ANALISA STABILITAS KAPAL AKIBAT PENATALETAKAN KOMPONEN KOMPONEN PERMESINAN PADA KAPAL HARBORTUG 2X2500 HP DUAL FUEL DIESEL ENGINE

SHAFWAN DZAKWAN
NRP. 04211940005007

PEMBIMBING:
Prof. Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah., M.Eng., Ph.D
Dr. Achmad Baidowi, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

SHIP STABILITY ANALYSIS DUE TO LAYING OF ENGINE COMPONENTS ON HARBORTUG SHIP 2X2500 HP DUAL FUEL DIESEL ENGINE

SHAFWAN DZAKWAN
NRP. 04211940005007

SUPERVISORS:
Prof. Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah., M.Eng., Ph.D
Dr. Achmad Baidowi, ST., MT.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

"Dengan ini kami menyatakan bahwa kami telah membaca Tugas Akhir ini dan dalam penilaian kami Tugas Akhir ini cukup memadai dari segi ruang lingkup dan kualitas untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik."

Tanda Tangan : .....
Pembimbing I : PROF. IR. AGUK ZUHDI M. FATHALLAH, M.ENG., PH.D.
NIP./NPP. 195605191986101001
Tanggal : 25 AGUSTUS 2021

Tanda Tangan : .....
Pembimbing II : DR. AHMAD BAIDOWI, S.T., M.T.
NIP./NPP. 1980201971033
Tanggal : 25 AGUSTUS 2021

Disahkan oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:

Tanda Tangan : .....
Nama : BENY CAHYONO, ST., MT., PH.D
NIP./NPP. 197903192008011008
Tanggal : 25 AGUSTUS 2021

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA STABILITAS KAPAL AKIBAT PENATALETAKAN KOMPONEN KOMPONEN PERMESINAN PADA KAPAL HARBORTUG 2X2500 HP DUAL FUEL DIESEL ENGINE

SHAFWAN DZAKWAN

Tugas Akhir diajukan untuk memenuhi
salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik
Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
27 Agustus 2021

Halaman ini sengaja dikosongkan

“Saya menyatakan bahwa Tugas Akhir berjudul Analisa Stabilitas Kapal Akibat Penataletakan Komponen Komponen Permesinan Pada Kapal Harbortug 2x2500 HP” ini adalah hasil penelitian saya sendiri kecuali kutipan yang tercantum dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini belum diterima untuk gelar apapun dan tidak secara bersamaan diserahkan untuk pencalonan gelar lainnya.”

Tanda Tangan : ……..……
Nama : SHAFWAN DZAKWAN
NRP. : 04211940005007
Tanggal : 13 Agustus 2021

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan penelitian yang berjudul : "ANALISA STABILITAS KAPAL AKIBAT PENATALETAKAN KOMPONEN KOMPONEN PERMESINAN PADA KAPAL HARBORTUG 2X2500 HP DUAL FUEL DIESEL ENGINE" dapat diselesaikan dengan baik.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan penelitian ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT dan Rasulullah SAW yang telah memberikan ilmu, kesabaran, ketenangan, dan petunjuk dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Keluarga yang selalu mendoakan yang terbaik serta memberikan semangat dan dukungan dalam bentuk apapun.
3. Bapak Prof. Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah., M.Eng., Ph.D dan Bapak Dr. Ahmad Baidowi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan penelitian ini.
4. Bapak Beny Cahyono S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS
5. Ibu Dr. Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Koordinator Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS
6. Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
7. Teman-teman Siskal atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
8. Serta semua pihak yang belum tertulis yang telah berperan dalam pengerjaan laporan ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan penelitian ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa.

Surabaya, 13 Agustus 2021

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

Seiring berjalannya teknologi, kapal menggunakan gas alam cair (LNG) sebagai bahan bakar mesin kapal yang bertujuan untuk effisiensi kapal. Oleh karena itu, dalam penelitian ini berfokus pada analisa stabilitas terhadap kapal harbortug dikawasan pelabuhan. Dalam penelitian ini dilakukan analisa stabilitas pada kapal dengan variasi metode fixed trim dan free trim. Dilakukan analisa dengan sistem dual fuel engine serta tanpa sistem dual fuel engine. Proses analisa diawali dengan menggambar model kapal, kemudian menghitung kembali berat kapal. Setelah itu dilakukan analisa stabilitas akibat pengurangan komponen permesinan sesuai dengan aturan IMO code on Intact Stability A.749 18). Hasil analisa stabilitas setelah pengurangan komponen maka pada saat kondisi 1 diperoleh nilai GM = 2,351 meter menjadi GM = 2,181 meter dan stabilitasnya memenuhi criteria. Pada kondisi 2 diperoleh nilai GM = 1,965 meter menjadi GM = 2,009 meter dan stabilitasnya memenuhi criteria. Pada kondisi 3 diperoleh nilai GM = 2,054 meter menjadi GM = 2,134 meter dan stabilitasnya memenuhi criteria. Pada kondisi 4 diperoleh nilai GM = 2,286 meter menjadi GM = 2,296 meter dan stabilitasnya memenuhi criteria. Setelah dilakukan analisa, metode fixed trim memiliki nilai draft AP dan FP yang sama sedangkan free trim to loadcase memiliki nilai draft AP dan FP yang berbeda. Selain itu analisa free trim memiliki nilai GZ lebih tinggi dibandingkan fixed trim.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

As technology progresses, ships use liquefied natural gas (LNG) as fuel for ship engines aimed at ship efficiency. Therefore, this study focuses on stability analysis of harbor tug ships in the port area. In this study, stability analysis was carried out on the ship with variations of the fixed trim and free trim methods. Analyzed with dual fuel engine system and without dual fuel engine system. The analysis process begins with drawing a ship model, then recalculates the weight of the ship. After that, a stability analysis was carried out due to the reduction of machining components in accordance with the IMO code on Intact Stability A.749 18 rules. The results of the stability analysis after reducing the components, when condition 1 is obtained, the value of GM = 2,351 meters becomes GM = 2.181 meters and the stability meets the criteria. In condition 2, the value of GM = 1.965 meters becomes GM = 2.009 meters and the stability meets the criteria. In condition 3, the value of GM = 2.054 meters becomes GM = 2.134 meters and the stability meets the criteria. In condition 4, the value of GM = 2,286 meters becomes GM = 2,296 meters and the stability meets the criteria. After analysis, the fixed trim method has the same AP and FP draft values, while the free trim to loadcase has different AP and FP draft values. In addition, the free trim analysis has a higher GZ value than the fixed trim.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR v
ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR SINGKATAN xvii
DAFTAR SIMBOL xix
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Penelitian 1
1.2 Pernyataan Masalah 1
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 2
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA 3
2.1 Pendahuluan 3
2.2 Studi Terkait 3
2.3 Jenis-jenis Kapal TugBoat 4
2.4 Stabilitas Kapal 4
2.4.1 Titik Berat Kapal (*G*) 5
2.4.2 Titik Tekan = Titik Apung (*B*) 6
2.4.3 Titik Metasentrum (M) 6
2.4.4 Macam – Macam Keadaan Stabilitas 7
2.4.5 Dimensi Pokok dalam Stabilitas Kapal 9
2.4.6 Momen Penegak 11
2.4.7 Perhitungan GZ 12
2.4.8 Periode Oleng 13
2.5 Persyaratan Stabilitas Kapal Menurut IMO 14
2.6 Software yang digunakan 15
2.6.1 AutoCAD 15
2.6.2 Maxsurf 15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 17
3.1 Pendahuluan 17
3.2 Diagram Alir Penelitian 18
3.3 Identifikasi Masalah dan Perumusan Masalah 19
3.4 Studi Literatur 19
3.5 Pengumpulan Data 19
3.6 Menggambar Model 19
3.7 Penataletakan Engine & Perhitungan Stabilitas Kapal 20
3.8 Analisa Stabilitas Kapal 20

3.9 Kesimpulan dan Saran 20
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 21
4.1 Pendahuluan 21
4.2 Ukuran Utama Kapal 21
4.3 Permodelan Kapal 22
4.4 Komponen Permesinan yang Dihilangkan 22
4.5 Analisa Stabilitas 23
4.6 Hasil Perhitungan Stabilitas dengan Sistem Dual Fuel pada Kondisi 1 24
4.7 Hasil Perhitungan Stabilitas dengan Sistem Dual Fuel pada Kondisi 2 27
4.8 Hasil Perhitungan Stabilitas dengan Sistem Dual Fuel pada Kondisi 3 30
4.9 Hasil Perhitungan Stabilitas dengan Sistem Dual Fuel pada Kondisi 4 33
4.10 Hasil Perhitungan Stabilitas tanpa Sistem Dual Fuel pada Kondisi 1 36
4.11 Hasil Perhitungan Stabilitas tanpa Sistem Dual Fuel pada Kondisi 2 39
4.12 Hasil Perhitungan Stabilitas tanpa Sistem Dual Fuel pada Kondisi 3 42
4.13 Hasil Perhitungan Stabilitas tanpa Sistem Dual Fuel pada Kondisi 4 45
BAB 5 KESIMPULAN 49
5.1 Kesimpulan 49
5.2 Saran 49
DAFTAR PUSTAKA 51

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Ukuran Utama Kapal.....21
Tabel 4.2 Komponen Permesinan yang Dihilangkan.....22
Tabel 4.3 Penaletakkan komponen permesinan 23
Tabel 4.4 Penaletakan komponen permesinan sistem dual fuel kondisi 1 24
Tabel 4.5 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - free trim pada kondisi 1.....25
Tabel 4.6 Hasil analisa stabilitas dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 1 25
Tabel 4.7 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - fixed trim pada kondisi 1.....26
Tabel 4.8 Hasil analisa stabilitas dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 1 26
Tabel 4.9 Penaletakan komponen permesinan sistem dual fuel kondisi 2 27
Tabel 4.10 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - free trim pada kondisi 2.....28
Tabel 4.11 Hasil analisa stabilitas dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 2 28
Tabel 4.12 Tabel Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - fixed trim pada kondisi 2.....29
Tabel 4.13 Hasil analisa stabilitas dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 2 ...29
Tabel 4.14 Penaletakan komponen permesinan sistem dual fuel kondisi 3 30
Tabel 4.15 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - free trim pada kondisi 3.....31
Tabel 4.16 Hasil analisa stabilitas dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 3 31
Tabel 4.17 Hasil Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - fixed trim pada kondisi 3 32
Tabel 4.18 Hasil analisa stabilitas dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 3 32
Tabel 4.19 Penaletakan komponen permesinan sistem dual fuel kondisi 4 33
Tabel 4.20 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - free trim pada kondisi 4.....34
Tabel 4.21 Hasil analisa stabilitas dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 4 34
Tabel 4.22 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - fixed trim pada kondisi 4.....35
Tabel 4.23 Hasil analisa stabilitas dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 4 36
Tabel 4.24 Penaletakan komponen permesinan tanpa sistem dual fuel kondisi 1.....36
Tabel 4.25 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - free trim pada kondisi 1 37
Tabel 4.26 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 1.....37
Tabel 4.27 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim pada kondisi 1 38
Tabel 4.28 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 1...38
Tabel 4.29 Penaletakan komponen permesinan tanpa sistem dual fuel kondisi 2.....39
Tabel 4.30 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - free trim pada kondisi 2 40
Tabel 4.31 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 2.....40
Tabel 4.32 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim pada kondisi 2 41
Tabel 4.33 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 2...41
Tabel 4.34 Penaletakkan komponen permesinan tanpa sistem dual fuel kondisi 3.....42
Tabel 4.35 Hasil perhitungan stabilitas dengan fixed trim pada kondisi 3.....43
Tabel 4.36 Hasil perhitungan stabilitas dengan fixed trim pada kondisi 3.....43
Tabel 4.37 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim pada kondisi 3 44
Tabel 4.38 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 3...44
Tabel 4.39 Penaletakan komponen permesinan tanpa sistem dual fuel kondisi 4.....45
Tabel 4.40 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - free trim pada kondisi 4 46

Tabel 4.41 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 4 46
Tabel 4.42 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim pada kondisi 4 47
Tabel 4.43 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 4 ...47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kedudukan titik G,B,M, sebuah kapal (Rawson dkk., 2001) 7
Gambar 2.2 Keseimbangan Stabil (Rawson dkk., 2001).....8
Gambar 2.3 Keseimbangan Netral (Rawson dkk., 2001).....8
Gambar 2.4 Keseimbangan Tidak Stabil (Rawson dkk., 2001) 9
Gambar 2.5 Perhitungan KB untuk Tipe Flat Bottom (Bryan dkk., 2006) 9
Gambar 2.6 Perhitungan KB untuk Tipe V Bottom (Bryan dkk., 2006).....10
Gambar 2.7 Perhitungan KB untuk Tipe U Bottom (Bryan dkk., 2006).....10
Gambar 2.8 kurva stabilitas statis (Scheltema, 1970) 13
Gambar 3.1 Diagram Alir.....18
Gambar 4.1 Permodelan menggunakan software Maxsurft Modeller.....22
Gambar 4.2 Grafik stabilitas dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 1 24
Gambar 4.3 Grafik stabilitas dual fuel - fixed trim to loadcase pada kondisi 1 26
Gambar 4.4 Grafik stabilitas dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 2 27
Gambar 4.5 Grafik stabilitas dual fuel – fixed trim pada kondisi 2 29
Gambar 4.6 Grafik stabilitas dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 3 30
Gambar 4.7 Grafik stabilitas dual fuel - fixed trim to loadcase pada kondisi 3 32
Gambar 4.8 Grafik stabilitas dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 4 34
Gambar 4.9 Grafik stabilitas dual fuel – fixed trim pada kondisi 4 35
Gambar 4.10 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 1....37
Gambar 4.11 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim to loadcase pada kondisi 1..38
Gambar 4.12 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 2....39
Gambar 4.13 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim pada kondisi 2 41
Gambar 4.14 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 3....42
Gambar 4.15 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 3....44
Gambar 4.16 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 4....45
Gambar 4.17 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 4....47

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SINGKATAN

KM	:	Keel to Metacentre
KB	:	Keel to Bouyancy
BM	:	Bouyancy to Metacentre
KG	:	Keel to Gravity
GM	:	Gravity to Metacentre
IMO	:	International Maritime Organization
VCG	:	Vertical Centre of Gravity

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

T	-	Periode Oleng
g	-	Percepatan gravitasi
G	-	Titik Berat Kapal
B	-	Titik Tekan
M	-	Titik Metasentrum
KB or VCB	-	Jarak vertikal titik bouyancy terhadap dasar kapal (m)
KG or VCG	-	Jarak vertikal titik gravity terhadap dasar kapal (m)
LCG	-	Longitudinal center of gravity (m)
LCB	-	Longitudinal center of buoyancy (m)
LCF	-	Longitudinal centet of floatation (m)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Harbortug merupakan jenis kapal tug boat yang daerah kerjanya berada di pelabuhan (Damanik dkk., 2016). Kapal kapal besar biasanya tidak cukup bagus untuk bermanuver di pelabuhan yang ramai dengan kapal kapal lain. Oleh sebab itu jenis kapal ini biasanya digunakan untuk menarik dan mendorong kapal, memandu atau melayani kapal untuk merapat ke dermaga.

Kapal sebagai salah satu alat transportasi penumpang maupun barang terdapat terjadinya resiko kecelakaan kapal (Saputra dan Herman, 2012). Kecelakaan pada kapal yang terjadi di pelabuhan seperti tenggelamnya kapal, tabrakan antar kapal serta kebakaran pada kapal. Kecelakaan pada kapal juga dapat terjadi dikarenakan tidak sesuai dengan standart International Maritime Organization (IMO) yang telah ditentukan.

Keselamatan adalah faktor penting bagi setiap alat transportasi, tidak terkecuali kapal harbortug. Salah satu faktor tenggelamnya kapal adalah buruknya keseimbangkan kapal. Penataletakan permesinan yang buruk dapat menyebabkan ketidakstabilan sehingga kapal dapat terbalik dan tenggelam (Saputra dan Herman, 2012).

Dengan menggunakan sistem dual fuel pada kapal maka terjadinya perubahan pada berat, titik berat kapal. Penambahan berat tersebut pastinya akan berdampak pada stabilitas kapal. Oleh sebab itu dilakukannya analisa pada stabilitas kapal dengan menggunakan sistem dual fuel diesel engine.

1.2 Pernyataan Masalah

Pada pengerjaan tugas akhir ini tentang stabilitas kapal dapat ditarik rumusan berdasarkan latar belakang sebagai berikut:

1. Berapakah berat dan letak titik berat pada kapal harbortug dengan dan tanpa sistem dual fuel diesel engine?
2. Bagaimana stabilitas kapal Harbortug 2x2500 HP dengan sistem Dual Fuel Diesel Engine dan tanpa sistem Dual Fuel Diesel Engine?
3. Perbedaan stabilitas kapal Harbortug 2x2500 HP dengan metode Fixed Trim dan Free Trim to Loadcase?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui berat dan titik berat kapal Harbortug 2x2500 HP
2. Untuk mengetahui berat dan stabilitas kapal Harbortug 2x2500 HP dengan sistem Dual Fuel Diesel Engine dan tanpa sistem Dual Fuel Diesel Engine
3. Untuk mengetahui perbedaan stabilitas kapal Harbortug 2x2500 HP dengan metode Fixed Trim dan Free Trim to Loadcase

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk memfokukan penelitian, penulis akan membatasi permasalahan yang akan di teliti, adapun batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Analisa dilakukan pada kapal Harbortug 2 x 2500 HP dengan sistem dual fuel diesel engine
2. Hanya melakukan analisa stabilitas kapal dengan menggunakan metode fixed trim dan free trim to loadcase
3. Analisa stabilitas menggunakan standar IMO Resolution A.749

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian stabilitas kapal harbortug diharapkan mempunyai manfaat sebagai berikut :

1. Bermanfaat bagi penulis untuk memperluas wawasan ilmu pengetahuan dan pengaplikasian pelajaran selama proses perkuliahan.
2. Bermanfaat bagi pembaca sebagai referensi dalam pengambangan pendidikan dan wawasan mengenai stabilitas kapal.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Kapal-kapal berukuran besar tidak cukup bagus untuk bermanuver di pelabuhan yang ramai dengan kapal-kapal lain (Saputra dan Herman, 2012). Karena tidak cukup bagus untuk bermanuver di pelabuhan dibutuhkannya kapal harbortug untuk melayani dengan cara mendorong atau menarik kapal-kapal sampai bersandar di pelabuhan. Untuk menarik sebuah kapal dibutuhkannya stabilitas pada kapal tersebut agar tidak oleng ataupun terjadi ketidakseimbangan kapal.

Pada bab ini disajikan rangkuman isi materi dari teori dasar yang berguna untuk mendukung penelitian ini. Hasil rangkuman isi materi tersebut didapatkan dari proses studi literature dari berbagai macam sumber-sumber seperti buku diktat, paper, jurnal, serta penelitian terdahulu. Teori dasar yang didapatkan dari hasil rangkuman tersebut seperti teori stabilitas pada kapal, titik berat pada kapal, titik tekan atau titik apung pada kapal, serta titik metasentrum pada kapal. Selain itu juga terdapat perhitungan titik berat kapal serta persyaratan stabilitas pada kapal.

2.2 Studi Terkait

Studi mengenai analisa stabilitas dengan menggunakan metode intact stability dan damage stability pernah dilakukan oleh (Chrismianto, 2019). Perhitungan stabilitas berdasarkan acuan dari IS CODE 2008 serta SOLAS 2009 chapter II-1 Resolution MSC.281 (85) (based on the probabilistic concept) yang merupakan regulasi yang dijadikan sebagai petunjuk dalam menetapkan standar stabilitas kapal (intact and damage stability). Hasil dari menelitian tersebut memenuhi kriteria IS CODE 2008 resolution MSC.267(85) dengan nilai GZ maksimal sebesar 1,503 m pada sudut 34,5^{o} yang mana masih dalam jangkauan standar.

Selain itu terdapat juga terdapat perhitungan stabilitas kapal dengan menggunakan standar IMO (International Maritim Organization) yang dilakukan oleh (Kiryanto, 2015). Dalam penelitian tersebut menganalisa stabilitas kapal, olah gerak kapal, serta manuvering pada kapal. Metode dalam menghitung stabilitas kapal tersebut menggunakan 7 kondisi yang mempresentasikan load condition pada saat kapal beroperasi diperairan. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah gaya dinamis yang bekerja pada kapal dan stabilitas pada kapal. Menurut standar IMO A. 749(18)Ch3. Kriteria daerah bawah GZ yang

dihasilkan di penelitian tersebut masih memenuhi standar dengan sudut 0° – 30°.

Terakhir, (Herlambang dkk., 2013) mencoba penelitian perbandingan stabilitas pada operasi towing CPO barge dengan metode single land pendant dan flounder plate dengan variasi kondisi muatan penuh, setengah, dan kosong dengan acuan standar IMO A.749, Intact Stability for All Types of Ships Covered. Penelitian tersebut menghitung berat dan stabilitas kapal seperti GZ dan GM dengan variasi kondisi muatan. Dari hasil penelitian tersebut dilihat bahwa momen pengembali yang dibutuhkan dengan menggunakan flounder plate lebih kecil yang menandakan lebih stabil dibandingkan dengan menggunakan single lead pendant.

2.3 Jenis-jenis Kapal TugBoat

Kapal tunda (tugboat) adalah jenis kapal pemandu yang biasa digunakan untuk menarik dan mendorong kapal besar dipelabuhan, memandu kapal besar dijalur yang berbahaya, memperbaiki kapal dilaut, melakukan penyelamatan pada air seperti memadamkan api (Damanik dkk., 2016)..

