TUGAS AKHIR – MN 184802

MODIFIKASI RUANG MUAT *ORE CARRIER* UNTUK MENGURANGI RISIKO TERBALIKNYA KAPAL AKIBAT LIKUEFAKSI

Steven Caramoy
NRP 04111640000011

Dosen Pembimbing
Hasanudin, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TUGAS AKHIR – MN 184802

MODIFIKASI RUANG MUAT *ORE CARRIER* UNTUK MENGURANGI RISIKO TERBALIKNYA KAPAL AKIBAT LIKUEFAKSI

Steven Caramoy
NRP 04111640000011

Dosen Pembimbing
Hasanudin, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

FINAL PROJECT – MN 184802

MODIFICATION OF ORE CARRIER HOLD TO REDUCE THE RISK OF SHIP CAPSIZING BY LIQUEFACTION

Steven Caramoy
NRP 04111540000011

Supervisor
Hasanudin, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI RUANG MUAT *ORE CARRIER* UNTUK MENGURANGI RISIKO TERBALIKNYA KAPAL AKIBAT LIKUEFAKSI

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

STEVEN CARAMOY
NRP 04111640000011

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing

Hasanudin, S.T., M.T.
NIP 19800623 200604 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

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

SURABAYA, 7 AGUSTUS 2020

LEMBAR REVISI

MODIFIKASI RUANG MUAT *ORE CARRIER* UNTUK MENGURANGI RISIKO TERBALIKNYA KAPAL AKIBAT LIKUEFAKSI

TUGAS AKHIR
Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 7 Agustus 2020

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

Oleh:

STEVEN CARAMOY
NRP 04111640000011

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. ……..……..……....
2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T. …….……..
3. Danu Utama, S.T., M.T. ...…..……..……..

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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

SURABAYA, 7 AGUSTUS 2020

Dipersembahkan kepada kedua orang tua dan adik atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Hasanudin, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan serta motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini dan selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
3. Bapak dan Ibu selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Ibu Siti Nur Hayati dan Bapak Suwoko, sebagai orang tua Penulis serta Ajeng selaku saudara kandung Penulis yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik materiil maupun motivasi kepada Penulis;

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

Surabaya, 7 Agustus 2020

Steven Caramoy

MODIFIKASI RUANG MUAT *ORE CARRIER* UNTUK MENGURANGI RISIKO TERBALIKNYA KAPAL AKIBAT LIKUEFAKSI

Nama Mahasiswa	:	Steven Caramoy
NRP	:	04111640000011
Departemen / Fakultas	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	:	Hasanudin, S.T., M.T.

ABSTRAK

Kapal sebagai salah satu moda transportasi penumpang maupun barang tidak lepas dari risiko terjadinya kecelakaan. *Bulk Carrier* sebagai salah satu penyumbang kecelakaan kapal terbesar kedua di dunia, telah menyumbang sedikitnya 48 kecelakaan kapal *Bulk Carrier* pada periode 2009-2018. Sembilan diantaranya disebabkan oleh pergeseran muatan akibat likuefaksi yang berujung dengan terbaliknya kapal. *Ore Carrier* merupakan salah satu jenis dari *Bulk Carrier* yang paling banyak mengalami kecelakaan kapal akibat likuefaksi. Oleh karena itu perlu dilakukan studi untuk mengetahui solusi dari masalah tersebut. Seperti insiden yang terjadi pada MV. Alam Manis, *Ore Carrier* yang memuat *nickel ore* dari Filipina menuju China. Pada 12 Juli 2015 mengalami pergeseran muatan akibat likuefaksi yang mengakibatkan kapal oleng dan hampir terbalik. Dari insiden tersebut dilakukan studi berupa modifikasi ruang muat untuk mengetahui solusi dari permasalahan tersebut. Modifikasi pada ruang muat meliputi, penambahan *hopper tank* memanjang kapal, pengaturan *angle of repose*, penambahan sekat memanjang di sepanjang ruang muat, penambahan sekat memanjang di ruang muat No.1, No.3, dan No.5, pengaturan distribusi muatan (ruang muat No.1 dan No.5 penuh), dan pengaturan distribusi muatan (ruang muat No.2 dan No.4 penuh). Selanjutnya dilakukan analisa stabilitas dan pengecekan stabilitas dengan peraturan dari IMO (IS Code 2008 dan IG Code). Dari enam modifikasi yang telah dilakukan, ada tiga yang memenuhi kriteria-kriteria yang disyaratkan yaitu, pengaturan *angle of repose*, penambahan sekat memanjang di sepanjang ruang muat, dan pengaturan distribusi muatan (ruang muat No.2 dan No.4 penuh). Dapat disimpulkan bahwa tiga opsi modifikasi tersebut merupakan solusi dari insiden pergeseran muatan akibat likuefaksi yang terjadi pada MV. Alam Manis dan *Ore Carrier* yang mengalami insiden serupa.

Kata kunci: likuefaksi, modifikasi, *ore carrier*, stabilitas.

MODIFIKASI RUANG MUAT *ORE CARRIER* UNTUK MENGURANGI RISIKO TERBALIKNYA KAPAL AKIBAT LIKUEFAKSI

Nama Mahasiswa	:	Steven Caramoy
NRP	:	04111640000011
Departemen / Fakultas	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	:	Hasanudin, S.T., M.T.

ABSTRACT

The ship as one of the modes of transportation of passengers and goods can not be separated from the risk of accidents. Bulk Carrier as one of the contributors to the second largest ship accident in the world, has contributed to at least 48 Bulk Carrier ship accidents in the period 2009-2018. Nine of them were caused by shifting cargo due to faction which ended with the reversal of the ship. Ore Carrier is one type of Bulk Carrier that has the most ship accidents due to liquidation. Therefore it is necessary to study to find out the solution of the problem. Like the incident that happened to the MV. Alam Manis, Ore Carrier which loaded nickel ore from the Philippines to China. On July 12, 2015, it experienced a shift in cargo due to liquidity which resulted in a ship crumbling and almost capsizing. From the incident, a study was carried out in the form of a modification of the loading space to find out the solution of the problem. Modifications to the cargo hold include the addition of a longitudinal hopper tank, setting the angle of repose, the addition of the longitudinal bulkhead along the cargo hold, the addition of the longitudinal bulkhead in cargo hold No.1, No.3, and No.5, the arrangement of the load distribution (cargo space No.1 and No.5 full), and load distribution arrangements (full load spaces No.2 and No.4). Furthermore, stability analysis and stability checking are carried out with regulations from IMO (IS Code 2008 and IG Code). Of the six modifications that have been made, there are three that meet the required criteria, namely, the setting of angle of repose, the addition of a longitudinal bulkhead along the cargo hold, and the load distribution arrangement (full cargo spaces No.2 and No.4). It can be concluded that the three modification options are a solution to the incident load shift due to liquefaction occurring in MV. Alam Manis and Ore Carrier who experienced a similar incident.

Kata kunci: liquefaction, modification, ore carrier, stability.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN v
LEMBAR REVISI vii
HALAMAN PERUNTUKAN ix
KATA PENGANTAR xi
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xv
DAFTAR ISI xvii
DAFTAR GAMBAR xxi
DAFTAR TABEL xxiii
DAFTAR SIMBOL xxv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Perumusan Masalah 1
1.3 Tujuan 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Manfaat 2
BAB 2 STUDI LITERATUR 3
2.1 Dasar Teori 3
2.1.1. Stabiltas Kapal 3
2.1.2. Likuefaksi 4
2.1.3. Stabilitas Grain 5
2.2 Tinjauan Pustaka 6
2.2.1 *Bulk Carrier* 6
2.2.2 Karakteristik Ruang Muat *Bulk Carrier* 7
2.2.3 Karakteristik *Nickel Ore* 8
2.2.4 Karakteristik Stabilitas Kapal Bulk Carrier 8
2.2.5 *Free Surface Moment* 9
2.2.6 *Angle of Repose* 10
BAB 3 METODOLOGI 13
4.1 Proses Pengejaan 13
4.1.1 Studi Literatur 13
4.1.2 Pengumpulan Data 13
4.1.3 Permodelan Ulang Kapal 13

4.1.4 Modifikasi Ruang Muat 13
4.1.5 Perhitungan Stabilitas 14
4.1.6 Pengecekan Kriteria Stabilitas 14
4.1.7 Penutup 14
4.2 Diagram Alir 14
BAB 4 PERMODELAN ULANG KAPAL 17
4.1 Permodelan Ulang Lambung 17
4.2 Permodelan Ulang Ruang Muat 18
4.3 Permodelan Ulang Bangunan Total 20
4.4 Kondisi Pembebanan Kapal 21
BAB 5 ANALISA DAN PEMBAHASAN 25
5.1. Perhitungan Stabilitas Awal 25
5.1.1. Stabilitas Kapal Sebelum Terjadi Pergeseran Muatan Akibat Likuefaksi 25
5.1.2. Stabilitas Kapal Setelah Terjadi Pergeseran Muatan Akibat Likuefaksi 29
5.2. Modifikasi *Hopper Tank* 35
5.1.1 Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal 35
5.1.2 Pengaturan *Angle of Repose* 39
5.3. Penambahan Sekat Memanjang 43
5.3.1 Sekat Memanjang di Sepanjang Ruang Muat 43
5.3.2 Sekat Memanjang di Ruang Muat No.1, No.3, dan No.5 46
5.4. Pengaturan Distribusi Muatan 50
5.4.1 Ruang Muat No.1 dan No.5 Penuh 50
5.4.2 Ruang Muat No.2 dan No.4 Penuh 54
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 59
6.1 Kesimpulan 59
6.2 Saran 60
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
LAMPIRAN A *SHIP SPECIFICATION*
LAMPIRAN B MODEL MV. ALAM MANIS
LAMPIRAN C VALIDASI MODEL TANGKI
LAMPIRAN D KONDISI PEMBEBANAN
LAMPIRAN E KURVA STABILITAS
LAMPIRAN F HASIL ANALISIS EQUILIBRIUM
LAMPIRAN G PERHITUNGAN KONSTRUKSI TAMBAHAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kondisi Kesetimbangan pada kapal: (a)Stabil; (b)Indeferen; (c)Labil 3
Gambar 2.2 Kondisi Kesetimbangan pada kapal: (a)Stabil; (b)Indeferen; (c)Labil 4
Gambar 2.3 Proses Terjadinya Likuefaksi.....5
Gambar 2.4 (a) Sebelum Dilakukan Tes, (b) Setelah Dilakukan Tes 5
Gambar 2.5 Kurva GZ dan koreksi stabilitas *grain* 6
Gambar 2.6 (a) Kontruksi Ruang Muat *Bulk Carrier*, (b) Penampang Melintang 7
Gambar 2.7 Jenis Ruang Muat Kapal *Bulk Carrier* 8
Gambar 2.8 Perubahan Stabilitas Kapal Akibat *Free Surface Moment* 9
Gambar 2.9 Pengaruh Konstruksi Tangki Terhadap *Free Surface*.....10
Gambar 2.10 Demonstrasi *Angle of Repose*: (a) Bijih Sorghum, (b) Bijih Chia 11
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan.....15
Gambar 4.1 Permodelan Lambung MV. Alam Manis.....18
Gambar 4.2 Permodelan Ruang Muat.....19
Gambar 4.3 MV. Alam Manis 20
Gambar 4.4 Model MV. Alam Manis 20
Gambar 4.5 Permodelan Tangki dan Ruangan MV. Alam Manis.....22
Gambar 5.1 Kurva GZ dengan Koreksi *Heeling Arm* 27
Gambar 5.2 Ilustrasi Kondisi Kapal Berangkat.....29
Gambar 5.3 Kondisi Muatan Setelah Kapal Oleng.....30
Gambar 5.4 Kurva GZ dengan Koreksi *Heeling Arm* saat Muatan Terlikuefaksi 32
Gambar 5.5 Ilustrasi Kapal Saat Muatan Terlikuifaksi 34
Gambar 5.6 Penampang Melintang Ruang Muat *Ore Carrier* 35
Gambar 5.7 Permodelan Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal 36
Gambar 5.8 Kurva GZ Koreksi *Heeling Arm* Setelah Penambahan *Hopper Tank* 37
Gambar 5.9 Permodelan Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal 39
Gambar 5.10 Kurva GZ Koreksi *Heeling Arm* Setelah Pengaturan *Angle of Repose* 41
Gambar 5.11 Permodelan Penambahan Sekat Memanjang di Sepanjang Ruang Muat.....43
Gambar 5.12 Kurva GZ Koreksi *Heeling Arm* Setelah Disepanjang Ruang Muat.....45
Gambar 5. 13 Permodelan Sekat Memanjang pada Ruang Muat No.1, No.3, No.5 47
Gambar 5.14 Kurva GZ Koreksi *Heeling Arm* Setelah di Ruang Muat No.1,No.3,No.5 48
Gambar 5.15 Permodelan Sekat Memanjang pada Ruang Muat No.1, No.3, No.5 51
Gambar 5.16 Kurva GZ Koreksi *Heeling Arm* Setelah (Ruang Muat No.1No.5 Penuh) 52
Gambar 5.17 Permodelan Sekat Memanjang pada Ruang Muat No.1, No.3, No.5 54
Gambar 5.18 Kurva GZ Koreksi *Heeling Arm* Setelah (Ruang Muat No.2No.4 Penuh) 56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 *Angle of Repose* dari Beberapa Material Curah 11
Tabel 4.1 Ukuran Utama MV. Alam Manis..... 17
Tabel 4.2 Validasi Model Lambung 18
Tabel 4.3 *Stowage Plan* 19
Tabel 4.4 Masukan pada *Room Definition WIndow*..... 21
Tabel 4.5 Pembebanan pada *Load Case Window* 22
Tabel 4.6 Validasi *Load Case* Kapal dengan *Load Case* Model..... 23
Tabel 5.1 Laporan Pengujian Muatan/*Flow Moisture Test* 26
Tabel 5.2 *Cargo Declaration* oleh Pengirim Muatan..... 26
Tabel 5.3 *Load Case* Kapal Berangkat 26
Tabel 5.4 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Kapal Berangkat..... 28
Tabel 5 5 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Kapal Berangkat 28
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Muatan Setelah Insiden Likuefaksi 31
Tabel 5.7 *Load Case* Kapal Setelah Muatan Terlikuefaksi 31
Tabel 5.8 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi 33
Tabel 5.9 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Kapal Saat Muatan Terlikuefaksi 33
Tabel 5.10 *Load Case* Setelah Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal 37
Tabel 5.11 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi 38
Tabel 5.12 Pemeriksaan Kriteria Setelah Penambahan *Hopper Tank* Memanjang 38
Tabel 5.13 *Load Case* Setelah Pengaturan *Angle of Repose* 40
Tabel 5.14 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi 42
Tabel 5.15 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Setelah Pengaturan *Angle of Repose* 42
Tabel 5.16 *Load Case* Setelah Pengaturan *Angle of Repose* 44
Tabel 5.17 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi 45
Tabel 5.18 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Setelah Pengaturan *Angle of Repose* 46
Tabel 5.20 *Load Case* Setelah Pengaturan *Angle of Repose* 48
Tabel 5.21 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi 49
Tabel 5.22 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Setelah Pengaturan *Angle of Repose* 50
Tabel 5.23 *Load Case* Setelah Pengaturan *Angle of Repose* 52
Tabel 5.24 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi 53
Tabel 5.25 Pemeriksaan Kriteria Setelah (Ruang Muat No.1 dan No.5 Penuh)..... 54
Tabel 5.26 *Load Case* Setelah Pengaturan *Angle of Repose* 55
Tabel 5.27 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi 57
Tabel 5.28 Pemeriksaan Kriteria Setelah (Ruang Muat No.2 dan No.4 Penuh)..... 57

DAFTAR SIMBOL

G = Titik berat kapal
B = Titik apung kapal
M = Titik Metasenter
K = Titik keel
GM = Jarak tegak antara titik G dengan titik M diukur pada bidang *center line* (m)
KM = Jarak tegak antara titik K dengan titik M diukur pada bidang *center line* (m)
RM = Momen penegak (ton.m)
GMt = Jarak tegak antara titik G dengan titik M diukur pada bidang *center line* tampak melintang kapal (m)
θ = Sudut oleng (˚)
V = Volume badan kapal yang tercelup air (m3)
WL = Garis bidang air
MR = Momen pengoleng (ton.m)
V0 = Kecepatan dinas (m/s)
L = Panjang garis air (m)
Δ = Displasmen (ton)
d = Sarat rata-rata (m)
KG = arak tegak antara titik K dengan titik G diukur pada bidang *center line* (m)
TCG = Jarak melintang antara titik G *lightship* dengan bidang *center line* (m)
VCG = Jarak tegak antara titik G *lightship* dengan bidang dasar kapal(m)

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kapal sebagai salah satu moda transportasi penumpang maupun barang tidak lepas dari risiko terjadinya kecelakaan. Meningkatnya kejadian kecelakaan transportasi laut di dunia beberapa tahun terakhir semakin memprihatinkan. Kecelakaan pada transportasi laut yang terjadi di dunia diantaranya tenggelamnya kapal, tabrakan antar kapal serta kebakaran kapal. Selama Periode 1990-2012, telah terjadi 10.841 kecelakaan kapal di perairan dunia diantaranya *General Cargo* (37.9%), *Bulk Carrier* (18%), *Passenger Ro-Ro Cargo* (8.8%), *Fishing Vessel* (5.6%), serta kapal lainnya (29.7%)(Papanikolaou et al., 2014).

Bulk Carrier sebagai salah satu penyumbang kecelakaan kapal terbesar kedua di dunia, telah menyumbang sedikitnya 48 kecelakaan kapal *Bulk carrier* pada periode 2009-2018. Sembilan diantaranya disebabkan oleh proses pemuatan yang salah dan likuefaksi . Hal tersebut dapat terjadi karena likuefaksi dapat menyebabkan pergeseran muatan, sehingga desain ruang muat awal tidak dapat mengatasi perilaku dari muatan yang berakibat pada kondisi stabilitas kapal (*Intercargo_Nickel_Ore.Pdf*, n.d.).

Berdasarkan data dan fakta tersebut, maka perlu dilakukannya studi untuk mengetahui solusi dari penyebab kecelakaan. Tahap studi yang dilakukan adalah modifikasi *hopper tank*, sekat ruang muat, dan skenario pemuatan *Ore Carrier*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui modifikasi ruang muat yang dapat memenuhi persyaratan stabilitas kapal oleh IMO. Sehingga dapat digunakan sebagai pembelajaran untuk mengatisipasi agar tidak terjadi hal serupa pada *Ore Carrier* lainnya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam Tugas Akhir ini. Perumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pemodelan *Ore Carrier*?
2. Bagaimana modifikasi *hopper tank* untuk mengurangi risiko terbaliknya kapal akibat likuefaksi?
3. Bagaimana penambahan sekat memanjang untuk mengurangi risiko terbaliknya kapal akibat likuefaksi?

4. Bagaimana pengaturan distribusi muatan untuk mengurangi risiko terbaliknya kapal akibat likuefaksi?
5. Apakah stabilitas kapal mememuhi persyaratan oleh IMO setelah modifikasi *hopper tank*, penambahan sekat memanjang, dan pengaturan distribusi muatan?

1.3 Tujuan

Dalam pengerjaan Tugas Akhir memiliki tujuan. Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana pemodelan *Ore Carrier*.
2. Mengetahui modifikasi *hopper tank* untuk mengurangi risiko terbaliknya kapal akibat likuefaksi.
3. Mengetahui penambahan sekat memanjang untuk mengurangi risiko terbaliknya kapal akibat likuefaksi.
4. Mengetahui pengaturan distribusi muatan untuk mengurangi risiko terbaliknya kapal akibat likuefaksi.
5. Mengetahui hasil analisa stabilitas kapal telah memenuhi persyaratan oleh IMO setelah modifikasi *hopper tank*, penambahan sekat memanjang, dan pengaturan distribusi muatan.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini terdapat beberapa batasan masalah. Batasan masalah dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah dari referensi.
2. Analisis yang dilakukan hanyalah analisis stabilitas statis.
3. Tidak dilakukan analisis *seakeeping* dan kekuatan memanjang kapal.
4. Tidak dilakukan analisis ekonomis

1.4 Manfaat

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini diharapkan dapat diambil manfaat yang berguna untuk perkembangan ilmu pengetahuan. Manfaat yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

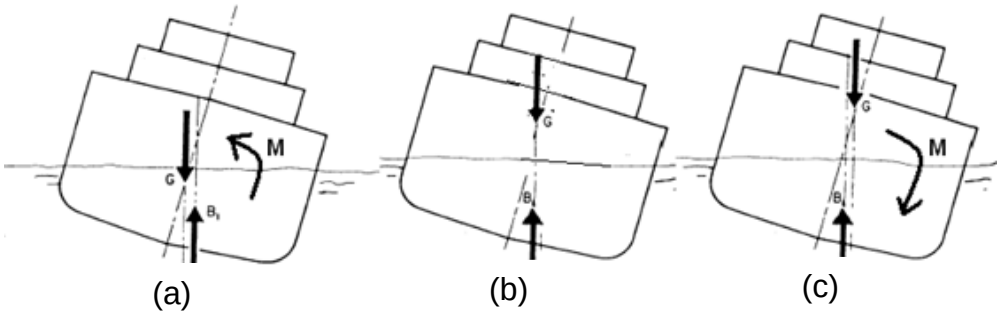
1. Bermanfaat sebagai referensi bagi regulator, operator kapal, badan klasifikasi, serta semua pihak yang terkait agar tidak terjadi kecelakaan dengan penyebab serupa.
2. Bermanfaat sebagai pembelajaran untuk mengetahui kondisi kapal saat proses pemuatan dan berlayar.

BAB 2
STUDI LITERATUR

2.1 Dasar Teori

2.1.1. Stabiltas Kapal

Dalam mengerjakan tugas akhir ini dasar teori yang digunakan yaitu stabilitas kapal. keadaan seimbang kapal terjadi jika jumlah gaya dan jumlah momen yang bekerja pada kapal terhadap suatu titik besarnya sama dengan nol. Pada saat kapal mengapung lalu dikenai oleh suatu gaya dari luar maka kapal akan oleng dan akan mengalami kondisi stabil, indeferen, atau labil yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kondisi Kesetimbangan pada kapal: (a)Stabil; (b)Indeferen; (c)Labil

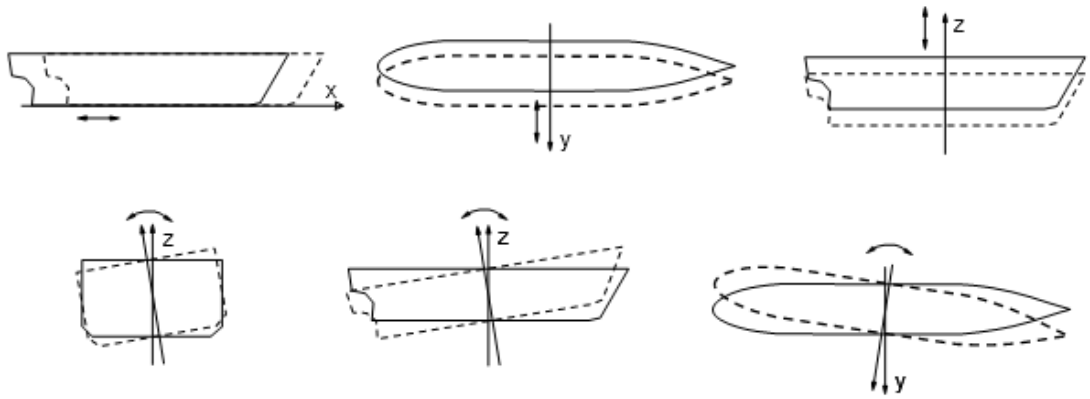
Keseimbangan disebut stabil jika setelah pengaruh luar hilang, benda bergerak kembali ke kedudukan semula. Keseimbangan disebut indiferen atau netral jika setelah pengaruh luar hilang/tidak ada, benda tidak kembali ke kedudukan semula, tetapi tetap diam pada kedudukannya yang baru. Keseimbangan disebut labil jika setelah pengaruh luar hilang/tidak ada, benda tidak kembali ke kedudukan semula, tetapi bergerak terus menjauhi kedudukan semula.Pada saat kapal oleng, gaya B yang arahnya ke atas dan gaya G yang arahnya ke bawah tidak berada pada satu garis vertikal. Hal ini terjadi karena letak titik G tidak berubah sedangkan titik B berpindah (Semyonov-Tyan-Shansky, 1966).

Ketika sebuah kapal terapung kapal akan memberikan 6 jenis respon gerakan sebuah kapal yang dikenal dengan 6 derajat kebebasan (Chen, 2015). Hubungan antara stabilitas dengan 6 derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

1) Gerakan translasi ke arah sumbu Z atau heave memiliki keseimbangan stabil.

2) Gerakan translasi ke arah sumbu X dan Y atau surge dan sway memiliki keseimbangan netral atau indiferen.
3) Gerakan rotasi memutari sumbu Z (vertikal) atau yaw memiliki keseimbangan netral atau indiferen.
4) Gerakan rotasi memutari sumbu X dan Y atau heel dan pitch: tidak tentu, mungkin keseimbangan stabil, labil atau netral.

Stabilitas yang dibahas hanyalah stabilitas berdasarkan gerakan rotasi pada sumbu X dan sumbu Y karena keadaan seimbangannya tidak tentu. Ilustrasi dari 6 derajat kebebasan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kondisi Kesetimbangan pada kapal: (a)Stabil; (b)Indeferen; (c)Labil

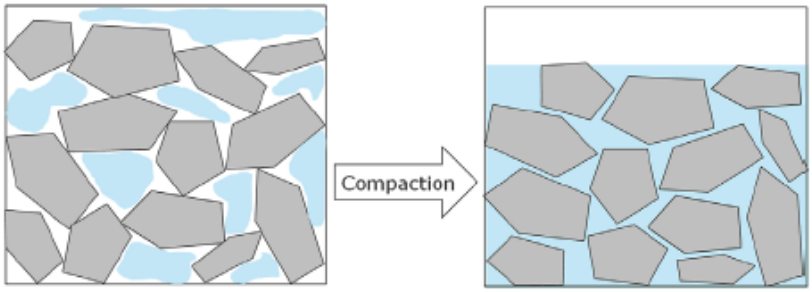
Dalam dunia perkapalan, terdapat dua stabilitas kapal, yaitu *Intact Stability* dan *Damage Stability*. *Intact stability* adalah perhitungan stabilitas kapal utuh (tidak bocor) yang dihitung pada beberapa kondisi tangki untuk tiap-tiap derajat kemiringan kapal. Sedangkan *damage stability* adalah perhitungan kapal bocor yang dihitung pada beberapa kondisi untuk tiap-tiap derajat kemiringan. Sebuah kapal memiliki kriteria yang harus dipenuhi yang diatur oleh IMO *Intact Stability Code* 2008.

2.1.2. Likuefaksi

Likuefaksi adalah fenomena berubahnya kondisi material secara tiba-tiba dari kering ke basah. Dalam jenis muatan yang dapat terlikuifsksi, terdapat dua campuran partikel kecil dan besar, keduanya tercampur oleh kelembapan, air dan udara. Ketika muatan dalam kondisi kering, partikel akan saling terikat satu sama lain.

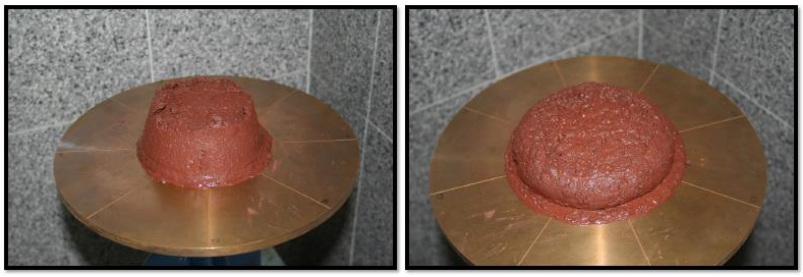
Selama pelayaran, muatan akan terpadatkan karena gerakan kapal, pengaruh gelombang, dan getaran lainnya. Hal ini meningkatkan tekanan air dan menekan udara keluar, sehingga campuran partikel muatan yang terikat hanya air dan partikel muatan. Setelah terjadi

pemadatan, karena hilangnya udara dalam campuran, partikel muatan lebih mudah bergerak karena komposisi air dalam campuran menghilangkan ikatan antar partikel. Proses likuefaksi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses Terjadinya Likuefaksi

Muatan yang dinyatakan likuefaksi tidak boleh dimuat dan berlayar, hal ini dikarenakan sifat muatan yang sudah berubah, dapat dengan mudah bergerak dapat berpengaruh pada stabilitas kapal. oleh karena itu, kontrol terhadap muatan harus benar-benar diperhatikan. Kontrol yang digunakan adalah dengan menentukan *moisture content* tidak boleh melebihi *transportable moisture limit* yang didapatkan dari percobaan laboratorium. Metode tes yang dilakukan adalah *flow table test, penetration test,* dan *proctor/fagerberg test.* Hasil dari *flow table test* dapat dilahat pada Gambar 2.4. Suatu muatan dapat dikatakan terlikuefaksi jika *moisture content* melebihi *transportable moisture limit*. Penjelasan lebih lanjut mengenai metode test likuefaksi tertuang dalam IMSBC Code, *Appendix* 2 (DNV, n.d.).



