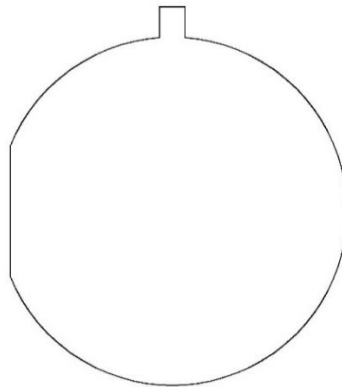
Tabel III.4 Ukuran Utama Tangki Bilobe

Items	Dimension	Unit	Skala 1 : 50	Unit
<i>Section Area</i>	73.84	[m ²]	29536	[mm ²]
<i>Length</i>	17.2	[m]	344	[mm]
<i>Volume</i>	1270	[m ³]	10160000	[mm ³]
<i>Thickness of Insulation</i>	300	[mm]	6	[mm]
<i>Tank Half Breadth</i>	6.65	[m]	133	[mm]
<i>Tank Height</i>	6.9	[m]	138	[mm]

Tabel III.5 Ukuran Baffle

Item	Lebar		Tinggi	
	Asli (m)	Skala (mm)	Asli (m)	Skala (mm)
<i>Baffle bawah</i>	0.2	4	1.725	34.5
<i>Baffle atas</i>	0.2	4	1.725	34.5

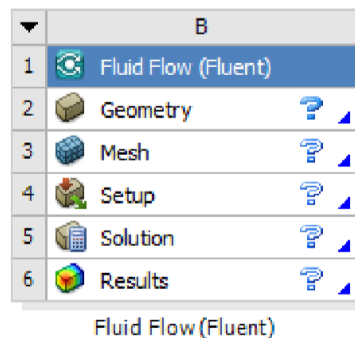
Gambar III.7 merupakan gambar model tangki dengan ukuran skala 1:50 dibandingkan ukuran model tangki sebenarnya. Pada gambar III.7 terdapat 3 buah model tangki yaitu tangki *bilobe* tanpa *baffle*, tangki *bilobe* dengan *baffle bawah* dan tangki *bilobe* dengan *baffle atas*. Gambar III.7 merupakan ilustrasi model tangki yang digunakan untuk simulasi CFD.



Gambar III.7 Model Tangki *Bilobe*

III.5. Simulasi Model Tangki dengan *Software* CFD

Tahap ini merupakan proses analisa kasus *sloshing* dengan model tangki dengan menggunakan *software* CFD. Sebelum melakukan analisa menggunakan CFD diperlukan beberapa tahap untuk mendefinisikan masalah yang akan ditinjau, seperti pembuatan model geometri, pembuatan *grid* dan pengaturan parameter pada kasus yang dianalisa. Pada gambar III.8 dijelaskan tahapan dalam menggunakan program CFD pada.

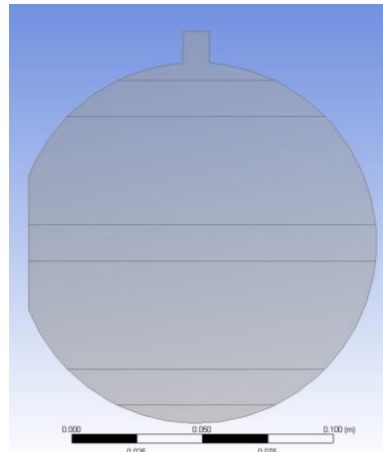


Gambar III.8 Menu Tahapan pada CFD

III.5.1. *Geometry*

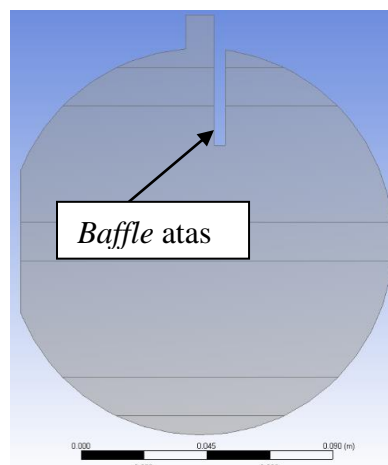
Pada tahap ini akan dibuat model tangki 2 dimensi dengan ukuran 1:50 ukuran asli yang akan digunakan untuk model CFD pada. Model ini dibuat menggunakan *software* desain modeler CAD. Model yang telah dibuat akan di-*export* ke dalam format IGES agar dapat di-import ke dalam *software*. Pada tahap pembuatan model tangki dibuat daerah yang membagi daerah -daerah kritis pada tangki. Daerah kritis pada tangki ditentukan dari keadaan *filling level* dan *boundary condition*. Pembuatan daerah ini dilakukan untuk meningkatkan akurasi hasil agar dapat menggambarkan fenomena *sloshing* pada keadaan sebenarnya. Gambar III.9 Menunjukkan bentuk geometri dari tangki *bilobe* tanpa *baffle* yang akan dianalisa

menggunakan *software*. Terdapat 3 jenis tangki yaitu tangki *bilobe* tanpa *baffle*, *baffle* bawah dan *baffle* atas. Peletakan *baffle* bawah terletak pada bagian tengah tangki di bagian bawah, sedangkan untuk *baffle* atas berada di sebelah kanan saluran untuk tangki. Tinggi *baffle* yang digunakan memiliki ukuran $\frac{1}{4}$ diameter lingkaran yang bernilai 34.5 mm dengan tebal 4 mm pada ukuran model. Ukuran *baffle* yang digunakan diambil dari referensi *paper* (Sajid Ali dkk, 2017).

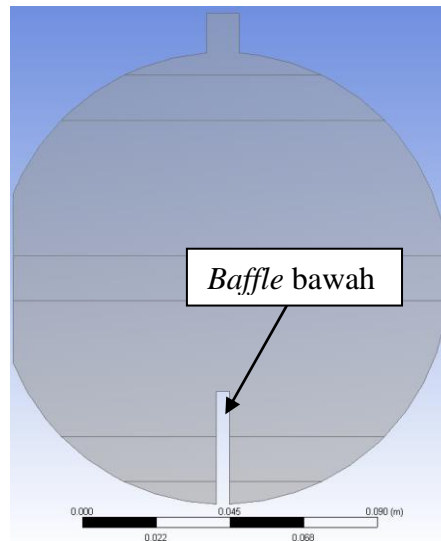


Gambar III.9 Model Tangki *Bilobe* Tanpa *Baffle* dalam Menu *Geometry*

Gambar model tangki untuk tangki *baffle* bawah dan *baffle* atas akan digambarkan lebih jelas pada Gambar III.10 dan III.11. Pada gambar model tangki dengan *baffle* terdapat 1 buah *baffle* dengan ukuran tinggi $\frac{1}{4}$ diameter lingkaran dan tebal 200 mm untuk ukuran tangki asli. Penempatan *baffle* diletakan pada bagian tengah model tangki yang dibuat, tetapi untuk model tangki dengan *baffle* atas penempatan *baffle* diletakan di sebelah kanan saluran fluida. Hal ini dilakukan agar tidak mengganggu proses *loading* fluida dan memudahkan dalam proses pemodelan untuk analisis CFD.



Gambar III.10 Model Tangki *Bilobe* dengan *Baffle* Atas

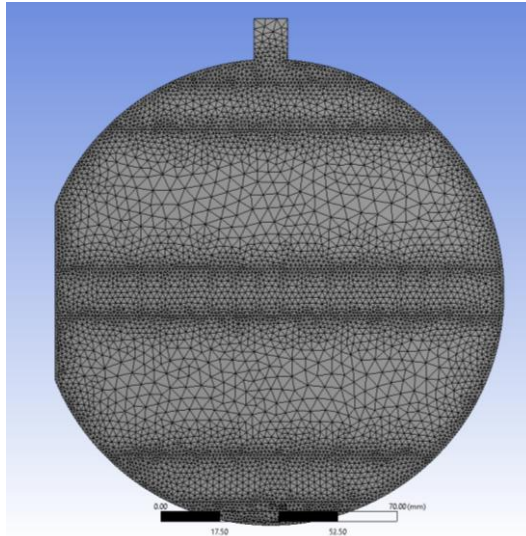


Gambar III.11 Model Tangki *Bilobe* dengan *Baffle* Bawah

Proses simulasi dengan menggunakan CFD- menerapkan 2 metode yaitu *free surface* dan tanpa *free surface*. Simulasi dengan metode *free surface* dapat menerapkan kondisi fluida lebih dari satu (contohnya air dan udara), sedangkan untuk tanpa *free surface* hanya dapat menerapkan satu fluida saja. Pada penelitian kali ini akan digunakan metode *free surface* karena menggunakan 2 jenis fluida yaitu air dan udara.

III.5.2. *Meshing*

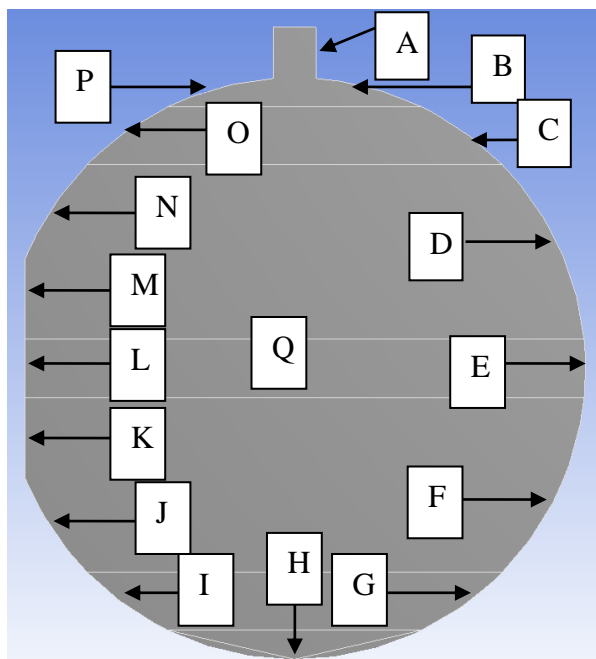
Pada proses analisa CFD, tahap *meshing* perlu dilakukan pada domain yang dibuat untuk menggambarkan keadaan fenomena *sloshing* pada daerah tersebut. Tahap *meshing* juga dilakukan proses *refinement*. Proses ini merupakan proses memperkecil dan memperbaiki *mesh* pada model untuk mendapatkan hasil yang akurat, tetapi semakin kecil ukuran *mesh* semakin berat proses komputasi yang dilakukan untuk memecahkan permasalahan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan proses *meshing* yang tepat untuk memperingan komputasi yang dilakukan oleh komputer. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk memperingan proses komputasi dengan menggunakan metode *multizone*. Metode ini membagi daerah kritis pada model agar dapat menghasilkan hasil yang akurat dengan kerja komputasi yang lebih ringan. Daerah kritis pada model ini dibuat pada daerah permukaan fluida di dekat *filling level* dan daerah fluida yang mengenai dinding tangki. Gambar III.12 memperlihatkan bentuk *meshing* yang diterapkan pada model tangki *bilobe* tanpa *baffle*.



Gambar III.12 *Meshing* pada Tangki *Bilobe* Tanpa *Baffle*

Gambar III.12 memperlihatkan *mesh* pada dinding tangki dan daerah *filling level* (10%, 50% dan 90%) memiliki ukuran yang rapat dan pada daerah lainnya memiliki ukuran elemen yang lebih renggang. Proses *meshing* pada model tangki yang digunakan menggunakan 2 metode yaitu *edge sizing* dan *method meshing*. Metode *edge sizing* dapat mengatur ukuran *mesh* pada rusuk – rusuk model yang digunakan agar mudah diatur. Pengaturan metode ini dapat dengan mudah diatur menggunakan *element size* dan *number of divisions*. Pemilihan kedua metode tersebut tergantung dari kebutuhan desain *mesh* yang akan dibuat. *Method meshing* merupakan *mesh* yang dapat menyesuaikan keadaan geometri model. Untuk penelitian kali ini digunakan *face meshing* karena model yang dibuat hanya berbentuk 2 dimensi. Dan untuk bentuk elemen yang digunakan adalah segitiga, untuk bentuk atau jenis elemen yang ada telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya. Untuk ukuran *mesh* tidak dibahas dalam sub-bab ini, akan dibahas dalam sub-bab *grid independence*.

Setelah pembuatan *meshing* selesai, maka diperlukan proses pembuatan *boundary condition*. Pada proses ini identifikasi dilakukan untuk menentukan *pressure outlet*, *wall* dan *symm*. Pembagian ini bertujuan untuk membagi daerah tinjauan untuk perhitungan *pressure* pada proses analisa CFD. Gambar III.13 memperlihatkan *name selection* pada model yang digunakan dalam analisa. Dan tabel III.6 merupakan penjelasan dari symbol yang menunjukkan daerah tinjauan pada gambar III.13.



Gambar III.13 Name Selection pada Tangki Bilobe Tanpa Baffle

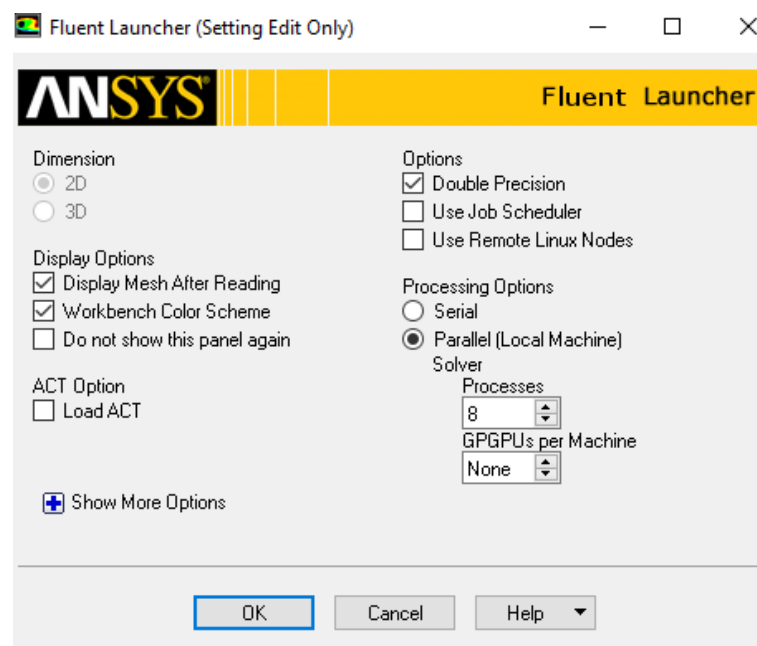
Tabel III.6 Name Selection

Symbol	Name Selection
A	<i>Pressure outlet</i>
B	<i>Left wall 1</i>
C	<i>Left wall 2</i>
D	<i>Left wall 3</i>
E	<i>Left wall 4</i>
F	<i>Left wall 5</i>
G	<i>Left wall 6</i>
H	<i>Left wall 7</i>
I	<i>Left wall 8</i>
J	<i>Left wall 9</i>
K	<i>Longitudinal bulkhead 1</i>
L	<i>Longitudinal bulkhead 2</i>
M	<i>Longitudinal bulkhead 3</i>
N	<i>Right wall 1</i>
O	<i>Right wall 2</i>
P	<i>Right wall 3</i>
Q	<i>symm</i>

III.5.3. Set Up

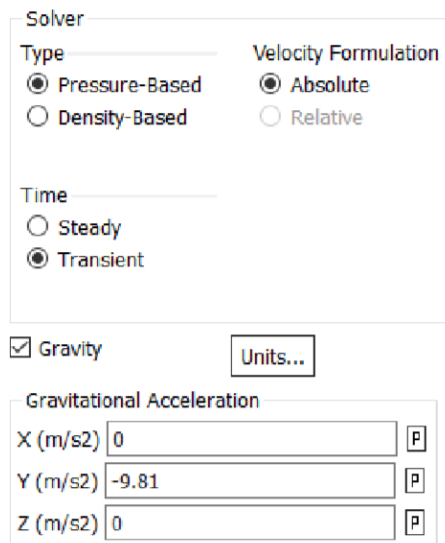
Pada tahap dilakukan penentuan parameter yang akan digunakan dalam proses komputasi. Pada gambar III.14 diperlihatkan menu CFD Launcher. Pada menu ini dilakukan penetapan proses komputasi dan juga jumlah *processor* digunakan. Penelitian kali ini menggunakan menu *double precision* untuk meningkatkan hasil analisis agar lebih presisi.

Aliran yang fluida dihitung akan dikalkulasi pada aliran maju dan mundur. Aliran akan dihitung dari *cell* pertama hingga terakhir, serta komputasi tidak akan terjadi *error* apabila memiliki hasil yang sama dengan *time step* sebelumnya. Dan pada menu pemilihan kerja *processor* dipilih opsi *parallel*. Pemilihan ini dilakukan untuk menetapkan kinerja dari *processor* untuk bekerja secara *parallel* dengan menggunakan jumlah *core* yang telah ditentukan. Arti dari kerja *parallel* adalah perhitungan dari aliran fluida akan dihitung pada setiap *processor* dan hasilnya akan digabungkan untuk didapatkan perhitungan yang menyeluruh. Pada penelitian ini digunakan 8 *core*, hal ini dilakukan agar *processor* tidak bekerja terlalu berat dan tetap dapat bekerja *multi-tasking*.



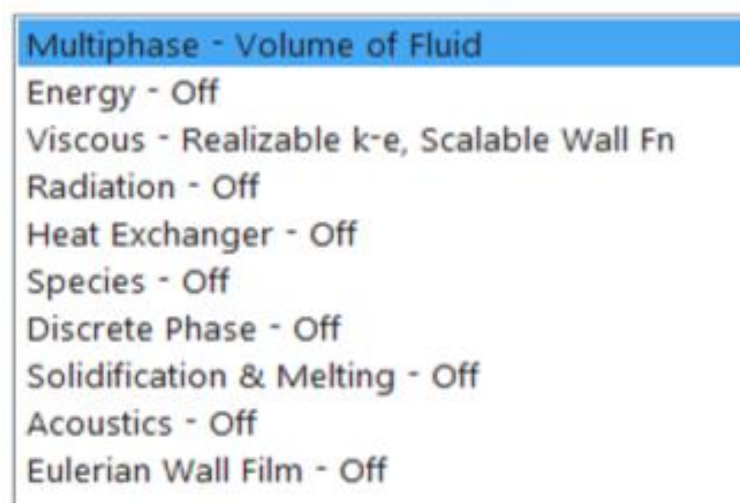
Gambar III.14 Menu CFD Launcher

Pada pengaturan selanjutnya, pada gambar III.15 terdapat menu *general* dengan pemilihan menu *solver*. Pada menu ini akan dipilih tipe *pressure based* karena aliran yang terjadi memiliki massa jenis yang tetap, hanya tekanan pada domain yang nilainya berubah – ubah. Persamaan yang digunakan dalam proses ini adalah persamaan Navier-Stokes. Pada bagian opsi waktu dipilih *tansient* karena analisa yang dilakukan berdasarkan fungsi waktu yang ditentukan. Dan untuk nilai gravitasi diisi dengan -9.81m/s^2 (tanda negatif menandakan arah gravitasi).

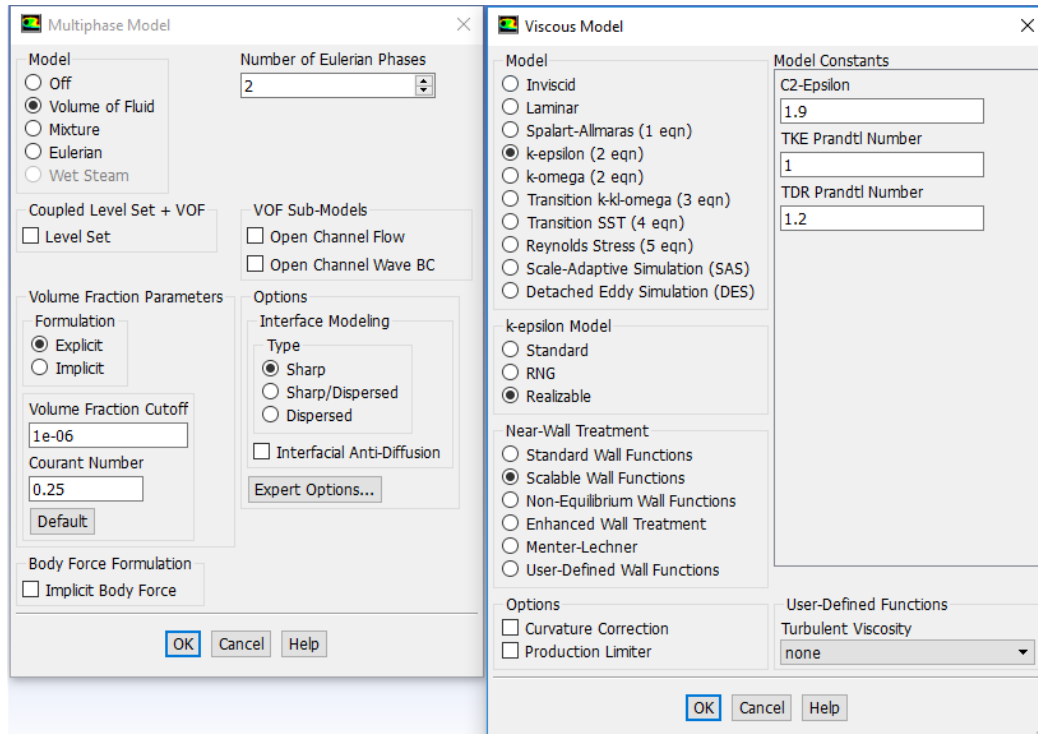


Gambar III.15 Set Up General

Pada Gambar III.16 menunjukkan menu models pada *software* CFD, menu ini merupakan menu yang menggambarkan keadaan yang akan diterapkan dalam analisa masalah. Pada gambar III.17 terlihat menu *multiphase*, menu ini digunakan untuk memilih metode *volume of fluid*. Pemilihan metode dilakukan karena fluida yang digunakan pada penelitian ini lebih dari satu jenis yaitu air dan udara. Pada bagian *interface modelling* dipilih *sharp* karena pada bagian pertemuan fluida, kedua bagian tersebut tidak tercampur. Bagian model perlu dilakukan definisi terhadap karakteristik fluida. Model yang digunakan dalam permasalahan ini adalah jenis *multiphase* sedangkan viskositas yang dipilih adalah menggunakan model k-epsilon.

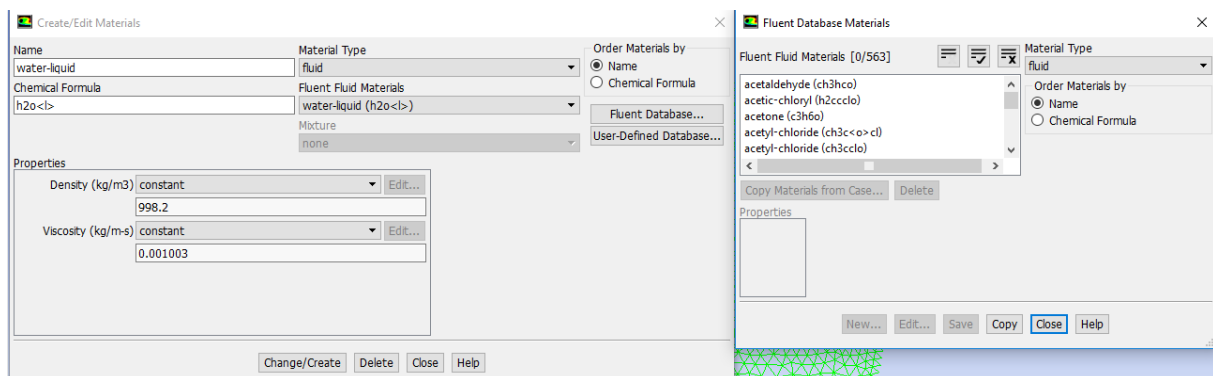


Gambar III.16 Set Up Model

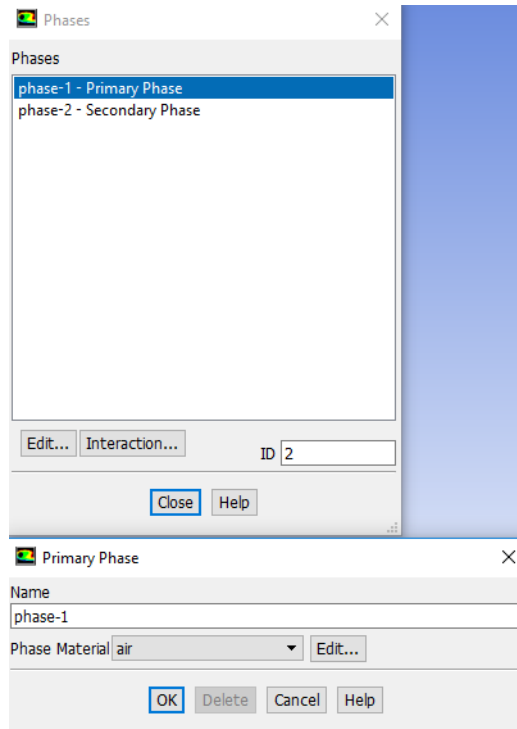


Gambar III.17 Set Up Multiphase dan Viscous

Pada gambar III.18 terlihat menu material pada *software* CFD. Pada menu ini terdapat menu yang dapat menambahkan material atau bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Dalam tahap ini ditambahkan material fluida air, karena yang digunakan dalam penelitian ini adalah air dan juga udara. Untuk udara tidak perlu ditambahkan karena sudah otomatis ada dalam menu tersebut. Dalam pemilihan material, material yang dipilih akan memiliki data karakteristik material tersebut seperti *density* dan viskositas. Sehingga ketika kita memasukan material baru dalam analisa, secara otomatis karakteristik material tersebut akan menjadi paramter dalam analisa yang dilakukan. Pada gambar III.19 merupakan proses identifikasi *phase* yang akan diterapkan dalam analisa. Untuk *primary phase* dipilih udara dan untuk *secondary phase* dipilih air.

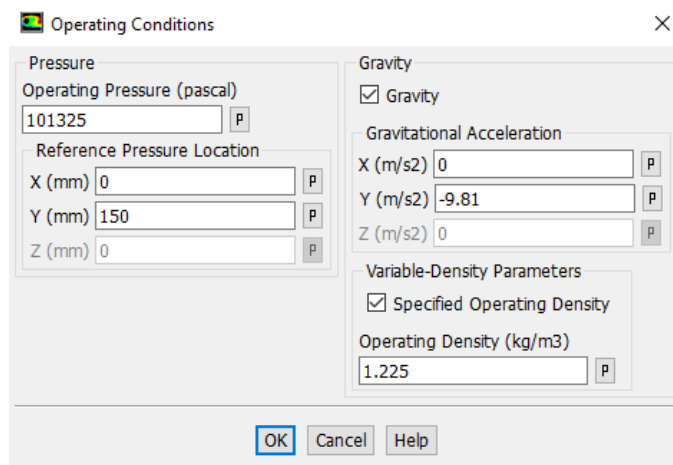


Gambar III.18 Set Up Materials



Gambar III.19 Pengaturan *Phases* pada Model Tangki

Pada menu *cell zone condition*, menu *operating condition* perlu didefinisikan. Hal ini dilakukan untuk menentukan kondisi batas dari domain fluida. Pada *pop up* tersebut perlu dimasukan letak dari tekanan atau *reference pressure location*. Peletakan *pressure location* menggunakan sistem koordinat, nilai yang di-inputkan dalam menu tersebut adalah $x = 0$ mm dan $y = 150$ mm. Letak tersebut merupakan posisi tertinggi dari tabung. Tekanan yang terjadi pada atas tangki didefinisikan sama dengan tekanan atmosfer. Dan untuk menu gravitasi di-inputkan nilai -9.81 m/s^2 ke arah sumbu y . Sedangkan *operating density* akan secara otomatis memiliki nilai bila opsi tersebut dicentang. Gambar III.20 menunjukkan menu *operating conditions*.

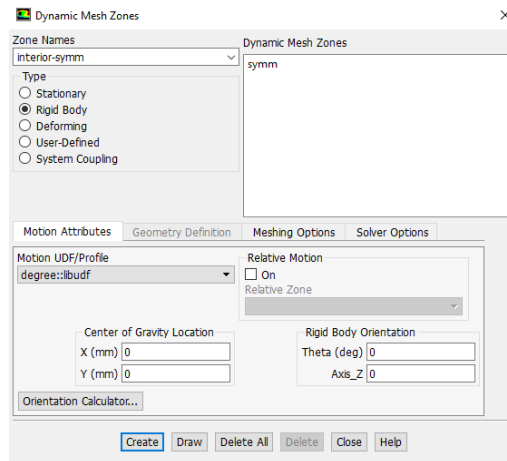


Gambar III.20 Menu *Operating Conditions*

Pergerakan model tangki yang telah dibuat dalam CFD membutuhkan persamaan yang telah dibuat menggunakan persamaan kecepatan *rolling* (pers. III.7) pada subbab III.3.6., tetapi untuk memasukan persamaan tersebut perlu dilakukan integrasi antara UDF dengan program CFD. UDF merupakan sebuah fungsi dalam bentuk bahasa C yang berfungsi untuk menginputkan pers. III.7 ke dalam program CFD. Fungsi yang diintegrasikan dengan CFD dapat menggerakkan domain fluida. Pergerakan yang terbentuk dari fungsi sinusoidal, karena pergerakan tangki yang terjadi pada saat *rolling* merupakan gerak sinusoidal rotasi bolak – balik yang bergantung pada waktu.

UDF yang dibuat untuk representasi gerak model dibuat dengan menggunakan *compiler* (Microsoft Visual Studio 2017). *Compiler* memiliki fungsi untuk mengkomunikasikan UDF dengan CFD. *File* yang digunakan untuk UDF memiliki format .cpp atau .c, UDF ini dapat dibuat menggunakan Notepad yang disimpan sebagai program C. Setelah pembuatan UDF, langkah selanjutnya adalah memanggil *file* tersebut ke dalam CFD. Pemanggilan UDF dapat dilakukan dengan memilih menu *function* → *compiled* pada *taskbar user defined*, menu *compiled UDFs* akan muncul setelah proses dilakukan. UDF dapat dipanggil dengan cara menekan pilihan add → pilih folder → ok → build. Apabila tidak terdapat keterangan error pada *console*, maka UDF berhasil dipanggil.

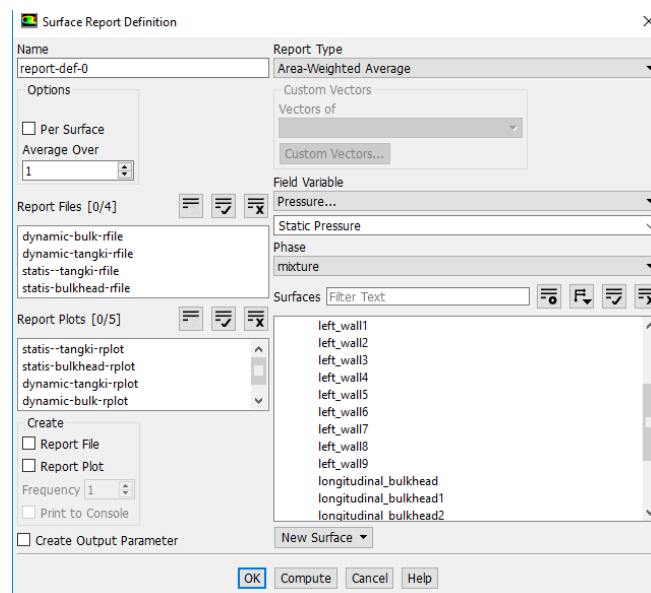
Pada tahap pemanggilan UDF juga diperlukan pengaturan pergerakan tangki yang dilakukan pada menu *dynamic mesh*. *Dynamic mesh* merupakan sebuah metode untuk merubah posisi ataupun bentuk *meshing* berdasarkan fungsi waktu. *Meshing* pada model tangki didefinisikan sebagai *rigid body*. Dan pada pengaturan UDF diperlukan penentuan titik pusat pergerakan model, titik pusat pergerakan model pada penelitian ini berada pada koordinat $(x,y) = (0,-30)$. Pada menu *dynamic mesh* terdapat beberapa metode yang diantaranya adalah *smoothing*, *layering* dan *remeshing*. Penelitian *sloshing* ini menggunakan metode *smoothing* dan *layering*. Metode *smoothing* merupakan metode yang melakukan pergerakan *mesh* tanpa mengubah jumlah konektivitas dan jumlah elemen pada domain fluida, sedangkan metode *layering* adalah metode perubahan *mesh* dengan mendefinisikan kembali *meshing* dengan cara mengubah dimensi tinggi tiap elemen berdasarkan lokasi setiap elemen tersebut. Penelitian ini tidak menggunakan metode *remeshing*, karena metode ini merupakan metode yang mengubah *mesh* dengan membuat *meshing* dari awal sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama serta metode ini cocok untuk *boundary* model yang berubah menurut waktu. Gambar III.21 merupakan menu dari *dynamic mesh zones*.



Gambar III.21 *Dynamic Mesh Zones*

III.5.4. *Solution*

Pada proses ini dilakukan penentuan hasil yang ingin kita dapatkan dari analisa yang dilakukan. Penelitian ini membutuhkan grafik tekanan statis dan dinamis pada dinding tangki bagian bawah, *left wall* serta *longitudinal bulkhead*, visualisasi pergerakan fluida dan *pressure*. Hasil grafik tekanan statis dan dinamis memerlukan pengaturan pada menu *monitor*. Pada gambar III.22 terlihat menu untuk pembuatan grafik statis dan dinamis dengan cara menekan *repor plots* → *new* → *new* → *surface report* → *area weighted average*, lalu dilakukan pengaturan untuk kebutuhan hasil yang diperlukan seperti yang terlihat pada gambar III.22

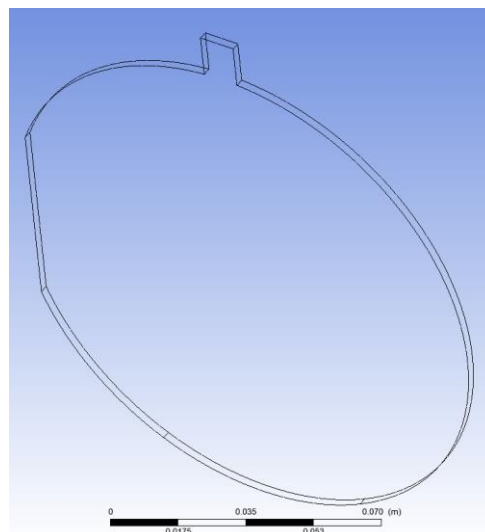


Gambar III.22 Menu *Surface Report Definition*

Pada tahap ini akan ditentukan daerah yang akan dihitung tekanan statis dan tekanan dinamis. Terdapat tiga daerah yang akan ditinjau dalam penelitian kali ini, yaitu dinding

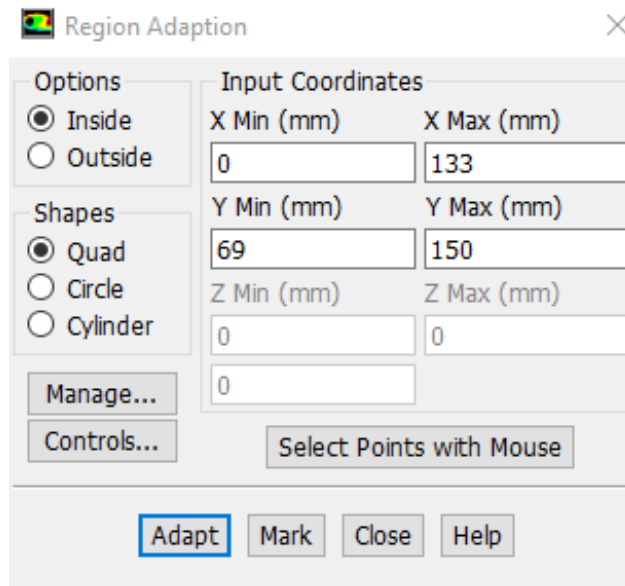
bawah, dinding tangki dan *longitudinal bulkhead*. Sebelum melakukan pemilihan tinjauan daerah perlu dilakukan pembagian daerah pada tahap geometry dan *meshing*. Pembagian daerah ini bertujuan untuk memilah – milah daerah tinjauan. Pada gambar III.13 dan tabel III.6 diperlihatkan daerah yang dibagi untuk ditinjau pada penelitian kali ini.

Pada Gambar III.13 terlihat pembagian daerah tinjauan dari A sampai Q. Penelitian kali ini menggunakan 3 daerah tinjauan yaitu dinding tangki, dinding bawah tangki dan *longitudinal bulkhead*. Daerah dinding tangki terdiri dari dinding B sampai dinding J, sedangkan dinding bawah terdiri dari dinding H atau *left wall 7*. Untuk daerah *longitudinal bulkhead* terdiri dari dinding J, K dan L. Pada saat dilakukan pemodelan, model yang dibuat merupakan model 2 dimensi, ketika analisa telah dilakukan maka model 2 dimensi ini akan menjadi model 3 dimensi seperti yang terlihat pada gambar III.23 berikut ini.



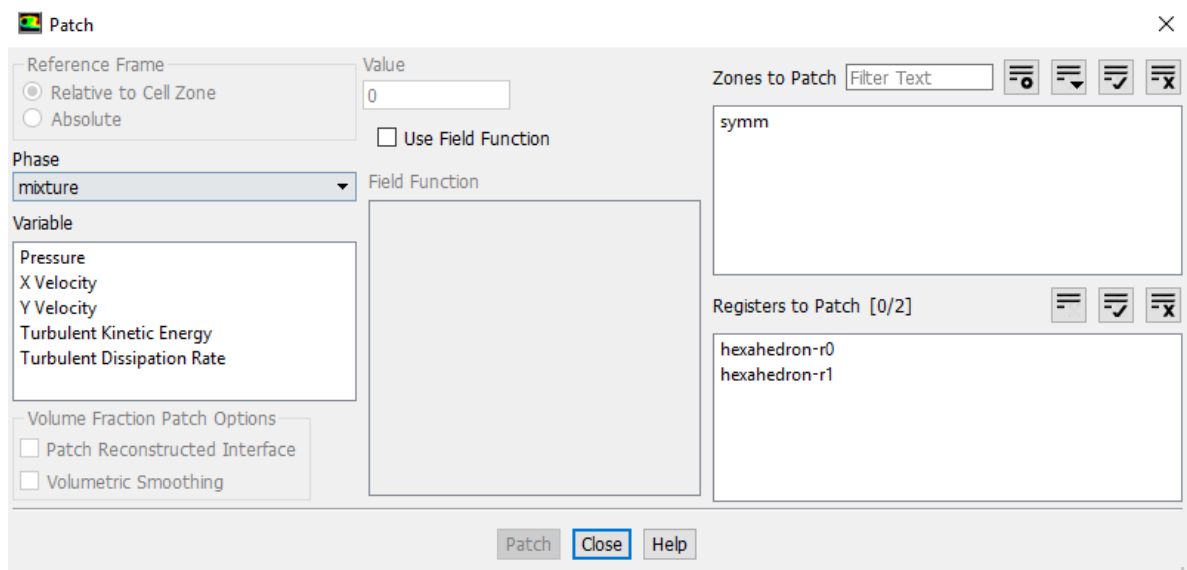
Gambar III.23 Model 3 Dimensi yang Terbentuk Setelah Analisa

Pada tahap selanjutnya dilakukan proses *initialization* dengan memilih metode *hybrid*. sebelum melakukan hal ini diperlukan penetapan daerah fluida yang dilakukan dengan menekan menu *mark/adapt* → *region* pada *taskbar setting up domain*. Tahap ini dilakukan untuk menerapkan daerah dua fluida yang akan digunakan dalam analisa, daerah yang ditetapkan untuk analisa tergantung pada *filling level* (10%, 50% dan 90%) terhadap ketinggian tangki. Pengaturan daerah fluida menggunakan sistem koordinat, karena model yang digunakan pada penelitian ini merupakan model 2 dimensi maka koordinat yang disediakan hanya (x,y). Pengaturan daerah terlihat pada gambar III.24 pada kolom menu *region adaption* dan menekan tombol *mark* apabila pengaturan stelah selesai dilakukan.



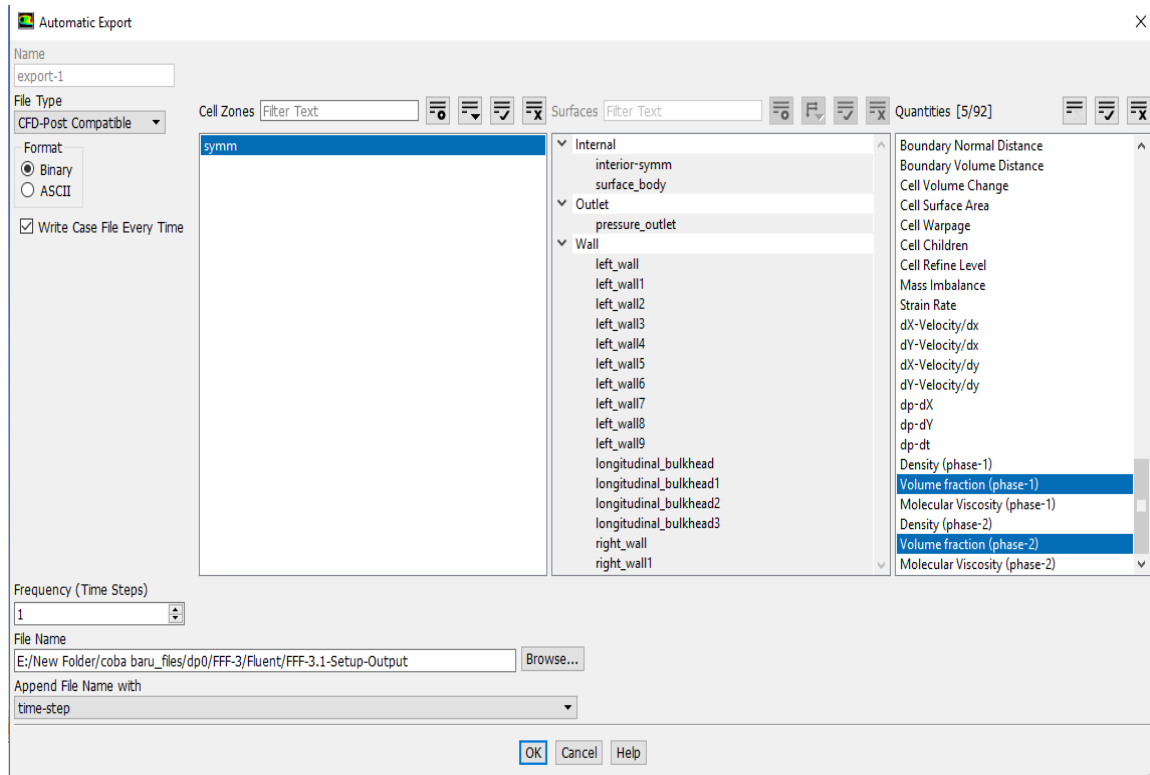
Gambar III.24 Menu *Region Adaption*

Setelah melakukan tahap *region adaption*, diperlukan tahap *patching* yang memiliki fungsi identifikasi daerah yang telah ditandai pada menu *initialization*. Pada menu *initialization* dipilih metode *hybrid initialization*, metode ini digunakan untuk mendefinisikan fluida yang berjumlah lebih dari satu (air dan udara). Metode ini memperbolehkan analisa dengan keadaan *multiphase* yang telah dijelaskan pada sub-bab III.5.3. *set up*. Perlu dilakukan *patching* pada region yang telah ditetapkan pada tahap *region adaption*. *Hexahedronr0* merupakan bagian dari air sehingga value yang diinputkan adalah 1, sedangkan untuk bagian *hexahedron-r1* merupakan bagian dari udara sehingga value yang diinputkan adalah 0. Gambar III.25 merupakan menu dari *patch*.



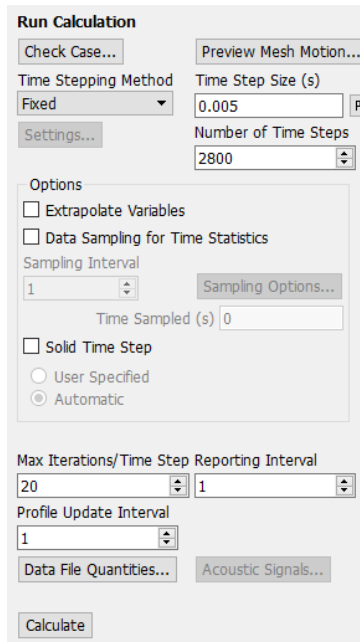
Gambar III.25 Menu *Patch*

Export hasil untuk variabel yang ingin dianalisis perlu dilakukan. Penelitian *sloshing* ini bertujuan untuk mencari nilai pressure yang terjadi maka dipilihlah static pressure, dynamic pressure, total pressure, volume friction (phase 1 dan 2) untuk bagian exportnya. Format yang dipilih adalah berupa CFD-Post Compatible. Hal ini dilakukan agar pembacaan data pressure pada struktur dapat dilakukan dengan mudah. Gambar III.26 memperlihatkan pengaturan untuk proses *export* hasil analisa.



Gambar III.26 Menu *Automatic Export*

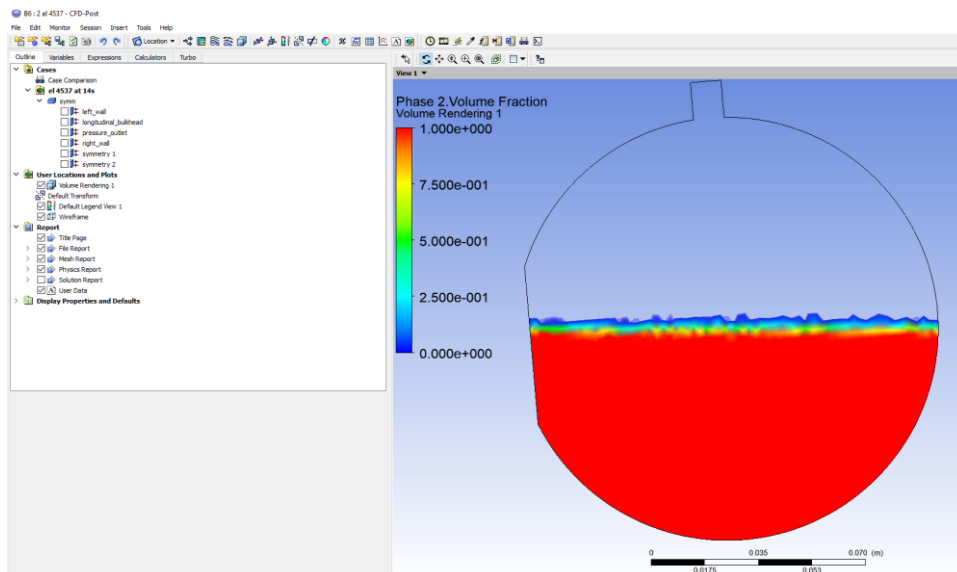
Tahap pengaturan terakhir yang dilakukan adalah penentuan *time step* dan iterasi yang akan dilakukan pada analisa masalah, tahap ini dilakukan pada menu *run calculation*. Pada analisa ini *timesteps* yang digunakan sebesar 0.005 s dengan *number time step* sebanyak 2800 dan maksimum iterasi yang dapat dilakukan sebanyak 20. Perhitungan dengan menggunakan software CFD adalah berbasis iterasi, artinya perhitungan aliran akan diulang sampai memenuhi kriteria tertentu. Gambar III.27 memperlihatkan pengaturan waktu untuk analisa yang dilakukan.



Gambar III.27 Menu *Run Calculation*

III.5.5. Results

Pada proses ini, hasil yang didapatkan dari analisis sloshing dikumpulkan pada CFD-post, hasil yang didapatkan pada penelitian ini diantaranya adalah berupa animasi gerakan rolling. Gerakan inilah yang akan menggerakkan fluida yang berada pada fluid domain, selain itu didapatkan nilai pressure yang diambil yaitu total pressure, static pressure dan dynamic pressure pada dinding tangki bagian kanan, *longitudinal bulkhead* tangki kapal dan dinding tangki bagian bawah. Gambar III.28 memperlihatkan hasil analisa yang telah dilakukan pada proses sebelumnya.



Gambar III.28 Menu *Result*

III.6. Validasi

Setiap data yang telah didapatkan dari hasil simulasi numerik dengan menggunakan program CFD harus dilakukan validasi data. Terdapat tiga parameter utama pada tahap validasi data yaitu :

- Convergence
- Grid Independence
- Verifikasi dengan data hasil eksperimen.

Validasi dengan menggunakan grid independence dan convergence akan dibahas pada sub-bab selanjutnya. Setelah melakukan *grid independence* dan *convergence*, verifikasi hasil simulasi numerik dibandingkan dengan hasil pengujian tangki . Hasil yang diperoleh harus memiliki trend yang sama sehingga data yang dapat dikatakan valid atau memenuhi.

