

34838/H/09



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RSpe
623.812
Ari
-A-1
2009

TUGAS AKHIR - LK 1347

ANALISA STABILITAS KAPAL DENGAN DATA AWAL BERUPA SARAT KAPAL

Muhamad Arifin
N.R.P. 4104 100 078

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2009

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	20-2-2009
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	573

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA STABILITAS KAPAL DENGAN DATA AWAL BERUPA SARAT KAPAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Perencanaan
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMAD ARIFIN
N.R.P. 4104 100 078

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D



SURABAYA, JANUARI 2009

LEMBAR REVISI

ANALISA STABILITAS KAPAL DENGAN DATA AWAL BERUPA SARAT KAPAL

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir
Tanggal 28 Januari 2009

Bidang Studi Perencanaan
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMAD ARIFIN
N.R.P. 4104 100 078

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D



SURABAYA, JANUARI 2009

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke Hadirat Allah SWT. Tiada daya dan upaya selain izin-Nya. Atas izin Allah SWT pula penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Stabilitas Kapal Dengan Data Awal Berupa Sarat Kapal**”. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Perkapalan-ITS.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, PhD, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membimbing dan memberikan ilmu serta informasi yang belum dimengerti atau diketahui.
2. Bapak Hasanudin, Bu Hesty dan segenap Bapak Ibu Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Perkapalan-ITS yang telah memberikan ilmu dan bantuannya selama proses perkuliahan.
3. Kedua orangtua dan mertua yang telah memberikan doa dan bantuan baik motivasi maupun finansial dari awal sampai akhir.
4. Istriku tercinta, yang dengan setia mendampingi baik suka maupun duka.
5. Mbak Aziz, Mas Rado, Mbak Ipah, Mas Sigit, Mbak Ung, Mas Andika, Adik Hanip, Una, Anang Alip, Padli, Faruq, Ang, Mbak Opi, Iqbal dan seluruh keluarga besarku yang telah memberikan doa dan bantuan yang sangat berarti.
6. Dika, Alimun, Wasis, Alex, Satria dan Teman-teman P-44 yang telah menjadi sahabat dan keluarga sampai kapanpun.
7. Teman-teman seperjuangan Jurusan Teknik Perkapalan-ITS yang memberikan bantuan baik berupa tenaga maupun pikiran.
8. Pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis menerima saran dan kritik yang bersifat membangun. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini berguna untuk masyarakat luas.

Surabaya, Januari 2009

Penulis

ABSTRAK

Stabilitas Kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali pada posisi semula setelah gaya luar dihilangkan, sehingga stabilitas perlu dianalisa untuk tiap-tiap kapal sebelum berlayar. Analisa stabilitas kapal dapat dilakukan apabila berat dan titik berat kapal total telah diketahui. Dalam analisa berat dan titik berat kapal total dapat dilakukan dengan metode Equipment Numeral maupun metode post per post. Perhitungan berat maupun titik berat kapal menggunakan nilai dari Equipment numeral hasil masih dikatakan kurang teliti karena hanya menggunakan pendekatan ukuran utama. Jika perhitungan menggunakan metode post per post, hasil yang didapat cukup mewakili kondisi kapal tersebut, karena nilai errornya kecil, tetapi butuh waktu yang relatif lama. Oleh karena itu, perlu metode baru yang dapat digunakan untuk menghitung berat dan titik berat serta analisa stabilitas kapal yang tidak membutuhkan waktu yang lama, tingkat ketelitian yang sedang, dapat digunakan untuk tahap desain maupun ketika kapal beroperasi, mempunyai tingkat error yang kecil.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode analisa stabilitas dengan data awal berupa kondisi trim/sarat kapal. Metode ini dapat digunakan dalam tahap desain maupun pada saat kapal beroperasi, tanpa membutuhkan banyak waktu serta memberikan hasil yang mempunyai nilai error yang kecil. Analisa berat dan titik berat kapal ini jika dilakukan pada kapal tongkang akan efektif pada sudut trim kapal 1.73° sampai 2.25° , karena pada kondisi tersebut nilai errornya kurang dari 1%.

Kata Kunci: *Stabilitas Kapal, Equipment Numeral, Post per post, Sarat Kapal, Berat Kapal, Titik Berat Kapal.*

ABSTRACT

Ship's stability is the ability to ship back to the original position after the style of foreign eliminated, so that stability needs to analyzed for each ship before sailing. Stability analysis can be done when the ship's weight and center of gravity was known. In the analysis center of gravity and total weight of ship can be done with the Equipment Numeral method or post per post method. The calculation's result of weight and center of gravity ships with Equipment Numeral method are inaccurate because it is only use the size of the main approach. If using the calculation method of post per post, the results are enough to represent the condition of vessels, because the error's value is small, but it takes a relatively long time. Therefore, the new method should be used to calculate the weight and center of gravity and stability analysis of ships that do not require a long time, the current level of accuracy, can be used for the design and operate the ship, have a small level of error.

One method that can be used is a method of analysis of stability with the original form of the condition of trim / draft's ships. This method can be used in the design stage and at the time of ships in operation, without a lot of time and the results that have a value of error is small. Analysis of weight and center of gravity ships if this is done on the ship will be effective on the barge in condition trim angle ship 1.73° to 2.25° , because in this conditions error's value of less than 1%.

Keyword: *Ship's Stability, Equipment Numeral, Post per post, Ship's Draft, Weight of ship, Center of Gravity*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR REVISI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.4. Manfaat Tugas Akhir.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Metodologi Penelitian.....	4
1.7. Sistematika Laporan	7
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	9
2.1. Persamaan Garis	9
2.2. Perhitungan <i>Displacement</i>	11
2.3. Perhitungan Berat Dan Titik Berat	16
2.4. Stabilitas Kapal.....	18
2.4.1. Lengan Stabilitas Kapal	18
2.4.2. Analisa Stabilitas Menurut Peraturan IMO	24
2.5. Perangkat Lunak <i>Visual Basic</i>	27
2.5.1. Pendahuluan.....	27
2.5.2. Penyusunan <i>Project</i> Pada <i>Visual Basic</i>	29
Bab 3. Analisa Berat, Titik Berat Serta stabilitas Kapal	31
3.1. Penentuan Persamaan Garis <i>Bodyplan</i>	31
3.2. Perhitungan <i>Displacement</i> dan Pusat Titik Apung	33
3.3. Perhitungan Berat Kapal.....	38
3.4. Perhitungan Lengan Stabilitas	41
3.5. Analisa Stabilitas Kapal.....	44
3.6. Validasi Rumus Titik Berat dengan Persamaan Trim	46
Bab 4. Pemrograman Analisa Stabilitas Kapal	49
4.1. Pengenalan Program	49
4.2. Flowchart Program	50
4.3. Menjalankan Program.....	52
4.4. Input Data	53
4.5. Perhitungan Matematis Dalam Program.....	56
4.5.1. Perhitungan Data Hidrostatik Kapal	57
4.5.2. Perhitungan Berat dan Titik Berat Kapal Total	59
4.5.3. Perhitungan Lengan Stabilitas Untuk Setiap Sudut Oleng	61
4.6. Analisa Stabilitas Menurut Aturan IMO.....	66

4.7.	Hasil Running Program	73
4.7.1.	Analisa Berat dan Titik Berat Kapal Total	73
4.7.2.	Analisa Lengan Stabilitas Kapal.....	74
Bab 5.	Penutup	77
5.1.	Kesimpulan.....	77
5.2.	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA.....		78
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Metodologi Penulisan Tugas Akhir	6
Gambar 2.1.	Benda Terapung Dengan Volume Yang Sama, Tetap Berat Berbeda	11
Gambar 2.2.	Kurva Yang Akan Dicari Luas, Dengan Jarak <i>Station</i> Sama	13
Gambar 2.3.	Kapal Mengalami Trim Karena Ada Muatan Yang Bergeser	17
Gambar 2.4.	Kapal Olang	20
Gambar 2.5.	Kapal Olang Dengan Kondisi Stabil.....	21
Gambar 2.6.	Kapal Olang Dengan Kondisi Tidak Stabil	21
Gambar 2.7.	Gaya-gaya Yang Bekerja Saat Kapal Olang Dengan Sudut Kecil	22
Gambar 2.8.	Gaya Yang Bekerja Pada Saat Olang.....	23
Gambar 2.9.	Pergeseran Gaya Apung Yang Terjadi karena Olang	24
Gambar 2.10.	Gambar Kurva Stabilitas.....	25
Gambar 2.11.	Luasan di Bawah Kurva Sudut 0° s/d 30°	25
Gambar 2.12.	Luasan di Bawah Kurva Sudut 0° s/d 40°	26
Gambar 2.13.	Luasan di Bawah Kurva Sudut 30° s/d 40°	26
Gambar 2.14.	Jendela <i>Visual Basic Editor</i>	28
Gambar 3.1.	Sistem Koordinat Memanjang Kapal.....	31
Gambar 3.2.	Sistem koordinat melintang Kapal.....	32
Gambar 3.3.	Kurva yang Akan Dicari Luas, Dengan Jarak <i>Station</i> Berbeda.....	34
Gambar 3.4.	Gaya Yang Bekerja Pada Kapal Saat Olang	42
Gambar 3.5.	Pergeseran Gaya Apung Yang Terjadi Karena Olang	43
Gambar 3.6.	Gambar Kurva Stabilitas.....	45
Gambar 3.7.	Sudut Olang Saat Nilai G_z Maximum	45
Gambar 3.8.	Nilai M_G Pada Saat Tegak	45
Gambar 4.1.	Flowchart Program Analisa Stabilitas	50
Gambar 4.2.	Tampilan <i>Form</i> Pertama	52
Gambar 4.3.	Tampilan <i>Form Input</i> Data	53
Gambar 4.4.	Jarak Titik Berat Kapal Terhadap AP (LCG)	54
Gambar 4.5.	Jarak Titik Berat Kapal Terhadap Keel	55
Gambar 4.6.	Kapal Tongkang Pada Kondisi Trim	58
Gambar 4.7.	Kapal Tongkang Kondisi Olang	62
Gambar 4.8.	Kapal Tongkang Olang Pada Sarat Kapal Sebelum Menyentuh <i>Deck</i> Dan <i>Bottom</i>	62
Gambar 4.9.	Kapal Tongkang Olang Pada Sarat Kapal Sudah Menyentuh <i>Deck</i> Dan Belum <i>Bottom</i>	62
Gambar 4.10.	Kapal Tongkang Olang Pada Sarat Kapal Sudah Menyentuh <i>Deck</i> Dan <i>Bottom</i>	62
Gambar 4.11.	Contoh dari Kurva Stabilitas.....	66
Gambar 4.12.	<i>Form</i> Analisa Titik Berat Kapal.....	74
Gambar 4.13.	<i>Form</i> Lengan Stabilitas Kapal	75

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah Lebih Dari 2 dan Bernilai Ganjil.....	67
Tabel 4.2. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 4.....	68
Tabel 4.3. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 10.....	68
Tabel 4.4. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 16.....	69
Tabel 4.5. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 6 (Langkah 1).....	69
Tabel 4.6. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 6 (Langkah 2).....	70
Tabel 4.7. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 12 (Langkah 1).....	70
Tabel 4.8. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 12 (Langkah 2).....	70
Tabel 4.9. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 14 (Langkah 1).....	71
Tabel 4.10. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 14 (Langkah 2).....	71
Tabel 4.11. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 8 (Langkah 1).....	72
Tabel 4.12. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ-nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 8 (Langkah 2).....	72
Tabel 4.13. Analisa Hasil perhitungan dengan Aturan Yang Ditetapkan Oleh IMO	72

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara kepulauan terbesar di dunia, memiliki beraneka ragam sumber daya alam hayati laut yang sangat potensial. Laut merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat Indonesia, antara lain sebagai sumber bahan baku, sumber energi, transportasi air dan lain sebagainya. Oleh karena itu, kapal sangat dibutuhkan sebagai sarana transportasi di laut.

Kecelakaan kapal sering terjadi di perairan Indonesia, salah satunya disebabkan oleh kurang diperhitungkannya stabilitas kapal sebelum kapal berangkat. Analisa stabilitas tersebut menggambarkan kekuatan kapal untuk kembali ke kondisi semula setelah gaya luar dihilangkan. Dengan kata lain, stabilitas merupakan respon dari kapal setelah terkena gaya luar baik berupa angin maupun gelombang sehingga stabilitas perlu dianalisa untuk tiap-tiap kapal sebelum berlayar.

Pada perhitungan stabilitas kapal perlu dicari lengan stabilitas tiap sudut oleng, dimana lengan stabilitas dapat dicari jika berat dan titik berat kapal diketahui. Titik berat suatu kapal terdiri dari dua komponen besar yaitu titik berat kapal kosong dan titik berat muatan. Titik berat kapal kosong letaknya tetap, maka pengaruh terbesar stabilitas kapal adalah titik berat muatan, dimana jika titik berat muatan berpindah maka kondisi stabilitas kapal juga berubah.

Analisa stabilitas kapal dapat dilakukan apabila berat dan titik berat kapal total telah diketahui. Pada tahap desain, perhitungan berat dan titik berat kapal umumnya dilakukan dengan metode pendekatan *Equipment Numeral* (E) berdasarkan Watson. Pada perhitungan berat maupun titik berat kapal hanya menggunakan pendekatan ukuran utama kapal. Perhitungan awalnya adalah menghitung *Equipment Numeral* yang mana perhitungan tersebut hanya menggunakan pendekatan ukuran utama kapal, nantinya nilai dari *Equipment Numeral* dikalikan dengan koefisien dari masing-masing tipe kapal sehingga didapatkan berat kapal. Begitu juga dalam menghitung titik berat kapal. Perhitungan titik berat kapal juga menggunakan nilai dari *Equipment numeral* sehingga hasil yang didapat menggunakan rumus

tersebut masih dikatakan kurang teliti karena hanya menggunakan pendekatan ukuran utama yang kurang mewakili dari kapal itu sendiri.

Berat dan titik berat kapal juga dapat dicari dengan menggunakan perhitungan *post per post* selain menggunakan rumus pendekatan di atas. Dimana dalam melakukan perhitungan tersebut kapal dibagi menjadi beberapa *station* dan di setiap *station* dilakukan perhitungan berat LWT maupun DWT, serta titik beratnya, kemudian dari hasil perhitungan tiap-tiap *station* dilakukan perhitungan global dari berat dan titik berat kapal total. Hasil yang didapat dengan menggunakan perhitungan ini memang lebih teliti, akan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan ini lebih lama jika dibandingkan dengan menggunakan pendekatan *Equipment Numeral*.

Ketika kapal sudah beroperasi, stabilitas juga tetap harus diperhitungkan agar dalam pelayaran nantinya tidak membahayakan kapal maupun muatannya. Pada kapal-kapal lama, dalam pembuatannya tidak memperhitungkan analisa stabilitas. Oleh karena itu, pada saat ini kapal-kapal lama jika ingin berlayar, maka perlu dianalisa stabilitasnya. Dalam analisa berat dan titik berat kapal total dapat dilakukan dengan metode *Equipment Numeral* maupun metode *post per post*. Akan tetapi dalam perhitungan menggunakan metode *Equipment Numeral*, hasil yang didapatkan kurang mewakili kondisi kapal sebenarnya, karena pada perhitungan ini mempunyai nilai *error* yang cukup besar. Jika perhitungan menggunakan metode *post per post*, hasil yang didapat cukup mewakili kondisi kapal tersebut, karena nilai *error*-nya kecil, akan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses perhitungan ini cukup lama. Oleh karena itu, perlu metode baru yang dapat digunakan untuk menghitung berat dan titik berat serta analisa stabilitas kapal yang tidak membutuhkan waktu yang lama, dengan tingkat ketelitian yang sedang, dapat digunakan untuk tahap desain maupun ketika kapal beroperasi, tetapi hasil yang didapatkan cukup menggambarkan keadaan kapal sebenarnya atau mempunyai tingkat *error* yang kecil.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode analisa stabilitas dengan data awal berupa kondisi trim. Metode ini dapat digunakan dalam tahap desain maupun pada saat kapal beroperasi, tanpa membutuhkan banyak waktu serta memberikan hasil yang mempunyai nilai *error* yang kecil.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasar pada latar belakang yang ada maka permasalahan yang dibahas, antara lain:

1. Proses perhitungan berat dan titik berat total kapal tanpa harus diketahui berat serta letak dari muatan yang masuk?
2. Proses perhitungan untuk menganalisa stabilitas kapal pada kondisi tertentu?

1.3. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah:

1. Menghitung titik berat kapal total tanpa diketahui berat serta letak muatan yang masuk.
2. Menganalisa stabilitas pada kondisi tertentu, berdasarkan aturan IMO.