Selain itu Tugboat adalah kapal yang fungsinya menarik atau mendorong kapal-kapal lainnya. Dibedakan atas beberapa jenis anttara lain kapal tunda Samudra, kapal tunda pelabuhan, dan lain-lain. Medan yang dilalui Tugboat biasanya cukup menyulitkan seperti sungai kecil yang berliku dan laut yang dangkal berkarang hingga laut luas antar pulau besar, sehingga Tugboat harus melakukan maneuver yang baik. Berdasarkan tempat dankinerja Tugboat terdapat 3 jenis TugBoat:

1. Seagoing Tug

   Fungsi dan peran TugBoat ini untuk pelayaran bebas yaitu menarik atau mendorong kapal yang tidak memiliki alat penggerak sendiri.

2. Escort Tug

   TugBoat ini digunakan untuk mengawal kapal besar disepanjang bagian berbahaya.

3. Harbour Tug

   Harbour Tug digunakan di pelabuhan perairan dalam dan daerah pesisir.

2.4 Stabilitas Kapal

Stabilitas merupakan karakteristik suatu kapal, yaitu kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula pada saat kapal tersebut miring yang disebabkan oleh dorongan gaya yang mempengaruhinya. Stabilitas memiliki peran yang penting

demi keselamatan kapal saat beroperasi. Faktor yang mempengaruhi posisi keseimbangan kapal diantaranya adalah faktor dari dalam maupun dari luar. Faktor dari dalam berasal dari bentuk lambung kapal itu sendiri, tata letak muatan kapal dan distribusi beban pada kapal tersebut. Sedangkan faktor dari luar berasal dari angin, ombak laut, dan badai.

Ditinjau dari sifatnya, stabilitas dibedakan menjadi dua jenis yaitu stabilitas statis dan stabilitas dinamis (Saputra dan Herman, 2012). Stabilitas statis diperuntukkan bagi kapal dalam keadaan diam dan terdiri dari stabilitas melintang dan membujur. Stabilitas melintang adalah kemampuan kapal untuk tegak sewaktu mengalami kemiringan dalam arah melintang yang disebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya, sedangkan stabilitas membujur adalah kemampuan kapal untuk kembali ke kondisi semula setelah mengalami kemiringan secara membujur oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya. Stabilitas melintang kapal dapat dibagi menjadi sudut kecil (0° - 15°) dan sudut besar (>15°). Akan tetapi untuk perhitungan stabilitas awal pada umumnya diperhitungkan hanya untuk kemiringan.

2.4.1 Titik Berat Kapal (*G*)

1. Definisi
   Titik berat kapal adalah sebuah titik di kapal yang merupakan titik tangkap dari Resultante semua gaya berat yang bekerja di kapal itu, dan dipengaruhi oleh konstruksi kapal (Edward dkk., 2002).

2. Arah Bekerjanya
   Arah bekerjanya gaya tekan adalah tegak lurus kebawah

3. Letak / kedudukan titik tekan/titik apung
   Titik berat kapal dari suatu kapal yang tegak terletak pada bidang simetris kapal yaitu bidang yang dibuat melalui linggi depan linggi belakang dan lunas kapal.

4. Sifat dari letak / kedudukan titik berat kapal
   Letak / kedudukan titik berat kapal suatu kapal akan tetap bila tidak terdapat penambahan, pengurangan, atau penggeseran bobot diatas kapal dan akan berpindah tempatnya bila terdapat penambahan, pengurangan atau penggeseran bobot dikapal itu :
   - Bila ada penambahan bobot, maka titik berat kapal akan berpindah kearah / searah dan sejajar dengan titik berat bobot yang dimuat.

- Bila ada pengurangan bobot, maka titik berat kapal akan berpindah kearah yang berlawanan dan titik berat bobot yang dibongkar.
- Bila ada penggeseran bobot, maka titik berat sebuah kapal akan berpindah searah dan sejajar dengan titik berat dari bobot yang digeserkan.

2.4.2 Titik Tekan = Titik Apung (*B*)

1. Definisi Titik tekan = Titik apung = Centre of buoyency sebuah titik di kapal yang merupakan titik tangkap Resultantesemua gaya tekanan keatas air yang bekerja padabagian kapal yang terbenam didalam air (Edward dkk., 2002).

2. Arah bekerjanya Arah bekerjanya gaya tekan adalah tegak lurus keatas

3. Letak / kedudukan titik tekan/titik apung Kedudukan titik tekan sebuah kapal senantiasa berpindah pindah searah dengan menyengetnya kapal, maksudnya bahwa kedudukan titik tekan itu akan berpindah kearah kanan apabila kapal menyenget kekanan dan akan berpindah ke kiri apabila kapal menyenget ke kiri, sebab titik berat bagian kapal yang terbenam berpindah-pindah sesuai dengan arah sengetnya kapal. Jadi dengan berpindah-pindahnya kedudukan titik tekan sebuah kapal sebagai akibat menyengetnya kapal tersebut akan membawa akibat berubah-ubahnya stabilitas kapal tersebut.

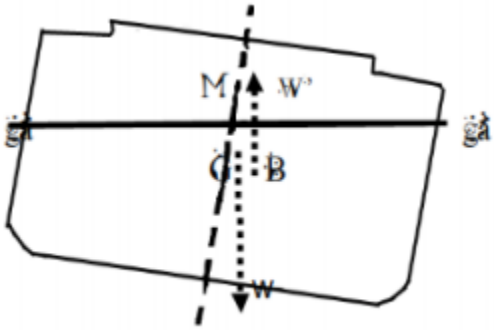
2.4.3 Titik Metasentrum (M)

1. Definisi Titik Metasentrum sebuah kapal adalah sebuah titik dikapal yang merupakan titik putus yang busur ayunannya adalah lintasan yang dilalui oleh titik tekan kapal (Edward dkk., 2002).

2. Letak / kedudukan titik Metasentrum kapal Titik Metasentrum sebuah kapal dengan sudut-sudutsenget kecil terletak pada perpotongan garis sumbudan arah garis gaya tekan keatas sewaktu kapal menyenget

3. Sifat dari letak / kedudukan titik metasentrum Untuk sudut-sudut senget kecil kedudukan Metasentrum dianggap tetap, sekalipun sebenarnya kedudukan titikitu berubah-ubah sesuai dengan arah dan besarnyasudut senget. Oleh karena perubahan letak yang sangat kecil, maka dianggap tetap. Dengan berpindahnya kedudukan titik tekan sebuah kapal sebagai akibat menyengetnya kapal tersebut

akan membawa akibat berubah-ubahnya kemampuan kapal untuk menegak kembali. Besar kecilnya kemampuan suatu kapal untuk menegak kembali merupakan ukuran besar kecilnya stabilitas kapal itu. Jadi dengan berpindah-pindahnya kedudukan titik tekan sebuah kapal sebagai akibat dari menyengetnya kapal tersebut akan membawa akibat berubah-ubahnya stabilitas kapal tersebut. Dengan berpindahnya kedudukan titik tekan B dari kedudukannya semula yang tegak lurus dibawah titik berat G itu akan menyebabkan terjadinya sepasang koppel, yakni dua gaya yang sama besarnya tetapi dengan arah yang berlawanan, yang satu merupakan gaya berat kapal itu sendiri sedang yang lainnya adalah gaya tekanan keatas yang merupakan resultante gaya tekanan keatas yang bekerja pada bagian kapal yang berada didalam air yang titik tangkapnya adalah titik tekan. Dengan terbentuknya sepasang koppel tersebut akan terjadi momen yang besarnya sama dengan berat kapal dikalikan jarak antara gaya berat kapal dan gaya tekanan keatas. Untuk memperoleh keterangan yang lebih jelas, harap perhatikan gambar dibawah ini.



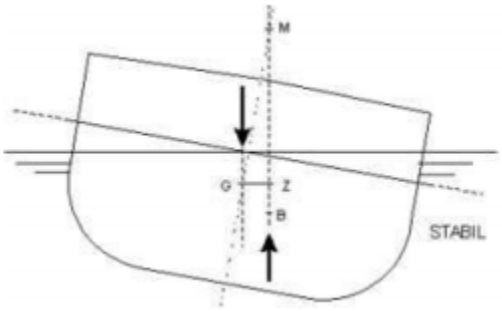
Gambar 2.1 Kedudukan titik G,B,M, sebuah kapal (Rawson dkk., 2001)

2.4.4 Macam – Macam Keadaan Stabilitas

Stabilitas dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu keseimbangan stabil (Stable equilibrium), keseimbangan netral (Neutral equilibrium) dan keseimbangan tidak stabil (Unstable equilibrium) (Saputra dan Herman, 2012).

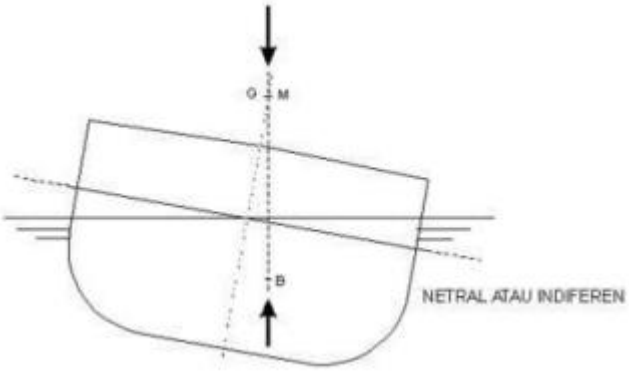
1. Keseimbangan stabil (Stable equilibrium) adalah kondisi dimana kapal mampu kembali ke posisi tegak semula setelah mengalami olengan akibat gaya-gaya gangguan yang terjadi (Bambang, 2013). Kondisi ini adalah pada saat titik pusat gravitasi (G) berada di bawah titik

metacenter (M) atau dapat dikatakan kapal memiliki metasenter positif dengan lengan penegak GZ positif sehingga mampu mengembalikan kapal ke posisi semula.



Gambar 2.2 Keseimbangan Stabil (Rawson dkk., 2001)

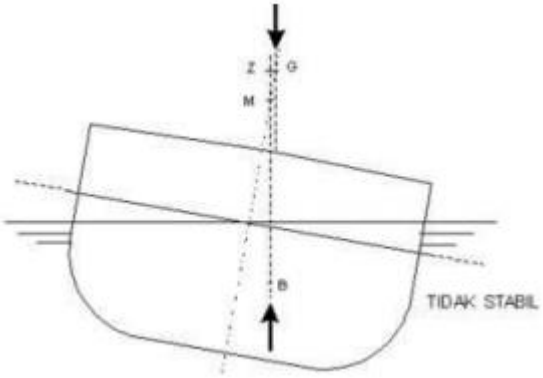
2. Keseimbangan netral (Neutral equilibrium) adalah kondisi dimana kapal tidak mengalami kemiringan akibat gaya yang bekerja dan kondisi ini tetap tidak berubah ke posisi semula ataupun bergerak ke arah kemiringan (Bambang, 2013). Pada kondisi ini, posisi titik (G) berimpit dengan titik metacenter (M) di satu titik (zero GM) dan tidak dihasilkan lengan kopel GZ. Kondisi ini juga disebut list.



Gambar 2.3 Keseimbangan Netral (Rawson dkk., 2001)

3. Keseimbangan tidak stabil (Unstable equilibrium) adalah kondisi ketika kapal tidak mampu kembali ke posisi semula setelah kapal miring akibat gaya-gaya yang bekerja padanya (Bambang, 2013). Pada kondisi ini kapal akan bergerak terus ke arah kemiringannya. Hal ini dapat terjadi apabila pusat gravitasi (G) lebih tinggi dari titik metacenter (M)

atau kapal memiliki tinggi metacenter (GM) negatif dan lengan penegak (M) negatif meneruskan gerak ke arah kemiringan kapal.



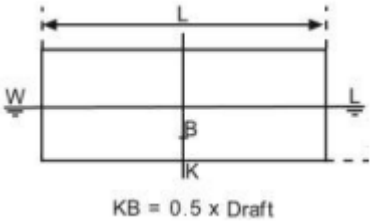
Gambar 2.4 Keseimbangan Tidak Stabil (Rawson dkk., 2001)

2.4.5 Dimensi Pokok dalam Stabilitas Kapal

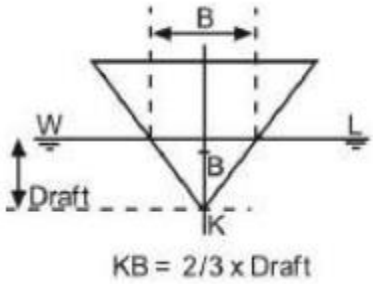
1. KM (Keel to Metacentre)
   KM merupakan jarak vertikal dari dasar kapal (lunas) hingga titik M. KM dapat diperoleh dengan menjumlahkan jarak dari lunas ke titik apung (KB) dan jari-jari metasenter kapal (BM). (Bryan dkk., 2006). Nilai KB dapat dicari dengan rumus berikut :

   $$KM = KB + BM..... \quad (2.1)$$

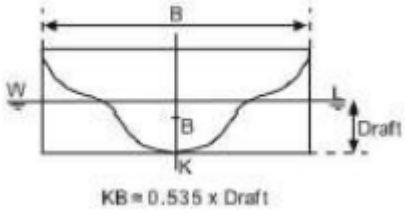
2. KB (Keel to Bouyancy)
   KB merupakan jarak dari titik K ke titik B. Dikarenakan letak titik B yang selalu berpindah-pindah karena adanya perubahan sarat (Wakidjo, 1972). Oleh karena itu nilai KB pun akan berubahubah sesuai tinggi sarat (Bryan dkk., 2006). Nilai KB dapat dicari dengan rumus berikut :



Gambar 2.5 Perhitungan KB untuk Tipe Flat Bottom (Bryan dkk., 2006)



Gambar 2.6 Perhitungan KB untuk Tipe V Bottom (Bryan dkk., 2006)



Gambar 2.7 Perhitungan KB untuk Tipe U Bottom (Bryan dkk., 2006)

3. BM (Bouyancy to Metacentre)
   BM merupakan jari-jari metasenter yang mana pada saat kapal mengalami oleng. Maka lintasan pergerakan titik B akan membentuk busur lingkaran yang mana titik M menjadi titik pusatnya (Bryan dkk., 2006). Nilai BM dapat dicari dengan rumus berikut :

$$BM = \mathrm{I}/\mathrm{V}.... \quad (2.2)$$
$$I = LB^3/12.... \quad (2.3)$$
$$BM = LB^3/12V.... \quad (2.4)$$

Dimana :
I = Momen inersia (m^4)
L = Panjang kapal (m)
B = Lebar kapal (m)
V = Volume displasemen (m^3)

4. KG (Keel to Gravity)
   KG merupakan jarak dari titik K terhadap titik G. Nilai KG dapat diperoleh dengan menggunakan dalil momen. Dalil momen digunakan saat kapal melakukan pemuatan atau pembongkaran suatu bobot dengan mengalikan titik berat vertikal (VCG) bobot tersebut dengan berat bobot tersebut. Kemudian momen-momen tersebut dibagi dengan bobot total sehingga menghasilkan nilai KG. (Bryan dkk., 2006). Nilai KG dapat dicari dengan rumus berikut :

   $Final\ KG = Final\ Moment/Final\ Displacement$ (2.5)
   $Final\ KG = \sum M/\sum W$ (2.6)
   $Final\ KG = \sum(W\ x\ KG)/\sum W$ (2.7)

   Dimana :
   KG = Titik Berat kapal (m)
   M = Momen dari bobot pada kapal (m.ton)
   W = Berat tiap bobot pada kapal (ton)

5. GM (Gravity to Metacentre)
   GM merupakan jarak dari titik G terhadap titik M. GM dapat disebut juga tinggi metasentris (Bryan dkk., 2006). Nilai GM inilah yang akan menunjukkan keadaan stabilitas awal kapal atau pada saat kapal selama berlayar nanti.

   KM = KG + GM (2.8)
   GM = KM – KG (2.9)

2.4.6 Momen Penegak

Momen penegak atau dapat disebut juga righting moment merupakan momen yang mampu mengembalikan kapal ke posisi tegak setelah kapal miring karena gaya-gaya dari luar dan gaya-gaya tersebut tidak bekerja lagi (Kayadoe, 2015). GZ merupakan lengan penegak bagi kapal agar kembali ke posisi semula yang digambarkan dengan perpindahan titik G saat keseimbangan berubah ke titik G' setelah mengalami oleng. Jarak dari G ke G' merupakan GZ.

Untuk menghitung nilai GZ sebagai berikut :

$Sin\ \Theta = GZ/GM$ (2.10)

GZ = GM x sin Θ

$= (GM + 1/2 + BMtan2\Theta)\ x\ sin\Theta$ (2.11)

Momen penegak = W x GZ (2.12)

Dimana :

GM = jarak antara titik berat dan titik metasentris (m)

GZ = jarak antara titik berat dan titik Z/lengan penegak (m)

W = berat (ton)

BM = jarak antara titik apung dan titik metasentrik (m)

2.4.7 Perhitungan GZ

Kurva stabilitas adalah bentuk di mana untuk menyimpan informasi yang diperlukan untuk menentukan sudut karakteristik besar stabilitas dari kapal di displacement apapun, tetapi pada posisi yang diasumsikan tunggal dari pusat gravitasi. Untuk operator kapal serta untuk arsitek kapal selama proses desain, apa yang dibutuhkan adalah penentuan lengan lurus atau saat-saat kapal bertumit ke setiap sudut sementara dalam kondisi pembebanan yang diberikan pada satu perpindahan dan dengan pusat gravitasi pada posisi yang berbeda dari yang diasumsikan dalam mempersiapkan kurva silang. Kurva statik stabilitas di mana lengan lurus diplot terhadap sudut tumit yang sesuai.

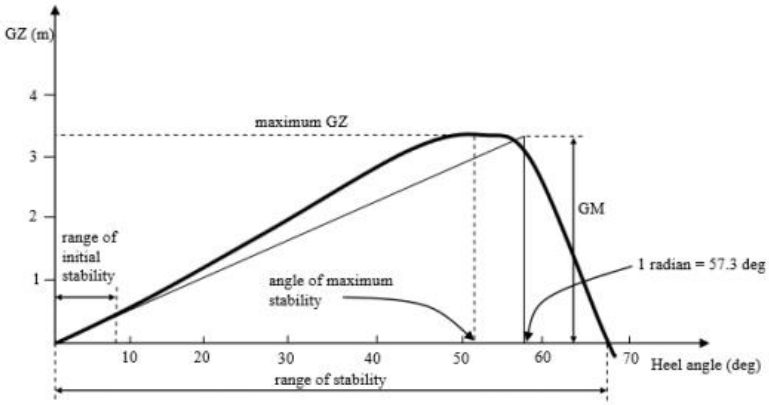
Kurva stabilitas statis ditentukan dengan memilih nilai-nilai lengan lurus dari kurva silang pada perpindahan yang tepat dan memperbaiki nilainilai yang diperoleh untuk mencerminkan posisi aktual dari pusat gravitasi (Biran, 2003). Dua koreksi mungkin diperlukan, satu untuk ketinggian di atas G keel (KG) dan satu untuk jarak G off centreline (TCG). Koreksi vertikal hampir selalu diperlukan, karena itu hanya secara kebetulan bahwa KG sebuah kapal dalam kondisi pembebanan yang diberikan akan tepat pada titik tiang yang dipilih secara sewenang-wenang ketika kurva silang disiapkan. Lateral koreksi, sebaliknya, jarang diperlukan dalam pemuatan rutin.

Bagian awal dari kurva stabilitas statis (pertama 7-10 derajat) harus konsisten dengan ukuran stabilitas awal, yaitu, ketinggian metasentrik (GM).

$$GZ = GM\sin\varphi \qquad (2.13)$$

Sebagai sudut tumit mendekati nol, $\varphi \cong \varphi$. Dengan demikian untuk sudut kecil tumit kita dapat menulis

$$GZ = GM \times \varphi \quad (2.14)$$



Gambar 2.8 kurva stabilitas statis (Scheltema, 1970)

Untuk sebagian besar bentuk lambung kapal, kurva stabilitas satis dari jalan awal dengan meningkatnya kemiringan sehingga naik di atas garis singgung sebagai sudut tumit meningkat. Akhirnya, sebagai sudut kenaikan tumit, tercapai suatu titik di mana dek tepi perendaman berlangsung. Bahkan, sejak bentuk bagian kapal yang bervariasi dari haluan ke buritan, dek tepi perendaman bukan kejadian tiba-tiba di sepanjang kapal, tetapi berlangsung secara bertahap selama berbagai sudut tumit. Tapi kecenderungan umum disertai dengan penurunan pertumbuhan banyak GZ, dan dengan demikian titik perubahan dalam kurva stabilitas statis. Kemiringan ini terus berkurang dari kurva stabilitas statis di luar dek tepi perendaman mengarah ke puncak kurva, dan akhirnya terjun cepat melampaui puncak.

2.4.8 Periode Oleng

Periode oleng merupakan acuan yang dapat digunakan untuk menilai ukuran stabilitas. Satu periode oleng lengkap merupakan waktu yang dibutuhkan oleh kapal mulai dari posisi tegak, miring ke kiri, 19 miring ke kanan hingga kembali tegak. Periode oleng diusahakan sebesar 8 sampai 14 detik yang mana pada waktu tersebut manusia dapat menyesuaikan dan tidak menyebabkan mabuk laut (Bryan dkk., 2006). Nilai periode oleng dapat dicari dengan rumus berikut :

$$T = 2\pi \text{ x } K/(\sqrt{g}\ x\ MG) \quad (2.15)$$

Dimana :

K = 0,35 x B

B = Lebar kapal

GM = Tinggi metasentrum

g = 9,81 m/s2

π = 3,14

2.5 Persyaratan Stabilitas Kapal Menurut IMO

Kriteria stabilitas sesuai rekomendasi kriteria umum IMO Intact Stability Guideline (A.749)

1. Untuk setiap kondisi muat, seperti yang ditunjukkan pada Trim and Stability Booklet, righting arm curve (GZ curve) harus digambarkan menggunakan KG yang sudah dikoreksi terhadap efek permukaan bebas dari cairan didalam tangki (free surface effects of liquid in tanks).