BAB IV

PEMBUATAN ALAT UJI EKSPERIMEN

IV.1. Desain Alat Uji Eksperimen

Pada penelitian kali ini hasil dari numerik yang telah didapatkan menggunakan CFD akan divalidasi menggunakan alat uji eksperimen. Oleh karena itu alat uji eksperimen harus dapat menggambarkan fenomena *sloshing* dengan baik. Berikut ini merupakan syarat yang dibutuhkan untuk alat uji agar dapat menggambarkan fenomena *sloshing* dengan baik :

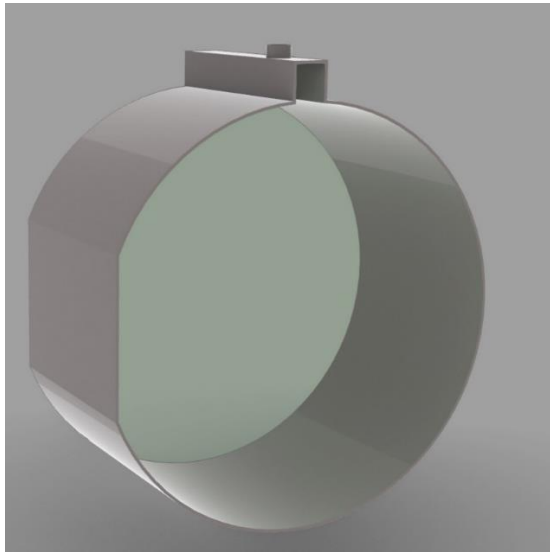
- Alat uji harus dapat menggambarkan amplitude gerakan dengan baik.
- Alat uji dapat bergerak sesuai dengan periode gelombang yang ditentukan.
- Alat uji dapat digunakan untuk berbagai macam jenis dan ukuran tangki.

Oleh karena syarat di atas maka diperlukan desain yang baik agar uji eksperimen dapat berjalan dengan baik. Penulis membuat desain alat menjadi 3 bagian yaitu tangki, tatakan dan sistem yang dapat merubah gerak rotasi menjadi gerak translasi. Pembahasan tiap alat akan dijelaskan pada sub-bab berikutnya.

IV.1.1. Desain Tangki *Bilobe*

Desain tangki untuk uji eksperimen dibuat berdasarkan model tangki yang telah digunakan untuk simulasi CFD dengan skala 1 : 50 dari ukuran asli tangki dalam penampang melintang dengan panjang tangki 7 cm. Desain tangki untuk uji eksperimen dibuat berdasarkan model tangki yang telah digunakan untuk simulasi CFD dengan skala 1 : 50 dari ukuran asli tangki dalam penampang melintang dengan panjang tangki 7 cm. Tangki *bilobe* untuk eksperimen terbuat dari bahan akrilik bening dan *3D-printing*. Penggunaan akrilik memiliki tujuan agar pada saat eksperimen dilakukan fluida dalam tangki yang berupa air dapat terlihat dengan jelas. Dan penggunaan *3D-printing* sebagai bahan pembuatan tangki memiliki fungsi untuk memperoleh akurasi bentuk yang tinggi bila dibandingkan dengan model yang dibuat pada *software* desain modeler. Dalam proses pembuatan tangki digunakan lem tembak dan lem alteco sebagai perekat kedua bahan tersebut. Tetapi penggunaan lem ini memiliki kelemahan yaitu membuat bercak – bercak pada dinding tangki yang sulit dibersihkan. Gambar IV-1 merupakan desain tangki *bilobe* secara 3D yang digunakan sebagai

dasar pembuatan tangki uji eksperimen. Sedangkan gambar IV.2 di bawah ini merupakan tangki uji *bilobe* yang telah dibuat.



Gambar IV.1 Desain Model Tangki Secara 3 Dimensi

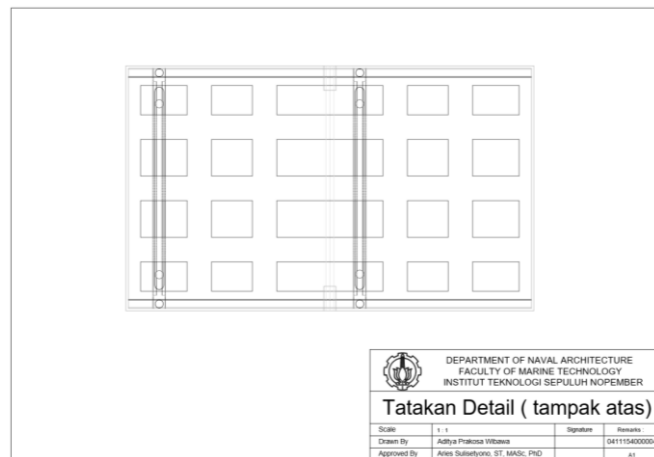


Gambar IV.2 Tangki Uji *Bilobe*

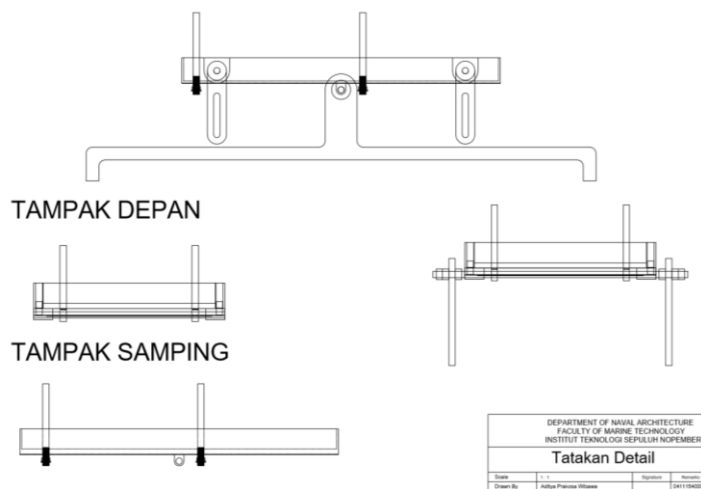
IV.1.2. Desain Tatakan untuk Tangki Uji

Pada tahap pembuatan desain alat uji eksperimen untuk penelitian kali ini, seluruh alat uji didesain secara langsung oleh penulis. Alat uji yang memerlukan desain khusus adalah tatakan dan *converter* gerak rotasi ke gerak translasi, desain alat *converter* gerak akan dibahas pada sub-bab selanjutnya. Desain tatakan yang digunakan dalam eksperimen ini didasarkan pada model jungkat – jungkit. Tatakan ini didesain agar dapat menggambarkan fenomena *sloshing* pada gerakan *pitch* dan *roll*. Ukuran tangki yang dapat diletakkan pada tatakan sebesar

49 cm untuk panjang, 27 cm untuk lebar dan 30 cm untuk tinggi. Kemampuan desain alat untuk maksimum berat yang ditampung masih belum bisa ditentukan, hal ini terjadi karena uji kemampuan maksimum untuk alat uji dapat bersifat merusak. Gambar IV-3 merupakan desain tatakan tampak atas dan gambar IV.4 Merupakan desain tatakan tampak samping yang dibuat oleh penulis menggunakan *software CAD*.



Gambar IV.3 Desain Tatakan tampak Atas

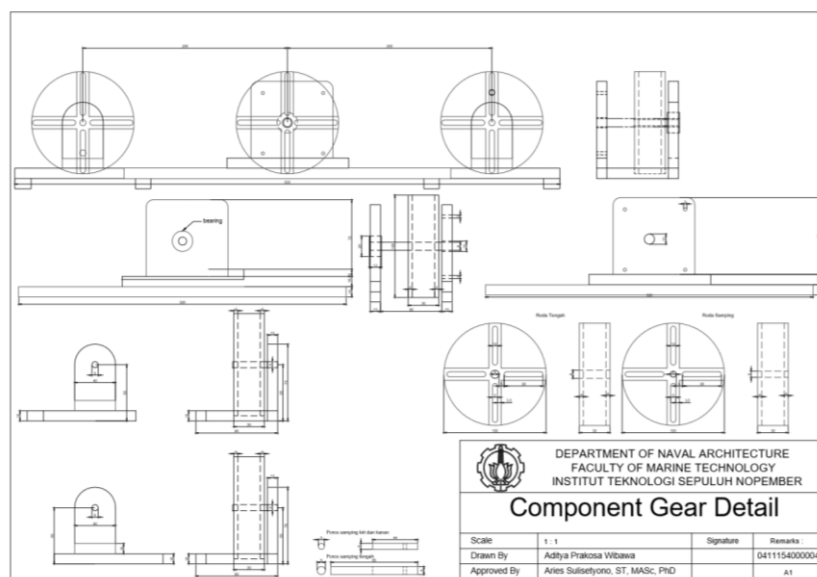


Gambar IV.4 Desain Tatakan tampak Depan dan Samping

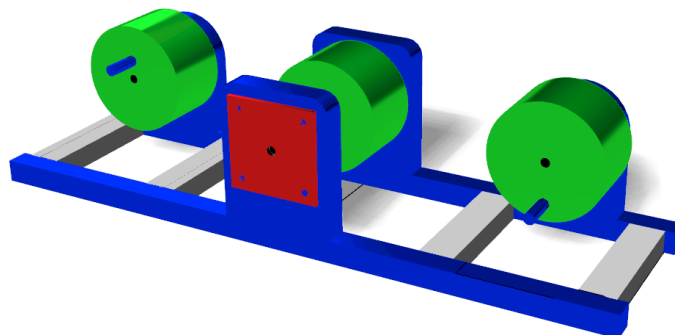
Sistem penggerak pada tatakan menggunakan sistem kerja piston dengan ulir yang terpasang pada bagian sisi tatakan. Untuk penjelasan sistem kerja akan dibahas pada sub-bab selanjutnya. Pada Gambar IV.3 pada desain tatakan terdapat lubang berbentuk kotak yang terdapat pada permukaan tatakan yang memiliki tujuan sebagai tempat memasang pilar penahan tangki. Pada tatakan ini terdapat 4 buah pilar yang dapat diatur jarak secara memanjang dan melintang. Pilar ini dibuat dengan tujuan untuk menahan tangki yang lebih kecil dari tatakan agar tidak bergerak pada saat uji eksperimen dilakukan.

IV.1.3. Desain *Converter* Gerak Rotasi Menjadi Gerak Translasi

Desain untuk *converter* gerak rotasi menjadi gerak translasi merupakan hasil desain penulis yang menggunakan sistem piston sebagai dasar sistem kerja. Pada alat ini terdapat satu motor dan tiga roda sebagai penggerak. Roda penggerak akan disambung dengan v-belt pada rumah v-belt pada roda. Fungsi dari penggunaan dua roda ini untuk mengurangi beban terpusat pada saat uji eksperimen dilakukan dan diharapkan dapat memperhalus pergerakan tatakan. Gambar IV.5 merupakan desain alat *converter* yang dibuat menggunakan *software* CAD dan Gambar IV.6 merupakan desain alat *converter* dalam 3 dimensi.



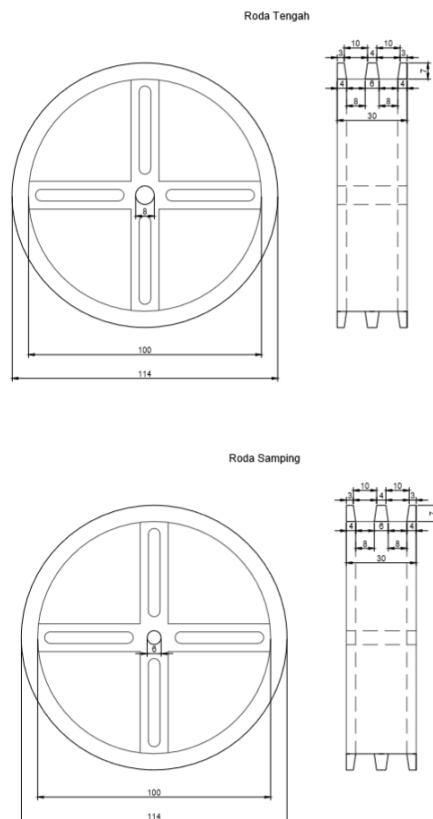
Gambar IV.5 Desain alat *converter* gerak rotasi ke gerak translasi



Gambar IV.6 Desain *converter* gerak rotasi menjadi translasi dalam 3 dimensi

Pada alat ini digunakan motor DC sebagai penggeraknya, penggunaan motor DC bertujuan untuk mengatur kecepatan putar dari motor. Hal ini dilakukan agar motor DC dapat

mengikuti periode gerak dari model yang telah dianalisa. Motor DC yang digunakan merupakan jenis motor DV 24 V dan memiliki torsi sebesar 43 kg.cm. Pengaturan amplitudo pada *converter* menggunakan sistem ulir yang diterapkan pada roda penggerak dan piston pada tatakan. Peletakan ulir terdapat pada pelat tipis dengan panjang 4 cm seperti yang terlihat pada gambar IV.7. Untuk perhitungan derajat terhadap panjang ulir dituliskan pada tabel Tabel IV.1 di bawah ini.



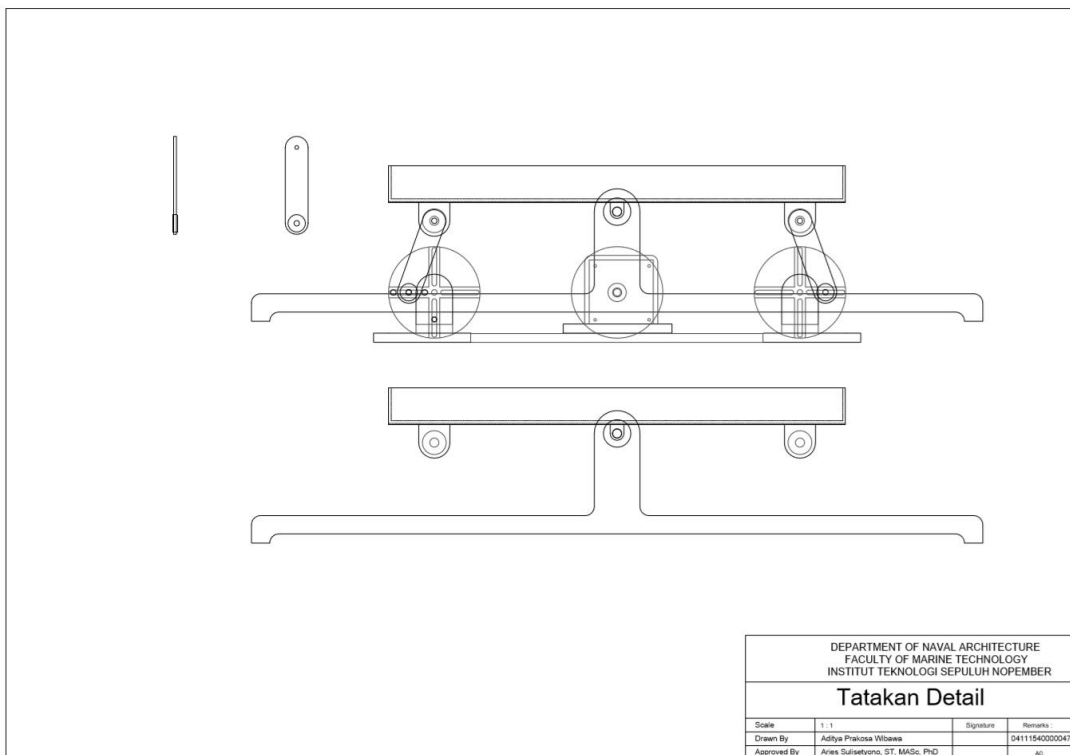
Gambar IV.7 Desain Roda dengan Ulir pada *Converter*

Tabel IV.1 Perhitungan Panjang Ulir Terhadap Perubahan Derajat

Derajat	Panjang pada Ulir	Ketersediaan
1	3.5	-
2	7	-
3	10.5	Ada
4	14	Ada
5	17.5	Ada
6	21	Ada
7	24.5	Ada
8	28	Ada
9	31.5	Ada
10	35	Ada
11	38.5	Ada
12	42	-

IV.2. Sistem Kerja Alat Uji Eksperimen

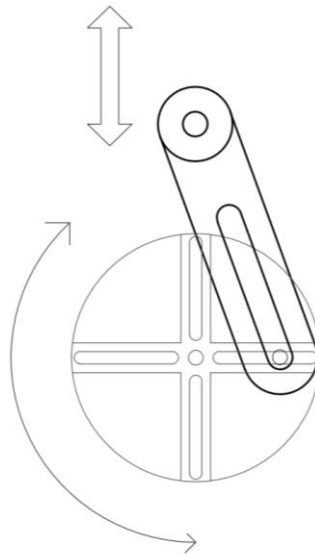
Pada penelitian ini dibutuhkan sebuah alat eksperimen yang dapat menggambarkan gerakan *sloshing* dengan keadaan yang telah ditentukan pada analisa menggunakan CFD sebelumnya. Oleh karena itu dibuatlah alat tatakan dan *converter* gerak rotasi menjadi translasi untuk menggambarkan keadaan tersebut. Kedua alat ini merupakan sebuah kesatuan penggerak sistem *sloshing*. Alat tatakan memiliki fungsi sebagai tempat duduk tangki dan sebagai alat yang dapat menggambarkan gerak *rolling* dan *pitching*. Dan *converter* sebagai penggerak utama untuk sistem *sloshing* pada penelitian ini. Gambar IV.8 merupakan pengaturan tatakan dan *converter* ketika akan digunakan.



Gambar IV.8 Pengaturan Tatakan dan *Converter*

Tatakan dan *converter* dihubungkan dengan piston pada tatakan, roda pada *converter* memiliki baut yang akan dimasukkan ke dalam ulir pada piston. Pengaturan derajat untuk amplitudo gerakan berada pada ulir roda, khususnya pada roda sebelah kanan dan kiri. Semakin jauh baut dari poros/ *shaft* roda maka semakin besar juga amplitudo yang dihasilkan. Perhitungan perubahan derajat ke dalam satuan panjang ulir telah dituliskan pada tabel IV.1. Ulir pada piston penggerak memiliki fungsi sebagai pengatur yang dapat menyesuaikan fase baut dengan tatakan, untuk cara menyesuaikan akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

Gambar IV.9 merupakan desain sistem piston yang terhubung dengan baut pada roda *converter*.



Gambar IV.9 Piston dengan Roda *Converter*

Alat *converter* yang memiliki fungsi sebagai penggerak memiliki Motor DC sebagai penggerak yang terpasang pada roda tengah. Motor DC ini memiliki torsi sebesar 43 kg.cm, yang berarti motor DC ini dapat mengangkat beban maksimal sebesar 43 kg untuk 1 centimeter. Motor DC ini dihubungkan dengan modul *speed controller* 12V - 40 V 10A dan adaptor 24 V 15 A. Penggunaan modul *speed controller* memiliki fungsi untuk mengatur kecepatan. Pengaturan kecepatan ini berfungsi untuk memenuhi nilai periode gerak olah kapal untuk *rolling* dan *pitching*. Pengaturan waktu periode dilakukan secara manual menggunakan *stopwatch*. Gambar IV.10 merupakan sistem alat uji eksperimen yang telah dirakit.



Gambar IV.10 Alat Uji Eksperimen yang Telah Dirakit

Pada bagian roda penggerak digunakan *v-belt* dari Mitsubishi dengan jumlah dua buah. Pemasangan *v-belt* membutuhkan pembuatan lintasan pada roda agar *v-belt* tidak keluar dari jalurnya. Akibat dari desain yang tidak mengacu pada barang di pasaran, ukuran dari panjang yang dibutuhkan pada alat uji tidak dapat dipenuhi. Oleh karena itu diperlukan penahan tambahan untuk *v-belt* akibat panjang *v-belt* yang lebih panjang dari desain agar dapat berputar dengan baik. Gambar IV.11 merupakan bentuk pemasangan *v-belt* dengan menggunakan penahan.



Gambar IV.11 Penambahan Penahan untuk *V-belt*

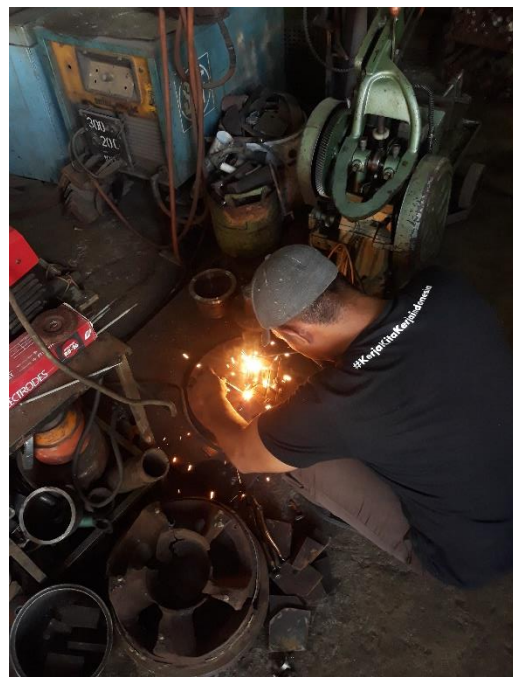
IV.3. Produksi Alat Uji Eksperimen

Pembuatan alat uji khususnya tatakan dan *converter* dilakukan pada bengkel bubut Gudang Pyramid di daerah Sidoarjo. Hal ini dikarenakan alat uji khususnya tatakan dan *converter* terbuat dari baja dan memiliki bentuk yang tidak biasa, sehingga perlu dilakukan perlakuan khusus seperti bubut, gerinda, pengelasan dan sebagainya. Bahan yang digunakan dalam pembuatan alat uji adalah baja ringan A36 dan baja. Bentuk – bentuk material yang digunakan seperti *round bar*, *holo bar* (balok berongga), pelat dan pipa. Dalam pembuatan alat ini penulis hanya memberikan desain alat dan menjelaskan sistem kerja alat kepada pemilik bengkel, untuk kebutuhan material dan cara kerja mengikuti keadaan di lapangan. Proses produksi yang berperan penting dalam pembuatan alat uji ini adalah proses bubut dan las. Gambar IV.12 merupakan proses bubut yang dilakukan pada pembuatan piston. Proses

bubut dilakukan dengan bantuan cairan yang bernama boruli. Cairan ini terdiri dari air dan oli yang memiliki fungsi sebagai pelumas dan pendingan mata bubut dan material. Proses penting lainnya dalam pembuatan alat uji adalah pengelasan. Pengelasan yang digunakan dalam pembuatan alat uji ini adalah las SMAW dan las Argon. Gambar VI.13 merupakan proses pengelasan piston pada tatakan.



Gambar IV.12 Proses Bubut dalam Pembuatan Sistem Piston



Gambar IV.13 Proses Pengelasan SMAW pada Pembuatan Sistem Piston

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PERCOBAAN DAN PROSEDUR ALAT UJI EKSPERIMEN

V.1. Pengujian Alat Uji Eksperimen

Pada bab ini akan dilakukan pengujian untuk tangki *bilobe* beserta tatakan dan *converter* pada keadaan model simulasi CFD yang telah dilakukan. Sebelum melakukan pengujian perlu dilakukan beberapa hal yang dapat menunjang kualitas hasil uji eksperimen. Tahap – tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan eksperimen adalah pembuatan *design* alat dan tangki, produksi alat dan tangki, *set up* alat uji, percobaan variasi, dan menentukan prosedur pengujian.

- Pembuatan Desain Alat dan Tangki

Pada bab IV telah dijelaskan tentang pembuatan desain untuk tangki, *converter* dan tatakan. Proses desain dari ketiga elemen tersebut dibuat secara langsung oleh penulis dengan bantuan *software* CAD. Penulis tidak melakukan *list* kebutuhan material pada saat desain. Hal ini dikarenakan desain yang dibuat hanya menjadi dasar bentuk alat, pada saat produksi kebutuhan alat dan ukuran material mengikuti keadaan pasar dan lapangan kerja.

- Produksi Alat dan Tangki

Pada Bab IV sudah dijelaskan tentang produksi dari alat yang dibuat di Gudang Pyramid, khususnya untuk tatakan dan *converter*. Proses pembelian material dan produksi dikerjakan oleh Gudang Pyramid, pada tahap ini penulis hanya menyampaikan sistem kerja dan desain alat yang ingin dibuat. Proses produksi ini berjalan secara *Trial and Error*. Untuk tangki dibuat dari 3D-printing dan akrilik bening. Untuk 3D-printing dibuat oleh namandco.3d dengan desain dari model yang telah dibuat oleh penulis. Dan untuk proses penggabungan 3D-printing dengan akrilik dilakukan secara langsung oleh penulis.

- *Set Up* Alat uji

Pada Bab VI sub-bab IV.2. telah dijelaskan *set up* alat uji yang terdiri dari tatakan, *converter* dan beberapa alat elektronik tambahan. Alat elektronik tambahan yang terpasang

pada alat adalah adaptor dan *speed controller*. Adaptor memiliki fungsi sebagai suplai listrik untuk Motor DC dan *speed controller* memiliki fungsi sebagai pengatur kecepatan untuk Motor DC. Dan penghubung antara *converter* dan tatakan adalah piston pada tatakan dengan baut yang terpasang pada roda *converter*.

- Percobaan Variasi

Untuk tahap ini akan dijelaskan pada sub-bab V.1.2.

- Prosedur Pengujian

Untuk tahap ini akan dijelaskan pada sub-bab V.1.3.

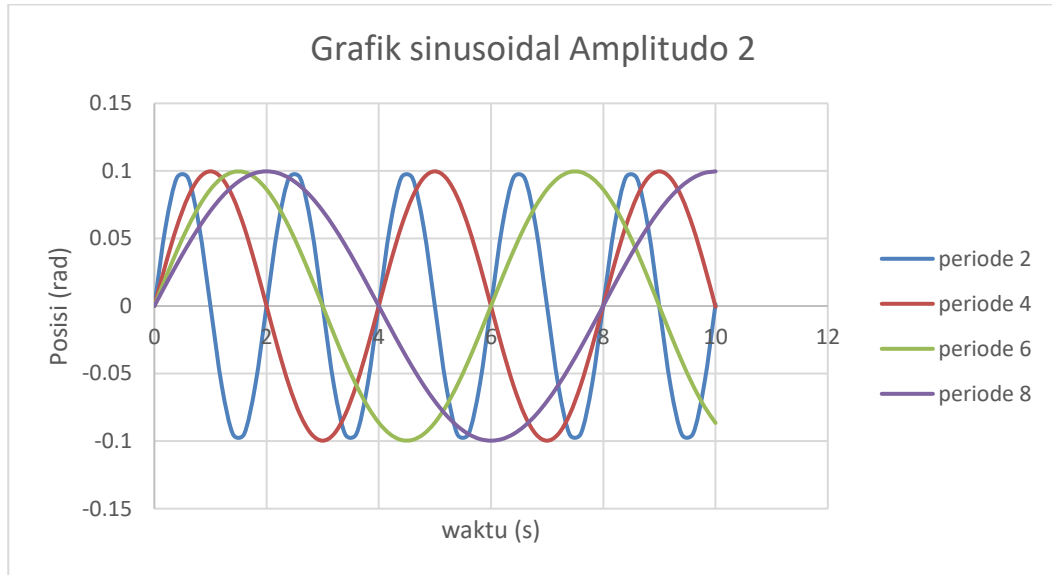
V.1.1. Percobaan Variasi

Pada tahap ini dilakukan percobaan yang tidak memiliki hubungan dengan model analisa *sloshing* yang dilakukan pada CFD. Percobaan ini dilakukan untuk memperoleh pengaturan yang baik sebelum melakukan uji eksperimen yang sebenarnya. Variasi yang digunakan pada tahap ini adalah variasi amplitudo (2, 3 dan 4 cm) serta variasi periode *rolling* (2, 4, 6 dan 8 detik) pada *filling level* 50%. Proses ini juga dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan dari alat yang telah didesain. Tabel V.1 merupakan perhitungan amplitudo dan frekuensi *ecountering* terhadap variasi percobaan.

Tabel V.1 Perhitungan Amplitudo dan Frekuensi *Ecountering* terhadap Variasi

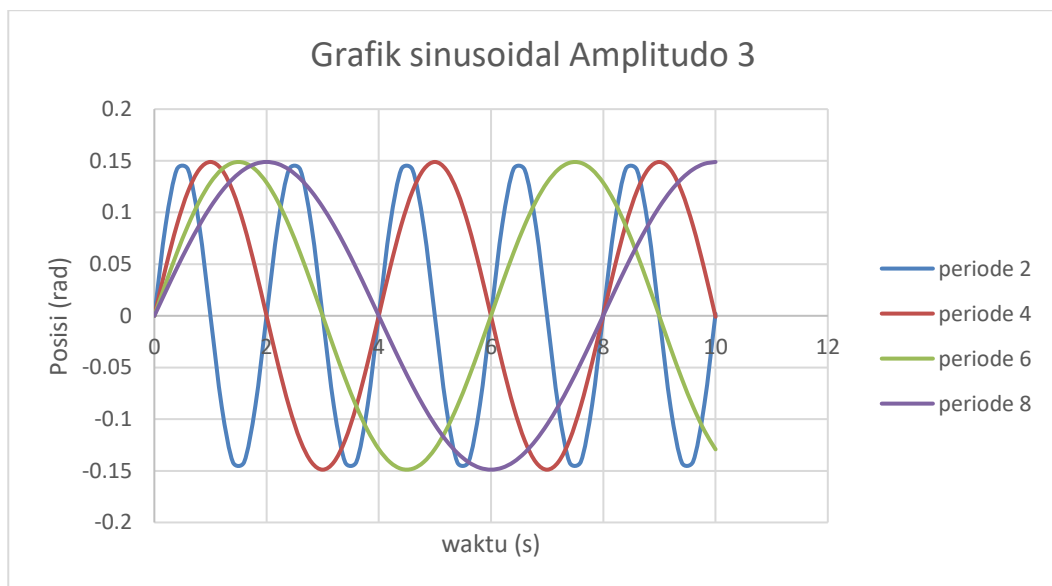
Amplitudo	Periode <i>rolling</i>	Amplitudo dalam radian	Amplitudo dalam derajat	frekuensi <i>ecountering</i> (rad/s)
2	2	0.0996	5.7082	3.1428
	4	0.0996	5.7082	1.5714
	6	0.0996	5.7082	1.0476
	8	0.0996	5.7082	0.7857
3	2	0.1488	8.5273	3.1428
	4	0.1488	8.5273	1.5714
	6	0.1488	8.5273	1.0476
	8	0.1488	8.5273	0.7857
4	2	0.1973	11.3053	3.1428
	4	0.1973	11.3053	1.5714
	6	0.1973	11.3053	1.0476
	8	0.1973	11.3053	0.7857

Perhitungan ini dilakukan untuk menggambarkan gerak sinusoidal untuk semua kasus percobaan. Persamaan yang digunakan merupakan persamaan posisi gerakan *rolling* pada gelombang tenang. Gambar V.1, V.2 dan V.3 merupakan grafik sinusoidal yang terbentuk untuk setiap kasus percobaan.



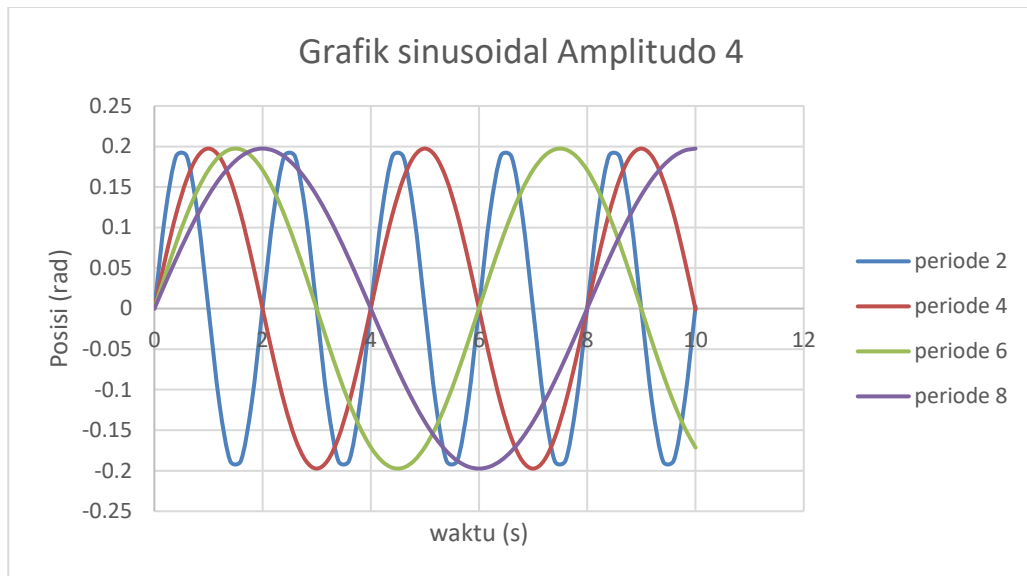
Gambar V.1 Grafik Sinusoidal untuk Percobaan dengan Amplitudo 2 cm

Dari hasil grafik yang dihasilkan perbedaan yang terlihat terjadi pada amplitudo yang terbentuk. Pada Gambar V.1 terlihat bahwa amplitudo yang terbentuk mendekati nilai 0.1. Sedangkan untuk Gambar V.2 memiliki nilai amplitudo mendekati 0.15. Dan untuk Gambar V.3 memiliki nilai mendekati V.3



Gambar V.2 Grafik Sinusoidal untuk Percobaan dengan Amplitudo 3 cm

Gambar V.1, V.2 dan V.2 merupakan hasil perhitungan menggunakan persamaan gerak *rolling* pada keadaan air tenang. Perhitungan dilakukan dalam kurun waktu 10 detik.



Gambar V.3 Grafik Sinusoidal untuk Percobaan dengan Amplitudo 4 cm

Sebelum melakukan semua variasi percobaan dengan menggunakan alat uji perlu dilakukan pengaturan pada beberapa elemen. Berikut ini merupakan hal – hal yang perlu dilakukan untuk percobaan.

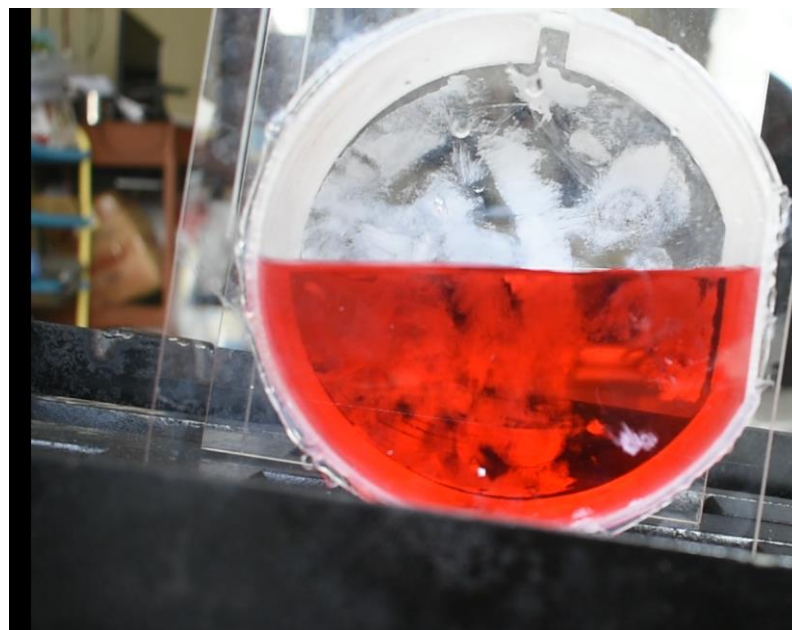
- Merakit alat uji sesuai dengan Gambar IV.10
- Melakukan pengisian air pada tangki *bilobe* yang digunakan pada keadaan *filling level 50%*.
- Meletakkan tangki bilobe dengan keadaan *longitudinal bulkhead* tangki sejajar dengan *shaft* atau poros tatakan.
- Melakukan pengaturan letak baut pada ulir roda *converter* untuk mengatur ketinggian amplitudo.
- Melakukan pengaturan letak baut pada ulir piston agar fase tatakan dan baut berada dalam keadaan yang sama.
- Melakukan pengaturan dan perhitungan periode pada *speed controller* untuk memenuhi keadaan percobaan.
- Melakukan persiapan kamera untuk kebutuhan pembuatan video, letak kamera disesuaikan dengan letak tangki.
- Melakukan percobaan dengan keadaan variasi yang telah ditentukan dengan merekam hasilnya menggunakan kamera.

Proses perekaman dalam tahap percobaan ini dilakukan untuk mengetahui hasil permukaan air dalam tangki yang digunakan sebagai hasil validasi. Keadaan alat uji eksperimen harus dapat menggambarkan keadaan dalam analisa CFD, baik untuk periode maupun amplitudo. Gambar V.4, V.5 dan V.6 merupakan hasil dari percobaan dalam variasi amplitudo 2, 3 dan 4 centimeter.



Gambar V.4 Hasil Percobaan pada Amplitudo 2 cm

Pada hasil yang ditampilkan pada gambar V.4, V.5 dan V.6 diambil hasil pada keadaan amplitudo terjadi. Hal ini memiliki tujuan untuk menunjukkan perbedaan terhadap percobaan yang dilakukan.



Gambar V.5 Hasil Percobaan pada Amplitudo 3 cm

Pada gambar V.6 digambarkan percobaan dalam keadaan amplitudo 4 cm. Keadaan ini merupakan amplitudo terbesar pada alat uji eksperimen. Amplitudo 4 centimeter memiliki 11.3 derajat kemiringan. Perhitungan telah disajikan pada tabel V.1.



Gambar V.6 Hasil Percobaan pada Amplitudo 4 cm

V.1.2. Prosedur Pengujian

Pada tahap ini ditentukan prosedur dalam melakukan uji eksperimen. Uji eksperimen pada penelitian ini menghasilkan pergerakan fluida dalam tangki. Hasil dari uji eksperimen ini akan digunakan untuk validasi dari hasil analisa numerik menggunakan CFD. Berikut ini merupakan prosedur dalam uji eksperimen.

- Merakit alat uji sesuai dengan Gambar IV.10
- Melakukan pengisian air pada tangki *bilobe* yang digunakan pada keadaan *filling level* yang telah ditentukan.
- Meletakkan tangki bilobe sesuai dengan keadaan pada model analisa.
- Melakukan pengaturan letak baut pada ulir roda *converter* untuk mengatur ketinggian amplitudo.
- Melakukan pengaturan letak baut pada ulir piston agar fase tatakan dan baut berada dalam keadaan yang sama.
- Melakukan pengaturan dan perhitungan periode pada *speed controller* untuk memenuhi periode olah gerak model menggunakan *stopwatch*.

- Melakukan persiapan kamera untuk kebutuhan pembuatan video, letak kamera disesuaikan dengan letak tangki.
- Memastikan keadaan fluida dalam keadaan seimbang dan tenang.
- Memastikan fase tatakan memiliki posisi yang sama dengan keadaan yang ditentukan.
- Melakukan percobaan dengan keadaan variasi yang telah ditentukan dengan merekam hasilnya menggunakan kamera.
- Menentukan titik sampel pada video untuk membandingkan permukaan fluida yang terbentuk dengan hasil dari analisa CFD menggunakan titik koordinat dan RMSE.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI

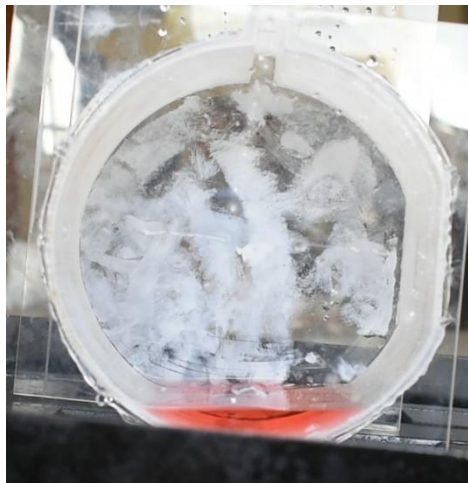
VALIDASI GERAK PERMUKAAN AIR DAN ANALISA TEKANAN

VI.1. Analisa Hasil Uji Eksperimen

Uji eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan tangki *bilobe* dengan panjang 7 cm dan ukuran 1 : 50 dari ukuran asli tangki secara melintang. Pengujian dilakukan dengan beberapa kondisi yaitu menggunakan tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level* 10%, 50 % dan 90%. Berikut ini akan dijelaskan hasil dari uji eksperimen yang dilakukan. Tujuan dari pengujian eksperimen ini adalah mendapatkan gerakan permukaan air yang akan digunakan untuk validasi. Validasi yang dilakukan di sini hanya meliputi pergerakan dari permukaan air dan tidak melakukan validasi pada tekanan statis maupun tekanan dinamis.

VI.1.1. Tangki Tanpa *Baffle Filling Level* 10%

Pada pengujian tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level* 10% keadaan tinggi fluida yang digunakan berada pada 13.8 mm. Dikarenakan ukuran yang tidak mungkin ditepati maka ketinggian 13.8 mm dibulatkan menjadi 14 mm. Pada saat uji eksperimen, diperlukan pencatatan waktu dan gambar pergerakan tangki. Pengaturan amplitudo dan waktu periode perlu diterapkan kepada alat uji eksperimen sebelum eksperimen dilakukan. Berikut ini merupakan gambar dari hasil uji eksperimen pada *filling level* 10%.



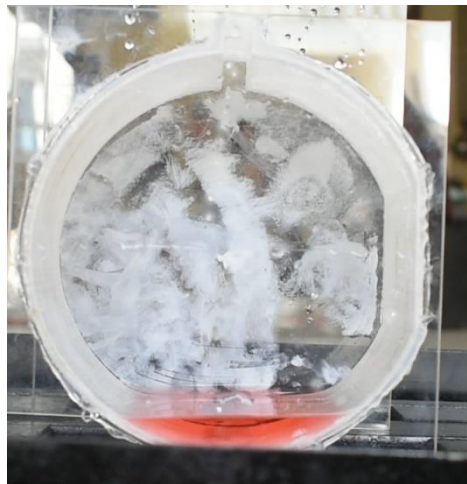
Gambar VI.1 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 10%, t: 1s

Pada gambar VI.1 pergerakan permukaan air dalam tangki belum memiliki pergerakan yang tidak besar dan tidak teratur. Dan pada waktu ini gaya kelembaman masih bekerja sehingga pergerakan air belum *steady*.



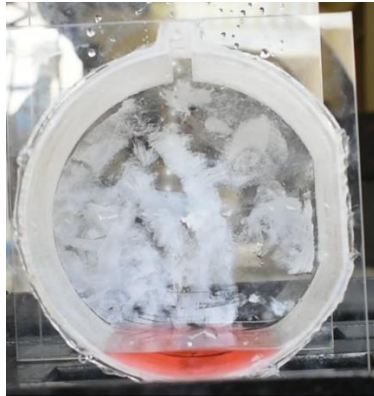
Gambar VI.2 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 10%, t: 2s

Pada gambar VI.2 pergerakan permukaan air dalam tangki memiliki kemiripan dengan waktu sebelumnya, yaitu memiliki pergerakan yang tidak besar dan tidak teratur. Dan pada waktu ini gaya kelembaman masih bekerja sehingga pergerakan air belum *steady*.



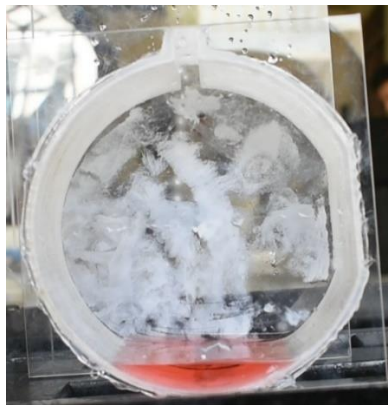
Gambar VI.3 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 10%, t: 3s

Pada gambar VI.3 pergerakan permukaan air dalam tangki memiliki kemiripan dengan waktu sebelumnya, yaitu memiliki pergerakan yang tidak besar. Tetapi pada waktu ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja. Hal ini terlihat dari gerakan permukaan air yang teratur pada saat eksperimen dilakukan.



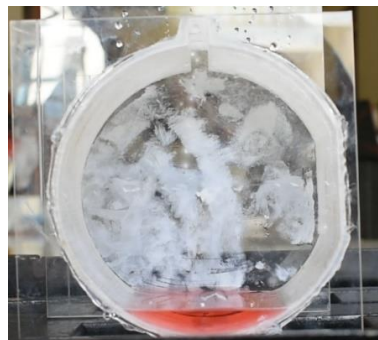
Gambar VI.4 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 10%, t: 4s

Pada gambar VI.4 pergerakan permukaan air dalam tangki memiliki kemiripan dengan waktu sebelumnya, yaitu memiliki pergerakan yang tidak besar dan teratur. Pada waktu ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja. Hal ini terlihat dari gerakan permukaan air yang teratur pada saat eksperimen dilakukan.



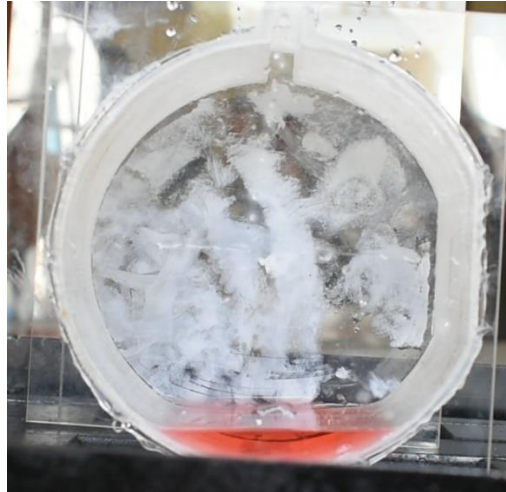
Gambar VI.5 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 10%, t: 5s

Pada gambar VI.5 pergerakan permukaan air dalam tangki memiliki kemiripan dengan waktu sebelumnya, yaitu memiliki pergerakan yang tidak besar dan teratur. Pada waktu ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja. Hal ini terlihat dari gerakan permukaan air yang teratur pada saat eksperimen dilakukan.



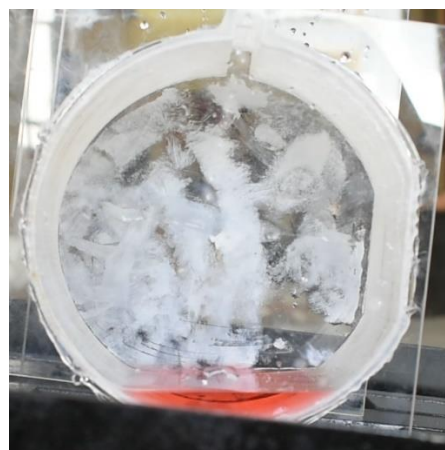
Gambar VI.6 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 10%, t: 6s

Pada gambar VI.6 pergerakan permukaan air dalam tangki memiliki kemiripan dengan waktu sebelumnya, yaitu memiliki pergerakan yang tidak besar dan teratur. Pada waktu ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja. Hal ini terlihat dari gerakan permukaan air yang teratur pada saat eksperimen dilakukan.



Gambar VI.7 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 10%, t: 7s

Pada gambar VI.7 pergerakan permukaan air dalam tangki memiliki kemiripan dengan waktu sebelumnya, yaitu memiliki pergerakan yang tidak besar dan teratur. Pada waktu ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja. Hal ini terlihat dari gerakan permukaan air yang teratur pada saat eksperimen dilakukan.

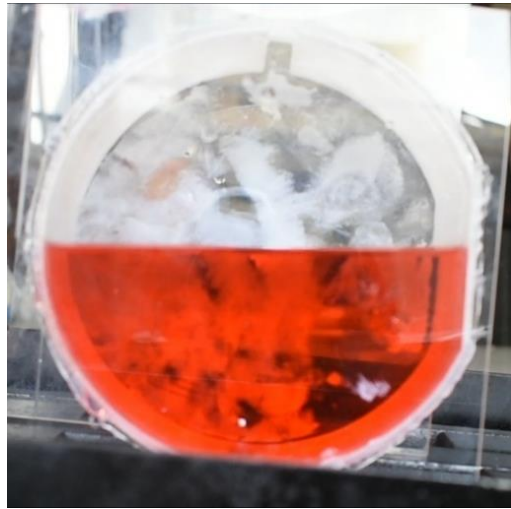


Gambar VI.8 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 10%, t: 8s

Pada Gambar VI.1 sampai dengan VI.8 diperlihatkan gerakan tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level* 10% pada $t = 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7$ dan 8 s. Terlihat gerakan permukaan air yang terjadi akibat gerakan *rolling* tidak memiliki gerakan yang besar. Gerakan air pada hanya bergerak tanpa terdapat gelombang besar yang terbentuk.