1.4. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang diharapkan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Membantu proses *design* dalam menganalisa stabilitas kapal sehingga dapat dilakukan dengan lebih cepat dan akurat.
2. Proses operasional juga dapat membantu menganalisis stabilitas kapal yang akan berangkat tanpa melakukan pengecekan berat maupun letak muatan yang masuk, sehingga dapat mempercepat pengerjaan di lapangan.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Jenis kapal dalam bahasan ini adalah kapal tongkang.
2. Kapal yang dianalisa dianggap tidak mempunyai *chamber* dengan sudut oleng 0° .
3. *Constraints* yang digunakan adalah kondisi trim, jadi sarat haluan dan sarat buritan harus berbeda walaupun nilainya kecil.
4. Analisis stabilitas yang dilakukan menurut aturan IMO.

1.6. Metodologi Penelitian

Langkah – langkah dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Studi literatur

Studi literatur digunakan sebagai dasar teori dalam pembuatan program analisa stabilitas ini, mulai dari perumusan latar belakang sampai dokumentasi atau penulisan tugas akhir ini.

2. Pengumpulan data

Data-data yang dibutuhkan untuk tugas akhir ini adalah:

- a. Ukuran utama kapal.
- b. Berat dan titik berat kapal kosong.
- c. Data *bodyplan*.
- d. Kondisi kapal saat muatan masuk dan saat di ballas

3. Penentuan metode perhitungan

Menentukan metode perhitungan yang sesuai berdasarkan rumus-rumus yang telah ada. Dari persamaan yang telah dikumpulkan, selanjutnya diproses menggunakan metode perhitungan yang telah dibuat.

4. Evaluasi metode perhitungan

Penyesuaian data hasil hitungan manual (dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan) dibandingkan dengan data pada program *Hydromax*. Jika *error* yang dihasilkan lebih dari 5%, maka dilakukan penentuan metode perhitungan yang lain.

5. Pembuatan program di komputer

Program dibuat dengan menggunakan Bahasa Pemrograman *Visual Basic 6.0*.

6. Hasil Perhitungan

Hasil optimasi dari perhitungan di dalam program, adalah nilai berat dan titik berat kapal serta data-data numerik lengan stabilitas yang telah dihitung.

7. Penggambaran

Agar data-data numerik yang telah dihasilkan oleh program pada poin 6 dapat lebih berguna dan lebih mudah dipahami, selanjutnya data-data numerik tersebut diterjemahkan dalam bentuk kurva stabilitas. Gambaran yang dibuat oleh program ini masih sangat sederhana.

8. Validasi program

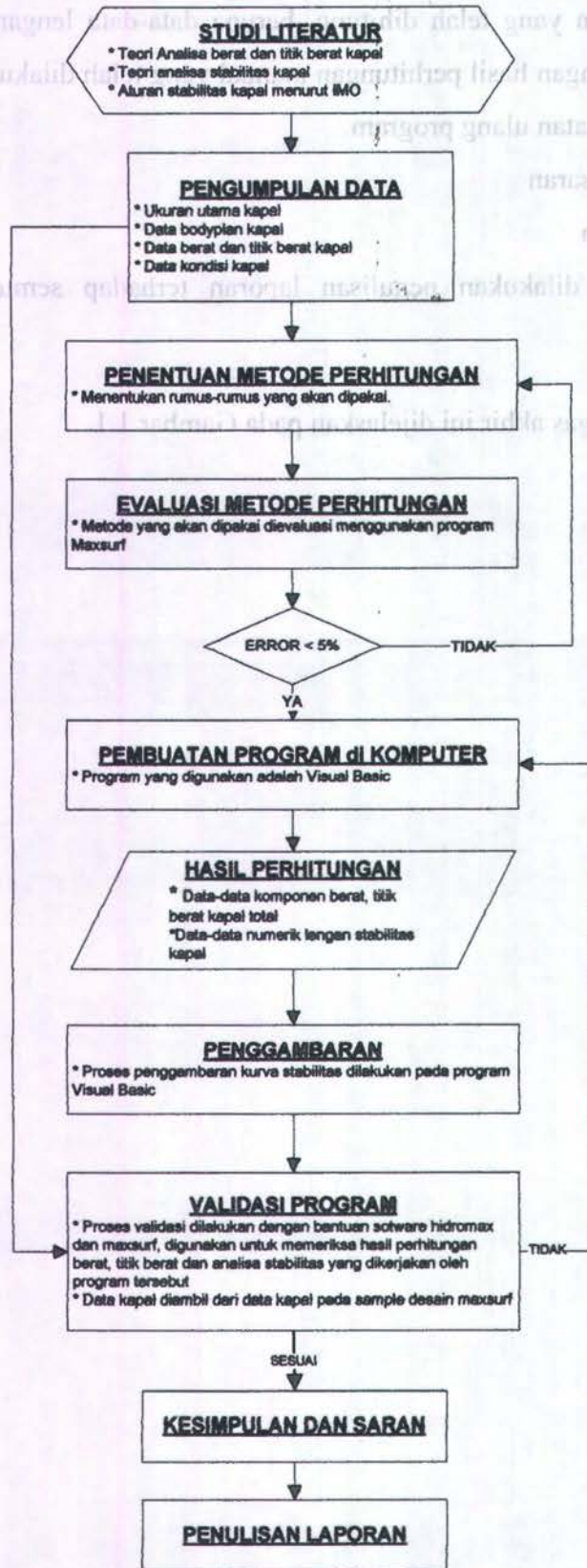
Hasil perhitungan yang telah dihitung, berupa data-data lengan stabilitas kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan manual yang telah dilakukan. Jika tidak sesuai dilakukan pembuatan ulang program.

9. Kesimpulan dan saran

10. Penulisan laporan

Pada tahap ini dilakukan penulisan laporan terhadap semua tahap yang telah dilakukan.

Metodologi penulisan tugas akhir ini dijelaskan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Metodologi Penulisan Tugas Akhir

1.7. Sistematika Laporan

Bab 1. Pendahuluan

Mencakup latar belakang, tujuan, manfaat, permasalahan, batasan permasalahan, metode penulisan dan sistematika laporan tugas akhir.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

Meliputi tinjauan pustaka mengenai konsep perhitungan berat dan titik berat kapal serta perhitungan lengan stabilitas. Selain itu bab ini juga mencakup peraturan analisa stabilitas yang ditentukan oleh IMO.

Bab 3. Analisa Berat, Titik Berat Serta Stabilitas Kapal

Bab ini mencakup tahapan-tahapan proses perhitungan berat dan titik berat kapal serta analisa stabilitas kapal, dari data awal sampai perhitungan lengan stabilitas tiap sudut oleng dan hasil analisa stabilitas menurut aturan IMO.

Bab 4. Pemrograman Analisa Stabilitas Kapal

Bab ini berisikan penjelasan tentang struktur dari makro perhitungan dari berat dan titik berat kapal total serta analisa stabilitas yang dibuat baik secara umum maupun tiap tahapan perhitungan.

Bab 5. Kesimpulan Dan Saran

Bab ini meliputi kesimpulan yang didapat dari penyelesaian masalah dan tujuan yang ingin dicapai serta saran-saran terhadap upaya penyelesaian permasalahan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Persamaan garis

Garis atau *curva* dapat dipresentasikan sebagai koleksi dari titik-titik (Manfaat, 2001). Jadi garis atau kurva terbentuk dari titik-titik yang jumlahnya banyak, sehingga terlihat tidak terputus. Akan tetapi dalam permasalahan biasanya kurva dibentuk dari beberapa titik, kemudian dari titik tersebut dihubungkan dengan sebuah garis baik yang melalui semua titik (*fit data*) maupun yang mendekati titik yang ada (*fair data*).

Dalam konteks matematika, masalah penentuan sebuah kurva secara analitik dari sejumlah data titik merupakan salah satu bentuk interpolasi (Manfaat, 2001). Dimana suatu garis atau kurva biasanya digambarkan dengan suatu persamaan, baik persamaan itu melalui semua titik yang ditentukan ataupun tidak. Tepat pada titik yang ditentukan atau tidak biasanya diperlihatkan dengan koreksi dari persamaan garis tersebut.

Persamaan-persamaan garis tersebut ada beberapa macam yaitu:

1. *Polynomial*
2. *Cubic Splines*
3. *Bezier Curves*
4. *B-Spline Curves*

Polynomial suatu persamaan garis dengan derajat tertentu. Derajat dari persamaan garis *Polynomial* tersebut sesuai dengan jumlah titik yang diketahui. Jika ada k titik, maka persamaan *Polynomial* tersebut dengan derajat $(k-1)$. Persamaan *Polynomial* adalah:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (\text{Manfaat, 2001}) \quad (2.1)$$

Nilai konstanta-konstanta tersebut, dilakukan dengan perkalian *matrik* yaitu:

$$[y] = [x] \times [a] \quad (2.2)$$

$$[a] = [x]^{-1} \times [y] \quad (2.3)$$

Dimana nilai dari masing-masing *matrik* adalah:

$$[a] = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \dots \\ \dots \\ a_n \end{bmatrix} \quad [y] = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \dots \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad [x] = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 & \dots & \dots & x_1^n \\ 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 & \dots & \dots & x_2^n \\ 1 & x_3 & x_3^2 & x_3^3 & \dots & \dots & x_3^n \\ 1 & x_4 & x_4^2 & x_4^3 & \dots & \dots & x_4^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & x_n^2 & x_n^3 & \dots & \dots & x_n^n \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Dengan persamaan *matrik* di atas maka nilai konstanta diketahui sehingga persamaan *Polynomial* dapat diselesaikan. Metode ini menghasilkan sebuah kurva dalam bentuk $y = f(x)$ yang meminimumkan jumlah deviasi kuadrat dari nilai-nilai y antara data titik dan *curve* (Manfaat, 2001).

Cubic spline secara fisik direpresentasikan dengan *strooklat*, balok elastis yang tipis. Dengan persamaan *cubic spline parametric* tunggal adalah :

$$Q(t) = \sum B_i t^{i-1} \quad (\text{Manfaat, 2001}) \quad (2.5)$$

Keterangan:

t = parameter dan $t_1 \leq t \leq t_2$

$Q(t)$ = $[x(t), y(t)]$

Persamaan *spline* tergantung pada nilai-nilai ujung dari parameter dengan 2 vektor posisi dan 2 vektor tangen.

Bezier Curve selalu mulai dari *vertex* awal dan berakhir pada *vertex* akhir. *Slope* dari *curve* pada titik-titik awal dan akhir adalah sama dengan sisi-sisi *poligon* awal dan akhir (Manfaat, 2001). Dengan rumus *Bezier Curves* adalah:

$$Q(t) = \sum P_i J_{n,i} \quad t, 0 \leq t \leq 1 \quad (2.6)$$

Keterangan:

$$J_{n,i} = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad \binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$$

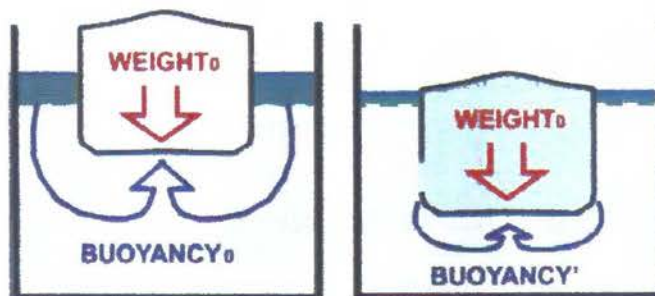
Kelemahan dari *cubic splines* dan *Bezier curves* adalah pada bentuk-bentuk yang patah atau *knuckle*, pada persamaan garis ini akan mengambil titik yang mendekati.

Persamaan garis *bodyplan* tiap-tiap *station* ditentukan dengan menggunakan persamaan *Polynomial*. Data-data titik setiap *bodyplan*, dicari konstanta dari persamaan *Polynomial* dengan menggunakan persamaan matrik. Setelah semua konstanta diketahui, maka persamaan *bodyplan* dapat digunakan. Derajat persamaan tergantung dari jumlah titik yang diberikan untuk masing-masing *station*.

2.2. Perhitungan *Displacement*

Hukum dasar fisika yang mengatur tentang kelakuan benda yang secara keseluruhan atau sebagian tercelup dalam fluida adalah Prinsip Archimedes, dimana benda yang tercelup dalam fluida ada yang menahan ke atas oleh gaya yang besarnya sama dengan berat dari fluida yang dipindahkan. Jadi besar gaya apung adalah sama dengan berat fluida yang dipindahkan (Lewis, 1988).

Pertimbangan dari sebuah benda yang tercelup dalam fluida adalah fluidanya, misalkan pada permukaan air yang tenang. Berat benda yang akan diapungkan dalam air harus lebih kecil dari pada berat air sebanyak volume benda tersebut agar benda dapat terapung. Massa jenis yang menentukan benda akan terapung, melayang atau tenggelam. Benda akan terapung jika massa jenis benda lebih kecil dari pada massa jenis fluida. Akan tetapi, jika massa jenis benda lebih besar dari massa jenis fluida, maka benda tersebut akan tenggelam. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Benda Terapung Dengan Volume Yang Sama, Tetap Berat Berbeda (Clark, 2002)

Displacement kapal juga dapat didefinisikan sebagai massa sebenarnya dari konstruksi kapal dan seluruh muatannya, baik barang bawaan, bahan bakar maupun seluruh perbekalan (Clark, 2002). Perhitungan berat pada waktu mendesain kapal harus diperhatikan.

Massa dari kapal dapat diketahui dari banyaknya air yang dipindahkan, dapat diketahui dari volume bagian benda yang tercelup. Jika pada kapal, volume bagian kapal yang di bawah permukaan air yang dihitung. Hasil yang didapat adalah *volume displacement*. Maka massa dari kapal adalah hasil kali dari *volume displacement*

Untuk mendapatkan *volume displacement* dari suatu kapal, maka perlu dihitung luas tiap-tiap *station* terlebih dahulu. Luas *station* adalah area yang dibatasi oleh *bodyplan* kapal dengan sarat kapal. Dimana untuk bentuk *bodyplan* kapal dibatasi oleh beberapa titik yang tidak tertentu letaknya, akan tetapi jika dihubungkan dengan sebuah kurva, akan terbentuk potongan dari bentuk kapal.

Luasan *station* dapat dicari dengan mengintegalkan garis pembentuk area *bodyplan*. Cara pengintegralannya dari data titik-titik yang ada, dapat diintegrasikan dengan menggunakan metode simpson, maupun dengan dicari dahulu persamaan garis pembentuk *bodyplan* kemudian diintegalkan persamaan garis tersebut. Dengan menggunakan rumus dasar integrasi yaitu:

$$Y = A + BZ + CZ^2 + DZ^3 + EZ^4 + FZ^5 + \dots + NZ^n$$
$$Luas = \int_{z_0}^T Y dz \quad (2.7)$$

Keterangan:

Y = Persamaan *Bodyplan*

Z₀ = Jarak Keel dengan *Baseline*

T = Sarat Kapal

Dari rumus tersebut dapat diketahui luas tiap-tiap *station*.

Selain luas tiap *station*, letak titik berat secara vertikal dari *baseline* untuk tiap-tiap luasan juga perlu dicari. Persamaan garis dari *bodyplan* sudah diketahui maka dalam mencari titik berat dari tiap-tiap luasan *station* dapat menggunakan persamaan titik berat dasar yaitu:

$$Y = A + BZ + CZ^2 + DZ^3 + EZ^4 + FZ^5 + \dots + NZ^n$$

$$\bar{Z} = \frac{\int_{z_0}^T (Y \times Z) dz}{\int_{z_0}^T Y dz}$$

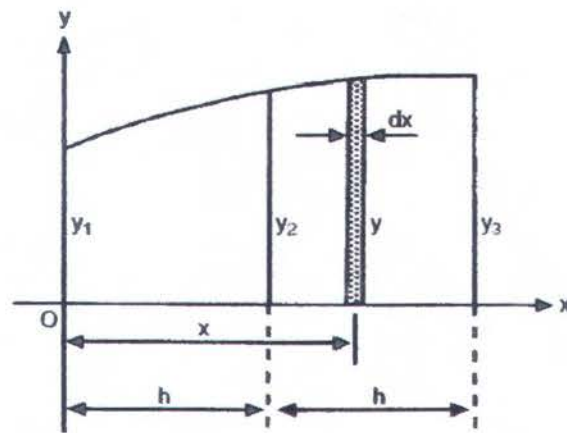
(2.8)

Keterangan:

\bar{Z} = Jarak antara titik berat total dengan *baseline*

Z = Jarak titik berat masing-masing luasan *station* dengan *baseline*

Setelah luasan dan titik berat tiap *station* diketahui, maka *volume displacement* (∇) dan pusat titik apung dapat diketahui. Perhitungan *volume displacement* (∇) dan pusat titik apung menggunakan metode integrasi simpson. Faktor simpson yang dipakai adalah faktor simpson untuk jarak *station* yang berbeda. Rumus tersebut didapat dari penurunan rumus simpson. Penurunan rumus untuk faktor simpson dengan jarak *station* yang sama yaitu:



Gambar 2.2. Kurva Yang Akan Dicari Luas, Dengan Jarak *Station* Sama (Derre, 1999)

$$\begin{aligned} \text{LUAS} &= \int_0^{2h} y dx \\ &= \int_0^{2h} (a_0 + a_1 x + a_2 x^2) dx \\ &= 2a_0 h + 2a_1 h^2 + \frac{8}{3} a_2 h^3 \end{aligned}$$

(2.9)

Asumsi luas pada gambar adalah:

$$LUAS = AY_1 + BY_2 + CY_3$$

$$= Aa_0 + B(a_0 + a_1h_1 + a_2h_1^2 + C(a_0 + 2a_1h + 4a_2h^2))$$

$$= a_0[A + B + C] + a_1h[B + 2C] + a_2h^2[B + 4C]$$

$$\therefore 2a_0h + 2a_1h^2 + \frac{8}{3}a_2h^3 = a_0[A + B + C] + a_1h[B + 2C] + a_2h^2[B + 4C] \quad (2.10)$$

Sehingga didapatkan persamaan koefisien yaitu:

$$[A + B + C] = 2h; \quad B + 2C = 2h; \quad \text{dan} \quad B + 2C = 2h \quad (2.11)$$

Sehingga didapatkan:

$$A = \frac{h}{3}, \quad B = \frac{4h}{3} \quad \text{dan} \quad C = \frac{h}{3} \quad (2.12)$$

$$\text{Maka luas dari gambar tersebut adalah} = \frac{h}{3}(y_1 + 4y_2 + y_3) \quad (2.13)$$

Sebelum mengintegrasikan luas maupun titik berat tiap-tiap *station* untuk mencari *volume displacement* (∇) dan pusat titik apung kapal, harus ditentukan terlebih dahulu faktor simpson dari masing-masing *station*. Faktor simpson disini dipengaruhi oleh letak dari masing-masing *station*, atau jarak antar *station*. Jika jarak antar *station* berbeda-beda maka faktor simpson untuk tiap-tiap *station* pun akan berbeda.