2. Lengan pengembali (GZ) pada saat sudut oleng 30o atau lebih, minimal bernilai 0,200 m

3. Lengan pengembali maksimum terjadi saat kondisi oleng 30o atau lebih, tetapi tidak boleh kurang dari 25 derajat

4. Tinggi titik metacentre awal (Gmo) tidak boleh kurang dari 0,150 m

.

Persyaratan untuk menganalisa yang dilakukan adalah sesuai dengan Stability criteria yang terdapat pada IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang mensyaratkan ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

1. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.1 :

   - Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 0° - 30° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 3,151 m.deg,

   - Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 0° - 40° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 5,157 m.deg,

   - Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut kapal oleng 30° - 40° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 1,719 m.deg.

2. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.2 Nilai GZ maksimum yang terjadi pada sudut 30° - 180° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,2 m.

3. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.3 20 Sudut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan 25º (deg).
4. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.4 Nilai GM awal pada sudut 0º (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,15 m.

2.6 Software yang digunakan

Dalam pengerjaan penelitian ini dibutuhkan software bantuan yang dapat membantu untuk proses pengerjaan. Software yang digunakan diantaranya sebagai berikut :

2.6.1 AutoCAD

AutoCAD adalah perangkat lunak komputer CAD (ComputerAided Drafting) yang berfungsi untuk mendesain atau penyusunan sebuah objek atau objek dengan 2 dimensi dan 3 dimensi yang dikembangkan oleh Autodesk. AutoCAD merupakan salah satu software yang banyak digunakan oleh seorang arsitek teknik.

2.6.2 Maxsurf

Maxsurf merupakan salah satu software yang digunakan dalam dunia perkapalan. Di dalam software Maxsurf terdapat beberapa software seperti

1. Maxsurf Modeller yang digunakan membuat desain 3D kapal serta Maxsurf Stability analisa hidrostatik sederhana.

2. Maxsurf Stability yang digunakan untuk permodelan tangkitangki dan kompartemen pada kapal, serta dapat digunakan untul analisa stabilitas kapal baik secara statis dan dinamis serta dalam kondisi Intact maupun damage

3. Maxsurf Resistance untuk melakukan analisa hambatan kapal

4. Maxsurf Motion untuk melakukan analisa olah gerak kapal

5. Maxsurf Structure untuk menganalisa kekuatan kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

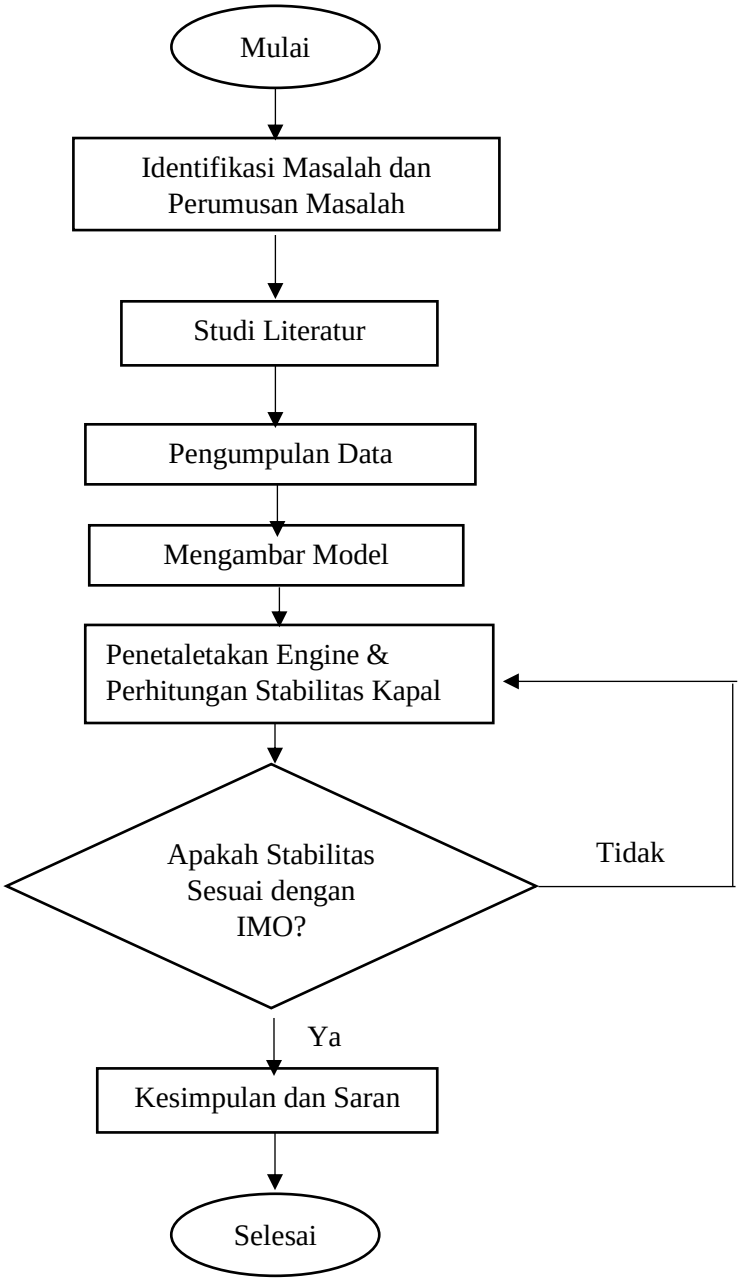
Penelitian ini menggunakan simulasi dengan software maxsurf stability untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengatur penataletakkan komponen-komponen permesinan pada kapal Harbortug 2x2500 HP dual fuel diesel engine lalu menghitung berat titik kapal serta menganalisa stabilitas kapal dengan menggunakan dan tidak menggunakan sistem dual fuel diesel engine. Dalam penelitian ini, stabilitas pada kapal harbortug menggunakan acuan standar persyaratan yang dikeluarkan sesuai dengan stability criteria yang terdapat pada IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships. Detail pengerjaan sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi masalah serta perumusan masalah pada penelitian tersebut.
2. Studi literature dengan mengumpulkan informasi-informasi yang berkaitan atau berhubungan dengan penelitian pada jurnal, buku-buku, dan juga penelitian yang sudah ada sebelumnya
3. Pengumpulan data yang bertujuan untuk mendapatkan data-data yang mendukung untuk penyelesaian penelitian.
4. Menggambar model gambar linesplan, general arrangement, dan lain-lain dengan software bantuan.
5. Mengatur penataletakan pada engine untuk menghitung titik berat pada kapal tersebut.
6. Menganalisa stabilitas kapal sesuai dengan standar yang teradapat pada IMO.
7. Setelah penelitian terselesaikan mengambil kesimpulan dan saran.

Selanjutnya pada bab ini akan dijelaskan bagaimana penelitian ini akan dilakukan yang diuraikan dengan flow chart (diagram alir) dan akan juga dijelaskan lebih lanjut setiap kegiatan dari diagram alir yang akan dilakukan.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Pada pengerjaan tugas akhir ini terdapat tahap tahap yang dijelaskan dengan diagram alir pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.3 Identifikasi Masalah dan Perumusan Masalah

Pada langkah awal ini dilakukan identifikasi masalah pada penelitian untuk mendapatkan rumusan masalah serta tujuan dari permasalahan tersebut. Dengan menghitung dan menganalisa kapal bertujuan untuk mengetahui apakah kapal tersebut tetap stabil apabila menggunakan sistem dual fuel engine pada kondisi free running maupun tugging.

Pada penelitian ini digunakan kapal dengan data kapal sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data Kapal

Nama Kapal	: Harbour Tug
Klas	: Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)
Desainer	: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Bendera	: INDONESIA

3.4 Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari teori-teori dari kumpulan referensi-referensi dari berbagai sumber untuk penyelesaian permasalahan pada penelitian ini. Referensi-referensi studi literatur didapatkan dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, internet, dan juga dari tugas akhir terdahulu. Pada penelitian ini, studi literatur mengacu pada analisa stablitas terhadap kapal dengan kondisi menggunakan dan tanpa menggunakan sistem dual fuel engine.

3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini bertujuan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka penyelesaian penelitian. Pengumpulan data ini dilakukan untuk mendapatkan data-data pendukung yang dibutuhkan seperti gambar linesplan, general arrangement, dan lain-lain. Selain itu dibutuhkan juga peraturan-peraturan dari class berserta data pendukung lainnya.

3.6 Menggambar Model

Setelah data-data kapal diperoleh dapat dilakukannya penggambaran model. Proses pembuatan model menggunakan sofware maxsurf modeller dengan menggunakan data kapal yang telah diperoleh. Apabila pembuatan model kapal sudah selesai dilakukan, memulai memasukan data – data berat komponen seperti

tangki fresh water, fuel oil, ballast, bilge, dan lain – lain dengan menggunakan sofware maxsurf stability.

3.7 Penataletakan Engine & Perhitungan Stabilitas Kapal

Pada langkah ini dilakukan perencanaan terhadap penataletakan engine dikapal yang berguna untuk mencapai stabilitas agar seimbang tidak miring kekiri maupun kekanan. Setelah itu dilakukannya perhitungan stabilitas sesuai dengan standar IMO dengan metode Intact Stability. Menghitung titik berat kapal, serta kurva keseimbangan (GZ).

3.8 Analisa Stabilitas Kapal

Pada penelitian ini, analisa data dilakukan pada perubahan penatalekkan engine pada kapal. Perubahan titik berat dapat mempengaruhi stabilitas pada kapal. Pembahasan yang dilakukan dengan menganalisa stabilitas kapal. Proses analisa dilakukan dengan menggunakan software maxsurf stability. Lalu hasil analisa dilihat apakah sesuai dengan standar IMO A.749.

3.9 Kesimpulan dan Saran

Setelah seluruh tahapan penelitian telah dilakukan maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data yang diperoleh. Diharapkan kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang diuraikan pada tujuan penelitian tersebut. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir agar lebih sempurna.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Dalam bab ini dibahas tentang stability pada kapal harbortug dengan perhitungan berat serta stabilitas pada penataletakan komponen – komponen pada kapal harbortug. Pada tahapan ini juga terdapat penggambaran model dari kapal harbortug. Setelah penggambaran pada model telah selesai dilakukan maka memulai untuk penataletakkan komponen komponen yang telah didapatkan dari pengumpulan data lalu dilakukannya analisa pada kapal tersebut. Apabila hasil dari analisa kapal tersebut tidak sesuai dengan standar IMO Intact Stability Guideline (A.749) maka dilakukannya penataletakkan komponen ulang.

4.2 Ukuran Utama Kapal

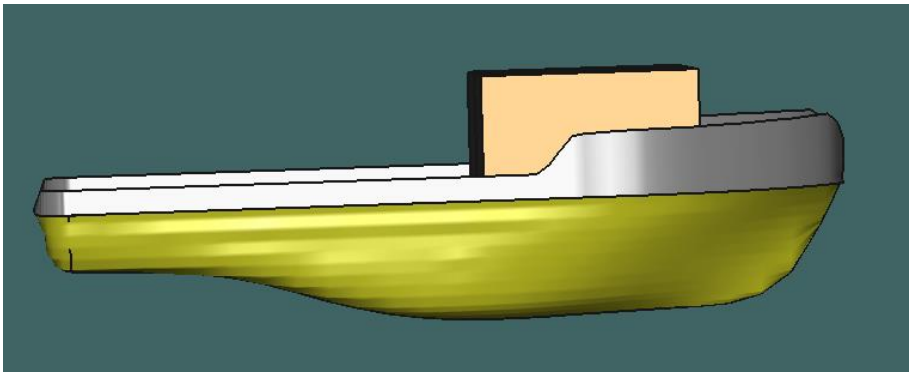
Dimensi utama yang diperoleh akan digunakan sebagai acuan dalam proses penggambaran model pada software maxsurf modeller. Pada penelitian ini digunakan kapal dengan ukuran kapal sebagai berikut :

Tabel 4.1 Ukuran Utama Kapal

Length Over All (LOA)	: 34.00 Meter
Breadth (B)	: 11.30 Meter
Tinggi (D)	: 5.25 Meter
Draft (T)	: 4.20 Meter
Velocity (Vs)	: 12 Knot
Jumlah ABK	: 10 Orang
Berat kapal kosong (LWT)	: 632.752 Ton
Bobot mati kapal (DWT)	: 214.722 Ton
Tonnase (GRT)	: 421GRT
Tonnase (NRT)	: 154 NRT

4.3 Permodelan Kapal

Setelah didapatkan data utama dari ukuran kapal dapat dilakukan permodelan dengan menggunakan maxsurf modeller dan autocad sesuai dengan ukuran utama kapal pada poin Tabel 4.1



Gambar 4.1 Permodelan menggunakan software Maxsurft Modeller

4.4 Komponen Permesinan yang Dihilangkan

Setelah itu pengaturan komponen dengan sistem dual fuel dan tanpa sistem dual fuel. Untuk komponen permesinan kapal tanpa sistem dual fuel dihilangkan beberapa komponen permesinan seperti pada tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Komponen Permesinan yang Dihilangkan

LIGHTSHIP					
Item	Weight (T)	L.C.G (m)	V.C.G (m)	L.C.G Moment (T-M)	V.C.G Moment (T-M)
Lightweight	632,752	15,375	4,426	9728,562	2800,56
ITEM'S REDUCTION					
GVU	0,42	12,38	1,06	5,200	0,445
Buffer	0,825	10,10	1,41	8,333	1,163
Vaporizer	0,73	11,88	1,41	8,672	1,029
BOG Heater	0,73	11,88	1,45	8,672	1,059
LNG	47	15,6	0,10	733,20	4,700
TOTAL	49,705	15,372	0,169	764,077	8,396
Lightweight	583,05	15,38	4,79	8964,485	2792,164

Setelah gambar model maxsurf telah selesai dilakukannya penaletakkan komponen – komponen permesinan satu per satu pada kapal harbortug menggunakan software maxsurft stability yang dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Penaletakkan komponen permesinan

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Port m	A.Stbd. m
1	FWT - P	Tank	100	100	1		none	0,373	1,479	5,411	0	5,25	2,613	DITTO	DITTO
2	FWT - S	Tank	100	100	1		none	0,373	1,479	0	-5,411	5,25	2,613	DITTO	DITTO
3	NO.3 FO TANK - P	Tank	100	100	1		none	7,5	11,5	5,53	1,873	3,799	1,215	DITTO	DITTO
4	NO.3 FO TANK - S	Tank	100	100	1		none	7,5	11,5	-5,53	-1,873	3,799	1,215	DITTO	DITTO
5	FO DAY TANK - P	Tank	100	100	1		none	7,5	11,5	5,53	1,873	5,25	3,799	DITTO	DITTO
6	FO DAY TANK - S	Tank	100	100	1		none	7,5	11,5	-5,53	-1,873	5,25	3,799	DITTO	DITTO
7	NO.2 FO TANK - C	Tank	100	100	1		none	5	7,5	3,5	0	4,52	0,05	DITTO	DITTO
8	SLUDGE TANK	Tank	100	100	1		none	8,5	11,5	5,53	1,873	5,25	0	DITTO	DITTO
9	FF SC - PS	Tank	100	100	1		none	8,5	11,5	-5,53	-1,873	5,25	0,52	DITTO	DITTO
10	SEWAGE T	Tank	100	100	1		none	22	24,5	4,2	0	0	0,12	DITTO	DITTO
11	BILGE T	Tank	100	100	1		none	22	24,5	4,2	0	0	0,13	DITTO	DITTO
12	FF SC - SB	Tank	100	100	1		none	22	24,5	4,2	0	0	0,09	DITTO	DITTO
13	DISP T	Tank	100	100	1		none	21	22,5	5,506	4,2	4,3	0,04	DITTO	DITTO
14	LO T	Tank	100	100	1		none	22,5	23,5	3	0	4,3	0,89	DITTO	DITTO
15	FOAM TANK	Tank	100	100	1		none	15	17	3,5	-1,2	7,2	5,25	DITTO	DITTO
16	NO.1 FO TANK - PS	Tank	100	100	1		none	23,5	27,5	0	5,374	4,3	0,139	DITTO	DITTO
17	NO. 1 FO TANK - SB	Tank	100	100	1		none	23,5	27,5	-5,374	0	4,3	0,042	DITTO	DITTO
18	NO.1 FW TANK - C	Tank	100	100	1		none	28,5	30,5	-3,575	3,575	4,3	0,285	DITTO	DITTO
19	LNG	Tank	100	100	1		none	15	17	3,5	-1,2	7,2	5,25	DITTO	DITTO
20	BW T - C	Tank	100	100	1		none	30,5	33,5	-2,273	2,273	4,3	0,735	DITTO	DITTO

4.5 Analisa Stabilitas

Setelah melakukan penataletakkan komponen permesinan, selanjutnya adalah melakukan analisa stabilitas kapal akibat penataletakkan komponen. Analisa stabilitas yang akan dianalisa dengan menggunakan fixed trim dan free trim to loadcase dengan kondisi pembebanan yang akan dianalisa stabilitasnya.

1. Kondisi 1 (Load Case Lightweight (LWT) 0% Bunker)
2. Kondisi 2 (Load Case Arrival 10 % Bunker)
3. Kondisi 3 (Load Case Making Way 50 % Bunker)
4. Kondisi 4 (Load Case Departure Full Load 98 % Bunker)

4.6 Hasil Perhitungan Stabilitas dengan Sistem Dual Fuel pada Kondisi 1

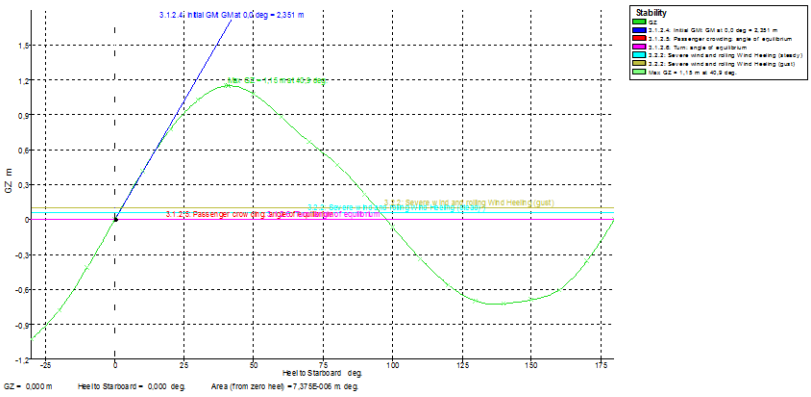
Pada kondisi pertama yaitu dengan Load Case Lightweight (LWT) 0% Bunker. Pada kapal harbortug ini menggunakan komponen – komponen yang dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Penaletakan komponen permesinan sistem dual fuel kondisi 1

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	LWT	1	632,752	632,752			15,375	0,000	4,426	0,000	User Specified
2	CREW	1	1,000	1,000			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
3	PROVISION STORE	1	0,770	0,770			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
4	FWT - P	0%	11,422	0,000	11,422	0,000	1,433	0,092	2,613	0,000	Maximum
5	FWT - S	0%	11,422	0,000	11,422	0,000	1,433	-0,092	2,613	0,000	Maximum
6	NO.3 FO TANK - P	0%	5,787	0,000	6,690	0,000	11,444	-4,200	1,718	0,000	Maximum
7	NO.3 FO TANK - S	0%	5,787	0,000	6,690	0,000	11,444	4,200	1,718	0,000	Maximum
8	FO DAY TANK - P	0%	6,556	0,000	7,579	0,000	9,503	-4,851	3,799	0,000	Maximum
9	FO DAY TANK - S	0%	6,556	0,000	7,579	0,000	9,503	4,851	3,799	0,000	Maximum
10	NO.2 FO TANK - C	0%	19,760	0,000	22,844	0,000	18,984	0,000	0,000	0,000	Maximum
11	SLUDGE TANK	0%	3,967	0,000	4,723	0,000	19,940	0,000	0,000	0,000	Maximum
12	FF SC - P	0%	3,505	0,000	3,420	0,000	21,511	-1,999	0,325	0,000	Maximum
13	SEWAGE T	0%	6,464	0,000	6,306	0,000	21,844	-0,091	0,056	0,000	Maximum
14	BILGE T	0%	6,464	0,000	6,306	0,000	21,844	0,091	0,056	0,000	Maximum
15	FF SC - S	0%	3,505	0,000	3,420	0,000	21,511	1,999	0,325	0,000	Maximum
16	DISP T	0%	4,185	0,000	4,083	0,000	21,009	4,200	0,915	0,000	Maximum
17	LO T	0%	9,159	0,000	9,955	0,000	23,000	0,000	1,800	0,000	Maximum
18	FOAM TANK	0%	0,189	0,000	0,184	0,000	20,014	-4,200	0,728	0,000	Maximum
19	NO.1 FO TANK - PS	0%	46,444	0,000	53,692	0,000	24,096	0,100	0,139	0,000	Maximum
20	NO. 1 FO TANK - SB	0%	46,448	0,000	53,697	0,000	23,566	-0,003	0,084	0,000	Maximum
21	NO.1 FW TANK - C	0%	20,584	0,000	23,796	0,000	28,595	0,000	0,285	0,000	Maximum
22	LNG	0%	35,071	0,000	77,080	0,000	15,350	0,000	5,250	0,000	Maximum
23	Ballast T - C	98%	10,669	10,456	10,409	10,201	31,353	0,000	3,347	0,000	Maximum
24	**Total Loadcase**			**644,978**	**331,298**	**10,201**	**15,662**	**0,000**	**4,409**	**0,000**	
25	**FS correction**								**0,000**		
26	**VCG fluid**								**4,409**		

A. Free Trim to Loadcase pada Kondisi 1

Setelah memasukkan loadcase, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa stabilitas dengan cara running fungsi large angle stability terhadap model yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan software Maxsurf Stability. Sebelum melakukan running, perlu dilakukan pemilihan criteria sesuai dengan rule yang ada yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik stabilitas dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 1

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 1 yang dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - free trim pada kondisi 1