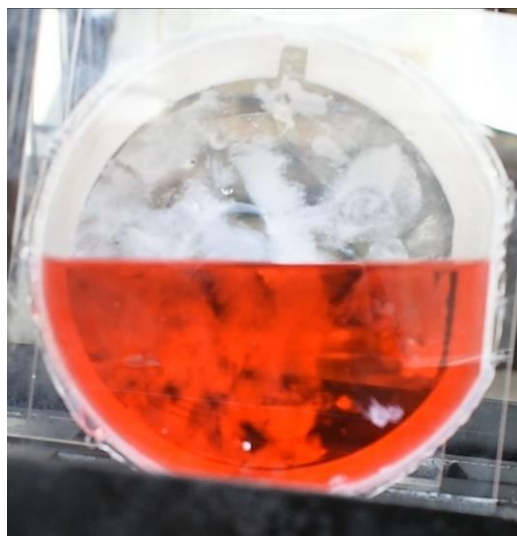
VI.1.2. Tangki Tanpa *Baffle Filling Level 50%*

Pada pengujian tangki *bilobe* tanpa *baffle* saat ini dilakukan pada variasi *filling level* 50% dengan ketinggian fluida 69 mm. Pada tangki diberi tanda ketinggian air 69mm untuk mendapatkan ketinggian fluida yang akurat. Pada saat uji eksperimen, diperlukan pencatatan waktu dan gambar pergerakan tangki. Pengaturan amplitudo dan waktu periode perlu diterapkan kepada alat uji eksperimen sebelum eksperimen dilakukan. Berikut ini merupakan gambar dari hasil uji eksperimen dari *filling level* 50%.



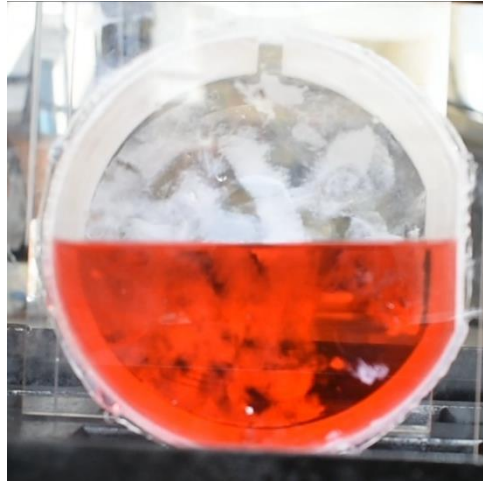
Gambar VI.9 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 50%, t: 1s

Pada tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level* 50%, terlihat seperti gambar VI.9 tidak terlihat pergerakan permukaan air yang besar saat uji eksperimen dilakukan. Dan pada saat ini gaya kelembaman masih bekerja sehingga gerak permukaan air menjadi tidak teratur.



Gambar VI.10 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 50%, t: 2s

Pada tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level* 50%, terlihat seperti gambar VI.10 tidak terlihat pergerakan permukaan air yang besar saat uji eksperimen dilakukan. Hal ini memiliki kesamaan gerak dengan waktu sebelumnya. Dan pada saat ini gaya kelembaman masih bekerja sehingga gerak permukaan air menjadi tidak teratur.



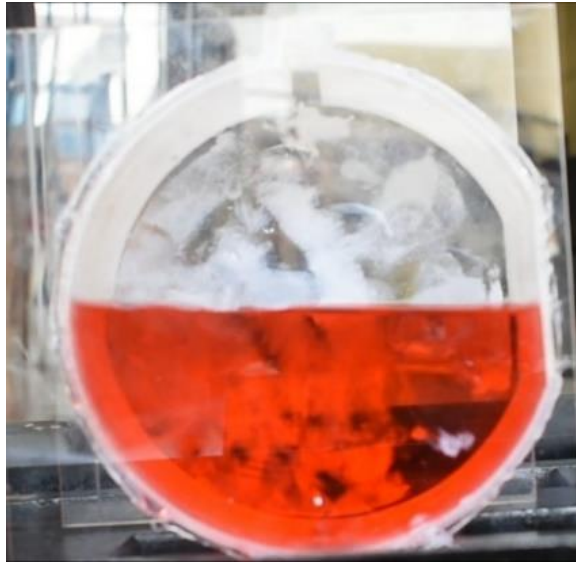
Gambar VI.11 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 50%, t: 3s

Pada tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level* 50%, terlihat seperti gambar VI.11 tidak terlihat pergerakan permukaan air yang besar saat uji eksperimen dilakukan. Hal ini memiliki kesamaan gerak dengan waktu sebelumnya. Tetapi pada saat ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja, hal ini terlihat dari gerak permukaan air yang teratur.



Gambar VI.12 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 50%, t: 4s

Pada tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level* 50%, terlihat seperti gambar VI.12 tidak terlihat pergerakan permukaan air yang besar saat uji eksperimen dilakukan. Hal ini memiliki kesamaan gerak dengan waktu sebelumnya. Tetapi pada saat ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja, hal ini terlihat dari gerak permukaan air yang teratur.



Gambar VI.13 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 50%, t: 5s

Pada tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level* 50%, terlihat seperti gambar VI.13 tidak terlihat pergerakan permukaan air yang besar saat uji eksperimen dilakukan. Hal ini memiliki kesamaan gerak dengan waktu sebelumnya. Tetapi pada saat ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja, hal ini terlihat dari gerak permukaan air yang teratur.



Gambar VI.14 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 50%, t: 6s

Pada tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level* 50%, terlihat seperti gambar VI.14 tidak terlihat pergerakan permukaan air yang besar saat uji eksperimen dilakukan. Hal ini memiliki kesamaan gerak dengan waktu sebelumnya. Tetapi pada saat ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja, hal ini terlihat dari gerak permukaan air yang teratur.



Gambar VI.15 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 50%, t: 7s

Pada tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level* 50%, terlihat seperti gambar VI.15 tidak terlihat pergerakan permukaan air yang besar saat uji eksperimen dilakukan. Hal ini memiliki kesamaan gerak dengan waktu sebelumnya. Tetapi pada saat ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja, hal ini terlihat dari gerak permukaan air yang teratur.

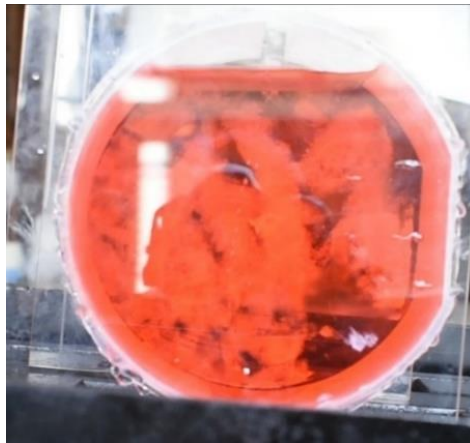


Gambar VI.16 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 50%, t: 8s

Pada gambar VI.9 sampai VI.16 merupakan hasil uji eksperimen yang menggambarkan gerak permukaan air pada tangki yang bergerak *rolling* pada $t = 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7$ dan 8s. Pergerakan permukaan air dalam tangki memiliki kemiripan dengan eksperimen *filling level* 10%. Pergerakan permukaan air yang terjadi tidak menunjukkan gelombang yang besar selama eksperimen dilakukan.

VI.1.3. Tangki Tanpa *Baffle Filling Level 90%*

Pada pengujian tangki *bilobe* tanpa *baffle* saat ini dilakukan pada variasi *filling level* 90% dengan ketinggian fluida 124.2 mm. Dikarenakan ukuran yang tidak mungkin ditepati untuk ketinggian 13.8 mm, maka nilai tersebut akan dibulatkan menjadi 124 mm. Pada tangki diberi tanda ketinggian air 124 mm untuk mendapatkan ketinggian yang akurat. Pada saat uji eksperimen, diperlukan pencatatan waktu dan gambar pergerakan tangki. Pengaturan amplitudo dan waktu periode perlu diterapkan kepada alat uji eksperimen sebelum eksperimen dilakukan. Berikut ini merupakan gambar dari hasil uji eksperimen pada *filling level* 90%.



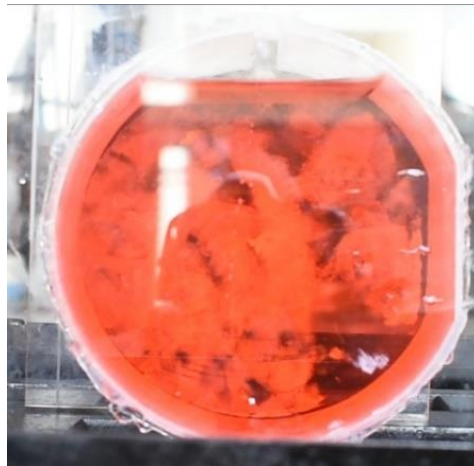
Gambar VI.17 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 90%, t: 1s

Pada uji eksperimen dengan *filling level* 90 % seperti yang terlihat pada gambar VI.17, terlihat tidak ada gerakan permukaan air yang berbentuk seperti gelombang besar. Permukaan air cenderung tenang mengikuti pergerakan alat uji. Tetapi pada waktu ini gaya kelembaman masih bekerja sehingga air bergerak secara tidak teratur.



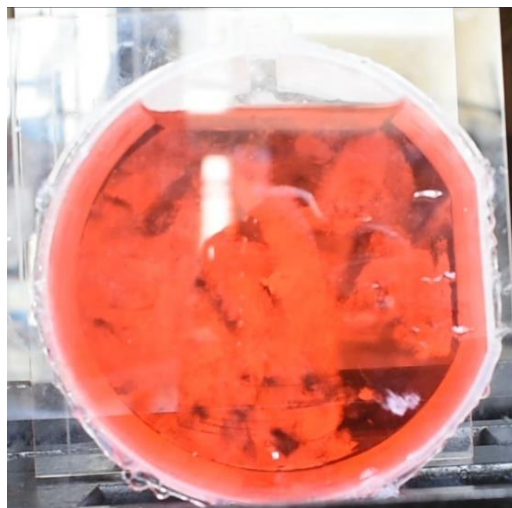
Gambar VI.18 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 90%, t: 2s

Pada uji eksperimen dengan *filling level* 90 % seperti yang terlihat pada gambar VI.18, terlihat tidak ada gerakan permukaan air yang berbentuk seperti gelombang besar. Permukaan air cenderung tenang mengikuti pergerakan alat uji. Tetapi pada waktu ini gaya kelembaman masih bekerja sehingga air bergerak secara tidak teratur.



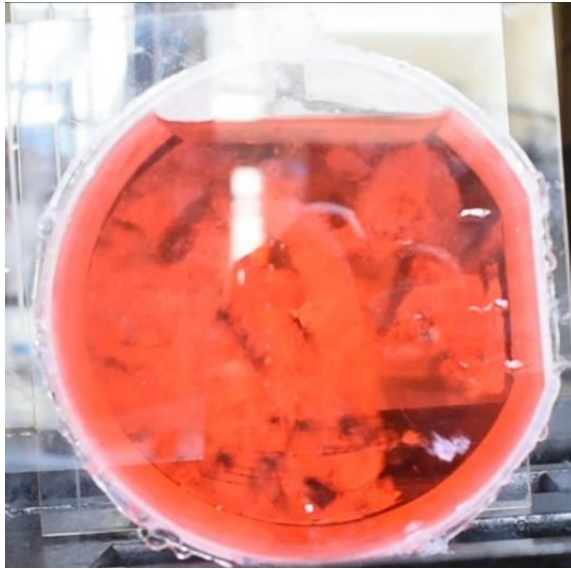
Gambar VI.19 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 90%, t: 3s

Pada uji eksperimen dengan *filling level* 90 % seperti yang terlihat pada gambar VI.19, terlihat tidak ada gerakan permukaan air yang berbentuk seperti gelombang besar. Permukaan air cenderung tenang mengikuti pergerakan alat uji. Pada waktu ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja sehingga air bergerak secara teratur.



Gambar VI.20 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 90%, t: 4s

Pada uji eksperimen dengan *filling level* 90 % seperti yang terlihat pada gambar VI.20, terlihat tidak ada gerakan permukaan air yang berbentuk seperti gelombang besar. Permukaan air cenderung tenang mengikuti pergerakan alat uji. Pada waktu ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja sehingga air bergerak secara teratur.



Gambar VI.21 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 90%, t: 5s

Pada uji eksperimen dengan *filling level* 90 % seperti yang terlihat pada gambar VI.21, terlihat tidak ada gerakan permukaan air yang berbentuk seperti gelombang besar. Permukaan air cenderung tenang mengikuti pergerakan alat uji. Pada waktu ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja sehingga air bergerak secara teratur.



Gambar VI.22 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 90%, t: 6s

Pada uji eksperimen dengan *filling level* 90 % seperti yang terlihat pada gambar VI.22, terlihat tidak ada gerakan permukaan air yang berbentuk seperti gelombang besar. Permukaan air cenderung tenang mengikuti pergerakan alat uji. Pada waktu ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja sehingga air bergerak secara teratur.



Gambar VI.23 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 90%, t: 7s

Pada uji eksperimen dengan *filling level* 90 % seperti yang terlihat pada gambar VI.23, terlihat tidak ada gerakan permukaan air yang berbentuk seperti gelombang besar. Permukaan air cenderung tenang mengikuti pergerakan alat uji. Pada waktu ini gaya kelembaman sudah tidak bekerja sehingga air bergerak secara teratur.



Gambar VI.24 Tangki Uji *Bilobe* Tanpa *Baffle* 90%, t: 8s

Pada gambar VI.17 sampai VI.24 merupakan hasil uji eksperimen yang menggambarkan gerak permukaan air pada tangki *bilobe filling level* 90% yang bergerak

rolling pada $t = 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7$ dan 8 s. Pergerakan permukaan air dalam tangki memiliki kemiripan dengan kedua eksperimen lainnya. Pergerakan permukaan air yang terjadi tidak menunjukkan gelombang yang besar selama eksperimen dilakukan.

VI.2. Hasil CFD

VI.2.1. Convergence

Konvergensi merupakan sebuah proses pada analisa masalah yang dilakukan dalam CFD yang berhubungan dengan iterasi. Langkah ini dilakukan pada tahap *flow solver*, tahap ini merupakan sebuah tindakan yang dilakukan untuk menentukan kondisi batas yang diterapkan dalam komputasi. Jumlah iterasi yang ditentukan dalam analisa akan mempengaruhi waktu komputasi, semakin banyak iterasi maka waktu yang dibutuhkan untuk melakukan komputasi semakin lama. Jumlah iterasi yang ditentukan pada analisa mempengaruhi jumlah total elemen, semakin banyak total elemen maka jumlah iterasi yang dibutuhkan juga akan semakin banyak.

Pada proses iterasi, iterasi akan berhenti dilakukan ketika komputasi pada *timesteps* tersebut mencapai batas dari jumlah iterasi yang telah ditentukan atau proses iterasi telah mencapai konvergensi yang ditentukan. Besar nilai yang digunakan sebagai batas konvergensi pada penelitian yang terkait dengan perilaku fluida adalah sebesar 10^{-3} . Dikutip dari (ANSYS,2007; Dinham dkk.,2008) nilai 10^{-5} merupakan nilai konvergensi terbaik yang telah banyak digunakan dalam penelitian.

VI.2.2. Grid Independence

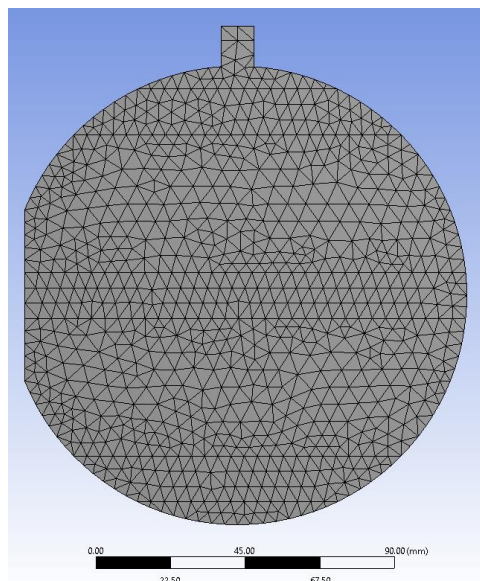
Pada proses *grid independence* dilakukan analisa tingkat *grid data output* berupa tekanan statis terhadap variasi ukuran *mesh* pada *filling level* 50%. Dikutip dari (Godderidge,2006), analisa *grid independence* dapat dibatasi pada jumlah *cycle* tertentu (*number of timesteps*). Hal ini menyesuaikan dengan kebutuhan data yang akan dianalisa serta kemampuan computer. Pada ITTC perkiraan *error* hidrodinamika yang terjadi bukan angka yang tepat tetapi menjadi angka nominal perkiraan $\pm 5\%$ atau 10% . *Grid independence* akan dilakukan jika proses simulasi CFD telah mendapatkan solusi yang konvergen. Pada penelitian kali ini jumlah *number of timesteps* yang diteliti dibatasi sebanyak 2800. Pada tabel VI.1 di bawah ini merupakan variasi *meshing* pada tahap *grid independence* :

Tabel VI.1 Variasi Grid

Tipe	interval size		Number of elements	number of node
	<i>face meshing</i>	<i>edge sizing mesh</i>		
Grid A	5	4	1649	884
Grid B	5	2	4537	2380
Grid C	2.5	1.5	8192	4245
Grid D	5	1	11968	6203

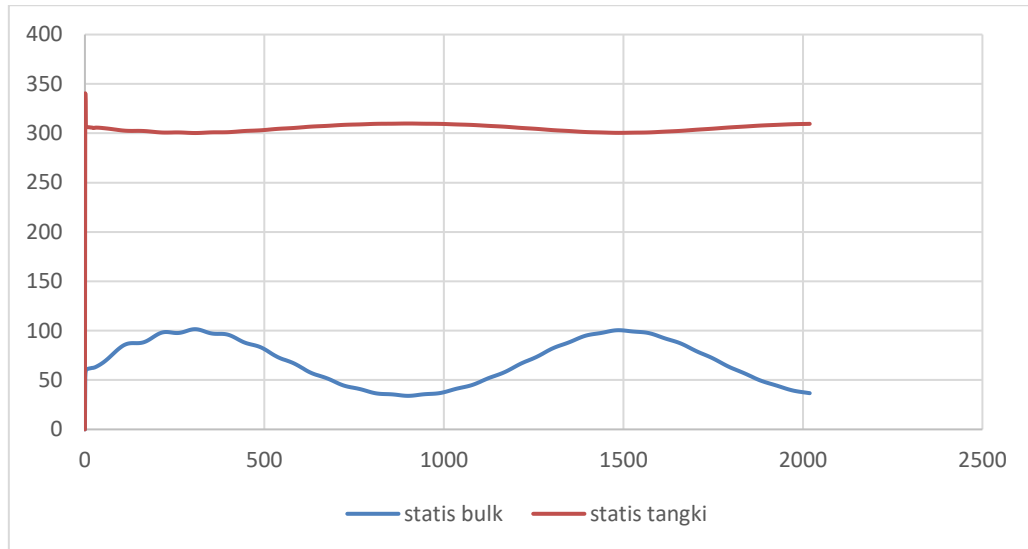
Pada tahap pemilihan grid, digunakan jenis elemen berbentuk segitiga dengan metode pembagian daerah kritis. Metode pembagian daerah kritis ini memberikan perhatian khusus pada daerah kritis seperti dinding yang berdekatan dengan fluida dan permukaan fluida yang bergerak akibat fenomena *sloshing*. Gambar VI 25 di bawah ini merupakan gambaran bentuk Grid yang digunakan dalam penelitian beserta hasil perhitungan tekanan dalam bentuk grafik yang diperlihatkan pada gambar VI.26.

Pada gambar tersebut terlihat bahwa grid yang rapat berada di sekitar dinding tangki dan daerah permukaan fluida di ketinggian 10%, 50% dan 90%. Pada daerah – daerah kritis tersebut pembuatan grid menggunakan metode *edge sizing* dengan ukuran 4 mm. Metode *edge sizing* merupakan pembuatan *mesh* dengan acuan rusuk, oleh karena itu dibutuhkan garis pembagi daerah pada tangki untuk menerapkan metode ini. Batas garis pembagi pada tangki dapat dilihat pada gambar III.9 pada Bab III. Dan pada daerah lainnya digunakan metode *face meshing* dengan menerapkan permukaan sisi sebagai tempat pembuatan grid.



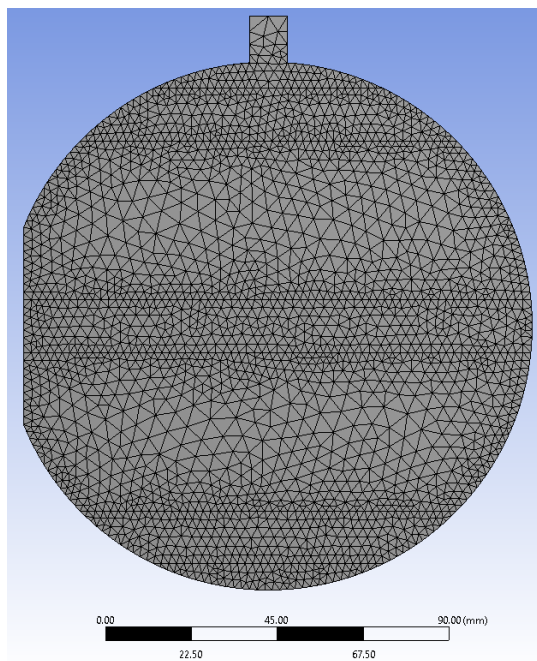
Gambar VI.25 Grid A dengan Jumlah Elemen 1649

Grid A merupakan model dengan tingkat kerapatan *mesh* paling rendah yang digunakan dalam tahap *grid independence* ini. Untuk rincian rata – rata hasil nilai tekanan pada model *grid A* dijelaskan pada Gambar VI.26.



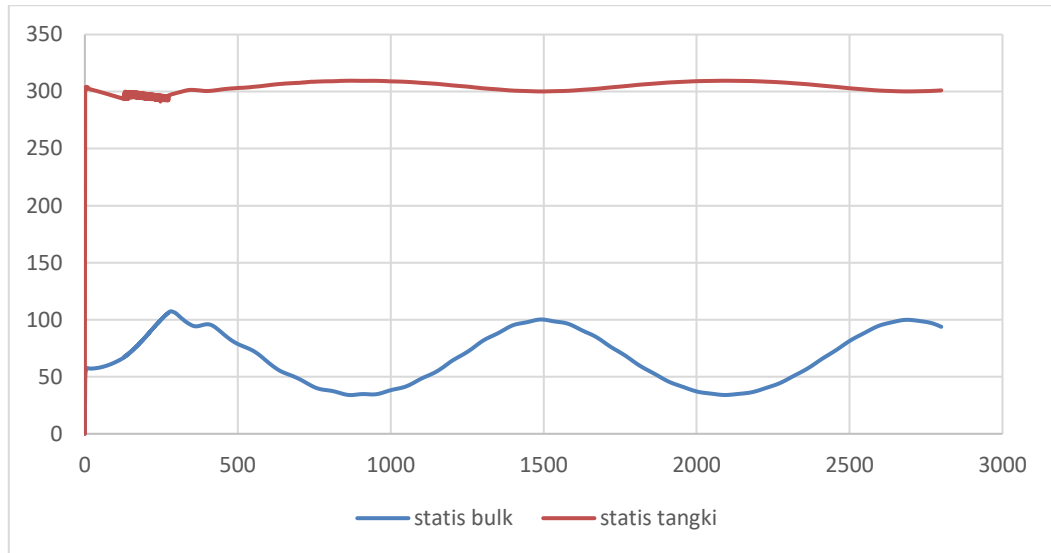
Gambar VI.26 Hasil Grafik Tekanan Statis pada Jumlah Elemen 1649

Pada Gambar VI.26 hasil tekanan statis yang terjadi pada *Grid A* memiliki kisaran nilai pada 300 Pa untuk daerah dinding tangki. Dan pada daerah *longitudinal bulkhead* memiliki nilai antara 100 Pa sampai 50 Pa. Untuk nilai rata - rata pada daerah dinding tangki sebesar 304.8 Pa dan pada *longitudinal bulkhead* sebesar 101.51Pa.



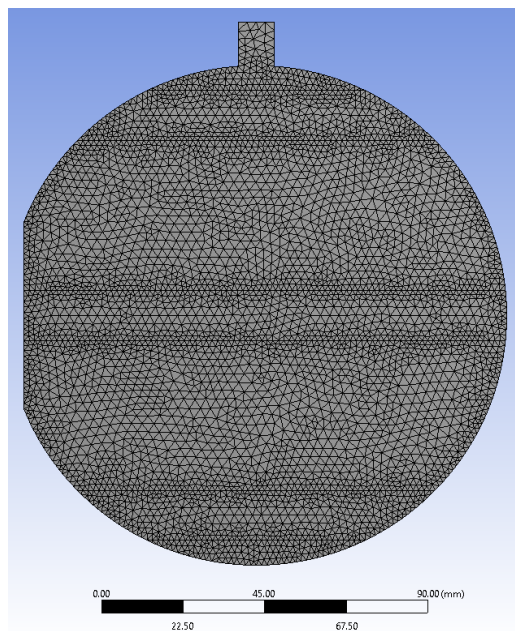
Gambar VI.27 Grid B dengan Jumlah Elemen 4537

Grid B merupakan model dengan tingkat kerapatan *edge sizing mesh* sebesar 2 mm dengan *face meshing* sebesar 5 mm. Untuk rincian rata – rata hasil nilai tekanan pada model grid B dijelaskan pada Gambar VI.28.



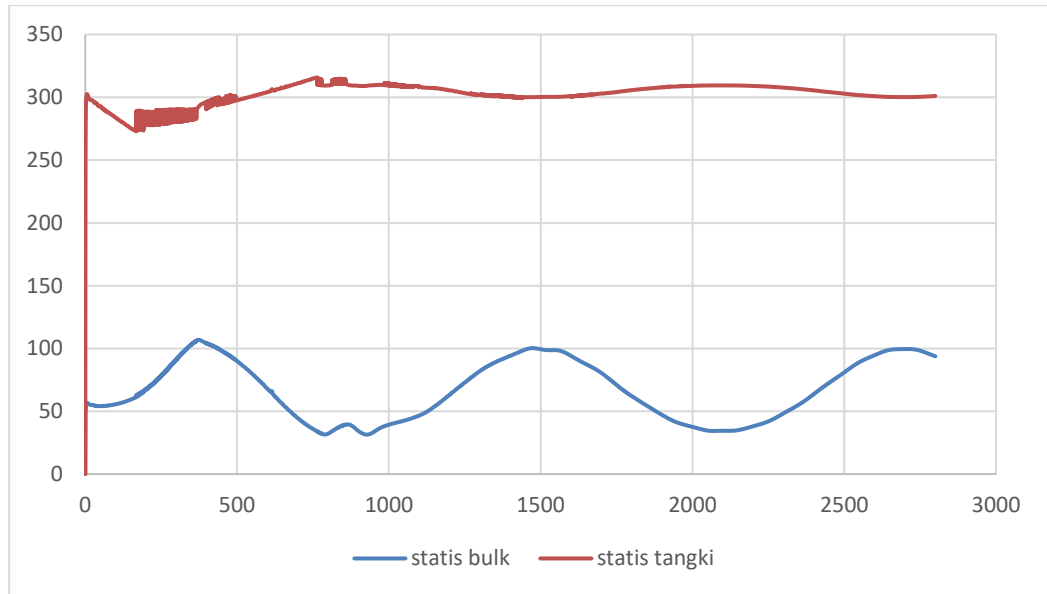
Gambar VI.28 Hasil Grafik Tekanan Statis pada Jumlah Elemen 4537

Pada Gambar VI.28 hasil tekanan statis yang terjadi pada Grid B memiliki kisaran nilai pada 300 Pa untuk daerah dinding tangki. Dan pada daerah *longitudinal bulkhead* memiliki nilai anta 100 Pa sampai 50 Pa. Untuk nilai rata - rata pada daerah dinding tangki sebesar 304.07 Pa dan pada *longitudinal bulkhead* sebesar 67.43Pa.



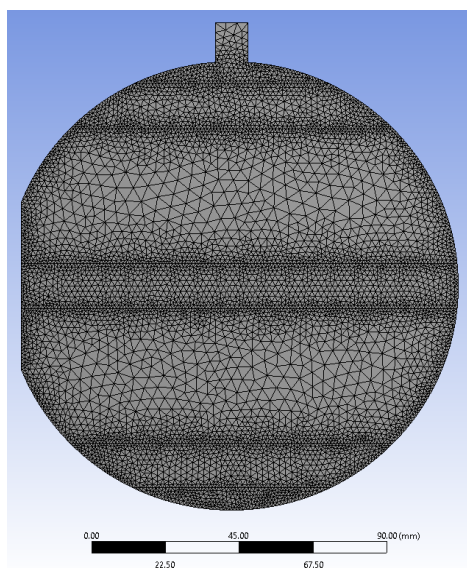
Gambar VI.29 Grid C dengan Jumlah Elemen 8192

Grid C merupakan model dengan tingkat kerapatan edge sizing mesh sebesar 1.5 mm dengan face meshing sebesar 2.5 mm. Untuk rincian rata – rata hasil nilai tekanan pada model grid C dijelaskan pada Gambar VI.30.



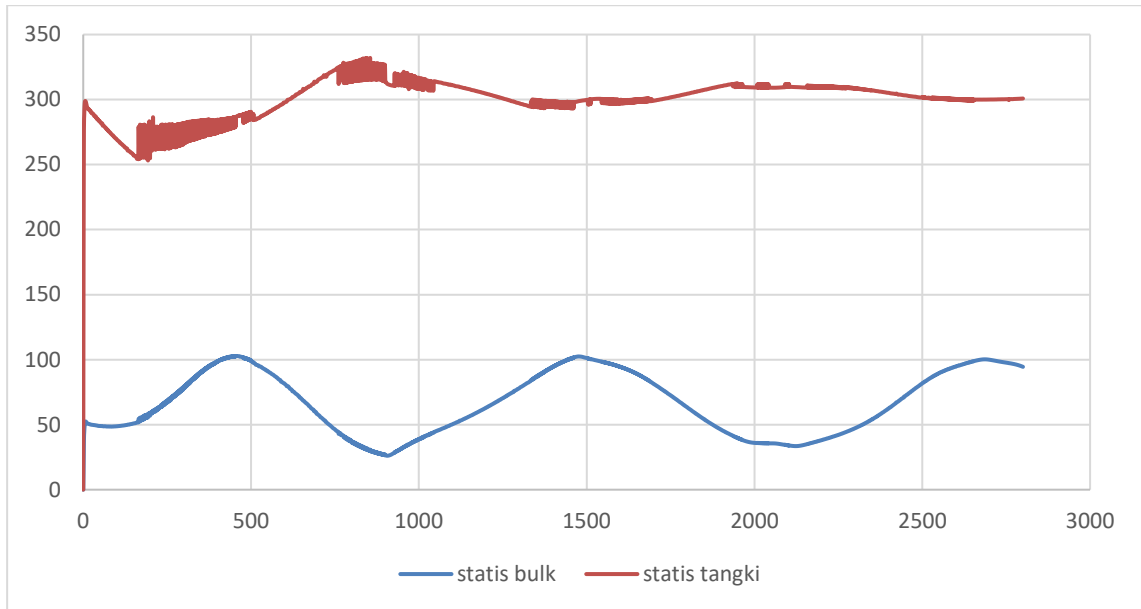
Gambar VI.30 Hasil Grafik Tekanan Statis pada Jumlah Elemen 8192

Pada Gambar VI.30 hasil tekanan statis yang terjadi pada Grid C memiliki kisaran nilai pada 300 Pa untuk daerah dinding tangki. Dan pada daerah *longitudinal bulkhead* memiliki nilai antara 100 Pa sampai 50 Pa. Untuk nilai rata - rata pada daerah dinding tangki sebesar 302.27 Pa dan pada *longitudinal bulkhead* sebesar 66.8 Pa.



Gambar VI.31 Grid D dengan Jumlah Elemen 11968

Grid D merupakan model dengan tingkat kerapatan edge sizing mesh sebesar 0.8 mm dengan face meshing sebesar 2.5 mm. Untuk rincian hasil nilai tekanan pada model grid D dijelaskan pada Gambar VI.32.



Gambar VI.32 Hasil Grafik Tekanan Statis pada Jumlah Elemen 11968

Pada Gambar VI.32 hasil tekanan statis yang terjadi pada Grid D memiliki kisaran nilai pada 300 Pa untuk daerah dinding tangki. Dan pada daerah *longitudinal bulkhead* memiliki nilai antara 100 Pa sampai 50 Pa. Untuk nilai rata-rata pada daerah dinding tangki sebesar 300.03 Pa dan pada *longitudinal bulkhead* sebesar 66.61 Pa.

Setelah dilakukan analisa maka akan didapatkan nilai tekanan statis dan dinamis pada daerah yang telah ditentukan sebelumnya. Pada tabel III.8 diperlihatkan hasil dari tekanan statis tiap *grid* pada daerah *longitudinal bulkhead*.

Tabel VI.2 Hasil Rata-Rata Tekanan Statis pada *Longitudinal Bulkhead*.

Grid	Jumlah elemen	Pressure Statis
Grid A	1649	69.36
Grid B	4537	67.43
Grid C	8192	66.80
Grid D	11968	66.61

VI.2.3. Analisa Tingkat *Error Meshing*

Pada sub-bab ini dilakukan analisa tingkat *error meshing* pada tiap *grid* model. Sebelum dilakukan analisa, diperlukan penentuan *grid* acuan untuk menjadi pembanding tiap

grid lainnya. Pemilihan *grid* acuan berdasarkan dari jumlah *mesh* terbanyak dikarenakan fungsi dari *grid independence* adalah menemukan *mesh* yang optimum. *Mesh* optimum ini akan menghasilkan hasil yang tidak berubah atau hanya terjadi perubahan kecil (di bawah 10%) ketika ukuran *mesh* diperbesar. Maka dari itu dipilihlah *grid* D sebagai *grid* acuan.

Pada tahap membandingkan hasil tiap *grid* dengan *grid* acuan, digunakan metode RMSE atau *root mean square error*. Persamaan untuk RMSE telah dibahas pada sub-bab II.9 Teori Analisis Tingkat Kesalahan Meshing. Dengan menggunakan persamaan dari sub-bab II.9 dan dibantu dengan bantuan *software* Microsoft Excel maka didapat nilai RMSE tiap *grid* yang dirangkum dalam tabel VI.3.

Tabel VI.3 RMSE terhadap Grid Acuan D

Tipe	Nilai RMSE	RMSE (%)
Grid A	13.68	20.36
Grid B	9.5635	14.35
Grid C	3.775	5.667

Pada tabel III.12 nilai RMSE yang memenuhi kriteria di bawah 10% hanya *grid* E dengan jumlah element 8192. Waktu yang diperlukan untuk melakukan komputasi pada model ini sebesar ± 3 jam dengan menggunakan spesifikasi komputer dengan *processor* Intel core i7 generasi ke-delapan (8750 H) yang dijelaskan dengan pada tabel VI.4 di bawah ini. Tingkat *grid* yang direkomendasikan oleh penulis adalah *grid* C. Hal ini dikarenakan hanya *grid* E yang memenuhi kriteria nilai RMSE di bawah 10% dan waktu yang diperlukan untuk menganalisa masalah ini ± 3 jam. Walau waktu yang dibutuhkan cukup lama, tetapi dengan kemampuan komputer yang cukup baik masalah ini tidak menjadi hambatan. Oleh karena itu pengaturan *grid* C akan menjadi dasar pengaturan pada model tangki tanpa *baffle*, *baffle* bawah dan *baffle* atas dengan *filling level* 10%, 50% dan 90%.

Tabel VI.4 Spesifikasi Laptop

Jenis	ASUS TUF GAMING FX504 GE
Processor	Intel Core i7-8750 H
RAM dan Memori Penyimpanan	8192 MB, HDD 1 TB dan SSD 128 GB
GPU	Intel UHD Graphics 630 (4151 MB) NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti (4021 MB)

VI.2.4. Hasil CFD pada Kondisi Batas

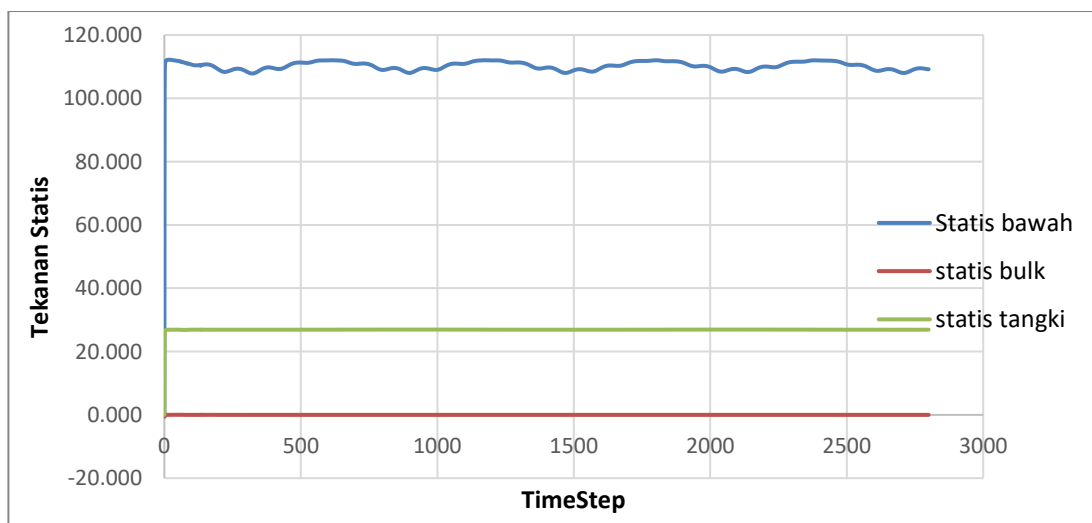
Perhitungan untuk model tangki *bilobe* dan variasi *filling level* dilakukan setelah proses *grid independence*. Pada proses tersebut akan didapatkan pengaturan *meshing* yang

diterapkan untuk semua model dan variasi. Model yang digunakan pada penelitian ini adalah tangki *bilobe* tanpa *baffle*, tangki *bilobe* dengan *baffle* bawah dan tangki *bilobe* dengan *baffle* atas. Untuk variasi *filling level* digunakan 10%, 50% dan 90% sesuai dengan batasan masalah yang ditentukan. Pengaturan *meshing* yang digunakan pada analisa CFD adalah *edge sizing* dengan ukuran 1.5 mm dan *max sizing* 2.5 mm dengan bentuk elemen segitiga. Berikut ini merupakan rata – rata tekanan statis dan dinamis serta grafik dari tiap tekanan pada daerah dinding tangki bawah, dinding samping kiri dan sekat *longitudinal bulkhead*.

Tabel VI.5 Hasil Tekanan pada Tangki Tanpa *Baffle Filling Level* 10%

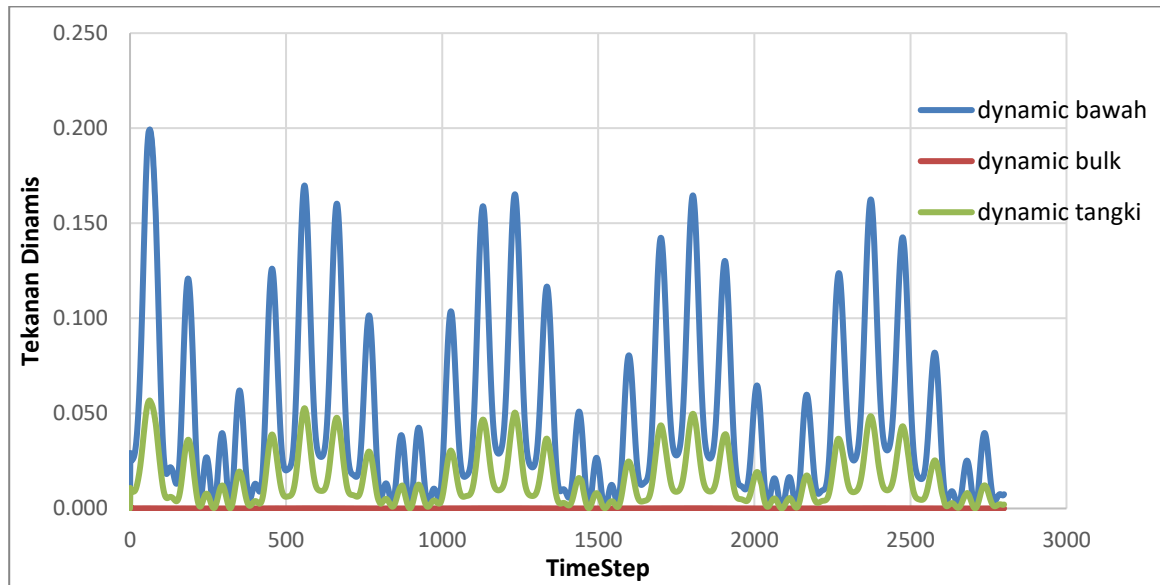
max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	112.183	statis pressure	left wall 8	110.218
	longitudinal bulkhead	0.039		longitudinal bulkhead	0.000
	tangki wall	26.952		tangki wall	26.908
dynamic pressure	left wall 8	0.199	dynamic pressure	left wall 8	0.049
	longitudinal bulkhead	0.001		longitudinal bulkhead	0.000
	tangki wall	0.057		tangki wall	0.015

Tabel VI.5 merupakan hasil rekap nilai rata – rata dan maksimum tekanan statis serta dinamis yang terjadi pada 3 daerah tinjauan pada tangki *bilobe* tanpa *baffle filling level* 10%. Pada dinding 8 atau dinding tangki nilai maksimum tekanan statis sebesar 112.183 Pa. Pada daerah *longitudinal bulkhead* tekanan maksimum 0.039 Pa dan 26.952 Pa pada daerah dinding tangki. Gambar VI.33 dan 34 merupakan grafik dari rekap nilai tekanan statis dan dinamis pada seluruh *timestep*.



Gambar VI.33 Grafik Tekanan Statis Tangki Tanpa *Baffle* pada *Filling Level* 10%

Pada gambar VI.33 nilai tekanan statis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai mendekati 0. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai 25 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 110 Pa sampai 120 Pa.



Gambar VI.34 Grafik Tekanan Statis Tangki Tanpa *Baffle* pada *Filling Level* 10%

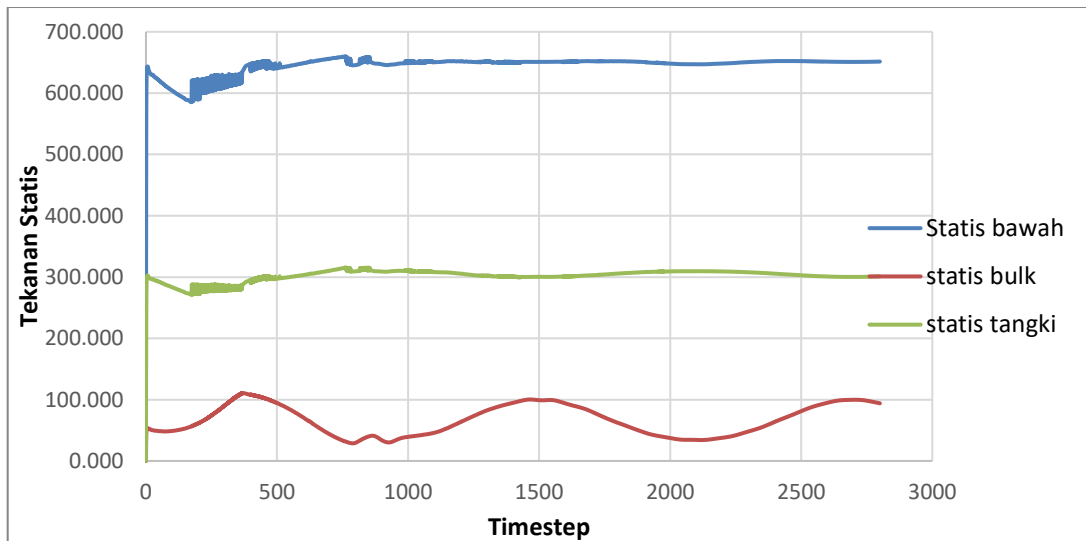
Pada gambar VI.34 nilai tekanan dinamis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai mendekati 0. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai antara 0 sampai 0.05 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 0 Pa sampai 0.2 Pa.

Tabel VI.6 Hasil Tekanan pada Tangki Tanpa *Baffle Filling Level* 50%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	660.140	statis pressure	left wall 8	644.934
	longitudinal bulkhead	110.981		longitudinal bulkhead	66.620
	tangki wall	315.489		tangki wall	301.911
dynamic pressure	left wall 8	0.177	dynamic pressure	left wall 8	0.049
	longitudinal bulkhead	0.092		longitudinal bulkhead	0.026
	tangki wall	0.097		tangki wall	0.033

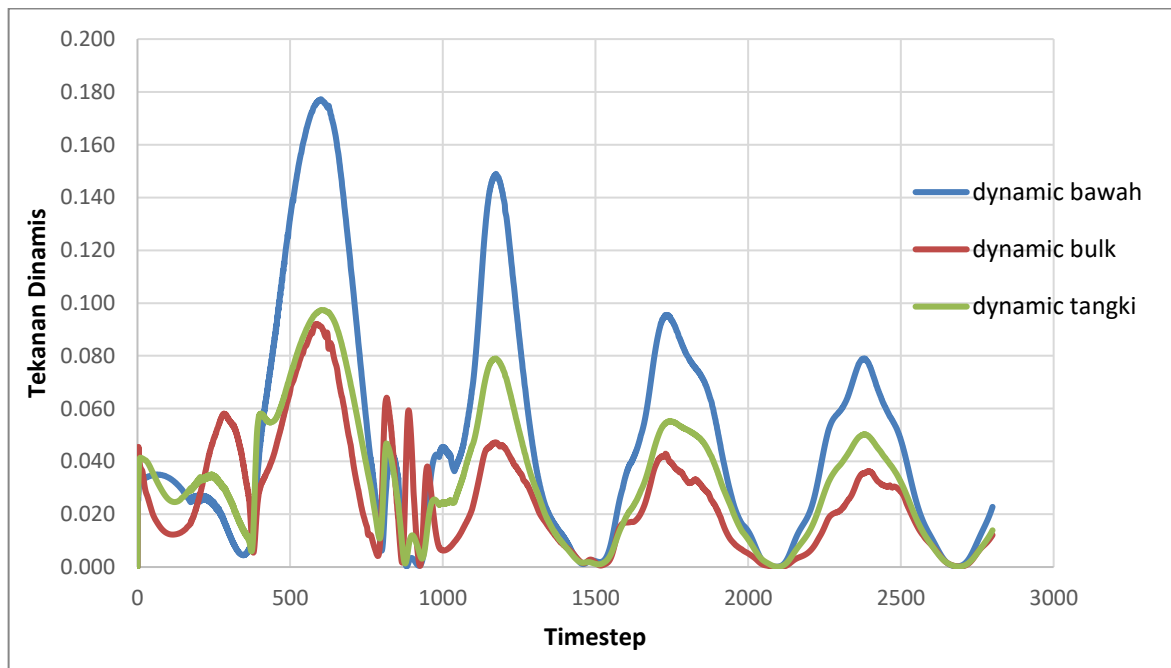
Tabel VI.6 merupakan hasil rekap nilai rata – rata dan maksimum tekanan statis serta dinamis yang terjadi pada 3 daerah tinjauan pada tangki *bilobe* tanpa *baffle filling level* 50%. Pada dinding 8 atau dinding tangki nilai maksimum tekanan statis sebesar 660.14 Pa. Pada daerah *longitudinal bulkhead* tekanan maksimum 110.981 Pa dan 315.489 Pa pada daerah

dinding tangki. Gambar VI.35 dan 36 merupakan grafik dari rekap nilai tekanan statis dan dinamis pada seluruh *timestep*.



Gambar VI.35 Grafik Tekanan Statis Tangki Tanpa *Baffle* pada *Filling Level* 50%

Pada gambar VI.35 nilai tekanan statis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai di antara 20 – 100 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai 300 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 600 Pa sampai 650 Pa.