(a) (b)

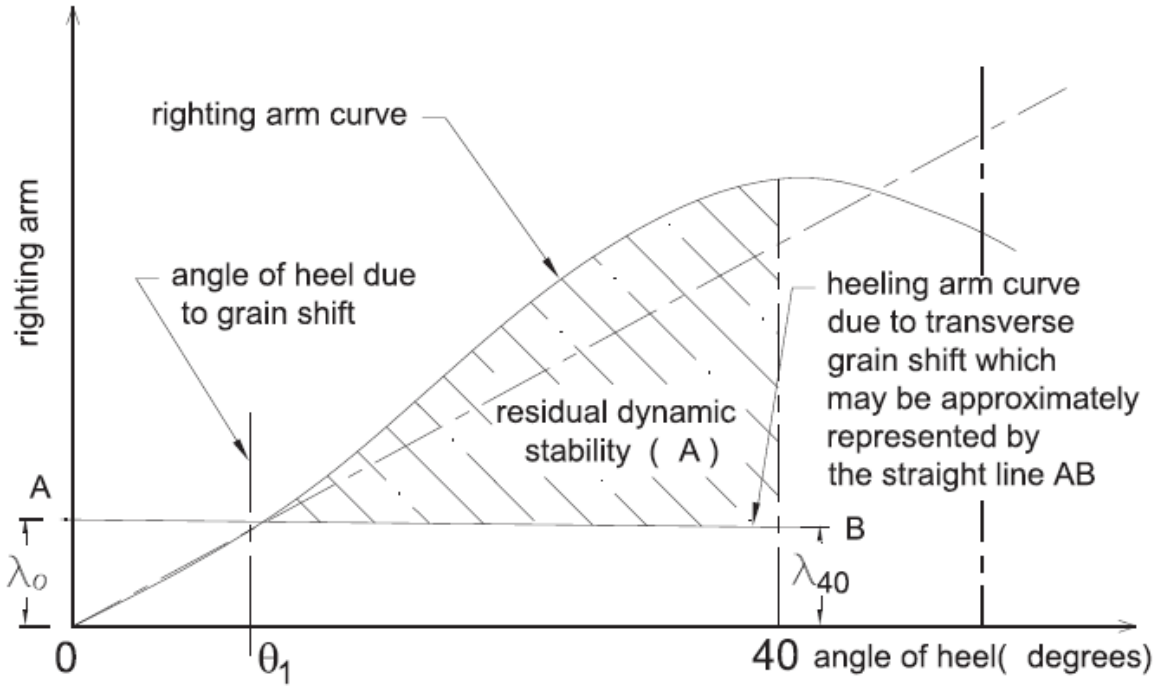
Gambar 2.4 (a) Sebelum Dilakukan Tes, (b) Setelah Dilakukan Tes Menunjukkan Terjadi Likuefaksi

2.1.3. Stabilitas Grain

Stabilitas grain adalah koreksi stabilitas yang terjadi ketika muatan jenis *grain* mengalami pergeseran muatan yang diakibatkan oleh beberapa hal seperti likuefaksi, ruang muat yang terisi sebagian, dan oleng kapal. koreksi dilakukan dengan menambahkan *heeling arm curve* yang terjadi ketika pergeseran muatan. Ketika ruang muat terisi sebagian, muatan diasumsikan akan bergeser 25° secara horizontal. Stabilitas *grain* dihitung menggunakan aturan dari IMO International Grain Code yang memiliki kriteria- kriteria sebagai berikut (Lee, 2017):

i) Sudut *heel* akibat pergeseran muatan tidak boleh lebih dari 12°;

ii) Dalam diagram stabilitas statis yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, *residual area* antara *heeling arm curve* dan *righting arm curve* sampai antara kurva sudut *heel* akibat pergeseran muatan dan sudut 40° atau "*angle of flooding* (θf)", tidak boleh kurang dari 0.075 m.rad;



Gambar 2.5 Kurva GZ dan koreksi stabilitas *grain*

iii) Tinggi *initial metacentric* setelah koreksi *free surface area* dari tangki cair, tidak boleh kurang dari 0.30 m.

dimana:

$$\lambda_0 = \frac{\text{assumed volumetric heeling moment due to transverse shift}}{\text{stowage factor} \times \text{displacement}}$$

$\lambda_{40} = 0{,}8 \times \lambda_0$

θ_1 = sudut *heel* akibat pergeseran muatan (*degrees*)

θ_f = sudut *flooding* (*degrees*)

2.2 Tinjauan Pustaka

2.2.1 *Bulk Carrier*

Bulk Carrier adalah kapal yang dirancang untuk mengangkut kargo curah *unpackaged*, seperti batu bara dan semen. Adapun kelebihan dari kapal ini mempunyai daya angkut yang besar. Kapal *Bulk Carrier* merupakan kapal barang yang berfungsi untuk mengangkut barang-

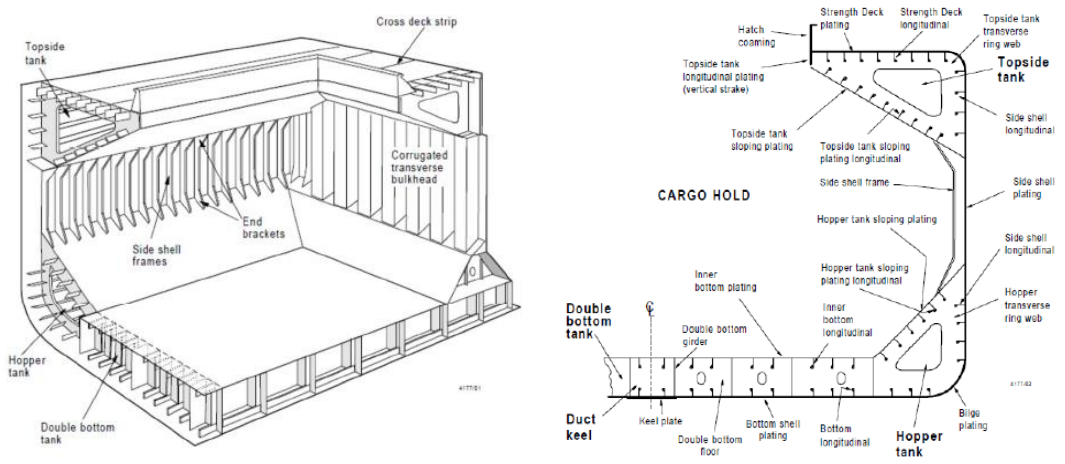
barang seperti batu bara, semen, biji-bijian, bijih logam, dan sebagainya di dalam ruang muat yang terpisah. Kapal ini memiliki fungsi mengangkut muatan curah. Dikatakan curah karena cara meletakkan muatan dengan cara mencurahkan/menuangkan butiran/biji-bijian. Produk muatan yang berbentuk curah terdiri dari berbagai macam. Berdasarkan jenis muatannnya *Bulk Carrier* terbagi atas beberapa kelompok yaitu:

- *Grain Carrier* (biji tumbuh-tumbuhan)
- *Ore Carrier* (bijih tambang)
- *Coal Carrier* (disingkat: *collier*) atau muatan batu bara
- *Oil-ore Carrier*, muatan yang diangkut batu bara dan minyak secara bergantian
- *Coal-ore Carrier*, memuat batu bara dan bijih besi secara bergantian (Soares & Teixeira, 2000).

Sedangkan menurut SOLAS definisi *Bulk Carrier* adalah kapal yang umumnya memiliki konstruksi *single deck, topside tank* dan *hopper side tanks* pada ruang muat. Utamanya digunakan untuk memuat muatan curah dan berbagai macam jenis *ore*. Muatan curah padat berarti material apapun selain cairan atau gas yang terdiri dari kombinasi partikel atau potongan material yang lebih besar, umumnya dalam komposisi seragam.

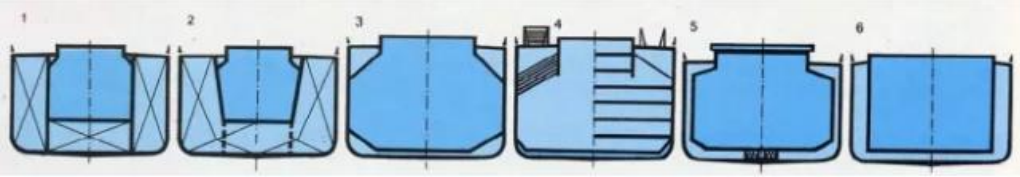
2.2.2 Karakteristik Ruang Muat *Bulk Carrier*

Secara umum struktur pengaturan *Bulk Carrier* menggunkan satu dek dengan *double bottom, hopper tank,* sisi tunggal dengan frame, *topside tank,* dan ambang palkah. Karakteristik konstruksi dan penampang melintang ruang muat ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan jenis-jenis ruang muat *Bulk Carrier* pada Gambar 2.7 (Mosaad et al., n.d.)



(a) (b)

Gambar 2.6 (a) Kontruksi Ruang Muat Kapal *Bulk Carrier*, (b) Penampang Melintang Ruang Muat Kapal *Bulk Carrier*



Gambar 2.7 Jenis Ruang Muat Kapal *Bulk Carrier*

2.2.3 Karakteristik *Nickel Ore*

Bijih nikel adalah muatan non-homogen dengan ukuran partikel sangat bervariasi. Hal ini menciptakan masalah bagi laboratorium ketika mencoba menentukan *flow moisture point* dimana (Batas Kelembaban yang dapat Diangkut/TML) dihitung. Oleh karena itu, dokumentasi pengiriman yang diperlukan, kadar air aktual, dan TML mungkin sangat tidak akurat.

Tambang-tambang di mana muatan *nickel ore* diambil sangat sederhana dan terletak di lokasi yang sangat terpencil, sehingga menyulitkan surveyor dan ahli untuk mendatanginya. Selain itu, tidak mudah untuk menguji sampel kargo secara independen karena kurangnya laboratorium yang andal. Bijih nikel ditambang dari tambang terbuka dan disimpan di area terbuka di mana timbunan rentan terhadap hujan lebat dan kelembaban tinggi sebelum pengiriman. Dalam beberapa kasus, bijih diangkut langsung dari tambang ke kapal.

Penjemuran timbunan memiliki efek terbatas dan tidak lebih dari mengeringkan area permukaan bijih. Tidak ada pemrosesan lebih lanjut. Bijih biasanya dimuat ke dalam tongkang dan dipindahkan ke operator *Bulk Carrier* yang menunggu di area lego jangkar. Meskipun muatan yang dibawa mungkin terlihat kering, ini tidak menunjukkan bahwa kargo tersebut benar-benar aman untuk diangkut (Nahumariri & Hasanudin, 2019).

2.2.4 Karakteristik Stabilitas Kapal Bulk Carrier

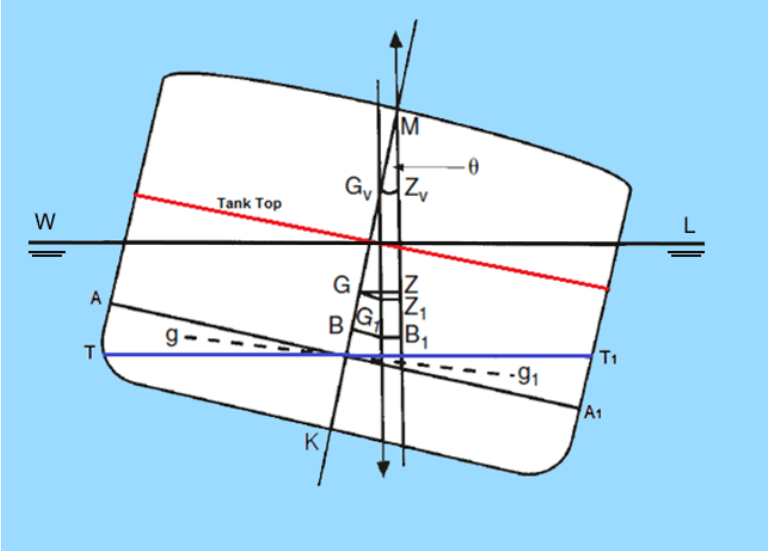
Kriteria stabilitas berdasarkan peraturan IMO untuk *Bulk Carrier* yang disyaratkan adalah sebagai berikut:

1. Luas di bawah kurva GZ dari 0˚-30˚ tidak boleh kurang dari 0,055 meter-radian.
2. Luas di bawah kurva GZ tidak boleh kurang dari 0,09 meter-radian kemiringan 0˚-40˚.
3. Luas dibawah kurva GZ antara sudut 30˚ dan 40˚ tidak boleh kurang dari 0,03 meter-radian.
4. Pada sudut ≥ 30˚, lengan lurus GZ harus sekurang-kurangnya 0,20 meter.
5. GZ maksimum terjadi pada sudut miring lebih dari 30˚, tetapi tidak kurang dari 25˚.
6. Tinggi metasenter awal, GM_0 tidak boleh kurang dari 0,15 meter.
7. Ketika dimasukkan kriteria angin dan oleng, sudut kemiringan tidak boleh lebih dari 16˚.

8. Ketika dimasukkan kriteria angin dan oleng, *heeling angle* dibagi *downflooding angle* tidak boleh lebih dari 80%.
9. Ketika dimasukkan kriteria angin dan oleng, luas dibawah kurva GZ dari 0˚- sudut maksimum GZ dibagi luas kurva diatas GZ tidak boleh kurang dari 100% .

2.2.5 *Free Surface Moment*

Ketika tangki atau kompartemen apa pun terisi sebagian, gerakan cairan (karena gerakan memutar dan melempar kapal) akan mengurangi stabilitas kapal. Karena ketika kapal miring, cairan dalam tangki bergeser ke sisi bawah tangki, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Perubahan Stabilitas Kapal Akibat *Free Surface Moment*

Pada gambar di atas, tangki kapal memanjang dari kanan ke kiri tangki (ditunjukkan dengan warna merah), dan hanya terisi sebagian. Ketika kapal dalam posisi tegak lurus, permukaan cairan bebas dalam tangki ditampilkan sebagai AA1. Ketika kapal condong ke sudut tertentu (katakanlah ‘theta’) permukaan cairan yang bebas sekarang berubah menjadi TT1. Juga, pusat daya apung bergeser dari ‘B’ ke ‘B1’.

Sebagai akibat dari perubahan berat dalam kapal, pusat gravitasi kapal sekarang bergeser dari 'G' ke 'G1'. Efek dari pergeseran cairan ini mengakibatkan bobot yang dihasilkan dari seluruh sistem bekerja melalui titik virtual yang jauh lebih tinggi daripada pusat gravitasi aktual kapal. Jadi KG yang dihasilkan meningkat, sehingga mengurangi ketinggian metasentrik kapal. Penurunan ketinggian metasentrik ini, atau kenaikan CG kapal disebabkan oleh efek permukaan bebas, yang mengurangi stabilitas kapal atau bahkan membuatnya tidak stabil.

Pengurangan dalam ketinggian metasentrik karena efek permukaan bebas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\textit{Reduction in GM due to free surface effect} = \frac{\rho_L}{\rho_S} \times \frac{I_L}{\nabla_S}$$

Dengan:

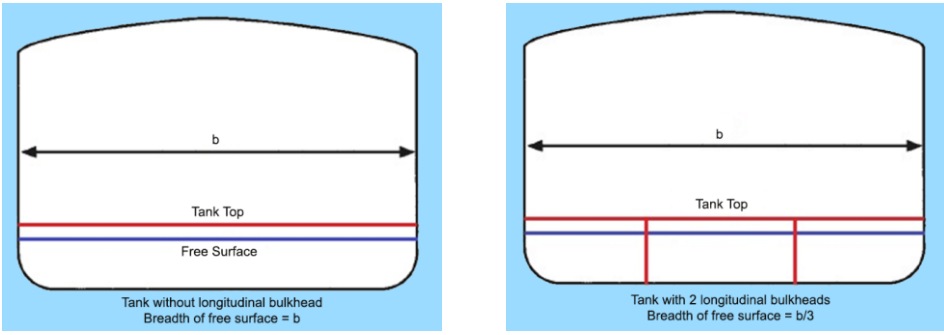
ρ_L = Densitas cairan dalam tangki.

ρ_S = Densitas air laut.

I_L = Area momen permukaan bebas di garis tengah memanjang tangki

∇_S = Massa air laut yang dipindahkan

Untuk mencapai hal ini, prioritas desain selama desain tangki adalah untuk mengurangi momen longitudinal dari permukaan bebas dengan memberikan sekat longitudinal dalam tangki yang memiliki luas permukaan yang besar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 (Cercos-Pita et al., 2016).

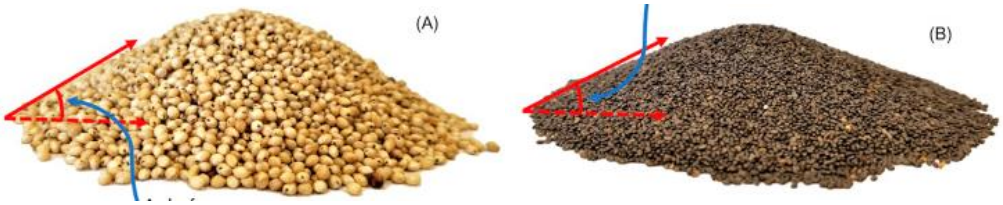


(a) (b)

Gambar 2.9 Pengaruh Konstruksi Tangki Terhadap *Free Surface*: (a) Tanpa Sekat, (b) Dengan Dua Sekat Memanjang

2.2.6 *Angle of Repose*

Angle of repose adalah sifat fisik yang digunakan untuk karakterisasi sebagian besar makanan partikulat seperti biji, biji-bijian, tepung, bubur jagung, dan buah-buahan. Ketika butiran padat tertumpuk di permukaan yang rata, menghasilkan sudut dari berhentinya butiran-butiran tersebut jatuh (Lihat Gambar 2.10). Sudut ini disebut *angle of repose* material. *Angle of repose* penting untuk desain pemrosesan, penyimpanan, dan sistem pengangkutan bahan partikulat. Ketika butiran halus dan bulat, *angle of repose*nya rendah. Untuk bahan yang sangat halus dan lengket, *angle of repose* cukup tinggi. Bahan dengan *angle of repose* yang rendah sangat mengalir dan dapat diangkut menggunakan gaya gravitasi atau sedikit energi (Teferra, 2019).



(a) (b)

Gambar 2.10 Demonstrasi *Angle of Repose*: (a) Bijih Sorghum, (b) Bijih Chia

Beberapa *angle of repose* dari beberapa material curah disajikan pada Tabel 2.1 (Al-Hashemi & Al-Amoudi, 2018).

Material (condition)	Angle of repose
Ashes	40°
Asphalt (crushed)	30–45°
Bark (wood refuse)	45°
Chalk	45°
Clay (dry lump)	25–40°
Clover seed	28°
Coconut (shredded)	45°
Coffee bean (fresh)	35–45°
Earth	30–45°
Flour (corn)	30–40°
Flour (wheat)	45°
Granite	35–40°
Gravel (crushed stone)	45°
Gravel (natural w/ sand)	25–30°
Malt	30–45°
Sand (dry)	34°
Sand (water filled)	15–30°
Sand (wet)	45°
Snow	38°
Wheat	27°

Tabel 2.1 *Angle of Repose* dari Beberapa Material Curah

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3
METODOLOGI

4.1 Proses Pengejaan

Proses pengerjaan Tugas Akhir dibagi menjadi beberapa tahapan sebagai berikut:

4.1.1 Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan pembelajaran dan pengumpulan referensi teori-teori yang berkaitan dengan analisis serta hal-hal yang berkaitan dengan karakteristik *Ore Carrier*. Referensi dapat berupa buku, jurnal, *e-book*, berita, Tugas Akhir sebelumnya yang masih berkaitan, dan berbagai sumber dari internet.

4.1.2 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan sebelum tahap analisis. Data yang dikumpulkan adalah data sekunder yang relevan serta mencakup segala aspek yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Data yang didapat yaitu, kasus kecelakaan MV. Alam Manis. Kapal yang berlayar dari Filipina menuju China mengalami pergeseran muatan akibat likuefaksi sehingga menyebabkan kapal oleng dan hampir terbalik. Insiden ini akan dijadikan pembahasan dalam penelitian ini dengan memodifikasi ruang muatnya. Dari studi kasus MV. Alam Manis, didapatkan data ukuran utama dan *stowage plan.*

4.1.3 Permodelan Ulang Kapal

Permodelan ulang MV. Alam Manis dibuat berdasarkan data ukuran utama dan *stowage plan*. Dilakukan permodelan yang meliputi permodelan lambung, permodelan ruang muat, permodelan bangunan atas, dan permodelan pembebanan kapal. Proses permodelan dibantu dengan menggunakan perangkat Maxsurf Modeller dan Maxsurf Stability. Skala yang digunakan dalam pembuatan model adalah 1:1 sehingga ukuran model sama dengan ukuran kapal yang sebenarnya.

4.1.4 Modifikasi Ruang Muat

Modifikasi ruang muat dilakukan pada MV. Alam Manis, dengan beberapa jenis modifikasi ruang muat yang akan digunakan sebagai solusi dari masalah stabilitas kapal. Beberapa jenis modifikasi yang akan dilakukan yaitu modifikasi *hopper tank* (penambahan

hopper tank memanjang kapal dan pengaturan *angle of repose*), penambahan sekat memanjang (di sepanjang ruang muat dan di ruang muat No.1, No.3, dan No.5), dan pengaturan distribusi muatan (ruang muat No.1, No.5 penuh dan ruang muat No.2, No.4 penuh).

4.1.5 Perhitungan Stabilitas

Perhitungan stabilitas dilakukan pada saat insiden MV. Alam Manis dan kondisi setelah modifikasi ruang muat, menggunakan perangkat Maxsurf Stability. Perhitungan stabilitas dilakukan dengan memasukkan data berat dan titik berat masing-masing komponen kapal.

4.1.6 Pengecekan Kriteria Stabilitas

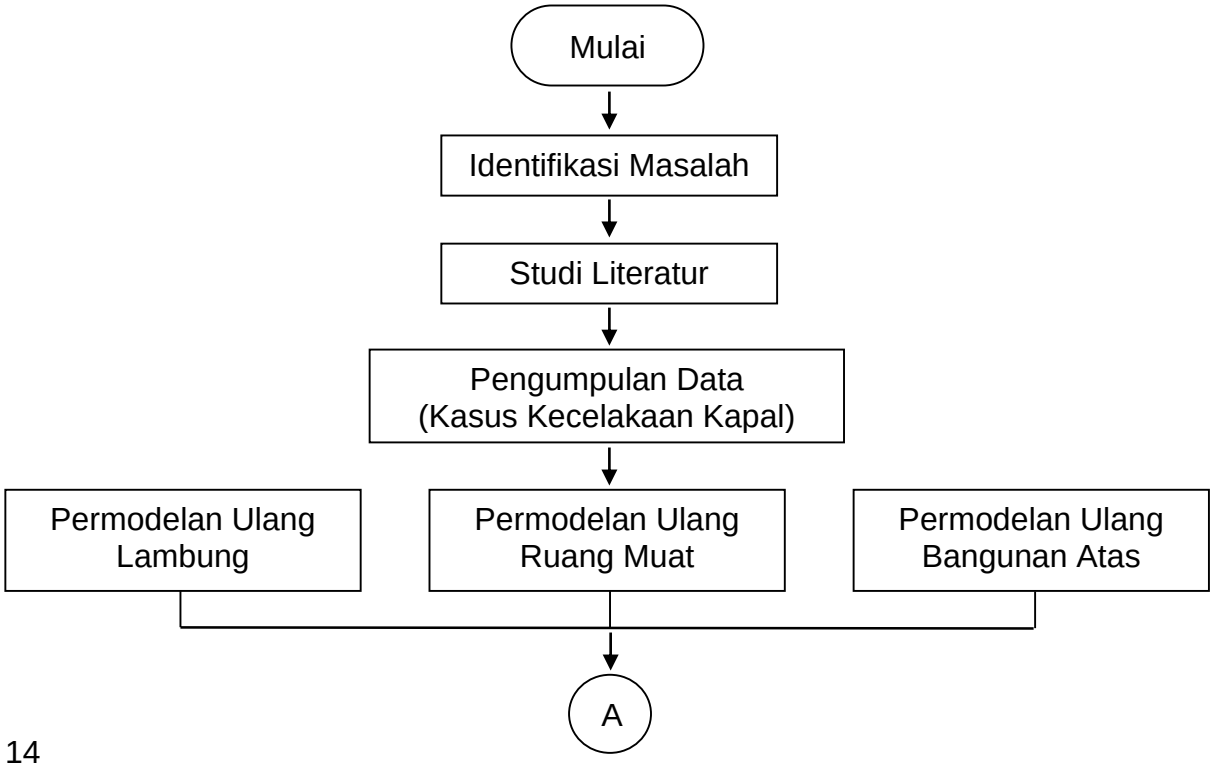
Pengecekan kriteria stabilitas bertujuan untuk mengetahui hasil perhitungan stabilitas setelah modifikasi ruang muat, memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh IMO dalam Intact Stability Code 2008 dan International Grain Code atau tidak.

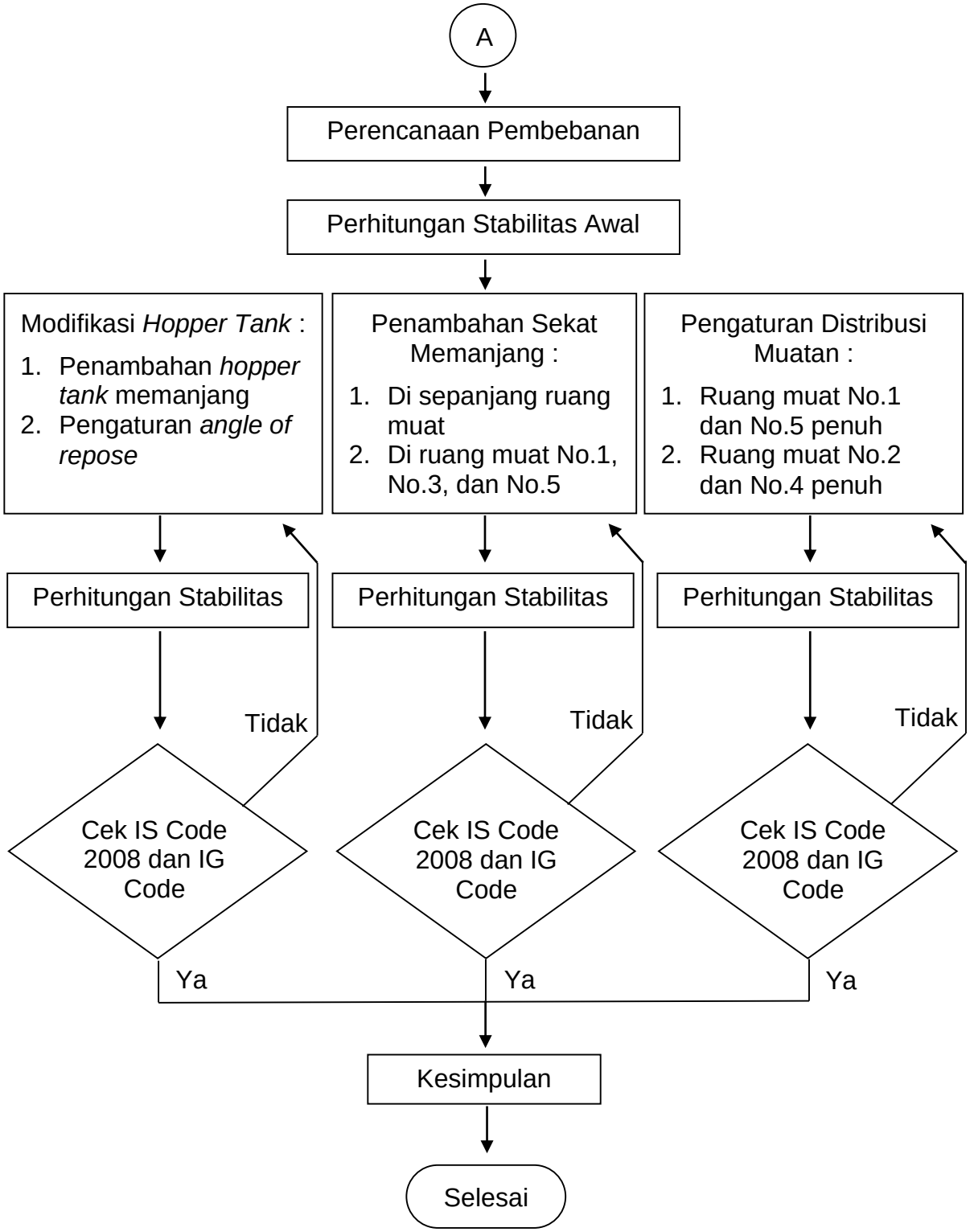
4.1.7 Penutup

Pada bagian penutup, dilakukan penarikan kesimpulan berupa kondisi stabilitas kapal sebelum dan sesudah modifikasi ruang muat, serta hal-hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keselamatan kapal. Pada tahap ini juga terdapat saran yang berisi tentang hal-hal yang dapat dikembangkan dari penelitian ini.

4.2 Diagram Alir

Diagram alir dalam pengerjaan Tugas Akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4
PERMODELAN ULANG KAPAL

Permodelan MV. Alam Manis dibuat berdasarkan data-data yang telah didapatkan. Dilakukan permodelan yang meliputi permodelan lambung, permodelan ruang muat, permodelan bangunan atas, dan permodelan pembebanan kapal. Permodelan MV. Alam Manis dibuat berdasarkan data ukuran utama, *stowage plan*, dan *laboratory test result of cargo*. Proses permodelan dibantu dengan menggunakan *software* Maxsurf Modeler dan Maxsurf Stability. Skala yang digunakan dalam pembuatan model adalah 1:1 sehingga ukuran model sama dengan ukuran kapal yang sebenarnya.

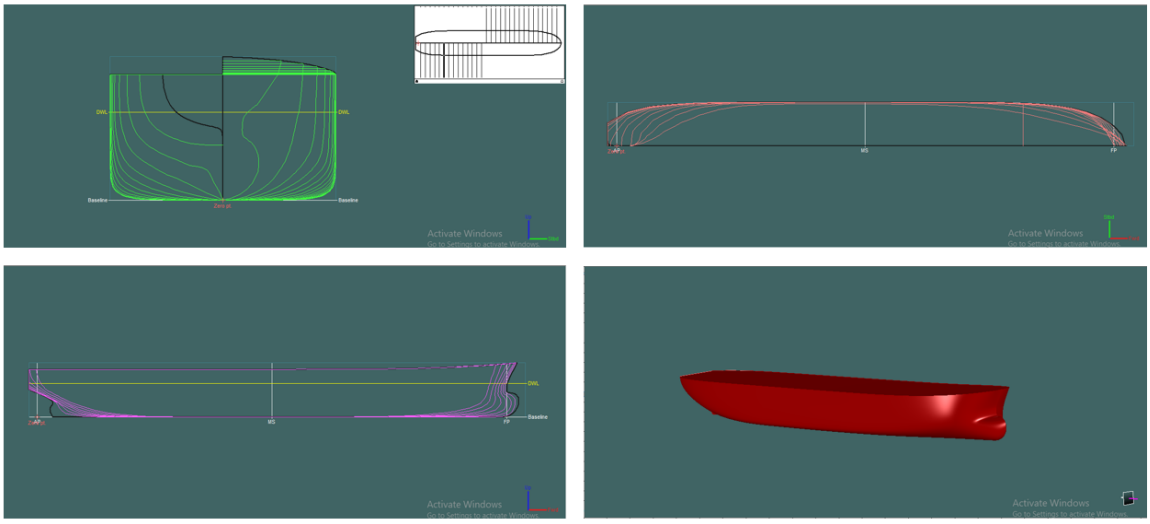
4.1 Permodelan Ulang Lambung

Bentuk lambung kapal yang dimodelkan didapat dari data ukuran utama yang dijadikan acuan pada Maxsurf Modeller, sehingga model lambung dapat dengan mudah dibuat sesuai kondisi sebenarnya. Model lambung terlebih dahulu dibuat sesuai dengan bentuk kapal *ore carrier* kemudian model disesuaikan dengan data ukuran utama yang dapat dilihat pada Tabel 4.1. Permodelan lambung MV. Alam Manis dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Ukuran Utama MV. Alam Manis

Principal particular		
Length overall (LOA)	189.99	m
Length between perpendicular	182.00	m
Breadth (Mld)	32.26	m
Depth to upper deck (Mld)	17.90	m
Draft summer	12.575	m
Deadweight at summer draft	55,625	MT

Untuk dapat mengetahui apakah model lambung yang dibuat sudah mendekati kapal yang sebenarnya, maka perlu dilakukan validasi. Validasi dilakukan pada model lambung kapal dengan toleransi 0.2% agar model yang dibuat sesuai dengan kapal yang sebenarnya. Validasi model dilakukan dengan cara menyesuaikan data ukuran utama model dengan data ukuran utama kapal yang didapat saat pengumpulan data. Validasi model lambung dapat dilihat pada Tabel 4.2.