Volume displacement (∇) dan pusat titik apung kapal total dapat diketahui setelah faktor simpson untuk tiap-tiap *station* diketahui. Karena rumus dasar volume adalah integral dari luas, maka sama halnya untuk *volume displacement*, *volume displacement* adalah integral dari luas tiap-tiap *station*, hal ini dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\nabla = \int_{x_0}^{x_r} A dx \quad (\text{Rawson, 2001}) \quad (2.14)$$

Volume displacement (∇) dapat dihitung dengan cara menjumlahkan hasil perkalian antara faktor simpson untuk masing-masing *station* dengan luas tiap-tiap *station*. Semakin banyak *station* maka nilai dari *volume displacement* (∇) semakin akurat.

Sedangkan pusat titik apung dapat diketahui dengan cara mencari titik berat dari *volume displacement* (∇). Karena pusat titik apung adalah sama dengan titik berat dari air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup (Lewis, 1988).

Perhitungan *displacement* kapal dapat dilakukan dengan cara mengalikan *volume displacement* (∇) dan berat jenis dari fluida (γ).

$$\Delta = \gamma \times \nabla \quad (\text{Lewis, 1988}) \quad (2.15)$$

Keterangan:

Δ = *Displacement*

∇ = *Volume displacement*

γ = Berat Jenis fluida

2.3. Perhitungan Berat Dan Titik Berat

Pada analisa stabilitas sebuah kapal, titik berat kapal merupakan inputan utama. Perhitungan titik berat kapal ini perlu dilakukan sedetail mungkin. Ada beberapa metode yang dapat dilakukan dalam menghitung berat maupun titik berat kapal, diantaranya adalah:

1. Metode pendekatan *Equipment Number*
2. Metode *Post per Post*

Pendekatan *Equipment Number* dalam menghitung berat adalah dengan membagi komponen berat menjadi berat konstruksi, berat mesin, berat *outfitting* dan *dead weight*. Dimana dalam menghitung berat konstruksi hanya menggunakan pendekatan ukuran utama yaitu panjang, lebar, tinggi dan sarat yang dikalikan dengan koefisien untuk mendapatkan *equipment number*. Nilai dari *Equipment Number* dikalikan dengan koefisien K, CB, dan beberapa koefisien lainnya menghasilkan berat konstruksi kapal (Parson, 2002).

Metode *post per post*, metode ini adalah sebuah metode dalam perhitungan berat dan titik berat kapal, yang mana pada perhitungan ini kapal dibagi menjadi beberapa *station*, kemudian dihitung berat pada tiap-tiap *station*, baik LWT kapal maupun DWT kapal. Selain berat dari masing-masing *station*, titik berat dari tiap *station* juga harus dicari.

Setelah berat dan titik berat dari masing-masing *station* diketahui, maka berat kapal dapat diketahui dengan menjumlahkan berat dari masing-masing *station*. Sedangkan titik berat dapat diketahui dengan menggunakan rumus dasar dalam mencari titik berat yaitu:

$$\bar{X} = \frac{\sum Luas \cdot X}{\sum Luas} \quad (2.16)$$

Keterangan:

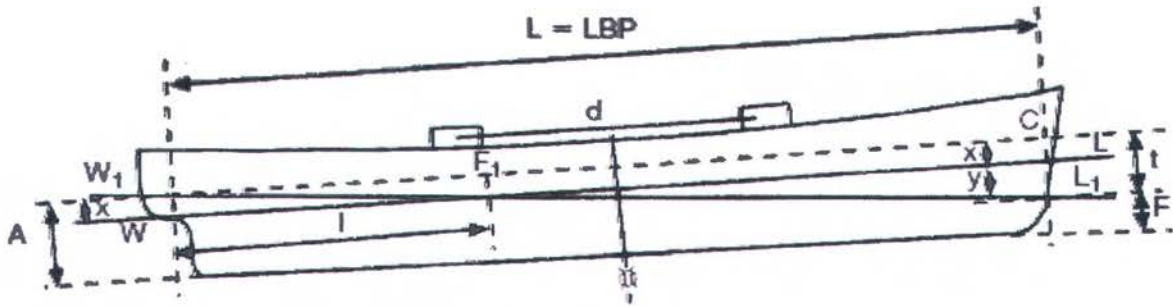
X = Titik Berat tiap *station*

\bar{X} = Titik berat total

Pada metode ini memiliki kelebihan pada hasil hitungan, berat maupun titik berat yang dihasilkan dari hitungan dengan metode ini dapat dipastikan lebih teliti dibandingkan dengan metode pendekatan *Equipment Number*. Akan tetapi dalam melakukan perhitungan dengan metode *post per post* membutuhkan waktu yang lama dan ketelitian yang lebih dibandingkan dengan metode pendekatan *equipment number*.

Waktu pengerjaan untuk mempercepat, tetapi tanpa mengurangi ketelitian dari hasil perhitungan, maka perlu menggunakan metode yang lain dalam menentukan berat dan titik berat kapal. Metode yang dapat kita gunakan adalah dengan melihat kondisi bagian kapal yang tercelup. Pada bagian kapal yang tercelup, dapat diketahui besar dari *displacement*. Sesuai dengan prinsip Archimedes, yaitu berat air yang dipindahkan karena bagian kapal yang tercelup sama dengan berat benda itu (Lewis, 1988). Berat kapal dapat dihitung dengan cara mencari *displacement* dari kapal tersebut.

Titik berat kapal dapat dicari dengan rumus dasar dalam melakukan *inclining test*. Dimana dasar perhitungannya yaitu adanya suatu muatan di dalam kapal yang bergerak sehingga menyebabkan kapal trim.



Gambar 2.3. Kapal Mengalami Trim Karena Ada Muatan Yang Bergeser (Derret, 2006)

Jika kondisi kapal trim seperti gambar di atas, maka didapatkan persamaan yaitu :

$$\tan \theta = \frac{w \times d}{W \times GM_L} \quad (\text{Derret, 2006}) \quad (2.17)$$

Dimana nilai $\tan \theta$ adalah :

$$\tan \theta = \frac{t}{L} \quad (\text{Derret, 2006}) \quad (2.18)$$

Sehingga

$$\frac{t}{L} = \frac{w \times d}{W \times GM_L} \quad (2.19)$$

Keterangan :

t = Trim

w = berat muatan yang dipindahkan

W = berat kapal total

d = jarak perpindahan muatan

GM_L = jarak pusat masa kapal (G) dengan titik metacenter memanjang (M_L)

Titik berat kapal dapat di hitung dengan persamaan dasar yaitu:

$$KM_L = KG + MG_L$$

$$GM_L = KM_L - KG$$

$$= (KB + BM_L) - KG \quad (2.20)$$

Keterangan:

KG = jarak titik berat total dengan keel

KB = jarak titik apung total dengan keel

BM_L = jarak titik apung total dengan Metacenter

Karena KB telah diketahui dari hasil integrasi, maka untuk mencari titik berat (KG) maka perlu dicari titik metacenter terlebih dahulu, baik jaraknya terhadap titik berat (MG) maupun jaraknya terhadap titik apung (MB). Kondisi awal yang diperhitungkan adalah kondisi trim maka titik metacenter yang dicari adalah titik metacenter memanjang (M_L).

Jarak metacenter memanjang dengan titik apung (BM_L) dapat dicari dengan rumus:

$$\overline{BM}_L = \frac{I_L}{\nabla} \quad (\text{Rawson, 2001}) \quad (2.21)$$

Dimana I_L adalah momen inersia memanjang kapal, yaitu kemampuan luas bidang air untuk mempertahankan posisinya jika diputar pada bidang Y. momen inersia memanjang juga sering disebut (I_{YY}), yang dapat dirumuskan dengan:

$$I_{yy} = \int x^2 y_1 dx \quad (\text{Rawson, 2001}) \quad (2.22)$$

2.4. Stabilitas Kapal

2.4.1. Lengan Stabilitas Kapal

Perancangan kapal tidak hanya harus menyediakan gaya apung yang cukup untuk memberikan dukungan pada kapal dengan muatannya, tetapi juga harus menjamin bahwa kapal itu akan mengapung dengan kondisi yang pantas, dengan kondisi tetap tegak ketika diberi muatan penumpang maupun barang. Sumber dari masalah stabilitas dan trim adalah gaya berat, umumnya referensi yang digunakan adalah kondisi air tenang. Pertimbangan juga dilakukan dengan penilaian dari kriteria yang diberikan tentang kecukupan pada stabilitas kapal (Lewis, 1988).

Beberapa kondisi seimbang yaitu (Lewis, 1988):

a.) Kesetimbangan

Benda tegar adalah benda pada kedudukan statis, dimana jumlah seluruh gaya dan momen yang bekerja pada benda adalah nol. Disebut juga dengan stabilitas statis benda terapung, jika kita perhatikan kumpulan kedudukan statis dengan benda yang terapung tegak lurus pada saat di perairan tenang. Pada kasus ini jumlah seluruh gaya berat yang bekerja pada benda dengan arah ke bawah, dan jumlah dari gaya apung bekerja pada benda ke arah atas, yang mana besarnya sama dan terletak pada garis vertikal yang sama.

b.) Kedudukan stabil.

Jika benda terapung, awalnya dalam kedudukan yang seimbang kemudian diganggu dengan momen dari luar maka akan merubah kedudukan benda. Jika momen dari luar dihilangkan, benda akan kembali pada posisi semula sehingga dikatakan dalam kedudukan stabil dan mempunyai stabilitas positif.

c.) Kedudukan netral.

Jika pada kondisi yang lain, sebuah benda terapung yang diasumsikan kecenderungannya berubah karena momen dari luar, akan tetapi keadaan benda tersebut tetap ketika gaya luar dihilangkan. Benda tersebut dinamakan dalam keadaan kedudukan netral dan mempunyai stabilitas netral.

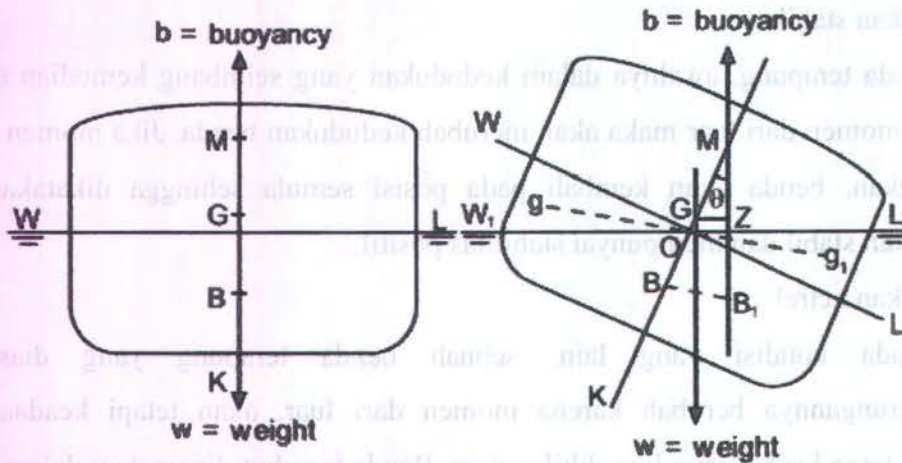
d.) Kedudukan tidak stabil.

Jika benda terapung, berubah dari kedudukan semula karena ada gaya dari luar, berlanjut bergerak dengan arah yang sama setelah gaya dihilangkan, ini dikatakan sebagai kedudukan tidak stabil.

Sebuah kapal mempunyai kemungkinan miring ke beberapa arah. Di kapal perhitungan kemiringan pada melintang kapal disebut oleng, dan kemiringan memanjang dinamakan trim, umumnya dibagi jadi dua stabilitas melintang dan stabilitas memanjang (Lewis, 1988).

Untuk melihat stabilitas kapal, yang digunakan sebagai pertimbangan adalah jarak antara Metacenter dengan titik berat kapal total (MG). Pada kapal yang terapung, dimana titik berat pada G, dan titik gaya apung di B, maka GZ adalah lengan momen pembalik. Ketika kapal oleng dengan sudut kecil (θ) seperti pada gambar. Karena tidak ada berat yang berpindah jadi titik berat tetap di titik G dan berat kapal tetap W.

Ketika kapal mengalami oleng, baji WOW_1 keluar dari air dan baji LoL_1 masuk dalam air. Karena ada baji masuk dan baji yang keluar, maka titik pusat gaya apung berpindah dari B ke B_1 . Karena volume baji masuk sama dengan volume baji keluar maka *volume displacement* kapal tetap. Misal titik berat baji keluar WOW_1 di g, dan titik berat baji masuk LoL_1 di g_1 .



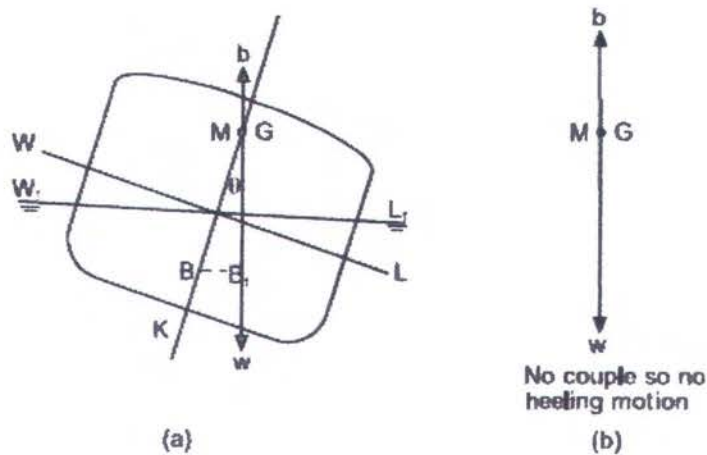
Gambar 2.4. Kapal Olang (Derre, 1999)

Maka garis BB_1 sejajar dengan garis gg_1 , dan $\overline{BB_1} = \frac{v \times gg_1}{V}$ dimana v adalah volume baji dan V adalah *volume displacement* kapal.

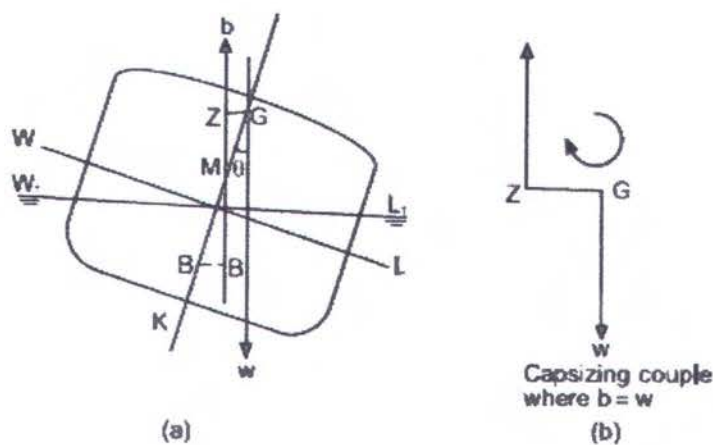
Garis vertikal dari pusat titik apung pada dua sudut oleng yang berurutan berpotongan di suatu titik yang disebut dengan metacenter. Tinggi dari titik metacenter dari keel (KM) bergantung pada bentuk kapal pada bawah air (Derre, 1999).