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-1,029	-0,778	-0,415	0,000	0,415	0,778	1,029	1,148	1,077	0,881	0,667	0,473	0,217	-0,064
Area under GZ curve from zero heel m.deg	17,2435	8,1431	2,0947	0,0000	2,0965	8,1362	17,2704	28,2974	39,5718	49,4209	57,1440	62,8659	66,3624	67,1247
Displacement t	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0
Draft at FP m	2,519	2,708	2,816	2,849	2,816	2,708	2,519	2,200	1,650	0,732	-1,335	-8,594	n/a	-20,583
Draft at AP m	4,147	4,240	4,278	4,289	4,278	4,240	4,147	3,961	3,795	3,627	3,420	3,319	n/a	-3,316
WL Length m	32,315	32,413	32,278	32,138	32,278	32,413	32,315	32,128	32,298	32,740	32,953	32,948	32,902	33,235
Beam max extents on WL m	11,748	11,612	11,202	11,024	11,202	11,612	11,748	10,728	9,743	9,194	10,895	10,345	10,086	10,136
Wetted Area m^2	407,168	395,343	387,496	386,551	387,490	403,685	429,126	450,670	466,508	480,953	496,768	500,403	498,640	504,674
Waterpl. Area m^2	268,776	287,365	305,176	302,582	305,174	287,369	268,799	240,610	214,796	201,397	204,823	194,460	186,435	184,159
Prismatic coeff. (Cp)	0,607	0,593	0,586	0,586	0,586	0,593	0,607	0,617	0,619	0,617	0,626	0,647	0,649	0,639
Block coeff. (Cb)	0,364	0,405	0,482	0,507	0,482	0,405	0,364	0,381	0,407	0,425	0,363	0,358	0,344	0,306
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	15,565	15,569	15,573	15,575	15,573	15,569	15,565	15,562	15,551	15,538	15,516	15,469	15,420	15,377
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,117	15,482	14,499	14,425	14,499	15,482	16,118	16,839	17,432	17,855	18,211	18,098	17,904	17,709
KB m	2,919	2,650	2,463	2,396	2,463	2,650	2,919	3,227	3,496	3,734	4,007	4,335	4,625	4,896
KG fluid m	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409
Max deck inclination deg	30,0876	20,1447	10,2955	2,4615	10,2955	20,1447	30,0877	40,0553	50,0407	60,0308	70,0245	80,0192	90,0000	99,9598
Trim angle (+ve by stern) deg	2,7817	2,6192	2,4994	2,4615	2,4994	2,6192	2,7821	3,0095	3,6639	4,9386	8,0773	19,5759	90,0000	27,2674

Setelah itu hasil dari analisa disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 diperoleh hasil seperti pada tabel 4.6

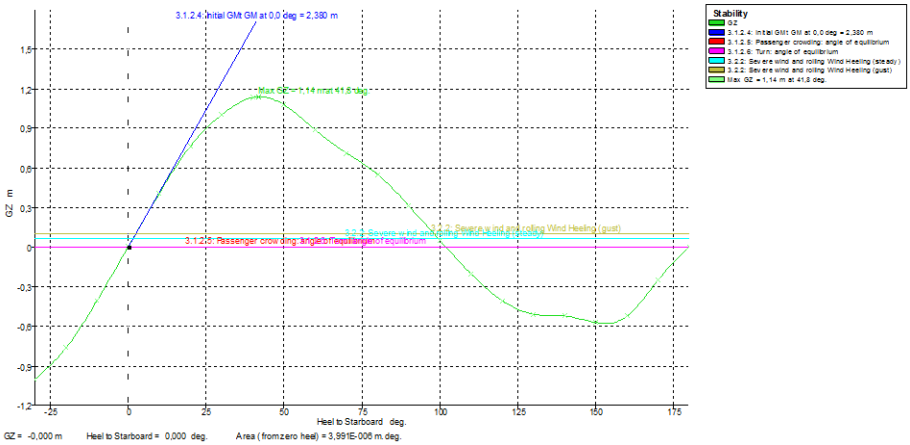
Tabel 4.6 Hasil analisa stabilitas dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 1

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	17,2704	Pass	+448,04
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	28,2974	Pass	+448,76
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	11,0270	Pass	+541,52
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	1,150	Pass	+475,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	40,9	Pass	+63,64
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,351	Pass	+1467,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,5	Pass	+90,49
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	14,56	Pass	+81,80
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	260,15	Pass	+160,15
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	1,150	Pass	+360,00

Menurut hasil diatas didapatkan hasil analisa stabilitas pada kapal sesuai dengan criteria IMO.

B. Fixed Trim pada Kondisi 1

Setelah itu dilakukan analisa dengan trim disetting dengan Fixed Trim dengan rule sama yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik stabilitas dual fuel - fixed trim to loadcase pada kondisi 1

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 1, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - fixed trim pada kondisi 1

Heel to Starboard deg	**-30,0**	**-20,0**	**-10,0**	**0,0**	**10,0**	**20,0**	**30,0**	**40,0**	**50,0**	**60,0**	**70,0**	**80,0**	**90,0**	**100,0**
GZ m	-1,003	-0,766	-0,407	0,000	0,407	0,766	1,004	1,135	1,077	0,888	0,713	0,548	0,312	0,048
Area under GZ curve from zero heel m.deg	16,9211	8,0014	2,0497	0,0000	2,0506	7,9976	16,9368	27,7535	38,9754	48,8415	56,8081	63,1469	67,5000	69,2987
Displacement t	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0	644,9	644,9	645,0	645,0	645,0	645,0	645,0
Draft at FP m	3,353	3,520	3,628	3,657	3,629	3,520	3,353	3,068	2,668	2,066	0,779	-3,240	n/a	-12,663
Draft at AP m	3,353	3,520	3,628	3,657	3,629	3,520	3,353	3,068	2,668	2,066	0,779	-3,240	n/a	-12,663
WL Length m	32,761	32,708	32,540	32,511	32,540	32,708	32,760	32,633	33,045	33,300	33,459	33,527	33,580	33,690
Beam max extents on WL m	11,772	11,614	11,184	10,998	11,185	11,614	11,772	10,867	9,644	9,239	10,888	10,350	10,089	10,140
Wetted Area m^2	410,331	393,760	390,654	395,242	390,658	397,849	427,339	455,007	471,184	486,602	503,413	504,435	498,394	505,337
Waterpl. Area m^2	270,192	291,698	305,473	309,368	305,475	291,724	270,214	246,773	219,561	208,678	217,806	202,159	193,244	191,367
Prismatic coeff. (Cp)	0,589	0,573	0,561	0,558	0,561	0,573	0,589	0,603	0,606	0,611	0,627	0,627	0,604	0,582
Block coeff. (Cb)	0,358	0,397	0,464	0,479	0,464	0,397	0,358	0,371	0,406	0,423	0,370	0,417	0,435	0,390
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,766	16,890	17,000	17,012	17,000	16,890	16,767	16,635	16,582	16,570	16,639	16,790	16,976	17,186
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,601	16,014	15,308	14,979	15,308	16,014	16,602	17,140	17,727	18,271	18,918	18,696	18,501	18,372
KB m	2,885	2,619	2,431	2,365	2,431	2,619	2,885	3,202	3,483	3,729	4,040	4,402	4,720	5,020
KG fluid m	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409	4,409
Max deck inclination deg	30,0000	20,0000	10,0000	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	90,0000	100,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Setelah itu hasil dari analisa disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil analisa stabilitas dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 1

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	16,9368	Pass	+437,46
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	27,7535	Pass	+438,21
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	10,8166	Pass	+529,28
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	1,140	Pass	+470,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	41,8	Pass	+67,27
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,380	Pass	+1486,67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,5	Pass	+90,43
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	9,22	Pass	+88,47
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	261,03	Pass	+161,03
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	1,140	Pass	+356,00

4.7 Hasil Perhitungan Stabilitas dengan Sistem Dual Fuel pada Kondisi 2

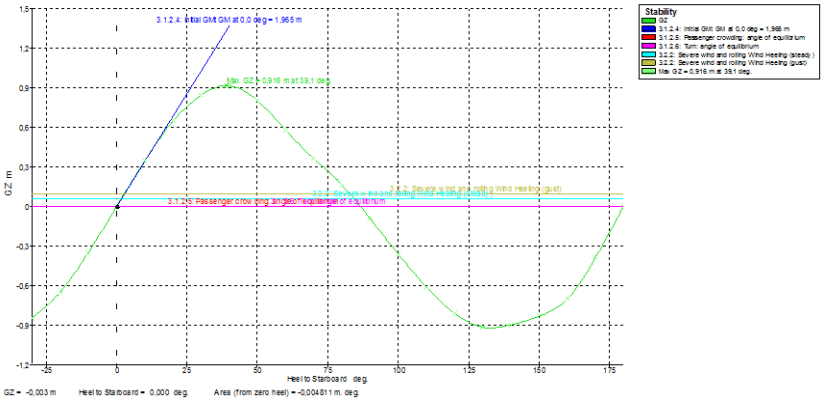
Setelah selesai melakukan permodelan kapal di maxsurf modeller dilakukannya penataletakkan komponen – komponen permesinan kapal. Pada kondisi kedua yaitu dengan Load Case Arrival 10 % dengan free trim to loadcase. Bunker pada kapal harbortug ini menggunakan komponen – komponen yang dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Penaletakan komponen permesinan sistem dual fuel kondisi 2

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	LWT	1	632,752	632,752			15,375	0,000	4,426	0,000	User Specified
2	CREW	1	1,000	1,000			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
3	PROVISION STORE	1	0,770	0,770			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
4	FWT - P	**10%**	11,422	1,142	11,422	1,142	1,174	1,809	3,059	14,088	Maximum
5	FWT - S	**10%**	11,422	1,142	11,422	1,142	1,174	-1,809	3,059	14,088	Maximum
6	NO.3 FO TANK - P	**10%**	5,787	0,579	6,690	0,669	10,711	-4,604	2,262	0,634	Maximum
7	NO.3 FO TANK - S	**10%**	5,787	0,579	6,690	0,669	10,711	4,604	2,262	0,634	Maximum
8	FO DAY TANK - P	**10%**	6,556	0,656	7,579	0,758	9,501	-4,853	3,872	0,642	Maximum
9	FO DAY TANK - S	**10%**	6,556	0,656	7,579	0,758	9,501	4,853	3,872	0,642	Maximum
10	NO.2 FO TANK - C	**10%**	19,760	1,976	22,844	2,284	17,937	0,000	0,215	18,426	Maximum
11	SLUDGE TANK	**10%**	3,967	0,397	4,723	0,472	19,988	0,000	0,153	4,473	Maximum
12	FF SC - P	**10%**	3,505	0,351	3,420	0,342	22,225	-2,417	0,590	0,513	Maximum
13	SEWAGE T	**10%**	6,464	0,646	6,306	0,631	22,398	-0,649	0,265	1,365	Maximum
14	BILGE T	**10%**	6,464	0,646	6,306	0,631	22,398	0,649	0,265	1,365	Maximum
15	FF SC - S	**10%**	3,505	0,351	3,420	0,342	22,225	2,417	0,590	0,513	Maximum
16	DISP T	**10%**	4,185	0,419	4,083	0,408	21,577	4,428	1,646	0,285	Maximum
17	LO T	**10%**	9,159	0,916	9,955	0,996	23,000	0,000	1,925	4,841	Maximum
18	FOAM TANK	**10%**	0,189	0,019	0,184	0,018	20,303	-4,296	0,888	0,019	Maximum
19	NO.1 FO TANK - PS	**10%**	46,444	4,644	53,692	5,369	25,133	0,900	0,766	37,470	Maximum
20	NO. 1 FO TANK - SB	**10%**	46,448	4,645	53,697	5,370	25,132	-0,898	0,765	37,877	Maximum
21	NO.1 FW TANK - C	**10%**	20,584	2,058	23,796	2,380	29,318	0,000	1,134	42,198	Maximum
22	LNG	**10%**	35,071	3,507	77,080	7,708	15,350	0,000	5,350	98,258	Maximum
23	Ballast T - C	**98%**	10,669	10,456	10,409	10,201	31,353	0,000	3,347	0,000	Maximum
24	**Total Loadcase**			**670,305**	**331,298**	**42,289**	**15,807**	**0,003**	**4,311**	**278,331**	
25	**FS correction**								**0,415**		
26	**VCG fluid**								**4,727**		

A. Free Trim to Loadcase pada kondisi 2

Setelah memasukkan loadcase, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa stabilitas dengan cara running fungsi large angle stability terhadap model yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan software Maxsurf Stability. Sebelum melakukan running, perlu dilakukan pemilihan criteria sesuai dengan rule yang ada yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik stabilitas dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 2

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 2, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - free trim pada kondisi 2

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,848	-0,651	-0,352	-0,003	0,346	0,646	0,843	0,915	0,801	0,577	0,362	0,163	-0,093	-0,363
Area under GZ curve from zero heel m.deg	14,4282	6,8758	1,7876	-0,0048	1,7365	6,7654	14,3019	23,2265	31,9486	38,8765	43,5456	46,1931	46,5802	44,2941
Displacement t	670,3	670,3	670,3	670,3	670,3	670,3	670,2	670,4	670,3	670,3	670,3	670,3	670,3	670,3
Draft at FP m	2,716	2,896	3,010	3,044	3,010	2,896	2,717	2,418	1,907	1,055	-0,901	-7,651	n/a	-19,482
Draft at AP m	4,168	4,247	4,273	4,283	4,273	4,247	4,167	4,009	3,887	3,779	3,665	3,787	n/a	-2,938
WL Length m	32,431	32,523	32,390	32,251	32,390	32,523	32,432	32,258	32,527	32,910	33,081	33,088	33,063	33,348
Beam max extents on WL m	11,879	11,639	11,212	11,035	11,212	11,639	11,879	10,673	9,690	9,460	10,879	10,361	10,103	10,153
Wetted Area m^2	418,144	404,253	394,544	393,506	394,544	413,267	440,585	463,945	479,206	494,333	509,724	511,296	509,194	515,835
Waterpl. Area m^2	271,097	289,751	308,209	305,387	308,209	289,759	271,116	241,499	215,384	204,213	209,577	196,543	188,389	186,262
Prismatic coeff. (Cp)	0,608	0,594	0,588	0,588	0,588	0,594	0,608	0,617	0,618	0,618	0,630	0,650	0,648	0,638
Block coeff. (Cb)	0,366	0,410	0,486	0,510	0,486	0,410	0,366	0,388	0,413	0,417	0,368	0,364	0,350	0,313
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	15,709	15,715	15,721	15,722	15,721	15,715	15,711	15,709	15,698	15,686	15,664	15,622	15,580	15,544
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,186	15,586	14,609	14,539	14,609	15,586	16,188	16,944	17,536	17,999	18,430	18,217	18,017	17,836
KB m	2,950	2,686	2,503	2,438	2,503	2,686	2,950	3,251	3,511	3,743	4,025	4,350	4,634	4,899
KG fluid m	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727
Max deck inclination deg	30,0698	20,1127	10,2214	2,1188	10,2214	20,1127	30,0696	40,0451	50,0347	60,0273	70,0226	80,0177	90,0000	99,9631
Trim angle (+ve by stern) deg	2,4829	2,3099	2,1595	2,1188	2,1595	2,3099	2,4783	2,7184	3,3830	4,6473	7,7626	18,8520	90,0000	26,2826

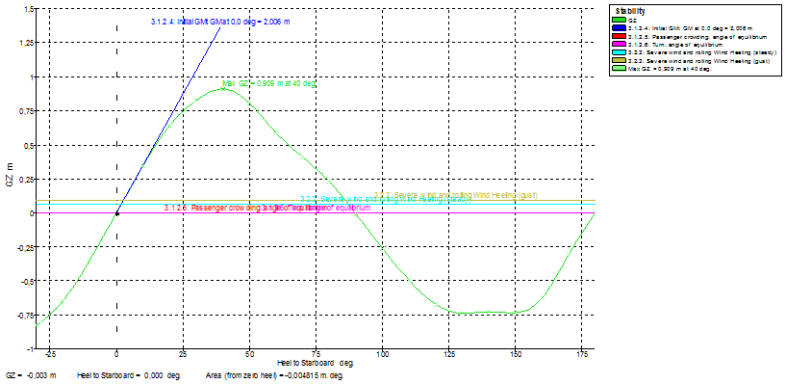
Setelah itu hasil dari analisa disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.11

Tabel 4.11 Hasil analisa stabilitas dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 2

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	14,3019	Pass	+353,84
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	23,2265	Pass	+350,42
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	8,9246	Pass	+419,20
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,916	Pass	+358,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	39,1	Pass	+56,36
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	1,965	Pass	+1210,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,1	Pass	+99,26
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,1	Pass	+99,26
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,8	Pass	+88,87
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	17,13	Pass	+78,59
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	242,92	Pass	+142,92
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,916	Pass	+266,40

B. Fixed Trim pada Kondisi 2

Setelah itu dilakukan analisa dengan trim disetting dengan Fixed Trim dengan rule sama yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships.



Gambar 4.5 Grafik stabilitas dual fuel – fixed trim pada kondisi 2

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 2, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.12

Tabel 4.12 Tabel Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - fixed trim pada kondisi 2

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,828	-0,646	-0,348	-0,003	0,343	0,641	0,824	0,909	0,805	0,588	0,406	0,230	-0,007	-0,262
Area under GZ curve from zero heel m.deg	14,2579	6,8181	1,7667	-0,0048	1,7147	6,7113	14,1197	22,9011	31,6215	38,6070	43,5415	46,7576	47,9125	46,5638
Displacement t	670,3	670,4	670,3	670,3	670,3	670,3	670,4	670,3	670,2	670,4	670,3	670,3	670,4	670,3
Draft at FP m	3,458	3,610	3,710	3,737	3,710	3,610	3,458	3,198	2,843	2,301	1,109	-2,540	n/a	-11,923
Draft at AP m	3,458	3,610	3,710	3,737	3,710	3,610	3,458	3,198	2,843	2,301	1,109	-2,540	n/a	-11,923
WL Length m	32,834	32,824	32,588	32,574	32,588	32,824	32,834	32,791	33,159	33,406	33,521	33,591	33,646	33,730
Beam max extents on WL m	11,898	11,639	11,201	11,008	11,201	11,639	11,898	10,955	9,597	9,492	10,873	10,366	10,105	10,157
Wetted Area m^2	421,746	403,821	397,972	401,649	397,975	409,001	440,018	467,320	483,514	498,557	514,194	513,495	508,638	516,162
Waterpl. Area m^2	272,527	292,889	309,386	311,816	309,388	292,913	272,549	246,901	219,354	210,911	218,484	203,836	194,631	192,743
Prismatic coeff. (Cp)	0,591	0,577	0,568	0,565	0,568	0,577	0,591	0,604	0,608	0,614	0,632	0,624	0,602	0,582
Block coeff. (Cb)	0,360	0,402	0,470	0,486	0,470	0,402	0,360	0,373	0,413	0,416	0,375	0,420	0,438	0,393
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,760	16,857	16,935	16,936	16,935	16,857	16,761	16,655	16,625	16,635	16,725	16,863	17,035	17,232
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,621	16,029	15,295	15,012	15,295	16,030	16,622	17,205	17,780	18,329	18,960	18,762	18,552	18,421
KB m	2,924	2,664	2,481	2,415	2,481	2,664	2,924	3,234	3,503	3,743	4,058	4,410	4,719	5,012
KG fluid m	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727	4,727
Max deck inclination deg	30,0000	20,0000	10,0000	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	90,0000	100,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Kemudian disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.13

Tabel 4.13 Hasil analisa stabilitas dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 2

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	14,1197	Pass	+348,06
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	22,9011	Pass	+344,11
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	8,7813	Pass	+410,87
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,909	Pass	+354,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	40,0	Pass	+60,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,006	Pass	+1237,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,1	Pass	+99,24
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,1	Pass	+99,24
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,8	Pass	+88,88
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	11,33	Pass	+85,84
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	243,04	Pass	+143,04
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,909	Pass	+263,60

Menurut hasil diatas didapatkan hasil analisa stabilitas pada kapal sesuai dengan criteria IMO.