Gambar 4.1 Permodelan Lambung MV. Alam Manis

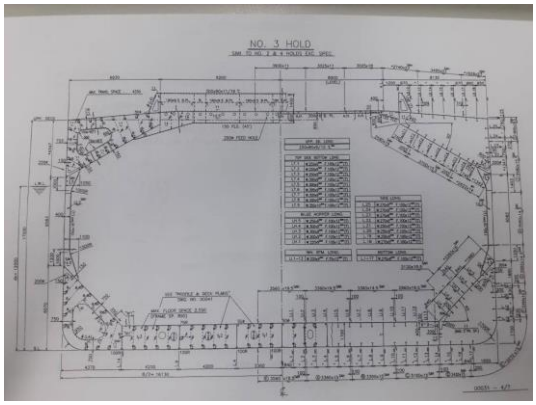
Tabel 4.2 Validasi Model Lambung

No.	Ukuran Utama	Kapal	Model	Selisih	Status
1.	LOA	189.99	189.99	0%	OK
2.	LBP	182.00	182.00	0%	OK
3.	B	32.26	32.26	0%	OK
4.	H	17.90	17.90	0%	OK
5.	T	12.575	12.575	0%	OK
6.	DWT	55,625	55,625	0%	OK

4.2 Permodelan Ulang Ruang Muat

Ruang muat MV. Alam Manis yang dimodelkan dibuat berdasarkan *stowage plan* kapal yang dapat dilihat pada Tabel 4.3. Yang perlu diperhatikan dalam menentukan posisi tiap-tiap ruang muat adalah penyesuaian gambar yang dicocokkan dengan jarak gading dari MV. Alam Manis. Penentuan jarak gading diperlukan untuk dapat menentukan koordinat ujung-ujung dari ruang muat. Jarak gading yang sebelumnya tidak diketahui harus dicari dan ditentukan terlebih dahulu dengan membandingkan gambar dengan ukuran utamanya. Penentuan jarak gading dibantu dengan bantuan perangkat CAD agar jarak gading yang diukur pada model dapat diketahui dengan lebih presisi. Dengan cara tersebut, didapat bahwa jarak gading yang digunakan pada MV. Alam Manis adalah 0.6 m.

Bentuk konstruksi ruang muat dibuat berdasarkan penampang melintang ruang muat MV. Nur Allya yang merupakan *sistership* dari MV. Alam Manis, sehingga model ruang muat dapat dibuat dengan presisi. Penampang melintang ruang muat MV. Nur Allya dapat dilihat pada Gambar 4.2.

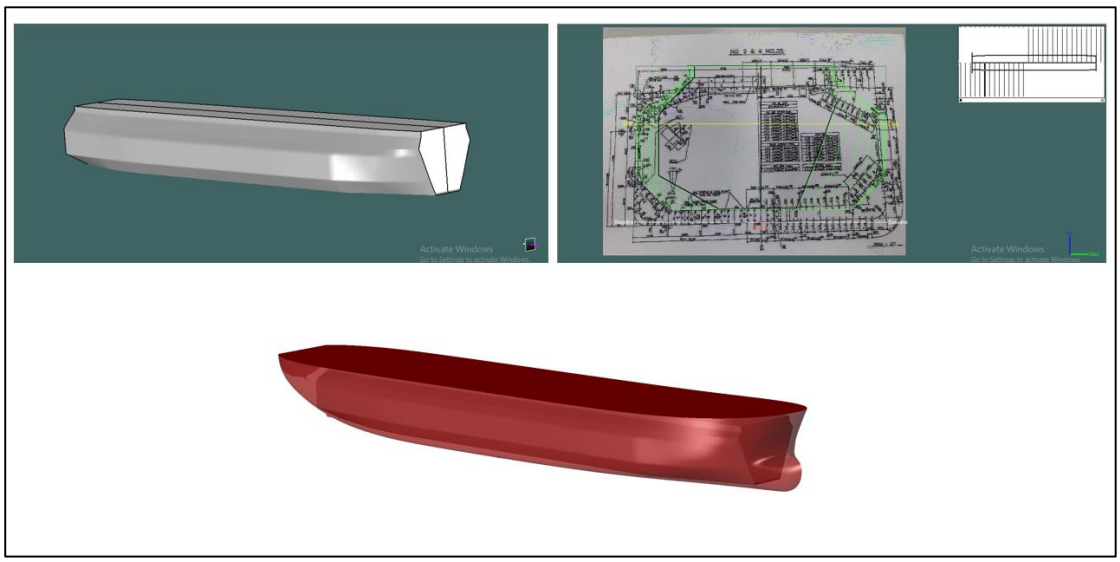


Gambar 4.2 Penampang Melintang MV. Nur Allya
5

Tabel 4.3 *Stowage Plan*

Cargo Hold	Location (Fr. No.)	Capacity (m^3)	Loaded (tonne)	% (Vol)
No.1 Hold	167-201	12713.6	9619	48.42
No.2 Hold	133-167	14711.3	11421	49.69
No.3 Hold	99-133	14653.4	10033	43.82
No.4 Hold	65-99	12711.3	11406	49.62
No.5 Hold	31-65	14026.2	11326	51.63
Total	-	70815.8	53795	-

Pada Maxsurf Modeller, penampang melintang ruang muat MV. Nur Allya dimasukkan sebagai *image background* pada *body plan view* sehingga bentuk model dapat mendekati dengan bentuk ruang muat kapal sebenarnya, penyesuaian bentuk model dilakukan dengan cara menggeser *control point* mendekati garis-garis pada *image background*. Sekat tiap ruang muat dibuat dengan *section surface* disesuaikan dengan posisi gading-gading dari data *stowage plan*. Permodelan ruang muat MV. Alam Manis dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.3 Permodelan Ruang Muat

4.3 Permodelan Ulang Bangunan Total

Setelah model kapal telah dikoreksi dan divalidasi, maka langkah selanjutnya adalah dilakukan permodelan bangunan atas MV. Alam Manis. Permodelan bangunan atas dilakukan untuk tujuan visualisasi kondisi kapal agar penyampaian lebih mudah dan dapat dibayangkan dengan jelas. Permodelan dibantu dengan perangkat Maxsurf Modeller. Terlebih dahulu model lambung yang telah dibuat diimpor ke Maxsurf Modeller. Setelah itu bangunan atas, penutup palka, dan *crane* dibuat menyesuaikan dengan ukuran kapal sebenarnya yang dapat dilihat pada Gambar 4.3. Permodelan MV. Alam Manis lengkap dengan bangunan atas dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Gambar 4.4 MV. Alam Manis

Gambar 4.5 Model MV. Alam Manis

4.4 Kondisi Pembebanan Kapal

Kondisi pembebanan pada model kapal dibantu dengan menggunakan perangkat Maxsurf Stability pada bagian *Room Definition Window*. Hal ini bertujuan untuk membuat ruangan yang nanti akan dijadikan masukan dalam kondisi pembebanan kapal. Terlebih dahulu harus didefinisikan tipe dari ruangan yang dimodelkan apakah tangki, kompartemen, atau tipe ruangan lain yang. Pembuatan ruangan cukup dilakukan dengan memasukkan batas atau ujung-ujung tiap tangki yang akan dimodelkan, karena secara otomatis bentuk terluar tangki akan mengikuti bentuk *surface* yang dalam hal ini adalah *surface* pada ruang muat kapal. Masukan pada saat pemodelan ruangan dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan permodelan ruangan dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Tabel 4.4 Masukan pada *Room Definition Window*

	Name	Type	Intact	Dama	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port	F.Stbd.	F.Top	F.Bott.
1	Cargo Hold 1	Tank	95	85	1.7			143.45	174.99	-15	15	20	1.69
2	Cargo Hold 2	Tank	95	85	1.7			112.4	143.45	-15	15	20	1.69
3	Cargo Hold 3	Tank	95	85	1.7			81.4	112.4	-15	15	20	1.69
4	Cargo Hold 4	Tank	95	85	1.7			50.2	81.4	-15	15	20	1.69
5	Cargo Hold 5	Tank	95	85	1.7			18	50.2	-15	15	20	1.69
6	Accomodation	Compar	85	85			none	-3.181	17.5	-15	15	19	1.69
7	Collosion Hold	Compar	85	85			none	175	182	-15	15	19	1.69

Berat jenis muatan dimasukkan untuk dapat menentukan berat muatan dalam tangki, dalam hal ini berat jenis muatan *ore* adalah 1.7 ton/m³. Hasil pembebanan kapal akan secara otomatis akan keluar pada bagian *Load Case Window* yang dapat dilihat pada Tabel 4.5. Volume muatan dalam tangki diubah menyesuaikan dengan data dari *stowage plan* kapal. Namun, dari data yang didapatkan tidak mencantumkan berat dari *lightship* kapal, sehingga perlu dihitung dengan rumus pendekatan hasil dari regresi oleh Kalokairinos:

LS = Lightship Bulk Carrier

$= 6.5134 \times DWT^{0.677895}$

$= 6.5134 \times 55625^{0.677895}$

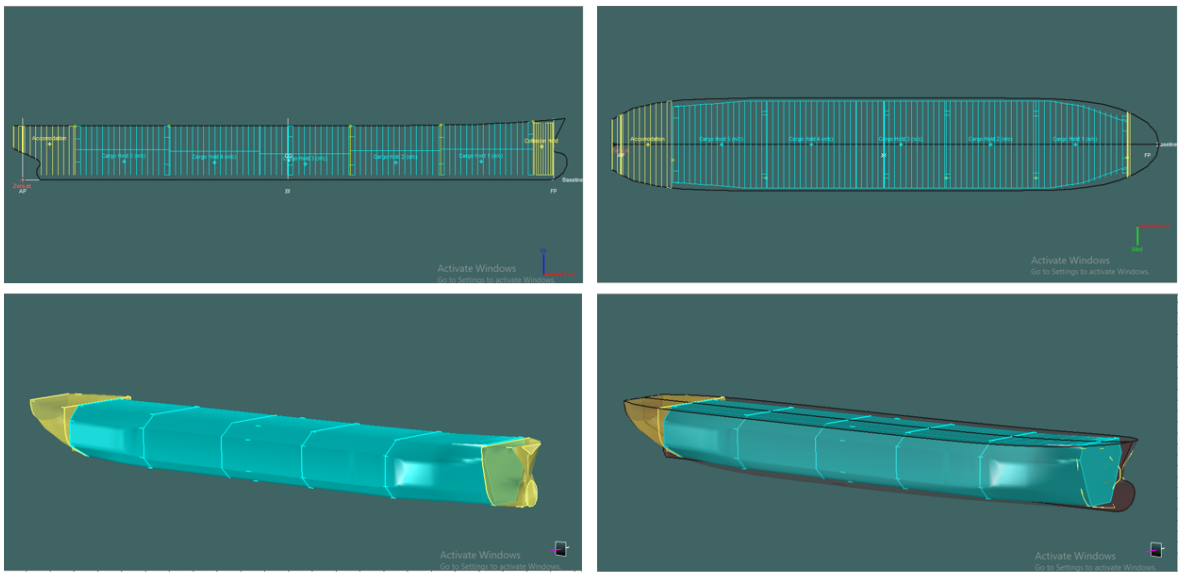
$= 6.5134 \times 1561.4$

$= 8385$ ton

Berat *lightship* kapal yang telah didapat dimasukkan dalam *Load Case Window* pada kolom *Unit Mass Tonne*, beban dari *lightship* diasumsikan terdistribusi rata sehingga LCG dan VCG berada ditengah distribusi beban.

Tabel 4.5 Pembebanan pada *Load Case Window*

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59
2	Othe DWT	1	1736.000	1736.000			70.000	0.000	5.000	121520.0	0.000	8680.000
3	Cargo Hold 1	**48.42%**	19898.49	9634.849	11704.9	5667.558	157.206	0.000	6.221	1514654.	0.000	59942.34
4	Cargo Hold 2	**49.69%**	23067.30	11462.142	13569.0	6742.436	127.914	0.000	5.830	1466169.	0.000	66827.07
5	Cargo Hold 3	**43.82%**	22920.38	10043.711	13482.5	5908.065	96.900	0.000	5.353	973236.0	0.000	53761.20
6	Cargo Hold 4	**49.62%**	23049.81	11437.318	13558.7	6727.834	65.804	0.000	5.800	752620.8	0.000	66335.86
7	Cargo Hold 5	**51.63%**	21906.33	11310.242	12886.0	6653.083	34.792	0.000	6.170	393510.6	0.000	69780.72
8	**Total Loadcase**			**64009.262**	**65201.3**	**31698.97**	**90.747**	**0.000**	**6.466**	**5808661.**	**0.000**	**413872.8**
9	**FS correction**								**0.000**			
10	**VCG fluid**								**6.466**			



Gambar 4.6 Permodelan Tangki dan Ruangan MV. Alam Manis

Setelah permodelan tangki dan pembebanan dilakukan, selanjutnya untuk dapat mengetahui apakah kondisi pembebanan kapal yang dibuat sudah mendekati kapal yang sebenarnya, maka perlu dilakukan validasi. Validasi dilakukan pada hasil kondisi pembebanan model kapal dengan toleransi 0.4%, hal ini bertujuan agar model yang dibuat sesuai dengan kapal yang sebenarnya. Validasi model dilakukan dengan cara menyesuaikan data *loadcase* model dengan data *loadcase* kapal yang didapat dari data *stowage* plan. Adapun data yang digunakan untuk validasi adalah data berat muatan dan volume muatan di masing-masing ruang muat. Validasi model dengan kapal dapat dilihat pada Tabel 4.6. Hasil pembebanan kapal yang telah dikoreksi dan divalidasi digunakan sebagai acuan perhitungan stabilitas awal kapal dan perhitungan stabilitas setelah modifikasi.

Tabel 4.6 Validasi *Load Case* Kapal dengan *Load Case* Model

Item	Kapal		Model		Selisih		Status
Cargo Hold	Loaded (tonne)	% (Vol)	Loaded (tonne)	% (Vol)	Loaded (tonne)	% (Vol)	
No. 1 Hold	9619	48.42	9634	48.42	0.16%	0%	OK
No. 2 Hold	11421	49.69	11462	49.69	0.36%	0%	OK
No. 3 Hold	10033	43.82	10043	43.82	0.10%	0%	OK
No. 4 Hold	11406	49.62	11437	49.62	0.27%	0%	OK
No. 5 Hold	11326	51.63	11310	51.63	0.14%	0%	OK
Total	53795	-	53886	-	0.17%	-	OK

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5
ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan kajian mendalam mengenai proses terjadinya kecelakaan yang selanjutnya akan dicarikan solusi untuk masalah stabilitas pada kapal referensi. Hasil analisis stabilitas awal yang dilakukan pada insiden MV. Alam Manis akan dijadikan bahan analisa dan pembahasan. Dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan beberapa jenis modifikasi ruang muat yang akan digunakan sebagai solusi dari masalah stabilitas kapal MV. Alam Manis. Beberapa jenis modifikasi yang akan dilakukan yaitu modifikasi *hopper tank*, penambahan sekat memanjang, dan pengaturan tata letak muatan. Dalam perhitungan stabilitas menggunakan asumsi bahwa muatan *nickel ore* pada semua ruang muat mengalami likuefaksi. Modifikasi yang dilakukan pada kapal dibatasi oleh ukuran utama kapal berupa LBP (*Length Between Perpendicular*), B (*Breadth*), H (*Depth*), dan D (*Draft*), sehingga sebagai konsekuensinya jumlah muatan atau *payload* bisa berkurang.

5.1. Perhitungan Stabilitas Awal

Perhitungan stabilitas awal dilakukan untuk mengetahui stabilitas MV. Alam Manis ketika berangkat dan saat insiden. Untuk mengetahui kriteria stabilitas dipenuhi atau tidak maka perhitungan stabilitas dilakukan dengan bantuan *software*. Kriteria stabilitas yang digunakan dalam perhitungan *software* adalah IS Code 2008. Dilanjutkan dengan analisa stabilitas *grain code* untuk mengetahui ketika kapal diberikan muatan dan diasumsikan terjadi pergeseran di dalam ruang muat.

5.1.1. Stabilitas Kapal Sebelum Terjadi Pergeseran Muatan Akibat Likuefaksi

MV. Alam Manis, *handymax bulk carrier* dengan desain 5 *cargo hold* memuat 53,795 ton *nickel ore*, dari pelabuhan Suriago, Filipina menuju pelabuhan tujuan di Lianyungang, Cina pada 12 juli 2015. Pada *stowage plan* kapal menunjukkan 53,795 ton *nickel ore* terdistribusi rata pada 5 *cargo hold*, *stowage plan* kapal dapat dilihat pada Tabel 4.3. Kapal berangkat dengan kondisi cuaca cerah serta kondisi kapal adalah tegak, sarat kapal menunjukkan 12.57 m di FP dan 12.62 m di AP dengan perkiraan *initial metacentric height* adalah 5.39 m, dihitung dari kapal menggunakan perangkat komputer (Seatrade Maririme News, 2015).

Sebelum kapal berangkat, pengirim muatan telah melakukan pengujian pada muatan (*nickel ore*), menerbitkan laporan pengujian muatan dan *cargo declaration*. Hasil dari laporan pengujian muatan dan *cargo declaration* dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2. Pada laporan pengujian muatan, menunjukkan rata-rata nilai *moisture content* muatan adalah 31.28%, nilai ini lebih rendah 0.02% dari nilai *transportable moisture limit* yaitu 31.30%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *moisture content* yang dilaporkan oleh pengirim masih dibawah ambang batas dari *transportable moisture limit* sehingga dapat disimpulkan bahwa muatan tidak akan mengalami likuefaksi dan kapal aman melakukan pelayaran (Lee L. H 2017).

Tabel 5.1 Laporan Pengujian Muatan/*Flow Moisture Test*

Data	Result
Moisture Content	31.28 %
Transportable Moisture Limit	31.30 %
Flow Moisture Point	34.78 %

Tabel 5.2 *Cargo Declaration* oleh Pengirim Muatan

Cargo Specification/Properties	Data
Spesification of the Bulk Cargo	Lateritic Nickel Ore
Particle Size	250 mm (maximum)
Stowage Factor (estimated)	0.84 m³/metric ton
Angle of Repose (approx.)	35° to 45°
Properties	Nickel (Ni) - 1.5% Iron (Fe) 33.00-35.00% max.
Moisture (H2O) Declared	33% max.

Dari temuan tersebut selanjutnya dilakukan perhitungan stabilitas menggunakan kapal yang telah dimodelkan ulang serta ruang muat dengan kondisi pembebanan muatan tidak mengalami likuefaksi, kondisi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.3.

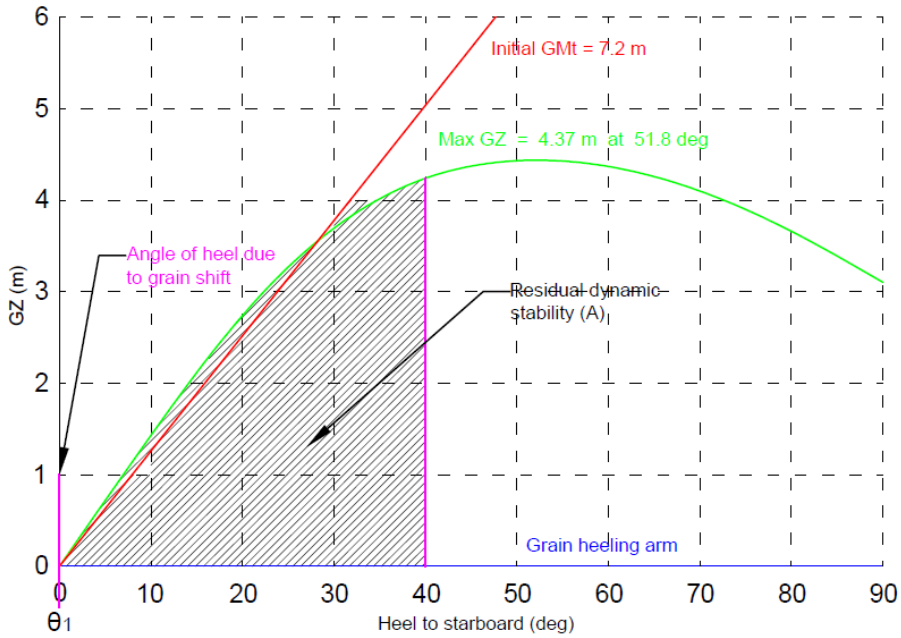
Tabel 5.3 *Load Case* Kapal Berangkat

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59
2	Othe DWT	1	1736.000	1736.000			70.000	0.000	5.000	121520.0	0.000	8680.000
3	Cargo Hold 1	**48.42%**	19898.49	9634.849	11704.9	5667.558	157.206	0.000	6.221	1514654.	0.000	59942.34
4	Cargo Hold 2	**49.69%**	23067.30	11462.142	13569.0	6742.436	127.914	0.000	5.830	1466169.	0.000	66827.07
5	Cargo Hold 3	**43.82%**	22920.38	10043.711	13482.5	5908.065	96.900	0.000	5.353	973236.0	0.000	53761.20
6	Cargo Hold 4	**49.62%**	23049.81	11437.318	13558.7	6727.834	65.804	0.000	5.800	752620.8	0.000	66335.86
7	Cargo Hold 5	**51.63%**	21906.33	11310.242	12886.0	6653.083	34.792	0.000	6.170	393510.6	0.000	69780.72
8	**Total Loadcase**			**64009.262**	**65201.3**	**31698.97**	**90.747**	**0.000**	**6.466**	**5808661.**	**0.000**	**413872.8**
9	**FS correction**								**0.000**			
10	**VCG fluid**								**6.466**			

Dari rekapitulasi kondisi pembebanan pada saat kapal berangkat didapatkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Displacement* adalah 66,448.263 ton
2. LCG total adalah 89.986 m
3. VCG total adalah 6.526 m
4. Total *Free Surface Moment* Akibat Likuefaksi adalah 0 ton.m

Kondisi pembebanan tersebut dianalisis sehingga didapatkan kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm curve* dan kondisi *equilibrium* kapal pada saat kapal berangkat. Kurva stabilitas lengan GZ dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Kurva GZ dengan Koreksi *Heeling Arm*

Dari gambar kurva stabilitas lengan GZ kapal berangkat, dapat diperoleh kondisi *equilibrium* kapal terjadi pada sudut oleng 0°, nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng 51.8˚ dengan nilai 4.37 m, serta nilai GZ positif berada pada sudut oleng 0˚ sampai 130˚. Lalu setelah dikoreksi dengan *heeling arm curve* diperoleh sudut oleng kapal akibat pergeseran muatan adalah 0°, nilai *residual area* antara sudut 0° dan 40° adalah 0.5049 m.rad, dan tinggi *initial metacentric* adalah 7.221 m. Adapun hasil analisis *equilibrium* kapal berangkat dapat dilihat pada Tabel 5.4. Hasil dari analisis menunjukkan nilai yang sama dengan temuan dilapangan ketika kapal berangkat. Hal ini menjadi bukti bahwa validasi model yang dianalisis sesuai dengan kondisi yang ada dilapangan. Hasil ini menunjukkan bahwa kapal berangkat dengan kondisi yang baik dengan *equilibrium* kapal terjadi pada sudut oleng 0° dan muatan dalam kondisi baik serta tidak mengalami likuefaksi.

Tabel 5.4 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Kapal Berangkat

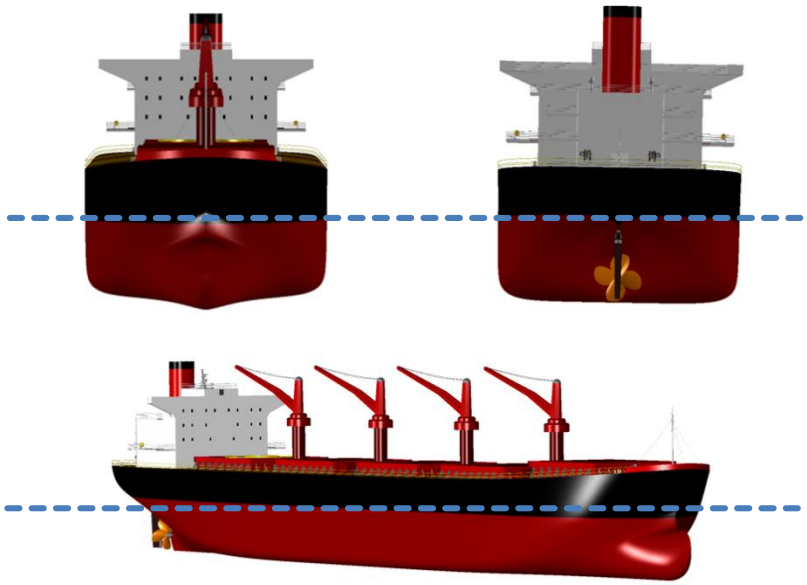
1	Draft Amidships m	12.596
2	Displacement t	64062
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	12.572
5	Draft at AP m	12.620
6	Draft at LCF m	12.596
7	Trim (+ve by stern) m	0.048
8	WL Length m	185.446
9	Beam max extents on WL m	32.259
10	Wetted Area m^2	9025.205
11	Waterpl. Area m^2	5540.345
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.846
13	Block coeff. (Cb)	0.828
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.980
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.926
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	91.922
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	88.420
18	KB m	6.709
19	KG fluid m	6.531
20	BMt m	7.043
21	BML m	224.426
22	GMt corrected m	7.221
23	GML m	224.604
24	KMt m	13.752
25	KML m	231.135
26	Immersion (TPc) tonne/cm	56.789
27	MTc tonne.m	790.584
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) to	8073.517
29	Max deck inclination deg	0.0152
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0.0152

Hasil analisis kemudian diperiksa apakah kondisi kapal memenuhi pada saat kapal berangkat, harus dipenuhi kriteria-kriteria stabilitas kapal yang disyaratkan oleh IMO (IS Code 2008 dan International Grain Code). Hasil pemeriksaan stabilitas kapal berangkat dapat dilihat pada Tabel 5.5. Ilustrasi kondisi kapal berangkat berdasarkan hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5.2.

Tabel 5 5 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Kapal Berangkat

No	*Criteria*	*Result*	*Status*
	IS Code 2008		
1.	*Area* 0˚ *to* 30˚ (0.055 m.rad)	0.996	***Pass***
2.	*Area* 0˚ *to* 40˚ (0.090 m.rad)	1.676	***Pass***
3.	*Area* 30˚ *to* 40˚ (0.030 m.rad)	0.680	***Pass***
4.	*Max* GZ *at* 30˚ *or Greater* (0.2 m)	4.370	***Pass***
5.	*Angle of Maximum* GZ ($\theta Max \geq 25˚$)	51.8	***Pass***
6.	*Initial* GMt (0.15 m)	7.221	***Pass***
	International Grain Code		
1.	*Angle of Heel* ($\leq 12°$)	0	***Pass***
2.	*Area* θ1 *to* 40° (0.075 m.rad)	0.505	***Pass***
3.	*Initial* GMt (0.30 m)	7.221	***Pass***

Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa kurva stabilitas lengan GZ masih positif dan setelah dikoreksi kurva *heeling arm* tetap memenuhi terhadap kriteria stabilitas menurut IMO (IS Code 2008 dan International Grain Code), menunjukkan bahwa kondisi stabilitas kapal pada saat berangkat adalah memenuhi.



Gambar 5.2 Ilustrasi Kondisi Kapal Berangkat

5.1.2. Stabilitas Kapal Setelah Terjadi Pergeseran Muatan Akibat Likuefaksi

Selama pelayaran dari Philipina menuju China MV. Alam Manis menghadapi cuaca buruk dan mulai menunjukkan akan adanya oleng diduga karena terjadi likuefaksi muatan. Karena kondisi dirasa meburuk, kapten memanggil bantuan untuk mengevakuasi kru. Selang beberapa 20 kru diselamatkan dengan menggunakan *escort tug* ke pelabuhan terdekat. Dalam kejadian ini memakan satu korban jiwa dari kru dikarenakan serangan jantung pada saat proses evakuasi. Karena kondisi cuaca saat itu tidak memungkinkan untuk dilakukan evakuasi terhadap kapal, maka akibatnya kapal terbawa arus dan akhirnya terdampar di pantai Candon, Ilocos Sur (North-west coast of Luzon), Philipina.

Survei menyeluruh dilakukan setelah kapal terdampar untuk mengetahui kondisi sebenarnya penyebab terjadinya oleng pada kapal. Temuan dilapangan menunjukkan haluan kapal sedikit kandas didasar laut bepasir, sedangkan buritan kapal berjarak setengah meter dari dasar laut dengan kondisi kapal oleng ke *starboard* 17.5°. Temuan lain adalah kapal memuat bijih nikel mentah dengan besar pemuatan merata pada setiap ruang muat. Kondisi muatan terlihat terjadi likuefaksi pada ruang muat No. 1, No. 2, dan No. 3. Sedangkan pada ruang muat No. 4 dan No. 5 terlihat relatif kering dan stabil. Berdasarkan temuan dilapangan rata-rata

stowage factor dari muatan adalah 0.64 m^3/metric ton berbeda dari *cargo declaration* yang diterbitkan oleh pengirim sebesar 0.84 m^3/metric ton. Kondisi muatan setalah kapal oleng dapat dilihat pada Gambar 5.3.