Momen pembalik terjadi karena ada 2 buah gaya yang sejajar dan mempunyai lengan, yaitu gaya berat dan gaya apung. Sehingga ketika kapal mengalami oleng kapal dapat kembali ke posisi tegak karena adanya momen pembalik ini. Besar gaya apung dan gaya berat itu besarnya sama dan tetap, tetapi lengan dari momen pembalik yang nilainya berubah-ubah, tergantung posisi titik metacenter (M) dan sudut olengnya.

Kapal dikatakan stabil karena adanya momen penegak, atau karena lengan momen pembaliknya (GZ) positif. Nilai GZ positif karena titik G berada di bawah titik M. Kapal dikatakan dalam kedudukan netral jika momen penegaknya bernilai 0. Hal ini dikarenakan lengan momen pembalik nol. Lengan momen pembalik bernilai nol karena titik metacenter (M) berimpit dengan titik berat kapal (G). Sedangkan kapal pada kondisi tidak stabil ketika lengan momen pembalik bernilai negative (-). Hal ini disebabkan karena titik metacenter (M) terletak di bawah titik berat kapal (G). MG atau yang sering disebut sebagai tinggi metacenter sangat mempengaruhi stabilitas dari kapal.



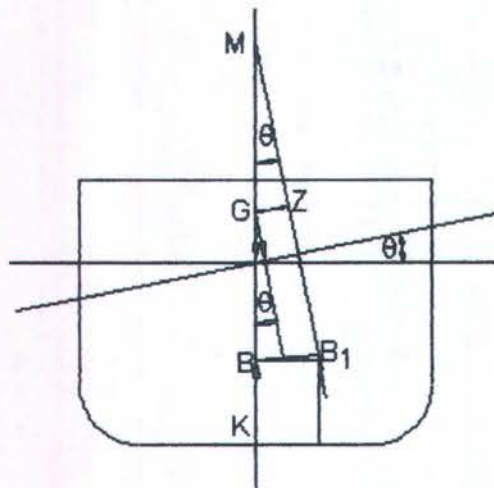
Gambar 2.5. Kapal Olang Dengan Kondisi Stabil (Derre, 1999)



Gambar 2.6. Kapal Olang Dengan Kondisi Tidak Stabil (Derre, 1999)

Pada perhitungan lengan stabilitas pada sudut kecil tidak sama dengan menghitung lengan stabilitas pada sudut besar. Pada sudut kecil, baji masuk dan baji keluar diperkirakan mempunyai volume yang sama sehingga tidak ada pergeseran sarat. Akan tetapi, pada sudut olang yang besar harus memperhitungkan *volume displacement*, sehingga agar *volume displacement* tetap, maka perlu adanya pergeseran sarat.

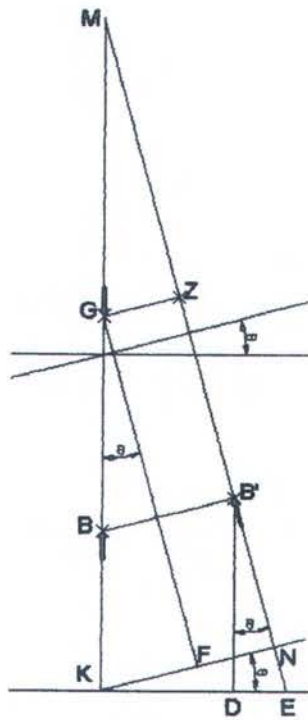
Pada perhitungan lengan stabilitas sudut kecil, titik metacenter (M) diperkirakan tetap, sehingga panjang dari lengan stabilitas hanya berpengaruh oleh sudut olang yang terjadi dari Gambar 2.7, dapat kita ketahui panjang GZ atau lengan stabilitas adalah: $GZ = MG \sin\theta$. Dimana karena pada sudut olang kecil maka perubahan titik apung (B) tidak merubah titik metacenter (M), sehingga nilai MG tetap. Jadi pada sudut olang kecil, perubahan lengan stabilitas hanya dipengaruhi sudut olang kapal.



Gambar 2.7. Gaya-gaya yang Bekerja Saat Kapal Olang Dengan Sudut Kecil

Pada sudut olang besar ada beberapa langkah yang harus dilakukan untuk mendapatkan nilai lengan stabilitas (GZ) yaitu:

1. Menentukan sarat awal kapal yang akan diolengkan.
2. Membuat garis air olang tiap 2° dari $10^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$.
3. Menghitung luasan dan titik berat untuk masing-masing *station* tiap sudut olang yang dihitung.
4. Mengintegrasikan luasan dan titik berat masing-masing *station* tiap sudut olang yang dihitung untuk mencari *Displacement* dan pusat titik apung (KB dan TB) dari setiap sudut olang yang dihitung.
5. Mencari jarak keel dengan titik N (KN) tiap sudut olang.
6. Menghitung lengan stabilitas (GZ) tiap sudut olang.

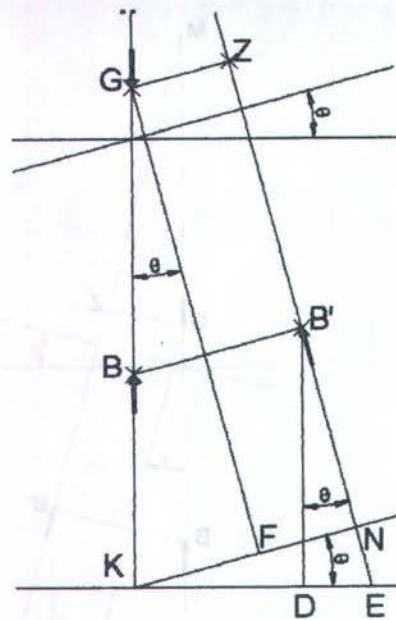


Gambar 2.8. Gaya Yang Bekerja Pada Kapal Saat Olang

Pada perhitungan lengan stabilitas (GZ) dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan garis dan sudut pada segitiga. Semua jarak yang sudah diketahui adalah KB , DB' , KD dan KG . Sedangkan sudut yang diketahui adalah KMB' , KGF , NKE dan $DB'E$. Besar sudut-sudut tersebut adalah sama dengan besar dari sudut olang, oleh karena itu nilai GZ dapat di cari dengan langkah berikut :

$$\begin{aligned}
 GZ &= FN \\
 &= KN - KF
 \end{aligned}
 \tag{2.23}$$

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.9 berikut.



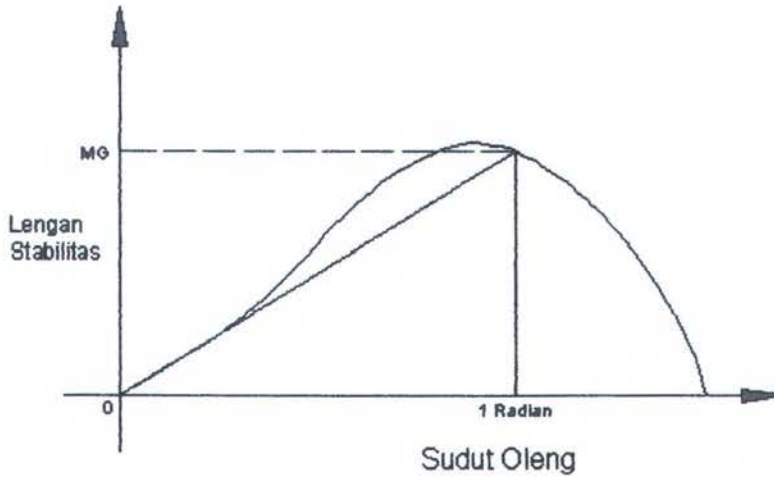
Gambar 2.9. Pergeseran Gaya Apung Yang Terjadi Karena Olang

Dengan rumus tersebut maka besar lengan stabilitas (GZ) pada sudut besar dapat dicari, karena pada rumus tersebut tidak menggunakan titik metacenter.

2.4.2. Analisa Stabilitas Menurut Peraturan IMO

Kurva stabilitas perlu dibuat setelah lengan stabilitas tiap sudut oleng dicari, agar stabilitas dari kapal tersebut dapat dianalisa. Dalam membuat kurva stabilitas, ada beberapa langkah yang mesti diikuti, yaitu:

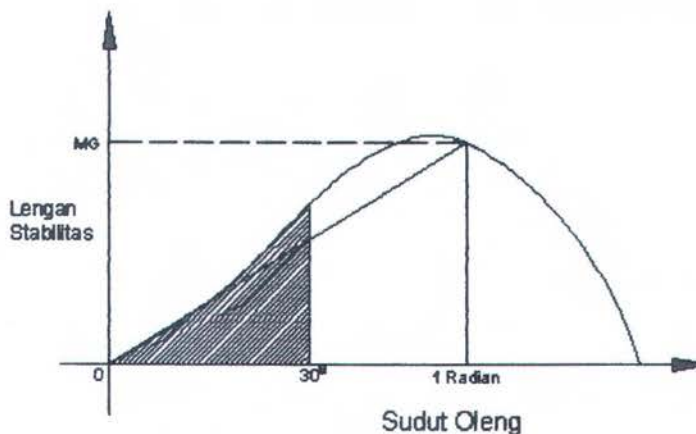
1. Pada kurva stabilitas, sumbu horisontal menunjukkan sudut oleng dan sumbu vertikal untuk lengan stabilitas (GZ).
2. Menggambar garis tegak pada sudut satu radian ($57,3^\circ$) di kurva stabilitas setinggi MG pada waktu sudut nol derajat, lalu dihubungkan dengan titik pusat kurva $(0,0)$.
3. Mengeplot nilai dari lengan stabilitas pada kurva stabilitas.



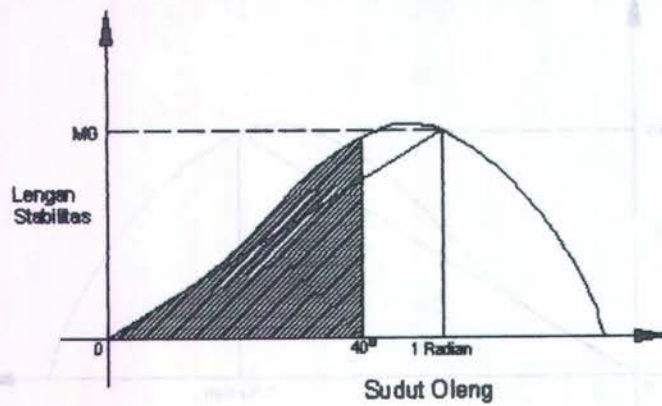
Gambar 2.10. Gambar Kurva Stabilitas

Setelah kurva stabilitas selesai dibuat, maka perlu dianalisa atau dicocokkan dengan aturan yang telah ditentukan oleh IMO, yaitu:

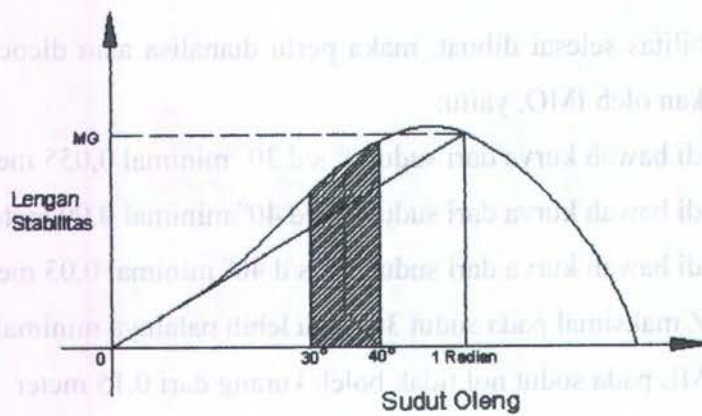
1. Luasan di bawah kurva dari sudut 0° s/d 30° minimal 0,055 meter.radian
2. Luasan di bawah kurva dari sudut 0° s/d 40° minimal 0,09 meter.radian
3. Luasan di bawah kurva dari sudut 30° s/d 40° minimal 0,03 meter.radian
4. Nilai GZ maksimal pada sudut 30° atau lebih nalainya minimal adalah 0,20 meter
5. Nilai GML pada sudut nol tidak boleh kurang dari 0,15 meter
6. Nilai GZ maximum tidak boleh lebih dari 30° dan tidak boleh kurang dari 25°



Gambar 2.11. Luasan di Bawah Kurva Sudut 0° s/d 30°



Gambar 2.12. Luasan di Bawah Kurva Sudut 0° s/d 40°



Gambar 2.13. Luasan di Bawah Kurva Sudut 30° s/d 40°

Setelah hasil kurva stabilitas hasil perhitungan dikoreksi dengan aturan yang telah ditetapkan oleh IMO, maka akan terlihat hasil yang didapat. Jika semua kriteria tersebut memenuhi maka kapal tersebut dapat dikatakan sebagai kapal yang stabil, akan tetapi jika dalam kriteria tersebut ada yang tidak memenuhi maka kapal tersebut dikatakan tidak stabil.

2.5. Perangkat Lunak *Visual Basic*

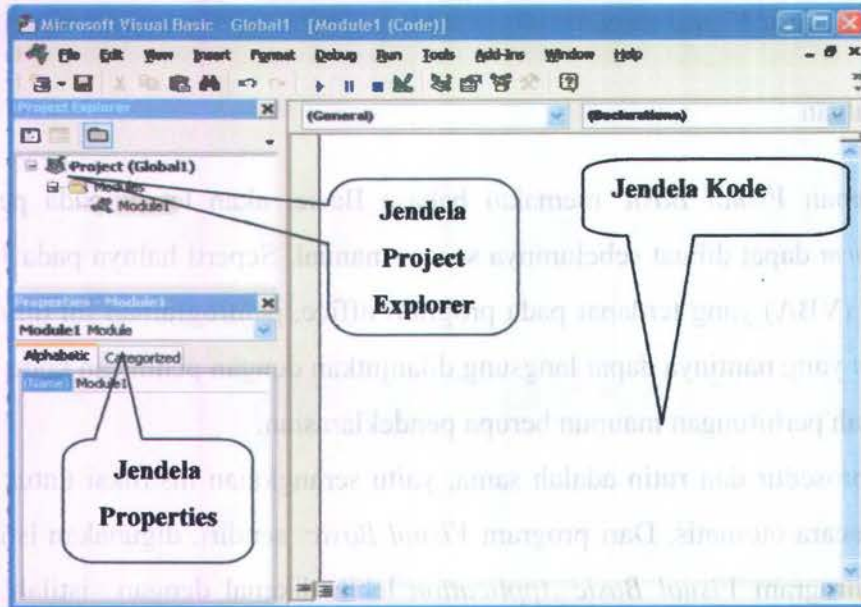
2.5.1. Pendahuluan

Pada pemrograman *Visual Basic* memakai bahasa Basic, akan tetapi pada pemrograman *Visual Basic*, *form* dapat dibuat sebelumnya secara manual. Seperti halnya pada *Visual Basic for Application* (VBA) yang terdapat pada program office, pemrograman ini dimulai dengan pembuatan *form* yang nantinya dapat langsung dilanjutkan dengan penulisan kode baik berupa prosedur, langkah perhitungan maupun berupa pendeklarasian.

Istilah makro, prosedur dan rutin adalah sama, yaitu serangkaian instruksi untuk melakukan tugas tertentu secara otomatis. Dari program *Visual Basic* sendiri, digunakan istilah *project*, tetapi pada pemrogram *Visual Basic Application* lebih dikenal dengan istilah macro atau rutin. Untuk memudahkan dalam pembahasan dan penyusunan kode, maka beberapa istilah yang perlu dibahas antara lain :

1. Kode, adalah serangkaian instruksi yang dapat dilaksanakan oleh komputer.
2. Makro atau *project*, adalah serangkaian kode yang dituliskan sebagai instruksi untuk melakukan *project* tertentu. Setiap *project* harus mempunyai nama yang dituliskan di bagian awal *project*.
3. *Module*, adalah wadah untuk menyimpan *project* dan merupakan bagian dari gambar kerja.
4. Variabel, adalah nama tempat penyimpanan data dalam memori komputer. Variabel ini dapat diisi dengan data, baik berupa teks, angka atau nilai logika (*True* dan *False*).
5. *MsgBox*, adalah jendela yang digunakan untuk berinteraksi antara *user* dengan makro ketika makro dijalankan.

Setelah masuk program *Visual Basic*, maka dapat langsung membuat *form*. *Form* adalah tampilan program yang dibuat. Ingat, bahwa *Module* adalah wadah untuk *project*, maka untuk membuat *project* kita harus membuat dulu *Module*-nya. Perintah untuk membuat *Module* adalah *Insert* → *Module*. Maka suatu jendela *Module* yang kosong akan ditampilkan di jendela utama *Visual Basic* (Gambar 2.13).



Gambar 2.14. Jendela *Visual Basic Editor*

Pada Gambar 2.13 di atas, ada tiga jendela yang tampak, yaitu:

1. Jendela kode, adalah jendela tempat mengetikkan dan membangun prosedur untuk membuat program baru.
2. Jendela *Project Explorer* menampilkan susunan hirarki dari makro yang dibuat pada IDE. Pada jendela ini ditampilkan list dari semua *Userform*, *Module* dan *Class Module* yang bersesuaian dengan makro yang dibuka.
3. Jendela *Properties*, adalah jendela untuk mengatur properties dari setiap obyek yang ada pada *Module* dan *userform* yang dibuat.