Gambar VI.36 Grafik Tekanan Dinamis Tangki Tanpa *Baffle* pada *Filling Level* 50%

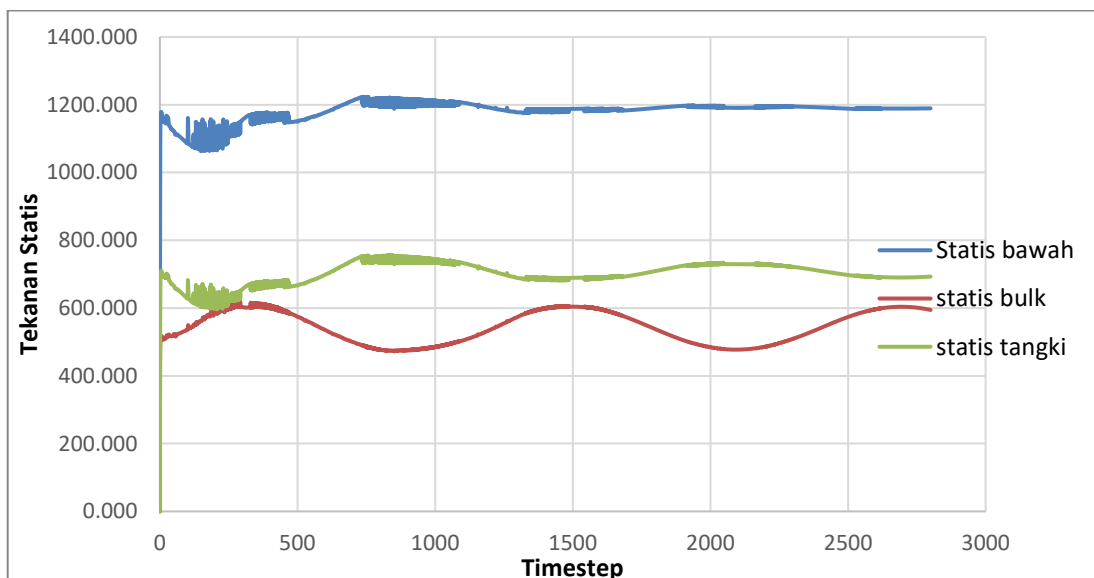
Pada gambar VI.36 nilai tekanan dinamis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai antara 0 sampai 0.09 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran

nilai antara 0 sampai 0.1 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 0 Pa sampai 0.18 Pa. grafik yang terbentuk dari nilai tekanan statis tiap *timestep* memiliki nilai yang non-linier.

Tabel VI.7 Hasil Tekanan pada Tangki Tanpa *Baffle Filling Level 90%*

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	1223.284	statis pressure	left wall 8	1180.178
	longitudinal bulkhead	622.776		longitudinal bulkhead	544.279
	tangki wall	755.782		tangki wall	700.393
dynamic pressure	left wall 8	0.369	dynamic pressure	left wall 8	0.092
	longitudinal bulkhead	0.324		longitudinal bulkhead	0.087
	tangki wall	0.198		tangki wall	0.062

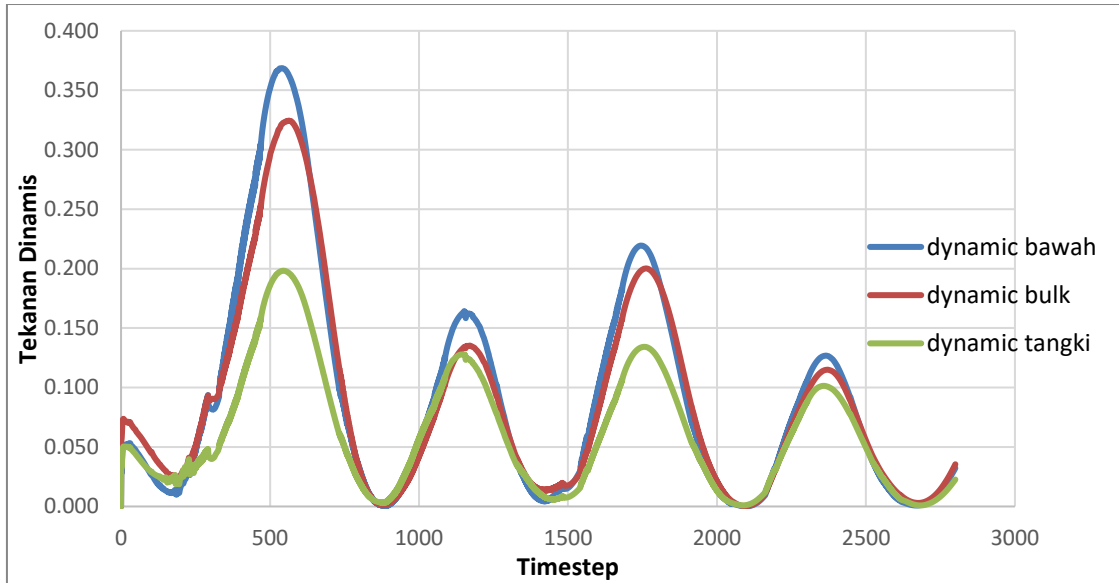
Tabel VI.6 merupakan hasil rekap nilai rata – rata dan maksimum tekanan statis serta dinamis yang terjadi pada 3 daerah tinjauan pada tangki *bilobe* tanpa *baffle filling level 90%*. Pada dinding 8 atau dinding tangki nilai maksimum tekanan statis sebesar 1223.284 Pa, nilai ini memiliki nilai dua kali lebih besar dibandingkan dengan nilai tekanan maksimum statis pada *filling level 50%*. Pada daerah *longitudinal bulkhead* tekanan maksimum 622.776 Pa dan 755.782 Pa pada daerah dinding tangki. Gambar VI.37 dan 38 merupakan grafik dari rekap nilai tekanan statis dan dinamis pada seluruh *timestep*.



Gambar VI.37 Grafik Tekanan Statis Tangki Tanpa *Baffle* pada *Filling Level 90%*

Pada gambar VI.37 nilai tekanan statis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai di antara 450 - 600 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai

700 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 1100 Pa sampai 1200 Pa.



Gambar VI.38 Grafik Tekanan Dinamis Tangki Tanpa *Baffle* pada *Filling Level* 90%

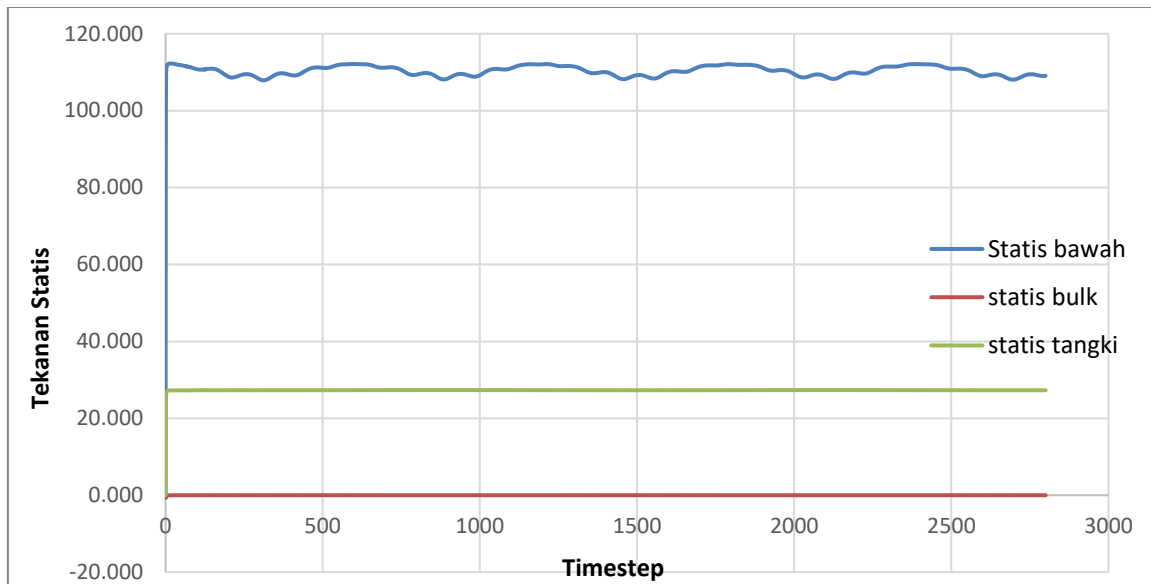
Pada gambar VI.38 nilai tekanan dinamis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai antara 0 sampai 0.32 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai antara 0 sampai 0.2 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 0 Pa sampai 0.37 Pa. grafik yang terbentuk dari nilai tekanan statis tiap *timestep* memiliki nilai yang non-linier.

Tabel VI.8 Hasil Tekanan pada Tangki *Baffle* Atas *Filling Level* 10%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	112.261	statis pressure	left wall 8	110.296
	longitudinal bulkhead	0.006		longitudinal bulkhead	-0.001
	tangki wall	27.348		tangki wall	27.306
dynamic pressure	left wall 8	0.206	dynamic pressure	left wall 8	0.050
	longitudinal bulkhead	0.001		longitudinal bulkhead	0.000
	tangki wall	0.060		tangki wall	0.015

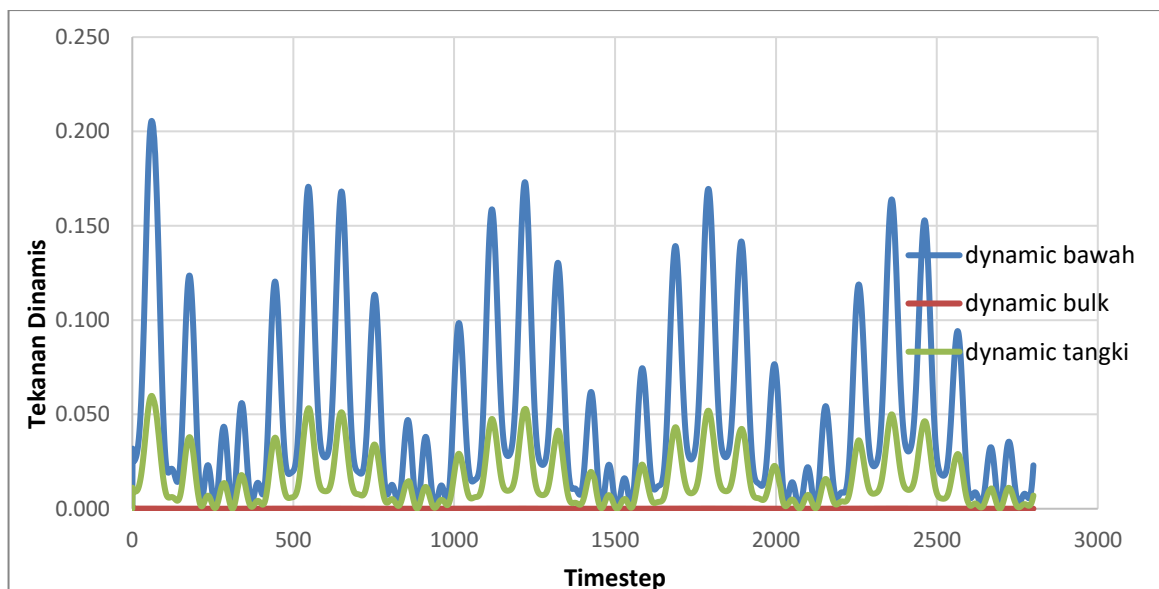
Tabel VI.8 merupakan hasil rekap nilai rata – rata dan maksimum tekanan statis serta dinamis yang terjadi pada 3 daerah tinjauan pada tangki *bilobe* dengan *baffle* atas *filling level* 10%. Pada dinding 8 atau dinding tangki nilai maksimum tekanan statis sebesar 112.261 Pa. Pada daerah *longitudinal bulkhead* tekanan maksimum 0.006 Pa dan 27.348 Pa pada daerah

dinding tangki. Gambar VI.39 dan 40 merupakan grafik dari rekap nilai tekanan statis dan dinamis pada seluruh *timestep*.



Gambar VI.39 Grafik Tekanan Statis Tangki *Baffle* Atas pada *Filling Level* 10%

Pada gambar VI.39 nilai tekanan statis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai di mendekati 0 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai 25 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 110 Pa sampai 120 Pa.



Gambar VI.40 Grafik Tekanan Dinamis Tangki *Baffle* Atas pada *Filling Level* 10%

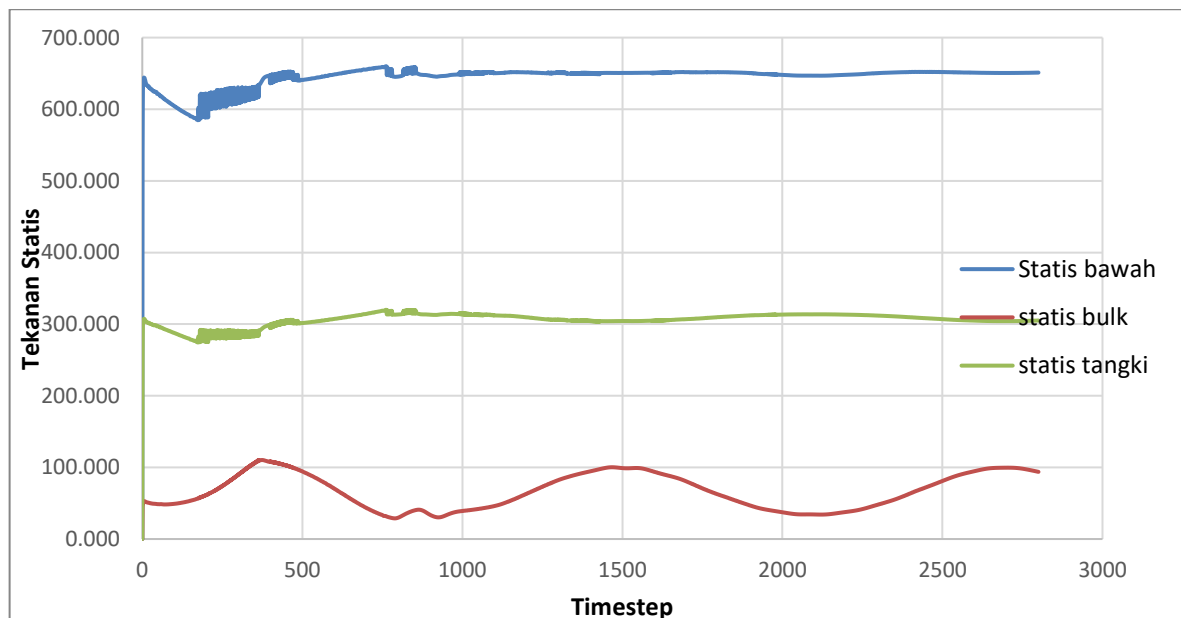
Pada gambar VI.40 nilai tekanan dinamis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai mendekati 0 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai

antara 0 sampai 0.06 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 0 Pa sampai 0.2 Pa. grafik yang terbentuk dari nilai tekanan statis tiap *timestep* memiliki nilai yang non-linier.

Tabel VI.9 Hasil Tekanan pada Tangki *Baffle* Atas *Filling Level* 50%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	660.040	statis pressure	left wall 8	644.789
	longitudinal bulkhead	110.262		longitudinal bulkhead	66.468
	tangki wall	319.947		tangki wall	305.998
dynamic pressure	left wall 8	0.179	dynamic pressure	left wall 8	0.050
	longitudinal bulkhead	0.091		longitudinal bulkhead	0.025
	tangki wall	0.100		tangki wall	0.033

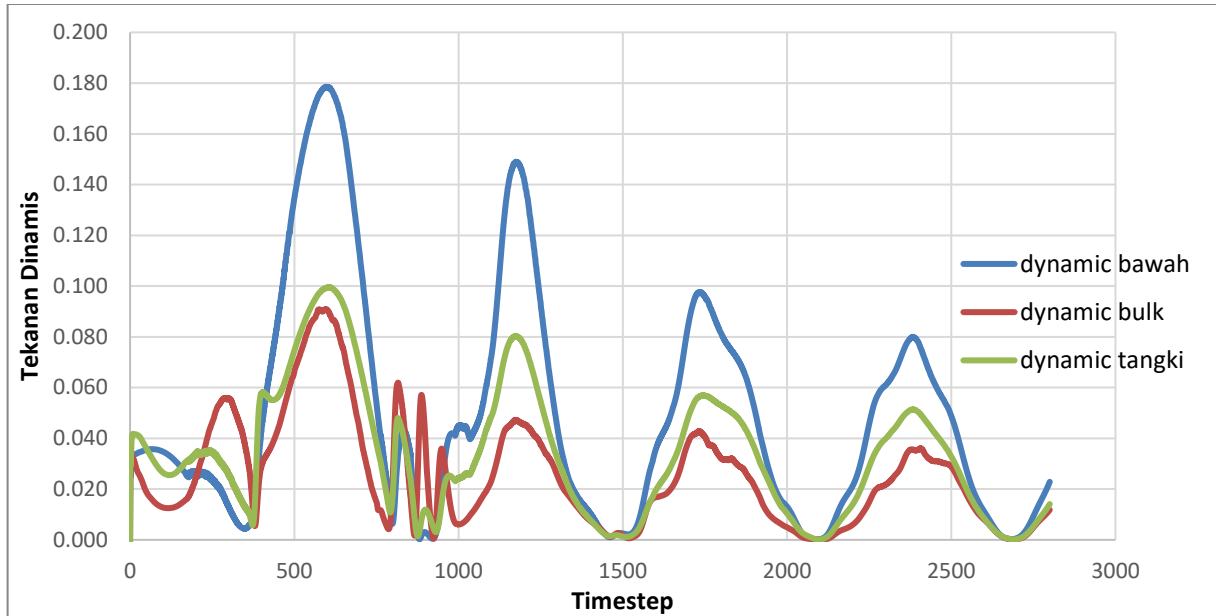
Tabel VI.9 merupakan hasil rekap nilai rata – rata dan maksimum tekanan statis serta dinamis yang terjadi pada 3 daerah tinjauan pada tangki *bilobe* dengan *baffle* atas *filling level* 50%. Pada dinding 8 atau dinding tangki nilai maksimum tekanan statis sebesar 660.04Pa. Pada daerah *longitudinal bulkhead* tekanan maksimum 110.262 Pa dan 319.947 Pa pada daerah dinding tangki. Gambar VI.41 dan 42 merupakan grafik dari rekap nilai tekanan statis dan dinamis pada seluruh *timestep*.



Gambar VI.41 Grafik Tekanan Statis Tangki *Baffle* Atas pada *Filling Level* 50%

Pada gambar VI.41 nilai tekanan statis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai di antara 0 - 100 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai 300

Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 600 Pa sampai 650 Pa.



Gambar VI.42 Grafik Tekanan Dinamis Tangki *Baffle* Atas pada *Filling Level* 50%

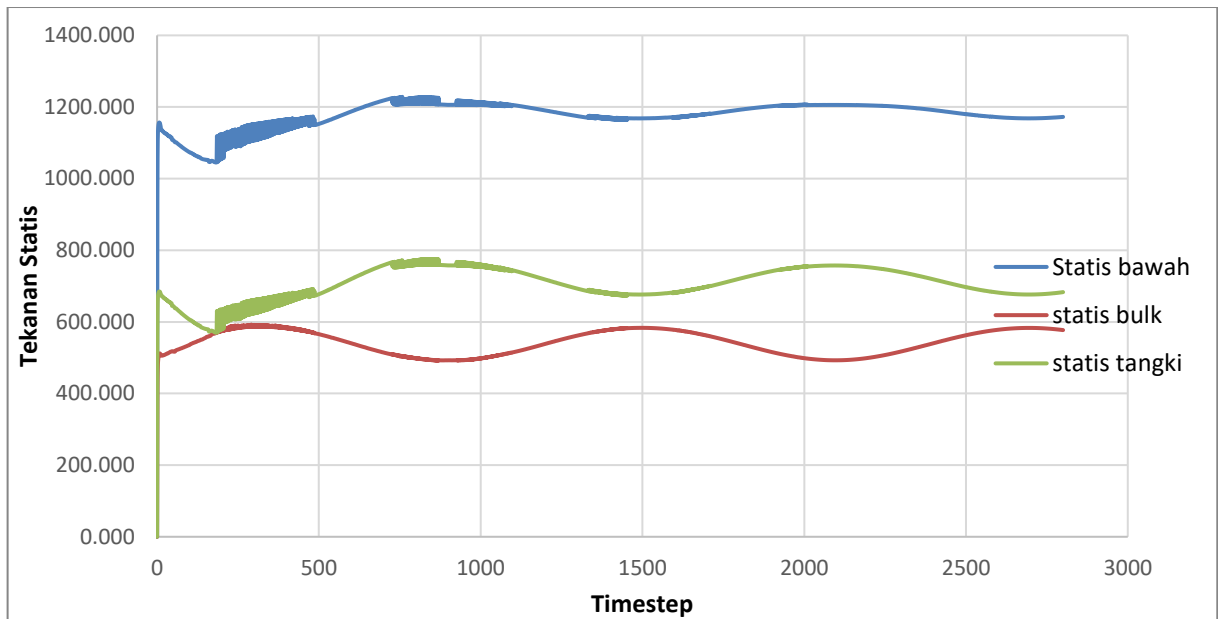
Pada gambar VI.42 nilai tekanan dinamis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai antara 0 sampai 0.1 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai antara 0 sampai 0.1 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 0 Pa sampai 0.18 Pa. grafik yang terbentuk dari nilai tekanan statis tiap *timestep* memiliki nilai yang non-linier.

Tabel VI.10 Hasil Tekanan pada Tangki *Baffle* Atas *Filling Level* 90%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	1228.413	statis pressure	left wall 8	1176.828
	longitudinal bulkhead	592.288		longitudinal bulkhead	541.971
	tangki wall	775.167		tangki wall	705.410
dynamic pressure	left wall 8	0.229	dynamic pressure	left wall 8	0.059
	longitudinal bulkhead	0.157		longitudinal bulkhead	0.051
	tangki wall	0.184		tangki wall	0.055

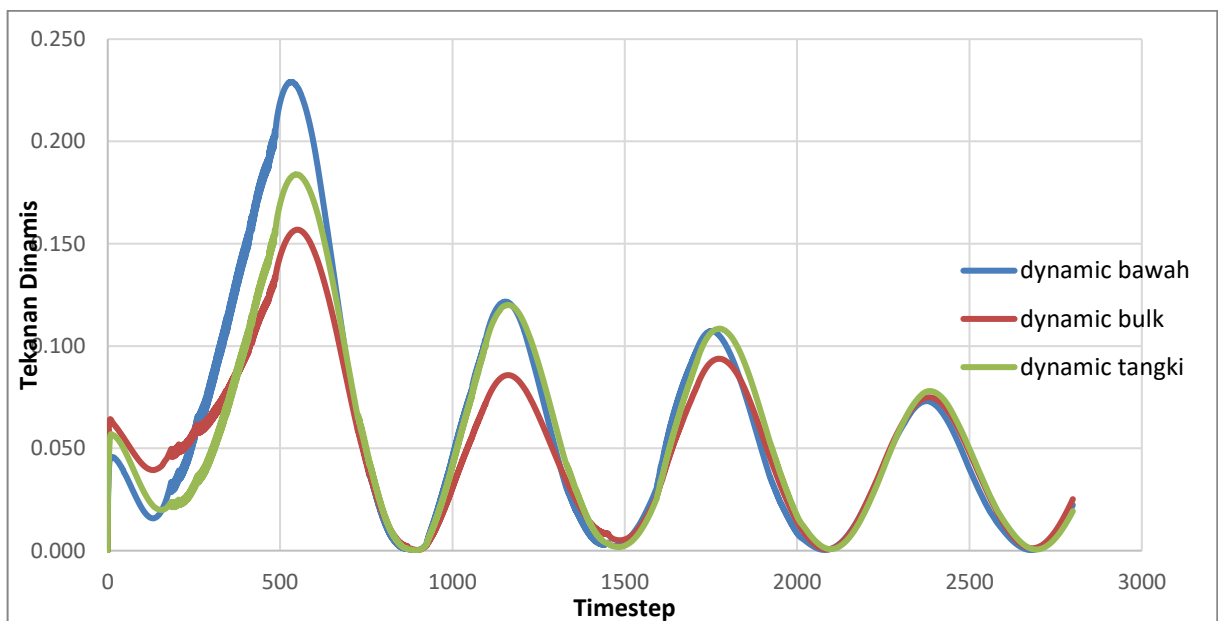
Tabel VI.10 merupakan hasil rekap nilai rata – rata dan maksimum tekanan statis serta dinamis yang terjadi pada 3 daerah tinjauan pada tangki *bilobe* dengan *baffle* atas *filling level* 90%. Pada dinding 8 atau dinding tangki nilai maksimum tekanan statis sebesar 1228.413 Pa. Pada daerah *longitudinal bulkhead* tekanan maksimum 592.288 Pa dan 775.167

Pa pada daerah dinding tangki. Gambar VI.43 dan 44 merupakan grafik dari rekap nilai tekanan statis dan dinamis pada seluruh *timestep*.



Gambar VI.43 Grafik Tekanan Statis Tangki *Baffle* Atas pada *Filling Level* 90%

Pada gambar VI.43 nilai tekanan statis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai di antara 500 - 600 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai 600 - 800 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 1000 Pa sampai 1200 Pa.



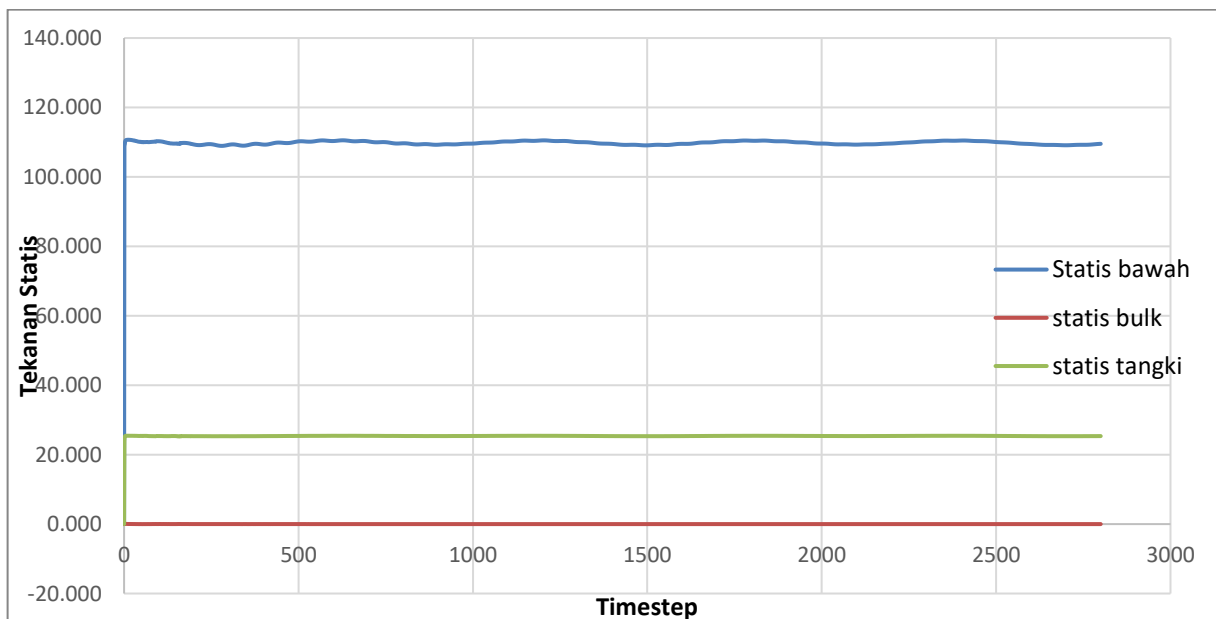
Gambar VI.44 Grafik Tekanan Dinamis Tangki *Baffle* Atas pada *Filling Level* 90%

Pada gambar VI.44 nilai tekanan dinamis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai antara 0 sampai 0.15 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai antara 0 sampai 0.18 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 0 Pa sampai 0.22 Pa. grafik yang terbentuk dari nilai tekanan statis tiap *timestep* memiliki nilai yang non-linier.

Tabel VI.11 Hasil Tekanan pada Tangki *Baffle* Bawah *Filling Level* 10%

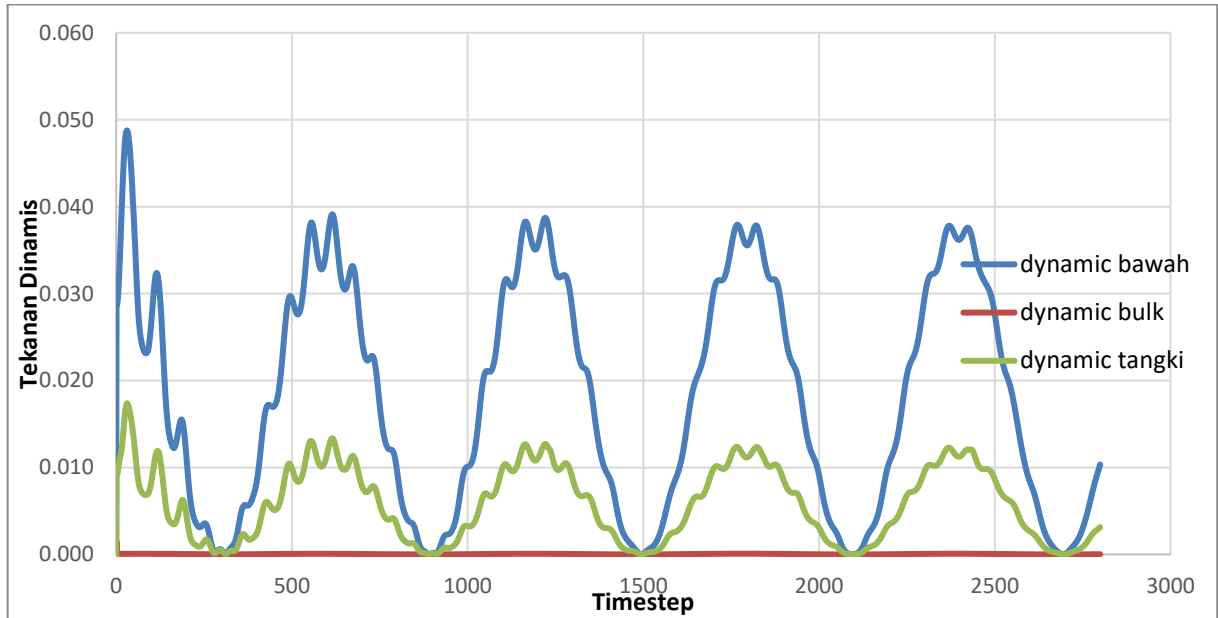
max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	110.695	statis pressure	left wall 8	109.771
	longitudinal bulkhead	0.154		longitudinal bulkhead	0.001
	tangki wall	25.443		tangki wall	25.367
dynamic pressure	left wall 8	0.049	dynamic pressure	left wall 8	0.018
	longitudinal bulkhead	0.002		longitudinal bulkhead	0.000
	tangki wall	0.017		tangki wall	0.006

Tabel VI.11 merupakan hasil rekap nilai rata – rata dan maksimum tekanan statis serta dinamis yang terjadi pada 3 daerah tinjauan pada tangki *bilobe* dengan *baffle* bawah *filling level* 10%. Pada dinding 8 atau dinding tangki nilai maksimum tekanan statis sebesar 110.695 Pa. Pada daerah *longitudinal bulkhead* tekanan maksimum 0.154 Pa dan 25.443 Pa pada daerah dinding tangki. Gambar VI.45 dan 46 merupakan grafik dari rekap nilai tekanan statis dan dinamis pada seluruh *timestep*.



Gambar VI.45 Grafik Tekanan Statis Tangki *Baffle* Bawah pada *Filling Level* 10%

Pada gambar VI.45 nilai tekanan statis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai di mendekati 0 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai 25 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 110 Pa.



Gambar VI.46 Grafik Tekanan Dinamis Tangki *Baffle* Bawah pada *Filling Level* 10%

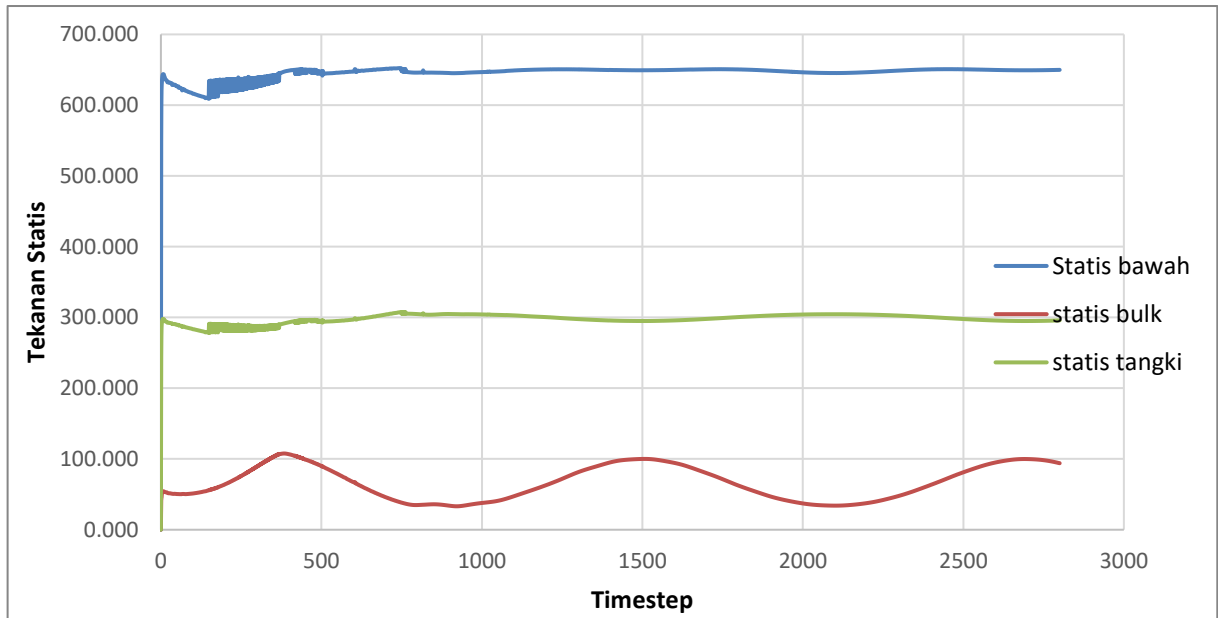
Pada gambar VI.46 nilai tekanan dinamis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai mendekati 0 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai antara 0 sampai 0.02 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 0 Pa sampai 0.05 Pa. grafik yang terbentuk dari nilai tekanan statis tiap *timestep* memiliki nilai yang non-linier.

Tabel VI.12 Hasil Tekanan pada Tangki *Baffle* Bawah *Filling Level* 50%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	652.361	statis pressure	left wall 8	645.598
	longitudinal bulkhead	107.707		longitudinal bulkhead	66.490
	tangki wall	307.526		tangki wall	297.839
dynamic pressure	left wall 8	0.040	dynamic pressure	left wall 8	0.018
	longitudinal bulkhead	0.062		longitudinal bulkhead	0.019
	tangki wall	0.042		tangki wall	0.020

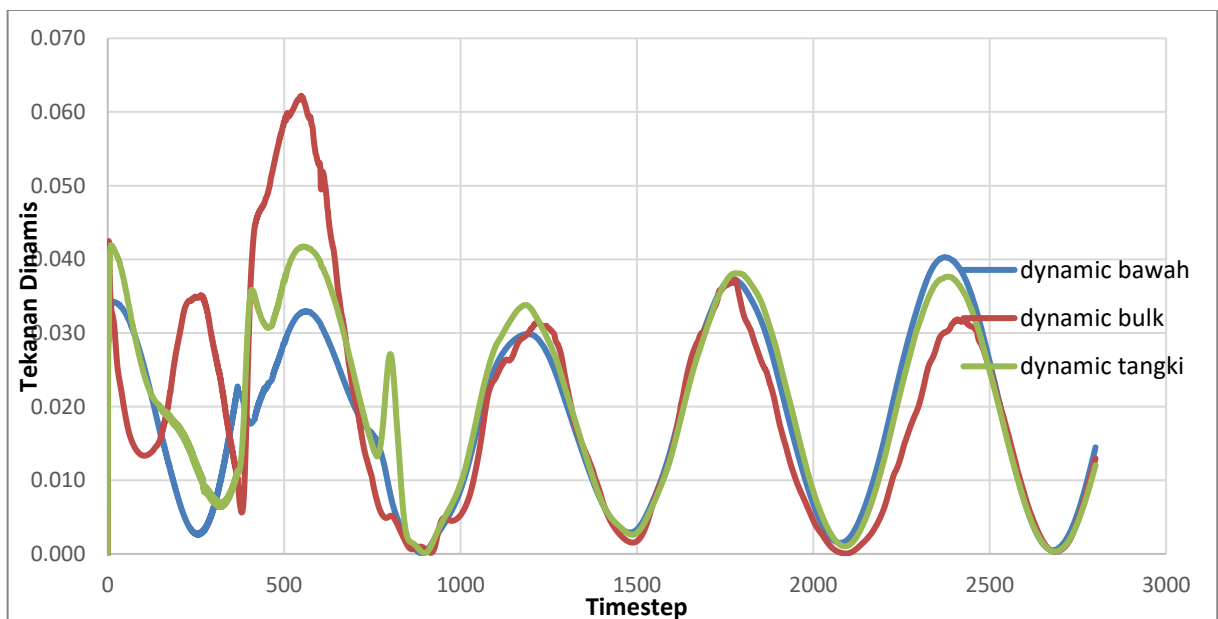
Tabel VI.12 merupakan hasil rekap nilai rata – rata dan maksimum tekanan statis serta dinamis yang terjadi pada 3 daerah tinjauan pada tangki *bilobe* dengan *baffle* bawah *filling level* 50%. Pada dinding 8 atau dinding tangki nilai maksimum tekanan statis sebesar

652.361 Pa. Pada daerah *longitudinal bulkhead* tekanan maksimum 107.707 Pa dan 307.526 Pa pada daerah dinding tangki. Gambar VI.47 dan 48 merupakan grafik dari rekap nilai tekanan statis dan dinamis pada seluruh *timestep*.



Gambar VI.47 Grafik Tekanan Statis Tangki *Baffle* Bawah pada *Filling Level* 50%

Pada gambar VI.47 nilai tekanan statis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai di antara 30 sampai 100 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai 300 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 600 sampai 650 Pa.



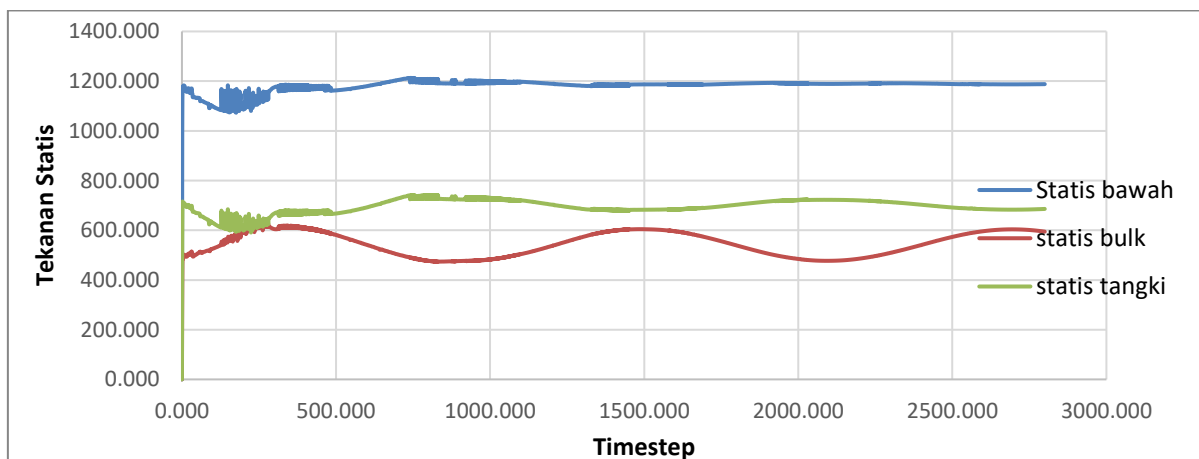
Gambar VI.48 Grafik Tekanan Dinamis Tangki *Baffle* Bawah pada *Filling Level* 50%

Pada gambar VI.48 nilai tekanan dinamis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai antara 0 sampai 0.06 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai antara 0 sampai 0.04 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 0 Pa sampai 0.04 Pa. grafik yang terbentuk dari nilai tekanan statis tiap *timestep* memiliki nilai yang non-linier.

Tabel VI.13 Hasil Tekanan pada Tangki *Baffle* Bawah *Filling Level* 90%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	1213.254	statis pressure	left wall 8	1180.733
	longitudinal bulkhead	628.845		longitudinal bulkhead	544.533
	tangki wall	741.688		tangki wall	694.464
dynamic pressure	left wall 8	0.032	dynamic pressure	left wall 8	0.016
	longitudinal bulkhead	0.148		longitudinal bulkhead	0.053
	tangki wall	0.071		tangki wall	0.032

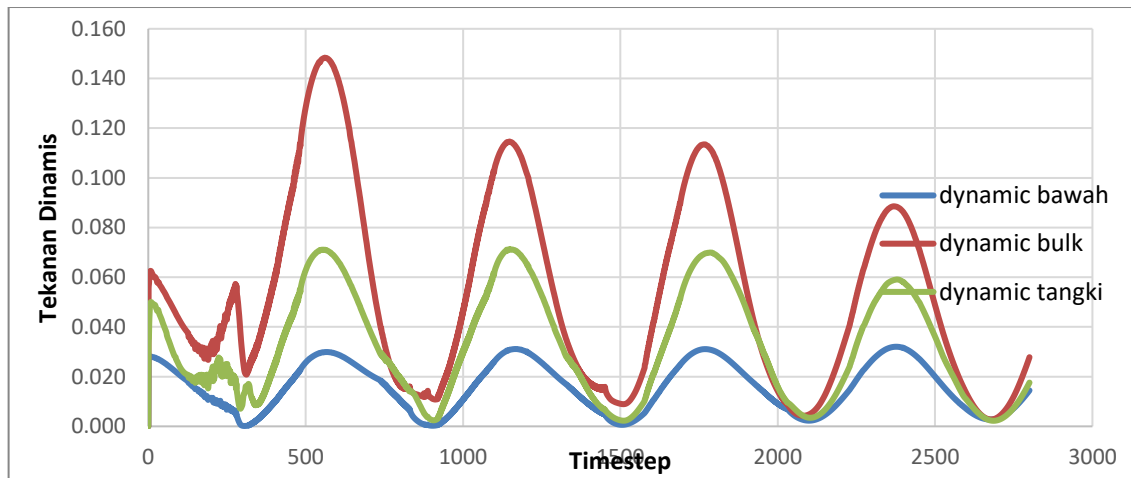
Tabel VI.13 merupakan hasil rekap nilai rata – rata dan maksimum tekanan statis serta dinamis yang terjadi pada 3 daerah tinjauan pada tangki *bilobe* dengan *baffle* bawah *filling level* 90%. Pada dinding 8 atau dinding tangki nilai maksimum tekanan statis sebesar 1213.254 Pa. Pada daerah *longitudinal bulkhead* tekanan maksimum 628.845 Pa dan 741.688 Pa pada daerah dinding tangki. Gambar VI.49 dan 50 merupakan grafik dari rekap nilai tekanan statis dan dinamis pada seluruh *timestep*.



Gambar VI.49 Grafik Tekanan Statis Tangki *Baffle* Bawah pada *Filling Level* 90%

Pada gambar VI.47 nilai tekanan statis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai di antara 400 sampai 600 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran

nilai 600 sampai 700 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 1100 sampai 1200 Pa.

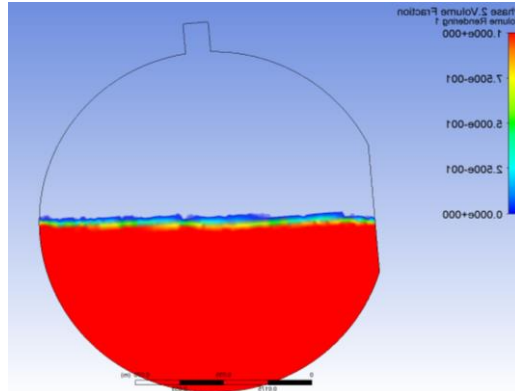


Gambar VI.50 Grafik Tekanan Dinamis Tangki *Baffle* Bawah pada *Filling Level* 90%

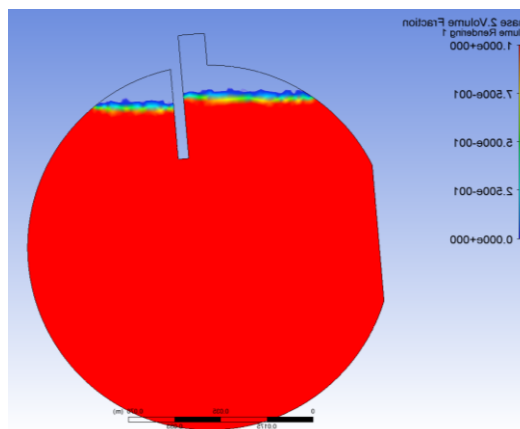
Pada gambar VI.50 nilai tekanan dinamis pada *longitudinal bulkhead* memiliki nilai antara 0 sampai 0.15 Pa. Pada dinding tangki nilai tekanan yang terjadi berada pada kisaran nilai antara 0 sampai 0.08 Pa. Dan untuk nilai tekanan statis tiap *timestep* yang terjadi pada dinding bawah memiliki nilai di antara 0 Pa sampai 0.03 Pa. grafik yang terbentuk dari nilai tekanan statis tiap *timestep* memiliki nilai yang non-linier.

Pada Tabel di atas dituliskan nilai dari tekanan statis dan dinamis tangki model pada *filling level* tertentu. Tabel tersebut menuliskan nilai maksimum dan rata – rata dari tekanan statis dan dinamis pada daerah dinding tangki bawah, dinding kiri tangki dan sekat *longitudinal bulkhead*. Dan pada gambar grafik terlihat nilai dari tekanan pada setiap *timestep* sebanyak 2800.

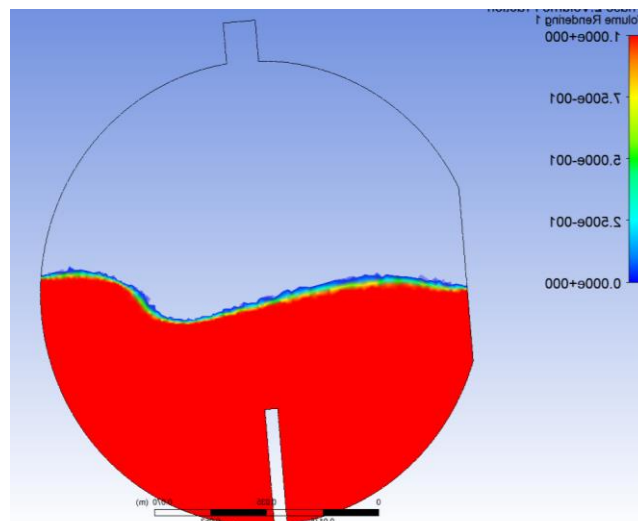
Analisa CFD juga menghasilkan visualisasi dari pergerakan tangki, visual yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan visualisasi tekanan dan pergerakan air. Visualisasi yang dihasilkan CFD berdasarkan dari perhitungan dari tiap *timestep*, sehingga visualisasi yang disediakan berdasarkan jumlah *timestep*. Pemilihan visualisasi permukaan air akan dipilih pada sub-bab berikutnya. Gambar VI.51 merupakan visualisasi dari permukaan air pada tangki *bilobe* tanpa *baffle filling level* 50% pada *timestep* 1000 . Untuk hasil visualisasi dan perhitungan lebih lengkap akan ditampilkan pada lampiran.



Gambar VI.51 Visualisasi Gerakan Air pada Tangki *Bilobe* Tanpa *Baffle* Filling Level 50% Timestep 1000



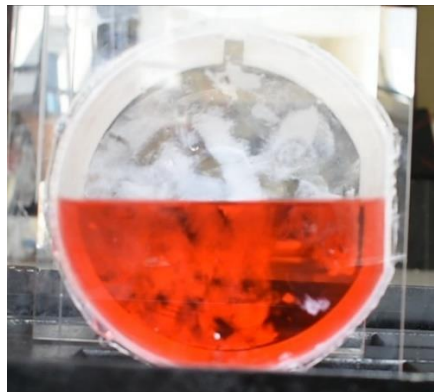
Gambar VI.52 Visualisasi Gerakan Air pada Tangki *Bilobe* dengan *Baffle* Atas Filling Level 90% Timestep 1000



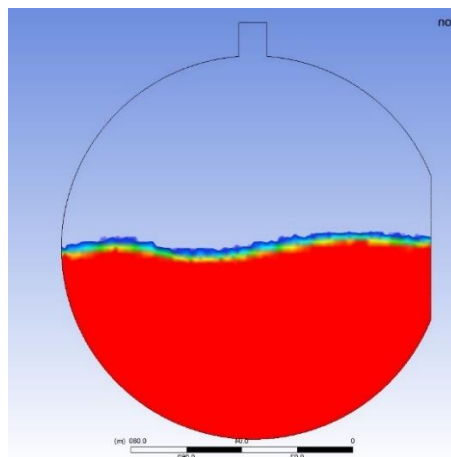
Gambar VI.53 Visualisasi Gerakan Air pada Tangki *Bilobe* dengan *Baffle* Bawah Filling Level 50% Timestep 1000

VI.3. Validasi Hasil CFD dengan Hasil Uji Eksperimen

Sebelumnya validasi hasil dari analisa CFD telah melalui tahap konvergensi dan *grid independence* yang dibahas pada Bab III sub-bab III.6. Setelah tahap konvergensi dan *grid independence* akan dilakukan tahap validasi hasil analisa CFD dengan hasil uji eksperimen pada tangki *bilobe* tanpa *baffle*. Tahap validasi ini hanya membandingkan gerak permukaan air pada variasi waktu ($t=3; 4; 5; 6; 7$ dan 8 s). Hasil dari variasi waktu ($t = 1$ dan 2 s) tidak digunakan karena pada hasil tersebut gaya kelembaman masih mempengaruhi gerak permukaan air sehingga dapat mempengaruhi nilai validasi gerak permukaan air. Validasi tidak dilakukan pada nilai tekanan yang terjadi pada saat fenomena *sloshing* terjadi. Pada tahap ini diharapkan hasil analisa CFD dan uji eksperimen memiliki *trend* yang sama sehingga data yang didapatkan dapat dikatakan valid. Pada uji eksperimen, alat akan diatur pada amplitudo 5.7° dan periode 5.98 s. Gambar VI.54 dan gambar VI.55 merupakan hasil dari uji eksperimen dan analisa CFD pada tangki *bilobe* tanpa *baffle* dengan *filling level*, fase dan waktu yang sama.