(a) Ruang Muat No.1 Terlikuefaksi

(b) Ruang Muat No.2 Terlikuefaksi

(c) Ruang Muat No.3 Terlikuefaksi

(d) Ruang Muat No.4 Kering dan Stabil

(e) Ruang Muat No.5 Kering dan Stabil

Gambar 5.3 Kondisi Muatan Setelah Kapal Oleng

Hasil dari pengujian laboratorium pada muatan menunjukkan bahwa *moisture content* (MC) dari semua sampel mauatan di semua ruang muat setelah terjadi likuefaksi adalah melebihi *transpotable moisture limit* (TML) dan *flow moisture point* (FMP) yang dapat dilihat pada Tabel 5.6. Hal ini mengindikasikan bahwa muatan akan mengalami likuefaksi dan tidak

laik layar. Perbedaan besar nilai antara pengujian laboratorium dari pengirim dengan setelah insiden likuefaksi terjadi pada nilai MC. Perbedaan paling besar terjadi pada muatan di ruang muat No. 2 yang menunjukkan *moisture content* dari pengirim adalah 31.28% sedangkan dari pengujian setelah insiden adalah 40.95%, perbedaannya adalah 9.67%. Meskipun dari hasil pengujian setelah insiden menunjukkan muatan di ruang muat No. 1-No. 5 melebihi TML dan FMP, likuefaksi terjadi hanya di ruang muat No. 1-No. 3. Dugaan perbedaan nilai ini terjadi karena sifat *nickel ore* yang tidak homogen, sampel yang diambil oleh pengirim tidak merepresentasikan dari muatan di semua ruang muat, sehingga hasil dari MC dan FMP menjadi tidak akurat.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Muatan Setelah Insiden Likuefaksi

Cargo Hold	MC %	TML %	FMP %
No. 1 Hold	38.78	30.85	34.28
No. 2 Hold	40.95	30.60	34.00
No. 3 Hold	39.55	31.14	34.60
No. 4 Hold	34.19	28.64	31.82
No. 5 Hold	35.04	30.22	33.58

Dari temuan tersebut selanjutnya dilakukan perhitungan stabilitas menggunakan kapal yang telah dimodelkan ulang serta ruang muat dengan kondisi pembebanan muatan mengalami likuefaksi pada ruang muat No. 1, No. 2, dan No. 3. Kondisi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 *Load Case* Kapal Setelah Muatan Terlikuefaksi

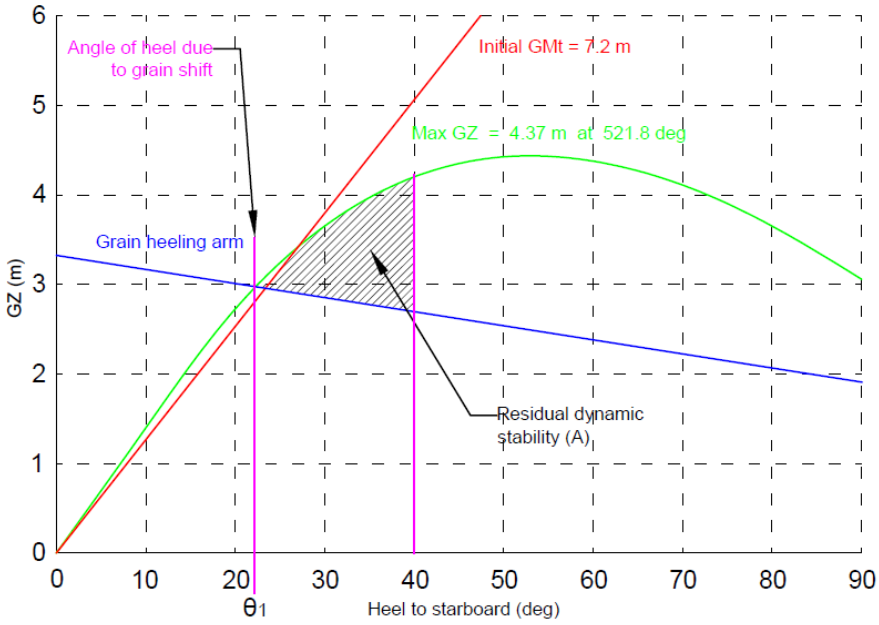
	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	10170.00	10170.000			77.500	0.000	10.000	788175.0	0.000	101700.0	0.000	0.000	User Spe
2	Cargo Hold 1	**48.42%**	19898.49	9634.850	11704.9	5667.559	157.206	0.000	6.221	1514654.	0.000	59942.35	n/a	69859.36	IMO A.749
3	Cargo Hold 2	**49.69%**	23067.30	11462.143	13569.0	6742.437	127.914	0.000	5.830	1466169.	0.000	66827.08	n/a	98304.39	IMO A.749
4	Cargo Hold 3	**43.82%**	22920.38	10043.711	13482.5	5908.065	96.900	0.000	5.353	973236.0	0.000	53761.20	n/a	99941.94	IMO A.749
5	Cargo Hold 4	**49.62%**	23049.81	11437.320	13558.7	6727.835	65.804	0.000	5.800	752621.0	0.000	66335.88	n/a	0.000	User Spe
6	Cargo Hold 5	**51.63%**	21906.33	11310.239	12886.0	6653.082	34.792	0.000	6.170	393510.5	0.000	69780.69	n/a	0.000	User Spe
7	**Total Loadcase**			**64058.263**	**65201.3**	**31698.97**	**91.922**	**0.000**	**6.531**	**5888367.**	**0.000**	**418347.2**		**268105.6**	
8	**FS correction**								**4.185**						
9	**VCG fluid**								**10.716**						

Dari rekapitulasi kondisi pembebanan pada saat muatan terlikuefaksi didapatkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Displacement* adalah 66,448.263 ton
2. LCG total adalah 91.922 m
3. VCG total setelah koreksi adalah 10.716 m

4. Total *Free Surface Moment* Akibat Likuefaksi adalah 268,105.6 ton.m

Kondisi pembebanan tersebut dianalisis sehingga didapatkan kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm curve* dan kondisi *equilibrium* kapal pada saat muatan terlikuefaksi. Kurva stabilitas lengan GZ dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Kurva GZ dengan Koreksi *Heeling Arm* saat Muatan Terlikuefaksi

Dari gambar kurva stabilitas lengan GZ kapal berangkat pada Gambar 4.6, dapat diperoleh kondisi *equilibrium* kapal terjadi pada sudut oleng 0° dengan nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng 51.8˚ dengan nilai 4.37 m. Lalu setelah muatan kapal mengalami likuefaksi, diperoleh kondisi *equilibrium* kapal terjadi pada sudut oleng 22.3° dengan nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng 58.2° dengan nilai 1.271 m. Nilai *residual area* antara sudut 0° dan 40° adalah 0.5049 m.rad, dan tinggi *initial metacentric* adalah 7.221 m. Adapun hasil analisis *equilibrium* kapal saat muatan terlikuefaksi dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Hasil analisis diatas menunjukkan bahwa likuefaksi yang mana menyebabkan muatan menjadi memiliki sifat cair, sehingga terjadi pergeseran muatan pada ruang muat No.1, No.2, dan No.3. Pergeseran muatan menyebabkan timbulnya *free surface moment* yang berakibat pada bergesernya titik berat kapal kearah *starboard*, sehingga kondisi *equilibrium* kapal menjadi oleng 22.3° kearah *starboard*. Nilai oleng dari hasil analisis berbeda dari temuan dilapangan dikarenakan saat kapal oleng 17.5°, kondisi kapal kandas sehingga sebagian lambung kapal tertopang pada dasar laut.

Hasil analisis kemudian diperiksa apakah kondisi kapal memenuhi pada saat muatan terlikuefaksi, harus dipenuhi kriteria-kriteria stabilitas kapal yang disyaratkan oleh IMO (IS Code 2008 dan International Grain Code). Hasil pemeriksaan stabilitas kapal saat muatan terlikuefaksi dapat dilihat pada Tabel 5.9. Ilustrasi kondisi kapal saat muatan terlikuefaksi berdasarkan hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5.5.

Tabel 5.8 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi

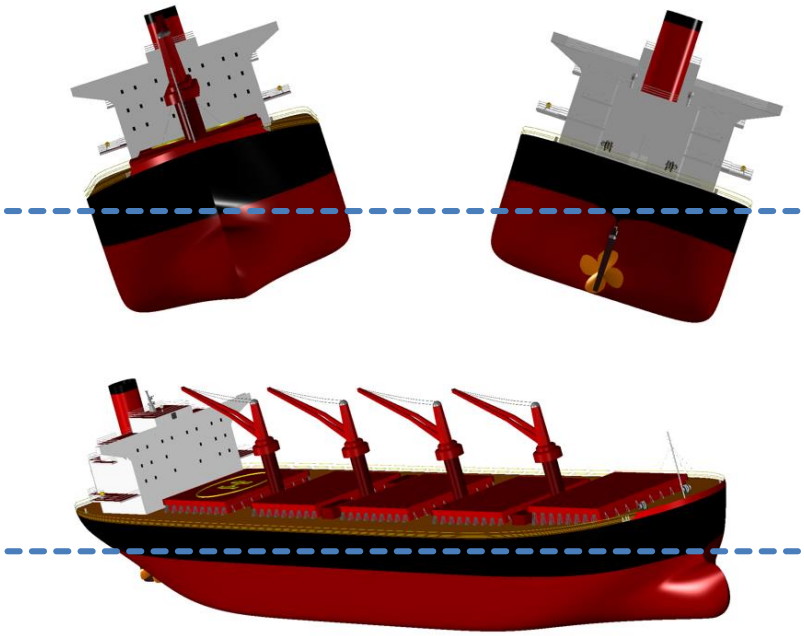
1	Draft Amidships m	12.620
2	Displacement t	64336
3	Heel deg	17.5
4	Draft at FP m	12.570
5	Draft at AP m	12.670
6	Draft at LCF m	12.621
7	Trim (+ve by stern) m	0.100
8	WL Length m	185.446
9	Beam max extents on WL m	33.815
10	Wetted Area m^2	9045.846
11	Waterpl. Area m^2	5773.108
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.848
13	Block coeff. (Cb)	0.637
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.751
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.921
16	LCB from zero pt. (+ve fwd)	91.779
17	LCF from zero pt. (+ve fwd)	88.896
18	KB m	7.081
19	KG m	12.819
20	BMt m	7.978
21	BML m	231.064
22	GMt m	1.869
23	GML m	224.954
24	KMt m	14.690
25	KML m	227.450
26	Immersion (TPc) tonne/cm	59.174
27	MTc tonne.m	795.195
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	2098.101
29	Max deck inclination deg	17.5000
30	Trim angle (+ve by stern) de	0.0315

Tabel 5.9 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Kapal Saat Muatan Terlikuefaksi

No	*Criteria*	*Result*	*Status*
	IS Code 2008		
1.	*Area* 0˚ *to* 30˚ (0.055 m.rad)	0.389	***Pass***
2.	*Area* 0˚ *to* 40˚ (0.090 m.rad)	0.590	***Pass***
3.	*Area* 30˚ *to* 40˚ (0.030 m.rad)	0.200	***Pass***
4.	*Max* GZ *at* 30˚ *or Greater* (0.2 m)	1.271	***Pass***
5.	*Angle of Maximum* GZ ($\theta Max \geq 25^{\circ}$)	51.8	***Pass***
6.	*Initial* GMt (0.15 m)	7.221	***Pass***
	International Grain Code		
1.	*Angle of Hell* ($\leq 12°$)	23.2	***Fail***
2.	*Area* θ1 *to* 40° (0.075 m.rad)	0.273	***Pass***
3.	*Initial* GMt (0.30 m)	7.221	***Pass***

Berdasarkan hasil analisis stabilitas kapal saat muatan terlikuefaksi dapat diketahui bahwa enam kriteria dari IS Code 2008 masih terpenuhi. Sedangkan untuk kriteria stabilitas dari IG Code, dari tiga kriteria yang disyaratkan, dua diantaranya masih memenuhi, tapi untuk kriteria *Angel of Heel* tidak memenuhi dikarenakan saat muatan terlikuefaksi kapal mengalami kondisi equilibrium pada sudut oleng 22.6°, lebih besar dari yang disyaratkan yaitu saat muatan mengalami pergeseran sudut oleng kapal tidak boleh lebih dari 12°. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi adalah tidak memenuhi kriteria stabilitas IG Code.

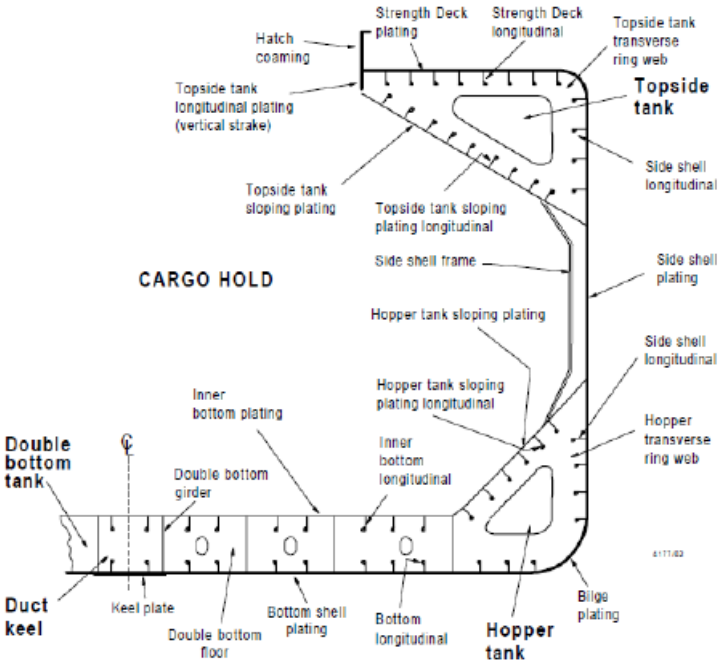
Hasil analisis diatas menunjukkan bahwa MV. Alam Manis yang dimuati *nickel ore* pada kelima ruang muatnya tidak memiliki stabilitas yang cukup untuk memenuhi kriteria dari International Grain Code yang mana merupakan persyaratan minimal kapal dapat dikatakan aman ketika berlayar. Pada kasus ini, kapal mengalami pergeseran muatan pada ruang muat No.1, No.2, dan No.3 sudah tidak memenuhi persyaratan dari kriteria, ini memunculkan dugaan yang lebih buruk lagi apabila kapal mengalami pergeseran muatan akibat likuefaksi pada seluruh ruang muat. Oleh karena itu dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan kajian terhadap desain kapal berupa modifikasi ruang muat, agar kondisi kapal saat mengalami kemungkinan terburuk berupa pergeseran muatan akibat likuefaksi pada semua ruang muat memiliki stabilitas yang baik dan memenuhi kriteria stabilitas dari IS Code 2008 dan IG Code.



Gambar 5.5 Ilustrasi Kapal Saat Muatan Terlikuifaksi

5.2. Modifikasi *Hopper Tank*

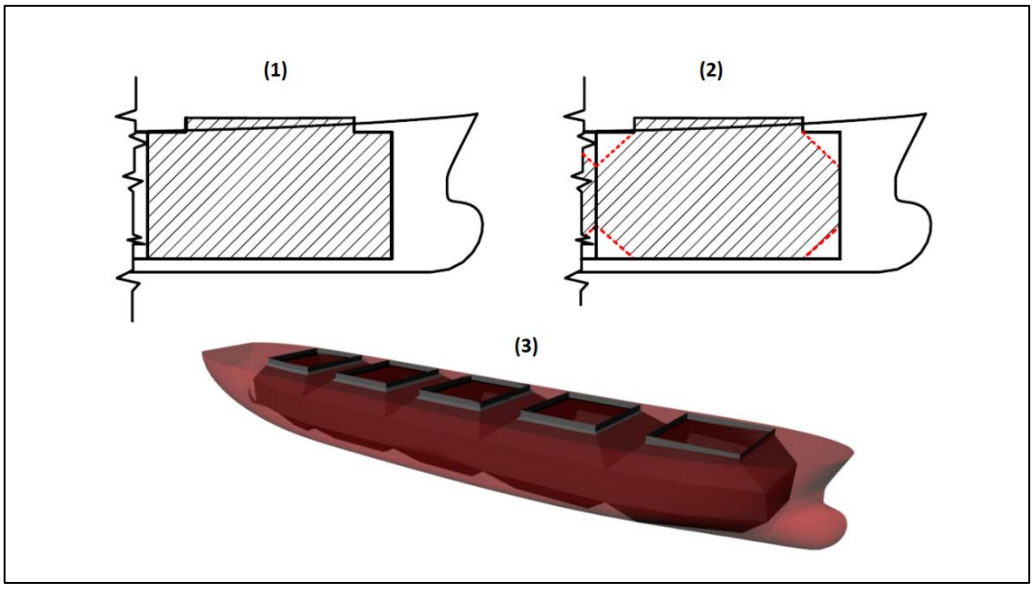
Ore Carrier memiliki ciri khas pada ruang muatnya yaitu terdapat *hopper tank* dengan *angle of repose* tertentu tergantung dengan jenis muatan yang dibawa. Ruang muat *ore carrier* dapat dilihat pada Gambar 5.6. Modifikasi *hopper tank* bertujuan untuk mengurangi volume ruang muat, sehingga dapat mengurangi luasan pergeseran muatan akibat likuefaksi. Akan dilakukan dua jenis modifikasi *hopper tank* yaitu penambahan *hopper tank* memanjang kapal dan pengaturan *angle of repose*.



Gambar 5.6 Penampang Melintang Ruang Muat *Ore Carrier*

5.1.1 Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal

Pada umumnya ruang muat *ore carrier* hanya menggunakan *hopper tank* secara melintang kapal. Namun untuk keperluan pengurangan volume ruang muat, maka dilakukan penambahan *hopper tank* secara memanjang kapal. Penambahan ini dilakukan pada semua ruang muat kapal. Permodelan *hopper tank* menggunakan bantuan perangkat Autocad dan Maxsurf Modeller. Hasil permodelan penambahan *hopper tank* memanjang kapal dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Permodelan Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal

Penambahan *hopper tank* memanjang kapal menggunakan sudut *angle of repose* sebesar 45°, ukuran ini diambil dari International Grain Code yang mengatur sudut *angle of repose* dari *nickel ore* antara 35°-45°. Penambahan *hopper tank* akan mengurangi volume ruang muat, sehingga luasan pergeseran muatan akibat likuefaksi dapat berkurang. Penambahan konstruksi *hopper tank* juga akan menyebabkan penambahan berat pada kapal, oleh karena itu berat penambahan konstrusksi akan dihitung. Perhitungan berat konstruksi menggunakan aturan dari BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). Selain itu beberapa syarat teknis harus tetap terpenuhi agar perhitungan stabilitas dapat dilakukan dengan tepat. Adapun syarat teknis dan perhitungan yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Sarat kapal adalah 12.575 m,
2. Berat lightship kapal adalah 8,385 ton,
3. Berat konstruksi penambahan *hopper tank* memanjang kapal berdasarkan perhitungan menurut BKI adalah 532.5 ton,
4. Berat DWT kapal (55,625 ton) = berat *payload* (53,795 ton) + berat *consumable* (1,830 ton),
5. Karena ada penambahan berat kapal maka komponen berat DWT harus dikurangi. Karena berat *consumable* tidak dapat dikurangi maka berat yang dikurangi adalah berat *payload*. Sehingga berat *payload* setelah dikurangi berat konstruksi tambahan adalah 53,262.5 ton.
6. Pergeseran muatan akibat likuefaksi terjadi pada semua ruang muat.

Tahap selanjutnya adalah dilakukan perhitungan stabilitas kapal dengan memasukkan kondisi pembebanan dari hasil modifikasi mengacu pada syarat teknis. Kondisi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.10.

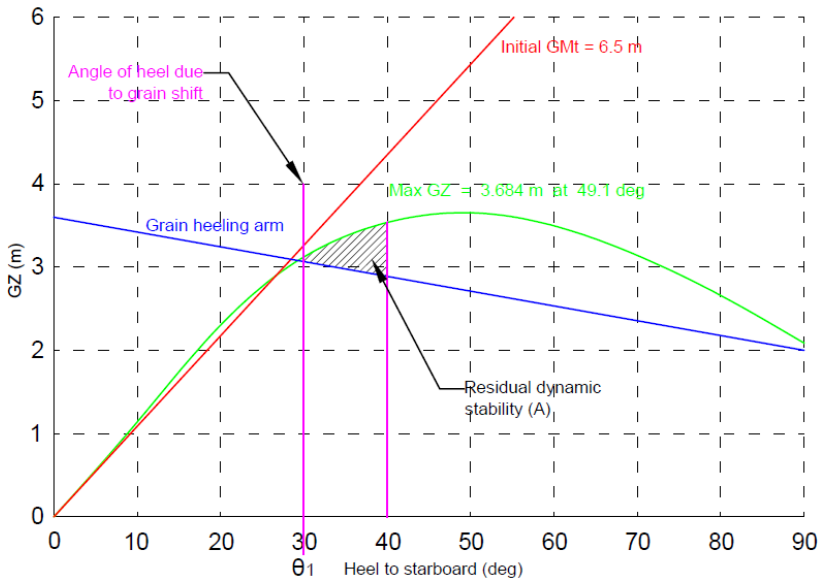
Tabel 5.10 *Load Case* Setelah Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			77.500	0.000	10.000	649837.5	0.000	83850.00	0.000	0.000	User Spe
2	Hopper Tank	1	532.500	532.500			77.500	0.000	10.000	41268.75	0.000	5325.000	0.000	0.000	User Spe
3	Consumable	1	1830.000	1830.000			77.500	0.000	2.000	141825.0	0.000	3660.000	0.000	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 1	59.12%	16269.69	**9619.000**	9570.40	5658.235	159.066	0.000	7.200	1530051.	0.000	69256.73	n/a	54094.28	IMO A.749
5	Cargo Hold 2	73.9%	15283.06	**11294.500**	8990.03	6643.824	128.201	0.000	7.775	1447965.	0.000	87812.73	n/a	55482.89	IMO A.749
6	Cargo Hold 3	61.73%	16253.97	**10033.000**	9561.16	5901.765	96.709	0.000	6.799	970278.7	0.000	68210.31	n/a	61999.97	IMO A.749
7	Cargo Hold 4	67.62%	16268.42	**11000.000**	9569.66	6470.588	65.913	0.000	7.246	725045.4	0.000	79706.27	n/a	64430.32	IMO A.749
8	Cargo Hold 5	65.93%	17177.57	**11326.000**	10104.4	6662.352	33.846	0.000	7.311	383343.0	0.000	82800.02	n/a	65474.79	IMO A.749
9	**Total Loadcase**			**64020.000**	**47795.7**	**31336.76**	**91.996**	**0.000**	**7.507**	**5889615.**	**0.000**	**480621.0**		**301482.2**	
10	**FS correction**								**4.709**						
11	**VCG fluid**								**12.217**						

Dari rekapitulasi kondisi pembebanan kapal setelah penambahan *hopper tank* memanjang kapal didapatkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Displacement* adalah 64,020 ton
2. LCG total adalah 91.996 m
3. VCG total setelah koreksi adalah 12.217 m
4. Total *Free Surface Moment* akibat likuefaksi adalah 301,482.2 ton.m

Kondisi pembebanan tersebut dianalisis sehingga didapatkan kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm curve* dan kondisi *equilibrium* kapal setelah penambahan *hopper tank* memanjang kapal. Kurva stabilitas lengan GZ dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Kurva GZ dengan Koreksi *Heeling Arm* Kapal Setelah Penambahan *Hopper Tank*

Dari gambar kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm* kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi, dapat diperoleh kondisi *equilibrium* kapal terjadi pada sudut oleng 30°. Nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng 20˚ dengan nilai 1 m. Nilai *residual area* antara sudut 0° dan 40° adalah 0.0593 m.rad, dan tinggi *initial metacentric* adalah 6.25 m. Adapun hasil analisis *equilibrium* kapal saat muatan terlikuefaksi dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi

1	Draft Amidships m	12.915
2	Displacement t	64020
3	Heel deg	30.0
4	Draft at FP m	12.915
5	Draft at AP m	12.915
6	Draft at LCF m	12.915
7	Trim (+ve by stern) m	0.000
8	WL Length m	185.557
9	Beam max extents on WL m	28.537
10	Wetted Area m^2	9699.645
11	Waterpl. Area m^2	4926.565
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.858
13	Block coeff. (Cb)	0.663
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.775
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.930
16	LCB from zero pt. (+ve fwd)	91.950
17	LCF from zero pt. (+ve fwd)	90.851
18	KB m	7.614
19	KG m	12.819
20	BMt m	5.089
21	BML m	203.176
22	GMt m	-1.178
23	GML m	196.909
24	KMt m	12.021
25	KML m	183.569
26	Immersion (TPc) tonne/cm	50.497
27	MTc tonne.m	692.641
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	-1315.827
29	Max deck inclination deg	30.0000
30	Trim angle (+ve by stern) de	0.0000

Hasil analisis kemudian diperiksa apakah kondisi kapal memenuhi kriteria-kriteria stabilitas kapal yang disyaratkan oleh IMO (IS Code 2008 dan International Grain Code). Hasil pemeriksaan stabilitas kapal dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Setelah Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal

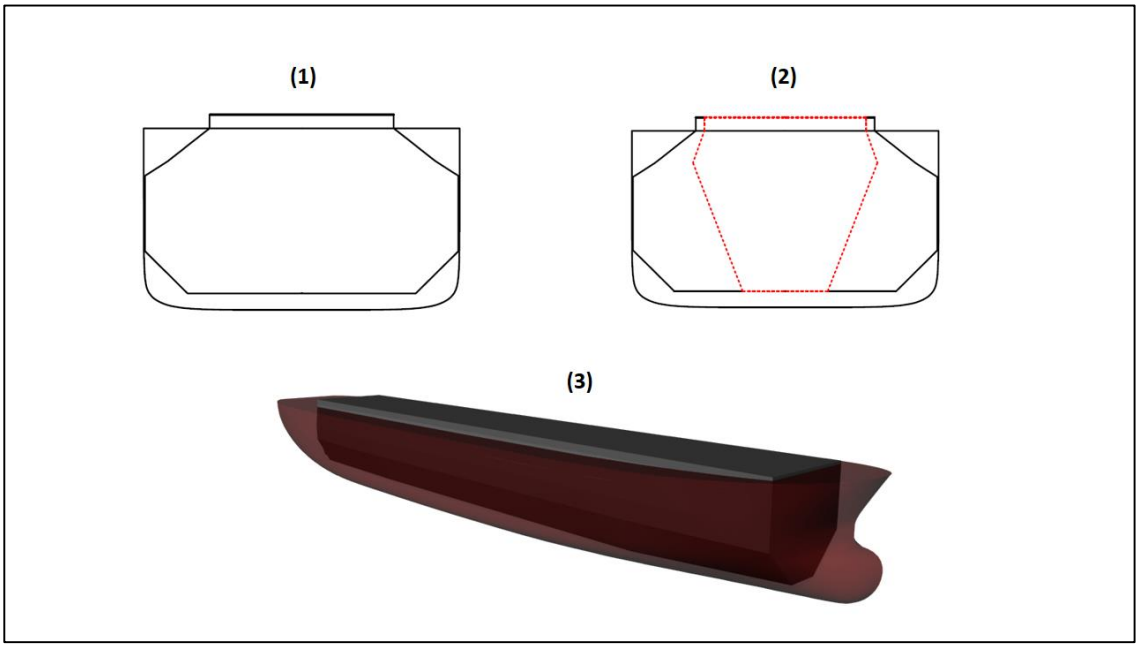
No	*Criteria*	*Result*	*Status*
	IS Code 2008		
1.	*Area* 0˚ *to* 30˚ (0.055 m.rad)	0.1829	***Pass***
2.	*Area* 0˚ *to* 40˚ (0.090 m.rad)	0.2301	***Pass***
3.	*Area* 30˚ *to* 40˚ (0.030 m.rad)	0.0472	***Pass***
4.	*Max* GZ *at* 30˚ *or Greater* (0.2 m)	0.368	***Pass***
5.	*Angle of Maximum* GZ ($\theta Max \geq 25˚$)	25.9	***Pass***
6.	*Initial* GMt (0.15 m)	6.245	***Pass***
	International Grain Code		
1.	*Angle of Heel* ($\leq$ 12°)	18.5	***Fail***
2.	*Area* θ1 *to* 40° (0.075 m.rad)	0.098	***Pass***
3.	*Initial* GMt (0.30 m)	6.245	***Pass***

Berdasarkan hasil analisis stabilitas diketahui bahwa enam kriteria dari IS Code 2008 masih terpenuhi. Sedangkan untuk kriteria stabilitas dari IG Code, dari tiga kriteria yang disyaratkan, hanya satu yang masih memenuhi, untuk kriteria *Angel of Heel* tidak memenuhi dikarenakan saat muatan terlikuefaksi kapal mengalami kondisi equilibrium pada sudut oleng 18.5°, lebih besar dari yang disyaratkan yaitu saat muatan mengalami pergeseran sudut oleng kapal tidak boleh lebih dari 12° dan *residual area* bernilai 0.0593 m.rad kurang dari nilai yang disyaratkan yaitu 0.075 rad.m. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi adalah tidak memenuhi kriteria stabilitas IG Code.

Analisis menunjukkan hasil tidak memenuhi kriteria karena volume berkurang sehingga nilai *free surface moment* berkurang dan nilai *grain heeling arm* turun. Tapi akibat dari dikuranginya volume ruang muat menjadikan titik berat muatan naik sehingga kurva stabilitas menurun.

5.1.2 Pengaturan *Angle of Repose*

Opsi modifikasi pada *hopper tank* selanjutnya adalah pengaturan *angle of repose*, yaitu mengurangi volume ruang muat dengan cara mengubah sudut dari *hopper tank*. Pengaturan *angle of repose* ini dilakukan sampai volume ruang muat memiliki kapasitas muatan penuh 100%. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan *free surface moment* yang dapat mengakibatkan timbulnya *grain heeling arm*. Permodelan pengaturan *hopper tank* menggunakan bantuan perangkat CAD dan Maxsurf Modeller yang dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Permodelan Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal

Pengaturan *angle of repose* dilakukan dengan memposisikan gambar *hopper tank* pada penampang melintang. Sudut yang digunakan adalah lebih dari 35º, sudut tersebut merupakan sudut minimal *nickel ore* dapat meluncur. Pengaturan *angle of repose* dilakukan sampai ruang muat dapat terisi penuh. Dalam pengaturan ini juga memerhatikan kenaikan titik berat muatan, sehingga kemungkinan turunnya kurva stabilitas akibat kenaikan titik berat dapat dicegah. Pengaturan *angle of repose* ini memberikan konsekuensi penambahan konstruksi dikarenakan perubahan ukuran ruang muat yang cukup besar. Konstruksi yang akan ditambahkan yaitu pelat, pembujur, dan gading. Perhitungan berat konstruksi menggunakan aturan dari BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). Selain itu beberapa syarat teknis harus tetap terpenuhi agar perhitungan stabilitas dapat dilakukan dengan tepat. Adapun syarat teknis dan perhitungan yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Sarat kapal adalah 12.575 m,
2. Berat lightship kapal adalah 8,385 ton,
3. Berat konstruksi tambahan berdasarkan perhitungan menurut BKI adalah 1239.4 ton
4. Berat DWT kapal (55,625 ton) = berat *payload* (53,795 ton) + berat *consumable* (1,830 ton),
5. Karena ada penambahan berat kapal maka komponen berat DWT harus dikurangi. Karena berat *consumable* tidak dapat dikurangi maka berat yang dikurangi adalah berat *payload*. Sehingga berat *payload* setelah dikurangi berat konstruksi tambahan adalah 52,555.6 ton.
6. Pergeseran muatan akibat likuefaksi terjadi pada semua ruang muat.

Tahap selanjutnya adalah dilakukan perhitungan stabilitas kapal dengan memasukkan kondisi pembebanan dari hasil modifikasi mengacu pada syarat teknis. Kondisi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.13.