Selanjutnya untuk berinteraksi dengan *user* nantinya, pada *Visual Basic* ini dapat pula dimasukkan *userform*, perintah untuk menambahkan *userform* ini adalah *Insert* → *Userform*. Pada *userform* yang telah dibuat dapat ditambahkan teks, input teks, tombol, combo box dll.

Kenyataannya, *project* yang dibangun dari *Visual Basic* terdiri dari beberapa tipe *file*, yang terkandung di dalamnya antara lain:

1. *Userform Module* (*file* dengan ekstensi *.frm*) adalah *file* yang berisikan teks pada *form* yang dibuat, kontrol-kontrol dan setting properties. *File* ini juga mengandung deklarasi konstanta, variabel, prosedur dan *event* prosedur pada *form* tersebut.
2. *Standard Module* (*file* dengan ekstensi *.bas*) adalah *file* yang mengandung deklarasi tipe data, konstanta, variabel dan prosedur.

3. *Class Module* (file dengan ekstensi .cls), tipe file ini digunakan untuk membuat obyek sendiri, termasuk metode, properties dan event. *Class Module* sama dengan *userform Module* kecuali pada visualisasi *interface*-nya.

Pada *Visual Basic*, untuk menyimpan *file-file* yang terbentuk dari pembuatan *project* harus disimpan dalam tipe *file* yang berbeda-beda. Oleh karena itu, dalam menyimpan suatu *project* dalam *Visual Basic*, akan lebih mudah jika satu *project* disimpan dalam satu folder.

Ketika memulai *project* dengan menggunakan *userform*, disediakan toolbox untuk membangun tampilan pada *userform*. Toolbox yang ditampilkan adalah toolbox standar, untuk menambahkan item pada toolbox tersebut melalui *Tools > Additional Control*. Beberapa kontrol tidak dapat langsung digunakan karena berkaitan dengan aplikasi *software* lainnya. Maka *references* pada aplikasi/makro yang sedang dibangun harus ditambahkan, melalui *Tools > Reference*. Setelah itu, *project* yang kita buat dapat terhubung dengan program yang lain.

2.5.2. Penyusunan *Project* Pada *Visual Basic*

Visual Basic telah menyediakan susunan bahasa yang digunakan untuk membuat *Project* pada program ini. Susunan bahasa tersebut berupa kode-kode yang nantinya dapat memberikan perintah ketika program dijalankan. Berikut contoh kode yang digunakan dalam pembuatan *Project* ini:

1. Fungsi logika

Dengan fungsi ini, *project* melakukan uji kondisi yang diberikan dan bekerja sesuai hasil uji kondisi tersebut. Kode yang digunakan adalah:

```
If <condition1> Then
    <statement 1>
Else If
    <statement 2>
Else
    <statement 3>
End If
```

2. Fungsi Looping

Dalam fungsi ini, *project* dapat melakukan perhitungan yang diulang dan akan terus menghitung hingga beberapa kali sesuai dengan yang ditentukan dalam *project*. Kode yang digunakan adalah:

For <batas bawah> to <batas atas>

<total nilai awal>

<rumus perhitungan>

Next <viabel>

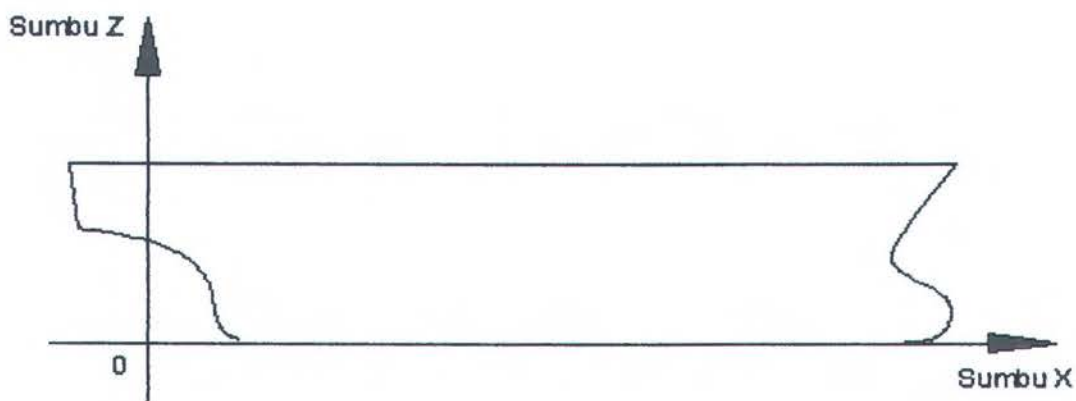
Bab 3. Analisa Berat, Titik Berat Serta Stabilitas Kapal

3.1 Penentuan Persamaan Garis *Bodyplan*

Salah satu data yang diperlukan dalam perhitungan di sini adalah persamaan garis dari *bodyplan* dari masing-masing *station*. Karena dengan diketahuinya persamaan garis dari *bodyplan*, maka luasan dari tiap-tiap *station* dapat diketahui berapapun saratnya. Selain itu, dalam menghitung luasan *station* pada saat diolengkan untuk mencari lengan stabilitasnya, akan lebih mudah jika telah diketahui persamaan *bodyplan* untuk masing-masing *station*.

Pada analisa ini dibutuhkan data *bodyplan* kapal yang akan dianalisa stabilitasnya. Data tersebut berupa titik-titik penentu bentuk *bodyplan* untuk tiap-tiap *station*. Data-data tersebut berupa data koordinal 3 dimensi dari tiap-tiap titik pembentuk *bodyplan* untuk masing-masing *station*. Dimana mengenai sumbu koordinat disamakan seperti umumnya pada kapal, yaitu:

- Sumbu X digunakan sebagai sumbu memanjang kapal
- Sumbu Y digunakan sebagai sumbu melintang kapal
- Sumbu Z digunakan sebagai sumbu vertikal kapal

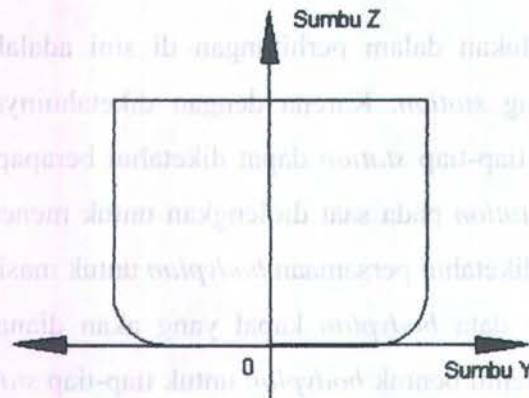


Gambar 3.1. Sistem Koordinat Memanjang Kapal

Pada memanjang kapal pusat sumbu (0,0) berada pada potongan antara AP dan *baseline*. Sedangkan pada melintang kapal pusat sumbu (0,0) berada pada potongan antara *baseline* dengan *centerline*.

Koordinat yang berada di kiri pusat sumbu bernilai negatif, sedangkan yang berada di kanan pusat sumbu bernilai positif. Titik yang dijadikan data masukan nantinya tidak ada batasan

dalam hal jumlah. Begitu pula dengan jarak antar titik, tiap titik tidak harus mempunyai jarak yang sama. Namun pada bentuk-bentuk yang patah atau *knucle*, titik yang menyebabkan patah harus ditulis dua kali, karena jika tidak pada titik yang patah akan berupa lengkungan. Hal itu dikarenakan persamaan garis yang dibentuk adalah persamaan *Polynomial*.



Gambar 3.2. Sistem Koordinat Melintang Kapal

Untuk merubah dari data titik-titik tiap *station* menjadi persamaan *Polynomial* adalah dengan menggunakan persamaan matrik. Titik koordinat yang telah dimasukkan dijadikan dalam persamaan matrik yaitu:

$$[y] = [z] \times [a] \tag{3.1}$$

$$[a] = [z]^{-1} \times [y] \tag{3.2}$$

dimana nilai dari masing-masing *matrik* adalah :

$$[a] = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \dots \\ a_n \end{bmatrix} \quad [y] = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad [z] = \begin{bmatrix} 1 & z_1 & z_1^2 & z_1^3 & \dots & z_1^n \\ 1 & z_2 & z_2^2 & z_2^3 & \dots & z_2^n \\ 1 & z_3 & z_3^2 & z_3^3 & \dots & z_3^n \\ 1 & z_4 & z_4^2 & z_4^3 & \dots & z_4^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & z_n & z_n^2 & z_n^3 & \dots & z_n^n \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

Kemudian persamaan matrik tersebut diselesaikan. Setelah nilai konstanta pada matrik [a] telah diketahui, maka persamaan garis *bodyplan* telah diketahui yaitu:

$$y = a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3 + \dots + a_n z^n \tag{3.4}$$

Persamaan itu nantinya yang digunakan dalam menghitung luas tiap *station*, agar *Volume displacement* dapat diketahui.

3.2. Perhitungan *Displacement* dan Pusat Titik Apung

Setelah persamaan garis *bodyplan* untuk setiap *station* diketahui, maka langkah berikutnya adalah mencari luas tiap-tiap *station*. Dimana cara mencari luas tiap-tiap *station* adalah dengan mengintegalkan persamaan garis yang ada. Batas yang digunakan dalam integral tersebut adalah tinggi keel dari baseline (Z_0) dan sarat kapal (Z_T). Jadi dapat dirumuskan dengan:

$$Y = A + BZ + CZ^2 + DZ^3 + EZ^4 + FZ^5 + \dots + NZ^n$$

$$\text{Luas} = \int_{z_0}^{z_r} Y dz \quad (3.5)$$

Keterangan:

Y = Persamaan *Bodyplan*

Z_0 = Jarak Keel dengan *Baseline*

Z_T = Sarat Kapal

Selain luasan tiap *station*, titik berat dari luasan masing-masing *station* juga perlu dicari. Hal itu digunakan untuk mencari pusat titik apung nantinya. Titik berat dari luasan tersebut dicari dengan rumus:

$$Y = A + BZ + CZ^2 + DZ^3 + EZ^4 + FZ^5 + \dots + NZ^n$$

$$\bar{Z}_n = \frac{\int_{z_0}^{z_r} YZ dz}{\int_{z_0}^{z_r} Y dz} \quad (3.6)$$

Keterangan:

\bar{Z}_n = titik berat masing-masing *station*

Dengan rumus di atas luasan dan titik berat luasan dari masing-masing *station* dapat diketahui.

Setelah luasan tiap *station* diketahui, maka dapat menghitung *volume displacement*. *Volume displacement* dapat dihitung dengan cara mengintegalkan luasan tiap-tiap *station* dengan arah memanjang kapal. Cara pengintegralannya menggunakan metode simpson. Dimana dalam mencari *volume displacement* dengan rumus:

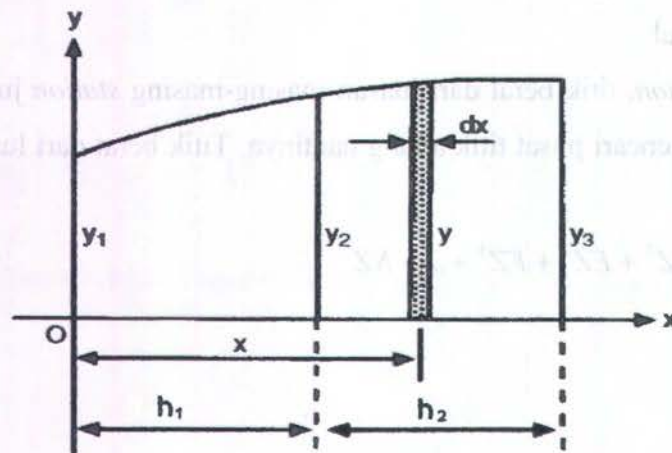
$$\nabla = \sum \text{Luas} \times FS \quad (3.7)$$

Keterangan:

∇ = *Volume displacement*

FS = Faktor Simpson

Faktor simpson yang digunakan adalah faktor simpson dengan jarak *station* yang berbeda. Hal itu disebabkan untuk mengantisipasi jika data *station* yang diinputkan ada yang mempunyai jarak yang berbeda. Pada umumnya pada daerah haluan dan buritan jarak *station*nya lebih pendek, jika dibandingkan dengan jarak *station* pada bagian tengah kapal. Faktor simpson tersebut dicari dengan cara yang sama dalam mencari faktor simpson untuk jarak *station* yang berbeda, yaitu dengan menurunkan persamaan luas sebuah kurva. Untuk lebih jelasnya adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3. Kurva yang Akan Dicari Luas, Dengan Jarak *Station* Berbeda

$$\begin{aligned} \text{LUAS} &= \int_0^{h_1+h_2} y dx \\ &= \int_0^{h_1+h_2} (a_0 + a_1x + a_2x^2) dx \\ &= a_0(h_1 + h_2) + \frac{a_1}{2}(h_1 + h_2)^2 + \frac{a_2}{3}(h_1 + h_2)^3 \end{aligned} \quad (3.8)$$

Asumsi luas pada gambar adalah:

$$\begin{aligned}
 LUAS &= AY_1 + BY_2 + CY_3 \\
 &= Aa_0 + B(a_0 + a_1h_1 + a_2h_1^2 + C(a_0 + a_1(h_1 + h_2) + a_2(h_1 + h_2)^2) \\
 &= Aa_0 + Ba_0 + Ba_1h_1 + Ba_2h_1^2 + Ca_0 + Ca_1(h_1 + h_2) + Ca_2(h_1 + h_2)^2 \\
 &= Aa_0 + Ba_0 + Ba_1h_1 + Ba_2h_1^2 + Ca_0 + Ca_1(h_1 + h_2) + Ca_2(h_1 + h_2)^2 \\
 &= a_0(A + B + C) + a_1[Bh_1 + C(h_1 + h_2)] + a_2[Bh_1^2 + C(h_1 + h_2)^2]
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

Dimana persamaan koefisien:

$$\begin{aligned}
 a_0(A + B + C) &= a_0(h_1 + h_2) \\
 (A + B + C) &= (h_1 + h_2)
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

$$a_1[Bh_1 + C(h_1 + h_2)] = a_1 \frac{1}{2}(h_1 + h_2)^2$$

$$[Bh_1 + C(h_1 + h_2)] = \frac{1}{2}(h_1 + h_2)^2$$

$$2Bh_1 = (h_1 + h_2)^2 - 2C(h_1 + h_2)$$

$$B = \frac{(h_1 + h_2)^2 - 2C(h_1 + h_2)}{2h_1} \tag{3.11}$$

$$a_2[Bh_1^2 + C(h_1 + h_2)^2] = a_2 \frac{1}{3}(h_1 + h_2)^3$$

$$3Bh_1^2 + 3C(h_1 + h_2)^2 = (h_1 + h_2)^3$$

$$3Bh_1^2 + 3C(h_1 + h_2)^2 = (h_1 + h_2)^3 \tag{3.12}$$

Kemudian nilai B dari persamaan (3.11) disubstitusikan ke persamaan (3.12),

$$3 \cdot \left[\frac{(h_1 + h_2)^2 - 2C(h_1 + h_2)}{2h_1} \right] h_1^2 + 3C(h_1 + h_2)^2 = (h_1 + h_2)^3$$

$$\frac{3}{2} [(h_1 + h_2)^2 - 2C(h_1 + h_2)] h_1 + 3C(h_1 + h_2)^2 = (h_1 + h_2)^3$$

$$(h_1 + h_2) \left[\frac{3}{2} [(h_1 + h_2) - 2C] h_1 + 3C(h_1 + h_2) \right] = (h_1 + h_2)^3$$

$$\frac{3}{2} (h_1 + h_2) h_1 - 3Ch_1 + 3C(h_1 + h_2) = (h_1 + h_2)^2$$

$$C(-3h_1 + 3(h_1 + h_2)) = (h_1 + h_2)^2 - \frac{3}{2}(h_1 + h_2)h_1$$

$$3Ch_2 = (h_1 + h_2)^2 - \frac{3}{2}(h_1 + h_2)h_1 \quad (3.13)$$

Nilai C dari persamaan (3.13) disubstitusikan pada persamaan (3.11)

$$B = \frac{(h_1 + h_2)^2 - 2C(h_1 + h_2)}{2h_1}$$

$$= \frac{(h_1 + h_2)^2 - 2\left(\frac{(h_1 + h_2)^2 - \frac{3}{2}(h_1 + h_2)h_1}{3h_2}\right)(h_1 + h_2)}{2h_1}$$

$$= \frac{(h_1 + h_2)^2 \left(1 - \frac{2(h_1 + h_2) - \frac{3}{2}h_1}{3h_2}\right)}{2h_1}$$

$$= \frac{(h_1 + h_2)^2 \left(\frac{3h_2 - 2((h_1 + h_2) - \frac{3}{2}h_1)}{3h_2}\right)}{2h_1}$$

$$= (h_1 + h_2)^2 \left(\frac{3h_2 - 2h_1 - 2h_2 + 3h_1}{6h_2h_1}\right)$$

$$= (h_1 + h_2)^2 \left(\frac{h_1 + h_2}{6h_1h_2}\right)$$

$$B = \frac{(h_1 + h_2)^3}{6h_1h_2} \quad (3.14)$$

Nilai C dari persamaan (3.13) dan nilai B dari persamaan (3.14) disubstitusikan pada persamaan

$$A + B + C = (h_1 + h_2)$$

$$A = (h_1 + h_2) - B - C$$

$$= (h_1 + h_2) - \frac{(h_1 + h_2)^3}{6h_1h_2} - \left(\frac{(h_1 + h_2)^2 - \frac{3}{2}(h_1 + h_2)h_1}{3h_2}\right)$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{6h_1h_2(h_1 + h_2) - (h_1 + h_2)^3 - 2h_1(h_1 + h_2)^2 + 3h_1^2(h_1 + h_2)}{6h_1h_2} \right) \\
&= \frac{(h_1 + h_2)}{6h_1h_2} (6h_1h_2 - (h_1 + h_2)^2 - 2h_1(h_1 + h_2) + 3h_1^2) \\
&= \frac{(h_1 + h_2)}{6h_1h_2} (6h_1h_2 - h_1^2 - 2h_1h_2 - h_2^2 - 2h_1^2 - 2h_1h_2 + 3h_1^2) \\
&= \frac{(h_1 + h_2)}{6h_1h_2} (2h_1h_2 - h_2^2) \\
&= \frac{(h_1 + h_2)h_2(2h_1 - h_2)}{6h_1h_2} \\
A &= \frac{(h_1 + h_2)(2h_1 - h_2)}{6h_1} \tag{3.15}
\end{aligned}$$