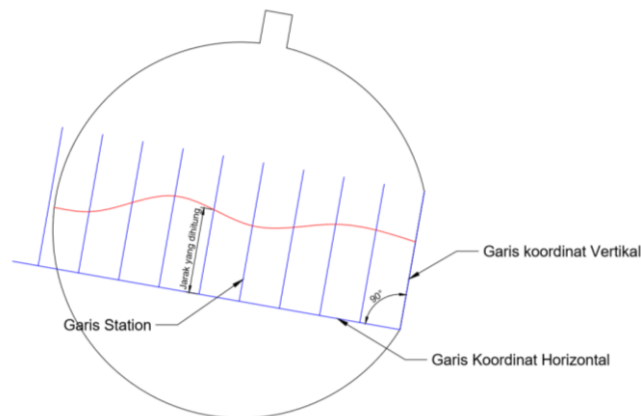


Gambar VI.54 Hasil Uji Tangki *Bilobe* Tanpa *Baffle* FL 50%, $t = 3$ s



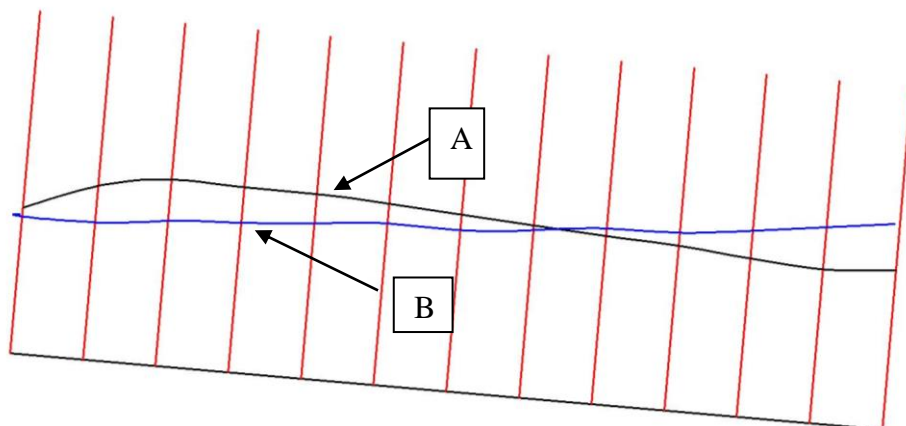
Gambar VI.55 Hasil Simulasi Tangki *Bilobe* Tanpa *Baffle* FL 50%, $t = 3$ s

Tahap Validasi dilakukan dengan membuat garis koordinat pada titik bawah *longitudinal bulkhead* pada hasil simulasi dan uji eksperimen. Kemudian bagi daerah tangki *bilobe* menjadi beberapa bagian yang sama, pada penelitian ini digunakan 13 *station*. Dan ukur jarak jarak garis plot horizontal pada garis koordinat dengan permukaan air. Gambar VI.56 merupakan contoh pembuatan plot dan pembagian daerah yang dibuat dalam proses validasi



Gambar VI.56 Proses Validasi Hasil Simulasi dan Uji Eksperimen

Dengan menggunakan cara tersebut maka akan dilakukan perbandingan posisi gerak permukaan air. Gambar VI.57 merupakan gambaran dari perbedaan permukaan air pada uji eksperimen dan analisa CFD dengan kondisi *filling level 50%* dan $t = 3s$ yang telah digambarkan pada *software CAD*. Garis A merupakan gambaran dari permukaan air yang terjadi pada analisa CFD dan garis B merupakan gambaran dari permukaan air pada hasil uji eksperimen.



Gambar VI.57 Perbedaan Gerakan Permukaan Air pada Eksperimen dan CFD

Setelah melakukan hal di atas hitung semua jarak garis koordinat horizontal ke permukaan air dan catat seluruh hasil yang didapatkan dari hasil uji dan simulasi. Tabel VI.14 merupakan hasil perhitungan jarak tiap *station* pada *filling level* 50% $t = 3s$.

Tabel VI.14 Hasil Validasi Tangki Tanpa *Baffle* FL 50%, $t = 3s$

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	50.28	50.14	0.14
2.00	49.07	51.34	-2.27
3.00	48.11	53.00	-4.89
4.00	48.11	53.00	-4.89
5.00	48.59	50.13	-1.54
6.00	47.79	46.06	1.73
7.00	47.42	43.20	4.22
8.00	47.42	40.24	7.18
9.00	46.56	40.24	6.32
10.00	47.33	44.94	2.39
11.00	47.33	47.90	-0.57
12.00	47.33	46.57	0.76
13.00	49.31	43.80	5.51
Rata - rata koordinat video	48.05		
Rata - rata koordinat CFD	46.97		
perbedaan	0.02		

Dari hasil koordinat yang didapat, perlu dilakukan analisis error untuk mengetahui seberapa besar alat uji dapat mempresentasikan fenomena *sloshing*. Proses perhitungan untuk mengetahui besar *error* yang terjadi antara hasil uji eksperimen dengan simulasi memiliki 2 tahap. Tahap pertama menghitung selisih rata – rata antara koordinat video dengan koordinat simulasi dibagi dengan rata – rata koordinat video. Lalu dilakukan perhitungan RMSE pada seluruh hasil perhitungan tiap periode. Tabel VI.15 merupakan perhitungan error pada tangki tanpa *baffle* FL 50%.

Tabel VI.15 Perhitungan *Error* Validasi Tangki Tanpa *Baffle* FL 50%

waktu	Rata -rata koordinat video	Rata -rata koordinat CFD	Persentase selisih	RMSE
3.00	48.05	46.97	2.26	2.10
4.00	47.70	46.97	2.72	
5.00	48.59	47.89	1.45	
6.00	42.34	40.40	4.58	
7.00	41.91	40.43	3.52	
8.00	40.48	40.19	0.71	

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan analisa *error* yang didapat pada tiap *filling level* akan dituliskan pada tabel VI.16, untuk perhitungan *filling level* 10% dan 90% akan dijelaskan pada lampiran. Nilai tiap RMSE pada tiap *filling level* memiliki nilai di bawah 10%, oleh karena itu data pada penelitian ini dapat dikatakan valid. Untuk perhitungan pada variasi *filling level* 10% dan 90% akan ditampilkan pada lampiran.

Tabel VI.16 Nilai *Error* Validasi Setiap *Filling Level*

<i>filling level</i> (%)	RMSE (%)
10	4.13
50	2.10
90	1.74

VI.4. Analisa Hasil CFD

Analisa hasil CFD didasarkan pada perubahan hasil tekanan di daerah tertentu akibat penambahan pada *baffle*. Penggunaan *baffle* diharapkan dapat mengurangi besar tekanan akibat fenomena *sloshing*. Pada tabel VI.17 dituliskan nilai rata-rata tiap variasi tangki dan variasi model. Dan pada tabel VI.18 dituliskan nilai maksimum tiap variasi tangki dan variasi model.

Tabel VI.17 Rekap Nilai Rata – Rata Tekanan pada Variasi Model Tangki dan *Filling Level*

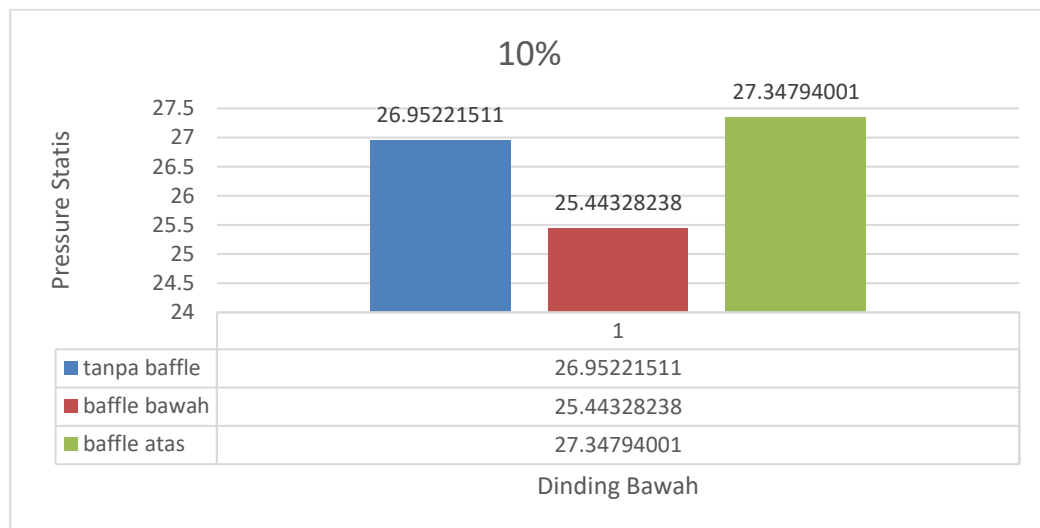
letak tinjauan	filling level	statis pressure			dynamic pressure		
		tanpa baffle	baffle bawah	baffle atas	tanpa baffle	baffle bawah	baffle atas
left wall 8	10.00	110.22	109.77	110.30	0.05	0.02	0.05
	50.00	644.93	645.60	644.79	0.05	0.02	0.05
	90.00	1180.18	1180.73	1176.83	0.09	0.02	0.06
longitudinal bulkhead	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	50.00	66.62	66.49	66.47	0.03	0.02	0.03
	90.00	544.28	544.53	541.97	0.09	0.05	0.05
tangki wall	10.00	26.91	25.37	27.31	0.02	0.01	0.02
	50.00	301.91	297.84	306.00	0.03	0.02	0.03
	90.00	700.39	694.46	705.41	0.06	0.03	0.06

Tabel VI.18 Rekap Nilai Maksimum Tekanan pada Variasi Model Tangki dan *Filling Level*

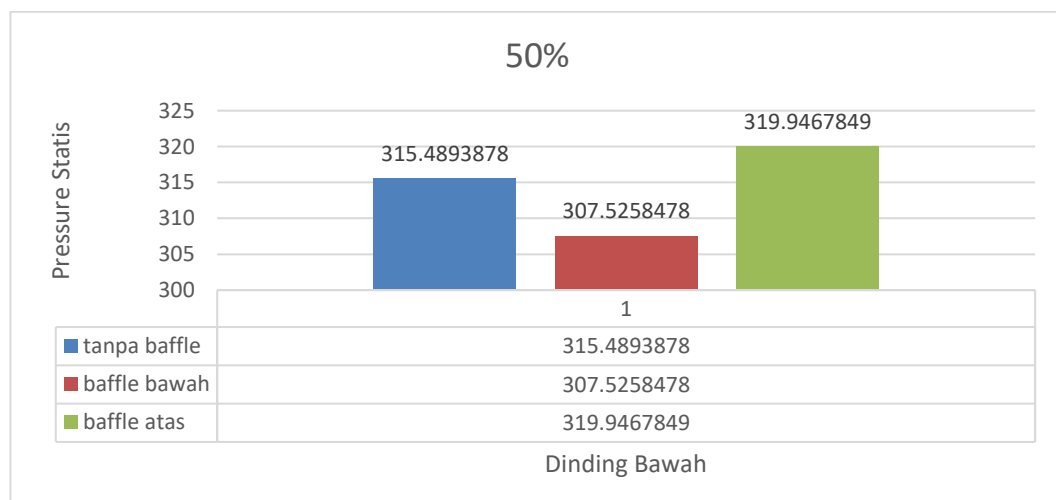
letak tinjauan	filling level	statis pressure			dynamic pressure		
		tanpa baffle	baffle bawah	baffle atas	tanpa baffle	baffle bawah	baffle atas
left wall 8	10.00	112.18	110.70	112.26	0.20	0.05	0.21
	50.00	660.14	652.36	660.04	0.18	0.04	0.18
	90.00	1223.28	1213.25	1228.41	0.37	0.03	0.23
longitudinal	10.00	0.04	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00

bulkhead	50.00	110.98	107.71	110.26	0.09	0.06	0.09
tangki wall	10.00	26.95	25.44	27.35	0.06	0.02	0.06
	50.00	315.49	307.53	319.95	0.10	0.04	0.10
	90.00	755.78	741.69	775.17	0.20	0.07	0.18

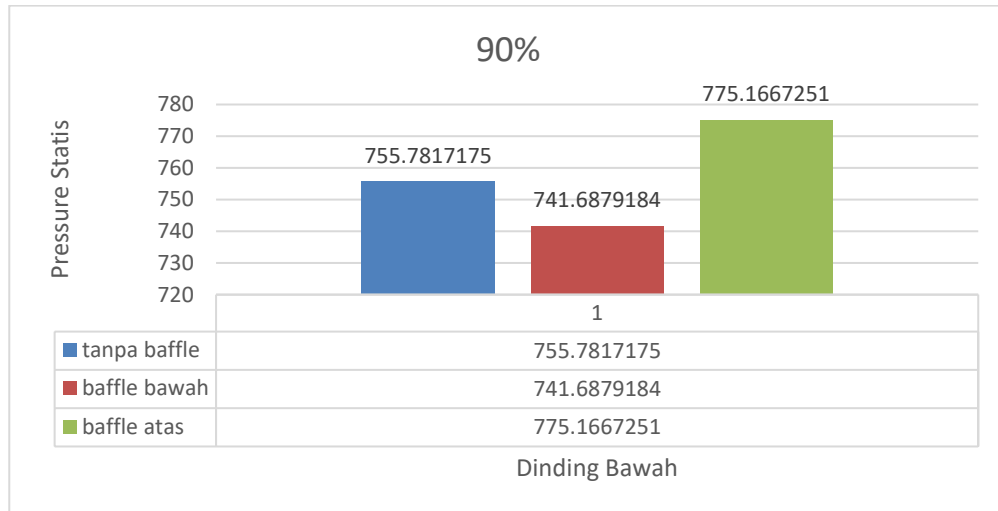
Pada analisa untuk penelitian ini nilai tekanan maksimum akan digunakan sebagai acuan efisien atau tidaknya penambahan *baffle* pada tangki. Perbandingan akan dilakukan pada tiap daerah dinding yang ditinjau sebelumnya. Perlu diingat untuk tangki *bilobe* dengan *baffle* atas tidak akan ditinjau pada *filling level* 10% dan 50%. Hal ini dikarenakan fluida pada tangki tidak bergerak mengenai *baffle*, sehingga efek *baffle* dianggap tidak ada. Berikut ini merupakan grafik perbandingan yang diambil dari kasus tekanan statis pada dinding tangki *filling level* 10%, 50% dan 90%



Gambar VI.58 Grafik Batang Nilai Tekanan Statis Tiap Model pada *Filling Level* 10%



Gambar VI.59 Grafik Batang Nilai Tekanan Statis Tiap Model pada *Filling Level* 50%



Gambar VI.60 Grafik Batang Nilai Tekanan Statis Tiap Model pada *Filling Level* 90%

Pada gambar VI.58 memperlihatkan hasil tekanan pada *baffle* bawah memiliki nilai tekanan maksimum paling kecil bila dibandingkan dengan tangki tanpa *baffle* dan *baffle* atas. Tekanan statis maksimum pada *baffle* bawah mengalami penurunan sebesar 5.6% dibandingkan dengan tangki tanpa *baffle*. Pada kasus *filling level* 50% dan 90%, tekanan pada tangki *baffle* bawah juga memiliki nilai paling kecil bila dibandingkan model tangki lainnya. Penurunan untuk variasi *filling level* 50% sebesar 2.52 % dan untuk *filling level* 90% mengalami penurunan 1.84% dibandingkan dengan tangki tanpa *baffle*. Pada tabel VI.19 terlihat bahwa model *baffle* bawah mengalami penurunan tetapi tidak dalam jumlah yang besar. Sedangkan untuk model *baffle* atas pada *filling level* 90%, nilai tekanan maksimum mengalami kenaikan apabila dibandingkan dengan tangki tanpa *baffle* dengan kisaran pada nilai 2% untuk seluruh tempat yang ditinjau. Hal ini menunjukkan penggunaan *baffle* atas tidak memiliki pengaruh dalam penurunan tekanan. Tabel VI.19 dan tabel VI.20 merupakan presentase selisih tekanan tiap daerah tinjauan dengan variasi *filling level* 10%, 50% dan 90%. Nilai positif pada tabel tersebut menandakan penurunan tekanan dan nilai negatif menandakan kenaikan tekanan. Untuk perhitungan analisa CFD lebih lengkap akan ditampilkan pada lampiran yang tersedia.

Tabel VI.19 Persentase Selisih Rata – Rata Tekanan Statis

rata- rata Pressure Statis			
letak tinjauan	Filling level	selisih (%)	
		Baffle bawah	baffle atas
left wall 8	10.00	0.41	-0.07
	50.00	-0.10	0.02
	90.00	-0.05	0.28
longitudinal bulkhead	50.00	0.19	0.23

rata- rata Pressure Statis			
	90.00	-0.05	0.42
tangki wall	10.00	5.73	-1.48
	50.00	1.35	-1.35
	90.00	0.85	-0.72

Tabel VI.20 Persentase Selisih Maksimum Tekanan Statis

maximum Pressure Statis			
letak tinjauan	Filling level	selisih (%)	
		Baffle bawah	baffle atas
left wall 8	10.00	1.33	-0.07
	50.00	1.18	0.02
	90.00	0.82	-0.42
longitudinal bulkhead	50.00	2.95	0.65
	90.00	-0.97	4.90
tangki wall	10.00	5.60	-1.47
	50.00	2.52	-1.41
	90.00	1.86	-2.56

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa , maka dapat disimpulkan bahwa :

- Perbedaan dari gerak permukaan air hasil numerik yang dilakukan dengan menggunakan metode CFD memiliki hasil yang mendekati gerak permukaan air hasil uji eksperimen. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil numerik dan hasil pengujian tangki menggunakan metode RMSE yang mempunyai nilai sebesar 4.13% pada *filling level* 10%, 2.1%% pada *filling level* 50% dan 1.74% pada *filling level* 90%
- Penggunaan *baffle* pada model tangki mempengaruhi nilai total tekanan maksimum di setiap variasi *filling level* yang dilakukan. Pada *filling level* 10% penurunan tekanan terbesar terjadi di dinding tangki sebesar 5.73% akibat penggunaan *baffle* bawah, pada *filling level* 50% penurunan tekanan terbesar terjadi pada *longitudinal bulkhead* sebesar 2.95% akibat dari penggunaan *baffle* bawah. Dan pada *filling level* 90% penurunan tekanan terbesar terjadi pada *longitudinal bulkhead* sebesar 4.9% akibat dari penggunaan *baffle* atas.
- Desain dan produk alat yang dibuat untuk uji eksperimen dapat menerapkan RAO sebagai dasar olah gerak kapal dengan cara mengatur amplitudo dan periode *rolling* atau *pitching*. Desain dari alat uji eksperimen dapat dilihat pada lampiran.

VII.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, beberapa saran diberikan untuk menunjang hasil penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

- Poses grid independence perlu diperhatikan lebih terkait ukuran meshing, jumlah elemen meshing, waktu meshing dan spesifikasi komputer yang digunakan agar dapat diperoleh grid independence yang optimum.
- Perlu adanya studi lanjutan terkait variasi tinggi *baffle*, jumlah *baffle* dll sehingga akan diperoleh spesifikasi *baffle* yang optimal untuk mengurangi efek sloshing

- Pada proses pengujian tangki model perlu dilakukan proses pengukuran nilai tekanan sekaligus menentukan titik lokasi pengukuran nilai tekanan pada dinding tangki.
- Pada alat uji perlu dilakukan perbaikan agar dapat memperoleh akurasi yang lebih tinggi, khususnya pada Amplitudo dan Periode.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Sajid., Kamran, Muhammad Ali., Khan Sikandar. (2017). Effect of Baffle Size and Orientation on Lateral Sloshing of Partially Filled Containers: A Numerical Study. *European Journal of Computational Mechanics* 2017, 1-25.
- Anwar, M. S. (2013). Tugas Akhir. *Simulasi Sloshing Pada Dinding Tangki Tipe Membran Kapal LNG Akibat Gerakan Heaving dan Pitching di Gelombang Regular*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Perkapalan
- Arsad, A. K. (2012). 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)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Perkapalan
- Bhattacharrya, Rameswar. (1978). *Dynamics Of Marine Vehicles*. New York: Wiley Publication.
- Delpizzo, R. (2014). *Gas Carriers : Arrangements & Characteristics*. Las Vegas: Presentation to Marine Chemist.
- Deng, R., Huang, D., Cheng, J.Li.X., and Yu, L. (2010). Discussion of grid generation for catamaran resistance calculation. *Journal Mariene Sci. Appl.* 9, 187 - 191.
- Dinham, T.A., Craddock, C., Lebas, A., and Ganguly, A. (2008). Use of CFD for hull form and appendage design assessment on a offshore patrol vessel and identification of a wake focusing effect. *RINA Marine CFD Conference*.
- Djarmiko, E. B. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press
- FLUENT, FLUENT Manual VII, Ansys 18.2
- Giraldi, Gilson A., Xavier, Adilson V., Apolinario, Antonio L., Rodrigues, Paulo S. (2005). *Lattice Gas Cellular Automata for Computational Fluid Animation*. Brasil : National Laboratory of Scientific Computing.
- Ibrahim, Raouf A., (2005). *Liquid Sloshing Dynamics Theory and Applications*. New York: Cambridge University Press.
- Jamaluddin, A., Utama, I.K.A.P. (2012). Experimental Investigation Into the Drag Characteristics of Symmetrical and Asymmetrical Staggered and Unstaggered Catamarans. *Journal of Ocean Technology* 2011, Vol. 7, No. 1, 2012.

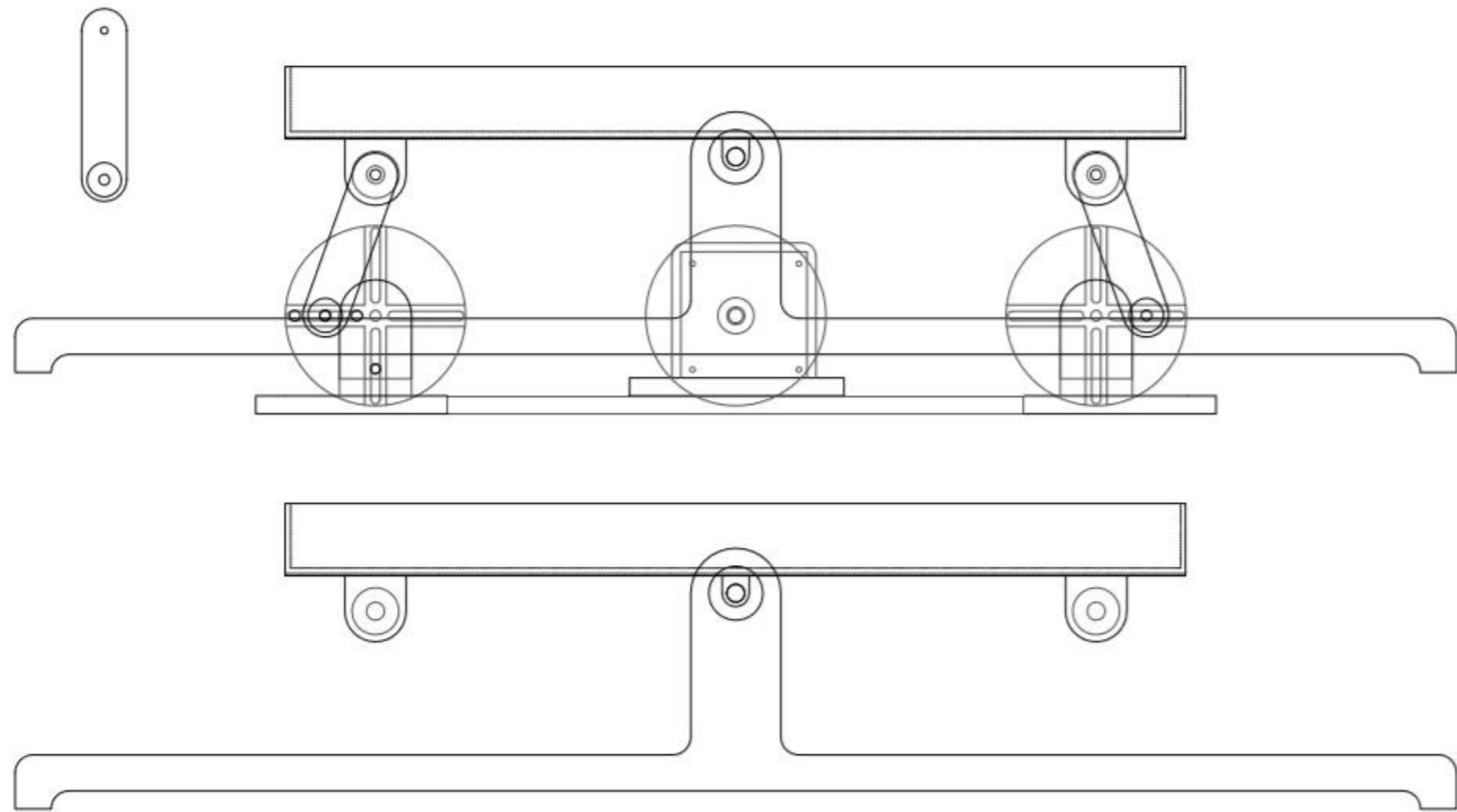
- Khezzar, L., Seibi, A., Goharzadeh, Afshin. (2009). Water Sloshing in Rectangular Tanks - An Experimental Investigation & Numerical Simulation. *International Journal of Engineering, Volume 3: Issue (2), 174-184.*
- Kolaei, Amir., Rakheja, Subhash., Richard, Marc J. (2014). Anti-Sloshing Effects of Longitudinal Partial Baffles in A Partly-Filled Container Under Lateral Excitation. *Proceeding of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 1-9.*
- Hu, Zhi-Qiang., Wang, Shu-Ya., Che, Gang., Chai, Shu-Hong., Jin, Yu-Ting. (2016). The effects of LNG-tank sloshing on The global motions of FLNG system. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering xx (2016) 1 - 12.*
- Monaghan, J J. (2005). *Smoothed Particle Hydrodynamics*. Melbourne: Monash University.
- Myung, J. (2013). Effect of Sloshing Loads on Fatigue Strength of Independent Type B LNG Tank. *International Journal of Offshore and Polar Engineers, 23.*
- Perez, T., Blanke, M. (2002). *Simulation of Ship Motion in Seaway*. Newcastle: The University of Newcastle
- Pradana, Muhammad Arif. Tesis. (2019). *Studi Sloshing Tangki LNG dengan Metode Eksperimen dan Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Perkapalan
- Rognebakke, Olav. (2009). Sloshing Impact Design Load Assessment. *The Nineteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, 21-26 July.*
- Shaleh, Ricky Fadhilla. (2015). *Analisis Sloshing pada Independent Tank Tipe C LNG Carrier Secara Melintang Akibat Gerakan Swaying, Heaving, dan Rolling Kapal dengan Metode Computational Fluid Dynamic*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sipayung, Ericson Estrada. (2016). Tugas Akhir. *Analisis Sloshing 2D pada Dinding Tangki Tipe Membran Kapal LNG akibat Gerakan Rolling di Gelombang Regular*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Perkapalan
- Soren, R., Basu, Blswajit., Zhou, Qlang., Zhang, ZIII. (2013). Optim333933al control of non-linear wave energy point converters. *Ocean Engineering 72 176 - 187 .*
- Sulisetyono, A., Nurfadli, M R. (2016). Studi Sloshing pada Independent Tank Type C secara Memanjang Akibat Gerakan Kapal LNG dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD). *The 2nd Conference on Innovation and Industrial Applications (CINIA) 2016, 48 - 52.*

- Sulisetyono, A. (2018). Sloshing Analysis of The Independent Tank Type C Due to The LNG Ship Motions Using Computational Fluid Dynamic. *Proceedings The 9th International Conference on Thermofluids 2017*, 1 - 6.
- Zakki, Ahmad Fauzan., Windyandari, Aulia. (2014) *Pengembangan Desain Kapal LNG dengan Cargo Containment System Tipe Membran Bentuk Prismatik Sebagai Solusi Alternatif Kebutuhan Alat Transportasi Gas Alam Cair di Indonesia*. Bandung: Universitas Diponegoro.0

LAMPIRAN

Lampiran A Desain Alat Uji
Lampiran B Hasil Uji Eksperimen
Lampiran C Hasil Analisa Numerik

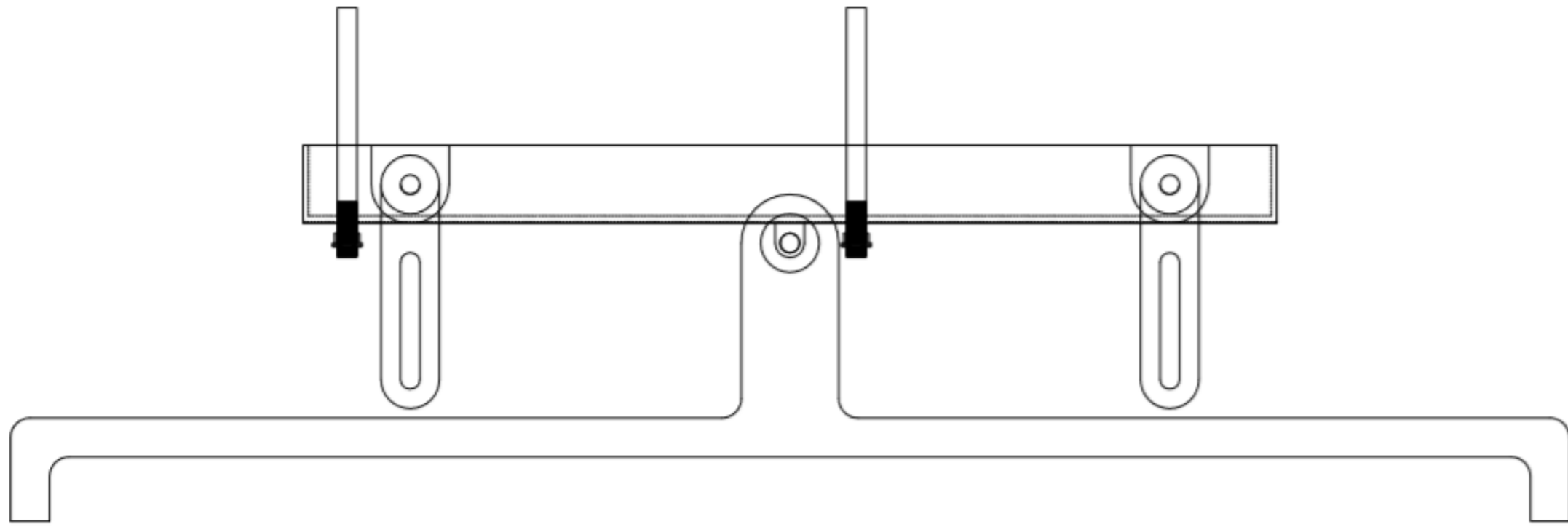
LAMPIRAN A
DESAIN ALAT UJI



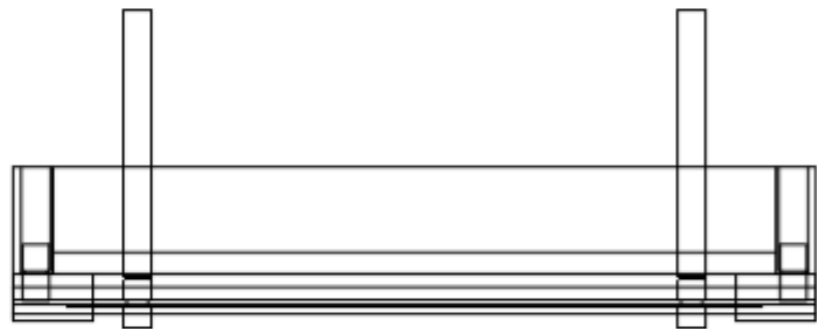
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
 FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Tatakan Detail

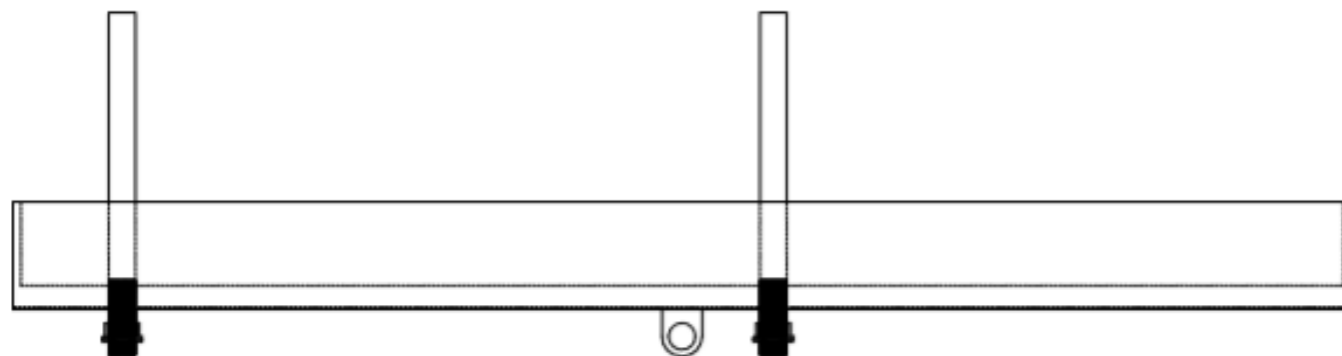
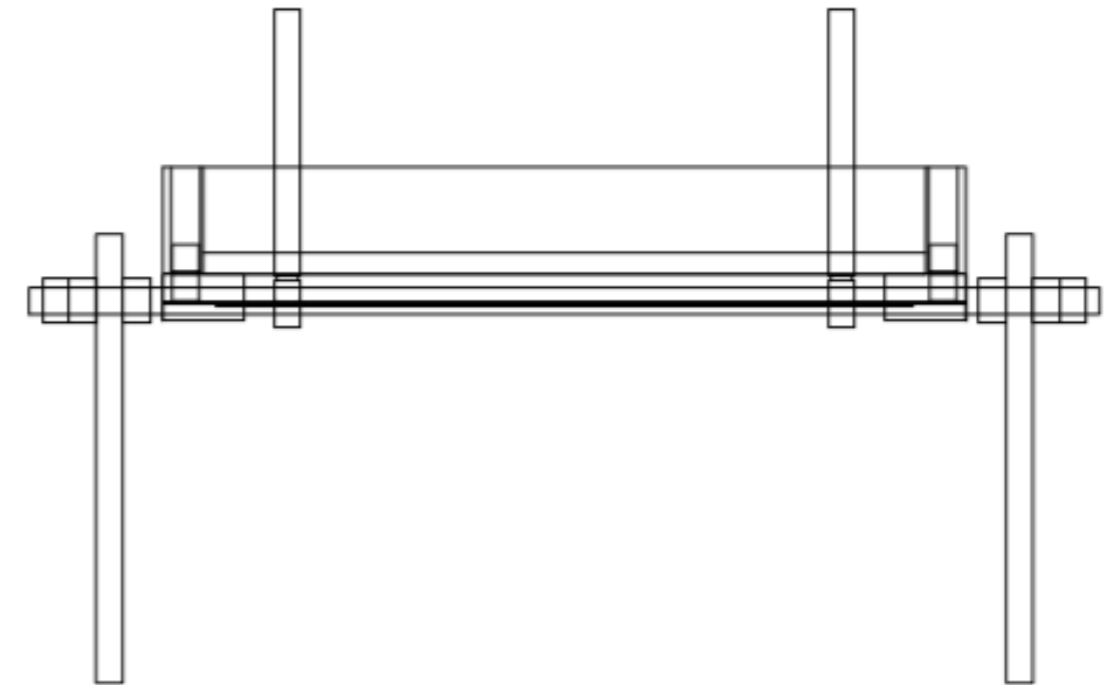
Scale	1 : 1	Signature	Remarks :
Drawn By	Aditya Prakosa Wibawa		0411154000047
Approved By	Aries Sulisetyono, ST, MASc, PhD		A0



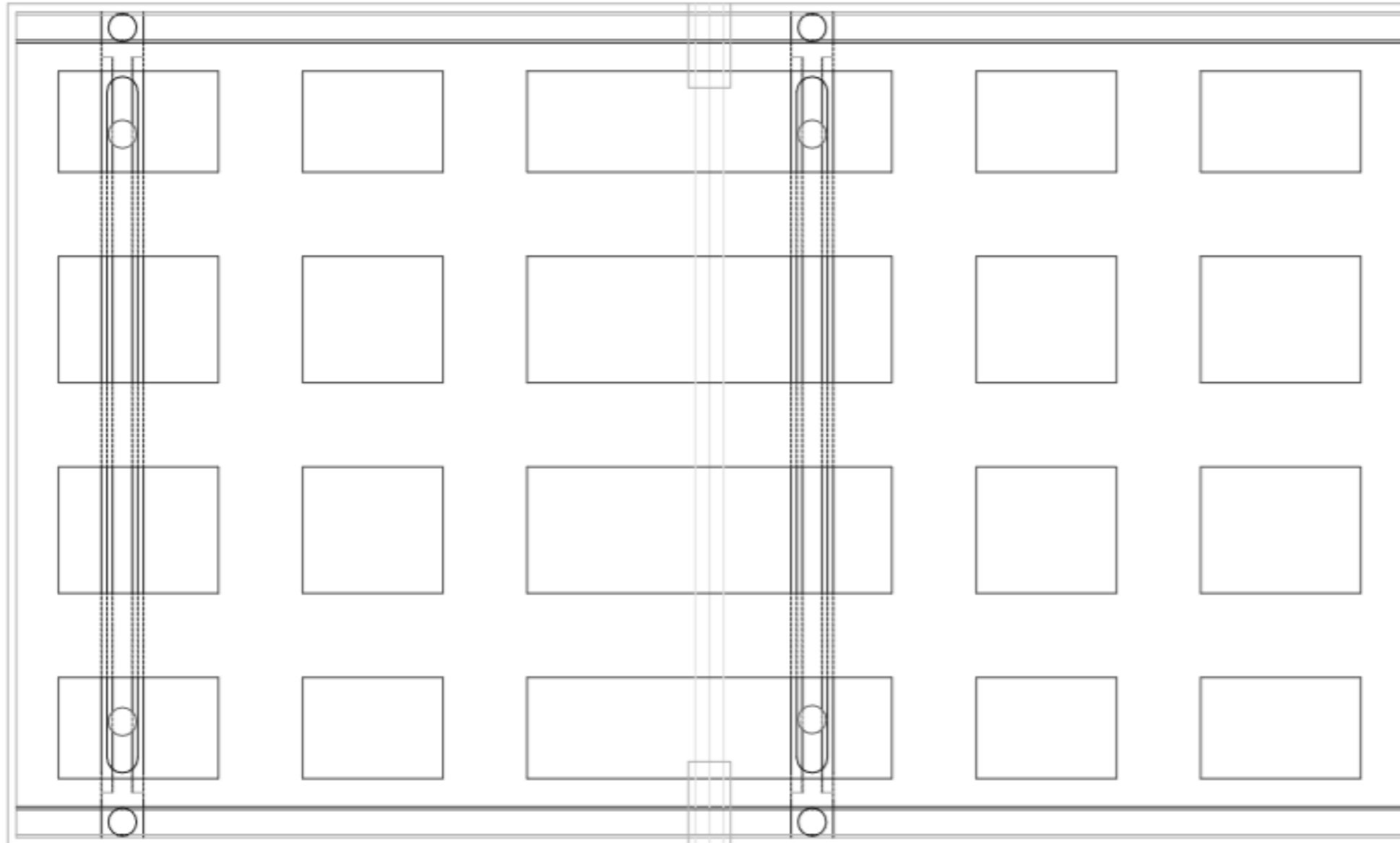
TAMPAK DEPAN



TAMPAK SAMPING



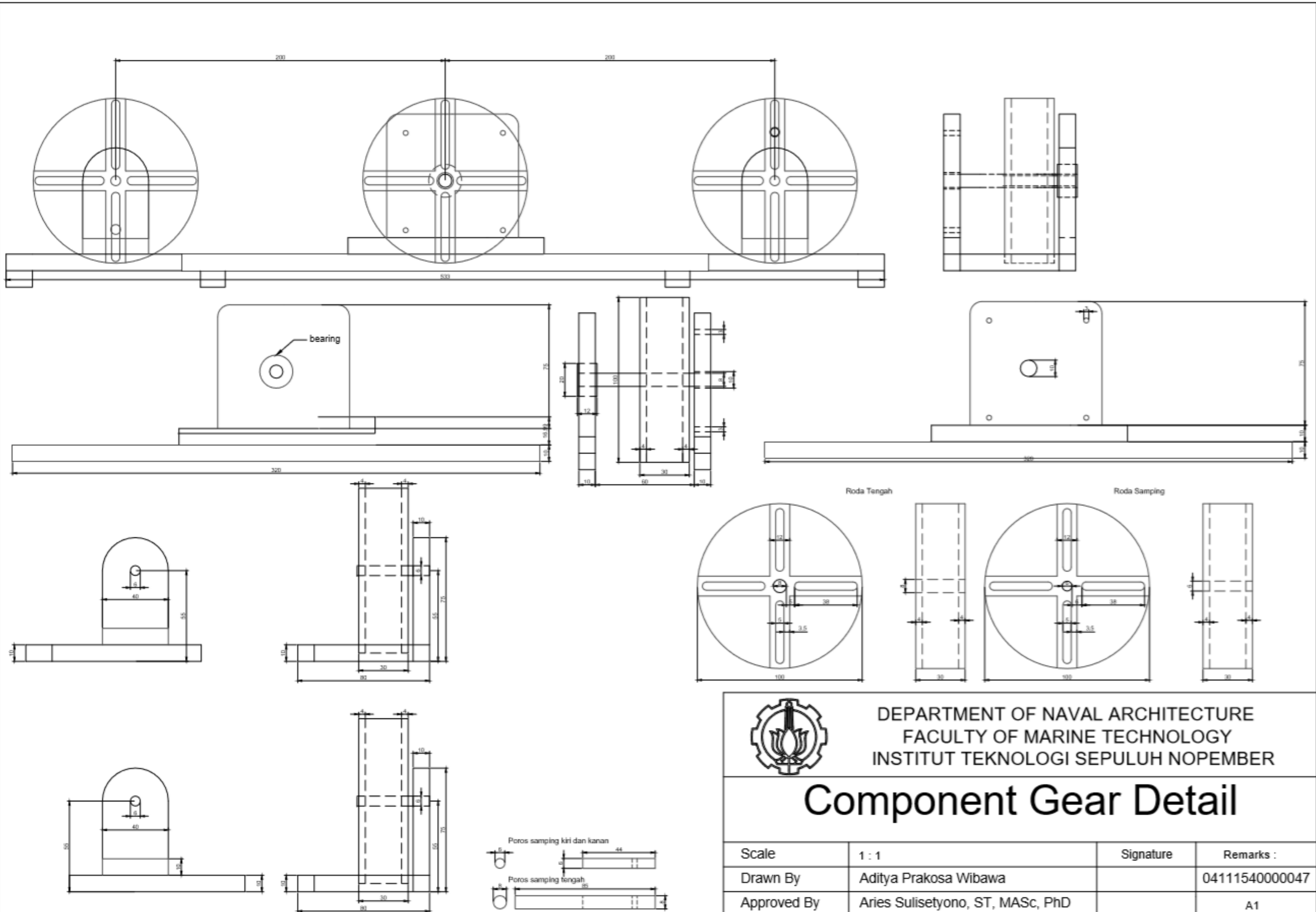
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER			
<h2>Tatakan Detail</h2>			
Scale	1 : 1	Signature	Remarks :
Drawn By	Aditya Prakosa Wibawa		0411154000047
Approved By	Aries Sulistyono, ST, MAsc, PhD		AD



DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
 FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Tatakan Detail (tampak atas)

Scale	1 : 1	Signature	Remarks :
Drawn By	Aditya Prakosa Wibawa		0411154000047
Approved By	Aries Sulisetyono, ST, MASc, PhD		A1



DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
 FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