4.8 Hasil Perhitungan Stabilitas dengan Sistem Dual Fuel pada Kondisi 3

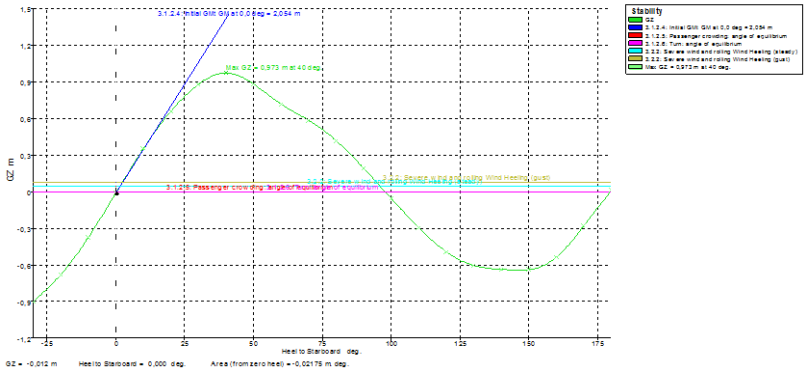
Pada kondisi ketiga yaitu dengan Load Case Making Way 50 % Bunker dengan free trim to loadcase. Pada kapal harbortug ini menggunakan komponen – komponen yang dapat dilihat pada tabel 4.14

Tabel 4.14 Penaletakan komponen permesinan sistem dual fuel kondisi 3

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	LWT	1	632,752	632,752			15,375	0,000	4,426	0,000	User Specified
2	CREW	1	1,000	1,000			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
3	PROVISION STORE	1	0,770	0,770			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
4	FWT - P	**10%**	11,422	1,142	11,422	1,142	1,174	1,809	3,059	14,088	Maximum
5	FWT - S	**10%**	11,422	1,142	11,422	1,142	1,174	-1,809	3,059	14,088	Maximum
6	NO.3 FO TANK - P	**10%**	5,787	0,579	6,690	0,669	10,711	-4,604	2,262	0,634	Maximum
7	NO.3 FO TANK - S	**10%**	5,787	0,579	6,690	0,669	10,711	4,604	2,262	0,634	Maximum
8	FO DAY TANK - P	**10%**	6,556	0,656	7,579	0,758	9,501	-4,853	3,872	0,642	Maximum
9	FO DAY TANK - S	**10%**	6,556	0,656	7,579	0,758	9,501	4,853	3,872	0,642	Maximum
10	NO.2 FO TANK - C	**10%**	19,760	1,976	22,844	2,284	17,937	0,000	0,215	18,426	Maximum
11	SLUDGE TANK	**10%**	3,967	0,397	4,723	0,472	19,988	0,000	0,153	4,473	Maximum
12	FF SC - P	**10%**	3,505	0,351	3,420	0,342	22,225	-2,417	0,590	0,513	Maximum
13	SEWAGE T	**10%**	6,464	0,646	6,306	0,631	22,398	-0,649	0,265	1,365	Maximum
14	BILGE T	**10%**	6,464	0,646	6,306	0,631	22,398	0,649	0,265	1,365	Maximum
15	FF SC - S	**10%**	3,505	0,351	3,420	0,342	22,225	2,417	0,590	0,513	Maximum
16	DISP T	**10%**	4,185	0,419	4,083	0,408	21,577	4,428	1,646	0,285	Maximum
17	LO T	**10%**	9,159	0,916	9,955	0,996	23,000	0,000	1,925	4,841	Maximum
18	FOAM TANK	**10%**	0,189	0,019	0,184	0,018	20,303	-4,296	0,888	0,019	Maximum
19	NO.1 FO TANK - PS	**10%**	46,444	4,644	53,692	5,369	25,133	0,900	0,766	37,470	Maximum
20	NO. 1 FO TANK - SB	**10%**	46,448	4,645	53,697	5,370	25,132	-0,898	0,765	37,877	Maximum
21	NO.1 FW TANK - C	**10%**	20,584	2,058	23,796	2,380	29,318	0,000	1,134	42,198	Maximum
22	LNG	**10%**	35,071	3,507	77,080	7,708	15,350	0,000	5,350	98,258	Maximum
23	Ballast T - C	**98%**	10,669	10,456	10,409	10,201	31,353	0,000	3,347	0,000	Maximum
24	**Total Loadcase**			**670,305**	**331,298**	**42,289**	**15,807**	**0,003**	**4,311**	**278,331**	
25	**FS correction**								**0,415**		
26	**VCG fluid**								**4,727**		

A. Free Trim to Loadcase pada Kondisi 3

Setelah memasukkan loadcase, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa stabilitas dengan cara running fungsi large angle stability terhadap model yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan software Maxsurf Stability. Sebelum melakukan running, perlu dilakukan pemilihan criteria sesuai dengan rule yang ada yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik stabilitas dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 3

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 3, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.15

Tabel 4.15 Tabel Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - free trim pada kondisi 3

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,902	-0,681	-0,376	-0,012	0,352	0,659	0,881	0,973	0,883	0,718	0,586	0,417	0,192	-0,056
Area under GZ curve from zero heel m.deg	15,2801	7,3194	1,9645	-0,0218	1,7280	6,8426	14,6244	24,0407	33,4456	41,4474	47,9565	53,0233	56,1084	56,7938
Displacement t	770,7	770,7	770,7	770,7	770,7	770,7	770,7	770,7	770,7	770,7	770,7	770,7	770,7	770,7
Draft at FP m	3,488	3,622	3,742	3,780	3,742	3,622	3,485	3,263	2,906	2,249	0,655	-4,181	n/a	-15,537
Draft at AP m	4,237	4,275	4,260	4,267	4,260	4,275	4,240	4,204	4,261	4,401	4,724	5,795	n/a	-1,116
WL Length m	32,905	32,949	32,801	32,660	32,801	32,949	32,904	32,926	33,245	33,431	33,495	33,520	33,508	33,655
Beam max extents on WL m	12,246	11,697	11,256	11,079	11,256	11,697	12,246	10,751	9,599	10,469	10,814	10,425	10,166	10,221
Wetted Area m^2	463,440	442,887	422,171	420,841	422,169	454,413	488,057	511,544	527,714	542,526	553,613	554,656	550,947	558,714
Waterpl. Area m^2	277,996	295,450	320,528	317,113	320,527	295,472	278,004	242,814	218,349	215,201	216,432	203,714	194,465	192,055
Prismatic coeff. (Cp)	0,607	0,599	0,597	0,597	0,597	0,599	0,607	0,615	0,619	0,627	0,645	0,653	0,647	0,639
Block coeff. (Cb)	0,373	0,427	0,500	0,519	0,500	0,427	0,373	0,402	0,432	0,392	0,387	0,384	0,371	0,336
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,239	16,241	16,248	16,250	16,248	16,240	16,235	16,228	16,214	16,194	16,164	16,132	16,097	16,064
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,472	15,904	15,067	15,009	15,066	15,905	16,472	17,274	17,840	18,447	18,891	18,646	18,353	18,141
KB m	3,079	2,836	2,671	2,611	2,671	2,836	3,079	3,348	3,574	3,797	4,094	4,392	4,654	4,899
KG fluid m	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462
Max deck inclination deg	30,0186	20,0264	10,0376	0,8337	10,0376	20,0264	30,0189	40,0158	50,0162	60,0170	70,0180	80,0135	90,0000	99,9719
Trim angle (+ve by stern) deg	1,2822	1,1165	0,8860	0,8337	0,8865	1,1169	1,2912	1,6093	2,3157	3,6755	6,9258	16,5831	90,0000	23,2911

Setelah itu hasil analisa disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.16

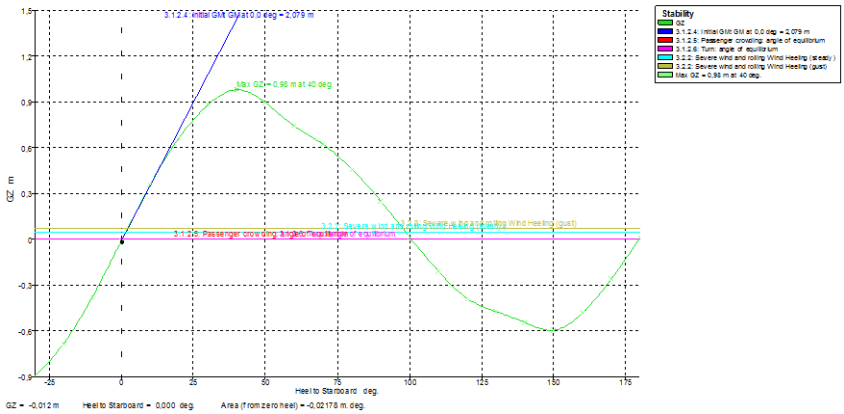
Tabel 4.16 Tabel Hasil analisa stabilitas dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 3

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	14,6244	Pass	+364,07
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	24,0407	Pass	+366,21
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	9,4163	Pass	+447,81
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,973	Pass	+386,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	40,0	Pass	+60,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,054	Pass	+1269,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,3	Pass	+96,80
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,3	Pass	+96,80
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,6	Pass	+89,84
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	16,04	Pass	+79,95
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	258,24	Pass	+158,24
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,973	Pass	+289,20

Menurut hasil diatas didapatkan hasil analisa stabilitas pada kapal sesuai dengan criteria IMO.

B. Fixed Trim pada Kondisi 3

Setelah itu dilakukan analisa dengan trim disetting dengan Fixed Trim dengan rule sama yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik stabilitas dual fuel - fixed trim to loadcase pada kondisi 3

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 3, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.17

Tabel 4.17 Hasil Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - fixed trim pada kondisi 3

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,899	-0,686	-0,379	-0,012	0,355	0,663	0,879	0,980	0,894	0,742	0,622	0,458	0,249	0,014
Area under GZ curve from zero heel m.deg	15,3517	7,3756	1,9782	-0,0218	1,7412	6,9013	14,6883	24,1165	33,6121	41,7855	48,6005	54,0481	57,6166	58,9399
Displacement t	770,7	770,8	770,8	770,7	770,7	770,7	770,8	770,7	770,7	770,8	770,7	770,7	770,8	770,8
Draft at FP m	3,867	3,963	4,025	4,047	4,025	3,963	3,867	3,717	3,538	3,212	2,422	0,183	n/a	-9,034
Draft at AP m	3,867	3,963	4,025	4,047	4,025	3,963	3,867	3,717	3,538	3,212	2,422	0,183	n/a	-9,034
WL Length m	33,077	33,098	32,865	32,772	32,865	33,098	33,077	33,309	33,558	33,693	33,770	33,841	33,844	33,884
Beam max extents on WL m	12,249	11,696	11,256	11,067	11,256	11,696	12,249	10,626	9,630	10,472	10,810	10,421	10,168	10,223
Wetted Area m^2	464,674	443,642	424,434	423,814	424,422	453,234	488,042	514,053	531,207	543,326	552,819	556,467	550,050	558,402
Waterpl. Area m^2	279,304	296,457	322,264	320,013	322,258	296,486	279,320	244,913	220,196	218,629	217,401	210,253	200,423	197,928
Prismatic coeff. (Cp)	0,599	0,591	0,589	0,589	0,589	0,591	0,599	0,606	0,614	0,627	0,640	0,616	0,597	0,579
Block coeff. (Cb)	0,371	0,423	0,493	0,510	0,493	0,423	0,371	0,402	0,429	0,394	0,394	0,432	0,447	0,405
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,742	16,752	16,724	16,700	16,724	16,752	16,742	16,737	16,782	16,870	17,016	17,129	17,247	17,398
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,632	16,080	15,339	15,208	15,339	16,082	16,633	17,373	17,900	18,547	18,946	19,028	18,776	18,599
KB m	3,074	2,833	2,668	2,608	2,668	2,833	3,074	3,348	3,578	3,813	4,121	4,427	4,711	4,976
KG fluid m	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462	4,462
Max deck inclination deg	30,0000	20,0000	10,0000	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	90,0000	100,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Setelah itu hasil analisa disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.18

Tabel 4.18 Hasil analisa stabilitas dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 3

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	14,6883	Pass	+366,10
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	24,1165	Pass	+367,68
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	9,4281	Pass	+448,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,980	Pass	+390,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	40,0	Pass	+60,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,079	Pass	+1286,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,3	Pass	+96,82
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,3	Pass	+96,82
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,6	Pass	+89,95
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	13,07	Pass	+83,66
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	258,20	Pass	+158,20
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,980	Pass	+292,00

4.9 Hasil Perhitungan Stabilitas dengan Sistem Dual Fuel pada Kondisi 4

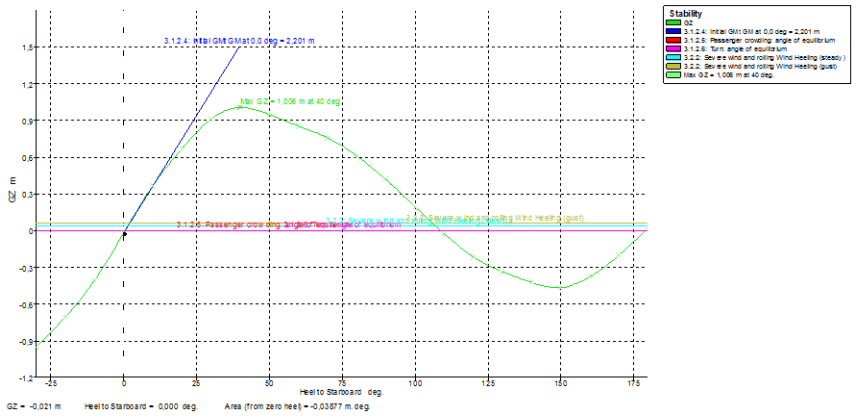
Pada kondisi keempat yaitu dengan Load Case Departure Full Load 98 % Bunker dengan free trim to loadcase. Pada kapal harbortug ini menggunakan komponen – komponen yang dapat dilihat pada tabel 4.19

Tabel 4.19 Penaletakan komponen permesinan sistem dual fuel kondisi 4

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	LWT	1	632,752	632,752			15,375	0,000	4,426	0,000	User Specified
2	CREW	1	1,000	1,000			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
3	PROVISION STORE	1	0,770	0,770			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
4	FWT - P	98%	11,422	11,194	11,422	11,194	1,001	2,483	4,180	0,000	Maximum
5	FWT - S	98%	11,422	11,194	11,422	11,194	1,001	-2,483	4,180	0,000	Maximum
6	NO.3 FO TANK - P	98%	5,787	5,671	6,690	6,556	9,707	-4,771	3,082	0,000	Maximum
7	NO.3 FO TANK - S	98%	5,787	5,671	6,690	6,556	9,707	4,771	3,082	0,000	Maximum
8	FO DAY TANK - P	98%	6,556	6,425	7,579	7,428	9,496	-4,853	4,510	0,000	Maximum
9	FO DAY TANK - S	98%	6,556	6,425	7,579	7,428	9,496	4,853	4,510	0,000	Maximum
10	NO.2 FO TANK - C	98%	19,760	19,365	22,844	22,387	17,543	0,000	0,869	0,000	Maximum
11	SLUDGE TANK	10%	3,967	0,397	4,723	0,472	19,985	0,000	0,153	4,473	Maximum
12	FF SC - P	10%	3,505	0,351	3,420	0,342	22,216	-2,420	0,590	0,513	Maximum
13	SEWAGE T	10%	6,464	0,646	6,306	0,631	22,389	-0,651	0,265	1,365	Maximum
14	BILGE T	10%	6,464	0,646	6,306	0,631	22,389	0,651	0,265	1,365	Maximum
15	FF SC - S	10%	3,505	0,351	3,420	0,342	22,216	2,420	0,590	0,513	Maximum
16	DISP T	98%	4,185	4,102	4,083	4,002	21,713	4,710	3,076	0,000	Maximum
17	LO T	98%	9,159	8,975	9,955	9,756	23,000	0,000	3,025	0,000	Maximum
18	FOAM TANK	98%	0,189	0,185	0,184	0,180	20,568	-4,380	1,128	0,000	Maximum
19	NO.1 FO TANK - PS	98%	46,444	45,515	53,692	52,619	25,316	1,903	2,661	0,000	Maximum
20	NO. 1 FO TANK - SB	98%	46,448	45,519	53,697	52,624	25,316	-1,903	2,661	0,000	Maximum
21	NO.1 FW TANK - C	98%	20,584	20,172	23,796	23,320	29,397	0,000	2,988	0,000	Maximum
22	LNG	85%	35,071	29,811	77,080	65,518	15,345	0,000	6,100	98,260	Maximum
23	Ballast T - C	0%	10,669	0,000	10,409	0,000	30,522	0,000	0,753	0,000	Maximum
24	**Total Loadcase**			**857,136**	**331,298**	**283,177**	**16,421**	**0,022**	**4,126**	**106,489**	
25	**FS correction**								**0,124**		
26	**VCG fluid**								**4,251**		

A. Free Trim to Loadcase pada Kondisi 4

Setelah memasukkan loadcase, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa stabilitas dengan cara running fungsi large angle stability terhadap model yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan software Maxsurf Stability. Sebelum melakukan running, perlu dilakukan pemilihan criteria sesuai dengan rule yang ada yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Grafik stabilitas dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 4

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 4, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.20

Tabel 4.20 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - free trim pada kondisi 4

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,950	-0,708	-0,409	-0,021	0,367	0,668	0,913	1,006	0,949	0,855	0,759	0,611	0,418	0,196
Area under GZ curve from zero heel m.deg	16,1632	7,8521	2,2001	-0,0388	1,7785	7,0048	14,9878	24,7317	34,5872	43,6076	51,6987	58,5933	63,7651	66,8446
Displacement t	867,6	867,6	867,6	867,6	867,6	867,6	867,7	867,6	867,6	867,6	867,6	867,6	867,6	867,6
Draft at FP m	4,144	4,244	4,335	4,377	4,335	4,244	4,143	4,001	3,774	3,238	2,004	-1,313	n/a	-12,149
Draft at AP m	4,370	4,355	4,304	4,307	4,304	4,355	4,371	4,469	4,698	5,106	5,908	8,140	n/a	0,952
WL Length m	33,252	33,273	33,121	32,975	33,121	33,273	33,251	33,546	33,683	33,737	33,736	33,754	33,762	33,793
Beam max extents on WL m	11,921	11,743	11,307	11,147	11,307	11,743	11,920	10,314	10,386	11,396	10,753	10,368	10,224	10,283
Wetted Area m^2	507,857	485,337	451,105	446,055	451,839	499,458	533,342	555,855	572,706	587,011	592,770	596,445	590,206	599,044
Waterpl. Area m^2	275,714	296,259	329,140	328,322	329,158	296,283	275,720	239,554	221,985	222,476	215,198	207,886	199,530	196,863
Prismatic coeff. (Cp)	0,607	0,605	0,607	0,607	0,607	0,605	0,607	0,613	0,623	0,639	0,659	0,654	0,642	0,633
Block coeff. (Cb)	0,400	0,441	0,512	0,528	0,512	0,441	0,400	0,431	0,412	0,373	0,402	0,402	0,387	0,354
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,592	16,597	16,604	16,605	16,603	16,596	16,591	16,581	16,565	16,539	16,506	16,479	16,452	16,423
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,680	16,086	15,514	15,420	15,515	16,087	16,681	17,409	17,996	18,668	18,960	18,963	18,650	18,405
KB m	3,211	2,986	2,841	2,785	2,841	2,987	3,211	3,442	3,645	3,873	4,148	4,411	4,657	4,886
KG fluid m	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240
Max deck inclination deg	30,0017	20,0008	10,0001	0,1196	10,0001	20,0008	30,0017	40,0039	50,0076	60,0128	70,0165	80,0121	90,0000	99,9768
Trim angle (+ve by stern) deg	0,3855	0,1892	-0,0546	-0,1196	-0,0531	0,1910	0,3903	0,8015	1,5799	3,1913	6,6460	15,7581	90,0000	21,3600

Setelah itu hasil analisa disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.21

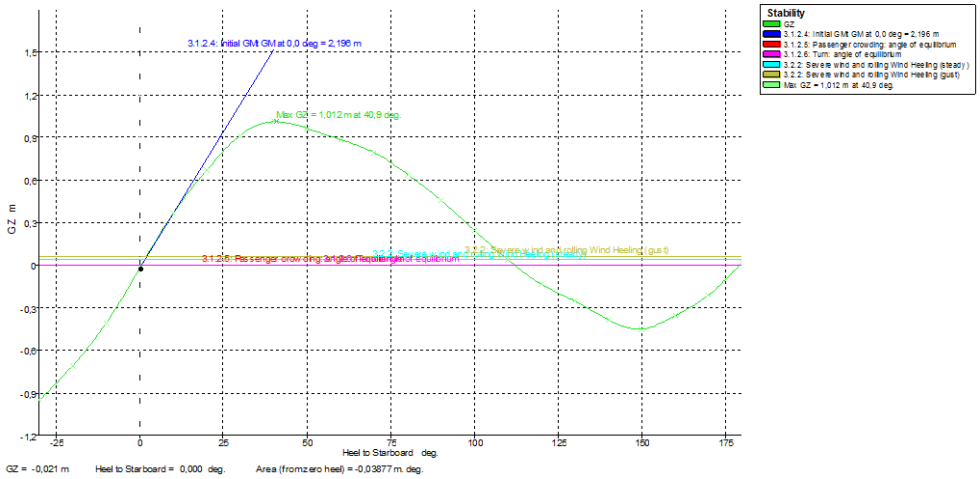
Tabel 4.21 Hasil analisa stabilitas dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 4

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	14,9878	Pass	+375,61
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	24,7317	Pass	+379,61
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	9,7439	Pass	+466,87
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	1,006	Pass	+403,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	40,0	Pass	+60,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,201	Pass	+1367,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,5	Pass	+94,78
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,5	Pass	+94,78
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,5	Pass	+90,54
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	16,32	Pass	+79,60
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	264,09	Pass	+164,09
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	1,006	Pass	+302,40

Menurut hasil diatas didapatkan hasil analisa stabilitas pada kapal sesuai dengan criteria IMO.