Jadi dari penurunan rumus di atas ditemukan faktor simpson untuk jarak *station* yang berbeda, yaitu :

$$LUAS = AY_1 + BY_2 + CY_3$$

Dimana nilai constanta A, B dan C adalah :

$$A = \frac{(h_1 + h_2)(2h_1 - h_2)}{6h_1}$$

$$B = \frac{(h_1 + h_2)^3}{6h_1h_2}$$

$$C = \frac{(h_1 + h_2)^2 - \frac{3}{2}(h_1 + h_2)h_1}{3h_2}$$

Setelah *Volume displacement* diketahui, maka *Displacement* dapat dengan mudah dicari, dengan cara mengalikan *Volume displacement* dengan berat jenis fluidanya. Dengan rumus:

$$\Delta = \nabla \times \gamma \tag{3.16}$$

Keterangan:

$$\Delta = \text{Displacement} \quad (\text{Ton})$$

$$\nabla = \text{Volume displacement} \quad (\text{m}^3)$$

$$\gamma = \text{Berat Jenis Fluida} \quad (\text{Ton/m}^3)$$

Selain *displacement* yang perlu dicari lagi adalah pusat titik apung baik yang vertikal (KB) maupun yang longitudinal (LCB). Hal itu dicari untuk menghitung titik berat kapal total nantinya. Dalam menghitung LCB maupun KB tetap menggunakan data luasan dan titik berat luasan *station* yang telah diitung sebelumnya. Pada perhitungan LCB dan KB tetap menggunakan metode simpson dengan faktor simpson untuk jarak *station* yang berbeda. Rumus umum dalam mencari KB dan LCB adalah:

$$\bar{Z} = \frac{\sum Luas \times FS \times \bar{Z}_n}{\sum Luas \times FS} \quad \text{dan} \quad \bar{X} = \frac{\sum Luas \times FS \times \bar{X}_n}{\sum Luas \times FS} \quad (3.17)$$

Keterangan:

\bar{Z} = titik apung total secara vertikal (KB)

\bar{Z}_n = titik berat tiap *station* secara vertikal

FS = faktor simpson

\bar{X} = titik apung total secara memanjang (LCB)

\bar{X}_n = jarak memanjang setiap *station* dari AP

Dengan rumus di atas maka titik apung baik secara memanjang maupun secara melintang telah diketahui.

3.3. Perhitungan Berat Kapal

Analisa berat kapal lebih mudah, sebab sesuai dengan prinsip Archimedes, jika benda mengapung maka berat benda tersebut sama dengan berat fluida yang dipindahkan karena ada bagian benda tersebut yang tercelup dalam suatu fluida. Karena besarnya gaya apung atau *Displacement* telah dicari, maka berat kapal total telah ditemukan yaitu besarnya sama dengan *Displacement* kapal.

Berat kapal total = *Displacement* kapal

Setelah berat kapal diketahui, maka tinggal mencari letak titik berat total kapal. Dimana dalam mencari nilai titik berat kapal total dengan menggunakan persamaan yang sering digunakan pada saat *inclining test*, yaitu :

$$t = \frac{w \times d \times L}{W \times \overline{GM}_L}$$

Dimana nilai \overline{GM}_L adalah :

$$\overline{GM}_L = \overline{KM}_L - \overline{KG} \quad (3.18)$$

Maka :

$$t = \frac{w \times d \times L}{W \times (\overline{KM}_L - \overline{KG})}$$

$$(\overline{KM}_L - \overline{KG}) = \frac{w \times d \times L}{W \times t}$$

$$\overline{KG} = \overline{KM}_L - \frac{w \times d \times L}{W \times t} \quad (3.19)$$

Pada kondisi saat muatan masuk maka menjadi persamaan :

$$\overline{KG}_2 = \overline{KM}_{L2} - \frac{W_{muatan} \times LCG_{muatan} \times L_2}{\Delta_2 \times t_2} \quad (3.20)$$

Pada kondisi ballas masuk maka menjadi persamaan :

$$\overline{KG}_3 = \overline{KM}_{L3} - \frac{[(W_{muatan} \times LCG_{muatan}) + (W_{ballas} \times LCG_{ballas})] \times L_3}{\Delta_3 \times t_3} \quad (3.21)$$

Dimana nilai \overline{KG} sendiri adalah :

$$\Delta_3 \times \overline{KG}_3 = (\overline{KG}_2 \times \Delta_2) + (\overline{KG}_{ballas} \times W_{ballas}) \quad (3.22)$$

Jika pada persamaan (3.20) dan (3.21) disubstitusikan dengan persamaan (3.22), maka :

$$\Delta_3 \times \left(\overline{KM}_{L3} - \frac{[(W_{muatan} \times LCG_{muatan}) + (W_{ballas} \times LCG_{ballas})] \times L_3}{\Delta_3 \times t_3} \right) = (KG_2 \times \Delta_2) + (KG_{ballas} \times W_{ballas})$$

$$(\Delta_3 \times \overline{KM}_{L3}) - \left(\frac{[(W_{muatan} \times LCG_{muatan}) + (W_{ballas} \times LCG_{ballas})] \times L_3}{t_3} \right) = (KG_2 \times \Delta_2) + (KG_{ballas} \times W_{ballas})$$

$$(\Delta_3 \times \overline{KM}_{L3}) - \left(\frac{[(W_{muatan} \times LCG_{muatan}) + (W_{ballas} \times LCG_{ballas})] \times L_3}{t_3} \right)$$

$$= \left(\overline{KM}_{L2} \times \Delta_2 - \frac{W_{muatan} \times LCG_{muatan} \times L_2}{t_2} \right) + (KG_{ballas} \times W_{ballas})$$

$$\left(\frac{W_{muatan} \times LCG_{muatan} \times L_2}{t_2} \right) - \left(\frac{W_{muatan} \times LCG_{muatan} \times L_3}{t_3} \right) = (KG_{ballas} \times W_{ballas})$$

$$+ (\overline{KM}_{L2} \times \Delta_2) - (\Delta_3 \times \overline{KM}_{L3}) + \left(\frac{W_{ballas} \times LCG_{ballas} \times L_3}{t_3} \right)$$

$$LCG_{muatan} \times \left[\left(\frac{W_{muatan} \times L_2}{t_2} \right) - \left(\frac{W_{muatan} \times L_3}{t_3} \right) \right] = (KG_{ballas} \times W_{ballas}) + (\overline{KM}_{L2} \times \Delta_2)$$

$$- (\Delta_3 \times \overline{KM}_{L3}) + \left(\frac{W_{ballas} \times LCG_{ballas} \times L_3}{t_3} \right)$$

$$LCG_{muatan} \times \left(\frac{(W_{muatan} \times L_2 \times t_3) - (W_{muatan} \times L_3 \times t_2)}{t_2 \times t_3} \right) = (KG_{ballas} \times W_{ballas}) + (\overline{KM}_{L2} \times \Delta_2)$$

$$- (\Delta_3 \times \overline{KM}_{L3}) + \left(\frac{W_{ballas} \times LCG_{ballas} \times L_3}{t_3} \right)$$

$$LCG_{muatan} = \left(\frac{t_2 \times t_3}{(W_{muatan} \times L_2 \times t_3) - (W_{muatan} \times L_3 \times t_2)} \right) \times$$

$$\left[(KG_{ballas} \times W_{ballas}) + (\overline{KM}_{L2} \times \Delta_2) - (\Delta_3 \times \overline{KM}_{L3}) + \left(\frac{W_{ballas} \times LCG_{ballas} \times L_3}{t_3} \right) \right] \quad (3.23)$$

Setelah nilai LCG_{muatan} dapat diketahui dengan persamaan 4, maka nilai KG total kapal dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2. Nilai KG itulah yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya.

3.4. Perhitungan Lengan Stabilitas

Letak titik berat kapal total diketahui maka tinggal mencari lengan stabilitas masing-masing sudut oleng. Panjang lengan stabilitas dari masing-masing sudut oleng berbeda-beda. Perbedaan itu disebabkan karena posisi pusat dari gaya apung berbeda pada masing-masing sudut oleng.

Pada tiap-tiap sudut oleng pada sarat yang sama, tentunya potongan melintang kapal memiliki luasan yang berbeda-beda sesuai dengan besar sudut oleng. Oleh karena itu, *Volume displacement* dari suatu kapal pada sudut oleng yang berbeda nilainya akan berbeda pula. Umumnya semakin besar sudut oleng maka semakin besar *Displacement* dari kapal tersebut, karena semakin besar sudut oleng kapal pada sarat yang sama bagian yang tercelup air semakin besar.

Oleh karena itu, pada perhitungan lengan stabilitas sarat kapal dibagi menjadi 5 bagian, yaitu:

1. $T_1 = Z_T$ → nilai sarat itu sendiri
2. $T_2 = Z_T + 5\%$ → nilai sarat ditambah 5% dari nilai sarat itu sendiri
3. $T_3 = Z_T + 10\%$ → nilai sarat ditambah 10% dari nilai sarat itu sendiri
4. $T_4 = Z_T - 5\%$ → nilai sarat dikurangi 5% dari nilai sarat itu sendiri
5. $T_5 = Z_T - 10\%$ → nilai sarat dikurangi 10% dari nilai sarat itu sendiri

Nantinya dari masing masing nilai sarat (T) dari yang pertama hingga kelima diolengkan pada tiap sudut oleng dari 0° sampai dengan 80° dengan selisih setiap 2° . Dari setiap kondisi oleng tersebut di cari besarnya *Displacement* kapal, pusat titik apung kapal dan lengan stabilitas dari kapal itu sendiri.

Dalam menentukan besar lengan stabilitas pada sudut oleng besar tidak dapat menggunakan rumusan mencari lengan stabilitas pada sudut oleng yang kecil, yaitu:

$$\overline{GZ} = \overline{MG} \times \sin\theta \quad (3.24)$$

Hal ini dikarenakan pada sudut oleng besar terjadi pergeseran sarat agar *Displacement* tetap, yang menyebabkan titik metacenter kapal pada saat oleng bergeser. Pergeseran titik metacenter tersebut membuat jarak antara titik metacenter dengan titik berat (MG) kapal pada waktu sudut oleng nol tidak akan sama dengan jarak MG pada waktu oleng, maka rumus diatas pada sudut oleng besar tidak dapat digunakan.

$$KF = KG \sin \theta \quad (3.26)$$

$$KN = KE \cos \theta \quad (3.27)$$

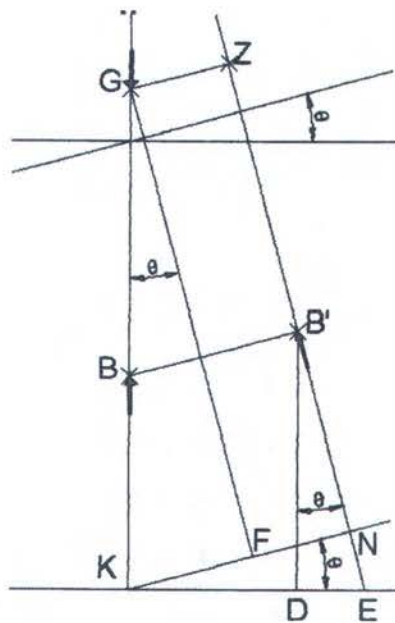
$$KE = KD + DE \quad (3.28)$$

$$KD = TRB' \quad (3.29)$$

$$DE = DB' \times \tan \theta \quad (3.30)$$

$$DB' = KB' \quad (3.31)$$

Untuk lebih jelasnya lihat gambar berikut.



Gambar 3.5. Pergeseran Gaya Apung Yang Terjadi Karena Olang

Dengan rumus tersebut maka besar lengan stabilitas (GZ) pada sudut besar dapat dicari, karena pada rumus tersebut tidak menggunakan titik metacenter.

Setelah besar lengan stabilitas kapal tiap sudut olang pada masing-masing sarat diketahui maka dapat dibuat grafik hubungan antara *Displacement* dengan lengan stabilitas masing-masing sudut. Yang nantinya digunakan sebagai dasar dalam menganalisa stabilitas dari kapal tersebut.



3.5. Analisa Stabilitas Kapal

Setelah nilai lengan stabilitas tiap sudut oleng didapatkan, maka tinggal melakukan analisa tentang lengan stabilitas tersebut, sehingga nantinya akan diketahui apakah kondisi kapal stabil atau tidak. Pernyataan tersebut dapat digunakan sebagai dasar apakah kapal siap berlayar atau tidak.

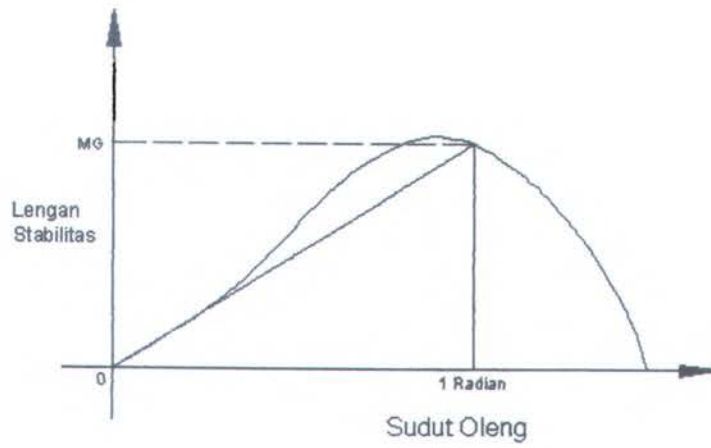
Analisa stabilitas kapal dapat dilakukan apabila telah terbentuk kurva stabilitas. Kurva stabilitas adalah grafik yang menggambarkan nilai dari lengan stabilitas tiap-tiap sudut oleng. Dari kurva tersebut nantinya dapat dianalisa kestabilan sebuah kapal. Kurva tersebut adalah sebuah grafik dua dimensi dengan sumbu vertikal menunjukkan besar lengan stabilitas (GZ), sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besar sudut oleng (θ).

Dalam membuat kurva stabilitas tersebut harus melalui beberapa langkah yaitu:

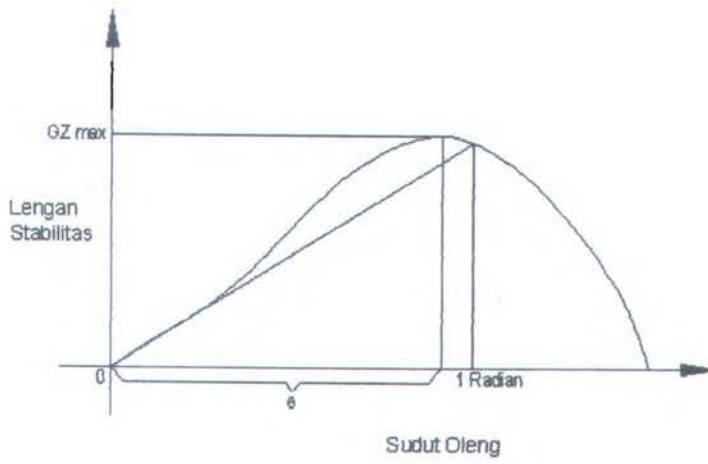
1. Pada kurva stabilitas, sumbu horisontal menunjukkan sudut oleng dan sumbu vertikal untuk lengan stabilitas (GZ).
2. Menggambar garis tegak pada sudut satu radian ($57,3^\circ$) di kurva stabilitas setinggi MG pada waktu sudut nol derajat, lalu dihubungkan dengan titik pusat kurva (0,0).
3. Mengeplot nilai dari lengan stabilitas pada kurva stabilitas.