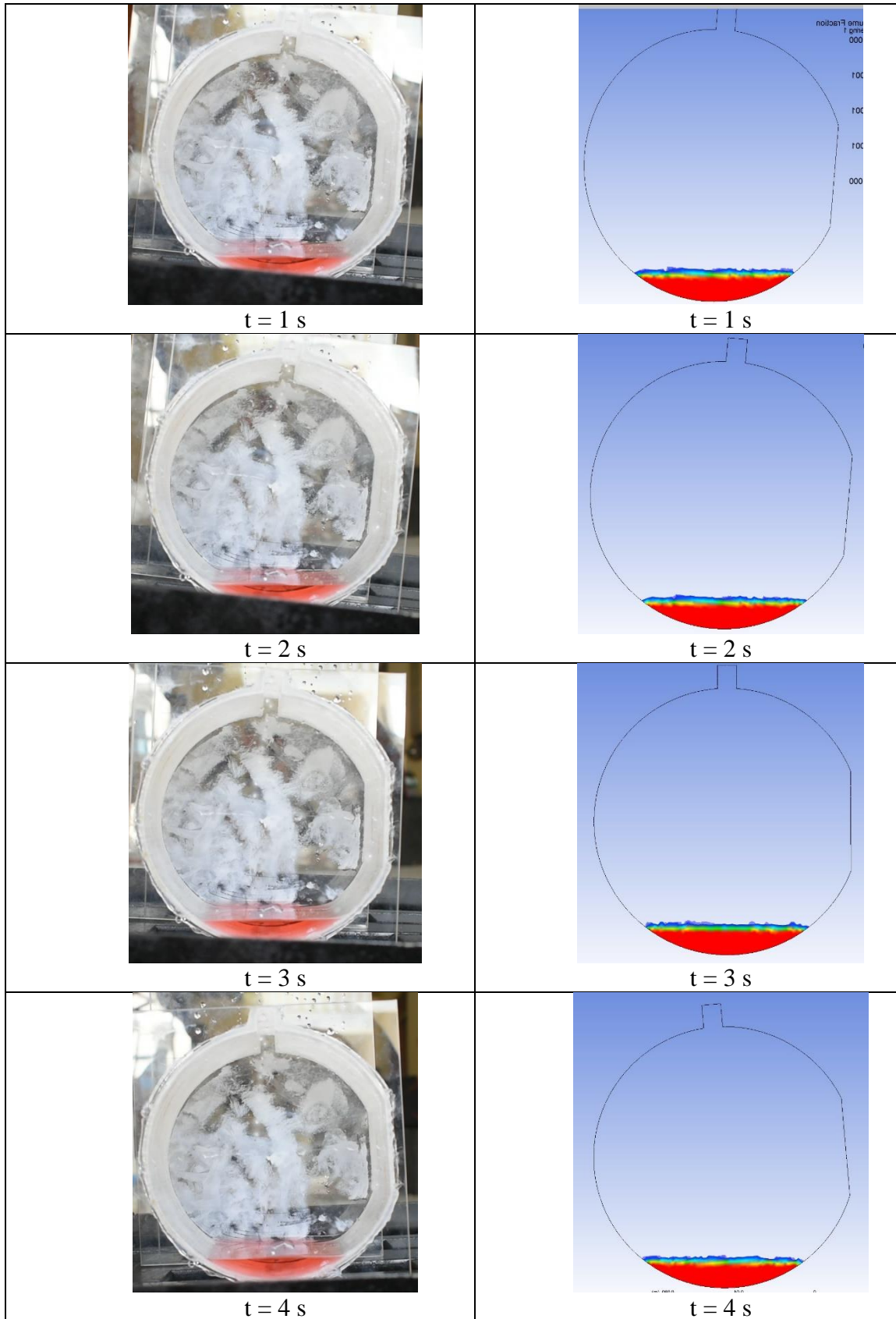
Component Gear Detail

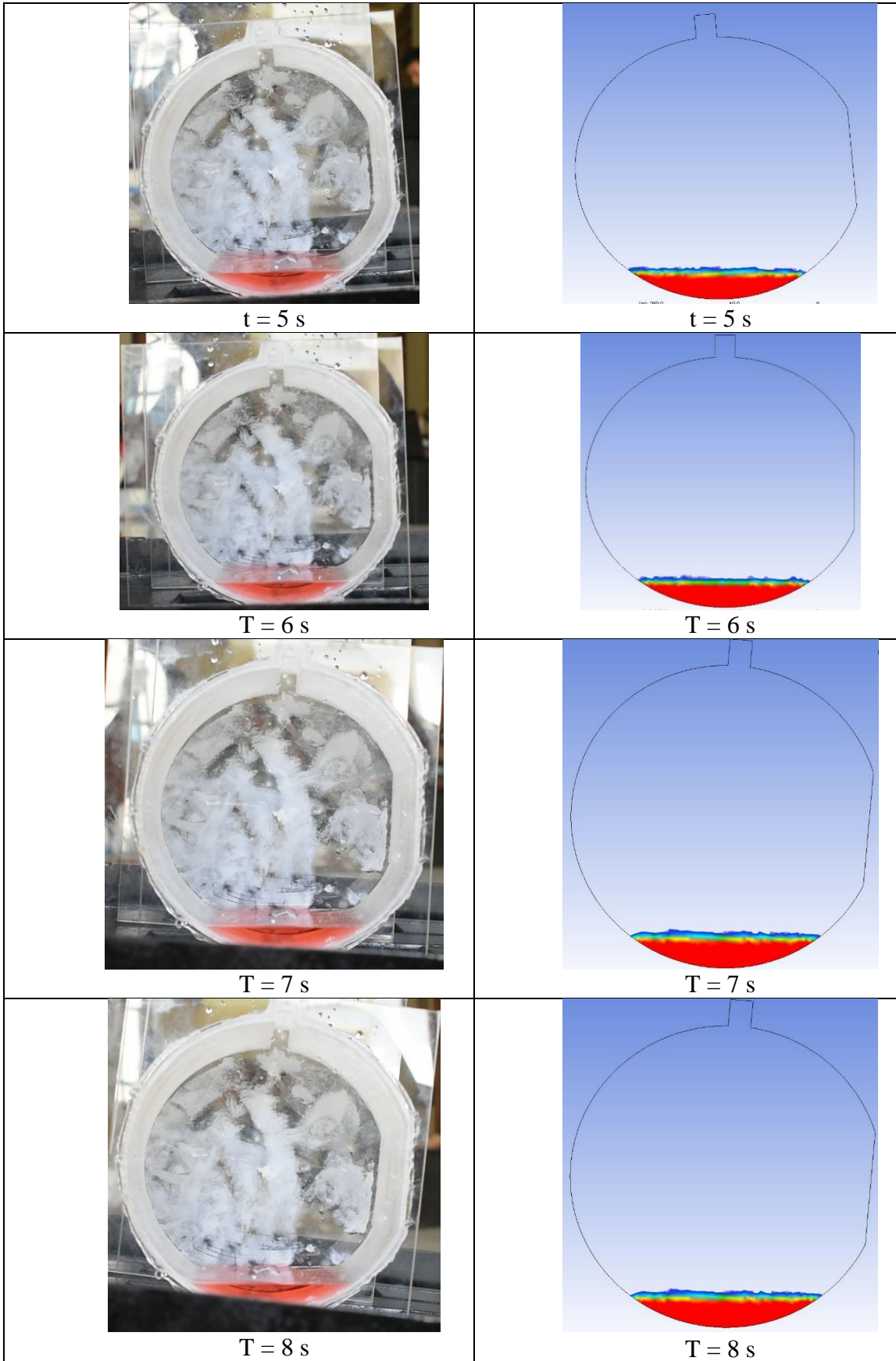
Scale	1 : 1	Signature	Remarks :
Drawn By	Aditya Prakosa Wibawa		0411154000047
Approved By	Aries Sulisetyono, ST, MASc, PhD		A1



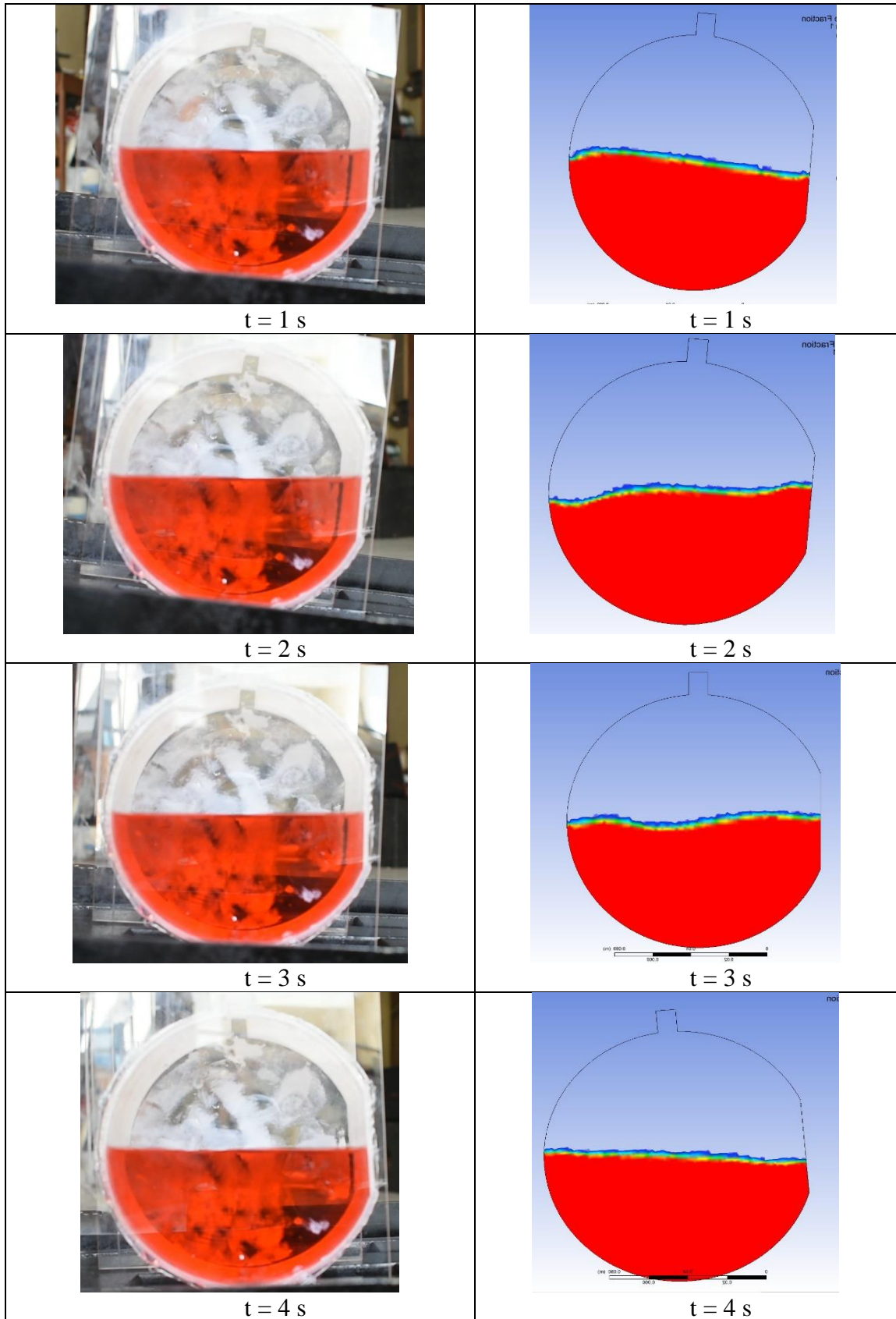
LAMPIRAN B
HASIL VISUALISASI

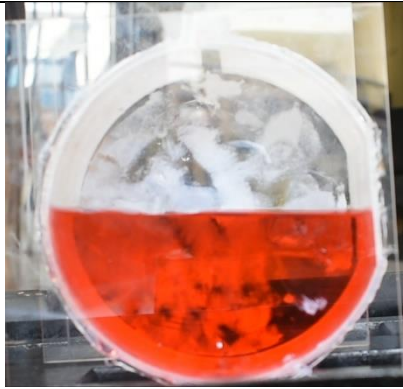
Tabel 1 Tanpa Baffle FL 10%



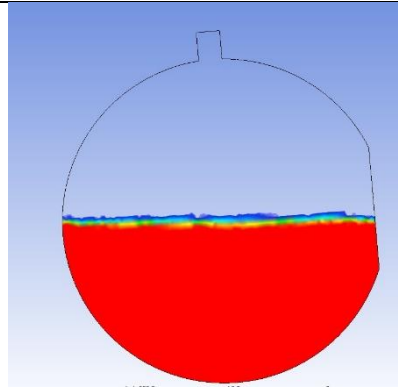


Tabel 2 Tanpa Baffle FL 50%





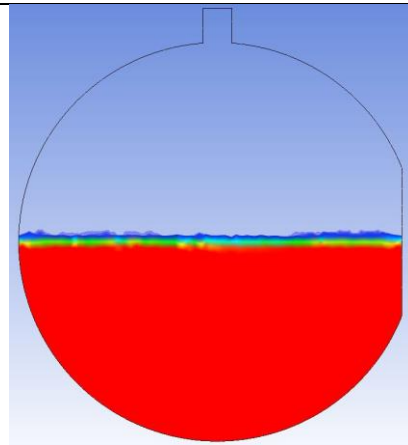
$t = 5 \text{ s}$



$t = 5 \text{ s}$



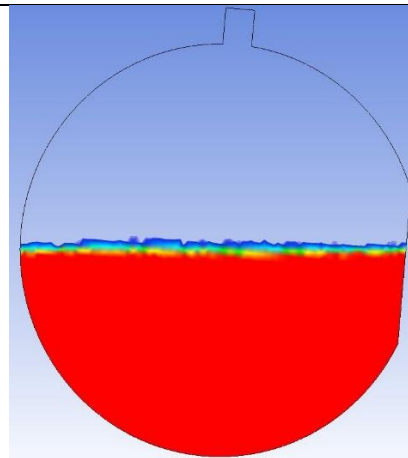
$T = 6 \text{ s}$



$T = 6 \text{ s}$



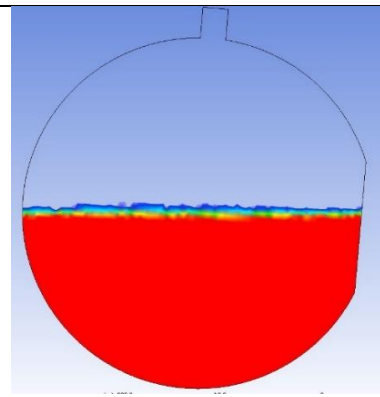
$T = 7 \text{ s}$



$T = 7 \text{ s}$

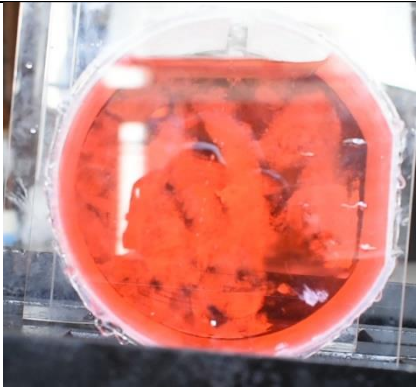
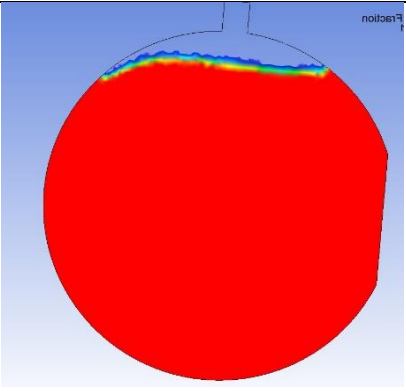

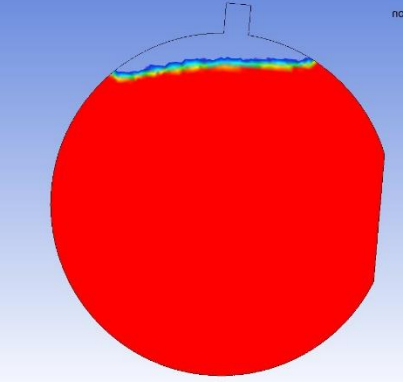
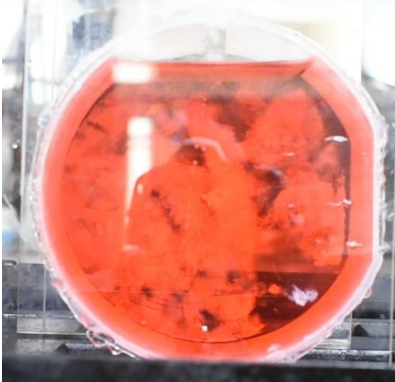
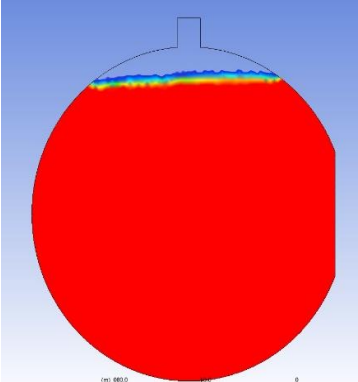
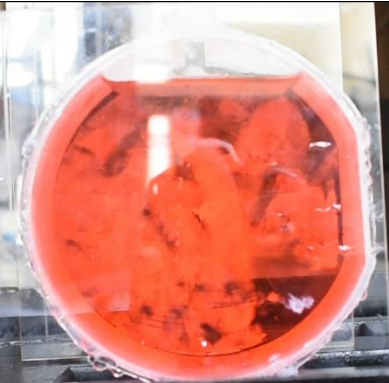
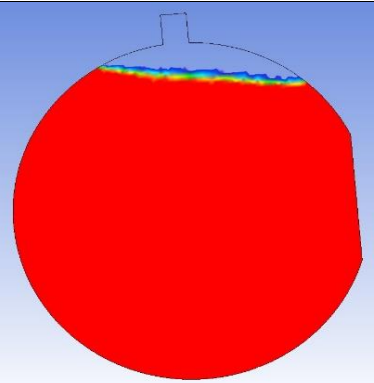


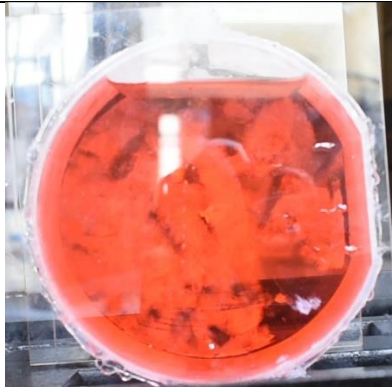
$T = 8 \text{ s}$



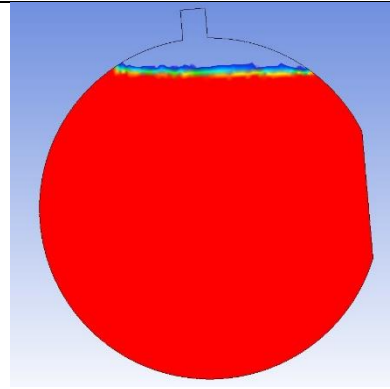
$T = 8 \text{ s}$

Tabel 3 Tanpa Baffle FL 90%

 <p>t = 1 s</p>	 <p>t = 1 s</p>
 <p>t = 2 s</p>	 <p>t = 2 s</p>
 <p>t = 3 s</p>	 <p>t = 3 s</p>
 <p>t = 4 s</p>	 <p>t = 4 s</p>



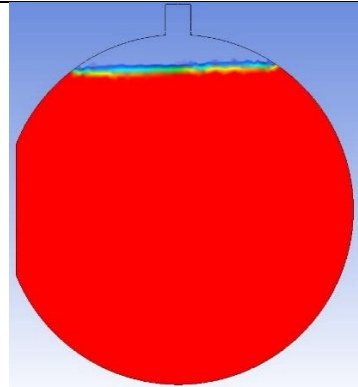
$t = 5 \text{ s}$



$t = 5 \text{ s}$



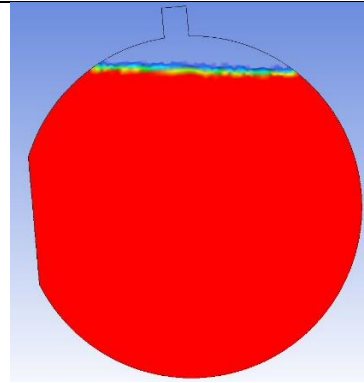
$T = 6 \text{ s}$



$T = 6 \text{ s}$



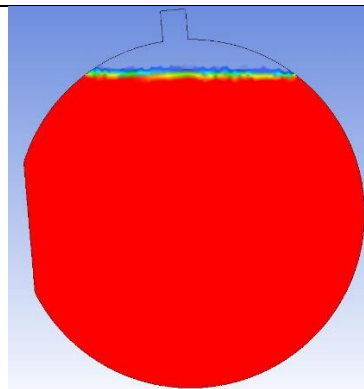
$T = 7 \text{ s}$



$T = 7 \text{ s}$

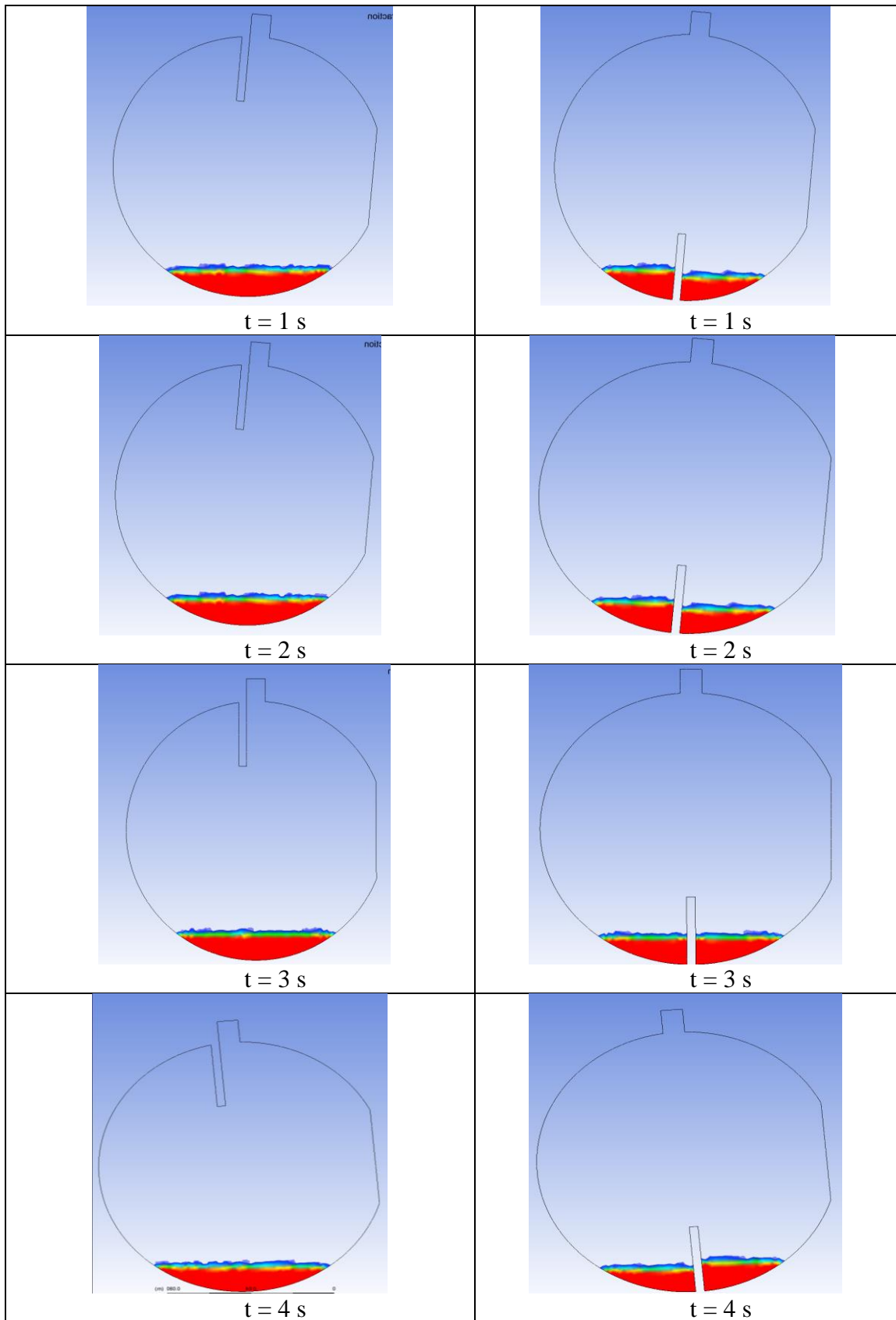


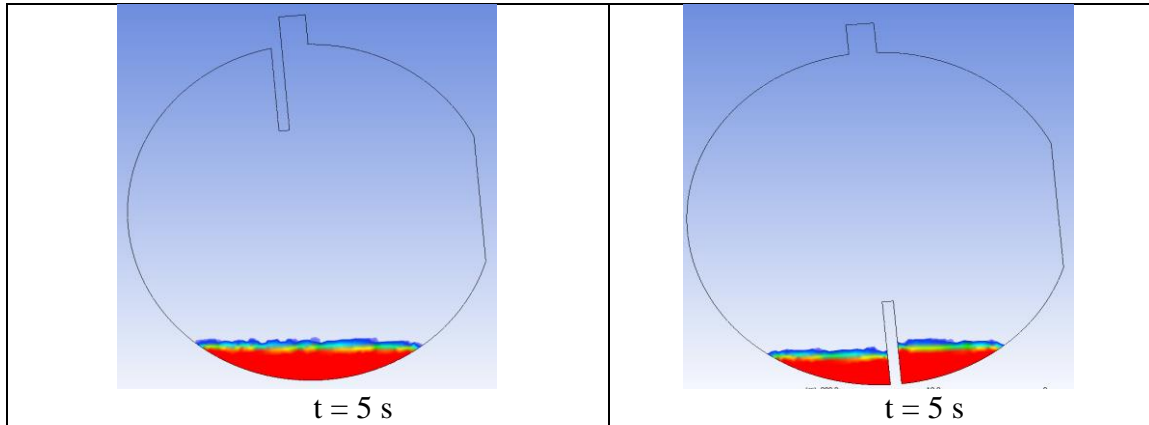
$T = 8 \text{ s}$



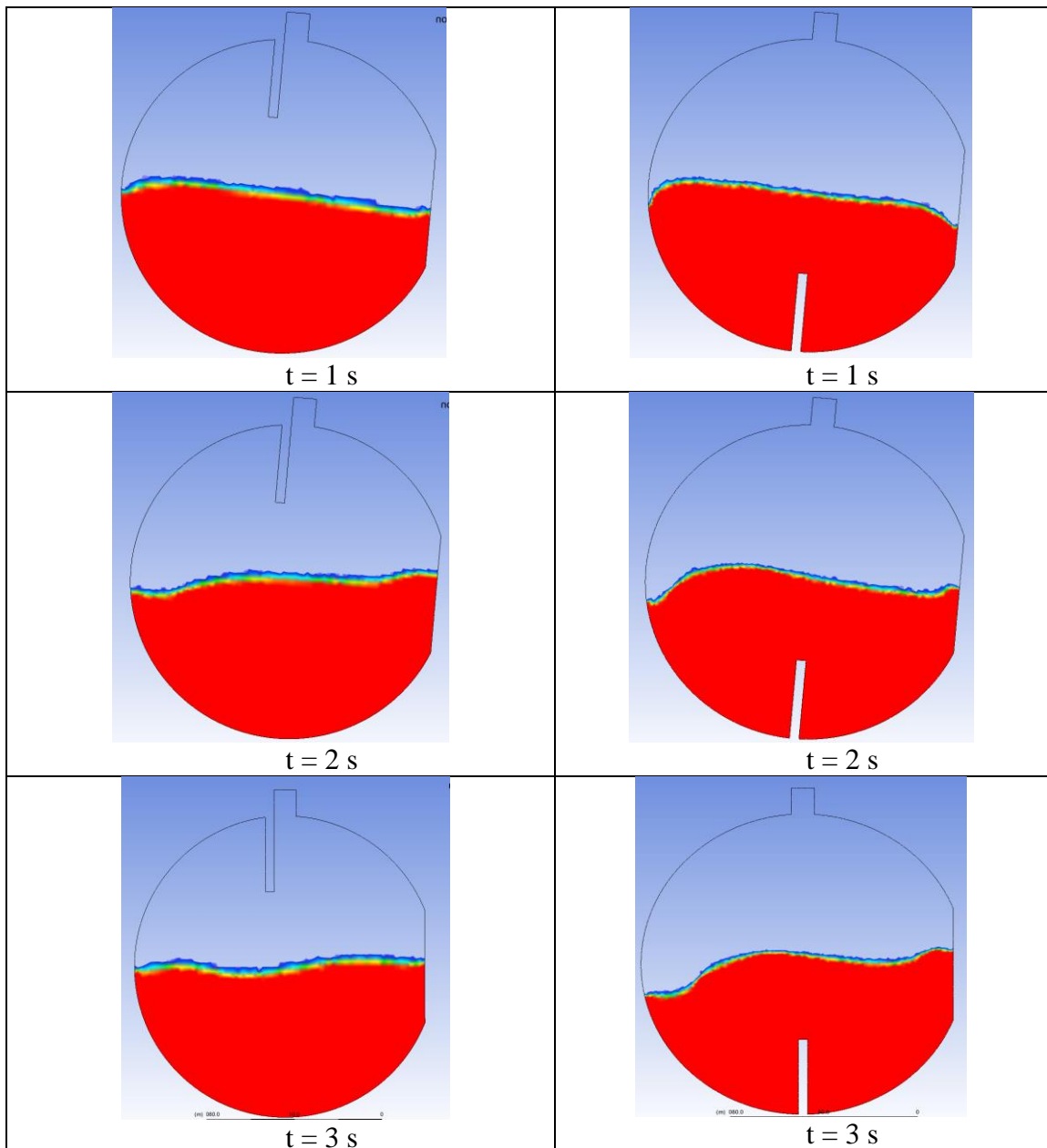
$T = 8 \text{ s}$

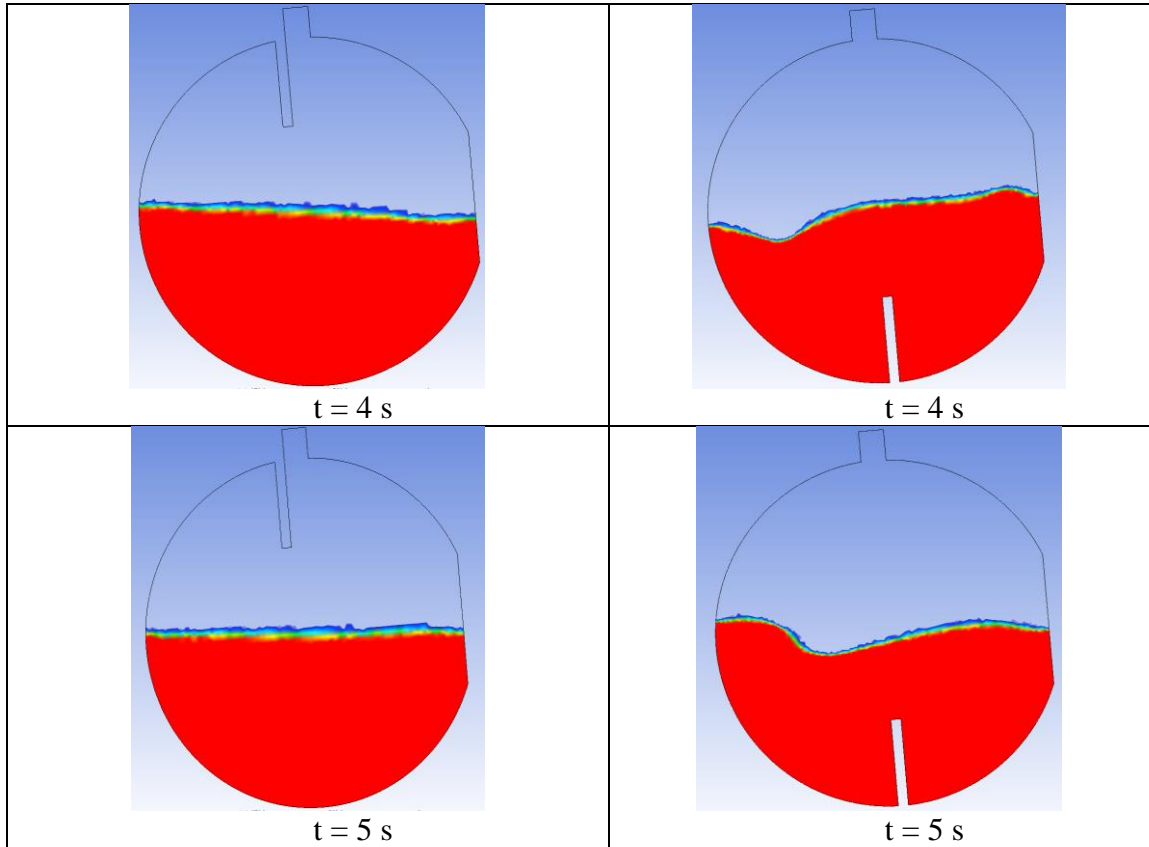
Tabel 4 Tangki dengan Baffle FL 10%



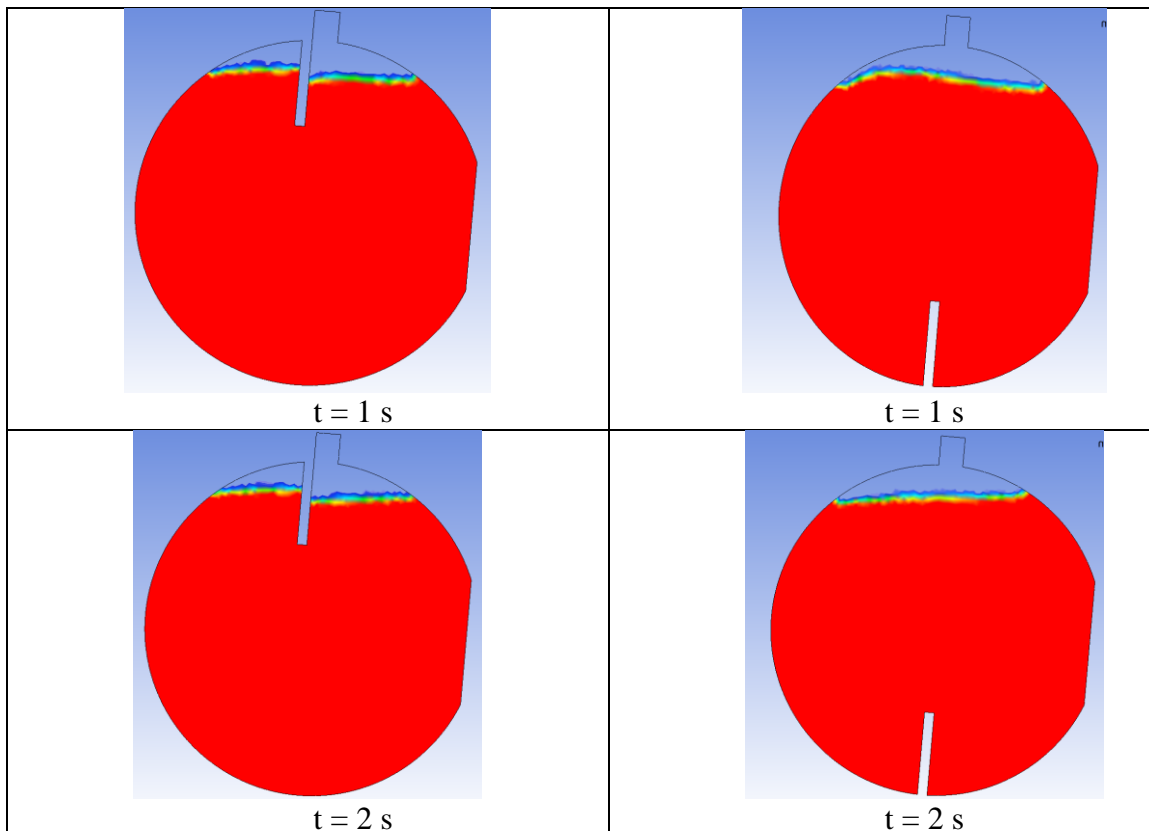


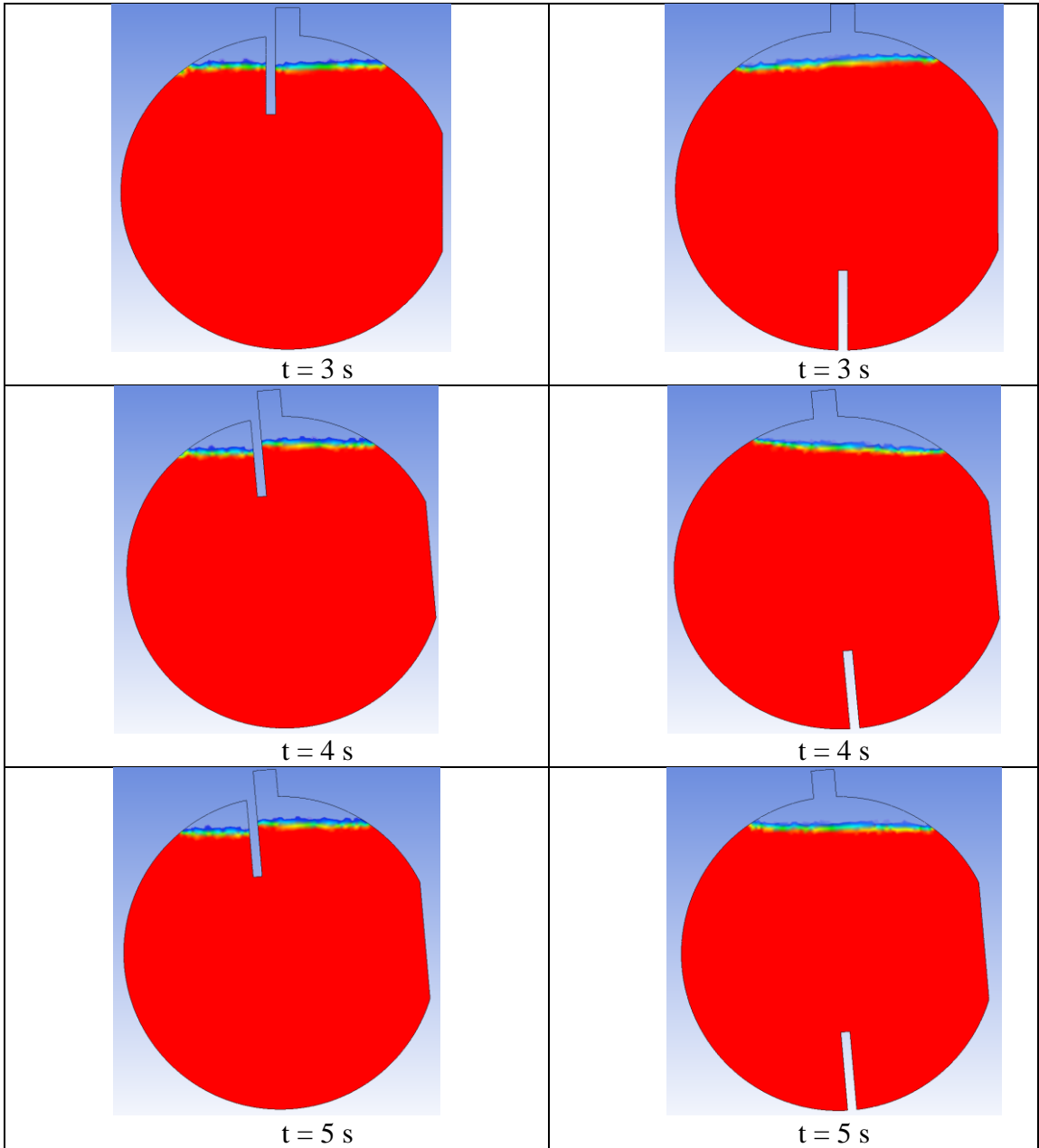
Tabel 5 Tangki dengan Baffle FL 50%





Tabel 6 Tangki dengan Baffle FL 90%



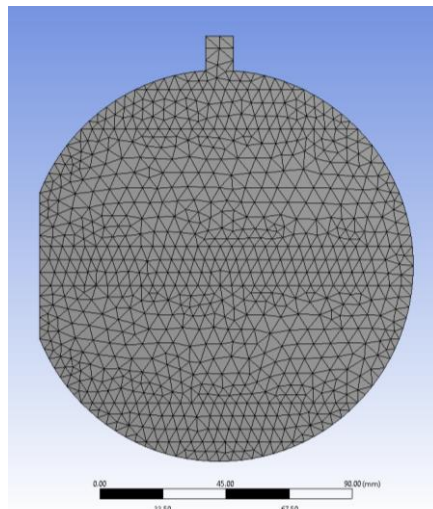


LAMPIRAN C

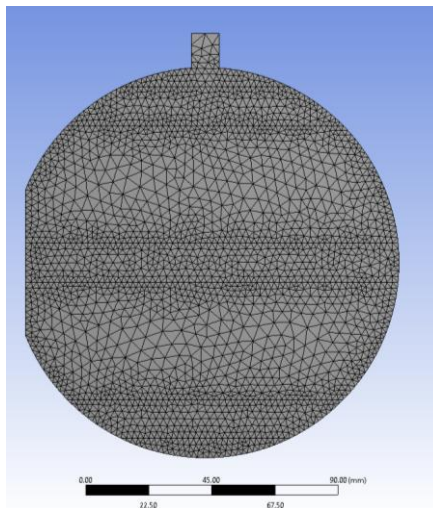
HASIL PERHITUNGAN

- Variasi Meshing

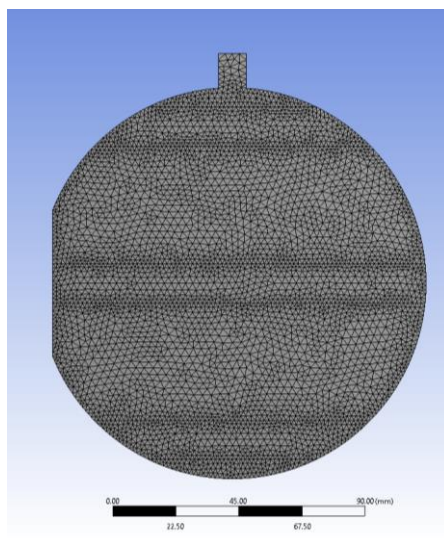
Tipe	interval size		Number of elements	number of nodes
	<i>face meshing</i>	<i>edge sizing</i>		
Grid A	5	4	1649	884
Grid B	5	2	4537	2380
Grid C	2.5	1.5	8192	4245
Grid D	5	1	11968	6203



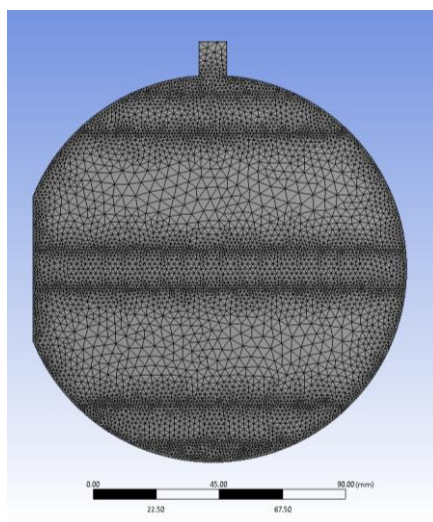
Gambar Grid A



Gambar Grid B



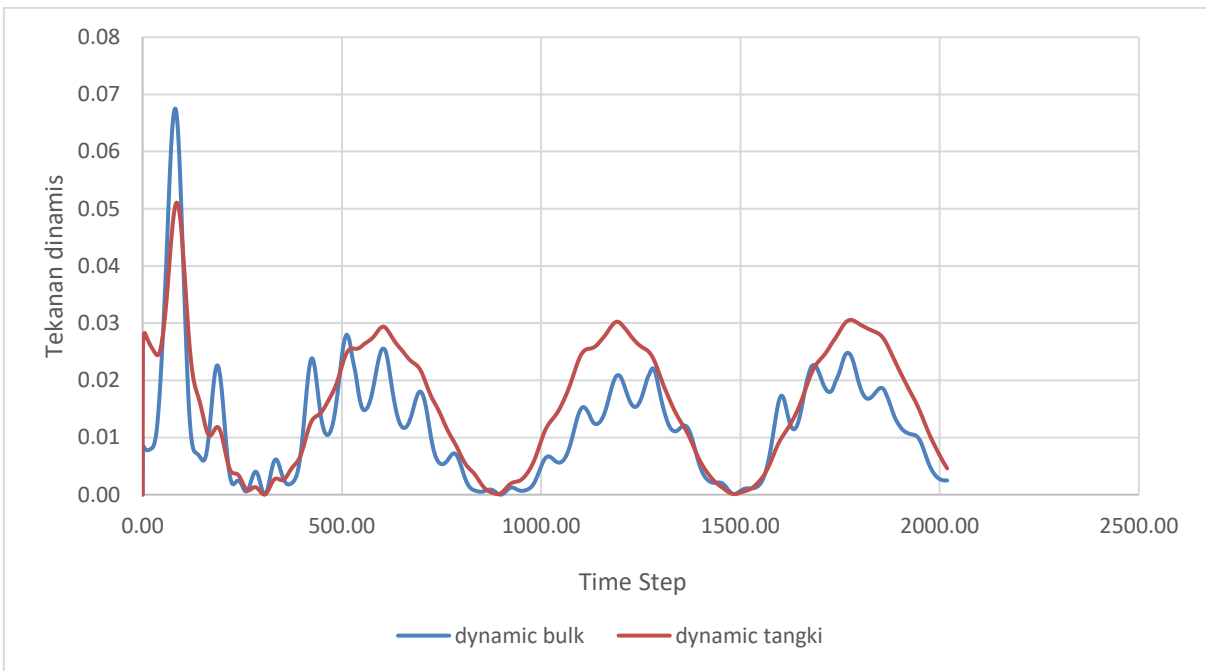
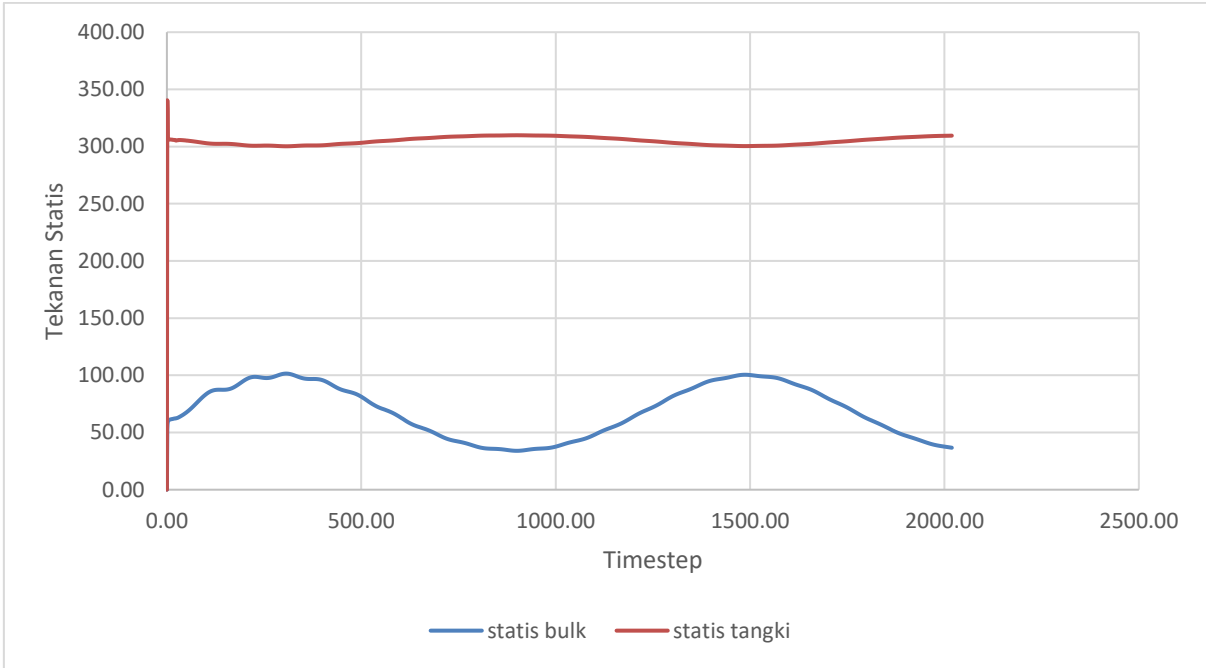
Gambar Grid C



Gambar Grid D

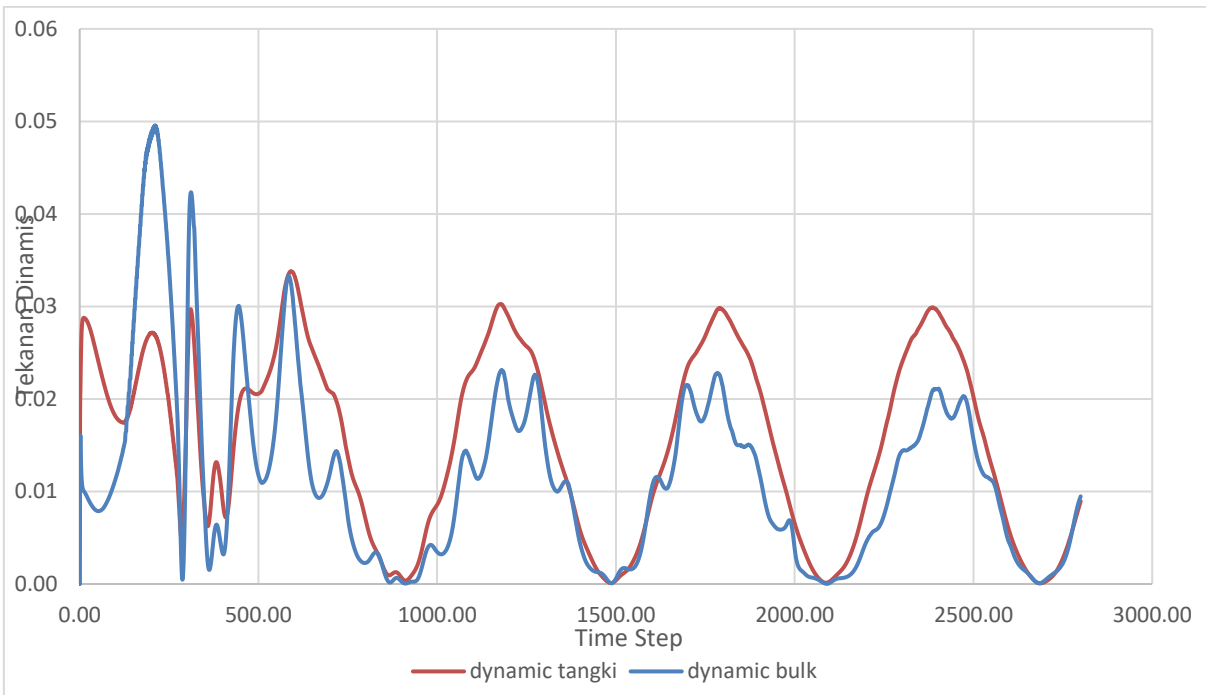
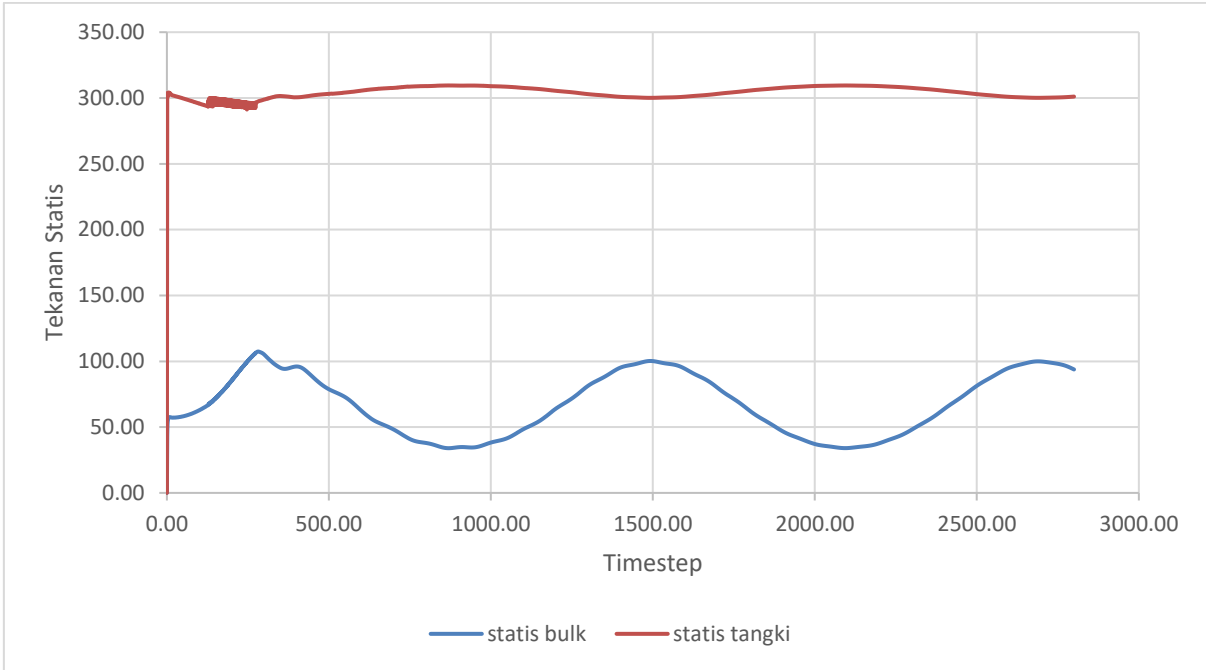
- Hasil Perhitungan Grid A

max pressure			rata - rata pressure		
Statis Pressure	longitudinal bulkhead	101.5 1	Statis Pressure	longitudinal bulkhead	69.36
	tangki wall	340.4 8		tangki wall	304.8 1
Dynamic Pressure	longitudinal bulkhead	0.07	Dynamic Pressure	longitudinal bulkhead	0.01
	tangki wall	0.05		tangki wall	0.02