B. Fixed Trim pada Kondisi 4

Setelah itu dilakukan analisa dengan trim disetting dengan Fixed Trim dengan rule sama yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Grafik stabilitas dual fuel – fixed trim pada kondisi 4

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 4, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.22

Tabel 4.22 Hasil perhitungan stabilitas dual fuel - fixed trim pada kondisi 4

Heel to Starboard deg	**-30,0**	**-20,0**	**-10,0**	**0,0**	**10,0**	**20,0**	**30,0**	**40,0**	**50,0**	**60,0**	**70,0**	**80,0**	**90,0**	**100,0**
GZ m	-0,952	-0,709	-0,408	-0,021	0,366	0,669	0,915	1,012	0,963	0,885	0,793	0,640	0,456	0,246
Area under GZ curve from zero heel m.deg	16,1824	7,8534	2,1962	-0,0388	1,7745	7,0069	15,0058	24,7888	34,7358	43,9745	52,4022	59,6091	65,1065	68,6278
Displacement t	867,5	867,6	867,6	867,6	867,6	867,6	867,6	867,6	867,6	867,6	867,5	867,6	867,6	867,6
Draft at FP m	4,258	4,302	4,318	4,339	4,318	4,302	4,257	4,226	4,202	4,066	3,703	2,767	n/a	-6,320
Draft at AP m	4,258	4,302	4,318	4,339	4,318	4,302	4,257	4,226	4,202	4,066	3,703	2,767	n/a	-6,320
WL Length m	33,393	33,299	33,116	32,959	33,116	33,299	33,393	33,671	33,842	33,846	33,849	33,852	33,900	33,995
Beam max extents on WL m	11,916	11,743	11,306	11,146	11,306	11,743	11,916	10,279	10,403	11,389	10,750	10,363	10,228	10,283
Wetted Area m^2	507,754	485,619	451,013	445,653	451,830	499,407	532,771	556,075	573,157	586,381	591,427	595,017	589,098	597,380
Waterpl. Area m^2	276,145	296,369	328,806	327,874	328,828	296,394	276,205	239,877	223,312	223,786	213,566	209,784	206,398	203,176
Prismatic coeff. (Cp)	0,603	0,603	0,608	0,608	0,608	0,603	0,603	0,609	0,620	0,640	0,634	0,615	0,596	0,578
Block coeff. (Cb)	0,398	0,441	0,513	0,529	0,513	0,441	0,398	0,431	0,411	0,376	0,410	0,448	0,456	0,415
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,731	16,677	16,576	16,543	16,576	16,678	16,731	16,808	16,911	17,063	17,226	17,343	17,431	17,543
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,686	16,109	15,514	15,390	15,514	16,110	16,689	17,413	18,008	18,640	18,836	19,035	19,021	18,793
KB m	3,211	2,987	2,841	2,785	2,841	2,987	3,211	3,445	3,653	3,896	4,175	4,437	4,695	4,942
KG fluid m	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240	4,240
Max deck inclination deg	30,0000	20,0000	10,0000	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	90,0000	100,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Hasil analisa stabilitas disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 diperoleh hasil seperti tabel dibawah ini

Tabel 4.23 Hasil analisa stabilitas dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 4

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	15,0058	Pass	+376,18
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	24,7888	Pass	+380,72
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	9,7831	Pass	+469,15
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	1,012	Pass	+406,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	40,9	Pass	+63,64
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,196	Pass	+1364,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,5	Pass	+94,76
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,5	Pass	+94,76
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,5	Pass	+90,51
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	16,36	Pass	+79,55
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	265,23	Pass	+165,23
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	1,012	Pass	+304,80

Menurut hasil diatas didapatkan hasil analisa stabilitas pada kapal sesuai dengan criteria IMO.

4.10 Hasil Perhitungan Stabilitas tanpa Sistem Dual Fuel pada Kondisi 1

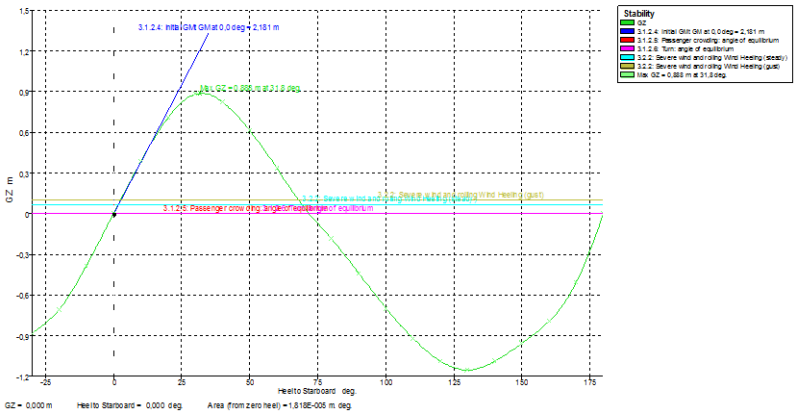
Pada kondisi kedua yaitu dengan Load Case Lightweight (LWT) 0% Bunker dengan free trim to loadcase. Pada kapal harbortug ini menggunakan komponen – komponen yang dapat dilihat pada tabel 4.24

Tabel 4.24 Penaletakan komponen permesinan tanpa sistem dual fuel kondisi 1

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	LWT	1	600,910	600,910			15,430	0,000	4,630	0,000	User Specified
2	CREW	0,1	1,000	0,100			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
3	PROVISION STORE	0,1	0,770	0,077			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
4	FWT - P	**10%**	11,422	1,142	11,422	1,142	1,174	1,809	3,059	14,088	Maximum
5	FWT - S	**10%**	11,422	1,142	11,422	1,142	1,174	-1,809	3,059	14,088	Maximum
6	NO.3 FO TANK - P	**10%**	5,787	0,579	6,690	0,669	10,711	-4,604	2,262	0,634	Maximum
7	NO.3 FO TANK - S	**10%**	5,787	0,579	6,690	0,669	10,711	4,604	2,262	0,634	Maximum
8	FO DAY TANK - P	**10%**	6,556	0,656	7,579	0,758	9,501	-4,853	3,872	0,642	Maximum
9	FO DAY TANK - S	**10%**	6,556	0,656	7,579	0,758	9,501	4,853	3,872	0,642	Maximum
10	NO.2 FO TANK - C	**10%**	19,760	1,976	22,844	2,284	17,937	0,000	0,215	18,426	Maximum
11	SLUDGE TANK	**10%**	3,967	0,397	4,723	0,472	19,988	0,000	0,153	4,473	Maximum
12	FF SC - P	**10%**	3,505	0,351	3,420	0,342	22,225	-2,417	0,590	0,513	Maximum
13	SEWAGE T	**10%**	6,464	0,646	6,306	0,631	22,398	-0,649	0,265	1,365	Maximum
14	BILGE T	**10%**	6,464	0,646	6,306	0,631	22,398	0,649	0,265	1,365	Maximum
15	FF SC - S	**10%**	3,505	0,351	3,420	0,342	22,225	2,417	0,590	0,513	Maximum
16	DISP T	**10%**	4,185	0,419	4,083	0,408	21,577	4,428	1,646	0,285	Maximum
17	LO T	**10%**	9,159	0,916	9,955	0,996	23,000	0,000	1,925	4,841	Maximum
18	FOAM TANK	**10%**	0,189	0,019	0,184	0,018	20,303	-4,296	0,888	0,019	Maximum
19	NO.1 FO TANK - PS	**10%**	46,444	4,644	53,692	5,369	25,133	0,900	0,766	37,470	Maximum
20	NO. 1 FO TANK - SB	**10%**	46,448	4,645	53,697	5,370	25,132	-0,898	0,765	37,877	Maximum
21	NO.1 FW TANK - C	**10%**	20,584	2,058	23,796	2,380	29,318	0,000	1,134	42,198	Maximum
22	Ballast T - C	**10%**	10,669	1,067	10,409	1,041	31,015	0,000	1,801	10,779	Maximum
23	**Total Loadcase**			**623,974**	**254,218**	**25,422**	**15,625**	**0,003**	**4,508**	**190,851**	
24	**FS correction**								**0,306**		
25	**VCG fluid**								**4,814**		

A. Free Trim to Loadcase pada Kondisi 1

Setelah memasukkan loadcase, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa stabilitas dengan cara running fungsi large angle stability terhadap model yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan software Maxsurf Stability. Sebelum melakukan running, perlu dilakukan pemilihan criteria sesuai dengan rule yang ada yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 1

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 1, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.25

Tabel 4.25 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - free trim pada kondisi 1

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,882	-0,708	-0,384	0,000	0,384	0,708	0,882	0,824	0,614	0,335	0,047	-0,184	-0,437	-0,694
Area under GZ curve from zero heel m.deg	15,5376	7,4989	1,9365	0,0000	1,9409	7,4813	15,6037	24,3104	31,5851	36,3671	38,2475	37,5444	34,4607	28,7914
Displacement t	583,0	583,0	583,0	583,0	583,1	583,1	583,1	583,1	583,0	583,1	583,1	583,1	583,1	583,0
Draft at FP m	2,042	2,266	2,355	2,386	2,355	2,266	2,043	1,638	0,969	-0,229	-2,895	-12,019	n/a	-24,594
Draft at AP m	4,102	4,195	4,267	4,281	4,267	4,195	4,101	4,061	4,111	4,299	4,804	6,757	n/a	1,225
WL Length m	32,040	32,156	32,013	31,874	32,013	32,156	32,040	31,822	31,715	32,236	32,496	32,478	32,391	32,797
Beam max extents on WL m	11,301	11,531	11,171	11,003	11,171	11,531	11,301	10,603	9,837	8,944	10,795	10,337	10,080	10,131
Wetted Area m^2	385,868	374,664	370,158	369,601	370,159	381,455	398,096	418,089	435,749	449,676	464,422	473,225	471,364	476,653
Waterpl. Area m^2	251,750	279,729	297,670	295,952	297,670	279,732	251,777	215,956	193,944	183,863	183,061	180,377	172,354	170,014
Prismatic coeff. (Cp)	0,604	0,589	0,580	0,580	0,580	0,589	0,604	0,620	0,635	0,639	0,644	0,621	0,607	0,586
Block coeff. (Cb)	0,362	0,393	0,472	0,498	0,472	0,393	0,362	0,364	0,379	0,404	0,309	0,298	0,283	0,259
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	15,232	15,238	15,238	15,239	15,238	15,238	15,233	15,218	15,197	15,168	15,131	15,074	15,019	14,984
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,222	15,206	14,253	14,158	14,253	15,206	16,223	16,953	17,535	17,902	18,075	18,189	17,954	17,759
KB m	2,834	2,564	2,366	2,294	2,366	2,564	2,834	3,083	3,303	3,517	3,755	4,064	4,353	4,624
KG fluid m	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790
Max deck inclination deg	30,1400	20,2288	10,4994	3,2377	10,4994	20,2287	30,1400	40,1044	50,0871	60,0753	70,0641	80,0475	90,0000	99,9107
Trim angle (+ve by stern) deg	3,5179	3,2963	3,2655	3,2377	3,2656	3,2954	3,5168	4,1363	5,3587	7,6981	12,9440	29,2690	90,0000	37,6223

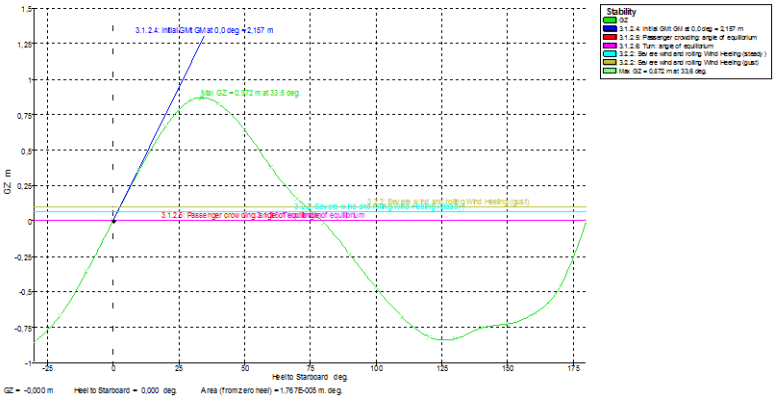
Setelah itu hasil analisa disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.26

Tabel 4.26 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 1

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	15,6037	Pass	+395,15
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	24,3104	Pass	+371,44
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	8,7067	Pass	+406,52
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,888	Pass	+344,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	31,8	Pass	+27,27
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,181	Pass	+1354,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,7	Pass	+89,24
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	15,90	Pass	+80,12
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	214,55	Pass	+114,55
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,888	Pass	+255,20

B. Fixed Trim pada Kondisi 1

Setelah itu dilakukan analisa dengan trim disetting dengan Fixed Trim dengan rule sama yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.11 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim to loadcase pada kondisi 1

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 2, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.27

Tabel 4.27 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim pada kondisi 1

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,857	-0,665	-0,358	0,000	0,358	0,665	0,857	0,829	0,643	0,381	0,156	-0,011	-0,236	-0,472
Area under GZ curve from zero heel m.deg	14,6781	6,9995	1,8033	0,0000	1,8076	6,9824	14,7431	23,3468	30,8086	35,9427	38,5607	39,2890	38,0958	34,5432
Displacement t	583,1	583,0	583,0	583,1	583,1	583,1	583,0	583,0	583,1	583,1	583,1	583,1	583,1	583,1
Draft at FP m	3,093	3,298	3,424	3,460	3,424	3,298	3,092	2,818	2,437	1,821	0,503	-3,725	n/a	-12,988
Draft at AP m	3,093	3,298	3,424	3,460	3,424	3,298	3,092	2,818	2,437	1,821	0,503	-3,725	n/a	-12,988
WL Length m	32,580	32,484	32,407	32,347	32,407	32,484	32,580	32,423	32,880	33,190	33,386	33,482	33,543	33,673
Beam max extents on WL m	11,226	11,540	11,143	10,973	11,143	11,540	11,226	10,685	9,703	8,976	10,762	10,338	10,080	10,133
Wetted Area m^2	384,891	369,132	373,328	379,293	373,332	370,448	397,357	422,088	441,217	456,358	473,274	473,372	467,628	472,608
Waterpl. Area m^2	261,344	287,646	296,009	302,959	296,011	287,661	261,360	225,010	203,981	196,076	206,726	192,532	184,162	182,272
Prismatic coeff. (Cp)	0,582	0,562	0,545	0,541	0,545	0,562	0,582	0,606	0,617	0,632	0,614	0,584	0,560	0,536
Block coeff. (Cb)	0,359	0,383	0,446	0,461	0,446	0,383	0,359	0,358	0,378	0,405	0,346	0,386	0,401	0,357
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,786	16,985	17,177	17,232	17,177	16,985	16,786	16,683	16,700	16,767	16,902	17,142	17,410	17,700
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,614	15,961	15,327	14,917	15,327	15,962	16,614	17,425	18,118	18,654	19,296	19,110	18,941	18,821
KB m	2,786	2,505	2,308	2,238	2,308	2,505	2,786	3,056	3,297	3,530	3,834	4,217	4,554	4,873
KG fluid m	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790	4,790
Max deck inclination deg	30,0000	20,0000	10,0000	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	90,0000	100,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Kemudian disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.28

Tabel 4.28 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 1

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	14,7431	Pass	+367,84
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	23,3468	Pass	+352,75
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	8,6036	Pass	+400,53
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,872	Pass	+336,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	33,6	Pass	+34,54
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,157	Pass	+1338,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,8	Pass	+88,75
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	9,55	Pass	+88,06
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	223,05	Pass	+123,05
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,872	Pass	+248,80

4.11 Hasil Perhitungan Stabilitas tanpa Sistem Dual Fuel pada Kondisi 2

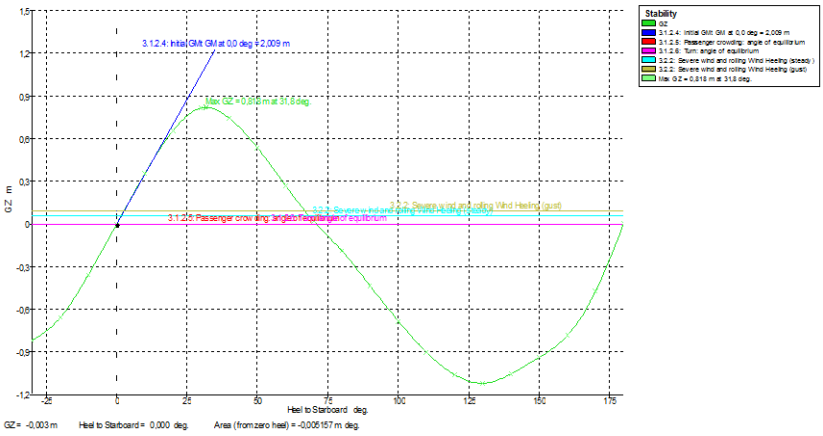
Setelah selesai melakukan permodelan kapal di maxsurf modeller dilakukannya penataletakkan komponen – komponen permesinan kapal. Pada kondisi kedua yaitu dengan Load Case Arrival 10 % Bunker pada kapal harbortug ini menggunakan komponen – komponen yang dapat dilihat pada tabel 4.29

Tabel 4.29 Penaletakan komponen permesinan tanpa sistem dual fuel kondisi 2

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	LWT	1	600,910	600,910			15,430	0,000	4,630	0,000	User Specified
2	CREW	0,1	1,000	0,100			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
3	PROVISION STORE	0,1	0,770	0,077			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
4	FWT - P	**10%**	11,422	1,142	11,422	1,142	1,174	1,809	3,059	14,088	Maximum
5	FWT - S	**10%**	11,422	1,142	11,422	1,142	1,174	-1,809	3,059	14,088	Maximum
6	NO.3 FO TANK - P	**10%**	5,787	0,579	6,690	0,669	10,711	-4,604	2,262	0,634	Maximum
7	NO.3 FO TANK - S	**10%**	5,787	0,579	6,690	0,669	10,711	4,604	2,262	0,634	Maximum
8	FO DAY TANK - P	**10%**	6,556	0,656	7,579	0,758	9,501	-4,853	3,872	0,642	Maximum
9	FO DAY TANK - S	**10%**	6,556	0,656	7,579	0,758	9,501	4,853	3,872	0,642	Maximum
10	NO.2 FO TANK - C	**10%**	19,760	1,976	22,844	2,284	17,937	0,000	0,215	18,426	Maximum
11	SLUDGE TANK	**10%**	3,967	0,397	4,723	0,472	19,988	0,000	0,153	4,473	Maximum
12	FF SC - P	**10%**	3,505	0,351	3,420	0,342	22,225	-2,417	0,590	0,513	Maximum
13	SEWAGE T	**10%**	6,464	0,646	6,306	0,631	22,398	-0,649	0,265	1,365	Maximum
14	BILGE T	**10%**	6,464	0,646	6,306	0,631	22,398	0,649	0,265	1,365	Maximum
15	FF SC - S	**10%**	3,505	0,351	3,420	0,342	22,225	2,417	0,590	0,513	Maximum
16	DISP T	**10%**	4,185	0,419	4,083	0,408	21,577	4,428	1,646	0,285	Maximum
17	LO T	**10%**	9,159	0,916	9,955	0,996	23,000	0,000	1,925	4,841	Maximum
18	FOAM TANK	**10%**	0,189	0,019	0,184	0,018	20,303	-4,296	0,888	0,019	Maximum
19	NO.1 FO TANK - PS	**10%**	46,444	4,644	53,692	5,369	25,133	0,900	0,766	37,470	Maximum
20	NO. 1 FO TANK - SB	**10%**	46,448	4,645	53,697	5,370	25,132	-0,898	0,765	37,877	Maximum
21	NO.1 FW TANK - C	**10%**	20,584	2,058	23,796	2,380	29,318	0,000	1,134	42,198	Maximum
22	Ballast T - C	**10%**	10,669	1,067	10,409	1,041	31,015	0,000	1,801	10,779	Maximum
23	**Total Loadcase**			**623,974**	**254,218**	**25,422**	**15,625**	**0,003**	**4,508**	**190,851**	
24	**FS correction**								**0,306**		
25	**VCG fluid**								**4,814**		

A. Free Trim to Loadcase pada Kondisi 2

Setelah memasukkan loadcase, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa stabilitas dengan cara running fungsi large angle stability terhadap model yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan software Maxsurf Stability. Sebelum melakukan running, perlu dilakukan pemilihan criteria sesuai dengan rule yang ada yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 2

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 2, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.30

Tabel 4.30 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - free trim pada kondisi 2

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,820	-0,661	-0,358	-0,003	0,353	0,655	0,815	0,744	0,535	0,269	0,020	-0,190	-0,435	-0,683
Area under GZ curve from zero heel m.deg	14,4980	7,0099	1,8186	-0,0052	1,7664	6,8804	14,4024	22,3638	28,8355	32,8746	34,2831	33,4336	30,3329	24,7246
Displacement t	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0
Draft at FP m	2,375	2,590	2,689	2,721	2,689	2,590	2,375	2,011	1,396	0,299	-2,149	-10,548	n/a	-22,932
Draft at AP m	4,142	4,199	4,253	4,266	4,253	4,199	4,142	4,163	4,306	4,607	5,275	7,760	n/a	2,155
WL Length m	32,232	32,340	32,197	32,061	32,197	32,340	32,232	32,039	32,122	32,561	32,760	32,727	32,664	33,042
Beam max extents on WL m	11,170	11,590	11,192	11,015	11,192	11,590	11,170	10,699	9,751	9,407	10,884	10,365	10,108	10,162
Wetted Area m^2	404,674	388,178	381,856	381,106	381,856	395,844	417,110	438,543	458,750	472,464	487,107	491,521	489,406	495,101
Waterpl. Area m^2	253,761	285,172	302,743	300,545	302,744	285,173	253,782	217,481	198,054	189,593	191,970	183,274	175,466	173,017
Prismatic coeff. (Cp)	0,605	0,590	0,583	0,583	0,583	0,590	0,605	0,622	0,636	0,643	0,635	0,615	0,601	0,581
Block coeff. (Cb)	0,377	0,401	0,478	0,504	0,478	0,401	0,377	0,370	0,388	0,390	0,315	0,306	0,292	0,267
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	15,501	15,508	15,510	15,512	15,510	15,509	15,501	15,485	15,459	15,429	15,396	15,336	15,286	15,254
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,404	15,411	14,438	14,352	14,438	15,411	16,405	17,153	17,808	18,211	18,474	18,380	18,167	17,964
KB m	2,877	2,618	2,427	2,358	2,427	2,618	2,877	3,113	3,323	3,534	3,790	4,101	4,378	4,638
KG fluid m	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814
Max deck inclination deg	30,1032	20,1594	10,3373	2,6392	10,3373	20,1594	30,1033	40,0825	50,0747	60,0681	70,0596	80,0452	90,0000	99,9157
Trim angle (+ve by stern) deg	3,0192	2,7495	2,6729	2,6392	2,6729	2,7492	3,0201	3,6756	4,9647	7,3280	12,4955	28,6566	90,0000	36,8281