Setelah kurva stabilitas selesai dibuat maka tinggal menganalisa kurva tersebut. Langkah-langkah yang dilakukan dalam menganalisa kurva stabilitas tersebut adalah:

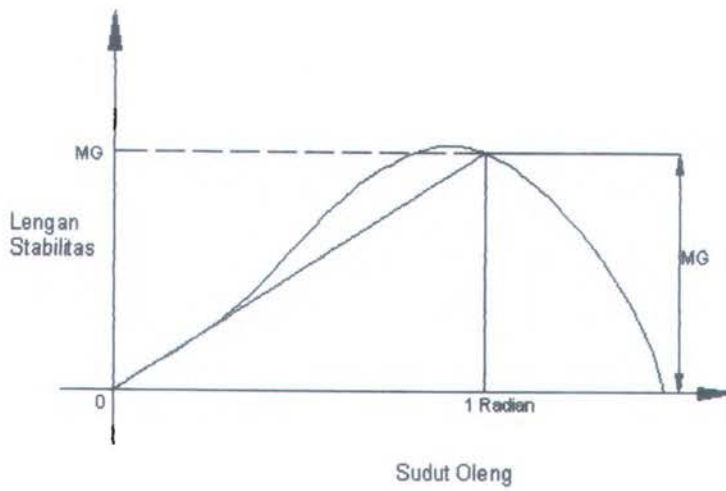
1. Menghitung luasan di bawah kurva antara sudut 0° sampai dengan 30° (Gambar 2.11).
2. Menghitung luasan di bawah kurva antara sudut 0° sampai dengan 40° (Gambar 2.12).
3. Menghitung luasan di bawah kurva antara sudut 30° sampai dengan 40° (Gambar 2.13).
4. Menghitung nilai lengan stabilitas maximum pada sudut lebih dari 30° (Gambar 3.6)
5. Menghitung sudut dimana nilai GZ maksimum (Gambar 3.7).
6. Menghitung nilai MG_T saat kapal tegak. (Gambar 3.8)



Gambar 3.6. Gambar Kurva Stabilitas



Gambar 3.7. Sudut Oling Saat Nilai Gz Maximum



Gambar 3.8. Nilai MG Pada Saat Tegak

Setelah dilakukan perhitungan di atas, maka hasil perhitungan perlu dilakukan koreksi menurut aturan IMO. Jika memenuhi semua aturan yang telah ditetapkan IMO maka dapat dikatakan bahwa kapal tersebut stabil. Akan tetapi jika ada yang tidak memenuhi satu persyaratan tersebut, maka kapal dikatakan tidak stabil. Persyaratan yang ditentukan IMO adalah:

1. Luasan di bawah kurva dari sudut 0° s/d 30° minimal 0,055 meter.radian
2. Luasan di bawah kurva dari sudut 0° s/d 40° minimal 0,09 meter.radian
3. Luasan di bawah kurva dari sudut 30° s/d 40° minimal 0,03 meter.radian
4. Nilai GZ maksimal pada sudut 30° atau lebih nalai minimalnya adalah 0,20 meter
5. Nilai GM_T pada sudut nol tidak boleh kurang dari 0,15 meter
6. Nilai GZ maximum tidak boleh lebih dari 30° dan tidak boleh kurang dari 25°

Dari ketentuan-ketentuan itulah kapal dapat dikategorikan menjadi kapal yang stabil dan kapal yang tidak stabil.

3.6. Validasi Rumus Titik Berat dengan Persamaan Trim

Pada tugas akhir ini, metode yang digunakan untuk menghitung titik berat kapal total adalah dengan menggunakan persamaan trim yang digunakan saat melakukan *inclining test*, yaitu :

$$t = \frac{w \times d \times L}{W \times GM_L}$$

Dengan asumsi ada 2 kondisi trim, pada tugas akhir ini kondisi tersebut telah ditentukan yaitu kondisi muatan masuk dan kondisi ballas masuk. Letak dari muatan dan ballas di dalam kapal berbeda dan tidak pada *midship*, sehingga dengan adanya muatan maupun ballas tersebut kondisi kapal menjadi trim.

Sehingga setelah persamaan tersebut diturunkan didapatkan, akan didapatkan persamaan untuk mencari LCG muatan dan KG total kapal, yaitu :

$$LCG_{muatan} = \left(\frac{t_2 \times t_3}{(W_{muatan} \times L_2 \times t_3) - (W_{muatan} \times L_3 \times t_2)} \right) \times \left[(KG_{ballas} \times W_{ballas}) + (\overline{KM}_{L2} \times \Delta_2) - (\Delta_3 \times \overline{KM}_{L3}) + \left(\frac{W_{ballas} \times LCG_{ballas} \times L_3}{t_3} \right) \right]$$

Dan

$$\overline{KG}_3 = \overline{KM}_{L3} - \frac{[(W_{muatan} \times LCG_{muatan}) + (W_{ballas} \times LCG_{ballas})] \times L_3}{\Delta_3 \times t_3}$$

Sebelum menggunakan persamaan tersebut, maka persamaan tersebut perlu di uji nilai *error*-nya. Pada tugas akhir ini, uji nilai *error* atau tingkat kevalidan persamaan tersebut dengan menggunakan perhitungan manual dengan bantuan program Excel, dan program *Maxsurf*. Pada program *Maxsurf* ada komponen yang digunakan untuk menghitung data hidrostatik jika berat dan titik berat kapal diketahui yaitu program *Hydromax*.

Proses validasi persamaan tersebut dengan beberapa langkah yaitu:

1. Menentukan model kapal yang akan digunakan.
Pada tugas akhir ini digunakan 5 model kapal tongkang.
2. Menentukan kondisi kapal dari tiap-tiap model.
Kondisi kapal yang ditentukan adalah berat kapal kosong, berat muatan, berat kapal kosong, KG kapal kosong, KG muatan, KG ballas, LCG kapal kosong, LCG muatan dan LCG ballas. Pada tugas akhir ini untuk tiap-tiap model kapal digunakan lebih dari 30 kondisi.
3. Untuk tiap kondisi model kapal tersebut di running di Program *Hydromax* sehingga didapatkan data-data hidrostatiknya.
4. Menghitung manual nilai LCG muatan dan KG total kapal menggunakan persamaan di atas dengan menggunakan data hidrostatik yang didapat dari Program *Hydromax* dengan bantuan program Excel.
5. Dilakukan perbandingan nilai LCG muatan dan KG total kapal hasil perhitungan dari persamaan di atas dengan nilai LCG muatan dan KG total kapal yang merupakan input pada program *Hydromax*.
6. Mencari besar *error* dari nilai LCG muatan dan KG total kapal.

Pada tugas akhir ini validasi persamaan tersebut telah dilakukan, proses validasi tersebut dapat dilihat pada lampiran laporan tugas akhir ini.

Jika dilihat dari nilai *error* yang dihasilkan dari persamaan LCG muatan dan KG total kapal yang dibandingkan dengan nilai yang sebenarnya, maka persamaan ini akan mempunyai nilai *error* yang kecil jika dijalankan pada kapal tongkang dengan sudut trim tertentu.

$$KG_{total} = KG_{kapal} + \frac{\sum (KG_{muatan} \times W_{muatan})}{W_{total}}$$

Sebelum menggunakan persamaan tersebut, maka persamaan tersebut perlu di uji nilai *error*nya. Pada tugas akhir ini uji nilai *error* akan sangat berkaitan persamaan tersebut dengan menggunakan perhitungan manual dengan bantuan program Excel dan program *Mathcad*. Pada program *Mathcad* ada komponen yang digunakan untuk mengolah data hidrostatik jika perlu dan jika perlu kapal tersebut di dalam yaitu program *Hydrostat*.

Proses validasi persamaan tersebut dengan beberapa langkah yaitu:

1. Menentukan model kapal yang akan digunakan.
2. Pada tugas akhir ini digunakan 2 model kapal tongkang.
3. Menentukan kondisi kapal dari tiap-tiap model.
4. Kondisi kapal yang ditentukan adalah berat kapal kosong, berat muatan, berat kapal kosong, KG kapal kosong, KG muatan, KG total, LCG kapal kosong, LCG muatan dan LCG total. Pada tugas akhir ini untuk tiap-tiap model kapal digunakan lebih dari 30 kondisi.
5. Untuk tiap kondisi model kapal tersebut di running di Program *Mathcad* sehingga didapatkan data-data hidrostatik.
6. Mengetik manual nilai LCG muatan dan KG total kapal menggunakan persamaan di atas dengan menggunakan cara hidrostatik yang didapat dari Program *Mathcad* dengan bantuan program Excel.
7. Dilakukan perhitungan nilai LCG muatan dan KG total kapal dari hasil perhitungan dan persamaan di atas dengan nilai LCG muatan dan KG total kapal yang merupakan input pada program *Mathcad*.
8. Menentukan *error* dari nilai LCG muatan dan KG total kapal.

Bab 4. Pemrograman Analisa Stabilitas Kapal

4.1. Pengenalan Program

Pemrograman untuk menganalisa stabilitas suatu kapal, tanpa menginputkan data mengenai berat muatan dan letak muatan dalam kapal. Program ini dibuat untuk membantu proses perhitungan berat, titik berat dan dalam menganalisa stabilitas kapal jika menggunakan metode yang telah dijelaskan pada tahapan sebelumnya. Hal ini dilakukan karena perhitungan yang dilakukan dengan bantuan komputer akan menghasilkan data yang lebih teliti, dengan proses perhitungan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan perhitungan manual.

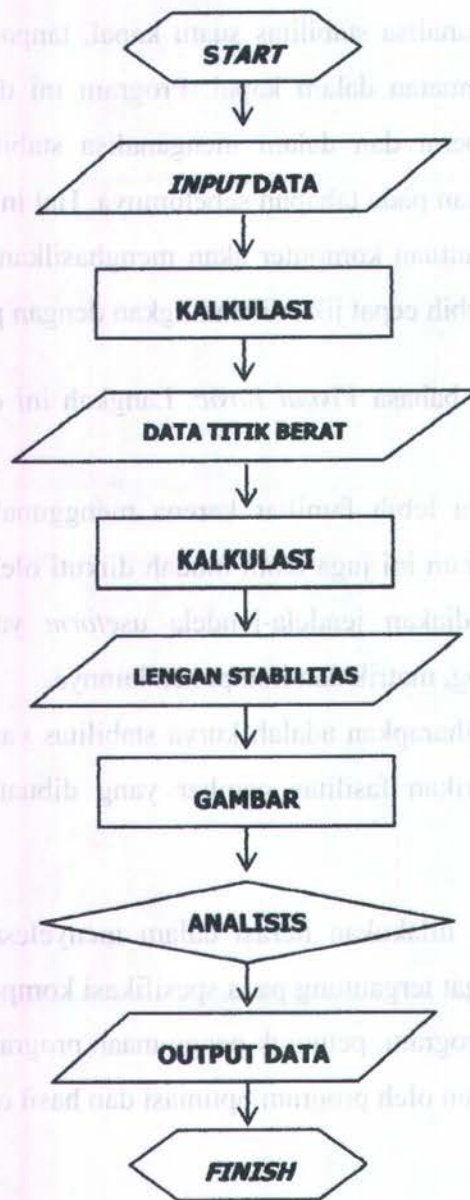
Program ini dibuat dalam bahasa *Visual Basic*. Langkah ini dipilih karena beberapa alasan yaitu:

1. Bahasa programnya lebih familiar karena menggunakan bahasa *Visual Basic* dan tampilan dari program ini juga lebih mudah diikuti oleh pengguna program nantinya. Karena telah disediakan jendela-jendela *useform* yang dapat dilengkapi dengan tombol, kotak dialog, matrik dan komponen lainnya.
2. Hasil akhir yang diharapkan adalah kurva stabilitas yang mana pada program *Visual Basic Studio* diberikan fasilitas gambar yang dibuat berdasarkan koordinat yang diinputkan.

Pada program ini banyak dilakukan iterasi dalam menyelesaikan perhitungan. Kecepatan iterasi yang dilakukan sangat tergantung pada spesifikasi komputer yang digunakan. Pada bab ini dijelaskan *flow chart* program, petunjuk penggunaan program dan *running* program, seluk beluk dan proses perhitungan oleh program optimasi dan hasil optimasinya.

4.2. Flowchart Program

Program ini dibangun pada *Visual Basic Studio* dengan bantuan *Microsoft Excel* sebagai data basenya. Untuk mempermudah penjelasan dari kinerja program, flow chart dari kinerja program ini ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Flowchart Program Analisa Stabilitas

Penjelasan dari flow chart pada Gambar 4.1 adalah sebagai berikut:

1. Start

Ketika program pertama kali dijalankan, maka pengguna akan diberikan pilihan, yaitu menggunakan bahasa Indonesia atau menggunakan bahasa Inggris.

2. Input Data

Data yang dimasukkan adalah nama kapal, ukuran utama kapal (panjang, lebar, tinggi, sarat dan CB), titik berat kapal kosong, data *bodyplan* kapal, kondisi kapal awal atau sebelum dimuati (sarat haluan dan sarat buritan) dan kondisi kapal akan berangkat atau sesudah dimuatai (sarat haluan dan sarat buritan). Input data dapat berupa masukan baru ataupun dari data lama yang sudah ada, dan di panggil kembali. Dan data baru yang telah diinputkan dapat langsung disimpan dalam data base *Microsoft Excel*.

3. Kalkulasi

Data yang telah dimasukkan akan dianalisis untuk mendapatkan berat dan titik berat kapal total (KG). Data berat dan titik berat kapal digunakan sebagai data awal dalam perhitungan lengan stabilitas kapal.

4. Gambar

Data lengan stabilitas kapal yang telah dihitung, kemudian digunakan sebagai dasar atau koordinat untuk membuat kurva stabilitas kapal. Kurva tersebut berupa grafik 2 dimensi dengan sumbu vertikal adalah lengan stabilitas (GZ) dan sumbu horisontal adalah sudut oleng (θ)

5. Analisis

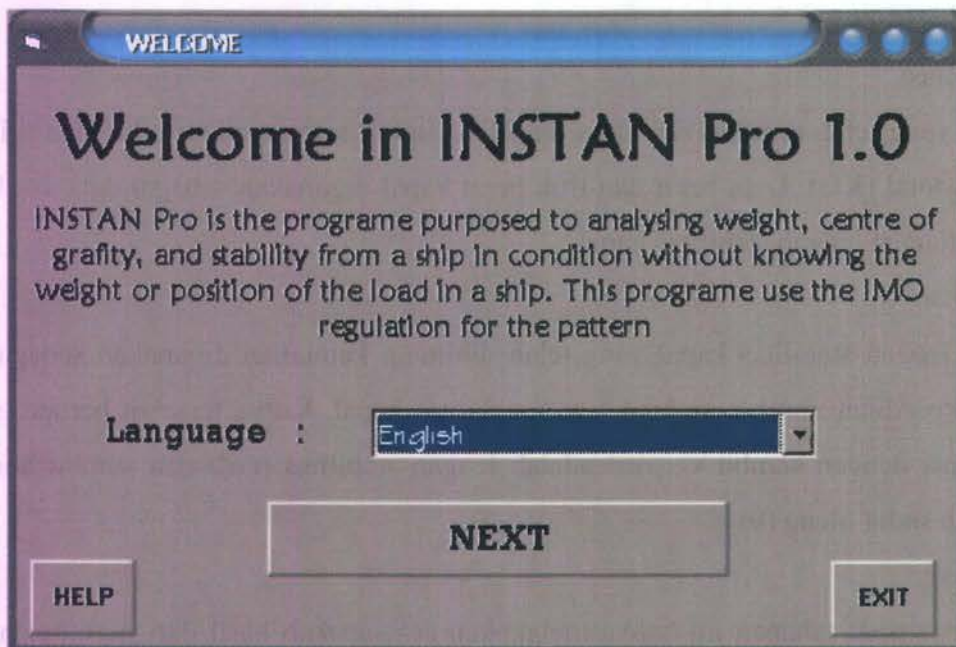
Analisis pada tahapan ini hanya melakukan cek, apakah hasil dari perhitungan yang telah tergambar pada kurva stabilitas tersebut memenuhi aturan yang telah ditetapkan oleh IMO atau tidak. Jika sudah memenuhi maka kapal tersebut dapat dinyatakan stabil, tetapi jika belum maka kapal tersebut dinyatakan tidak stabil.

6. Selesai

Pada akhir iterasi, program akan menampilkan jendela berupa gambar kurva stabilitas, hasil perhitungan berat dan titik berat kapal, serta data-data lengan stabilitas tiap sudut oleng yang telah dihitung.

4.3. Menjalankan program

Program analisa stabilitas ini dibangun pada *Visual Basic Studio*, agar program ini tidak bergantung dengan proram lain dan dapat berdiri sendiri. Karena program ini berdiri sendiri maka untuk menjalankan program ini cukup dengan membuka lewat *icon Instant Pro*. Setelah masuk program stabilitas ini lewat *icon* dari program ini, maka akan muncul jendela baru seperti gambar 4.2, yang merupakan jendela awal dari program stabilitas ini.