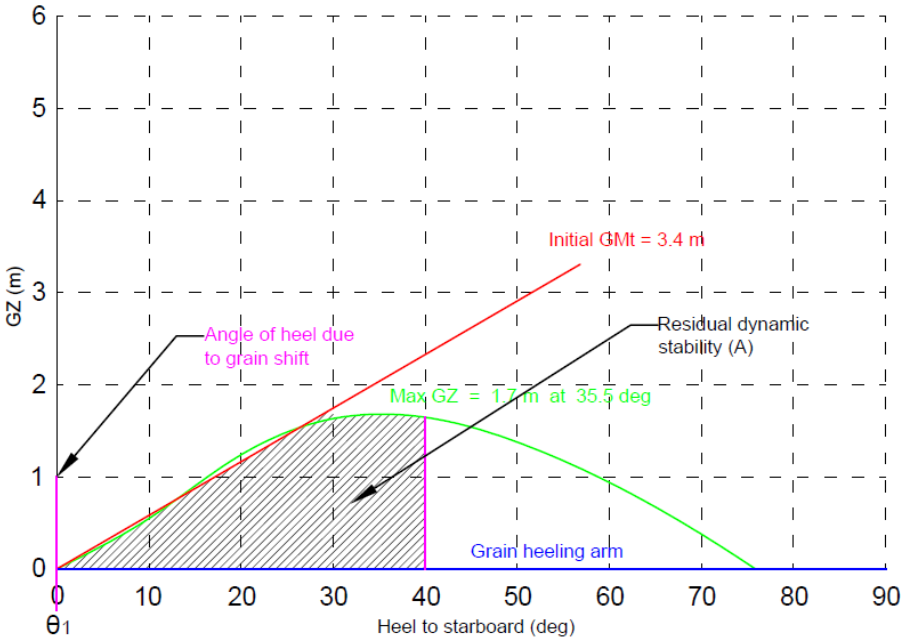
Tabel 5.13 *Load Case* Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.000	586950.0	0.000	83850.00	0.000	0.000	User Spe
2	Hopper Tank	1	1239.400	1239.400			70.000	0.000	10.000	86758.00	0.000	12394.00	0.000	0.000	User Spe
3	Consumable	1	1830.000	1830.000			70.000	0.000	2.000	128100.0	0.000	3660.000	0.000	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 1	**100%**	10871.34	10871.342	6394.90	6394.907	159.226	0.000	11.120	1730996.	0.000	120891.6	n/a	0.000	IMO A.749
5	Cargo Hold 2	**100%**	10395.87	10395.870	6115.21	6115.218	127.975	0.000	10.626	1330415.	0.000	110468.9	n/a	0.000	IMO A.749
6	Cargo Hold 3	**100%**	10285.32	10285.324	6050.19	6050.190	96.907	0.000	10.559	996719.0	0.000	108602.6	n/a	0.000	IMO A.749
7	Cargo Hold 4	100%	10340.97	**10340.972**	6082.92	6082.925	65.800	0.000	10.551	680437.6	0.000	109111.5	n/a	0.000	IMO A.749
8	Cargo Hold 5	100%	10672.11	**10672.113**	6277.71	6277.713	34.100	0.000	10.551	363921.7	0.000	112604.5	n/a	0.000	IMO A.749
9	**Total Loadcase**			**64020.021**	**30920.9**	**30920.95**	**92.226**	**0.000**	**10.334**	**5904298.**	**0.000**	**661583.3**		**0.000**	
10	**FS correction**								**0.000**						
11	**VCG fluid**								**10.334**						

Dari rekapitulasi kondisi pembebanan kapal setelah penambahan *hopper tank* memanjang kapal didapatkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Displacement* adalah 64,020 ton
2. LCG total adalah 92.226 m
3. VCG total setelah koreksi adalah 10.334 m
4. Total *Free Surface Moment* akibat likuefaksi adalah 0 ton.m

Kondisi pembebanan tersebut dianalisis sehingga didapatkan kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm curve* dan kondisi *equilibrium* kapal setelah pengaturan *angle of repose*. Kurva stabilitas lengan GZ dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Kurva GZ dengan Koreksi *Heeling Arm* Kapal Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

Dari gambar kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm* kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi, dapat diperoleh kondisi *equilibrium* kapal terjadi pada sudut oleng 0°. Kapal dapat bertahan di sudut 0º ketika terjadi likuefaksi muatan dikarenakan tidak ada pergeseran muatan, ruang muat terisi penuh 100% dan nilai *Free Surface Moment* akibat likuefaksi adalah 0 ton.m. Nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng 20˚ dengan nilai 1 m. Nilai *residual area* antara sudut 0° dan 40° adalah 0.0593 m.rad, dan tinggi *initial metacentric* adalah 6.25 m. Adapun hasil analisis *equilibrium* kapal saat muatan terlikuefaksi dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi

1	Draft Amidships m	12.592
2	Displacement t	64020
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	12.692
5	Draft at AP m	12.492
6	Draft at LCF m	12.589
7	Trim (+ve by stern) m	-0.200
8	WL Length m	185.485
9	Beam max extents on WL m	32.259
10	Wetted Area m^2	9021.755
11	Waterpl. Area m^2	5539.784
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.847
13	Block coeff. (Cb)	0.823
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.979
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.926
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	92.230
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	88.466
18	KB m	6.705
19	KG fluid m	10.334
20	BMt m	7.045
21	BML m	224.520
22	GMt corrected m	3.417
23	GML m	220.892
24	KMt m	13.751
25	KML m	231.225
26	Immersion (TPc) tonne/cm	56.783
27	MTc tonne.m	777.005
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) to	3817.529
29	Max deck inclination deg	0.0628
30	Trim angle (+ve by stern) deg	-0.0628

Hasil analisis kemudian diperiksa apakah kondisi kapal memenuhi kriteria-kriteria stabilitas kapal yang disyaratkan oleh IMO (IS Code 2008 dan International Grain Code). Hasil pemeriksaan stabilitas kapal dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

No	*Criteria*	*Result*	*Status*
	IS Code 2008		
1.	*Area* 0˚ *to* 30˚ (0.055 m.rad)	0.6847	***Pass***
2.	*Area* 0˚ *to* 40˚ (0.090 m.rad)	0.7875	***Pass***
3.	*Area* 30˚ *to* 40˚ (0.030 m.rad)	0.3008	***Pass***
4.	*Max* GZ *at* 30˚ *or Greater* (0.2 m)	1.737	***Pass***
5.	*Angle of Maximum* GZ ($\theta Max \geq 25$˚)	35.5	***Pass***
6.	*Initial* GMt (0.15 m)	3.417	***Pass***
	International Grain Code		
1.	*Angle of Heel* ($\leq$ 12°)	0	***Pass***
2.	*Area* θ1 *to* 40° (0.075 m.rad)	0.484	***Pass***
3.	*Initial* GMt (0.30 m)	3.417	***Pass***

Berdasarkan hasil analisis stabilitas diketahui bahwa enam kriteria dari IS Code 2008 telah terpenuhi dan tiga kriteria stabilitas yang disyaratkan IG Code juga terpenuhi. Dari hasil

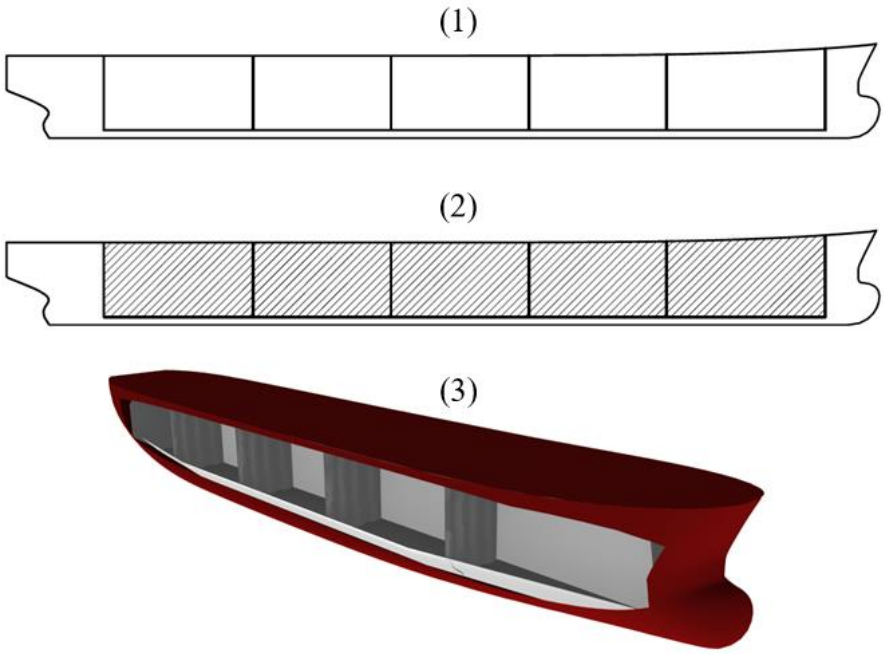
analisis dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas kapal setelah pengaturan *angle of repose* pada saat muatan mengalami likuefaksi adalah memenuhi.

5.3. Penambahan Sekat Memanjang

Ore carrier pada umumnya tidak memiliki sekat memanjang hal ini berkaitan dengan proses pemuatan yang mengharuskan mempunyai *space* yang luas untuk akses peralatan bongkar muat. Peralatan bongkar muat yang dimaksud adalah *crane*, akan semakin sulit mengendalikan *crane* di tempat yang sempit. Proses bongkar muat kapal dapat dilihat pada Gambar 5.6. Disisi lain permasalahan muncul pada *ore carrier* ketika muatan tidak penuh sehingga dapat mengakibatkan pergeseran muatan. Oleh karena itu penambahan sekat memanjang untuk membagi muatan menjadi dua sisi bertujuan untuk mengurangi *free surface moment* yang timbul akibat pergeseran muatan. Akan dilakukan dua jenis penambahan sekat memanjang yaitu penambahan sekat memanjang di sepanjang ruang muat dan penambahan sekat memanjang di sebagian ruang muat.

5.3.1 Sekat Memanjang di Sepanjang Ruang Muat

Permodelan sekat memanjang di sepanjang ruang muat dilakukan menggunkan bantuan perangkat CAD dan Maxsurf Modeller. Sekat memanjang ditambahkan disepanjang ruang muat dan di dasar sampai ambang palkah. Tidak ada perubahan pada tutup ambang palkah sehingga disetiap ruang muat terdapat dua ambang palkah dan satu tutup ambang palkah. Permodelan penambahan sekat memanjang kapal dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Permodelan Penambahan Sekat Memanjang di Sepanjang Ruang Muat

Penambahan sekat memanjang di sepanjang ruang muat ini memberikan konsekuensi penambahan konstruksi. Konstruksi yang akan ditambahkan yaitu pelat, pembujur, dan gading. Perhitungan berat konstruksi menggunakan aturan dari BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). Selain itu beberapa syarat teknis harus tetap terpenuhi agar perhitungan stabilitas dapat dilakukan dengan tepat. Adapun syarat teknis dan perhitungan yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Sarat kapal adalah 12.575 m,
2. Berat lightship kapal adalah 8,385 ton,
3. Berat konstruksi tambahan berdasarkan perhitungan menurut BKI adalah 412.7 ton
4. Berat DWT kapal (55,625 ton) = berat *payload* (53,795 ton) + berat *consumable* (1,830 ton),
5. Karena ada penambahan berat kapal maka komponen berat DWT harus dikurangi. Karena berat *consumable* tidak dapat dikurangi maka berat yang dikurangi adalah berat *payload*. Sehingga berat *payload* setelah dikurangi berat konstruksi tambahan adalah 53,382.3 ton.
6. Pergeseran muatan akibat likuefaksi terjadi pada semua ruang muat.

Tahap selanjutnya adalah dilakukan perhitungan stabilitas kapal setelah penambahan sekat memanjang kapal disepanjang ruang muat dengan memasukkan kondisi pembebanan hasil modifikasi mengacu pada syarat teknis yang dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 *Load Case* Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

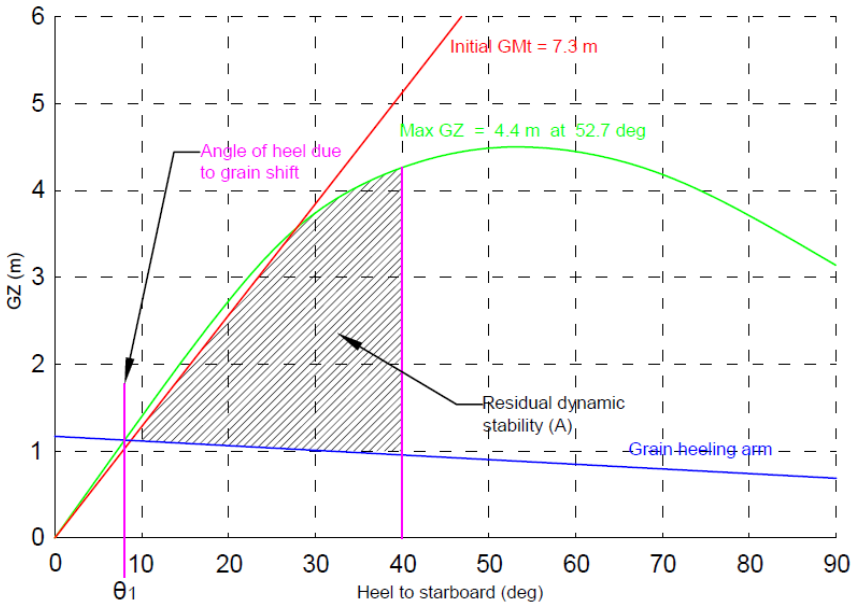
	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59	0.000	0.000	User Spe
2	Sekat Memanjang	1	412.700	412.700			70.000	0.000	10.560	28889.00	0.000	4358.112	0.000	0.000	User Spe
3	Consumable	1	1830.000	1830.000			70.000	0.000	5.000	128100.0	0.000	9150.000	0.000	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 1 (P)	**48.42%**	9950.489	4818.027	5853.22	2834.134	157.205	-5.919	6.221	757418.2	-2851	29973.98	n/a	8734.126	IMO A.749
5	Cargo Hold 1 (S)	**48.42%**	9950.197	4817.886	5853.05	2834.051	157.205	5.919	6.221	757396.6	28516.	29973.10	n/a	8733.903	IMO A.749
6	Cargo Hold 2 (P)	**49.69%**	11533.46	5730.976	6784.38	3371.162	127.914	-7.185	5.830	733071.4	-4117	33412.83	n/a	12287.85	IMO A.749
7	Cargo Hold 2 (S)	**49.69%**	11533.27	5730.886	6784.28	3371.109	127.914	7.185	5.830	733058.4	41175.	33412.29	n/a	12287.66	IMO A.749
8	Cargo Hold 3 (P)	**43.82%**	11460.00	5021.775	6741.18	2953.985	96.900	-7.148	5.353	486608.9	-3589	26880.17	n/a	12492.54	IMO A.749
9	Cargo Hold 3 (S)	**43.82%**	11459.82	5021.694	6741.07	2953.938	96.900	7.148	5.353	486599.9	35893.	26879.74	n/a	12492.34	IMO A.749
10	Cargo Hold 4 (P)	**49.62%**	11524.87	5718.644	6779.33	3363.908	65.804	7.187	5.800	376309.7	41097.	33167.88	n/a	12601.44	IMO A.749
11	Cargo Hold 4 (S)	**49.62%**	11524.87	5718.644	6779.33	3363.908	65.804	-7.187	5.800	376309.7	-4109	33167.88	n/a	12601.44	IMO A.749
12	Cargo Hold 5 (P)	**49.37%**	10953.56	5407.775	6443.27	3181.044	34.806	-6.605	5.998	188223.1	-3571	32435.91	n/a	11494.91	IMO A.749
13	Cargo Hold 5 (S)	**49.36%**	10953.56	5406.679	6443.27	3180.400	34.806	6.605	5.997	188185.3	35710.	32425.23	n/a	11494.91	IMO A.749
14	**Total Loadcase**			**64020.686**	**65202.4**	**31407.63**	**91.019**	**0.000**	**6.463**	**5827120.**	**-9.889**	**413782.7**		**115221.1**	
15	**FS correction**								**1.800**						
16	**VCG fluid**								**8.263**						

Dari rekapitulasi kondisi pembebanan kapal setelah penambahan *hopper tank* memanjang kapal didapatkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Displacement* adalah 64,020 ton
2. LCG total adalah 91.019 m

3. VCG total setelah koreksi adalah 8.236 m
4. Total *Free Surface Moment* akibat likuefaksi adalah 115.221 ton.m

Kondisi pembebanan tersebut dianalisis sehingga didapatkan kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm curve* dan kondisi *equilibrium* kapal setelah sekat memanjang di sepanjang ruang muat. Kurva stabilitas lengan GZ dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Kurva GZ dengan Koreksi *Heeling Arm* Kapal Setelah Penambahan Sekat Memanjang Disepanjang Ruang Muat

Tabel 5.17 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi

1	Draft Amidships m	12.584
2	Displacement t	64020
3	Heel deg	7.9
4	Draft at FP m	12.584
5	Draft at AP m	12.584
6	Draft at LCF m	12.584
7	Trim (+ve by stern) m	0.000
8	WL Length m	185.450
9	Beam max extents on WL m	32.567
10	Wetted Area m^2	9025.215
11	Waterpl. Area m^2	5587.653
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.847
13	Block coeff. (Cb)	0.742
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.876
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.925
16	LCB from zero pt. (+ve fwd)	91.975
17	LCF from zero pt. (+ve fwd)	88.546
18	KB m	6.773
19	KG m	12.819
20	BMt m	7.233
21	BML m	226.211
22	GMt m	1.110
23	GML m	220.088
24	KMt m	13.937
25	KML m	230.837
26	Immersion (TPc) tonne/cm	57.273
27	MTc tonne.m	774.177
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	1240.423
29	Max deck inclination deg	7.9000
30	Trim angle (+ve by stern) de	0.0000

Dari gambar kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm* kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi, dapat diperoleh kondisi *equilibrium* kapal terjadi pada sudut oleng 7.9°. Sudut oleng kapal dapat tidak melebihi sudut 12º dikarenakan penambahan sekat memanjang disepanjang ruang muat mengakibatkan nilai *Free Surface Moment* kapal menjadi berkurang. Nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng 36.4˚ dengan nilai 2.677 m. Nilai *residual area* antara sudut 0° dan 40° adalah 0.9926 m.rad, dan tinggi *initial metacentric* adalah 7.29 m. Adapun hasil analisis *equilibrium* kapal saat muatan terlikuefaksi dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Hasil analisis kemudian diperiksa apakah kondisi kapal memenuhi kriteria-kriteria stabilitas kapal yang disyaratkan oleh IMO (IS Code 2008 dan International Grain Code). Hasil pemeriksaan stabilitas kapal dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

No	*Criteria*	*Result*	*Status*
	IS Code 2008		
1.	*Area* 0˚ *to* 30˚ (0.055 m.rad)	0.7454	***Pass***
2.	*Area* 0˚ *to* 40˚ (0.090 m.rad)	1.2075	***Pass***
3.	*Area* 30˚ *to* 40˚ (0.030 m.rad)	0.4621	***Pass***
4.	*Max* GZ *at* 30˚ *or Greater* (0.2 m)	2.677	***Pass***
5.	*Angle of Maximum* GZ ($\theta Max \geq 25˚$)	36.4	***Pass***
6.	*Initial* GMt (0.15 m)	7.296	***Pass***
	International Grain Code		
1.	*Angle of Heel* (≤ 12°)	7.9	***Pass***
2.	*Area* θ1 *to* 40° (0.075 m.rad)	0.9926	***Pass***
3.	*Initial* GMt (0.30 m)	7.296	***Pass***

Berdasarkan hasil analisis stabilitas diketahui bahwa enam kriteria dari IS Code 2008 telah terpenuhi dan tiga kriteria stabilitas yang disyaratkan International Grain Code juga terpenuhi. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas kapal setelah penambahan sekat memanjang disepanjang kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi adalah memenuhi.

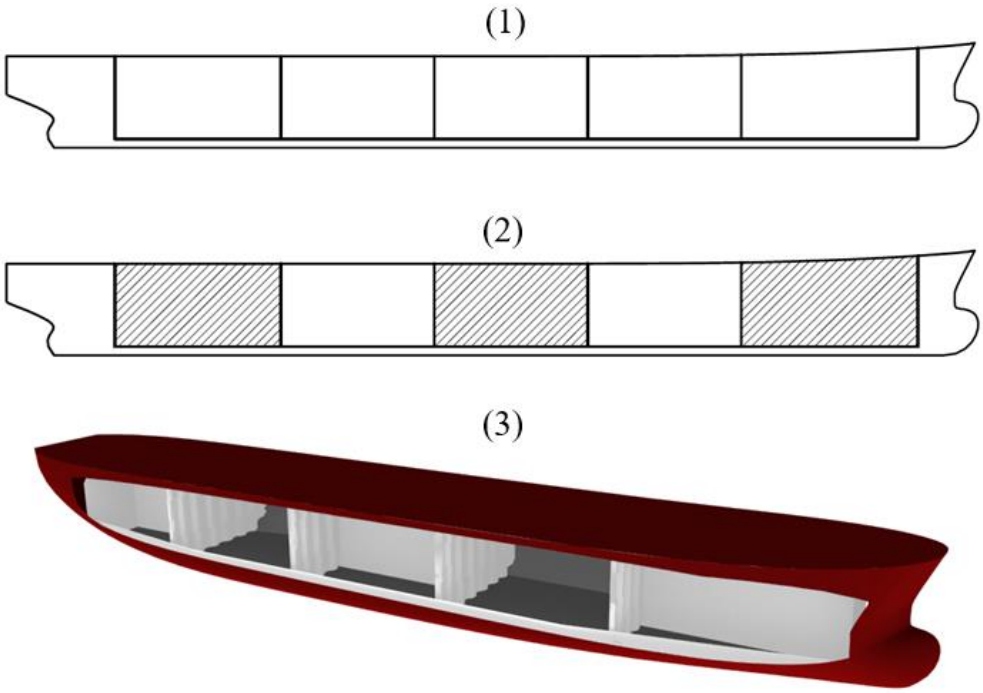
5.3.2 Sekat Memanjang di Ruang Muat No.1, No.3, dan No.5

Hasil analisis dari penambahan sekat memanjang disepanjang ruang muat menunjukkan nilai stabilitas yang baik dan memenuhi kriteria. Namun memiliki konsekuensi penambahan konstruksi yang banyak, oleh karena itu alternatif lain perlu dipikirkan untuk menekan biaya penambahan konstruksi dan pertimbangan kapasitas muatan akibat penambahan konstruksi, tapi tetap memiliki stabilitas yang baik. Alternatif lain yaitu dengan mengurangi penambahan sekat, sehingga penambahan sekat hanya disebagian ruang muat. Penambahan sekat

memanjang kapal akan dilakukan pada ruang muat No.1, No.3, dan No.5. Permodelan penambahan sekat memanjang dapat dilihat pada Gambar 5.19.

Penambahan sekat memanjang pada ruang muat No.1, No.3, dan No.5 ini memberikan konsekuensi penambahan konstruksi. Konstruksi yang akan ditambahkan yaitu pelat, pembujur, dan gading. Perhitungan berat konstruksi menggunakan aturan dari BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). Selain itu beberapa syarat teknis harus tetap terpenuhi agar perhitungan stabilitas dapat dilakukan dengan tepat. Adapun syarat teknis dan perhitungan yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Sarat kapal adalah 12.575 m,
2. Berat lightship kapal adalah 8,385 ton,
3. Berat konstruksi tambahan berdasarkan perhitungan menurut BKI adalah 247 ton,
4. Berat DWT kapal (55,625 ton) = berat *payload* (53,795 ton) + berat *consumable* (1,830 ton),
5. Karena ada penambahan berat kapal maka komponen berat DWT harus dikurangi. Karena berat *consumable* tidak dapat dikurangi maka berat yang dikurangi adalah berat *payload*. Sehingga berat *payload* setelah dikurangi berat konstruksi tambahan adalah 53,548 ton,
6. Pergeseran muatan akibat likuefaksi terjadi pada semua ruang muat.



Gambar 5. 13 Permodelan Penambahan Sekat Memanjang pada Ruang Muat No.1, No.3, No.5

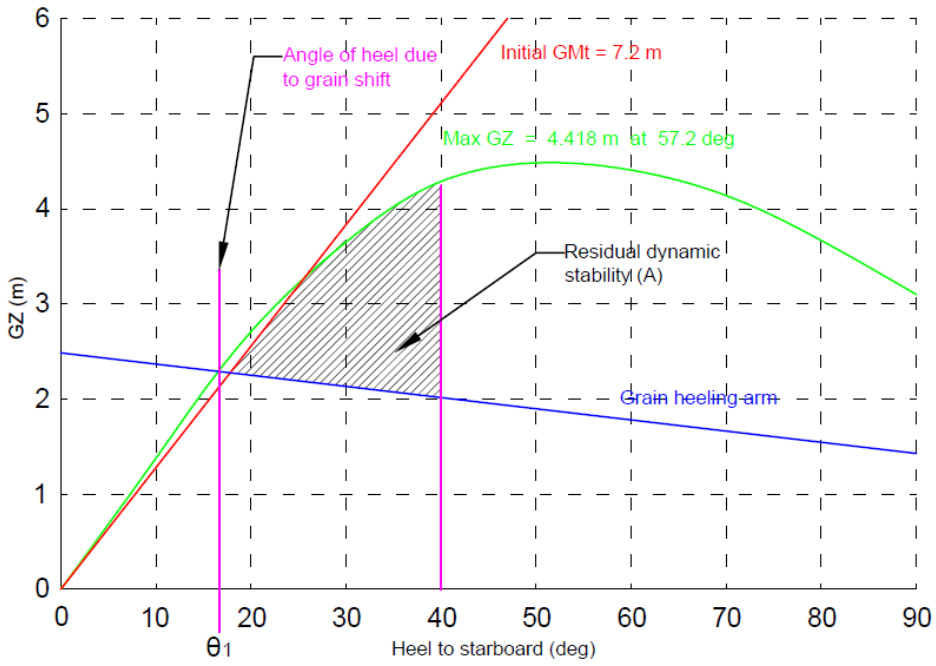
Tahap selanjutnya adalah dilakukan perhitungan stabilitas kapal setelah penambahan sekat memanjang kapal di ruang muat No.1, No.3, dan No.5 dengan memasukkan kondisi pembebanan dari hasil modifikasi mengacu pada syarat teknis. Kondisi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.19 *Load Case* Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59	0.000	0.000	User Spe
2	Lightship	1	247.000	247.000			70.000	0.000	10.560	17290.00	0.000	2608.320	0.000	0.000	User Spe
3	Consumable	1	1736.000	1736.000			70.000	0.000	5.000	121520.0	0.000	8680.000	0.000	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 1 (P)	**48.42%**	9950.489	4818.027	5853.22	2834.133	157.205	-5.919	6.221	757418.1	-2851	29973.97	n/a	8734.126	IMO A.749
5	Cargo Hold 1 (S)	**48.42%**	9950.197	4817.886	5853.05	2834.051	157.205	5.919	6.221	757396.6	28516.	29973.10	n/a	8733.904	IMO A.749
6	Cargo Hold 2	**49.69%**	23066.92	11461.954	13568.7	6742.326	127.914	0.000	5.830	1466143.	0.000	66825.67	n/a	98302.81	IMO A.749
7	Cargo Hold 3 (P)	**43.82%**	11460.00	5021.774	6741.18	2953.985	96.900	-7.148	5.353	486608.9	-3589	26880.17	n/a	12492.54	IMO A.749
8	Cargo Hold 3 (S)	**43.82%**	11459.82	5021.694	6741.07	2953.937	96.900	7.148	5.353	486599.8	35893.	26879.73	n/a	12492.34	IMO A.749
9	Cargo Hold 4	**49.66%**	23049.75	11446.507	13558.6	6733.239	65.804	0.000	5.803	753226.1	0.000	66424.56	n/a	100811.5	IMO A.749
10	Cargo Hold 5 (P)	**50.51%**	10953.56	5532.646	6443.27	3254.498	34.799	-6.617	6.085	192531.4	-3661	33664.28	n/a	11494.91	IMO A.749
11	Cargo Hold 5 (S)	**50.5%**	10953.56	5531.551	6443.27	3253.853	34.799	6.617	6.084	192493.6	36602.	33653.41	n/a	11494.91	IMO A.749
12	**Total Loadcase**			**64020.039**	**65202.5**	**31560.02**	**90.881**	**0.000**	**6.468**	**5818177.**	**-9.234**	**414108.8**		**264557.1**	
13	**FS correction**								**4.132**						
14	**VCG fluid**								**10.601**						

Dari rekapitulasi kondisi pembebanan kapal setelah penambahan *hopper tank* memanjang kapal didapatkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Displacement* adalah 64,020 ton
2. LCG total adalah 90.748 m
3. VCG total setelah koreksi adalah 10.599 m
4. Total *Free Surface Moment* akibat likuefaksi adalah 264557.1 ton.m



Gambar 5.14 Kurva GZ dengan Koreksi *Heeling Arm* Kapal Setelah Penambahan Sekat Memanjang di Ruang Muat No.1, No.3, dan No.5

Kondisi pembebanan tersebut dianalisis sehingga didapatkan kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm curve* dan kondisi *equilibrium* kapal setelah penambahan sekat memanjang di ruang muat No.1, No.3, dan No.5. Kurva stabilitas lengan GZ dapat dilihat pada Gambar 5.13.

Dari gambar kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm* kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi, dapat diperoleh kondisi *equilibrium* kapal terjadi pada sudut oleng 16.7°. Nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng 27.2˚ dengan nilai 1.22 m. Nilai *residual area* antara sudut 0° dan 40° adalah 0.5351 m.rad, dan tinggi *initial metacentric* adalah 7.29 m. Adapun hasil analisis *equilibrium* kapal saat muatan terlikuefaksi dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5.20 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi

1	Draft Amidships m	12.621
2	Displacement t	64020
3	Heel deg	16.7
4	Draft at FP m	6.336
5	Draft at AP m	18.906
6	Draft at LCF m	12.151
7	Trim (+ve by stern) m	12.570
8	WL Length m	190.335
9	Beam max extents on WL m	33.673
10	Wetted Area m^2	9611.708
11	Waterpl. Area m^2	4927.180
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.687
13	Block coeff. (Cb)	0.540
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	1.116
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.769
16	LCB from zero pt. (+ve fwd)	77.978
17	LCF from zero pt. (+ve fwd)	97.802
18	KB m	7.406
19	KG m	12.819
20	BMt m	5.945
21	BML m	173.364
22	GMt m	2.507
23	GML m	169.927
24	KMt m	13.088
25	KML m	173.096
26	Immersion (TPc) tonne/cm	50.504
27	MTc tonne.m	597.729
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	2801.523
29	Max deck inclination deg	17.1116
30	Trim angle (+ve by stern) de	3.9510

Hasil analisis kemudian diperiksa apakah kondisi kapal memenuhi kriteria-kriteria stabilitas kapal yang disyaratkan oleh IMO (IS Code 2008 dan International Grain Code). Hasil pemeriksaan stabilitas kapal dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Tabel 5.21 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

No	*Criteria*	*Result*	*Status*
	IS Code 2008		
1.	*Area* 0˚ *to* 30˚ (0.055 m.rad)	0.4062	***Pass***
2.	*Area* 0˚ *to* 40˚ (0.090 m.rad)	0.6116	***Pass***
3.	*Area* 30˚ *to* 40˚ (0.030 m.rad)	0.2053	***Pass***
4.	*Max* GZ *at* 30˚ *or Greater* (0.2 m)	1.214	***Pass***
5.	*Angle of Maximum* GZ ($\theta Max \geq 25˚$)	27.3	***Pass***
6.	*Initial* GMt (0.15 m)	7.296	***Pass***
	International Grain Code		
1.	*Angle of Heel* (≤ 12°)	16.7	***Fail***
2.	*Area* θ1 *to* 40° (0.075 m.rad)	0.5351	***Pass***
3.	*Initial* GMt (0.30 m)	7.296	***Pass***

Berdasarkan hasil analisis stabilitas diketahui bahwa enam kriteria dari IS Code 2008 masih terpenuhi. Sedangkan untuk kriteria stabilitas dari IG Code, dari tiga kriteria yang disyaratkan, dua kriteria yang masih memenuhi, untuk kriteria *Angel of Heel* tidak memenuhi dikarenakan saat muatan terlikuefaksi kapal mengalami kondisi equilibrium pada sudut oleng 16.7°, lebih besar dari yang disyaratkan yaitu saat muatan mengalami pergeseran sudut oleng kapal tidak boleh lebih dari 12°. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi adalah tidak memenuhi kriteria stabilitas IG Code.