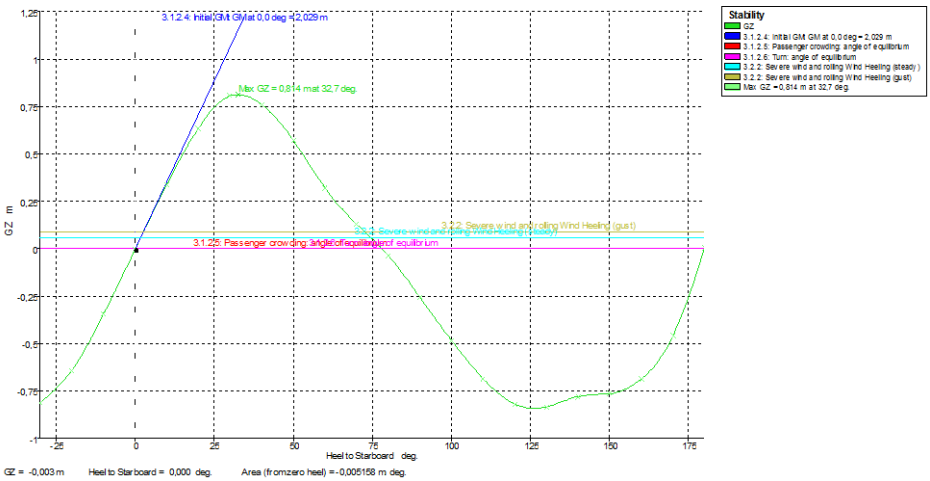
Setelah itu hasil analisa disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.31

Tabel 4.31 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 2

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	14,4024	Pass	+357,03
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	22,3638	Pass	+333,69
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	7,9614	Pass	+363,17
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,818	Pass	+309,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	31,8	Pass	+27,27
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,009	Pass	+1239,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,1	Pass	+99,21
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,1	Pass	+99,21
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,8	Pass	+88,98
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	16,36	Pass	+79,55
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	212,01	Pass	+112,01
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,818	Pass	+227,20

B. Fixed Trim pada Kondisi 2

Setelah itu dilakukan analisa dengan trim disetting dengan Fixed Trim dengan rule sama yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim pada kondisi 2

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 2, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.32

Tabel 4.32 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim pada kondisi 2

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,811	-0,641	-0,345	-0,003	0,340	0,636	0,806	0,761	0,573	0,320	0,129	-0,036	-0,256	-0,485
Area under GZ curve from zero heel m.deg	14,1055	6,7705	1,7534	-0,0052	1,7010	6,6420	14,0066	22,0051	28,7648	33,2250	35,4156	35,9035	34,4797	30,7647
Displacement t	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0	624,0
Draft at FP m	3,269	3,445	3,560	3,591	3,560	3,445	3,269	3,049	2,739	2,224	1,061	-2,540	n/a	-11,735
Draft at AP m	3,269	3,445	3,560	3,591	3,560	3,445	3,269	3,049	2,739	2,224	1,061	-2,540	n/a	-11,735
WL Length m	32,702	32,613	32,499	32,458	32,499	32,613	32,702	32,606	33,091	33,371	33,512	33,591	33,655	33,740
Beam max extents on WL m	11,327	11,594	11,172	10,989	11,172	11,594	11,327	10,847	9,625	9,408	10,875	10,366	10,107	10,161
Wetted Area m^2	404,325	385,435	384,571	389,928	384,574	388,600	416,916	444,048	462,162	477,245	492,115	490,357	484,397	490,954
Waterpl. Area m^2	261,265	290,473	302,241	307,356	302,242	290,501	261,293	225,271	205,798	200,502	209,507	195,326	186,436	184,562
Prismatic coeff. (Cp)	0,587	0,570	0,556	0,553	0,556	0,570	0,587	0,611	0,623	0,636	0,610	0,581	0,558	0,536
Block coeff. (Cb)	0,366	0,392	0,458	0,473	0,458	0,392	0,366	0,361	0,389	0,395	0,351	0,391	0,406	0,363
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,777	16,919	17,056	17,082	17,056	16,919	16,778	16,735	16,795	16,894	17,062	17,274	17,513	17,776
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,709	15,996	15,322	14,951	15,322	15,997	16,710	17,543	18,219	18,791	19,409	19,216	19,019	18,898
KB m	2,848	2,581	2,390	2,323	2,390	2,581	2,848	3,101	3,329	3,556	3,872	4,237	4,558	4,862
KG fluid m	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814	4,814
Max deck inclination deg	30,0000	20,0000	10,0000	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	90,0000	100,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Kemudian disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.33

Tabel 4.33 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 2

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	14,0066	Pass	+344,47
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	22,0051	Pass	+326,74
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	7,9984	Pass	+365,32
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,814	Pass	+307,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	32,7	Pass	+30,91
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,029	Pass	+1252,67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,1	Pass	+99,18
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,1	Pass	+99,18
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,8	Pass	+88,79
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	10,33	Pass	+87,09
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	219,26	Pass	+119,26
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,814	Pass	+225,60

4.12 Hasil Perhitungan Stabilitas tanpa Sistem Dual Fuel pada Kondisi 3

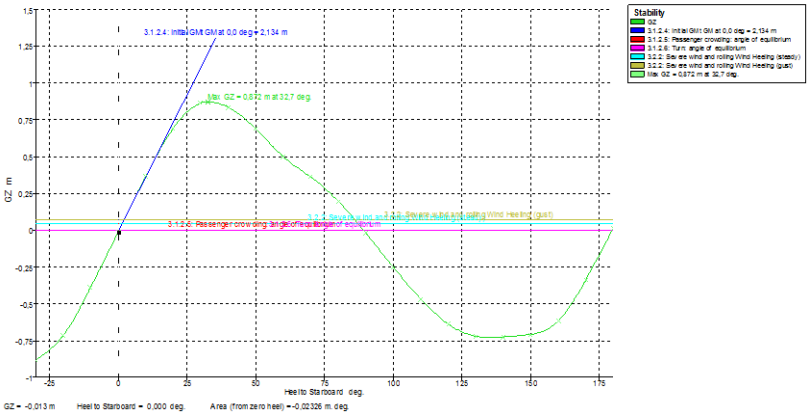
Pada kondisi ketiga yaitu dengan Load Case Making Way 50 % Bunker. Pada kapal harbortug ini menggunakan komponen – komponen yang dapat dilihat pada tabel 4.34

Tabel 4.34 Penaletakkan komponen permesinan tanpa sistem dual fuel kondisi 3

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	LWT	1	600,910	600,910			15,430	0,000	4,630	0,000	User Specified
2	CREW	0,5	1,000	0,500			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
3	PROVISION STORE	0,5	0,770	0,385			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
4	FWT - P	**50%**	11,422	5,711	11,422	5,711	1,053	2,340	3,643	14,088	Maximum
5	FWT - S	**50%**	11,422	5,711	11,422	5,711	1,053	-2,340	3,643	14,088	Maximum
6	NO.3 FO TANK - P	**50%**	5,787	2,893	6,690	3,345	9,904	-4,712	2,721	0,634	Maximum
7	NO.3 FO TANK - S	**50%**	5,787	2,893	6,690	3,345	9,904	4,712	2,721	0,634	Maximum
8	FO DAY TANK - P	**50%**	6,556	3,278	7,579	3,790	9,500	-4,853	4,162	0,642	Maximum
9	FO DAY TANK - S	**50%**	6,556	3,278	7,579	3,790	9,500	4,853	4,162	0,642	Maximum
10	NO.2 FO TANK - C	**50%**	19,760	9,880	22,844	11,422	17,593	0,000	0,523	18,426	Maximum
11	SLUDGE TANK	**50%**	3,967	1,984	4,723	2,361	19,997	0,000	0,409	4,473	Maximum
12	FF SC - P	**50%**	3,505	1,753	3,420	1,710	22,410	-2,630	0,889	0,513	Maximum
13	SEWAGE T	**50%**	6,464	3,232	6,306	3,153	22,476	-0,924	0,610	1,365	Maximum
14	BILGE T	**50%**	6,464	3,232	6,306	3,153	22,476	0,924	0,610	1,365	Maximum
15	FF SC - S	**50%**	3,505	1,753	3,420	1,710	22,410	2,630	0,889	0,513	Maximum
16	DISP T	**50%**	4,185	2,093	4,083	2,042	21,685	4,607	2,435	0,285	Maximum
17	LO T	**50%**	9,159	4,579	9,955	4,978	23,000	0,000	2,425	4,841	Maximum
18	FOAM TANK	**50%**	0,189	0,095	0,184	0,092	20,476	-4,350	1,031	0,019	Maximum
19	NO.1 FO TANK - PS	**50%**	46,444	23,222	53,692	26,846	25,251	1,525	1,795	37,470	Maximum
20	NO. 1 FO TANK - SB	**50%**	46,448	23,224	53,697	26,849	25,251	-1,524	1,794	37,877	Maximum
21	NO.1 FW TANK - C	**50%**	20,584	10,292	23,796	11,898	29,373	0,000	2,233	42,198	Maximum
22	Ballast T - C	**98%**	10,669	10,456	10,409	10,201	31,353	0,000	3,347	0,000	Maximum
23	**Total Loadcase**			**721,352**	**254,218**	**132,105**	**16,385**	**0,013**	**4,216**	**180,072**	
24	**FS correction**								**0,250**		
25	**VCG fluid**								**4,466**		

A. Free Trim to Loadcase pada Kondisi 3

Setelah memasukkan loadcase, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa stabilitas dengan cara running fungsi large angle stability terhadap model yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan software Maxsurf Stability. Sebelum melakukan running, perlu dilakukan pemilihan criteria sesuai dengan rule yang ada yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4.14 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 3

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 3, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.35

Tabel 4.35 Hasil perhitungan stabilitas dengan fixed trim pada kondisi 3

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,885	-0,715	-0,390	-0,013	0,364	0,691	0,863	0,834	0,690	0,500	0,362	0,197	-0,018	-0,251
Area under GZ curve from zero heel m.deg	15,7451	7,6490	2,0214	-0,0233	1,7704	7,1326	15,0693	23,6907	31,3810	37,3164	41,6042	44,4469	45,3710	44,0234
Displacement t	721,3	721,4	721,4	721,4	721,4	721,4	721,3	721,4	721,4	721,4	721,4	721,4	721,4	721,4
Draft at FP m	3,367	3,505	3,603	3,638	3,603	3,505	3,367	3,133	2,697	1,902	0,047	-5,720	n/a	-17,608
Draft at AP m	4,019	4,050	4,094	4,105	4,094	4,050	4,019	4,121	4,364	4,779	5,603	8,219	n/a	2,449
WL Length m	32,810	32,870	32,676	32,568	32,676	32,870	32,810	32,771	33,126	33,305	33,361	33,358	33,335	33,598
Beam max extents on WL m	11,520	11,670	11,227	11,042	11,227	11,670	11,520	10,823	9,517	10,444	10,814	10,425	10,173	10,231
Wetted Area m^2	453,158	423,723	410,222	409,808	410,222	432,733	466,065	492,864	509,287	523,299	533,999	534,126	530,681	537,753
Waterpl. Area m^2	255,167	294,150	315,371	313,287	315,371	294,174	255,187	223,343	206,534	203,874	205,755	192,505	184,325	181,456
Prismatic coeff. (Cp)	0,605	0,591	0,586	0,586	0,586	0,591	0,605	0,625	0,639	0,650	0,624	0,604	0,589	0,572
Block coeff. (Cb)	0,384	0,416	0,489	0,508	0,489	0,416	0,384	0,381	0,412	0,368	0,351	0,338	0,323	0,297
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,347	16,353	16,356	16,358	16,356	16,353	16,347	16,331	16,305	16,272	16,232	16,188	16,146	16,106
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,816	15,897	15,026	14,920	15,026	15,897	16,817	17,675	18,303	18,867	19,256	18,975	18,732	18,494
KB m	2,982	2,754	2,580	2,518	2,580	2,754	2,982	3,193	3,390	3,600	3,893	4,188	4,447	4,688
KG fluid m	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466
Max deck inclination deg	30,0141	20,0184	10,0338	0,7982	10,0338	20,0184	30,0141	40,0174	50,0246	60,0304	70,0335	80,0263	90,0000	99,9458
Trim angle (+ve by stern) deg	1,1149	0,9317	0,8402	0,7982	0,8403	0,9321	1,1153	1,6890	2,8485	4,9075	9,4165	22,5909	90,0000	30,9093

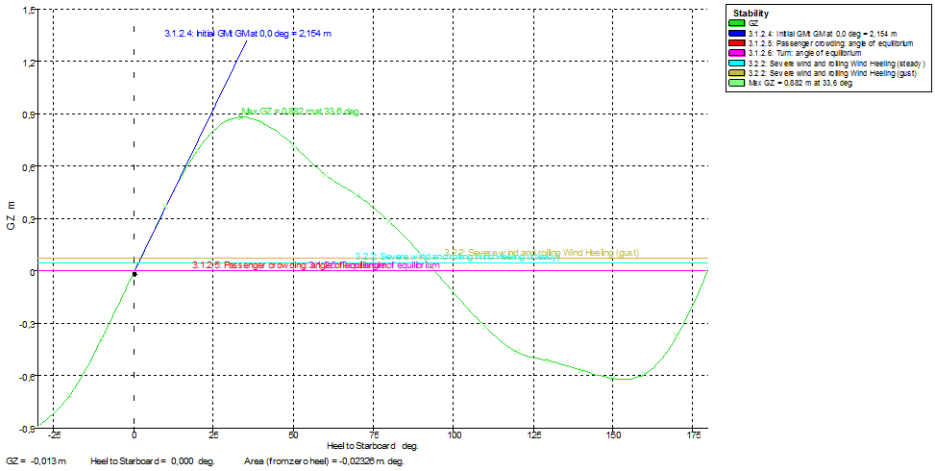
Kemudian disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.36

Tabel 4.36 Hasil perhitungan stabilitas dengan fixed trim pada kondisi 3

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	15,0693	Pass	+378,19
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	23,6907	Pass	+359,42
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	8,6213	Pass	+401,56
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,872	Pass	+336,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	32,7	Pass	+30,91
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,134	Pass	+1322,67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,3	Pass	+96,65
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,3	Pass	+96,65
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,6	Pass	+89,96
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	13,59	Pass	+83,01
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	231,94	Pass	+131,94
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,872	Pass	+248,80

B. Fixed Trim pada Kondisi 3

Setelah itu dilakukan analisa dengan trim disetting dengan Fixed Trim dengan rule sama yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 3

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 3, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.37

Tabel 4.37 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim pada kondisi 3

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,890	-0,715	-0,390	-0,013	0,365	0,691	0,868	0,852	0,721	0,550	0,434	0,284	0,092	-0,121
Area under GZ curve from zero heel m.deg	15,7706	7,6556	2,0276	-0,0233	1,7764	7,1401	15,0927	23,8280	31,7629	38,0983	43,0044	46,6413	48,5490	48,4097
Displacement t	721,4	721,4	721,4	721,4	721,4	721,4	721,3	721,3	721,3	721,4	721,3	721,4	721,4	721,4
Draft at FP m	3,691	3,790	3,872	3,896	3,872	3,790	3,691	3,598	3,450	3,151	2,388	0,212	n/a	-8,812
Draft at AP m	3,691	3,790	3,872	3,896	3,872	3,790	3,691	3,598	3,450	3,151	2,388	0,212	n/a	-8,812
WL Length m	32,977	32,995	32,722	32,676	32,722	32,995	32,977	33,198	33,520	33,675	33,763	33,842	33,845	33,896
Beam max extents on WL m	11,584	11,670	11,227	11,034	11,227	11,670	11,583	10,710	9,528	10,406	10,812	10,421	10,171	10,228
Wetted Area m^2	453,221	424,110	411,657	412,020	411,659	431,537	466,109	494,568	511,278	522,795	531,237	533,769	526,325	533,640
Waterpl. Area m^2	257,581	294,998	316,113	315,539	316,114	295,020	257,604	226,069	209,048	208,549	208,558	201,780	192,319	189,835
Prismatic coeff. (Cp)	0,598	0,584	0,579	0,578	0,579	0,584	0,598	0,617	0,634	0,630	0,602	0,576	0,555	0,537
Block coeff. (Cb)	0,380	0,413	0,483	0,499	0,483	0,413	0,380	0,382	0,411	0,373	0,370	0,403	0,416	0,376
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,780	16,799	16,820	16,805	16,820	16,799	16,780	16,860	16,998	17,165	17,380	17,555	17,731	17,939
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16,905	16,058	15,309	15,131	15,309	16,059	16,906	17,787	18,393	19,012	19,403	19,481	19,243	19,075
KB m	2,981	2,751	2,577	2,514	2,577	2,751	2,981	3,200	3,407	3,634	3,950	4,265	4,558	4,833
KG fluid m	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466	4,466
Max deck inclination deg	30,0000	20,0000	10,0000	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	90,0000	100,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Kemudian disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.38

Tabel 4.38 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 3

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	15,0927	Pass	+378,93
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	23,8280	Pass	+362,09
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	8,7353	Pass	+408,19
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,882	Pass	+341,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	33,6	Pass	+34,54
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,154	Pass	+1336,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,3	Pass	+96,66
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,3	Pass	+96,66
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,6	Pass	+90,04
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	11,42	Pass	+85,73
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	235,11	Pass	+135,11
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,882	Pass	+252,80

4.13 Hasil Perhitungan Stabilitas tanpa Sistem Dual Fuel pada Kondisi 4

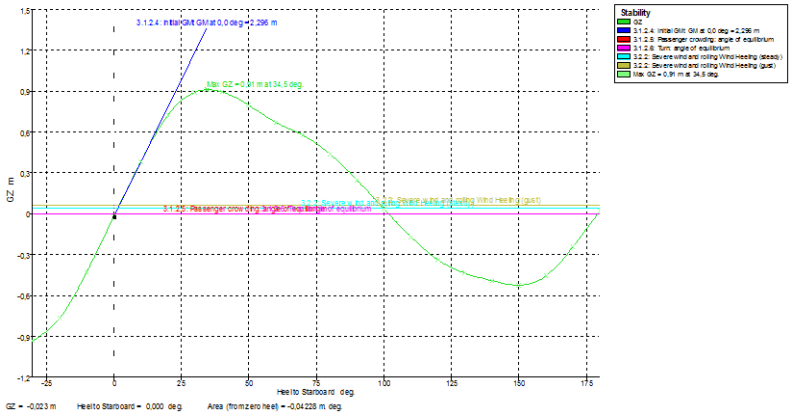
Pada kondisi keempat yaitu dengan Load Case Departure Full Load 98 % Bunker. Pada kapal harbortug ini menggunakan komponen – komponen yang dapat dilihat pada tabel 4.39

Tabel 4.39 Penaletakan komponen permesinan tanpa sistem dual fuel kondisi 4

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	LWT	1	600,910	600,910			15,430	0,000	4,630	0,000	User Specified
2	CREW	1	1,000	1,000			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
3	PROVISION STORE	1	0,770	0,770			25,600	0,000	4,426	0,000	User Specified
4	FWT - P	**98%**	11,422	11,194	11,422	11,194	1,001	2,483	4,180	0,000	Maximum
5	FWT - S	**98%**	11,422	11,194	11,422	11,194	1,001	-2,483	4,180	0,000	Maximum
6	NO.3 FO TANK - P	**98%**	5,787	5,671	6,690	6,556	9,712	-4,771	3,082	0,000	Maximum
7	NO.3 FO TANK - S	**98%**	5,787	5,671	6,690	6,556	9,712	4,771	3,082	0,000	Maximum
8	FO DAY TANK - P	**98%**	6,556	6,425	7,579	7,428	9,500	-4,853	4,510	0,000	Maximum
9	FO DAY TANK - S	**98%**	6,556	6,425	7,579	7,428	9,500	4,853	4,510	0,000	Maximum
10	NO.2 FO TANK - C	**98%**	19,760	19,365	22,844	22,387	17,547	0,000	0,869	0,000	Maximum
11	SLUDGE TANK	**10%**	3,967	0,397	4,723	0,472	19,988	0,000	0,153	4,473	Maximum
12	FF SC - P	**10%**	3,505	0,351	3,420	0,342	22,225	-2,417	0,590	0,513	Maximum
13	SEWAGE T	**10%**	6,464	0,646	6,306	0,631	22,398	-0,649	0,265	1,365	Maximum
14	BILGE T	**10%**	6,464	0,646	6,306	0,631	22,398	0,649	0,265	1,365	Maximum
15	FF SC - S	**10%**	3,505	0,351	3,420	0,342	22,225	2,417	0,590	0,513	Maximum
16	DISP T	**98%**	4,185	4,102	4,083	4,002	21,713	4,710	3,076	0,000	Maximum
17	LO T	**98%**	9,159	8,975	9,955	9,756	23,000	0,000	3,025	0,000	Maximum
18	FOAM TANK	**98%**	0,189	0,185	0,184	0,180	20,573	-4,380	1,128	0,000	Maximum
19	NO.1 FO TANK - PS	**98%**	46,444	45,515	53,692	52,619	25,318	1,903	2,661	0,000	Maximum
20	NO. 1 FO TANK - SB	**98%**	46,448	45,519	53,697	52,624	25,318	-1,903	2,661	0,000	Maximum
21	NO.1 FW TANK - C	**98%**	20,584	20,172	23,796	23,320	29,398	0,000	2,988	0,000	Maximum
22	Ballast T - C	**0%**	10,669	0,000	10,409	0,000	30,522	0,000	0,753	0,000	Maximum
23	**Total Loadcase**			**795,484**	**254,218**	**217,659**	**16,545**	**0,023**	**4,195**	**8,229**	
24	**FS correction**								**0,010**		
25	**VCG fluid**								**4,205**		

A. Free Trim to Loadcase pada Kondisi 4

Setelah memasukkan loadcase, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa stabilitas dengan cara running fungsi large angle stability terhadap model yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan software Maxsurf Stability. Sebelum melakukan running, perlu dilakukan pemilihan criteria sesuai dengan rule yang ada yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.16



Gambar 4.16 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 4

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 4, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.40

Tabel 4.40 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - free trim pada kondisi 4