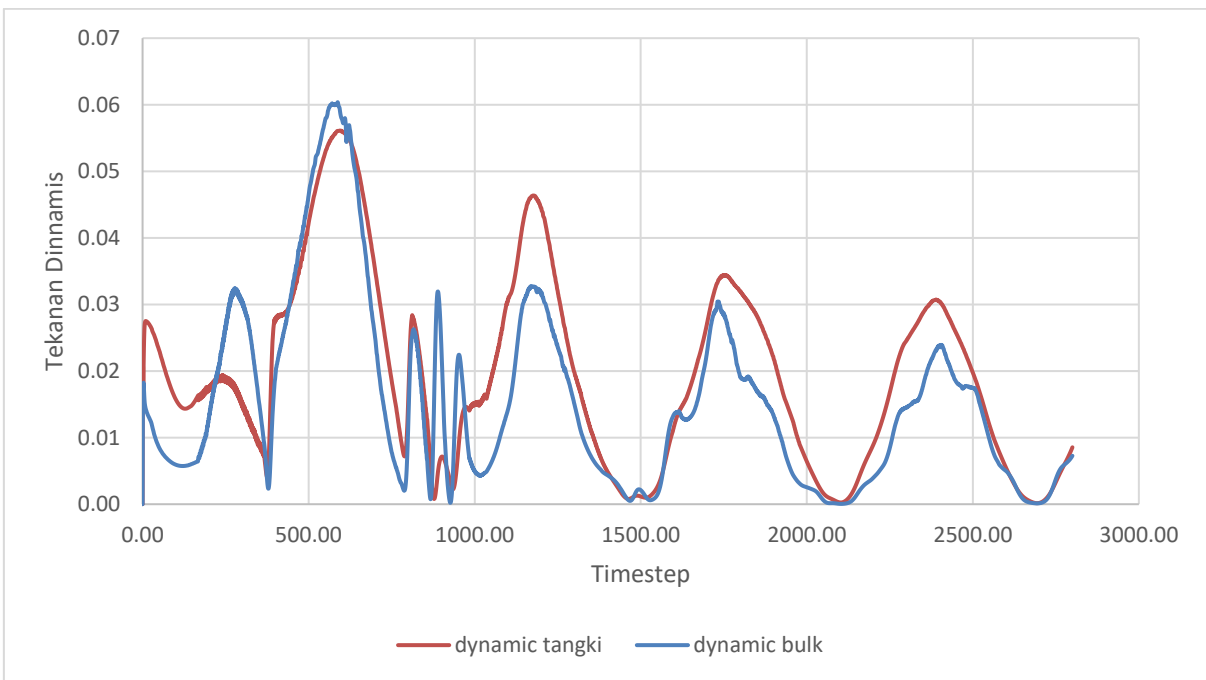
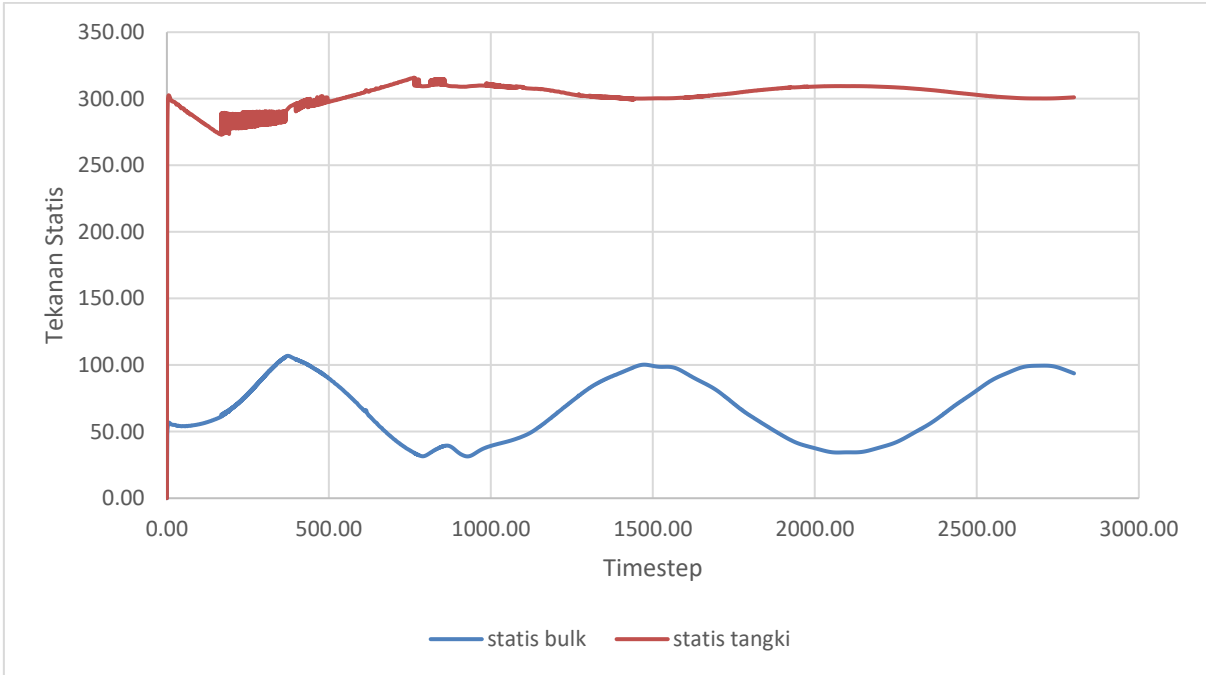
• Hasil Perhitungan Grid B

max pressure			rata - rata pressure		
Statis Pressure	longitudinal bulkhead	107.3 8	Statis Pressure	longitudinal bulkhead	67.43
	tangki wall	309.5 3		tangki wall	304.0 8
Dynamic Pressure	longitudinal bulkhead	0.05	Dynamic Pressure	longitudinal bulkhead	0.01
	tangki wall	0.03		tangki wall	0.02



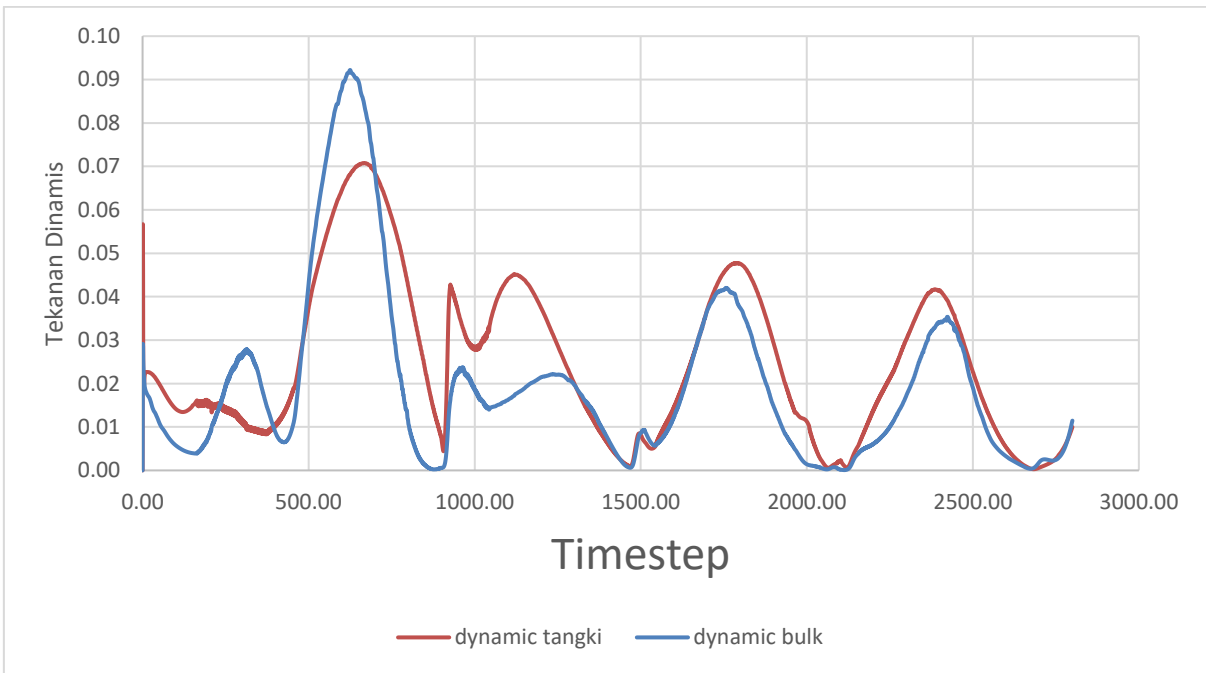
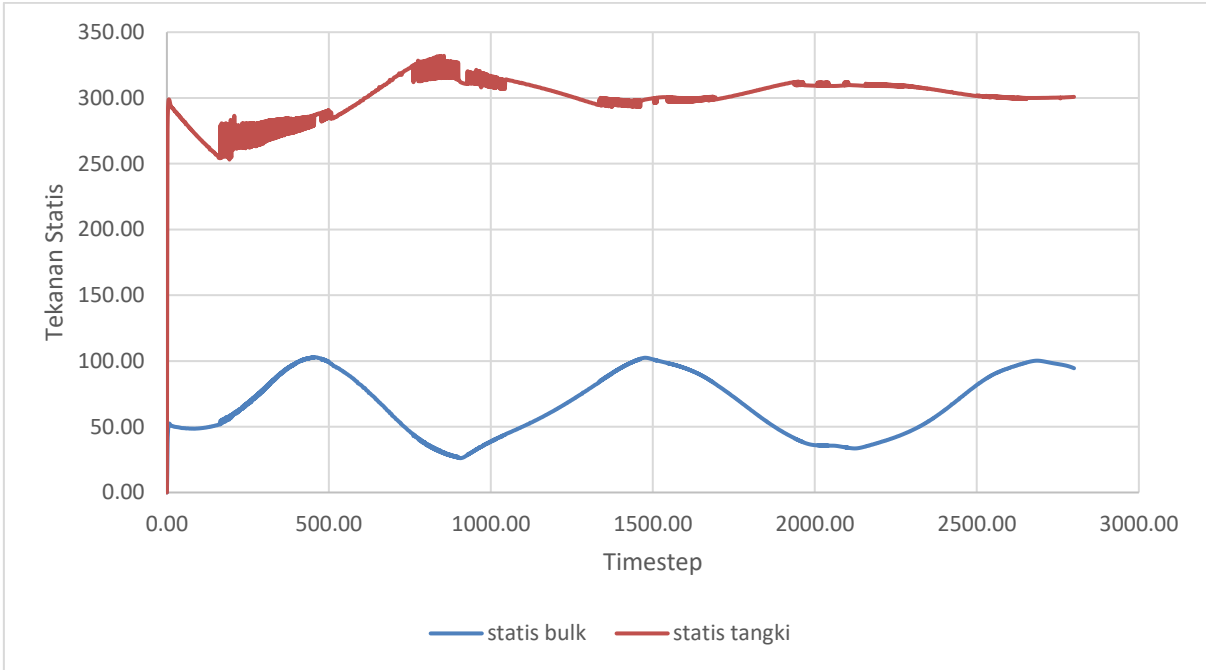
• Hasil Perhitungan Grid C

max pressure			rata - rata pressure		
Statis Pressure	longitudinal bulkhead	106.92	Statis Pressure	longitudinal bulkhead	66.80
	tangki wall	315.91		tangki wall	302.27
Dynamic Pressure	longitudinal bulkhead	0.06	Dynamic Pressure	longitudinal bulkhead	0.02
	tangki wall	0.06		tangki wall	0.02



• Hasil Perhitungan Grid D

max pressure			rata - rata pressure		
Statis Pressure	longitudinal bulkhead	102.85	Statis Pressure	longitudinal bulkhead	66.61
	tangki wall	332.03		tangki wall	300.03
Dynamic Pressure	longitudinal bulkhead	0.09	Dynamic Pressure	longitudinal bulkhead	0.02
	tangki wall	0.07		tangki wall	0.02

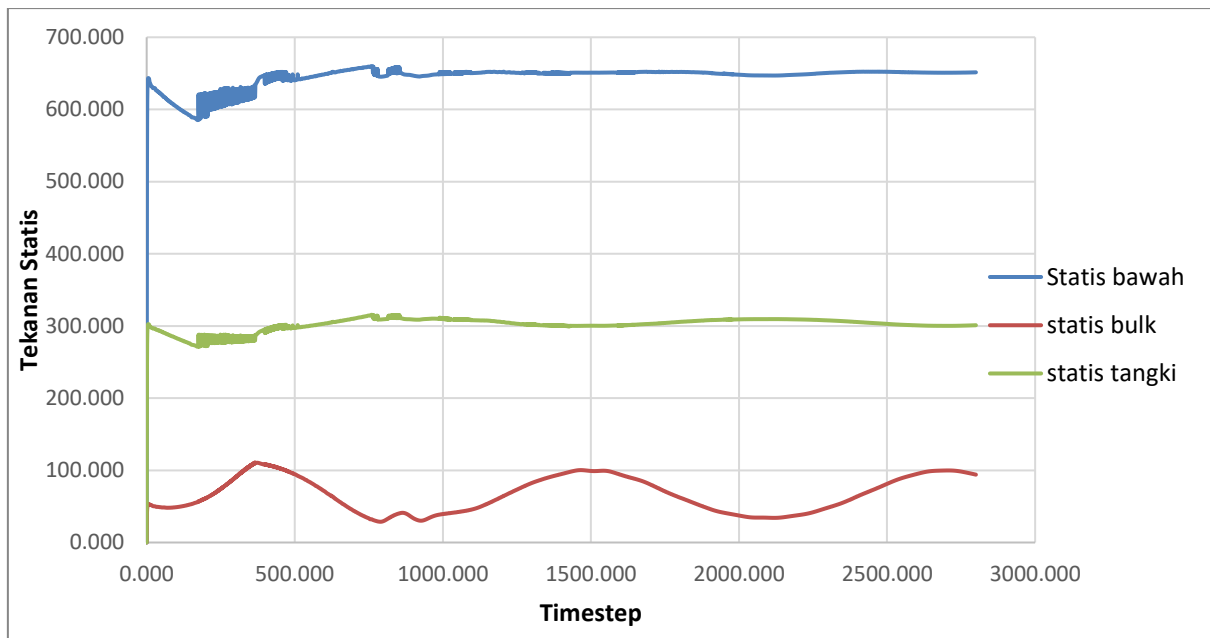


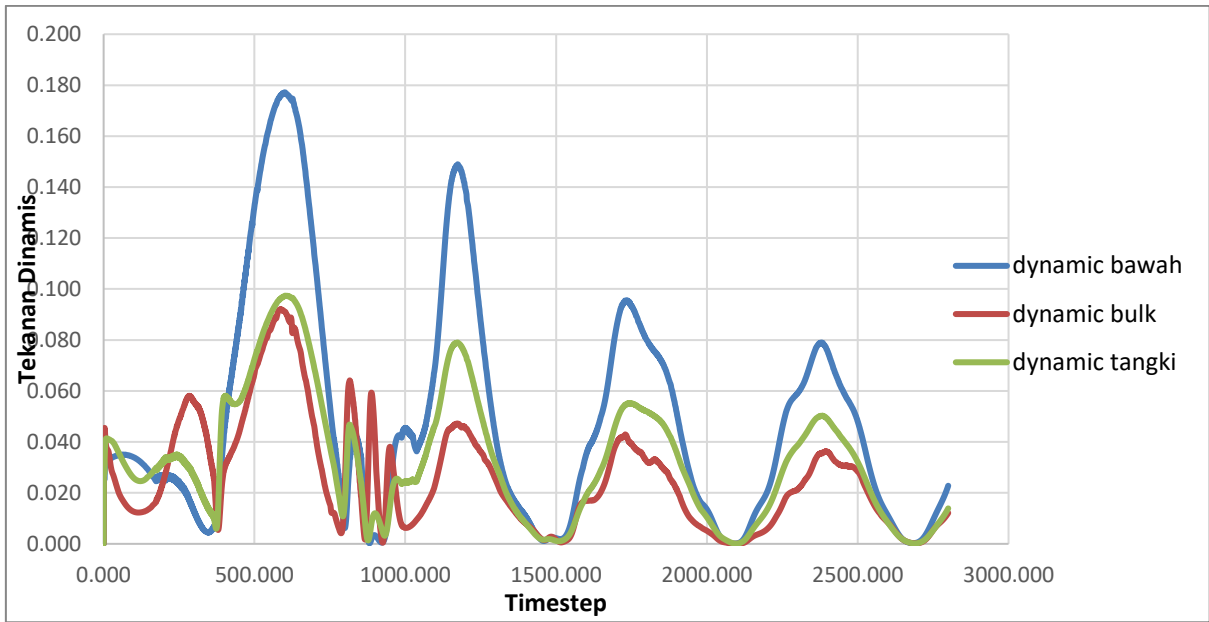
- Grid Independence

Grid	RMSE	Grid Independence
Grid A	13.68	20.54
Grid B	9.56	14.36
Grid C	3.28	4.92

- Hasil Perhitungan tanpa baffle FL 50%

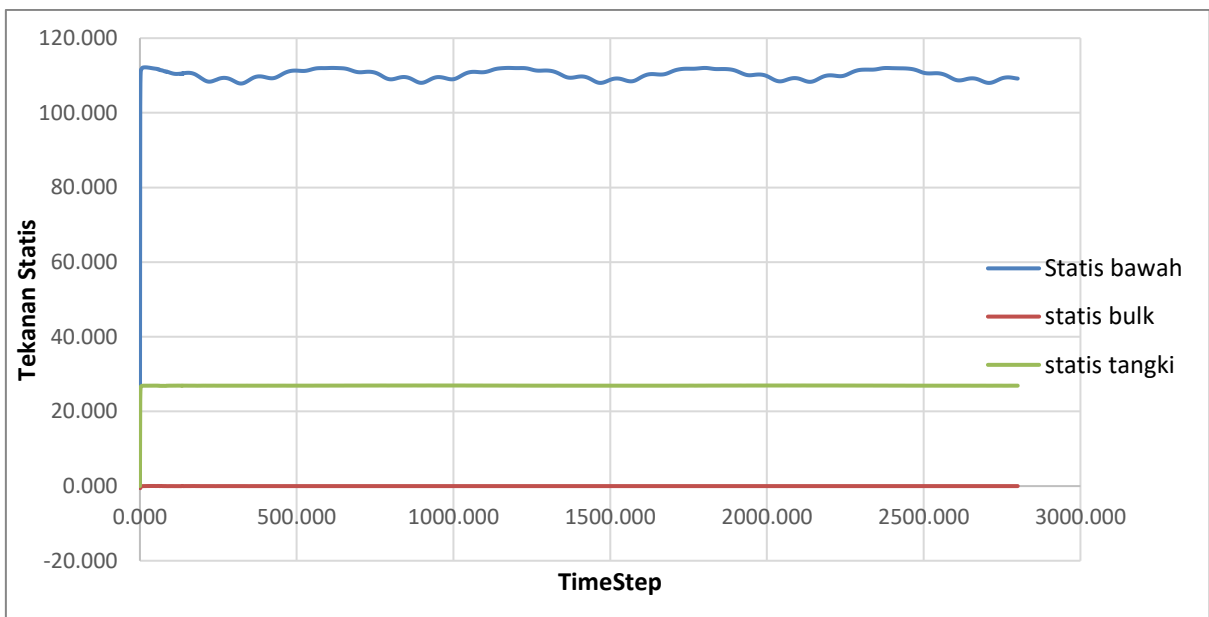
max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	660.140	statis pressure	left wall 8	644.934
	longitudinal bulkhead	110.981		longitudinal bulkhead	66.620
	tangki wall	315.489		tangki wall	301.911
dynamic pressure	left wall 8	0.177	dynamic pressure	left wall 8	0.049
	longitudinal bulkhead	0.092		longitudinal bulkhead	0.026
	tangki wall	0.097		tangki wall	0.033

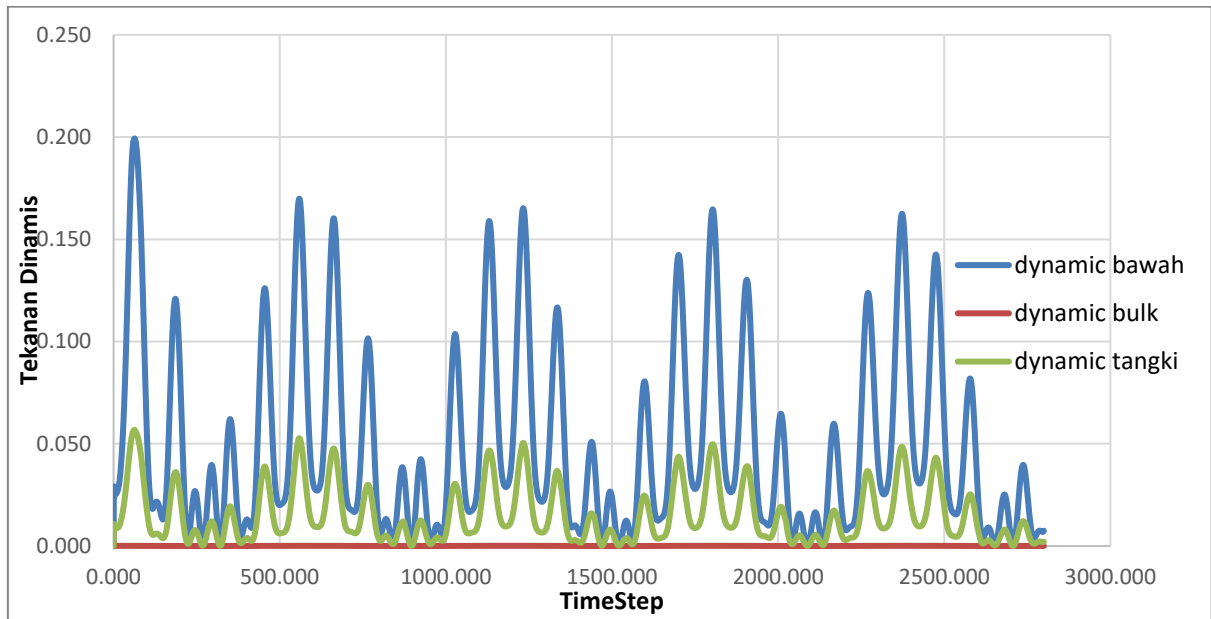




- Hasil Perhitungan tanpa baffle FL 10%

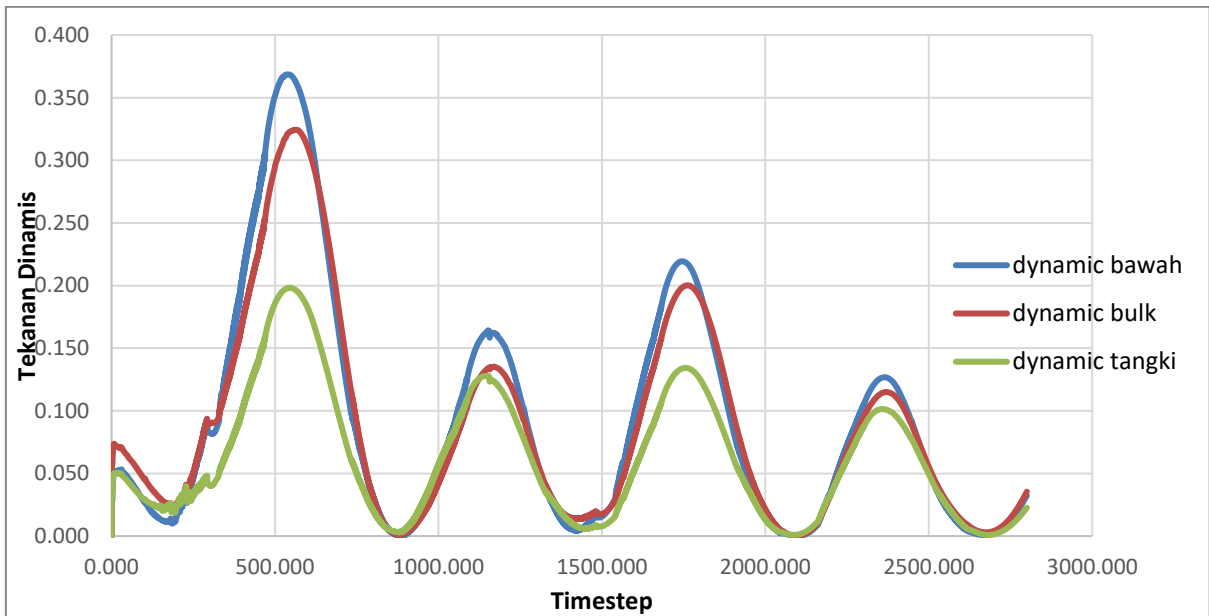
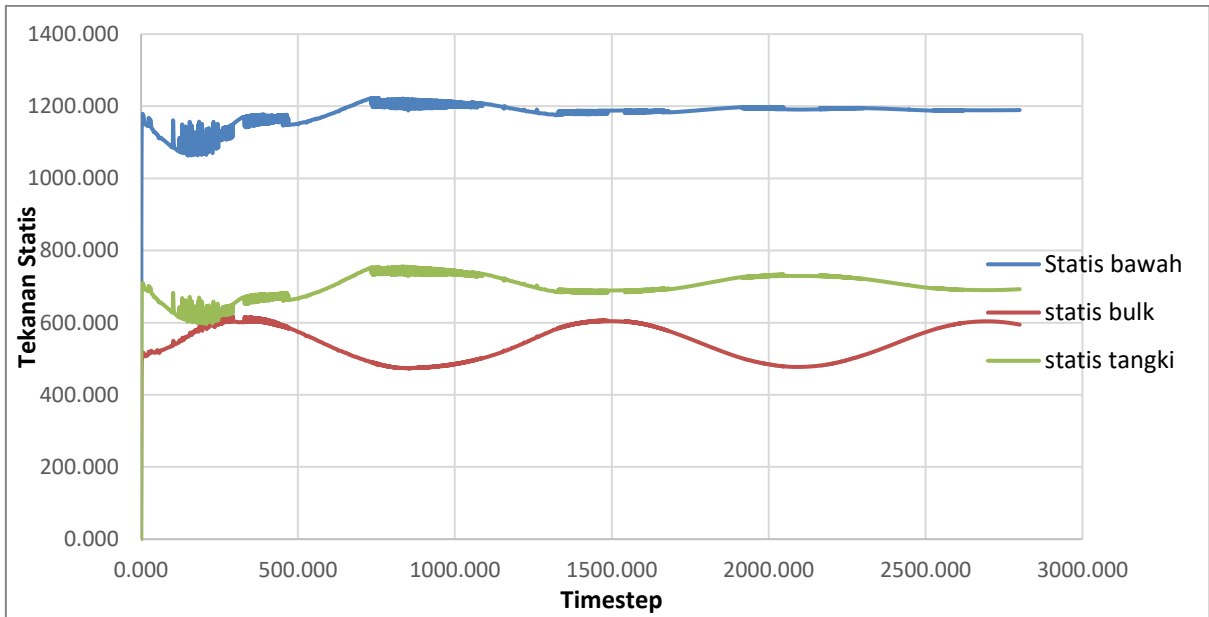
max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	112.183	statis pressure	left wall 8	110.218
	longitudinal bulkhead	0.039		longitudinal bulkhead	0.000
	tangki wall	26.952		tangki wall	26.908
dynamic pressure	left wall 8	0.199	dynamic pressure	left wall 8	0.049
	longitudinal bulkhead	0.001		longitudinal bulkhead	0.000
	tangki wall	0.057		tangki wall	0.015





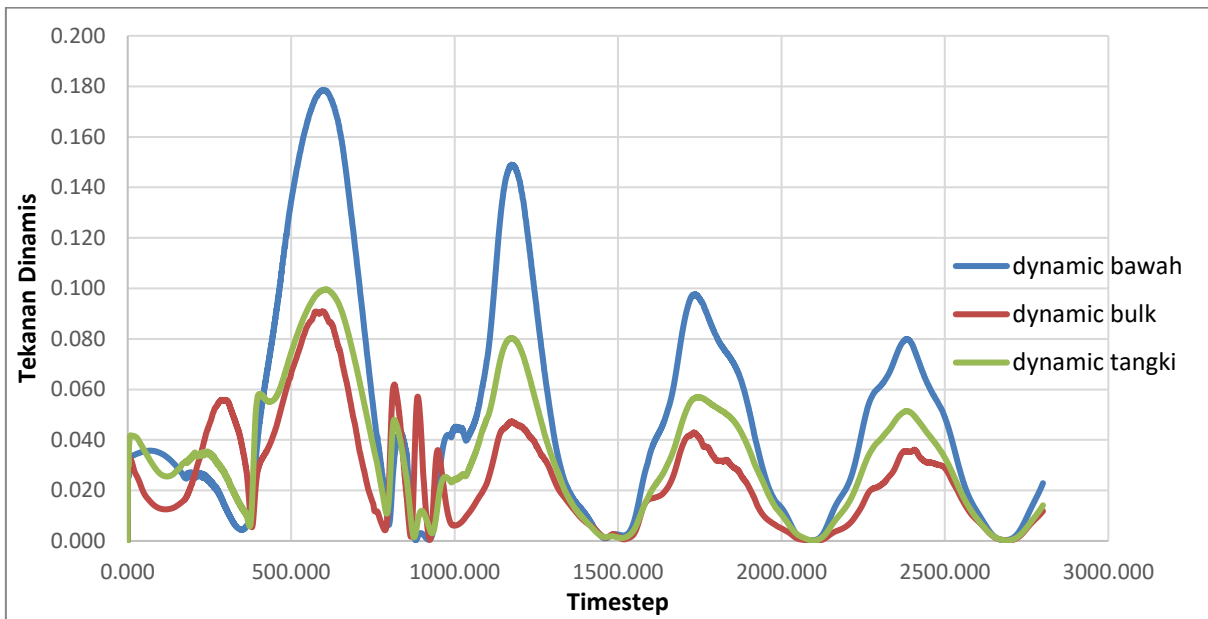
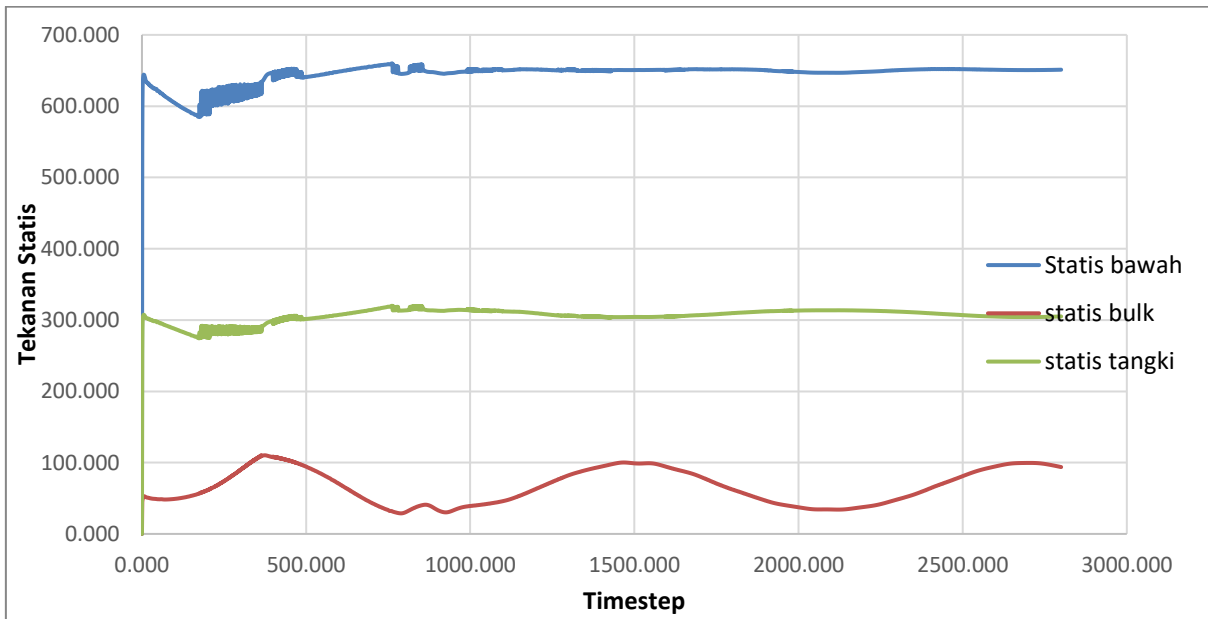
- Hasil Perhitungan tanpa baffle FL 90%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	1223.284	statis pressure	left wall 8	1180.178
	longitudinal bulkhead	622.776		longitudinal bulkhead	544.279
	tangki wall	755.782		tangki wall	700.393
dynamic pressure	left wall 8	0.369	dynamic pressure	left wall 8	0.092
	longitudinal bulkhead	0.324		longitudinal bulkhead	0.087
	tangki wall	0.198		tangki wall	0.062



- Hasil Perhitungan baffle atas FL 50%

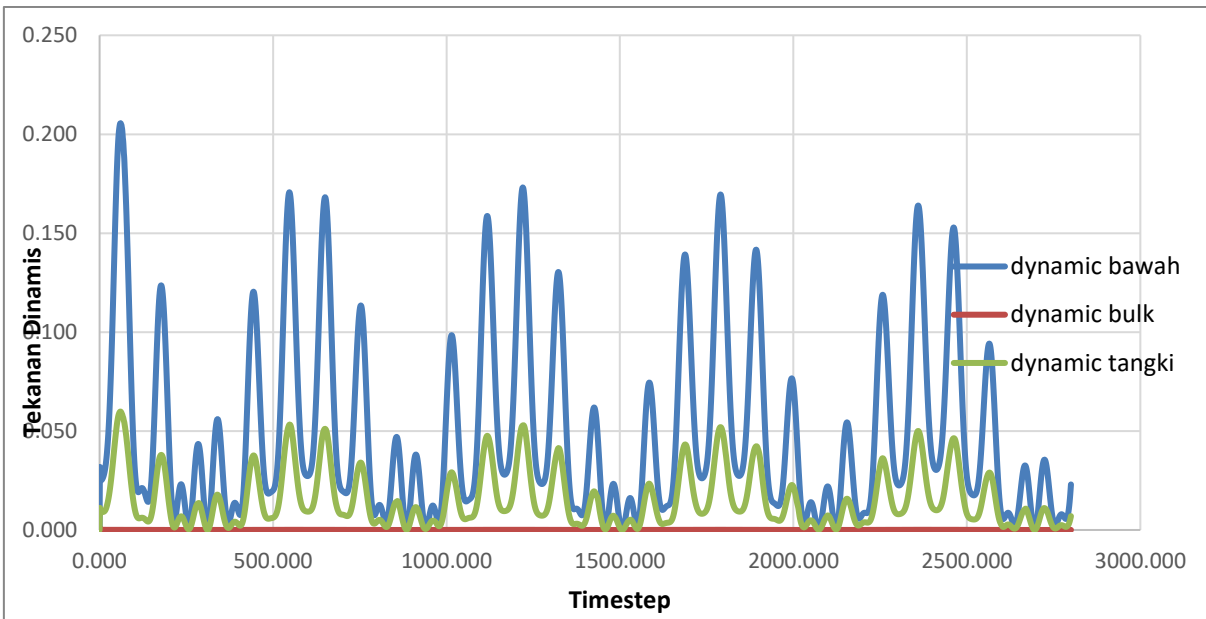
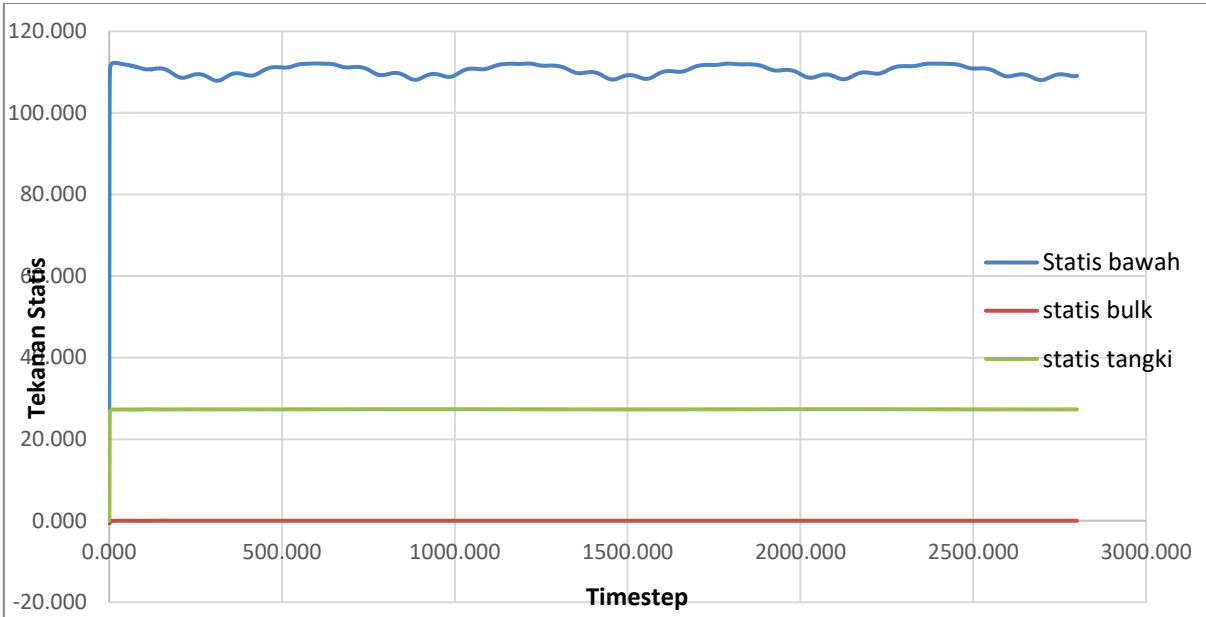
max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	660.040	statis pressure	left wall 8	644.789
	longitudinal bulkhead	110.262		longitudinal bulkhead	66.468
	tangki wall	319.947		tangki wall	305.998
dynamic pressure	left wall 8	0.179	dynamic pressure	left wall 8	0.050
	longitudinal bulkhead	0.091		longitudinal bulkhead	0.025
	tangki wall	0.100		tangki wall	0.033



- Hasil Perhitungan baffle atas FL 10%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	112.261	statis pressure	left wall 8	110.296
	longitudinal bulkhead	0.006		longitudinal bulkhead	-0.001
	tangki wall	27.348		tangki wall	27.306
dynamic pressure	left wall 8	0.206	dynamic pressure	left wall 8	0.050
	longitudinal bulkhead	0.001		longitudinal bulkhead	0.000

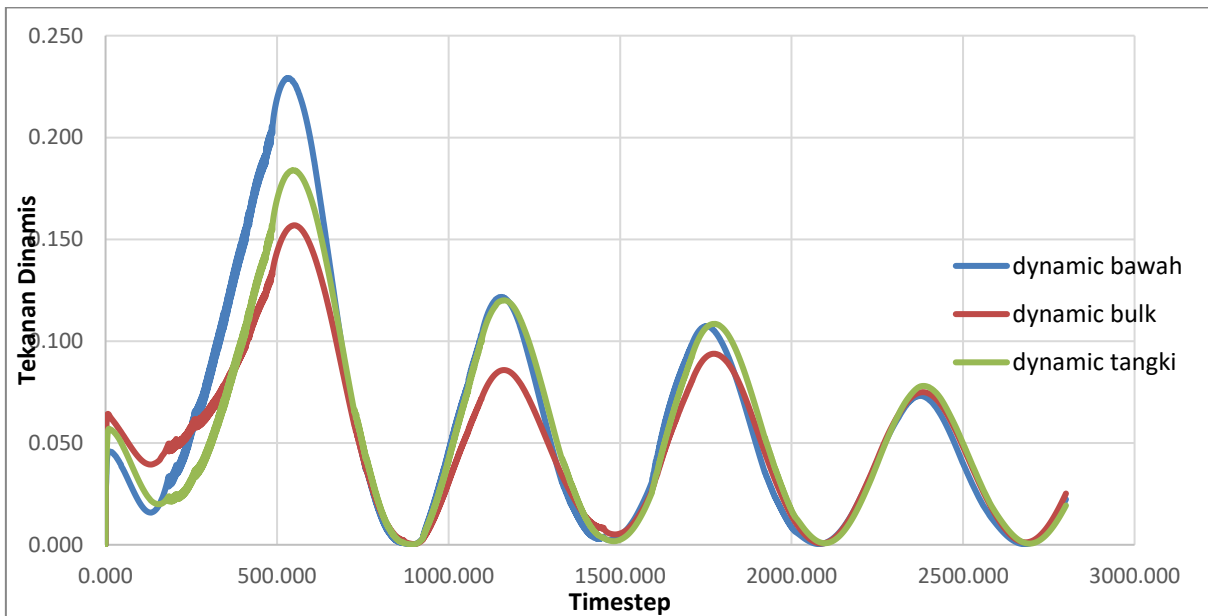
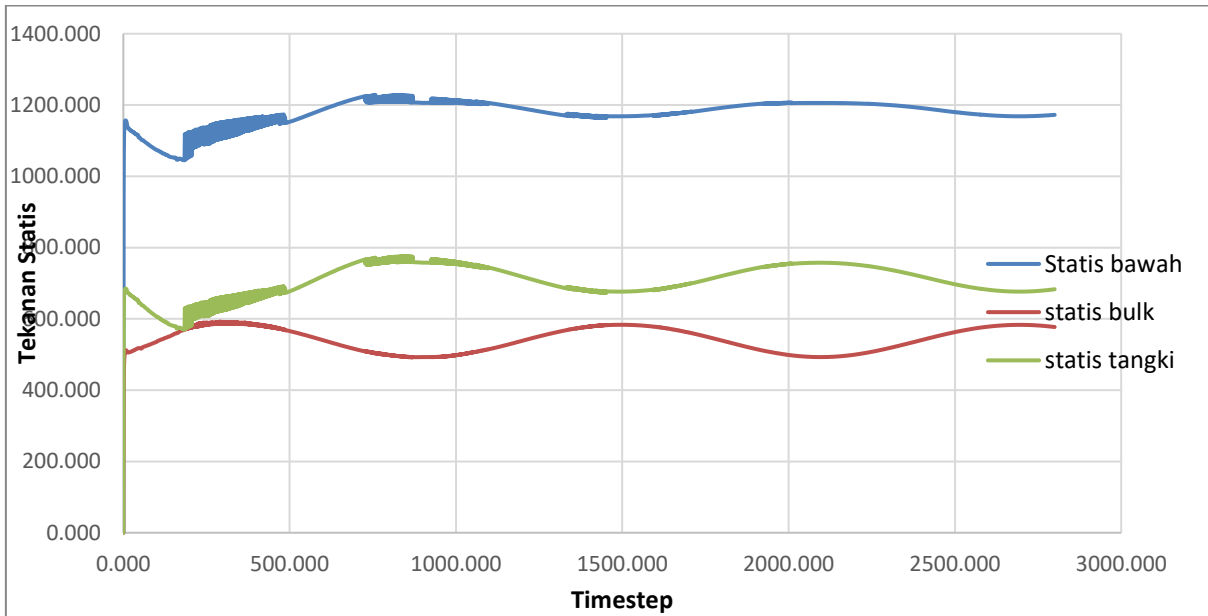
	tangki wall	0.060		tangki wall	0.015
--	-------------	-------	--	-------------	-------



- Hasil Perhitungan baffle atas FL 90%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	1228.41	statis pressure	left wall 8	1176.828
	longitudinal bulkhead	592.288		longitudinal bulkhead	541.971
	tangki wall	775.167		tangki wall	705.410
dynamic	left wall 8	0.229	dynamic	left wall 8	0.059

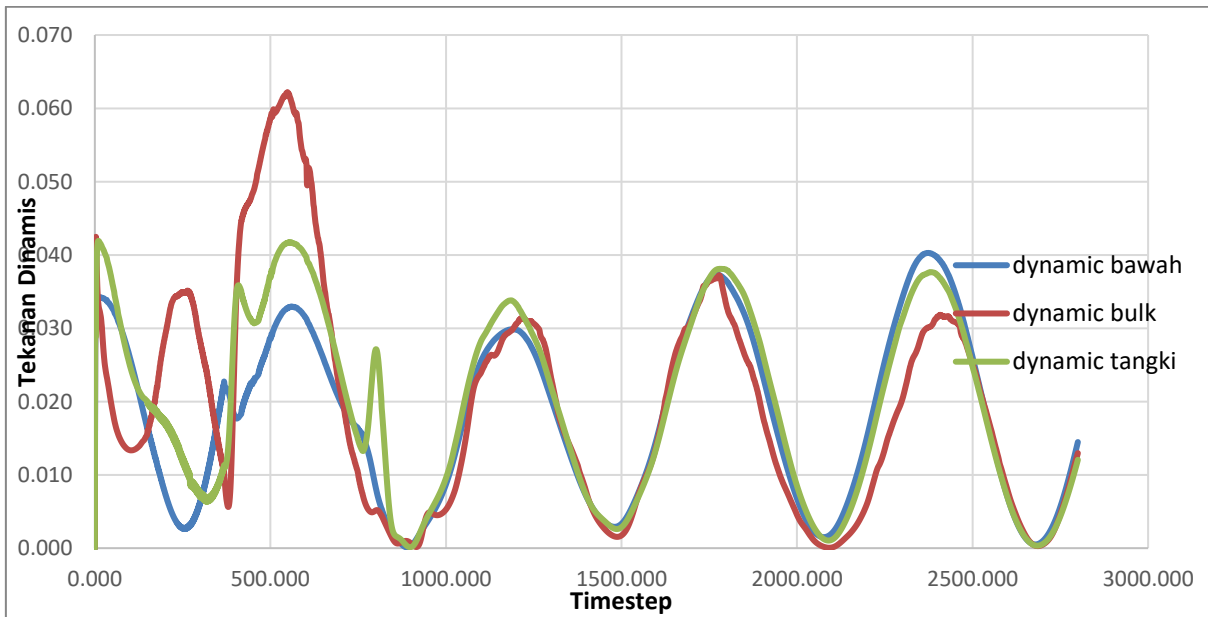
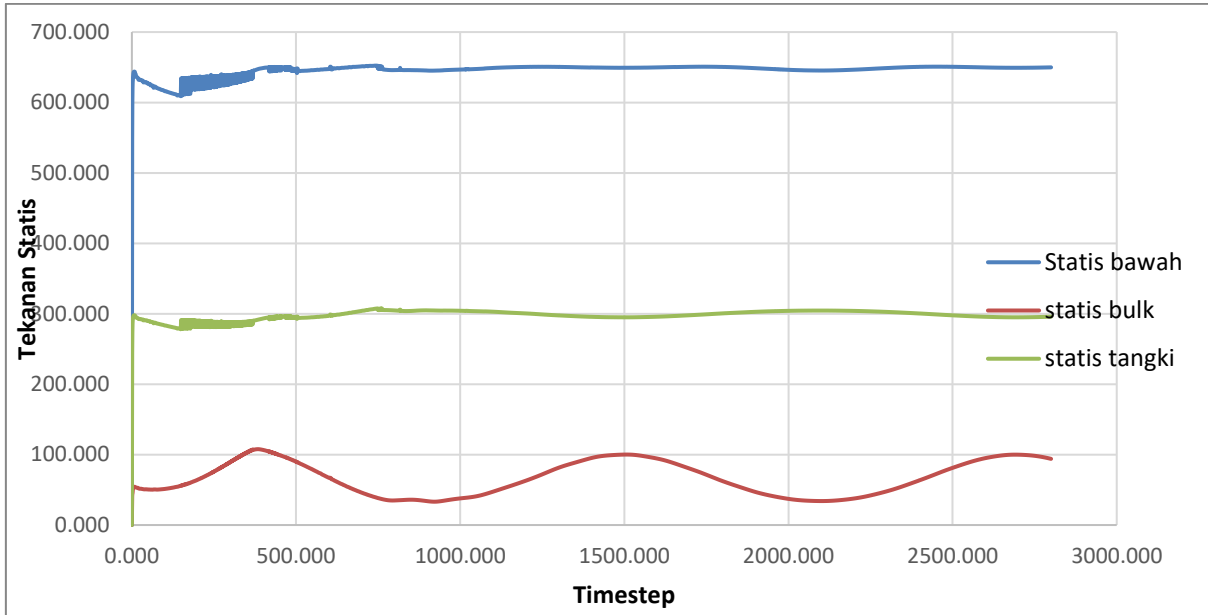
pressure	longitudinal bulkhead	0.157	pressure	longitudinal bulkhead	0.051
	tangki wall	0.184		tangki wall	0.055