Analisis stabilitas menunjukkan hasil tidak memenuhi kriteria karena penambahan sekat memanjang di ruang muat No.1, No.3, dan No.5 tidak dapat mengurangi nilai *free surface moment* secara signifikan. Hal ini juga disebabkan oleh volume ruang muat yang rendah sehingga nilai *free surface moment* yang dihasilkan tinggi.

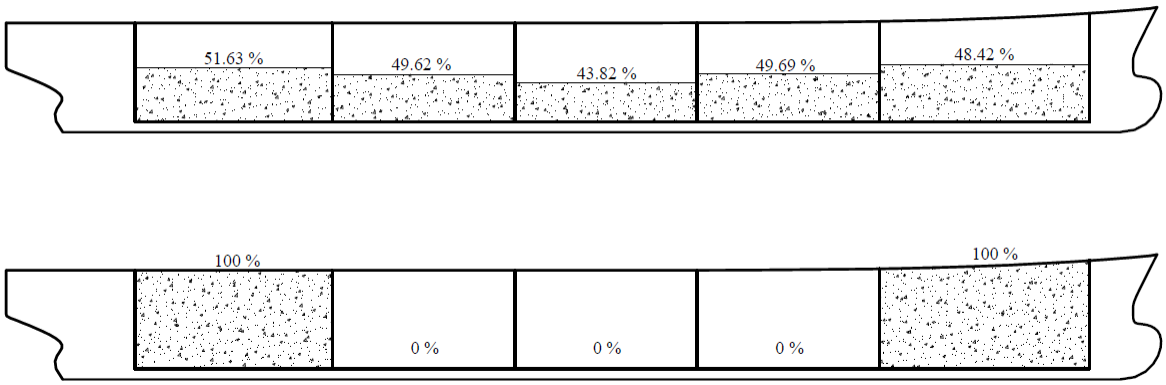
5.4. Pengaturan Distribusi Muatan

Pergeseran muatan di dalam ruang muat dapat terjadi jika ruang muat tidak terisi penuh. Dalam insiden MV. Alam Manis, di setiap ruang muat hanya terisi kurang dari 50%. Oleh karena itu pengaturan distribusi muatan dapat menjadi salah satu pilihan solusi dari insiden MV. Alam Manis. Pengaturan distribusi muatan yang akan dilakukan yaitu ruang muat No.1, No.5 penuh dan ruang muat No.2, No.4 penuh.

5.4.1 Ruang Muat No.1 dan No.5 Penuh

Dalam *stowage plan* MV. Alam Manis menunjukkan pengaturan distribusi muatan di distribusikan merata pada setiap ruang muat, dari total berat *payload* 53,975 ton menjadi rata-rata kurang dari 50% terisi. Sketsa distribusi muatan awal dapat dilihat pada Gambar 5.11. Dari

sketsa distribusi awal, muatan pada ruang muat No.2, No.3 dan No.4 dipindahkan ke ruang muat No.1 dan No.5, sampai volume dari kedua ruang muat tersebut penuh. Sehingga hasil dari distribusi muatan ulang menjadi ruang muat No.2, No.3 dan No.4 kosong, sedangkan ruang muat No.1 dan No.5 penuh. Sketsa distribusi muatan ruang muat No.1 dan No.5 penuh dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.15 Permodelan Penambahan Sekat Memanjang pada Ruang Muat No.1, No.3, No.5

Pengaturan distribusi muatan ini memiliki konsekuensi *payload* menjadi berkurang, hal ini karena muatan yang dipindahkan pada ruang muat No.1 dan No.5 tidak sepenuhnya dipindahkan dikarenakan volume pada kedua ruang muat tersebut telah penuh. Oleh karena itu masukan untuk pembebanan *payload* perlu dihitung ulang. Selain itu beberapa syarat teknis harus tetap terpenuhi agar perhitungan stabilitas dapat dilakukan dengan tepat. Adapun syarat teknis dan perhitungan yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Sarat kapal adalah 12.575 m,
2. Berat lightship kapal adalah 8,385 ton,
3. Berat pengurangan *payload* akibat pengaturan distribusi muatan adalah 9,163 ton, sehingga berat *payload* (44,641 ton) = berat *payload* awal (53,795 ton) – (9,163 ton),
4. Berat DWT kapal (46,471 ton) = berat *payload* (44,641 ton) + berat *consumable* (1,830 ton),
5. Pergeseran muatan akibat likuefaksi terjadi pada semua ruang muat.

Tahap selanjutnya adalah dilakukan perhitungan stabilitas kapal setelah pengaturan distribusi muatan, ruang muat No.1 dan No.5 penuh dengan memasukkan kondisi pembebanan dari hasil modifikasi yang mengacu pada syarat teknis. Kondisi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.23.

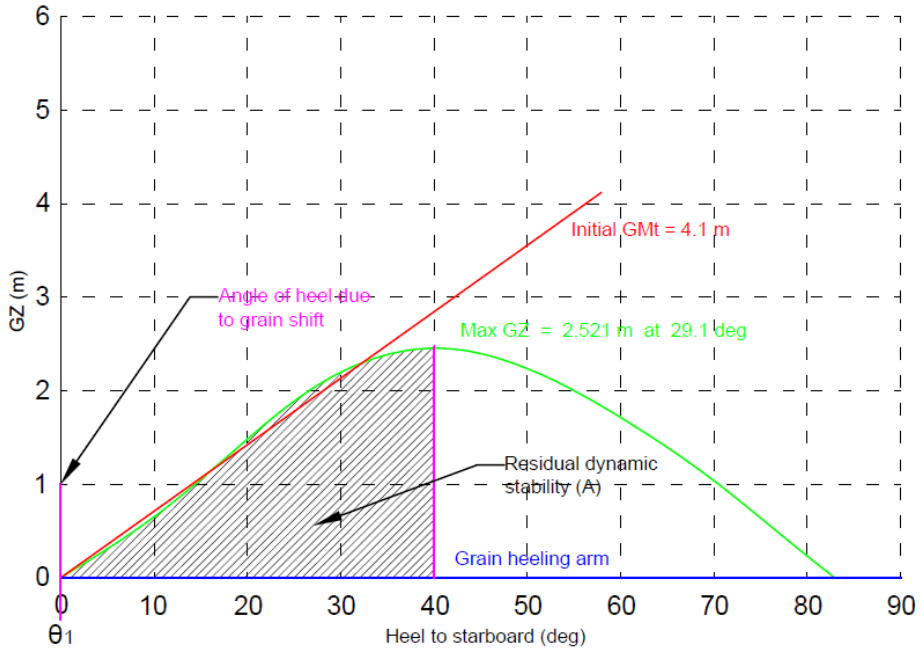
Tabel 5.22 *Load Case* Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59	0.000	0.000	User Spe
2	Consumable	1	1830.000	1830.000			70.000	0.000	5.000	128100.0	0.000	9150.000	0.000	0.000	User Spe
3	Cargo Hold 1	**100%**	19900.97	19900.978	11706.4	11706.45	157.851	0.000	10.359	3141394.	0.000	206162.7	n/a	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 2	**0%**	24560.90	0.000	14447.5	0.000	127.560	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
5	Cargo Hold 3	**0%**	24365.59	0.000	14332.7	0.000	96.900	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
6	Cargo Hold 4	**0%**	24502.82	0.000	14413.4	0.000	65.799	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
7	Cargo Hold 5	**100%**	24740.34	24740.349	14553.1	14553.14	34.329	0.000	9.941	849319.9	0.000	245955.3	n/a	0.000	User Spe
8	**Total Loadcase**			**54856.327**	**69453.3**	**26259.60**	**85.783**	**0.000**	**10.023**	**4705764.**	**0.000**	**549813.7**		**0.000**	
9	**FS correction**								**0.000**						
10	**VCG fluid**								**10.023**						

Dari rekapitulasi kondisi pembebanan kapal setelah pengaturan distribusi muatan, ruang muat No.1 dan No.5 penuh didapatkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Displacement* adalah 54,856.3 ton
2. LCG total adalah 85.783 m
3. VCG total setelah koreksi adalah 10.023 m
4. Total *Free Surface Moment* akibat likuefaksi adalah 0 ton.m

Kondisi pembebanan tersebut dianalisis sehingga didapatkan kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm curve* dan kondisi *equilibrium* kapal setelah pengaturan distribusi muatan, pemindahan muatan di ruang muat No.2, No.3, dan No.5 ke ruang muat No.1 dan No.5. Kurva stabilitas lengan GZ dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5.16 Kurva GZ dengan Koreksi *Heeling Arm* Kapal Setelah Pengaturan Distribusi Muatan (Ruang Muat No.1 dan No.5 Penuh)

Dari gambar kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm* kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi, dapat diperoleh kondisi *equilibrium* kapal terjadi pada sudut oleng 0°. Nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng 39.1˚ dengan nilai 2.5 m. Nilai *residual area* antara sudut 0° dan 40° adalah 0.792 m.rad, dan tinggi *initial metacentric* adalah 4.114 m. Adapun hasil analisis *equilibrium* kapal saat muatan terlikuefaksi dapat dilihat pada Tabel 5.24.

Tabel 5.23 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi

1	Draft Amidships m	10.897
2	Displacement t	54855
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	8.474
5	Draft at AP m	13.319
6	Draft at LCF m	10.972
7	Trim (+ve by stern) m	4.845
8	WL Length m	188.982
9	Beam max extents on WL m	32.257
10	Wetted Area m^2	8400.999
11	Waterpl. Area m^2	5538.817
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.761
13	Block coeff. (Cb)	0.668
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.965
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.909
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	85.675
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	88.173
18	KB m	5.949
19	KG fluid m	10.023
20	BMt m	8.189
21	BML m	262.469
22	GMt corrected m	4.114
23	GML m	258.394
24	KMt m	14.135
25	KML m	268.326
26	Immersion (TPc) tonne/cm	56.773
27	MTc tonne.m	778.803
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) to	3938.267
29	Max deck inclination deg	1.5248
30	Trim angle (+ve by stern) deg	1.5248

Hasil analisis kemudian diperiksa apakah kondisi kapal memenuhi kriteria-kriteria stabilitas kapal yang disyaratkan oleh IMO (IS Code 2008 dan International Grain Code). Hasil pemeriksaan stabilitas kapal dapat dilihat pada Tabel 5.25.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas diketahui bahwa enam kriteria dari IS Code 2008 masih terpenuhi. Sedangkan untuk kriteria stabilitas dari IG Code, dari tiga kriteria yang disyaratkan semua terpenuhi. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi adalah memenuhi. Analisis stabilitas menunjukkan hasil memenuhi karena pengaturan distribusi muatan dengan cara memindahkan muatan di ruang muat No.2, No.3, dan No.4 ke ruang muat No.1 dan No.5 membuat nilai *free surface moment* menjadi nol. Hal ini dikarenakan ruang muat yang terisi penuh tidak akan terjadi pergeseran muatan didalamnya. Akan tetapi pendistribusian muatan ulang menjadikan

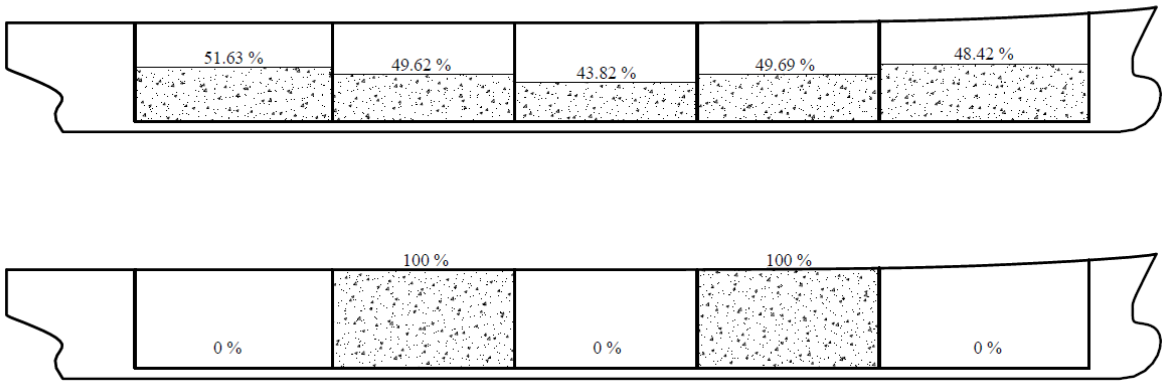
trim kapal tinggi, hal ini sesuai dengan Permenhub Nomor 39 Tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal serta trim tidak melebihi 1% LPP. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas kapal setelah pendistribusian muatan ulang berupa ruang muat No.1 dan No.5 penuh adalah tidak memenuhi dan berbahaya untuk dilakukan pelayaran.

Tabel 5.24 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Setelah Pengaturan Distribusi Muatan (Ruang Muat No.1 dan No.5 Penuh)

No	*Criteria*	*Result*	*Status*
	IS Code 2008		
1.	*Area* 0˚ *to* 30˚ (0.055 m.rad)	0.6029	***Pass***
2.	*Area* 0˚ *to* 40˚ (0.090 m.rad)	1.0307	***Pass***
3.	*Area* 30˚ *to* 40˚ (0.030 m.rad)	0.4278	***Pass***
4.	*Max* GZ *at* 30˚ *or Greater* (0.2 m)	2.521	***Pass***
5.	*Angle of Maximum* GZ ($\theta Max \geq 25˚$)	39.1	***Pass***
6.	*Initial* GMt (0.15 m)	4.114	***Pass***
	International Grain Code		
1.	*Angle of Heel* (≤ 12°)	0	***Pass***
2.	*Area* θ1 *to* 40° (0.075 m.rad)	0.792	***Pass***
3.	*Initial* GMt (0.30 m)	4.114	***Pass***

5.4.2 Ruang Muat No.2 dan No.4 Penuh

Pengaturan distribusi muatan yang dapat dilakukan lainnya adalah ruang muat No.2 dan No.4 penuh. Muatan pada ruang muat No.1, No.3, dan No.5 dipindahkan ke ruang muat No.2 dan No.4. Sketsa distribusi muatan ruang muat No.1 dan No.5 penuh dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.17 Permodelan Penambahan Sekat Memanjang pada Ruang Muat No.1, No.3, No.5

Pengaturan distribusi muatan ini memiliki konsekuensi *payload* menjadi berkurang, hal ini karena muatan yang dipindahkan pada ruang muat No.2 dan No.4 tidak sepenuhnya dipindahkan dikarenakan volume pada kedua ruang muat tersebut telah penuh. Oleh karena itu masukan untuk pembebanan *payload* perlu dihitung ulang. Selain itu beberapa syarat teknis

harus tetap terpenuhi agar perhitungan stabilitas dapat dilakukan dengan tepat. Adapun syarat teknis dan perhitungan yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Sarat kapal adalah 12.575 m,
2. Berat lightship kapal adalah 8,385 ton,
3. Berat pengurangan *payload* akibat pengaturan distribusi muatan adalah 4,741 ton, sehingga berat *payload* (49,063 ton) = berat *payload* awal (53,795 ton) – (4,741 ton),
4. Berat DWT kapal (46,471 ton) = berat *payload* (49,063 ton) + berat *consumable* (1,830 ton),
5. Pergeseran muatan akibat likuefaksi terjadi pada semua ruang muat.

Tahap selanjutnya adalah dilakukan perhitungan stabilitas kapal setelah pengaturan distribusi muatan, ruang muat No.2 dan No.4 penuh dengan memasukkan kondisi pembebanan dari hasil modifikasi yang mengacu pada syarat teknis. Kondisi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.26.

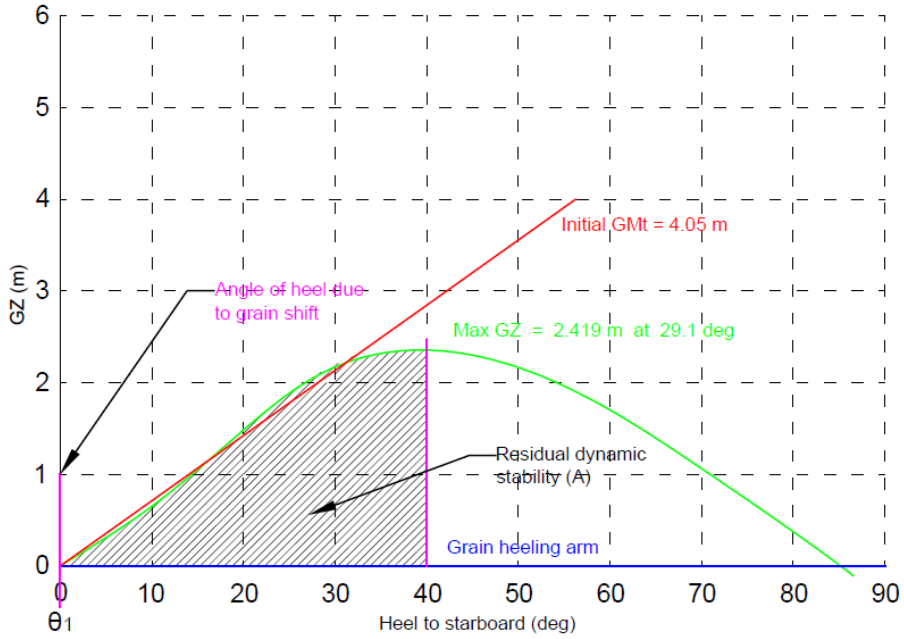
Tabel 5.25 *Load Case* Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59	0.000	0.000	User Spe
2	Consumable	1	1830.000	1830.000			70.000	0.000	5.000	128100.0	0.000	9150.000	0.000	0.000	User Spe
3	Cargo Hold 1	0%	19900.97	0.000	11706.4	0.000	156.740	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 2	100%	24560.90	24560.902	14447.5	14447.58	127.954	0.000	9.871	3142676.	0.000	242450.7	n/a	0.000	IMO A.749
5	Cargo Hold 3	0%	24365.60	0.000	14332.7	0.000	96.900	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
6	Cargo Hold 4	100%	24502.82	24502.820	14413.4	14413.42	65.799	0.000	9.796	1612270.	0.000	240019.4	n/a	0.000	IMO A.749
7	Cargo Hold 5	0%	24740.34	0.000	14553.1	0.000	36.253	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
8	**Total Loadcase**			**59278.723**	**69453.3**	**28861.01**	**92.276**	**0.000**	**9.787**	**5469997.**	**0.000**	**580165.7**		**0.000**	
9	**FS correction**								**0.000**						
10	**VCG fluid**								**9.787**						

Dari rekapitulasi kondisi pembebanan kapal setelah pengaturan distribusi muatan, ruang muat No.2 dan No.4 penuh didapatkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Displacement* adalah 59,278.7 ton
2. LCG total adalah 92.276 m
3. VCG total setelah koreksi adalah 9.787 m
4. Total *Free Surface Moment* akibat likuefaksi adalah 0 ton.m

Kondisi pembebanan tersebut dianalisis sehingga didapatkan kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm curve* dan kondisi *equilibrium* kapal setelah pengaturan distribusi muatan, pemindahan muatan di ruang muat No.1, No.3, dan No.5 ke ruang muat No.2 dan No.4. Kurva stabilitas lengan GZ dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.18 Kurva GZ dengan Koreksi *Heeling Arm* Kapal Setelah Pengaturan Distribusi Muatan (Ruang Muat No.2 dan No.4 Penuh)

Dari gambar kurva stabilitas lengan GZ dengan koreksi *heeling arm* kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi, dapat diperoleh kondisi *equilibrium* kapal terjadi pada sudut oleng 0°. Nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng 39.1˚ dengan nilai 2.419 m. Nilai *residual area* antara sudut 0° dan 40° adalah 0.769 m.rad, dan tinggi *initial metacentric* adalah 4.052 m. Adapun hasil analisis *equilibrium* kapal saat muatan terlikuefaksi dapat dilihat pada Tabel 5.27.

Hasil analisis kemudian diperiksa apakah kondisi kapal memenuhi kriteria-kriteria stabilitas kapal yang disyaratkan oleh IMO (IS Code 2008 dan International Grain Code). Hasil pemeriksaan stabilitas kapal dapat dilihat pada Tabel 5.28.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas diketahui bahwa enam kriteria dari IS Code 2008 masih terpenuhi. Sedangkan untuk kriteria stabilitas dari IG Code, dari tiga kriteria yang disyaratkan semua terpenuhi. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas kapal pada saat muatan mengalami likuefaksi adalah memenuhi. Analisis stabilitas menunjukkan hasil memenuhi karena pengaturan distribusi muatan dengan cara memindahkan muatan di ruang muat No.1, No.3, dan No.5 ke ruang muat No.2 dan No.4 membuat nilai *free surface moment* menjadi nol. Hal ini dikarenakan ruang muat yang terisi penuh tidak akan terjadi pergeseran muatan didalamnya. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas kapal setelah pendistribusian muatan ulang berupa ruang muat No.2 dan No.4 penuh adalah memenuhi dan layak untuk dilakukan pelayaran.

Tabel 5.26 Hasil Analisis *Equilibrium* Pada Saat Muatan Terlikuefaksi

1	Draft Amidships m	11.752
2	Displacement t	59279
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	11.752
5	Draft at AP m	11.752
6	Draft at LCF m	11.752
7	Trim (+ve by stern) m	0.000
8	WL Length m	185.333
9	Beam max extents on WL m	32.258
10	Wetted Area m^2	8700.891
11	Waterpl. Area m^2	5518.707
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.841
13	Block coeff. (Cb)	0.823
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.978
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.923
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	92.268
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	88.546
18	KB m	6.268
19	KG fluid m	9.787
20	BMt m	7.571
21	BML m	239.811
22	GMt corrected m	4.052
23	GML m	236.291
24	KMt m	13.839
25	KML m	246.079
26	Immersion (TPc) tonne/cm	56.567
27	MTc tonne.m	769.619
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) to	4191.830
29	Max deck inclination deg	0.0000
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0.0000

Tabel 5.27 Pemeriksaan Kriteria Stabilitas Setelah Pengaturan Distribusi Muatan (Ruang Muat No.2 dan No.4 Penuh)

No	*Criteria*	*Result*	*Status*
	IS Code 2008		
1.	*Area* 0˚ *to* 30˚ (0.055 m.rad)	0.5916	***Pass***
2.	*Area* 0˚ *to* 40˚ (0.090 m.rad)	1.0038	***Pass***
3.	*Area* 30˚ *to* 40˚ (0.030 m.rad)	0.4122	***Pass***
4.	*Max* GZ *at* 30˚ *or Greater* (0.2 m)	2.419	***Pass***
5.	*Angle of Maximum* GZ ($\theta Max \geq 25^{\circ}$)	39.1	***Pass***
6.	*Initial* GMt (0.15 m)	4.052	***Pass***
	International Grain Code		
1.	*Angle of Heel* ($\leq 12^{\circ}$)	0	***Pass***
2.	*Area* θ1 *to* 40° (0.075 m.rad)	0.7697	***Pass***
3.	*Initial* GMt (0.30 m)	4.052	***Pass***

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, kesimpulan yang dapat diambil dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Telah dilakukan permodelan MV. Alam Manis yang berupa permodelan lambung, permodelan ruang muat, permodelan bangunan atas, dan permodelan kondisi pembebanan yang memenuhi toleransi 0.4%.
2. Analisis stabilitas setelah modifikasi *hopper tank* MV. Alam Manis adalah sebagai berikut:
    a. Stabilitas kapal setelah penambahan *hopper tank* memanjang kapal adalah tidak memenuhi kriteria stabilitas yang disyaratkan.
    b. Stabilitas kapal setelah pengaturan *angle of repose* adalah memenuhi kriteria yang disyaratkan.
3. Analisis stabilitas setelah penambahan sekat memanjang MV. Alam Manis adalah sebagai berikut:
    a. Stabilitas kapal setelah penambahan sekat memanjang di sepanjang ruang muat adalah memenuhi kriteria yang disyaratkan.
    b. Stabilitas kapal setelah penambahan sekat memanjang di ruang muat No.1, No.3, dan No.5 adalah tidak memenuhi kriteria stabilitas yang disyaratkan.
4. Analisis stabilitas setelah pengaturan distribusi muatan MV. Alam Manis adalah sebagai berikut:
    a. Stabilitas kapal setelah pengaturan distribusi muatan (ruang muat No.1 dan No.5 penuh) adalah tidak memenuhi kriteria stabilitas yang disyaratkan.
    b. Stabilitas kapal setelah pengaturan distribusi muatan (ruang muat No.2 dan No.4 penuh) adalah memenuhi kriteria stabilitas yang disyaratkan.
5. Modifikasi ruang muat yang telah memenuhi kriteria dari IS Code 2008 dan IG Code serta dapat digunakan sebagai solusi untuk mengurangi risiko terbaliknya kapal akibat likuefaksi dengan hanya memerhatikan aspek stabilitas adalah sebagai berikut:

a. Modifikasi *hopper tank* (Pengaturan *angle of repose*)
b. Penambahan sekat memanjang di sepanjang ruang muat
c. Pengaturan distribusi muatan (Ruang muat No.2 dan No.4 penuh)

6.2 Saran

Adapun saran dari penulis untuk Tugas Akhir ini supaya dapat menjadi acuan dalam insiden *ore carrier* yang serupa adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan stabilitas dinamis kapal guna mengetahui detail kondisi pergeseran muatan terjadi.
2. Melakukan perhitungan kekuatan memanjang kapal guna mengetahui efek modifikasi ruang muat terhadap kekuatan memanjang kapal.
3. Melakukan analisis ekonomis guna mengetahui kelebihan dan kekurangan masing-masing opsi solusi dari modifikasi ruang muat terhadap aktifitas pelayaran.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Hashemi, H. M. B., & Al-Amoudi, O. S. B. (2018). A review on the angle of repose of granular materials. *Powder Technology*, *330*, 397–417.

Cercos-Pita, J. L., Bulian, G., Pérez-Rojas, L., & Francescutto, A. (2016). Coupled simulation of nonlinear ship motions and a free surface tank. *Ocean Engineering*, *120*, 281–288.

Chen, J.-H. (2015). Modification of the Intact Stability Criteria to Assess the Ship Survivability from Capsizing. *Procedia Earth and Planetary Science*, *14*, 64–75.

DNV, G. (n.d.). *BULK CARRIER*.

Intercargo_Nickel_Ore.pdf. (n.d.).

International Maritime Organization. (2009). The International Code On Intact Stability, 2008. London: International Maritime Organization.

International Maritime Organization. (2009). International Grain Code, 2008. London: International Maritime Organization.

International Maritime Organization. (2009). International Maritime Solid Bulk Cargo Code, 2008. London: International Maritime Organization.

International Maritime Organization. (2009). Safety Of Life At Sea Convention. London: International Maritime Organization.

International Association of Dry Cargo Ship Owner. (2018*). Bulk Carrier Casualty Report*. London.

Kalkowska, E. (2017). *Intact stability of a bulk carrier*. Szczecin: Maritime University of Szczecin.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi. (2009). *Stability Booklet MV.Nur Allya*. Jakarta.

Lee, H. L. (2017). Nickel ore bulk liquefaction a handymax incident and response. *Ocean Engineering*, *139*, 65–73. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.04.036

Mosaad, M. A., El-Kilani, H. S., Ramadan, R., & Attia, M. (n.d.). STRENGTH ASSESSMENT OF AGED FORE-END TRANSVERSEBULKHEAD IN BULK CARRIERS. *Port Said Engineering Research Journal*, *17*(1), 175–179.

Nahumariri, M. G. G., & Hasanudin, H. (2019). Analisis Teknis Terbaliknya KMP. Kayong Utara di Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknik ITS*, *8*(1), G82–G89. https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i1.41515

Papanikolaou, A., Bitha, K., Eliopoulou, E., & Ventikos, N. P. (2014). Statistical analysis of ship accidents that occurred in the period 1990–2012 and assessment of safety level of ship types. *Proceedings of the Maritime Technology and Engineering Conference (MARTECH)*, 227–233.

Semyonov-Tyan-Shansky, P. P. (1966). *Statics and Dynamics of the Ship*. Peace Publisher.

Soares, C. G., & Teixeira, A. P. (2000). Structural reliability of two bulk carrier designs. *Marine Structures*, *13*(2), 107–128.

Teferra, T. F. (2019). Engineering Properties of Food Materials. In *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering* (pp. 45–89). Elsevier.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A *Ship Specification*
LAMPIRAN B Model MV. Alam Manis
LAMPIRAN C Validasi Model Tangki
LAMPIRAN D Kondisi Pembebanan
LAMPIRAN E Kurva Stabilitas
LAMPIRAN F Hasil Analisi Equilibrium
LAMPIRAN G Perhitungan Konstruksi Tambahan
BIODATA PENULIS

LAMPIRAN A

SHIP SPECIFICATION

ClassNK

Last update : **10 Jun 2020**

Print This Page

Classification No. :	**071467**
IMO No. :	**9397834**
Official No. :	**--**
Signal Letters :	**YCXV2**
Flag :	**Indonesia**
Port of Registry :	**Jakarta**
Ship's Name :	**RASUNA BARUNA**
Former Name 1 :	**ALAM MANIS**
Registered Owner 1 :	**PT. PELAYARAN BAHTERA ADHIGUNA**
Management Company 1 :	**PT. PELAYARAN BAHTERA ADHIGUNA**
Classification Characters, Notations :	**NS*(BC-A)(ESP)(IWS) MNS*(M0)**
Descriptive Notes	
Design Condition :	**Strengthened for heavy cargo loading where hold nos. 2 & 4 may be empty**
Installation Characters :	**CHG, M0**
Installation Descriptive Notes	
Automatic and Remote Control Systems :	**The ship has complied with the requirements of Chapter II-1, Part E of SOLAS, "Periodically unattended machinery spaces (UMS)".**
Special Description :	**--**
Other Classification :	**--**
Type of Ship -Purpose(intended service) :	**BULK CARRIER**
- Certificates - SC/SE/SF :	**--**
- OPP :	**--**
- EE :	**--**
- SMC/ISSC :	**Bulk carrier (SOLAS IX Reg. 1.6)**
Tonnage Gross (Registered) :	**31,238**
Tonnage Net (Registered) :	**18,506**
Tonnage Gross (Local) :	**--**
Tonnage Net (Local) :	**--**
Tonnage Gross (TM69) :	**31,238**
Tonnage Net (TM69) :	**18,506**
Deadweight :	**55,652**
Summer Freeboard (mm) :	**5,375**
Summer Draught (m) :	**12.575**
Lf (m) :	**182.970**
Continuous Max. Speed (kt) (Sea Trial) :	**15.7**
Equipment No. :	**3,039**
Overall Length (m) :	**189.990**
Moulded LxBxD (m) :	**182.000 x 32.260 x 17.900**
Registered LxBxD (m) :	**182.970 x 32.260 x 17.900**
Cargo Capacity (m3 / No. of Containers, etc.) :	**B 68,083.00 G 70,815.00**

No. of Passengers :	--
Capacity of Tanks (m3) :	FO 2,645.00 FW 428.00

Lifeboats Type, No. & Person :	3 2x(24)
Rescue Boats Type, No. & Person :	1 1x(6) (at combined use for lifeboat)
Liferafts Type, No. & Person :	1 1x(6) 1 2x(25)
Radio Installations :	GMDSS A1+A2+A3, SSAS
Navigation Equipment :	MC, GYRO, HCS, ECDIS, GPS, RDX, RDS, ARPA, AIS, VDR, LOG, ES, STGTEL, DSL, LRIT, BNWAS

No. & Kind of Engines :	1DE : 2 SA 6 CY
Bore x Stroke (mm) :	500.0 x 2,000.0
Power (kW) :	9,480
Revolution (rpm) :	127.0
Manufacturer :	MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO., LTD.