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,932	-0,767	-0,428	-0,023	0,382	0,723	0,892	0,894	0,797	0,672	0,578	0,438	0,249	0,036
Area under GZ curve from zero heel m.deg	16,9617	8,3651	2,2725	-0,0423	1,8123	7,4426	15,6730	24,7123	33,2221	40,5531	46,8026	51,9300	55,3911	56,8227
Displacement t	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5	795,4	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5
Draft at FP m	3,799	3,917	4,016	4,054	4,016	3,916	3,799	3,591	3,208	2,471	0,771	-4,131	n/a	-15,740
Draft at AP m	4,244	4,172	4,172	4,179	4,172	4,173	4,243	4,500	4,942	5,649	7,041	11,101	n/a	5,205
WL Length m	33,061	33,089	32,917	32,791	32,917	33,089	33,061	33,231	33,453	33,541	33,549	33,563	33,558	33,721
Beam max extents on WL m	11,671	11,709	11,270	11,087	11,270	11,709	11,671	10,528	10,147	11,200	10,765	10,379	10,221	10,281
Wetted Area m^2	491,521	453,576	429,884	428,913	429,883	464,987	504,510	529,610	545,922	559,568	566,618	567,286	562,925	570,556
Waterpl. Area m^2	251,763	296,376	324,523	321,324	324,522	296,403	251,783	224,812	209,002	209,754	206,246	195,134	186,638	184,073
Prismatic coeff. (Cp)	0,610	0,599	0,597	0,596	0,597	0,599	0,610	0,628	0,645	0,645	0,621	0,601	0,587	0,572
Block coeff. (Cb)	0,392	0,429	0,501	0,518	0,501	0,429	0,392	0,401	0,396	0,352	0,356	0,344	0,327	0,304
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,523	16,534	16,538	16,539	16,538	16,533	16,524	16,504	16,474	16,441	16,393	16,351	16,312	16,273
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	17,012	16,025	15,280	15,202	15,280	16,026	17,013	17,865	18,449	19,078	19,415	19,216	18,910	18,691
KB m	3,070	2,873	2,713	2,654	2,713	2,873	3,070	3,261	3,446	3,659	3,939	4,210	4,453	4,680
KG fluid m	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205
Max deck inclination deg	30,0066	20,0040	10,0034	0,2136	10,0034	20,0041	30,0066	40,0147	50,0266	60,0371	70,0426	80,0313	90,0000	99,9410
Trim angle (+ve by stern) deg	0,7614	0,4372	0,2676	0,2136	0,2678	0,4390	0,7606	1,5543	2,9624	5,4188	10,6013	24,4511	90,0000	32,0142

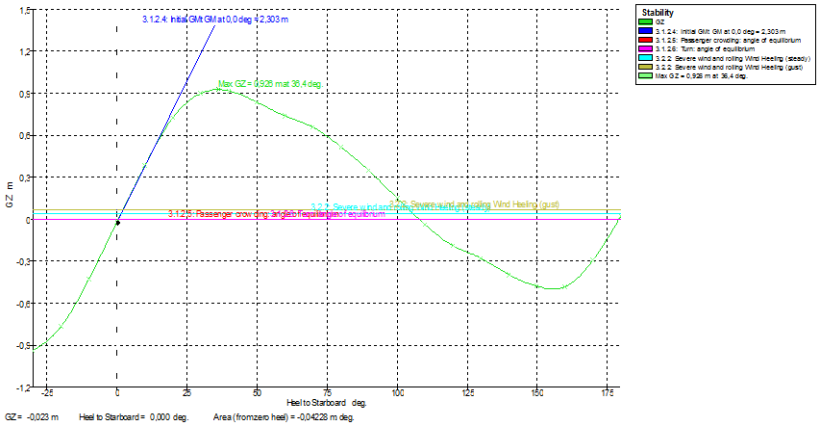
Setelah itu hasil analisa disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.41

Tabel 4.41 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - free trim sesuai IMO pada kondisi 4

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	15,6730	Pass	+397,35
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	24,7123	Pass	+379,24
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	9,0392	Pass	+425,87
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,910	Pass	+355,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	34,5	Pass	+38,18
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,296	Pass	+1430,67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,6	Pass	+94,35
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,6	Pass	+94,35
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,6	Pass	+90,16
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	14,55	Pass	+81,81
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	238,24	Pass	+138,24
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,910	Pass	+264,00

B. Fixed Trim pada Kondisi 4

Setelah itu dilakukan analisa dengan trim disetting dengan Fixed Trim dengan rule sama yaitu IMO code on Intact Stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships yang dapat dilihat pada gambar 4.17



Gambar 4.17 Grafik stabilitas tanpa dual fuel - free trim to loadcase pada kondisi 4

Berdasarkan grafik hasil perhitungan stabilitas pada kondisi 4, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.42

Tabel 4.42 Hasil perhitungan stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim pada kondisi 4

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
GZ m	-0,940	-0,769	-0,429	-0,023	0,383	0,725	0,900	0,917	0,836	0,739	0,657	0,517	0,346	0,151
Area under GZ curve from zero heel m.deg	17,0287	8,3845	2,2794	-0,0423	1,8190	7,4631	15,7371	24,9341	33,7489	41,6094	48,6086	54,5200	58,8535	61,3519
Displacement t	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5	795,5	795,4	795,5	795,5	795,5
Draft at FP m	4,018	4,050	4,101	4,122	4,101	4,050	4,018	4,015	3,987	3,837	3,408	2,272	n/a	-6,642
Draft at AP m	4,018	4,050	4,101	4,122	4,101	4,050	4,018	4,015	3,987	3,837	3,408	2,272	n/a	-6,642
WL Length m	33,162	33,149	32,936	32,820	32,936	33,149	33,162	33,540	33,754	33,843	33,847	33,850	33,876	33,994
Beam max extents on WL m	11,711	11,708	11,272	11,085	11,272	11,708	11,711	10,408	10,152	11,143	10,763	10,374	10,219	10,276
Wetted Area m^2	491,120	454,320	430,685	429,575	430,677	464,976	504,231	530,972	547,399	557,616	562,201	564,610	557,542	564,638
Waterpl. Area m^2	253,412	296,641	325,223	322,085	325,220	296,668	253,431	226,126	208,555	212,810	205,637	201,795	197,128	194,028
Prismatic coeff. (Cp)	0,606	0,595	0,594	0,594	0,594	0,595	0,606	0,622	0,643	0,624	0,598	0,576	0,556	0,537
Block coeff. (Cb)	0,389	0,428	0,498	0,515	0,498	0,428	0,389	0,404	0,397	0,360	0,383	0,417	0,424	0,385
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	16,798	16,731	16,681	16,654	16,681	16,731	16,798	16,950	17,130	17,341	17,565	17,737	17,881	18,052
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	17,068	16,089	15,361	15,254	15,361	16,090	17,069	17,882	18,318	19,087	19,323	19,502	19,437	19,227
KB m	3,073	2,873	2,713	2,654	2,713	2,873	3,073	3,273	3,469	3,706	4,001	4,279	4,551	4,809
KG fluid m	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205	4,205
Max deck inclination deg	30,0000	20,0000	10,0000	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	90,0000	100,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Setelah itu hasil analisa disesuaikan dengan criteria yang sesuai dengan IMO code on Intact Stability A.749 yang dapat dilihat pada tabel 4.43

Tabel 4.43 Analisa stabilitas tanpa dual fuel - fixed trim sesuai IMO pada kondisi 4

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	15,7371	Pass	+399,38
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	24,9341	Pass	+383,54
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	9,1971	Pass	+435,05
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,926	Pass	+363,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	36,4	Pass	+45,46
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,303	Pass	+1435,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,6	Pass	+94,37
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,6	Pass	+94,37
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,6	Pass	+90,21
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	13,62	Pass	+82,98
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	241,81	Pass	+141,81
4.1 Cargo ships carying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0,250	m	0,926	Pass	+270,40

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan pengurangan komponen permesinan LNG, berat kapal mengalami perubahan berat sebesar 49,705 ton dari 632,75 ton menjadi 583,05. Kemudian titik berat kapal secara memanjang (LCG) mengalami perubahan dari 15,375 meter menjadi 15,38 meter di depan AP. Kemudian titik berat secara vertikal (VCG) mengalami perubahan dari 4,426 meter menjadi 4,79 meter dari baseline
2. Setelah dilakukan analisa stabilitas akibat pengurangan terhadap komponen LNG, maka pada saat kondisi 1 diperoleh nilai GM = 2,351 meter menjadi GM = 2,181 meter dan stabilitasnya memenuhi criteria. Pada kondisi 2 diperoleh nilai GM = 1,965 meter menjadi GM = 2,009 meter dan stabilitasnya memenuhi criteria. Pada kondisi 3 diperoleh nilai GM = 2,054 meter menjadi GM = 2,134 meter dan stabilitasnya memenuhi criteria. Pada kondisi 4 diperoleh nilai GM = 2,286 meter menjadi GM = 2,296 meter dan stabilitasnya memenuhi criteria
3. Setelah dilakukan analisa stabilitas dengan perbedaan metode dengan menggunakan fixed trim dan free trim to loadcase, fixed trim memiliki nilai draft AP dan FP yang sama sedangkan free trim to loadcase memiliki nilai draft AP dan FP yang berbeda. Dihasilkan pada kondisi 1 diperoleh nilai dengan free trim to loadcase Max Gz = 1,15 m at 40,9^o dan diperoleh nilai dengan fixed trim Max Gz = 1,14 m at 41,8^o. kondisi 2 diperoleh nilai dengan free trim to loadcase Max GZ = 0,916 m at 39,1^o dan diperoleh nilai dengan fixed trim Max GZ = 0,909 m at 40°. Kondisi 3 diperoleh nilai dengan free trim to loadcase Max GZ = 0,973 m at 40° dan diperoleh nilai dengan fixed trim Max GZ = 0,98 m at 40°. kondisi 4 diperoleh nilai dengan free trim to loadcase Max GZ = 0,106 m at 40° dan diperoleh nilai dengan fixed trim Max GZ = 1,012 m at 40,9^o.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Sebaiknya juga memperhatikan efek dari stabilitas kapal yang ditarik oleh tugboat.
2. Untuk metode stabilitas sebaiknya juga dapat menganalisa tentang damage stability pada kapal hrabortug

DAFTAR PUSTAKA

Barras, Bryan, dan Derret D.R. (2006). Ship Stability for Masters and Mates. Chenai, India: Elsevier.

Biran, A.B., 2003. Ship Hydrostatics and Stability. USA: ButterworthHeinemann.

Scheltema, RF de Here, “Bouyancy and Stability of Ship”, George G. Harrap & Co Ltd, London, 1969 Machinery Instalation,Vol.III,” 2016.

D.G.M. Watson, “Practical Ship Design”, Chapter 4. weight base-design, Elsevier, Amsterdam, 1998

Lewis, E. V., 1988, Pricicles of Naval Architecture, Vol. I, Stability and Strength, SNAME, Jersey City, New Jersey.

Bernitsas and Kekridis, 1985 M.M. Bernitsas, N.S. Kekridis Simulation and stability of ship towing Int. Shipbuild. Prog., 32 (369) (1985), pp. 112-123

Saputra, Herman (2012). ANALISA STABILITAS DAN KEKUATAN TRANSVERSAL KAPAL PENUMPANG 94 PAX PENYEBRANGAN MUARA ANGKE KE PULAU TIDUNG, Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Indonesia, Depok.

B. Adrian, Ship Hydrodynamics and Stability. Butterworth Heinemann : Oxford, (2003).

IMO A.749, Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments. IMO Publication : London, (2002).

R. F. Scheltema de Heere, A. R. Bakker, “Bouyancy and Stability of Ships”,

George G. Harrap & Co.Ltd., London, 1970

K. Emin, Mehmet Atlar, Atilla Incecik. "An experimental study of motion behaviour with an intact and damaged Ro-Ro ship model". Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering, Istanbul, Technical University,Turkey .2003.

L. Damanik, I. P. Mulyatno, and B. A. Adietya, "KAJIAN TEKNIK KEKUATAN KONSTRUKSI KAPAL TUGBOAT 2 x 800 HP DENGAN METODE ELEMEN HINGGA," Jurnal Teknik Perkapalan, vol. 4, no. 1, Jan. 2016.

FRANCESCUTTO, A. The Intact Ship Stability Code:Present Status and Future Developments. 2nd International Conference on Marine Research and Transportation, Session A (2007): 199-208

Herlambang, Eko, Murtedjo (2013). "Analisis Perbandingan Stabilitas Dinamis Barge Menggunakan Flounder Plate dengan Single Lead Pendant Pada Operasi Towing". Jurnal Teknik POMITS, Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

W. J. Foster, T. B. Powell. Implications of Performing Tugboat Stability Analysis with Fixed Trim Assumptions (2010)

Rawson, K.J. and Tupper, R.C. 1968. Basic Ship Theory. Butterworth Heinemann : Oxford

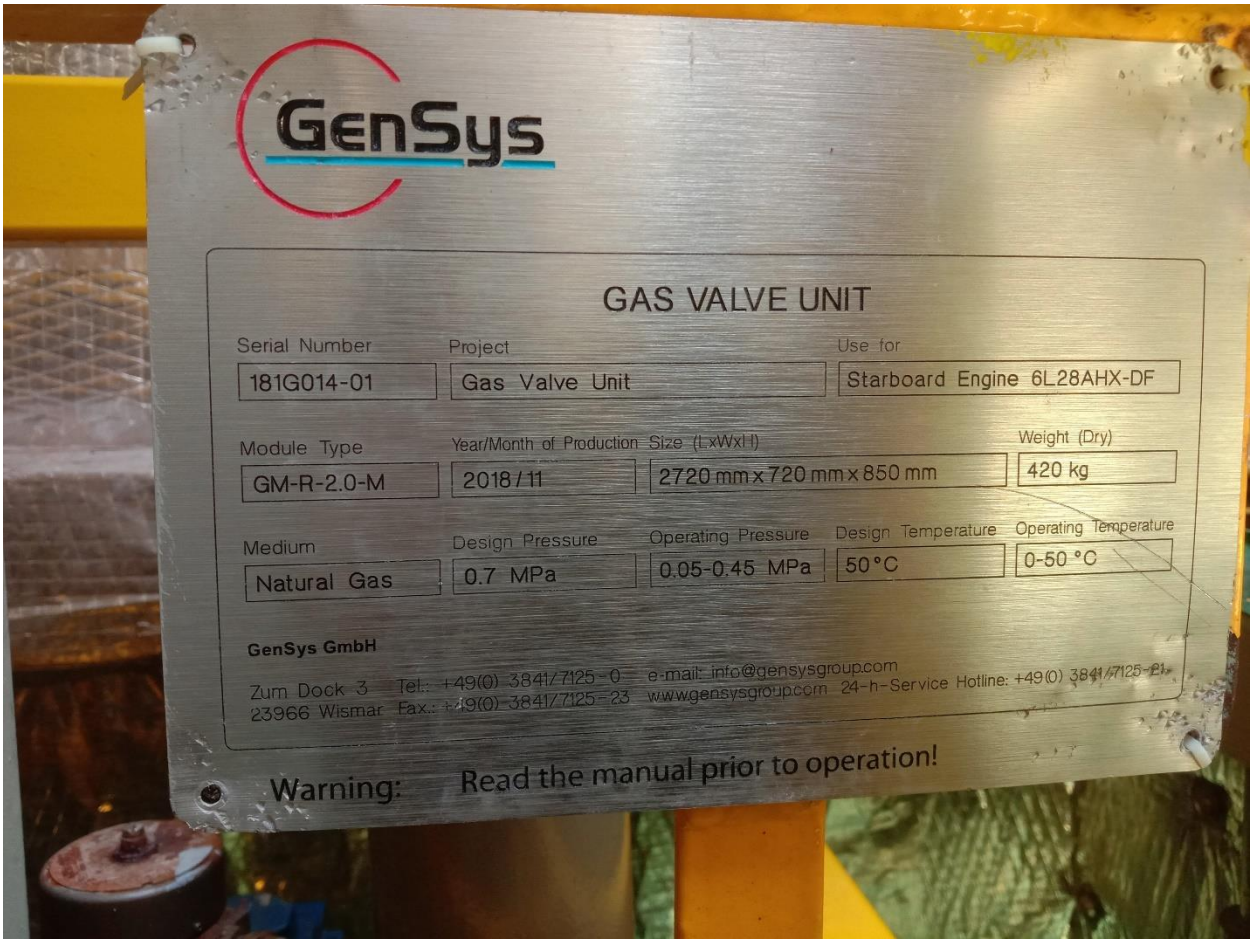
FRANCESCUTTO, A. The Intact Ship Stability Code: Present Status and Future Developments. 2nd International Conference on Marine Research and Transportation, Session A (2007): 199-208.

Halaman ini sengaja dikosongkan

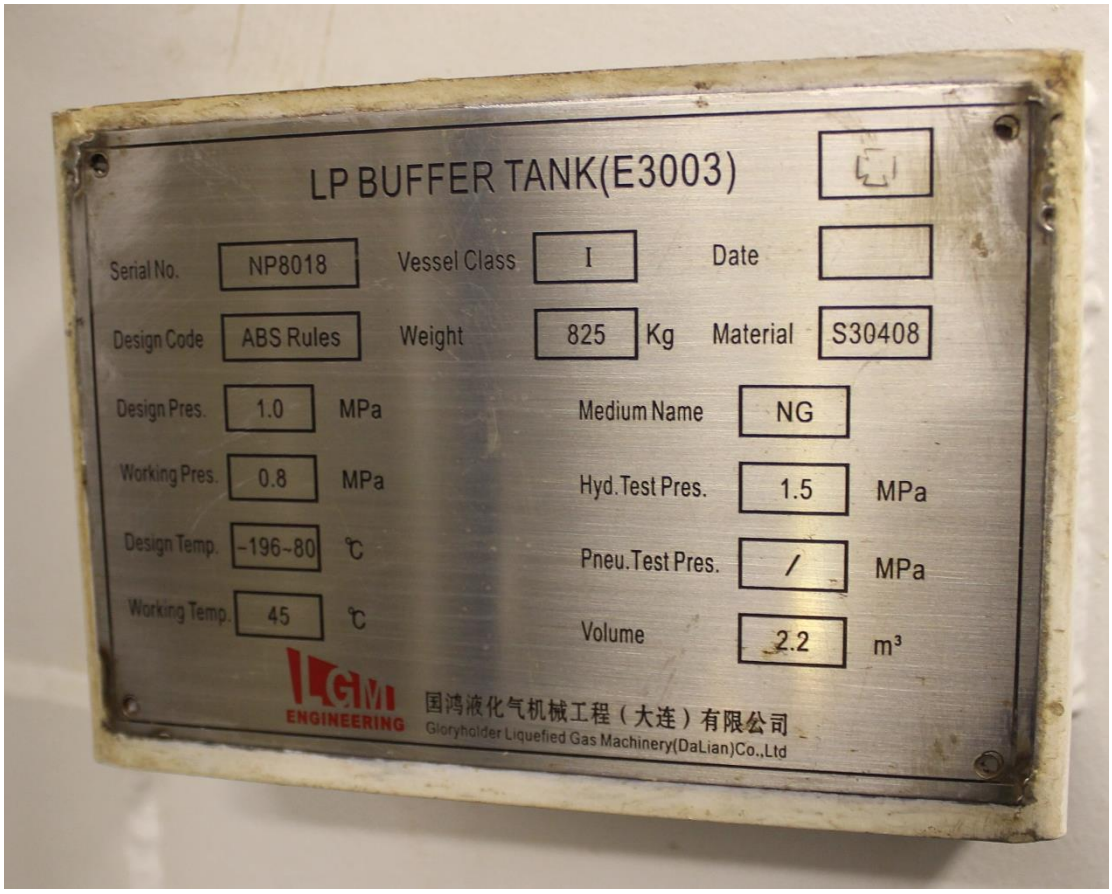
Lampiran 1 Specification LNG Vaporizer

TEMA Class	B 214-1219 NEN	Shell Side	Tube Side	Tubesheets
Design pressure	**bar**	3,4474	7,5842	
Vacuum design pressre	**bar**			
Test pressure	**bar**	7,5	15	
Design temperature	**°C**	60	-196	60
Vacuum design temperature	**°C**	60	-196	
Average metal temperature	**°C**	38,81	-71,86	-16,52
Min. design metal temperature	**°C**	-48	-48	
Corrosion allowance	**mm**			
Front tubesheet corrosion allow	**mm**			
Rear tubesheet corrosion allow	**mm**			
Radiographing		Spot	Spot	
Number of passes		1	1	
Nozzle flange rating				
Post weld heat treatment		Code	Code	
Code	ASME Section VIII Div.1 2015		TEMA 8th/9th Editions	
Weights	**Empty:** 137	**Full:**195	**Bundle:**73	**kgf**
	Operating: 173		**Material Standard:**ASME	2015

Lampiran 2 Specification Gas Valve Unit



Lampiran 3 Specification Buffer Tank



Lampiran 4 Specification LNG Tank

Tank Dimension		
Inner Tank	**Value**	
Diameter	4	m
Long	7.7	m
Outer Tank	**Value**	
Diameter	4.4	m
Long	8	m
Spesification Tank		
Part	**Material**	**Thickness**
Inner Shell	Austenitic SS 304	11 mm
Inner Head	Austenitic SS 304	17 mm
Outer Shell	Carbon Steel	5 mm
Outer Head	Carbon Steel	5 mm
Volume LNG tank	78.05 m^3	
Maximum LNG volume	66.3 m^3	
Insulation Method	Vacuum Insulation	
Gross Weight	16870 Kg	
Nett Weight	47000 Kg	
Aplicable law	Marine Vessels Safety	
Tank Form	Horizontal Cylindrical Double Walled	
Tank Type	Type-C Semi portable tank	
Load fluida	Liquified Natural Gas (LNG)	
Remarks		
Maximum LNG Payload	85% Of Full Volume	

Lampiran 5 Berat Jenis

No.	Item	Berat Jenis (t/m^3)
1.	Sea Water	1,025
2.	Fresh Water	1,000
3.	Fuel Oil	0,865
4.	Lube Oil	0,920
5.	Dirty Oil (Sludge)	0,840
6.	Black Water	1,025
7.	Foam Fire Shield Chemical	1,030
8.	LNG	0,455