- Hasil Perhitungan baffle bawah FL 50%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	652.361	statis pressure	left wall 8	645.598
	longitudinal bulkhead	107.707		longitudinal bulkhead	66.490
	tangki wall	307.526		tangki wall	297.839

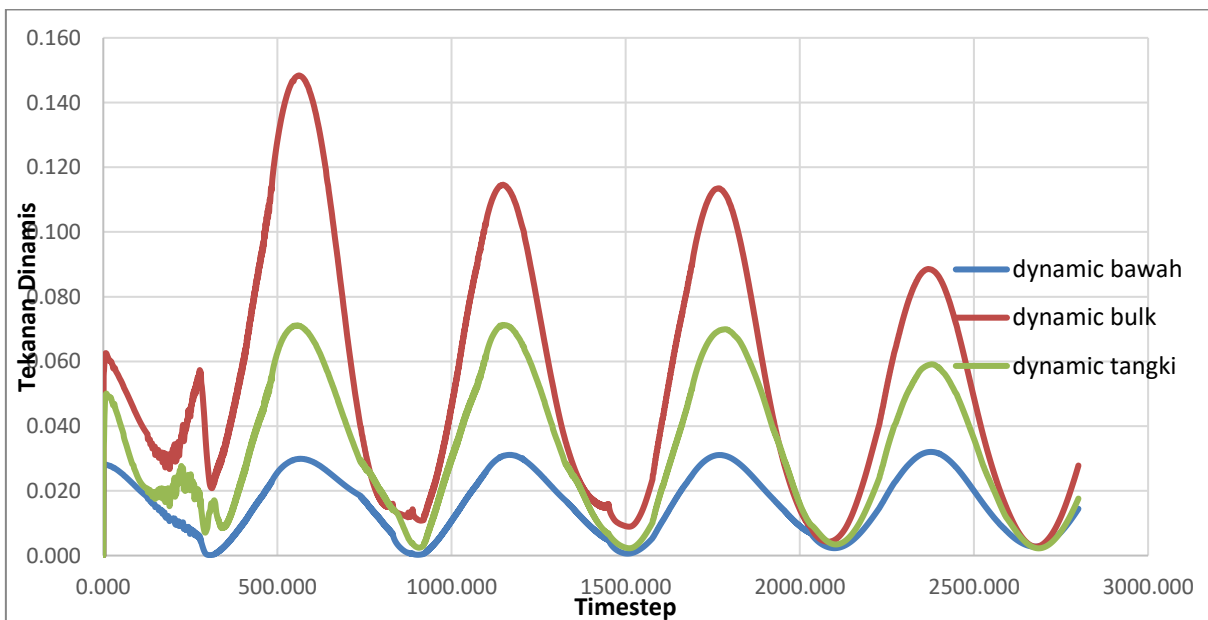
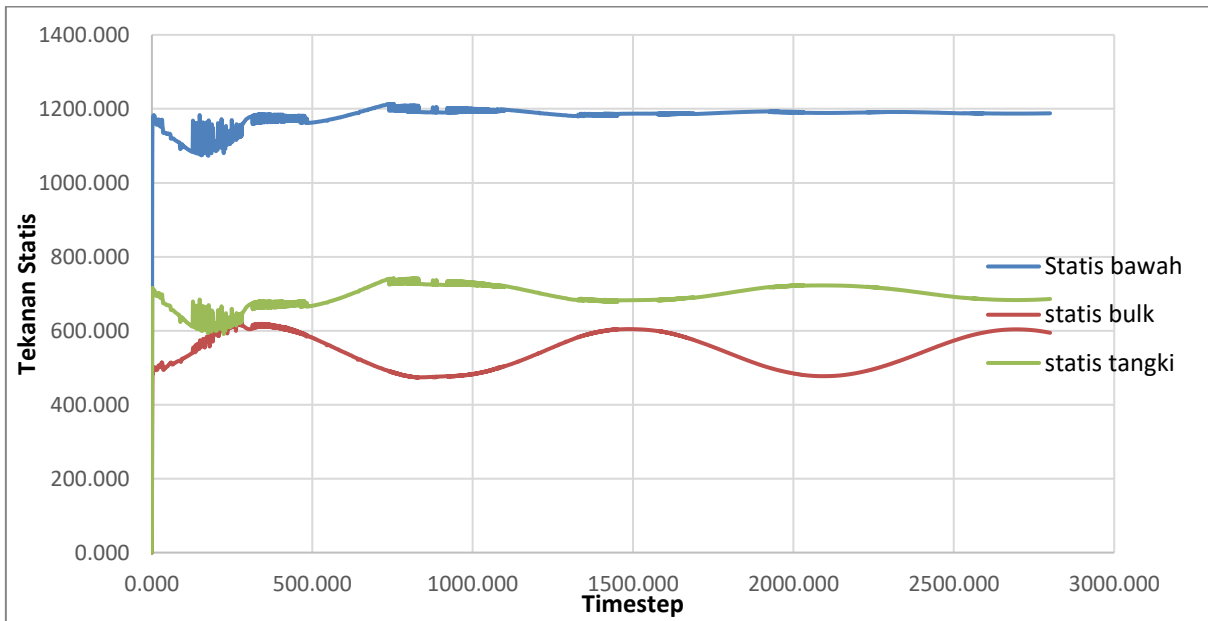
dynamic pressure	left wall 8	0.040	dynamic pressure	left wall 8	0.018
	longitudinal bulkhead	0.062		longitudinal bulkhead	0.019
	tangki wall	0.042		tangki wall	0.020



- Hasil Perhitungan baffle bawah FL 90%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	1213.25	statis pressure	left wall 8	1180.733
	longitudinal	628.845		longitudinal	544.533

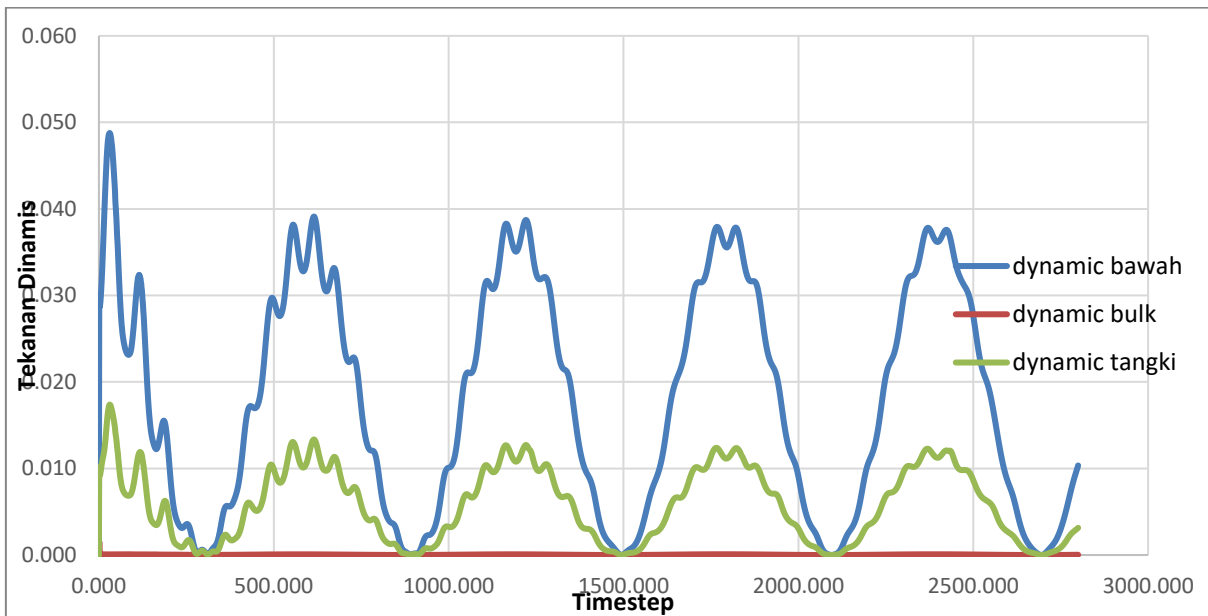
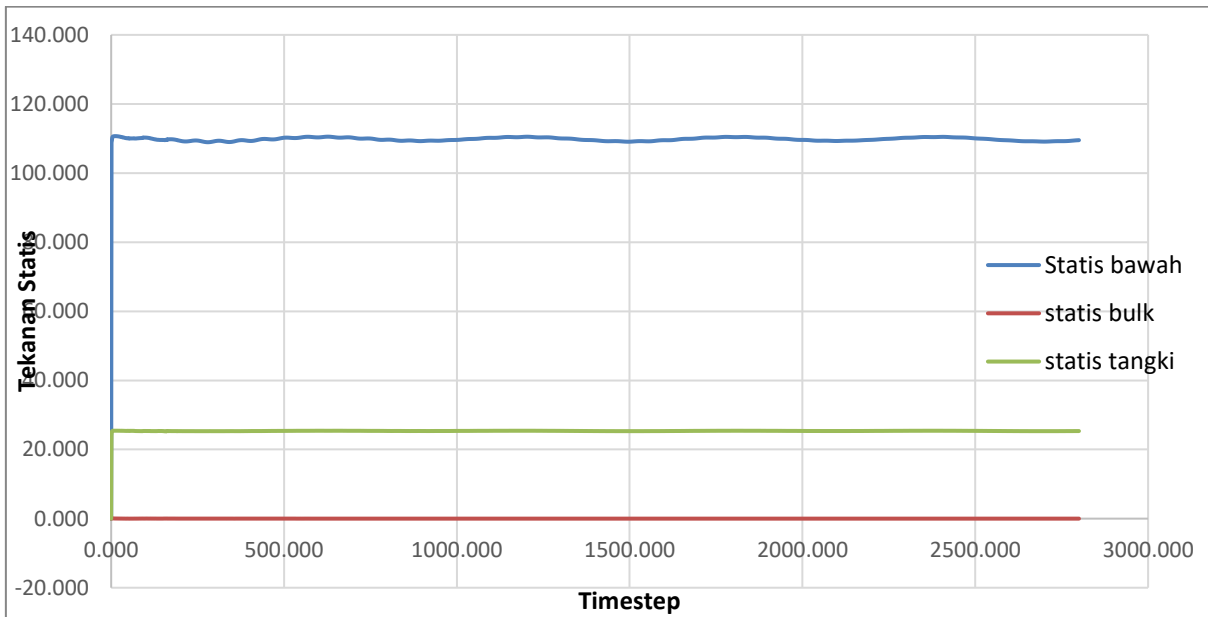
	bulkhead		bulkhead	
	tangki wall	741.688	tangki wall	694.464
dynamic pressure	left wall 8	0.032	left wall 8	0.016
	longitudinal bulkhead	0.148	longitudinal bulkhead	0.053
	tangki wall	0.071	tangki wall	0.032



- Hasil Perhitungan baffle bawah FL 10%

max pressure			rata - rata pressure		
statis pressure	left wall 8	110.695	statis pressure	left wall 8	109.771

	longitudinal bulkhead	0.154		longitudinal bulkhead	0.001
	tangki wall	25.443		tangki wall	25.367
dynamic pressure	left wall 8	0.049	dynamic pressure	left wall 8	0.018
	longitudinal bulkhead	0.002		longitudinal bulkhead	0.000
	tangki wall	0.017		tangki wall	0.006



- Variasi Percobaan Eksperimen

Amplitu	Periode	Amplitudo dalam	Amplitudo dalam	frekuensi ecountering
---------	---------	-----------------	-----------------	-----------------------

do	rolling	radian	derajat	(rad/s)
2	2	0.099668652	5.708295552	3.142857143
	4	0.099668652	5.708295552	1.571428571
	6	0.099668652	5.708295552	1.047619048
	8	0.099668652	5.708295552	0.785714286
3	2	0.148889948	8.527333363	3.142857143
	4	0.148889948	8.527333363	1.571428571
	6	0.148889948	8.527333363	1.047619048
	8	0.148889948	8.527333363	0.785714286
4	2	0.19739556	11.30538206	3.142857143
	4	0.19739556	11.30538206	1.571428571
	6	0.19739556	11.30538206	1.047619048
	8	0.19739556	11.30538206	0.785714286

Nilai dari frekuensi ecountering dan Amplitudo akan dimasukkan ke dalam persamaan gerak *rolling* :

$$\phi = \phi_a \sin(\omega_e t - \varepsilon_2)$$

Dan didapatkan grafik :

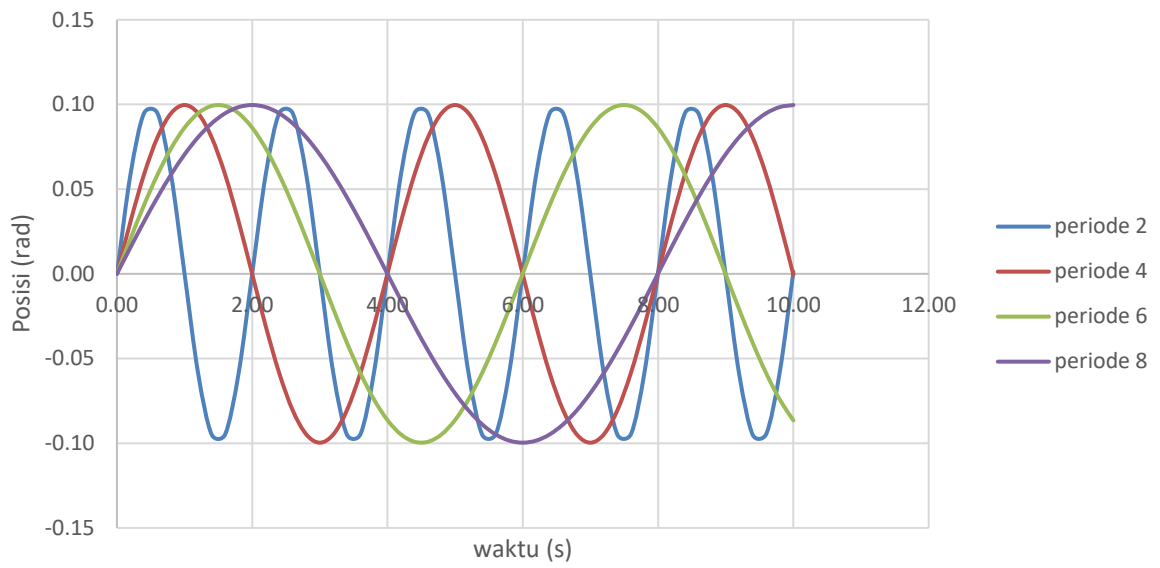
time	Amplitudo 2			
	periode 2	periode 4	periode 6	periode 8
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.06	0.03	0.02	0.02
0.40	0.09	0.06	0.04	0.03
0.60	0.09	0.08	0.06	0.05
0.80	0.06	0.09	0.07	0.06
1.00	0.00	0.10	0.09	0.07
1.20	-0.06	0.09	0.09	0.08
1.40	-0.09	0.08	0.10	0.09
1.60	-0.09	0.06	0.10	0.09
1.80	-0.06	0.03	0.09	0.10
2.00	0.00	0.00	0.09	0.10
2.20	0.06	-0.03	0.07	0.10
2.40	0.09	-0.06	0.06	0.09
2.60	0.09	-0.08	0.04	0.09
2.80	0.06	-0.09	0.02	0.08
3.00	0.00	-0.10	0.00	0.07
3.20	-0.06	-0.09	-0.02	0.06
3.40	-0.09	-0.08	-0.04	0.05
3.60	-0.09	-0.06	-0.06	0.03
3.80	-0.06	-0.03	-0.07	0.02
4.00	0.00	0.00	-0.09	0.00
4.20	0.06	0.03	-0.09	-0.02
4.40	0.09	0.06	-0.10	-0.03

4.60	0.09	0.08	-0.10	-0.05
4.80	0.06	0.09	-0.09	-0.06
5.00	0.00	0.10	-0.09	-0.07
5.20	-0.06	0.09	-0.07	-0.08
5.40	-0.09	0.08	-0.06	-0.09
5.60	-0.09	0.06	-0.04	-0.09
5.80	-0.06	0.03	-0.02	-0.10
6.00	0.00	0.00	0.00	-0.10
6.20	0.06	-0.03	0.02	-0.10
6.40	0.10	-0.06	0.04	-0.09
6.60	0.09	-0.08	0.06	-0.09
6.80	0.06	-0.09	0.07	-0.08
7.00	0.00	-0.10	0.09	-0.07
7.20	-0.06	-0.09	0.09	-0.06
7.40	-0.10	-0.08	0.10	-0.05
7.60	-0.09	-0.06	0.10	-0.03
7.80	-0.06	-0.03	0.09	-0.02
8.00	0.00	0.00	0.09	0.00
8.20	0.06	0.03	0.07	0.02
8.40	0.10	0.06	0.06	0.03
8.60	0.09	0.08	0.04	0.05
8.80	0.06	0.09	0.02	0.06
9.00	0.00	0.10	0.00	0.07
9.20	-0.06	0.09	-0.02	0.08
9.40	-0.10	0.08	-0.04	0.09
9.60	-0.09	0.06	-0.06	0.09
9.80	-0.06	0.03	-0.07	0.10
10.00	0.00	0.00	-0.09	0.10

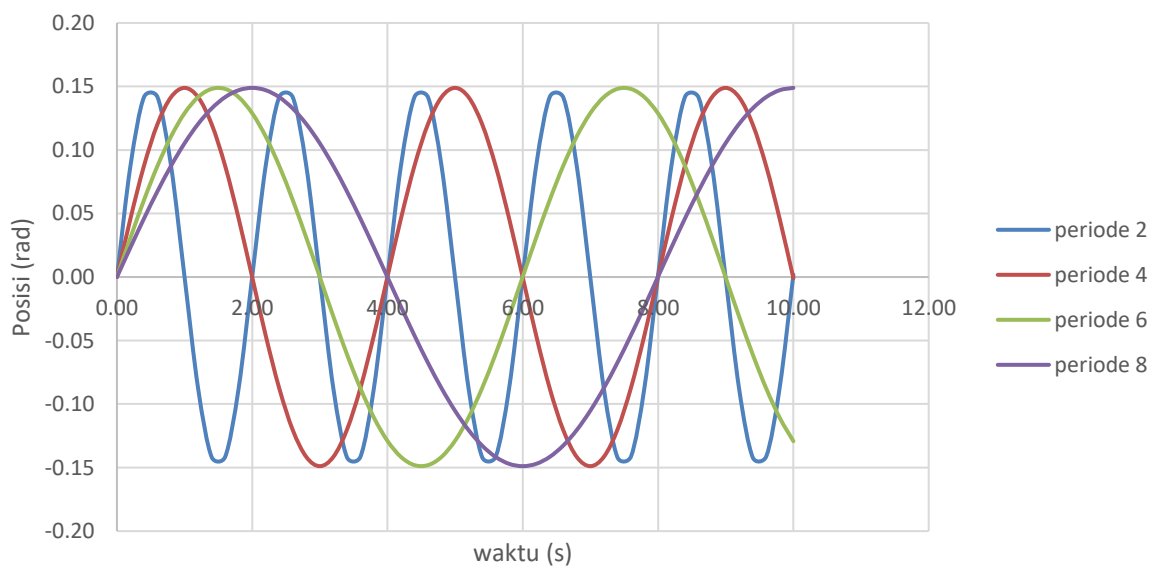
Amplitudo 3				Amplitudo 4			
periode 2	periode 4	periode 6	periode 8	periode 2	periode 4	periode 6	periode 8
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.09	0.05	0.03	0.02	0.12	0.06	0.04	0.03
0.14	0.09	0.06	0.05	0.19	0.12	0.08	0.06
0.14	0.12	0.09	0.07	0.19	0.16	0.12	0.09
0.09	0.14	0.11	0.09	0.12	0.19	0.15	0.12
0.00	0.15	0.13	0.11	0.00	0.20	0.17	0.14
-0.09	0.14	0.14	0.12	-0.12	0.19	0.19	0.16
-0.14	0.12	0.15	0.13	-0.19	0.16	0.20	0.18
-0.14	0.09	0.15	0.14	-0.19	0.12	0.20	0.19
-0.09	0.05	0.14	0.15	-0.12	0.06	0.19	0.19
0.00	0.00	0.13	0.15	0.00	0.00	0.17	0.20
0.09	-0.05	0.11	0.15	0.12	-0.06	0.15	0.19
0.14	-0.09	0.09	0.14	0.19	-0.12	0.12	0.19

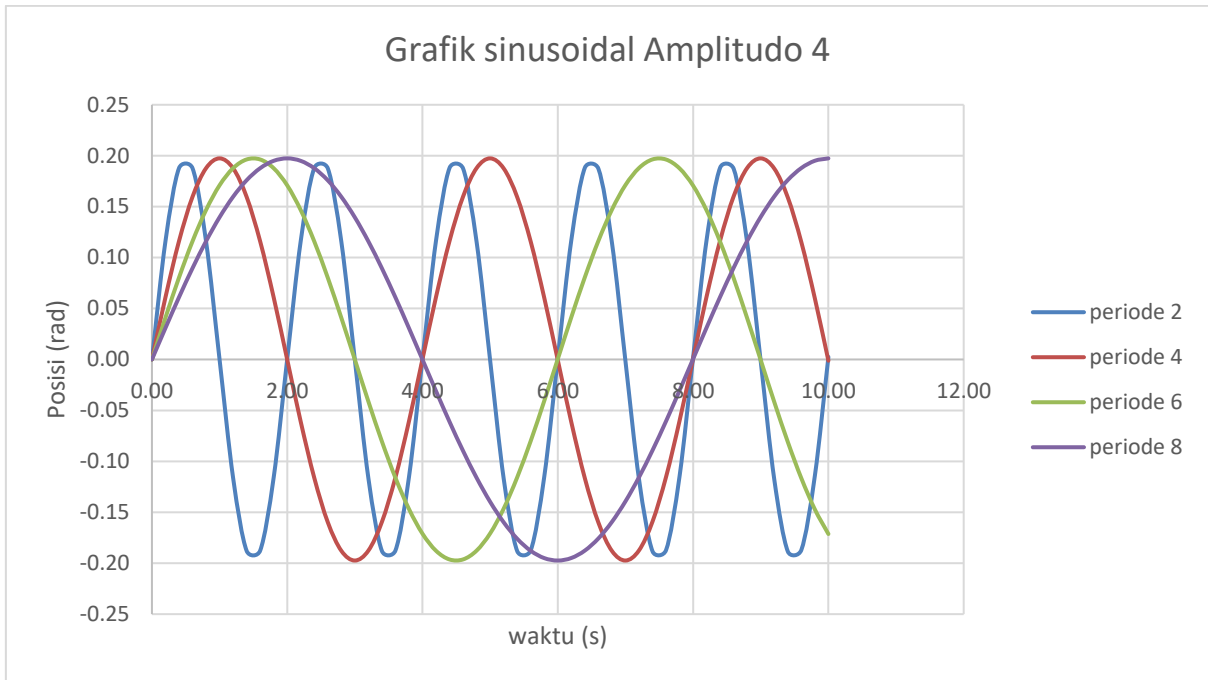
0.14	-0.12	0.06	0.13	0.19	-0.16	0.08	0.18
0.09	-0.14	0.03	0.12	0.12	-0.19	0.04	0.16
0.00	-0.15	0.00	0.11	0.00	-0.20	0.00	0.14
-0.09	-0.14	-0.03	0.09	-0.12	-0.19	-0.04	0.12
-0.14	-0.12	-0.06	0.07	-0.19	-0.16	-0.08	0.09
-0.14	-0.09	-0.09	0.05	-0.19	-0.12	-0.12	0.06
-0.09	-0.05	-0.11	0.02	-0.12	-0.06	-0.15	0.03
0.00	0.00	-0.13	0.00	0.00	0.00	-0.17	0.00
0.09	0.05	-0.14	-0.02	0.12	0.06	-0.19	-0.03
0.14	0.09	-0.15	-0.05	0.19	0.12	-0.20	-0.06
0.14	0.12	-0.15	-0.07	0.19	0.16	-0.20	-0.09
0.09	0.14	-0.14	-0.09	0.12	0.19	-0.19	-0.12
0.00	0.15	-0.13	-0.11	0.00	0.20	-0.17	-0.14
-0.09	0.14	-0.11	-0.12	-0.12	0.19	-0.15	-0.16
-0.14	0.12	-0.09	-0.13	-0.19	0.16	-0.12	-0.18
-0.14	0.09	-0.06	-0.14	-0.19	0.12	-0.08	-0.19
-0.09	0.05	-0.03	-0.15	-0.11	0.06	-0.04	-0.20
0.00	0.00	0.00	-0.15	0.00	0.00	0.00	-0.20
0.09	-0.05	0.03	-0.15	0.12	-0.06	0.04	-0.19
0.14	-0.09	0.06	-0.14	0.19	-0.12	0.08	-0.19
0.14	-0.12	0.09	-0.13	0.19	-0.16	0.12	-0.18
0.09	-0.14	0.11	-0.12	0.11	-0.19	0.15	-0.16
0.00	-0.15	0.13	-0.11	0.00	-0.20	0.17	-0.14
-0.09	-0.14	0.14	-0.09	-0.12	-0.19	0.19	-0.12
-0.14	-0.12	0.15	-0.07	-0.19	-0.16	0.20	-0.09
-0.14	-0.09	0.15	-0.05	-0.19	-0.12	0.20	-0.06
-0.09	-0.05	0.14	-0.02	-0.11	-0.06	0.19	-0.03
0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00
0.09	0.05	0.11	0.02	0.12	0.06	0.15	0.03
0.14	0.09	0.09	0.05	0.19	0.12	0.12	0.06
0.14	0.12	0.06	0.07	0.19	0.16	0.08	0.09
0.09	0.14	0.03	0.09	0.11	0.19	0.04	0.12
0.00	0.15	0.00	0.11	0.00	0.20	0.00	0.14
-0.09	0.14	-0.03	0.12	-0.12	0.19	-0.04	0.16
-0.14	0.12	-0.06	0.13	-0.19	0.16	-0.08	0.18
-0.14	0.09	-0.09	0.14	-0.19	0.12	-0.12	0.19
-0.09	0.05	-0.11	0.15	-0.11	0.06	-0.15	0.20
0.00	0.00	-0.13	0.15	0.00	0.00	-0.17	0.20

Grafik sinusoidal Amplitudo 2



Grafik sinusoidal Amplitudo 3





- Validasi $t = 1s$

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	57.51	43.77	13.74
2.00	55.37	42.29	13.08
3.00	53.21	43.45	9.76
4.00	51.51	45.22	6.29
5.00	51.51	46.18	5.33
6.00	49.72	47.02	2.70
7.00	48.64	48.54	0.10
8.00	49.28	49.82	-0.54
9.00	47.97	50.79	-2.82
10.00	47.02	50.79	-3.77
11.00	46.28	51.21	-4.93
12.00	44.68	47.71	-3.03
13.00	45.19	39.92	5.27
Rata - rata koordinat video	49.84		
Rata - rata koordinat CFD	46.67		
perbedaan	0.06		
station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	94.36	95.66	-1.30
2.00	129.48	128.54	0.94
3.00	150.11	147.65	2.46
4.00	146.52	148.90	-2.38
5.00	146.52	148.90	-2.38
6.00	146.52	148.90	-2.38
7.00	144.94	150.55	-5.61

50 1s

90 1s

8.00	144.94	152.02	-7.08
9.00	143.34	150.24	-6.90
10.00	142.00	146.11	-4.11
11.00	142.00	136.80	5.20
12.00	123.26	119.50	3.76
13.00	84.32	71.36	12.96
Rata - rata koordinat video	133.72		
Rata - rata koordinat CFD	134.24		
perbedaan	0.00		
station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00
3.00	50.17	43.82	6.35
4.00	50.55	45.82	4.73
5.00	52.33	48.21	4.12
6.00	52.33	50.44	1.89
7.00	53.73	50.44	3.29
8.00	55.20	53.19	2.01
9.00	56.71	55.08	1.63
10.00	0.00	0.00	0.00
11.00	0.00	0.00	0.00
12.00	0.00	0.00	0.00
13.00	0.00	0.00	0.00
Rata - rata koordinat video	28.54		
Rata - rata koordinat CFD	26.69		
perbedaan	0.06		

10 1s

- Validasi, $t = 2s$

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	59.17	63.53	-4.36
2.00	59.17	61.36	-2.19
3.00	56.20	54.16	2.04
4.00	52.95	50.25	2.70
5.00	52.95	50.33	2.62
6.00	50.42	50.33	0.09
7.00	50.42	50.90	-0.48
8.00	48.72	48.40	0.32
9.00	48.72	45.14	3.58
10.00	45.79	40.97	4.82
11.00	45.79	34.10	11.69
12.00	43.42	26.57	16.85
13.00	44.68	28.36	16.32

50 2s

Rata - rata koordinat video	50.65		
Rata - rata koordinat CFD	46.49		
perbedaan	0.08		
station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	94.33	93.45	0.88
2.00	127.61	128.81	-1.20
3.00	150.01	146.74	3.27
4.00	147.76	156.00	-8.24
5.00	145.48	153.51	-8.03
6.00	145.48	153.51	-8.03
7.00	145.48	151.95	-6.47
8.00	143.91	148.71	-4.80
9.00	142.08	144.45	-2.37
10.00	140.52	139.44	1.08
11.00	140.52	134.58	5.94
12.00	123.30	122.19	1.11
13.00	81.34	79.71	1.63
Rata - rata koordinat video	132.91		
Rata - rata koordinat CFD	134.85		
perbedaan	0.01		
station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00
3.00	51.32	44.09	7.23
4.00	51.32	46.22	5.10
5.00	54.52	47.55	6.97
6.00	54.52	49.82	4.70
7.00	57.62	51.75	5.87
8.00	59.21	52.97	6.24
9.00	59.21	55.19	4.02
10.00	0.00	0.00	0.00
11.00	0.00	0.00	0.00
12.00	0.00	0.00	0.00
13.00	0.00	0.00	0.00
Rata - rata koordinat video	29.82		
Rata - rata koordinat CFD	26.74		
perbedaan	0.10		

- Validasi t = 3s

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	50.28	50.14	0.14
2.00	49.07	51.34	-2.27
3.00	48.11	53.00	-4.89
4.00	48.11	53.00	-4.89
5.00	48.59	50.13	-1.54
6.00	47.79	46.06	1.73
7.00	47.42	43.20	4.22
8.00	47.42	40.24	7.18
9.00	46.56	40.24	6.32
10.00	47.33	44.94	2.39
11.00	47.33	47.90	-0.57
12.00	47.33	46.57	0.76
13.00	49.31	43.80	5.51

50 3s

Rata - rata koordinat video	48.05		
Rata - rata koordinat CFD	46.97		
perbedaan	0.02		

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	93.51	95.60	-2.09
2.00	128.31	128.74	-0.43
3.00	147.45	148.36	-0.91
4.00	146.12	153.40	-7.28
5.00	146.12	153.40	-7.28
6.00	144.31	153.40	-9.09
7.00	144.31	151.01	-6.70
8.00	144.31	151.01	-6.70
9.00	144.31	149.10	-4.79
10.00	144.31	149.10	-4.79
11.00	144.31	146.73	-2.42
12.00	122.41	126.30	-3.89
13.00	81.64	87.97	-6.33

90 3s

Rata - rata koordinat video	133.19		
Rata - rata koordinat CFD	138.01		
perbedaan	0.04		

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00
3.00	51.61	50.62	0.99
4.00	53.25	50.62	2.63

5.00	53.25	48.88	4.37	
6.00	53.25	48.88	4.37	10 3s
7.00	54.79	48.88	5.91	
8.00	54.79	48.88	5.91	
9.00	56.70	49.16	7.54	
10.00	56.10	48.88	7.22	
11.00	0.00	0.00	0.00	
12.00	0.00	0.00	0.00	
13.00	0.00	0.00	0.00	
Rata - rata koordinat video	33.36			
Rata - rata koordinat CFD	30.37			
perbedaan	0.09			

- Validasi t = 4s

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih	
1.00	42.14	30.30	11.84	
2.00	42.14	29.33	12.81	
3.00	43.50	34.05	9.45	
4.00	45.79	38.65	7.14	
5.00	45.79	41.99	3.80	
6.00	47.26	45.79	1.47	50 4s
7.00	47.26	47.54	-0.28	
8.00	47.26	50.20	-2.94	
9.00	47.26	52.12	-4.86	
10.00	49.46	54.81	-5.35	
11.00	52.34	57.09	-4.75	
12.00	53.51	59.15	-5.64	
13.00	56.39	62.24	-5.85	
Rata - rata koordinat video	47.70			
Rata - rata koordinat CFD	46.40			
perbedaan	0.03			
station	koordinat video	koordinat CFD	selisih	
1.00	91.96	94.46	-2.50	
2.00	126.45	127.33	-0.88	
3.00	142.57	138.95	3.62	
4.00	142.57	141.65	0.92	
5.00	142.57	144.24	-1.67	
6.00	142.57	146.77	-4.20	90 4s
7.00	144.79	148.78	-3.99	
8.00	142.96	153.49	-	

			10.53
			-
9.00	145.54	156.57	11.03
			-
10.00	146.56	157.90	11.34
11.00	144.46	143.91	0.55
12.00	121.99	123.15	-1.16
13.00	82.25	83.29	-1.04
Rata - rata koordinat video	132.10		
Rata - rata koordinat CFD	135.42		
perbedaan	0.03		
station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00
3.00	0.00	0.00	0.00
4.00	55.05	54.94	0.11
5.00	53.76	53.29	0.47
6.00	51.50	50.29	1.21
7.00	51.50	48.88	2.62
8.00	51.50	46.93	4.57
9.00	50.51	44.33	6.18
10.00	49.51	44.30	5.21
11.00	0.00	0.00	0.00
12.00	0.00	0.00	0.00
13.00	0.00	0.00	0.00
Rata - rata koordinat video	27.95		
Rata - rata koordinat CFD	26.38		
perbedaan	0.06		

10 4s

- Validasi t = 5s

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	40.78	38.06	2.72
2.00	40.78	41.21	-0.43
3.00	42.61	43.88	-1.27
4.00	42.61	43.88	-1.27
5.00	45.53	43.88	1.65
6.00	47.13	43.88	3.25
7.00	49.12	47.13	1.99
8.00	47.13	50.03	-2.90
9.00	49.77	50.03	-0.26

50 5s

10.00	52.10	52.89	-0.79
11.00	54.96	54.64	0.32
12.00	57.08	54.64	2.44
13.00	62.08	58.40	3.68

Rata - rata koordinat video	48.59		
Rata - rata koordinat CFD	47.89		
perbedaan	0.01		

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	95.35	94.41	0.94
2.00	127.83	128.75	-0.92
3.00	140.88	144.30	-3.42
4.00	142.56	145.92	-3.36
5.00	142.88	145.92	-3.04
6.00	143.62	148.03	-4.41
7.00	144.70	149.50	-4.80
8.00	146.09	152.25	-6.16
9.00	146.09	154.18	-8.09
10.00	148.77	158.70	-9.93
11.00	144.62	145.49	-0.87
12.00	122.65	124.62	-1.97
13.00	82.26	84.26	-2.00

90 5s

Rata - rata koordinat video	132.95		
Rata - rata koordinat CFD	136.64		
perbedaan	0.03		

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00
3.00	0.00	0.00	0.00
4.00	56.96	55.90	1.06
5.00	54.73	52.61	2.12
6.00	52.42	49.94	2.48
7.00	52.42	49.94	2.48
8.00	52.42	47.38	5.04
9.00	50.64	46.42	4.22
10.00	48.48	44.03	4.45
11.00	0.00	0.00	0.00
12.00	0.00	0.00	0.00
13.00	0.00	0.00	0.00

10 5s

Rata - rata koordinat video	28.31		
-----------------------------	-------	--	--

Rata - rata koordinat CFD	26.63
perbedaan	0.06

- Validasi t = 6 s

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	41.58	43.77	-2.19
2.00	41.58	43.77	-2.19
3.00	41.58	43.77	-2.19
4.00	42.50	43.77	-1.27
5.00	43.77	43.77	0.00
6.00	44.68	43.77	0.91
7.00	45.47	43.77	1.70
8.00	46.91	43.77	3.14
9.00	48.65	43.77	4.88
10.00	49.83	43.77	6.06
11.00	50.54	43.77	6.77
12.00	53.36	43.77	9.59
13.00	0.00	0.00	0.00

50 6s

Rata - rata koordinat video	42.34
Rata - rata koordinat CFD	40.40
perbedaan	0.05

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	85.46	82.18	3.28
2.00	117.20	114.14	3.06
3.00	127.71	128.69	-0.98
4.00	127.71	128.69	-0.98
5.00	127.71	128.69	-0.98
6.00	128.08	128.69	-0.61
7.00	129.44	129.42	0.02
8.00	130.76	130.29	0.47
9.00	131.98	130.29	1.69
10.00	127.40	119.64	7.76
11.00	104.22	92.70	11.52
12.00	0.00	0.00	0.00
13.00	0.00	0.00	0.00

90 6s

Rata - rata koordinat video	121.61
Rata - rata koordinat CFD	119.40
perbedaan	0.02

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
---------	-----------------	---------------	---------

1.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00
3.00	0.00	0.00	0.00
4.00	53.96	50.51	3.45
5.00	53.57	50.40	3.17
6.00	52.64	50.29	2.35
7.00	51.71	50.19	1.52
8.00	51.50	50.08	1.42
9.00	51.40	49.97	1.43
10.00	50.32	49.87	0.45
11.00	0.00	0.00	0.00
12.00	0.00	0.00	0.00
13.00	0.00	0.00	0.00
Rata - rata koordinat video	52.16	0.87	
Rata - rata koordinat CFD	50.19		
perbedaan	0.04		

10 6s

- Validasi $t = 7$ s

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	48.89	52.47	-3.58
2.00	47.18	49.98	-2.80
3.00	45.46	49.98	-4.52
4.00	45.46	46.72	-1.26
5.00	45.46	46.72	-1.26
6.00	45.46	45.00	0.46
7.00	45.46	43.21	2.25
8.00	44.29	40.41	3.88
9.00	44.29	40.41	3.88
10.00	44.29	40.41	3.88
11.00	44.29	36.15	8.14
12.00	44.29	34.17	10.12
13.00	0.00	0.00	0.00

50 7s

Rata - rata koordinat video	41.91		
Rata - rata koordinat CFD	40.43		
perbedaan	0.04		
station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	83.64	84.45	-0.81
2.00	117.57	116.79	0.78
3.00	135.79	134.73	1.06
4.00	130.26	138.55	-8.29
5.00	130.26	136.28	-6.02

6.00	130.26	134.09	-3.83	90 7s
7.00	128.49	131.32	-2.83	
8.00	128.49	128.82	-0.33	
9.00	125.75	126.47	-0.72	
10.00	125.75	124.96	0.79	
11.00	105.31	102.60	2.71	
12.00	0.00	0.00	0.00	
13.00	0.00	0.00	0.00	
Rata - rata koordinat video	121.96			
Rata - rata koordinat CFD	123.55			
perbedaan	0.01			
station	koordinat video	koordinat CFD	selisih	
1.00	0.00	0.00	0.00	
2.00	0.00	0.00	0.00	
3.00	48.93	46.49	2.44	
4.00	50.93	48.07	2.86	
5.00	51.47	49.25	2.22	
6.00	50.90	49.77	1.12	10 7s
7.00	51.11	50.67	0.44	
8.00	52.51	53.47	-0.96	
9.00	53.72	52.71	1.01	
10.00	0.00	0.00	0.00	
11.00	0.00	0.00	0.00	
12.00	0.00	0.00	0.00	
13.00	0.00	0.00	0.00	
Rata - rata koordinat video	51.37	0.90		
Rata - rata koordinat CFD	50.06			
perbedaan	0.03			

- Validasi $t = 8$ s

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih	
1.00	57.20	53.60	3.60	
2.00	53.90	50.44	3.46	
3.00	50.41	48.52	1.89	
4.00	48.97	46.73	2.24	
5.00	46.37	46.73	-0.36	
6.00	44.07	42.84	1.23	50 8s
7.00	41.77	42.84	-1.07	
8.00	40.13	40.89	-0.76	
9.00	38.54	40.89	-2.35	
10.00	36.47	38.08	-1.61	

11.00	34.72	35.43	-0.71
12.00	33.63	35.43	-1.80
13.00	0.00	0.00	0.00

Rata - rata koordinat video	40.48
Rata - rata koordinat CFD	40.19
perbedaan	0.01

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	84.39	83.46	0.93
2.00	116.17	116.41	-0.24
3.00	134.60	133.74	0.86
4.00	131.22	135.37	-4.15
5.00	129.10	133.63	-4.53
6.00	129.10	132.61	-3.51
7.00	127.46	130.25	-2.79
8.00	127.00	128.06	-1.06
9.00	125.03	126.79	-1.76
10.00	123.14	124.37	-1.23
11.00	104.45	99.94	4.51
12.00	0.00	0.00	0.00
13.00	0.00	0.00	0.00

90 8s

Rata - rata koordinat video	121.06
Rata - rata koordinat CFD	122.24
perbedaan	0.01

station	koordinat video	koordinat CFD	selisih
1.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00
3.00	48.83	45.41	3.42
4.00	50.83	47.33	3.50
5.00	52.21	49.11	3.10
6.00	52.47	50.67	1.80
7.00	52.84	51.98	0.86
8.00	54.88	53.02	1.86
9.00	56.51	54.61	1.90
10.00	0.00	0.00	0.00
11.00	0.00	0.00	0.00
12.00	0.00	0.00	0.00
13.00	0.00	0.00	0.00

10 8s

Rata - rata koordinat video	52.65	0.90
Rata - rata koordinat CFD	50.30	

perbedaan	0.04
-----------	------

- RMSE

waktu	Rata-rata koordinat video	Rata-rata koordinat CFD	Persentase selisih	RMS E
3.00	48.05	46.97	2.26	2.10
4.00	47.70	46.97	2.72	
5.00	48.59	47.89	1.45	
6.00	42.34	40.40	4.58	
7.00	41.91	40.43	3.52	
8.00	40.48	40.19	0.71	

FL
50

waktu	Rata-rata koordinat video	Rata-rata koordinat CFD	Persentase selisih	RMS E
3.00	133.19	138.01	3.62	1.74
4.00	132.10	138.01	2.52	
5.00	132.95	136.64	2.78	
6.00	121.61	119.40	1.81	
7.00	121.96	123.55	1.30	
8.00	121.06	122.24	0.97	

FL
90

waktu	Rata-rata koordinat video	Rata-rata koordinat CFD	Persentase selisih	RMS E
3.00	54.22	49.35	8.98	4.13
4.00	51.90	49.35	5.61	
5.00	52.58	49.46	5.94	
6.00	52.16	50.19	3.77	
7.00	51.37	50.06	2.54	
8.00	52.65	50.30	4.46	

FL
10

<i>filling level</i> (%)	RMSE (%)
10	4.13
50	2.10
90	1.74

- Analisa hasil CFD
 - Rata – rata nilai pressure

letak tinjauan	filling level	statis pressure			dynamic pressure		
		tanpa baffle	baffle bawah	baffle atas	tanpa baffle	baffle bawah	baffle atas
left wall 8	10.00	110.22	109.77	110.30	0.05	0.02	0.05
	50.00	644.93	645.60	644.79	0.05	0.02	0.05
	90.00	1180.18	1180.73	1176.83	0.09	0.02	0.06
longitudinal bulkhead	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	50.00	66.62	66.49	66.47	0.03	0.02	0.03
	90.00	544.28	544.53	541.97	0.09	0.05	0.05
tangki wall	10.00	26.91	25.37	27.31	0.02	0.01	0.02
	50.00	301.91	297.84	306.00	0.03	0.02	0.03
	90.00	700.39	694.46	705.41	0.06	0.03	0.06

- Maksimum nilai pressure

letak tinjauan	filling level	statis pressure			dynamic pressure		
		tanpa baffle	baffle bawah	baffle atas	tanpa baffle	baffle bawah	baffle atas
left wall 8	10.00	112.18	110.70	112.26	0.20	0.05	0.21
	50.00	660.14	652.36	660.04	0.18	0.04	0.18
	90.00	1223.28	1213.25	1228.41	0.37	0.03	0.23
longitudinal bulkhead	10.00	0.04	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00
	50.00	110.98	107.71	110.26	0.09	0.06	0.09
	90.00	622.78	628.84	592.29	0.32	0.15	0.16
tangki wall	10.00	26.95	25.44	27.35	0.06	0.02	0.06
	50.00	315.49	307.53	319.95	0.10	0.04	0.10
	90.00	755.78	741.69	775.17	0.20	0.07	0.18

- Perubahan nilai tekanan dalam pressure statis

rata- rata Pressure Statis			
letak tinjauan	Filling level	selisih (%)	
		Baffle bawah	baffle atas
left wall 8	10.00	0.41	-0.07
	50.00	-0.10	0.02
	90.00	-0.05	0.28
longitudinal bulkhead	50.00	0.19	0.23
	90.00	-0.05	0.42
tangki wall	10.00	5.73	-1.48
	50.00	1.35	-1.35

	90.00	0.85	-0.72
--	-------	------	-------

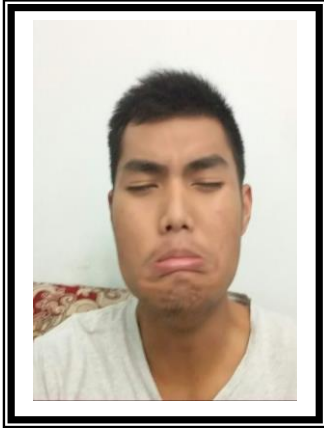
maximum Pressure Statis			
letak tinjauan	Filling level	selisih (%)	
		Baffle bawah	baffle atas
left wall 8	10.00	1.33	-0.07
	50.00	1.18	0.02
	90.00	0.82	-0.42
longitudinal bulkhead	50.00	2.95	0.65
	90.00	-0.97	4.90
tangki wall	10.00	5.60	-1.47
	50.00	2.52	-1.41
	90.00	1.86	-2.56

➤ Perubahan nilai tekanan dalam pressure dinamis

maximum Dinamis			
letak tinjauan	Filling level	selisih (%)	
		Baffle bawah	baffle atas
left wall 8	10.00	75.53	-3.12
	50.00	77.28	-0.77
	90.00	91.31	37.84
longitudinal bulkhead	50.00	-28.97	13.46
	90.00	32.45	1.30
tangki wall	10.00	54.28	51.65
	50.00	69.39	-5.34
	90.00	56.96	-2.34

Rata - rata Dinamis			
letak tinjauan	Filling level	selisih (%)	
		Baffle bawah	baffle atas
left wall 8	10.00	63.55	-0.07
	50.00	63.00	0.02
	90.00	82.80	0.28
longitudinal bulkhead	50.00	0.93	149.23
	90.00	24.48	0.23
tangki wall	10.00	39.55	0.42
	50.00	61.22	-1.48
	90.00	39.43	-1.35

BIODATA PENULIS



Aditya Prakosa Wibawa, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Blitar pada 16 Februari 1997 silam, Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Yaa Bunayya, kemudian melanjutkan ke SDN Kepanjen Lor 2, SMPN 1 Blitar dan SMAN 1 Blitar. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Kemahasiswaan BEM FTK ITS 2016/2017 serta Kepala Departemen Kemahasiswaan 2017/2018. Selan itu, Penulis juga pernah menjadi *staff* LDJ As-Safiinah dan UKM Badminton.

Email: adityawibawa11@gmail.com