No. & Kind of Boilers :	1 AUX VB
Pressure (MPa) :	0.69
Evaporation :	2.97 (ton/h)
Manufacturer :	OSAKA BOILER MFG., CO., LTD.
	*Evaporation rate: Thermal output (kW) to be filled up in case of TOH.

No. & Capacity of Generators (kVA) :	4 AC 1,900
Kind of Propeller Shaft :	1C
No. & Shaft Diameter (mm) :	1 x 470

Shipbuilder :	Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. Chiba Shipyard
Hull No. :	1692
Date of Keel Lay :	14 Jun 2006
Date of Launch :	26 Jan 2007
Date of Build :	22 Mar 2007
Date of Conversion :	--

Top of Page

LAMPIRAN B

MODEL MV. ALAM MANIS

LAMPIRAN C
VALIDASI MODEL TANGKI

- Data Load Case Kapal

Vessel's stowage plan.

Cargo holds	Location (Fr. No.)	Capacity (m^3)	Loaded (tonne)	% (Vol[5])
No. 1 Hold	167–201	12,713.6	9619	48.42
No. 2 Hold	133–167	14,711.3	11,421	49.69
No. 3 Hold	99–133	14,653.4	10,033	43.82
No. 4 Hold	65–99	14,711.3	11,406	49.62
No. 5 Hold	31–65	14,026.2	11,316	51.63
Total	–	70,815.8	53,795	

[5] Base on stowage factor estimated by salvage team.

- Penyesuaian Load Case Model

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59
2	Othe DWT	1	1736.000	1736.000			70.000	0.000	5.000	121520.0	0.000	8680.000
3	Cargo Hold 1	**48.42%**	19898.49	9634.849	11704.9	5667.558	157.206	0.000	6.221	1514654.	0.000	59942.34
4	Cargo Hold 2	**49.69%**	23067.30	11462.142	13569.0	6742.436	127.914	0.000	5.830	1466169.	0.000	66827.07
5	Cargo Hold 3	**43.82%**	22920.38	10043.711	13482.5	5908.065	96.900	0.000	5.353	973236.0	0.000	53761.20
6	Cargo Hold 4	**49.62%**	23049.81	11437.318	13558.7	6727.834	65.804	0.000	5.800	752620.8	0.000	66335.86
7	Cargo Hold 5	**51.63%**	21906.33	11310.242	12886.0	6653.083	34.792	0.000	6.170	393510.6	0.000	69780.72
8	**Total Loadcase**			**64009.262**	**65201.3**	**31698.97**	**90.747**	**0.000**	**6.466**	**5808661.**	**0.000**	**413872.8**
9	**FS correction**								**0.000**			
10	**VCG fluid**								**6.466**			

- Validasi Load Case Tangki Model

Item	**Kapal**		**Model**		**Selisih**		**Status**
Cargo Hold	**Loaded (tonne)**	**% (Vol)**	**Loaded (tonne)**	**% (Vol)**	**Loaded (tonne)**	**% (Vol)**	
No. 1 Hold	9619	48.42	9634	48.42	0.16%	0%	OK
No. 2 Hold	11421	49.69	11462	49.69	0.36%	0%	OK
No. 3 Hold	10033	43.82	10043	43.82	0.10%	0%	OK
No. 4 Hold	11406	49.62	11437	49.62	0.27%	0%	OK
No. 5 Hold	11326	51.63	11310	51.63	0.14%	0%	OK
Total	53795	-	53886	-	0.17%	-	OK

*Selisih maksimal yang diijinkan adalah 0.4%

LAMPIRAN D

KONDISI PEMBEBANAN

Kondisi Pembebanan Kapal Berangkat

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59	0.000	0.000	User Spe
2	Consumable	1	1736.000	1736.000			70.000	0.000	5.000	121520.0	0.000	8680.000	0.000	0.000	User Spe
3	Cargo Hold 1	**48.42%**	19898.49	9634.850	11704.9	5667.559	157.206	0.000	6.221	1514654.	0.000	59942.35	n/a	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 2	**49.69%**	23067.30	11462.143	13569.0	6742.437	127.914	0.000	5.830	1466169.	0.000	66827.08	n/a	0.000	User Spe
5	Cargo Hold 3	**43.82%**	22920.38	10043.711	13482.5	5908.065	96.900	0.000	5.353	973236.0	0.000	53761.20	n/a	0.000	User Spe
6	Cargo Hold 4	**49.62%**	23049.81	11437.320	13558.7	6727.835	65.804	0.000	5.800	752621.0	0.000	66335.88	n/a	0.000	User Spe
7	Cargo Hold 5	**51.63%**	21906.33	11310.239	12886.0	6653.082	34.792	0.000	6.170	393510.5	0.000	69780.69	n/a	0.000	User Spe
8	**Total Loadcase**			**64009.263**	**65201.3**	**31698.97**	**90.747**	**0.000**	**6.466**	**5808662.**	**0.000**	**413872.8**		**0.000**	
9	**FS correction**								**0.000**						
10	**VCG fluid**								**6.466**						

Kondisi Pembebanan Kapal Saat Muatan di Ruang Muat No.1, No.2, dan No.3 Terlikuefaksi

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59	0.000	0.000	User Spe
2	Consumable	1	1736.000	1736.000			70.000	0.000	5.000	121520.0	0.000	8680.000	0.000	0.000	User Spe
3	Cargo Hold 1	**48.42%**	19898.49	9634.850	11704.9	5667.559	157.206	0.000	6.221	1514654.	0.000	59942.35	n/a	69859.36	IMO A.749
4	Cargo Hold 2	**49.69%**	23067.30	11462.143	13569.0	6742.437	127.914	0.000	5.830	1466169.	0.000	66827.08	n/a	98304.39	IMO A.749
5	Cargo Hold 3	**43.82%**	22920.38	10043.711	13482.5	5908.065	96.900	0.000	5.353	973236.0	0.000	53761.20	n/a	99941.94	IMO A.749
6	Cargo Hold 4	**49.62%**	23049.81	11437.320	13558.7	6727.835	65.804	0.000	5.800	752621.0	0.000	66335.88	n/a	0.000	User Spe
7	Cargo Hold 5	**51.63%**	21906.33	11310.239	12886.0	6653.082	34.792	0.000	6.170	393510.5	0.000	69780.69	n/a	0.000	User Spe
8	**Total Loadcase**			**64009.263**	**65201.3**	**31698.97**	**90.747**	**0.000**	**6.466**	**5808662.**	**0.000**	**413872.8**		**268105.6**	
9	**FS correction**								**4.189**						
10	**VCG fluid**								**10.654**						

Kondisi Pembebanan Kapal Setelah Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			77.500	0.000	10.000	649837.5	0.000	83850.00	0.000	0.000	User Spe
2	Hopper Tank	1	532.500	532.500			77.500	0.000	10.000	41268.75	0.000	5325.000	0.000	0.000	User Spe
3	Consumable	1	1830.000	1830.000			77.500	0.000	2.000	141825.0	0.000	3660.000	0.000	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 1	59.12%	16269.69	**9619.000**	9570.40	5658.235	159.066	0.000	7.200	1530051.	0.000	69256.73	n/a	54094.28	IMO A.749
5	Cargo Hold 2	73.9%	15283.06	**11294.500**	8990.03	6643.824	128.201	0.000	7.775	1447965.	0.000	87812.73	n/a	55482.89	IMO A.749
6	Cargo Hold 3	61.73%	16253.97	**10033.000**	9561.16	5901.765	96.709	0.000	6.799	970278.7	0.000	68210.31	n/a	61999.97	IMO A.749
7	Cargo Hold 4	67.62%	16268.42	**11000.000**	9569.66	6470.588	65.913	0.000	7.246	725045.4	0.000	79706.27	n/a	64430.32	IMO A.749
8	Cargo Hold 5	65.93%	17177.57	**11326.000**	10104.4	6662.352	33.846	0.000	7.311	383343.0	0.000	82800.02	n/a	65474.79	IMO A.749
9	**Total Loadcase**			**64020.000**	**47795.7**	**31336.76**	**91.996**	**0.000**	**7.507**	**5889615.**	**0.000**	**480621.0**		**301482.2**	
10	**FS correction**								**4.709**						
11	**VCG fluid**								**12.217**						

Kondisi Pembebanan Kapal Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.000	586950.0	0.000	83850.00	0.000	0.000	User Spe
2	Hopper Tank	1	1239.400	1239.400			70.000	0.000	10.000	86758.00	0.000	12394.00	0.000	0.000	User Spe
3	Consumable	1	1830.000	1830.000			70.000	0.000	2.000	128100.0	0.000	3660.000	0.000	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 1	**100%**	10871.34	10871.342	6394.90	6394.907	159.226	0.000	11.120	1730996.	0.000	120891.6	n/a	0.000	IMO A.749
5	Cargo Hold 2	**100%**	10395.87	10395.870	6115.21	6115.218	127.975	0.000	10.626	1330415.	0.000	110468.9	n/a	0.000	IMO A.749
6	Cargo Hold 3	**100%**	10285.32	10285.324	6050.19	6050.190	96.907	0.000	10.559	996719.0	0.000	108602.6	n/a	0.000	IMO A.749
7	Cargo Hold 4	100%	10340.97	**10340.972**	6082.92	6082.925	65.800	0.000	10.551	680437.6	0.000	109111.5	n/a	0.000	IMO A.749
8	Cargo Hold 5	100%	10672.11	**10672.113**	6277.71	6277.713	34.100	0.000	10.551	363921.7	0.000	112604.5	n/a	0.000	IMO A.749
9	**Total Loadcase**			**64020.021**	**30920.9**	**30920.95**	**92.226**	**0.000**	**10.334**	**5904298.**	**0.000**	**661583.3**		**0.000**	
10	**FS correction**								**0.000**						
11	**VCG fluid**								**10.334**						

Kondisi Pembebanan Kapal Setelah Penambahan Sekat Memanjang di Sepanjang Ruang Muat

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59	0.000	0.000	User Spe
2	Sekat Memanjang	1	412.700	412.700			70.000	0.000	10.560	28889.00	0.000	4358.112	0.000	0.000	User Spe
3	Consumable	1	1830.000	1830.000			70.000	0.000	5.000	128100.0	0.000	9150.000	0.000	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 1 (P)	**48.42%**	9950.489	4818.027	5853.22	2834.134	157.205	-5.919	6.221	757418.2	-2851	29973.98	n/a	8734.126	IMO A.749
5	Cargo Hold 1 (S)	**48.42%**	9950.197	4817.886	5853.05	2834.051	157.205	5.919	6.221	757396.6	28516.	29973.10	n/a	8733.903	IMO A.749
6	Cargo Hold 2 (P)	**49.69%**	11533.46	5730.976	6784.38	3371.162	127.914	-7.185	5.830	733071.4	-4117	33412.83	n/a	12287.85	IMO A.749
7	Cargo Hold 2 (S)	**49.69%**	11533.27	5730.886	6784.28	3371.109	127.914	7.185	5.830	733058.4	41175.	33412.29	n/a	12287.66	IMO A.749
8	Cargo Hold 3 (P)	**43.82%**	11460.00	5021.775	6741.18	2953.985	96.900	-7.148	5.353	486608.9	-3589	26880.17	n/a	12492.54	IMO A.749
9	Cargo Hold 3 (S)	**43.82%**	11459.82	5021.694	6741.07	2953.938	96.900	7.148	5.353	486599.9	35893.	26879.74	n/a	12492.34	IMO A.749
10	Cargo Hold 4 (P)	**49.62%**	11524.87	5718.644	6779.33	3363.908	65.804	7.187	5.800	376309.7	41097.	33167.88	n/a	12601.44	IMO A.749
11	Cargo Hold 4 (S)	**49.62%**	11524.87	5718.644	6779.33	3363.908	65.804	-7.187	5.800	376309.7	-4109	33167.88	n/a	12601.44	IMO A.749
12	Cargo Hold 5 (P)	**49.37%**	10953.56	5407.775	6443.27	3181.044	34.806	-6.605	5.998	188223.1	-3571	32435.91	n/a	11494.91	IMO A.749
13	Cargo Hold 5 (S)	**49.36%**	10953.56	5406.679	6443.27	3180.400	34.806	6.605	5.997	188185.3	35710.	32425.23	n/a	11494.91	IMO A.749
14	**Total Loadcase**			**64020.686**	**65202.4**	**31407.63**	**91.019**	**0.000**	**6.463**	**5827120.**	**-9.889**	**413782.7**		**115221.1**	
15	**FS correction**								**1.800**						
16	**VCG fluid**								**8.263**						

Kondisi Pembebanan Kapal Setelah Penambahan Sekat Memanjang di Ruang Muat No.1, No.3, dan No.5

	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	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59	0.000	0.000	User Spe
2	Lightship	1	247.000	247.000			70.000	0.000	10.560	17290.00	0.000	2608.320	0.000	0.000	User Spe
3	Consumable	1	1736.000	1736.000			70.000	0.000	5.000	121520.0	0.000	8680.000	0.000	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 1 (P)	**48.42%**	9950.489	4818.027	5853.22	2834.133	157.205	-5.919	6.221	757418.1	-2851	29973.97	n/a	8734.126	IMO A.749
5	Cargo Hold 1 (S)	**48.42%**	9950.197	4817.886	5853.05	2834.051	157.205	5.919	6.221	757396.6	28516.	29973.10	n/a	8733.904	IMO A.749
6	Cargo Hold 2	**49.69%**	23066.92	11461.954	13568.7	6742.326	127.914	0.000	5.830	1466143.	0.000	66825.67	n/a	98302.81	IMO A.749
7	Cargo Hold 3 (P)	**43.82%**	11460.00	5021.774	6741.18	2953.985	96.900	-7.148	5.353	486608.9	-3589	26880.17	n/a	12492.54	IMO A.749
8	Cargo Hold 3 (S)	**43.82%**	11459.82	5021.694	6741.07	2953.937	96.900	7.148	5.353	486599.8	35893.	26879.73	n/a	12492.34	IMO A.749
9	Cargo Hold 4	**49.66%**	23049.75	11446.507	13558.6	6733.239	65.804	0.000	5.803	753226.1	0.000	66424.56	n/a	100811.5	IMO A.749
10	Cargo Hold 5 (P)	**50.51%**	10953.56	5532.646	6443.27	3254.498	34.799	-6.617	6.085	192531.4	-3661	33664.28	n/a	11494.91	IMO A.749
11	Cargo Hold 5 (S)	**50.5%**	10953.56	5531.551	6443.27	3253.853	34.799	6.617	6.084	192493.6	36602.	33653.41	n/a	11494.91	IMO A.749
12	**Total Loadcase**			**64020.039**	**65202.5**	**31560.02**	**90.881**	**0.000**	**6.468**	**5818177.**	**-9.234**	**414108.8**		**264557.1**	
13	**FS correction**								**4.132**						
14	**VCG fluid**								**10.601**						

Kondisi Pembebanan Kapal Setelah Pengaturan Distribusi Muatan (Ruang Muat No.1 dan No.5 Penuh)

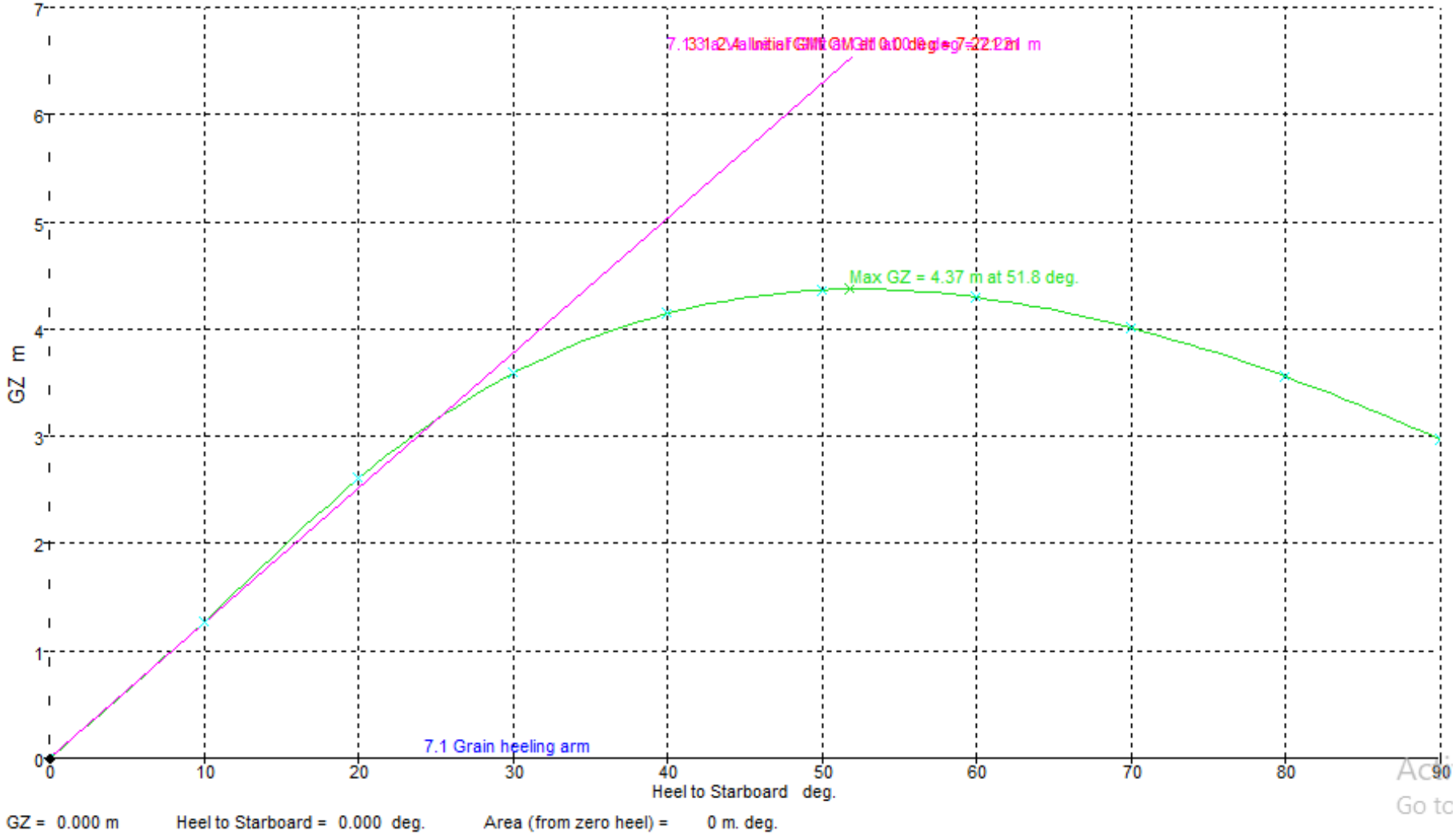
	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59	0.000	0.000	User Spe
2	Consumable	1	1830.000	1830.000			70.000	0.000	5.000	128100.0	0.000	9150.000	0.000	0.000	User Spe
3	Cargo Hold 1	**100%**	19900.97	19900.978	11706.4	11706.45	157.851	0.000	10.359	3141394.	0.000	206162.7	n/a	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 2	**0%**	24560.90	0.000	14447.5	0.000	127.560	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
5	Cargo Hold 3	**0%**	24365.59	0.000	14332.7	0.000	96.900	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
6	Cargo Hold 4	**0%**	24502.82	0.000	14413.4	0.000	65.799	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
7	Cargo Hold 5	**100%**	24740.34	24740.349	14553.1	14553.14	34.329	0.000	9.941	849319.9	0.000	245955.3	n/a	0.000	User Spe
8	**Total Loadcase**			**54856.327**	**69453.3**	**26259.60**	**85.783**	**0.000**	**10.023**	**4705764.**	**0.000**	**549813.7**		**0.000**	
9	**FS correction**								**0.000**						
10	**VCG fluid**								**10.023**						

Kondisi Pembebanan Kapal Setelah Pengaturan Distribusi Muatan (Ruang Muat No.2 dan No.4 Penuh)

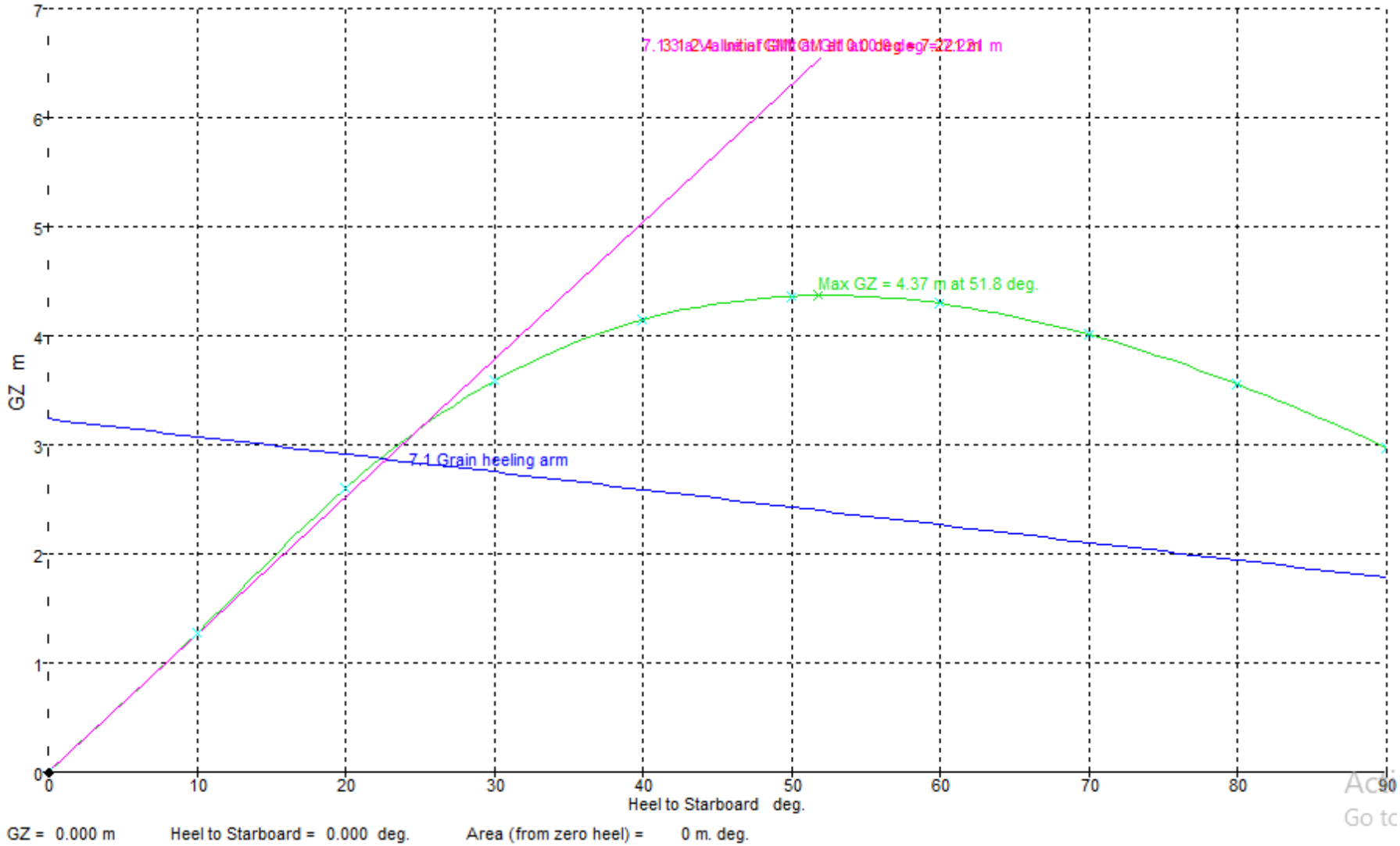
	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Unit FSM tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	8385.000	8385.000			70.000	0.000	10.560	586950.0	0.000	88545.59	0.000	0.000	User Spe
2	Consumable	1	1830.000	1830.000			70.000	0.000	5.000	128100.0	0.000	9150.000	0.000	0.000	User Spe
3	Cargo Hold 1	**0%**	19900.97	0.000	11706.4	0.000	156.740	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
4	Cargo Hold 2	**100%**	24560.90	24560.902	14447.5	14447.58	127.954	0.000	9.871	3142676.	0.000	242450.7	n/a	0.000	IMO A.749
5	Cargo Hold 3	**0%**	24365.60	0.000	14332.7	0.000	96.900	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
6	Cargo Hold 4	**100%**	24502.82	24502.820	14413.4	14413.42	65.799	0.000	9.796	1612270.	0.000	240019.4	n/a	0.000	IMO A.749
7	Cargo Hold 5	**0%**	24740.34	0.000	14553.1	0.000	36.253	0.000	1.691	0.000	0.000	0.000	n/a	0.000	User Spe
8	**Total Loadcase**			**59278.723**	**69453.3**	**28861.01**	**92.276**	**0.000**	**9.787**	**5469997.**	**0.000**	**580165.7**		**0.000**	
9	**FS correction**								**0.000**						
10	**VCG fluid**								**9.787**						

LAMPIRAN E
KURVA STABILITAS

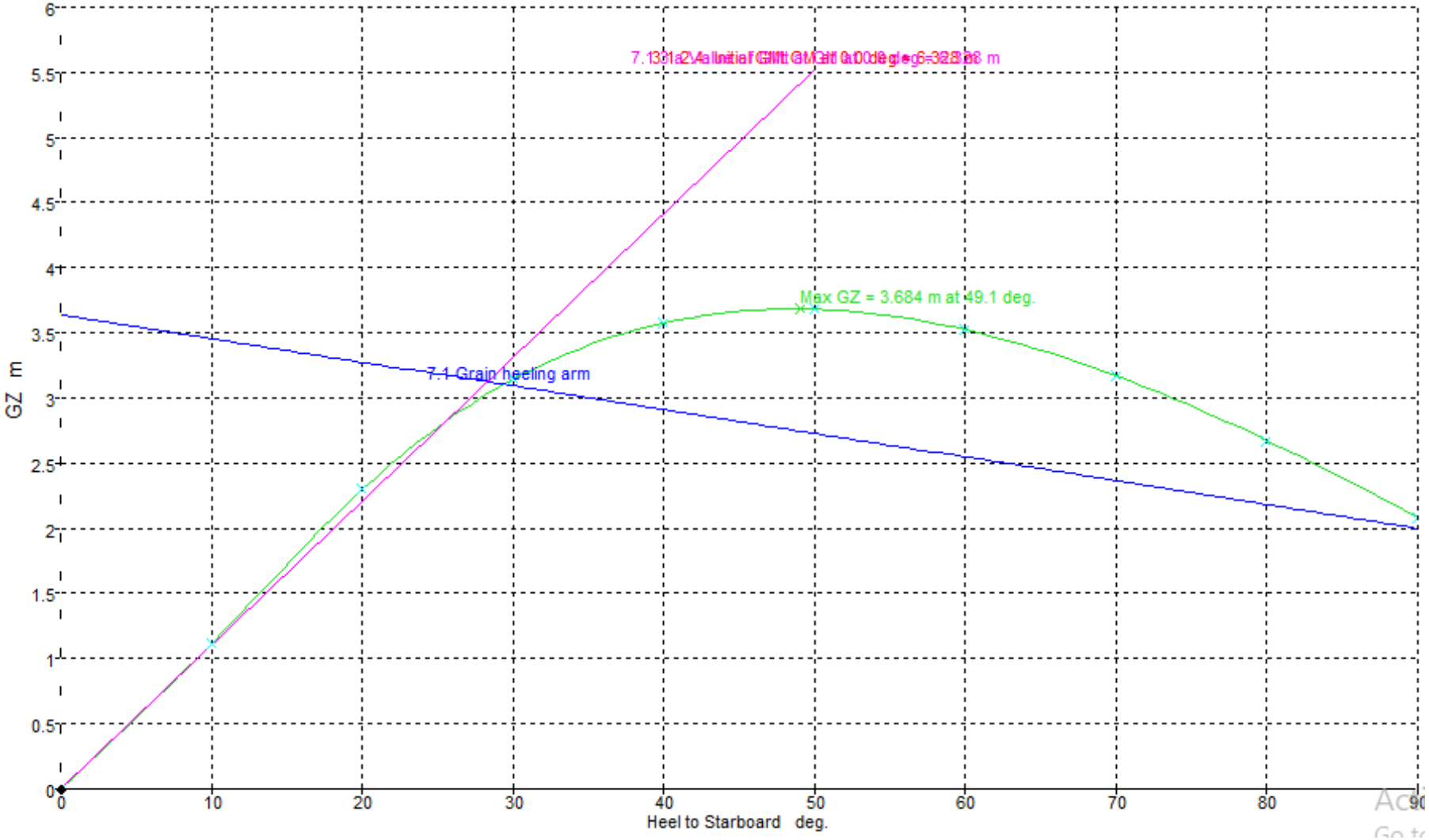
Kurva Stabilitas Kapal Berangkat



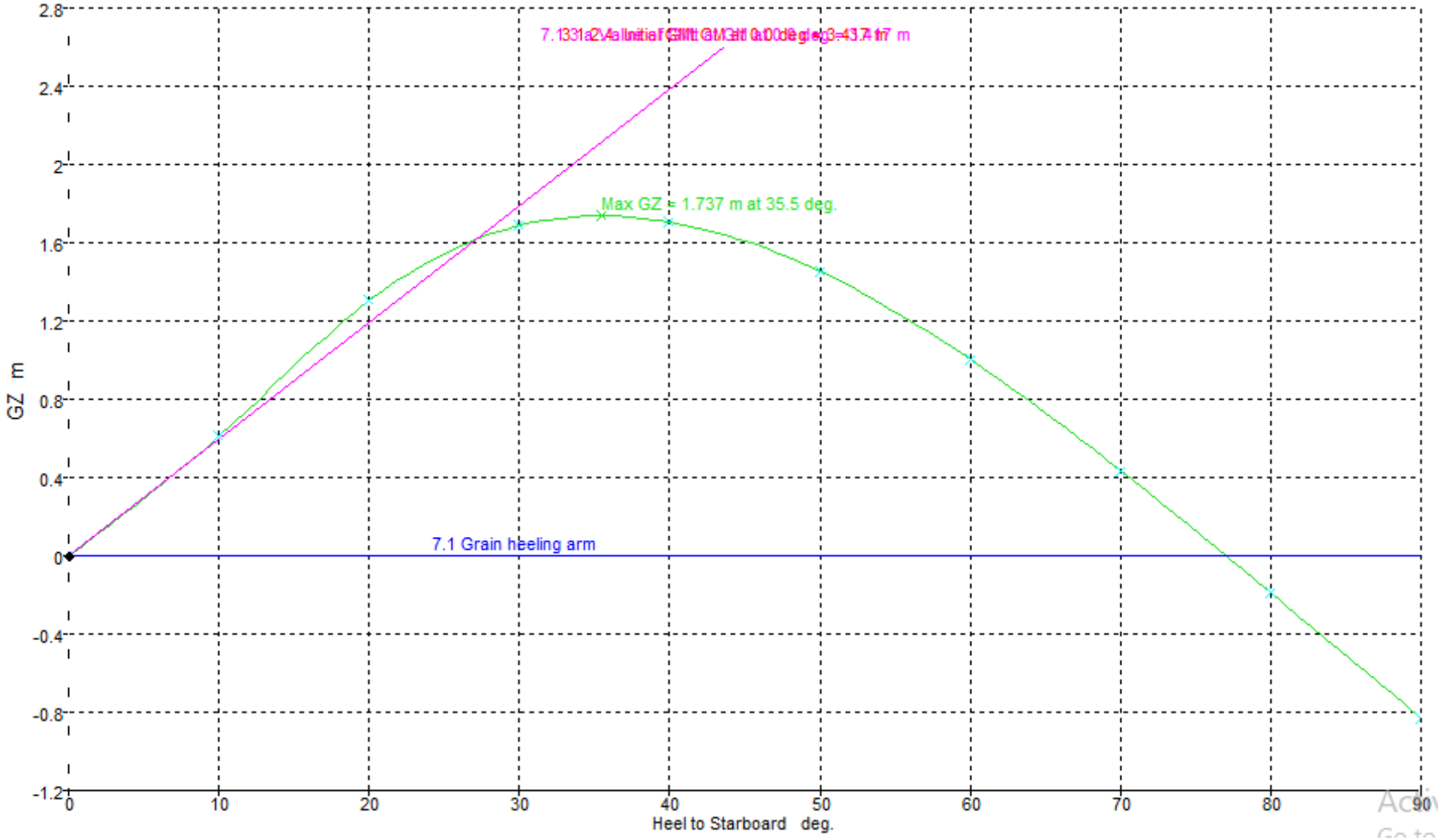
Kurva Stabilitas Kapal Saat Muatan di Ruang Muat No.1, No.2, dan No.3 Terlikuefaksi



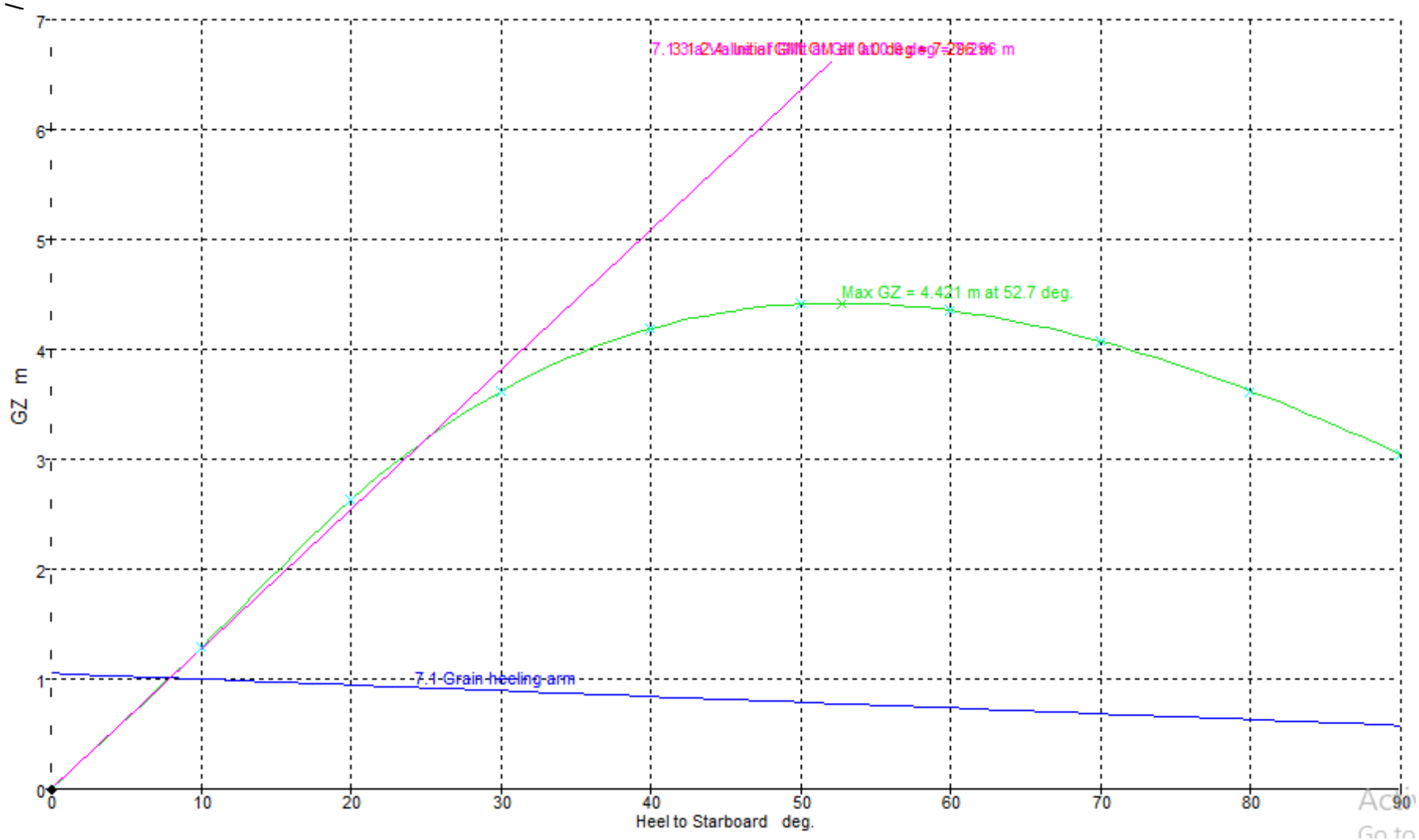
Kurva Stabilitas Kapal Setelah Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal



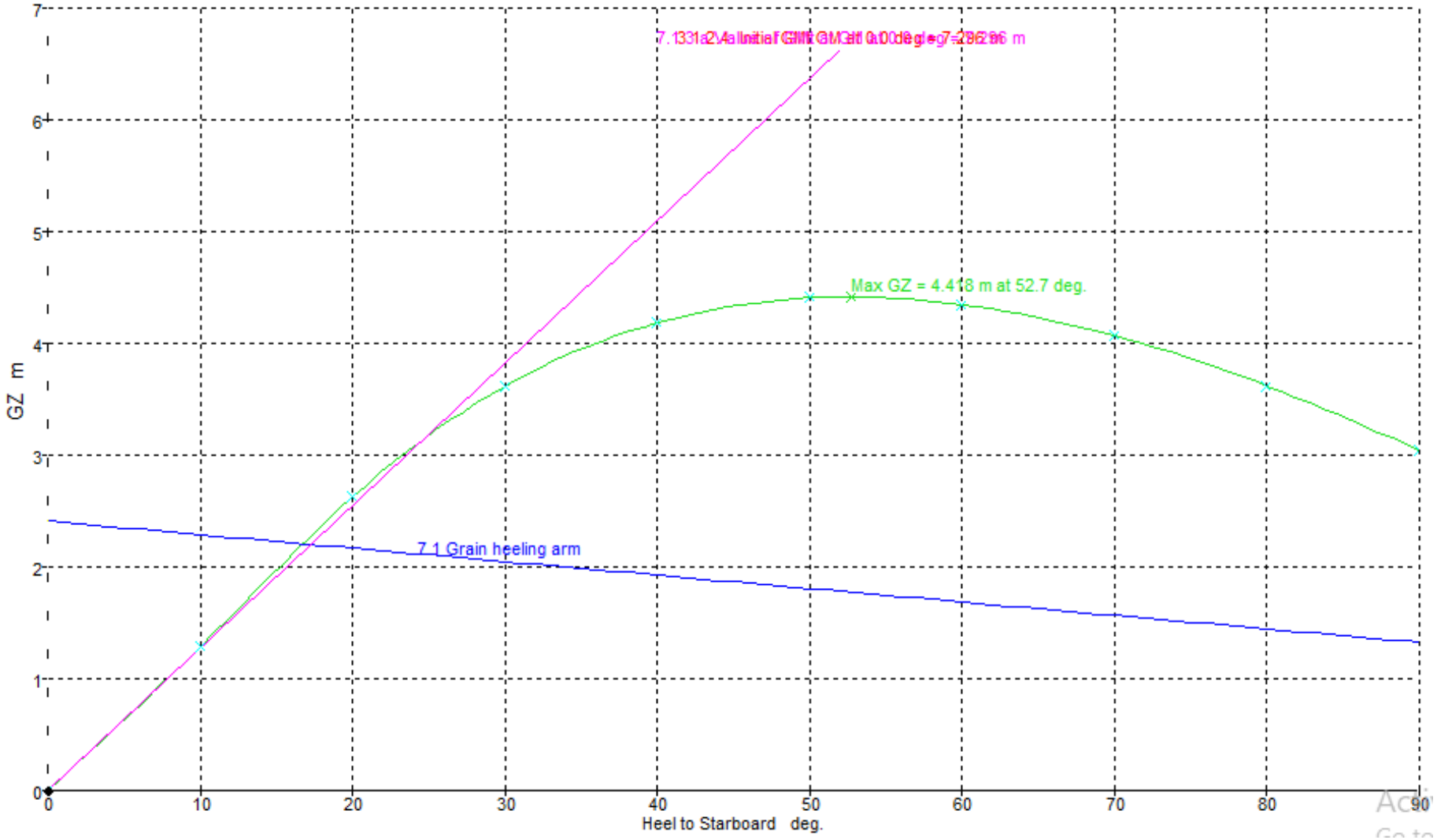
Kurva Stabilitas Kapal Setelah Pengaturan *Angle of Repose*



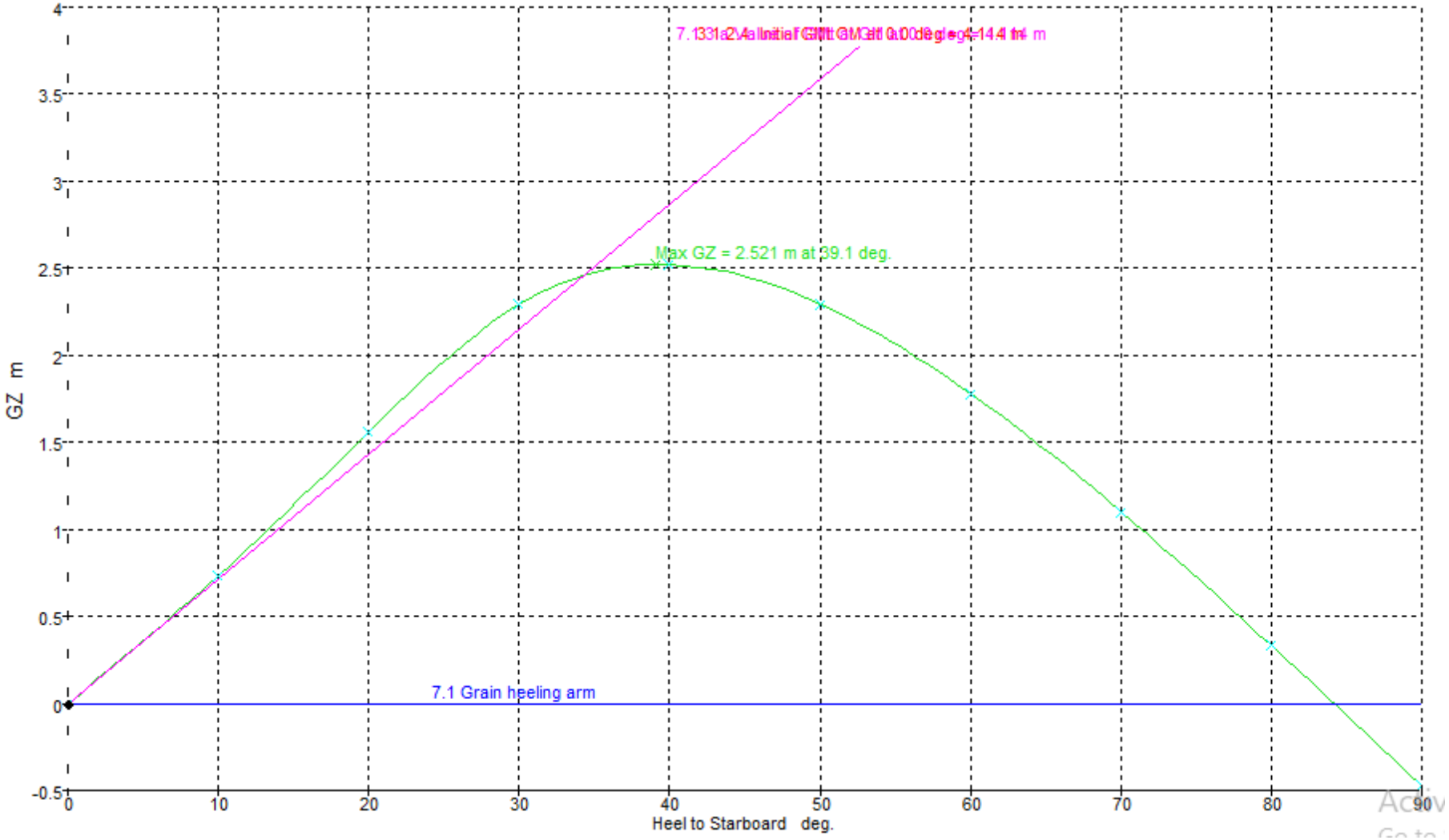
Kurva Stabilitas Kapal Setelah Penambahan Sekat Memanjang di Sepanjang Ruang Muat



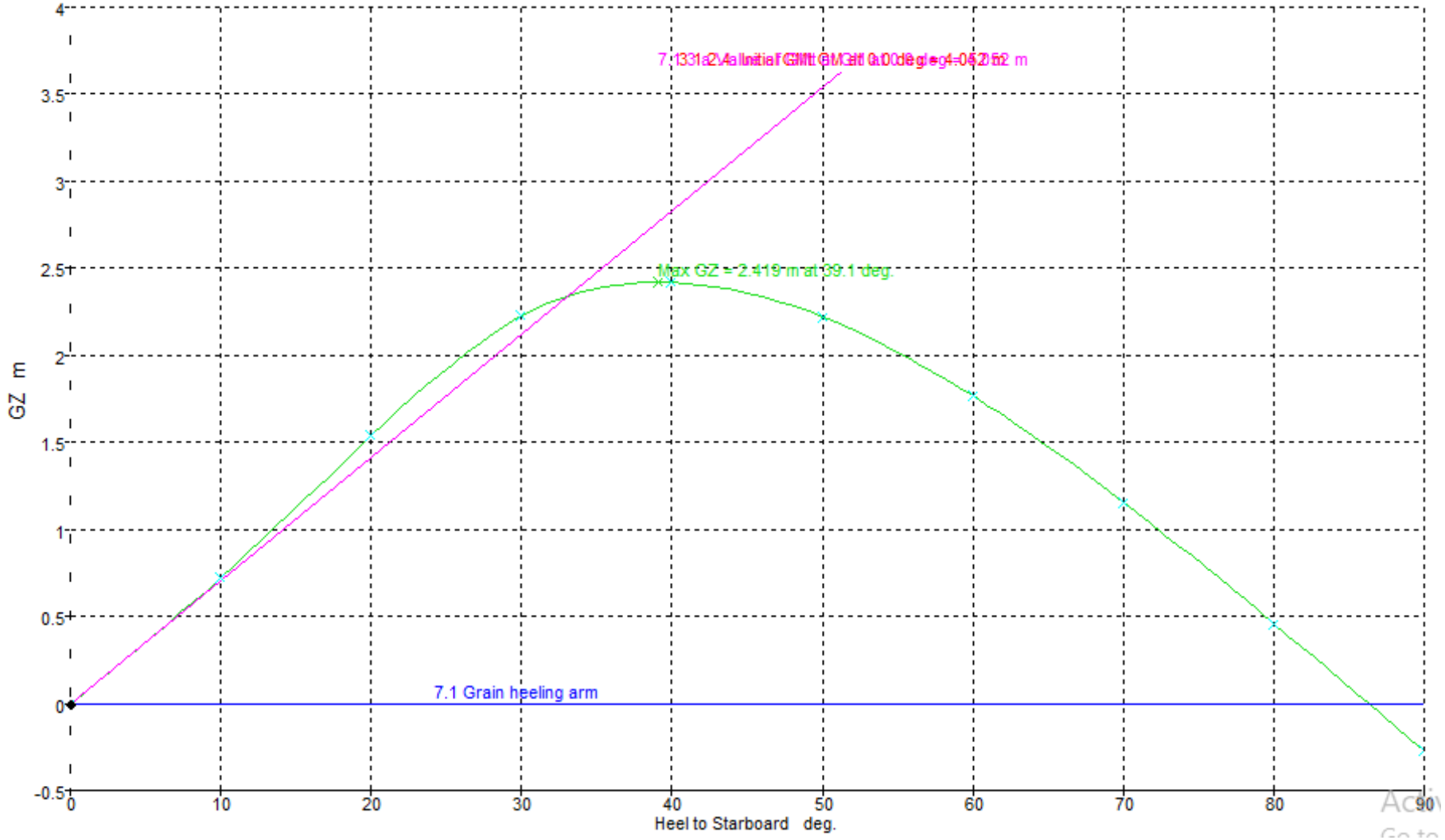
Kurva Stabilitas Kapal Setelah Penambahan Sekat Memanjang di Ruang Muat No.1, No.3, dan No.5



Kurva Stabilitas Kapal Setelah Pengaturan Distribusi Muatan (Ruang Muat No.1 dan No.5 Penuh)



Kurva Stabilitas Kapal Setelah Pengaturan Distribusi Muatan (Ruang Muat No.2 dan No.4 Penuh)



LAMPIRAN F

HASIL ANALISIS EQUILIBRIUM

Hasil Analisis Equilibrium Kapal Berangkat

1	Draft Amidships m	12.596
2	Displacement t	64062
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	12.572
5	Draft at AP m	12.620
6	Draft at LCF m	12.596
7	Trim (+ve by stern) m	0.048
8	WL Length m	185.446
9	Beam max extents on WL m	32.259
10	Wetted Area m^2	9025.205
11	Waterpl. Area m^2	5540.345
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.846
13	Block coeff. (Cb)	0.828
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.980
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.926
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	91.922
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	88.420
18	KB m	6.709
19	KG fluid m	6.531
20	BMt m	7.043
21	BML m	224.426
22	GMt corrected m	7.221
23	GML m	224.604
24	KMt m	13.752
25	KML m	231.135
26	Immersion (TPc) tonne/cm	56.789
27	MTc tonne.m	790.584
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) to	8073.517
29	Max deck inclination deg	0.0152
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0.0152

Hasil Analisis Equilibrium Kapal Saat Muatan di Ruang Muat No.1, No.2, dan No.3 Terlikuefikasi

1	Draft Amidships m	12.620
2	Displacement t	64336
3	Heel deg	17.5
4	Draft at FP m	12.570
5	Draft at AP m	12.670
6	Draft at LCF m	12.621
7	Trim (+ve by stern) m	0.100
8	WL Length m	185.446
9	Beam max extents on WL m	33.815
10	Wetted Area m^2	9045.846
11	Waterpl. Area m^2	5773.108
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.848
13	Block coeff. (Cb)	0.637
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.751
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.921
16	LCB from zero pt. (+ve fwd)	91.779
17	LCF from zero pt. (+ve fwd)	88.896
18	KB m	7.081
19	KG m	12.819
20	BMt m	7.978
21	BML m	231.064
22	GMt m	1.869
23	GML m	224.954
24	KMt m	14.690
25	KML m	227.450
26	Immersion (TPc) tonne/cm	59.174
27	MTc tonne.m	795.195
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	2098.101
29	Max deck inclination deg	17.5000
30	Trim angle (+ve by stern) de	0.0315

Hasil Analisis Equilibrium Kapal Setelah Penambahan *Hopper Tank* Memanjang Kapal

1	Draft Amidships m	12.915
2	Displacement t	64020
3	Heel deg	30.0
4	Draft at FP m	12.915
5	Draft at AP m	12.915
6	Draft at LCF m	12.915
7	Trim (+ve by stern) m	0.000
8	WL Length m	185.557
9	Beam max extents on WL m	28.537
10	Wetted Area m^2	9699.645
11	Waterpl. Area m^2	4926.565
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.858
13	Block coeff. (Cb)	0.663
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.775
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.930
16	LCB from zero pt. (+ve fwd)	91.950
17	LCF from zero pt. (+ve fwd)	90.851
18	KB m	7.614
19	KG m	12.819
20	BMt m	5.089
21	BML m	203.176
22	GMt m	-1.178
23	GML m	196.909
24	KMt m	12.021
25	KML m	183.569
26	Immersion (TPc) tonne/cm	50.497
27	MTc tonne.m	692.641
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	-1315.827
29	Max deck inclination deg	30.0000
30	Trim angle (+ve by stern) de	0.0000

Hasil Analisis Equilibrium Kapal Setelah Pengaturan *Angle of Repose*

1	Draft Amidships m	12.592
2	Displacement t	64020
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	12.692
5	Draft at AP m	12.492
6	Draft at LCF m	12.589
7	Trim (+ve by stern) m	-0.200
8	WL Length m	185.485
9	Beam max extents on WL m	32.259
10	Wetted Area m^2	9021.755
11	Waterpl. Area m^2	5539.784
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.847
13	Block coeff. (Cb)	0.823
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.979
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.926
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	92.230
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	88.466
18	KB m	6.705
19	KG fluid m	10.334
20	BMt m	7.045
21	BML m	224.520
22	GMt corrected m	3.417
23	GML m	220.892
24	KMt m	13.751
25	KML m	231.225
26	Immersion (TPc) tonne/cm	56.783
27	MTc tonne.m	777.005
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) to	3817.529
29	Max deck inclination deg	0.0628
30	Trim angle (+ve by stern) deg	-0.0628

Hasil Analisis Equilibrium Kapal Setelah Penambahan Sekat Memanjang di Sepanjang Ruang Muat

1	Draft Amidships m	12.584
2	Displacement t	64020
3	Heel deg	7.9
4	Draft at FP m	12.584
5	Draft at AP m	12.584
6	Draft at LCF m	12.584
7	Trim (+ve by stern) m	0.000
8	WL Length m	185.450
9	Beam max extents on WL m	32.567
10	Wetted Area m^2	9025.215
11	Waterpl. Area m^2	5587.653
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.847
13	Block coeff. (Cb)	0.742
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.876
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.925
16	LCB from zero pt. (+ve fwd)	91.975
17	LCF from zero pt. (+ve fwd)	88.546
18	KB m	6.773
19	KG m	12.819
20	BMt m	7.233
21	BML m	226.211
22	GMt m	1.110
23	GML m	220.088
24	KMt m	13.937
25	KML m	230.837
26	Immersion (TPc) tonne/cm	57.273
27	MTc tonne.m	774.177
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	1240.423
29	Max deck inclination deg	7.9000
30	Trim angle (+ve by stern) de	0.0000

Hasil Analisis Equilibrium Kapal Setelah Penambahan Sekat Memanjang di Ruang Muat No.1, No.3, dan No.5

1	Draft Amidships m	12.621
2	Displacement t	64020
3	Heel deg	16.7
4	Draft at FP m	6.336
5	Draft at AP m	18.906
6	Draft at LCF m	12.151
7	Trim (+ve by stern) m	12.570
8	WL Length m	190.335
9	Beam max extents on WL m	33.673
10	Wetted Area m^2	9611.708
11	Waterpl. Area m^2	4927.180
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.687
13	Block coeff. (Cb)	0.540
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	1.116
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.769
16	LCB from zero pt. (+ve fwd)	77.978
17	LCF from zero pt. (+ve fwd)	97.802
18	KB m	7.406
19	KG m	12.819
20	BMt m	5.945
21	BML m	173.364
22	GMt m	2.507
23	GML m	169.927
24	KMt m	13.088
25	KML m	173.096
26	Immersion (TPc) tonne/cm	50.504
27	MTc tonne.m	597.729
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	2801.523
29	Max deck inclination deg	17.1116
30	Trim angle (+ve by stern) de	3.9510

Hasil Analisis Equilibrium Kapal Setelah Pengaturan Distribusi Muatan (Ruang Muat No.1 dan No.5 Penuh)

1	Draft Amidships m	10.897
2	Displacement t	54855
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	8.474
5	Draft at AP m	13.319
6	Draft at LCF m	10.972
7	Trim (+ve by stern) m	4.845
8	WL Length m	188.982
9	Beam max extents on WL m	32.257
10	Wetted Area m^2	8400.999
11	Waterpl. Area m^2	5538.817
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.761
13	Block coeff. (Cb)	0.668
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.965
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.909
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	85.675
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	88.173
18	KB m	5.949
19	KG fluid m	10.023
20	BMt m	8.189
21	BML m	262.469
22	GMt corrected m	4.114
23	GML m	258.394
24	KMt m	14.135
25	KML m	268.326
26	Immersion (TPc) tonne/cm	56.773
27	MTc tonne.m	778.803
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) to	3938.267
29	Max deck inclination deg	1.5248
30	Trim angle (+ve by stern) deg	1.5248

Hasil Analisis Equilibrium Kapal Setelah Pengaturan Distribusi Muatan (Ruang Muat No.2 dan No.4 Penuh)

1	Draft Amidships m	11.752
2	Displacement t	59279
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	11.752
5	Draft at AP m	11.752
6	Draft at LCF m	11.752
7	Trim (+ve by stern) m	0.000
8	WL Length m	185.333
9	Beam max extents on WL m	32.258
10	Wetted Area m^2	8700.891
11	Waterpl. Area m^2	5518.707
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.841
13	Block coeff. (Cb)	0.823
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.978
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.923
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	92.268
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	88.546
18	KB m	6.268
19	KG fluid m	9.787
20	BMt m	7.571
21	BML m	239.811
22	GMt corrected m	4.052
23	GML m	236.291
24	KMt m	13.839
25	KML m	246.079
26	Immersion (TPc) tonne/cm	56.567
27	MTc tonne.m	769.619
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) to	4191.830
29	Max deck inclination deg	0.0000
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0.0000

LAMPIRAN G

PERHITUNGAN KONSTRUKSI TAMBAHAN

Konstruksi Hopper Tank Memanjang Kapal

Pelat				**Longitudinal**			
Panjang	=	6	m	Web	=	0.2	m
Lebar	=	32	m	Face	=	0.2	m
Tebal	=	0.009	m	Tebal	=	0.013	m
				Panjang	=	32	m
Luas	=	192	m²	Luas	=	0.0052	m²
Volume	=	1.728	m³	Volume	=	0.1664	m³

Berat			
Pelat	=	13.6	ton
Jumlah	=	20	lembar
Longitudinal	=	1.3	ton
Jumlah	=	200	lonjor
Total	=	**532.5**	ton

Konstruksi Hopper Tank Melintang Kapal

Pelat				**Longitudinal**			
Panjang	=	157	m	Web	=	0.2	m
Lebar	=	18.8	m	Face	=	0.2	m
Tebal	=	0.009	m	Tebal	=	0.013	m
				Panjang	=	32	m
Luas	=	2951.6	m²	Luas	=	0.0052	m²
Volume	=	26.6	m³	Volume	=	0.1664	m³

Frame				**Berat**			
Luas	=	347	m²	Pelat	=	208.5	ton
				Jumlah	=	2	lembar
Tebal	=	0.006	m	Longitudinal	=	1.3	ton
				Jumlah	=	54	lonjor
				Frame	=	16.3	ton
				Jumlah	=	46	lembar
Volume	=	2.082	m³	Total	=	**1239.4**	ton

Konstruksi Sekat Memanjang Disepanjang Kapal

Pelat				**Longitudinal**			
Panjang	=	157	m	Web	=	0.2	m
Lebar	=	16.859	m	Face	=	0.2	m
Tebal	=	0.009	m	Tebal	=	0.013	m
				Panjang	=	152	m
Luas	=	2646.86	m^2	Luas	=	0.0052	m^2
Volume	=	23.8	m^3	Volume	=	0.7904	m^3

Frame				**Berat**			
Web	=	0.3	m	Pelat	=	187.0	ton
Face	=	0.2	m	Jumlah	=	1	lembar
Tebal	=	0.013	m	Longitudinal	=	6.2	ton
Panjang	=	16.859	m	Jumlah	=	30	lonjor
				Frame	=	0.9	ton
Luas	=	0.0065	m^2	Jumlah	=	46	lembar
Volume	=	0.10958	m^3	Total	=	**412.7**	ton

Konstruksi Sekat Memanjang di Ruang Muat No.1, No.3, dan No.5

Pelat				**Longitudinal**			
Panjang	=	94	m	Web	=	0.2	m
Lebar	=	16.859	m	Face	=	0.2	m
Tebal	=	0.009	m	Tebal	=	0.013	m
				Panjang	=	94	m
Luas	=	1584.75	m^2	Luas	=	0.0052	m^2
Volume	=	14.3	m^3	Volume	=	0.4888	m^3

Frame				**Berat**			
Web	=	0.3	m	Pelat	=	112.0	ton
Face	=	0.2	m	Jumlah	=	1	lembar
Tebal	=	0.013	m	Longitudinal	=	3.8	ton
Panjang	=	16.859	m	Jumlah	=	30	lonjor
				Frame	=	0.9	ton
Luas	=	0.0065	m^2	Jumlah	=	24	lembar
Volume	=	0.10958	m^3	Total	=	**247.7**	ton

BIODATA PENULIS

Steven Caramoy, itulah nama lengkap dari penulis. Dilahirkan di Banyuwangi 20 oktober silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Khadijah 25, kemudian melanjutkan ke SDN 1 Tegalsari, MTs Diponegoro dan SMAN 1 Genteng. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2016 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi Ketua Tim robot kapal Barunastra ITS. Penulis juga pernah mengikuti pelatihan *software* Maxsurf serta beberapa pelatihan lain.

Email: stevencaramoy98@gmail.com