Gambar 4.2. Tampilan *Form* pertama

Pada jendela awal program ini disediakan pilihan antara lain:

1. Language

Pilihan ini untuk memilih bahasa yang ingin digunakan dalam program ini, dimana dalam program ini disediakan dalam dua bahasa yaitu bahasa Indonesia dan bahasa Inggris.

2. Exit

Pilihan ini digunakan untuk keluar dari program analisa stabilitas

3. Help

Pilihan ini digunakan untuk menampilkan jendela bantuan untuk menggunakan program analisa stabilitas.

4. Next

Pilihan ini digunakan untuk melanjutkan program setelah memilih bahasa yang akan digunakan.

4.4. Input Data

Pada halaman atau *form* kedua dari program ini digunakan untuk memasukkan data secara manual, ditunjukkan pada gambar 4.3. *Form* ini muncul setelah tombol next pada *form* pertama di pilih.

The screenshot shows a software window titled "INPUT DATA" with a sub-header "DATA MASUKAN". The form is divided into three main sections:

- UKURAN UTAMA KAPAL:** Fields for PANJANG KAPAL (80 METER), LEBAR KAPAL (18 METER), TINGGI KAPAL (6 METER), BERAT KAPAL KOSONG (3000 TON), LCG KAPAL KOSONG (0 METER), KG KAPAL KOSONG (2 METER), and PERAIRAN (a dropdown menu with options LAUT (SEA) and SUNGAI (RIVER)).
- KONDISI MUATAN MASUK:** Fields for SARAT HALUAN (4.089 METER) and SARAT BURITAN (1.669 METER).
- KONDISI BALLAS MASUK:** Fields for SARAT HALUAN (4.309 METER), SARAT BURITAN (1.78827 METER), BERAT BALLAS (250 METER), KG BALLAS (2 METER), and LCG BALLAS (4 METER).

At the bottom of the form are four buttons: BANTUAN, KEMBALI, HITUNG, and KELUAR.

Gambar 4.3. Tampilan *Form* Input Data

Pada *form* ini banyak data yang harus diisi untuk keperluan *running* program antara lain:

1. Panjang Kapal

Data ini digunakan untuk menunjukkan nilai dari panjang kapal yang akan dianalisis

2. Lebar kapal

Data ini digunakan untuk menunjukkan nilai dari lebar kapal yang akan dianalisis

3. Tinggi kapal

Data ini digunakan untuk menunjukkan nilai dari tinggi kapal yang akan dianalisis

4. Berat kapal kosong

Berat kapal kosong disini adalah berat kapal kosong yang telah ditentukan pada tahap desain.

5. KG kapal kosong

Titik berat kapal yang digunakan disini adalah titik berat kapal kosong, pada saat desain. Dan yang diminta disini adalah jarak titik berat kapal total dari keel.

6. LCG kapal kosong

Titik berat kapal yang digunakan disini adalah titik berat kapal kosong, pada saat desain. Dan yang diminta disini adalah jarak titik berat kapal total dari AP.

7. Perairan

Inputan ini digunakan untuk menentukan berat jenis fluida pada lingkungan kapal tersebut.

8. Sarat haluan kondisi muatan masuk

Inputan ini digunakan untuk menentukan sarat haluan kapal pada saat muatan masuk.

9. Sarat buritan kondisi muatan masuk

Inputan ini digunakan untuk menentukan sarat buritan kapal pada saat muatan masuk.

10. Sarat haluan kondisi muatan masuk

Inputan ini digunakan untuk menentukan sarat haluan kapal pada saat ballas masuk.

11. Sarat buritan kondisi muatan masuk

Inputan ini digunakan untuk menentukan sarat buritan kapal pada saat ballas masuk.

12. Berat ballas

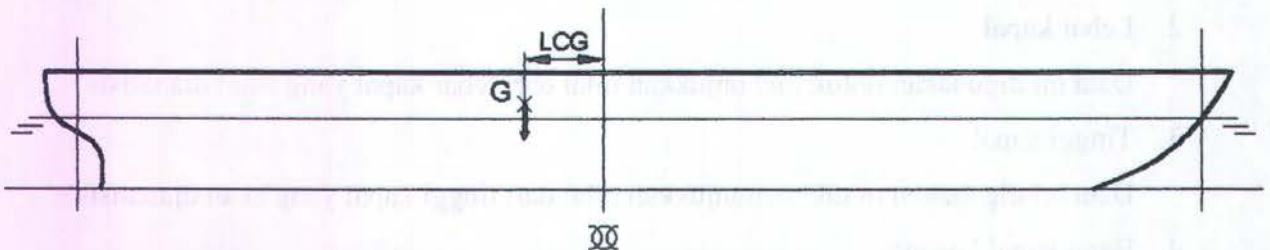
Inputan ini digunakan untuk menentukan berat ballas yang dimasukkan.

13. KG ballas

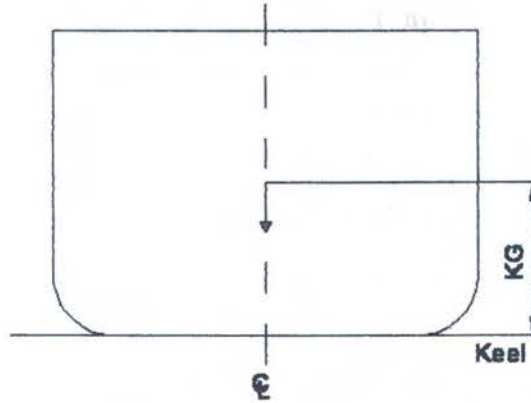
Inputan ini digunakan untuk menentukan posisi pusat masa dari ballas yang dimasukkan terhadap keel kapal

14. LCG ballas

Inputan ini digunakan untuk menentukan posisi pusat masa dari ballas yang dimasukkan terhadap midship.



Gambar 4.4. Jarak Titik Berat Kapal Terhadap AP (LCG)



Gambar 4.5. Jarak Titik Berat Kapal Terhadap Keel (KG)

Pada jendela ini terdapat beberapa tombol antara lain:

1. Exit

Pilihan ini digunakan untuk keluar dari program ini.

2. Back

Pilihan ini digunakan untuk kembali ke *form* atau halaman pertama

3. Hitung

Pilihan ini digunakan untuk melanjutkan program sekaligus memulai semua perhitungan. Tetapi tombol ini hanya dapat digunakan setelah semua data terisi.

4. Help

Pilihan ini digunakan untuk membuka help dari program.

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan jika persamaan LCG dan KG akan mempunyai nilai *error* yang kecil dan teratur jika digunakan untuk menganalisa kapal tongkang. Oleh karena itu input yang dibutuhkan untuk mengetahui bentuk kapal yang akan dianalisa adalah panjang, lebar dan tinggi kapal. Pada *form* ini setelah ditekan tombol hitung, maka proses perhitungan dimulai dan output hasil perhitungan akan ditampilkan pada *form* berikutnya.

4.5. Perhitungan Matematis dalam Program

Perhitungan yang dilakukan pada program Analisa Stabilitas ini, ditujukan untuk menghitung titik berat kapal, yang nantinya digunakan untuk menghitung lengan stabilitas kapal sebagai bahan yang dianalisa menurut aturan IMO. Karena tidak ada input data dari berat maupun letak muatan yang masuk ke kapal, maka perhitungan berat dan titik berat kapal total menggunakan analisa pada bagian kapal yang tercelup. Oleh karena program ini digunakan untuk kapal tongkang, maka untuk mengetahui bentuk dari bagian kapal yang tercelup cukup menggunakan dengan data panjang, lebar, dan sarat kapal.

Data-data yang dibutuhkan agar perhitungan analisa stabilitas ini dapat dilakukan antara lain:

1. Data ukuran utama kapal, meliputi:
 - a. Panjang kapal (LPP)
 - b. Lebar Kapal ($B_{moulded}$)
 - c. Tinggi moulded kapal ($H_{moulded}$)
2. Kondisi pada saat kapal kosong
 - a. Berat kapal kosong
 - b. Titik berat kapal kosong, baik LCG maupun KG.
3. Kondisi muatan masuk ke kapal, meliputi :
 - a. Sarat haluan kapal
 - b. Sarat buritan kapal
4. Kondisi ballas masuk ke kapal, meliputi:
 - a. Sarat haluan kapal
 - b. Sarat buritan kapal
 - c. Berat ballas
 - d. Titik berat dari ballas, baik LCG ballas maupun KG ballas.

Selanjutnya dengan data-data tersebut dapat dilakukan perhitungan-perhitungan untuk mendapatkan titik berat kapal total serta dapat menganalisa stabilitas suatu kapal. Tahap perhitungan di dalam program analisa stabilitas ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan data hidrostatis kapal.
2. Perhitungan berat dan titik berat kapal total.
3. Perhitungan *displacement*, KB dan LCB kapal pada setiap sudut oleng.
4. Perhitungan lengan stabilitas kapal tiap sudut oleng.
5. Perhitungan analisa stabilitas menurut aturan IMO.

4.5.1. Perhitungan Data Hidrostatik Kapal

Pada tahap ini akan dilakukan beberapa proses perhitungan untuk mendapatkan data hidrostatik kapal. Dari bentuk kapal yang tercelup dalam air dapat diketahui beberapa data hidrostatik dari kapal yaitu:

1. *Displacement*
2. Pusat gaya apung baik LCB maupun KB
3. Tinggi metacenter (KM)

Displacement (Δ) dihitung dengan mengalikan nilai *volume displacement* (V) dengan masa jenis (ρ) dari fluida tempat kapal berada, yaitu :

$$\Delta = V \times \rho \quad (4.1)$$

Keterangan :

Δ = *Displacement*

V = *Volume displacement*

ρ = masa jenis dari fluida

Akan tetapi untuk mendapatkan nilai *Volume displacement* (V) dengan menggunakan rumus volume prisma tegak yaitu luas alas prisma dikalikan dengan tinggi prisma. Dimana alas dari prisma diasumsikan adalah sisi kapal dan tinggi prisma diasumsikan adalah lebar kapal. Rumus yang dipakai dalam mencari *volume displacement* adalah :

$$V = 0.5 \times (TH + TB) \times L \times B \quad (4.2)$$

Keterangan :

V = *Volume displacement* Kapal

TH = Sarat Haluan Kapal

TB = Sarat Buritan Kapal

L = Panjang Kapal

B = Lebar kapal

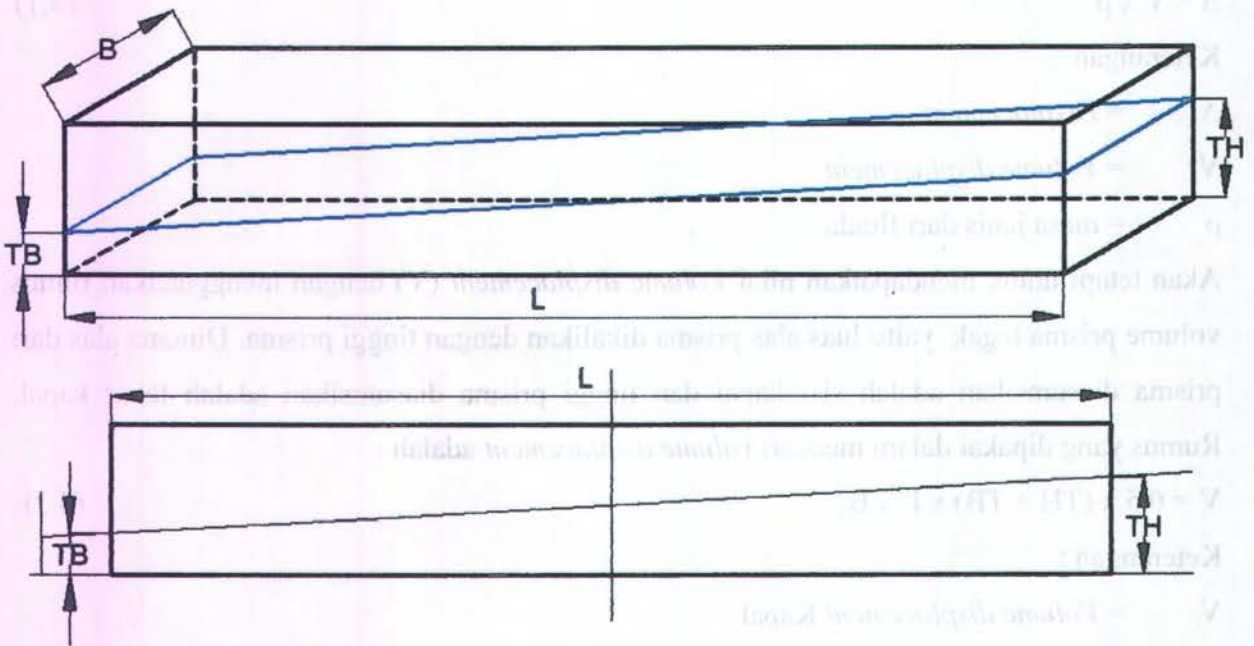
Dengan rumus diatas maka dapat diketahui nilai dari *volume displacement*, sehingga *displacement* kapal dapat dihitung. Perhitungan *displacement* kapal tersebut dilakukan pada kedua kondisi, baik kondisi muatan masuk maupun kondisi ballas masuk.

Untuk mencari pusat gaya apung baik secara memanjang (LCB) maupun jarak pusat gaya apung terhadap keel (KB), maka bagian tercelup kapal kembali diasumsikan sebagai prisma. Dengan langkah perhitungan LCB dan KB adalah sebagai berikut:

$$LCB = \frac{L \times \left(\left(\frac{2 \times T}{3} \right) + TB \right)}{T + (2 \times TB)} - \frac{L}{2} \quad (4.3)$$

$$KB = \frac{TB^2 + (TB \times T) + \frac{T^2}{3}}{T + (2 \times TB)} \quad (4.4)$$

Dengan menggunakan rumus tersebut nilai LCB dan KB dapat diketahui, untuk lebih jelasnya lihat gambar di bawah ini.



Gambar 4.6. Kapal Tongkang Pada Kondisi Trim

Selain data tersebut, data hidrostatik lain yang dibutuhkan untuk mencari nilai KG kapal adalah momen inersia memanjang kapal (\$I_L\$) dan tinggi metacenter memanjang (\$KM_L\$). Kedua data tersebut dicari dengan rumus :

$$I_L = \frac{B \times L^3}{12} \quad (4.5)$$

$$BM_L = \frac{I_L}{V} \quad (4.6)$$

$$KM_L = KB + BM_L \quad (4.7)$$

Sehingga pada tahap perhitungan data hidrostatis kapal didapatkan beberapa nilai yaitu :

- VD_B = *Volume displacement* kapal kondisi ballas masuk
- VD_M = *Volume displacement* kapal kondisi muatan masuk
- D_B = *Displacement* kapal kondisi ballas masuk
- D_M = *Displacement* kapal kondisi muatan masuk
- KB_B = jarak pusat gaya apung dengan kell pada kondisi ballas masuk
- KB_M = jarak pusat gaya apung dengan kell pada kondisi muatan masuk
- LCB_B = jarak pusat gaya apung dengan midship pada kondisi ballas masuk
- LCB_M = jarak pusat gaya apung dengan midship pada kondisi muatan masuk
- IL_B = momen inersia memanjang kapal pada kondisi muatan masuk
- IL_M = momen inersia memanjang kapal pada kondisi muatan masuk
- BML_B = jarak pusat gaya apung dengan titik metacenter pada kondisi ballas masuk
- BML_M = jarak pusat gaya apung dengan titik metacenter pada kondisi muatan masuk
- KML_B = tinggi metacenter pada kondisi ballas masuk
- KML_M = tinggi metacenter pada kondisi muatan masuk

Dimana hasil perhitungan tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan selanjutnya.

4.5.2. Perhitungan Berat dan Titik Berat Kapal Total

Pada perhitungan berat maupun titik berat kapal total menggunakan persamaan dasar dalam perhitungan desain kapal. Untuk perhitungan berat kapal total dapat diketahui dari besar *displacement*, dan berat muatan yang masuk dapat diketahui dari pengurangan antara *Displacement* baru dengan *Displacement* awal. Sehingga berat muatan yang masuk dapat dihitung dengan rumus:

$$W_{\text{Muatan}} = D_M - W_{\text{KapalKosong}}$$

Sedangkan pusat masa dari muatan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$LCG_{\text{muatan}} = \left(\frac{t_2 \times t_3}{(W_{\text{muatan}} \times L_2 \times t_3) - (W_{\text{muatan}} \times L_3 \times t_2)} \right) \times \left[(KG_{\text{ballas}} \times W_{\text{ballas}}) + (\overline{KM}_{L_2} \times \Delta_2) - (\Delta_3 \times \overline{KM}_{L_3}) + \left(\frac{W_{\text{ballas}} \times LCG_{\text{ballas}} \times L_3}{t_3} \right) \right]$$

Keterangan :

KM_{L2} = tinggi metacenter pada kondisi muatan masuk (KML_M)

KM_{L3} = tinggi metacenter pada kondisi ballas masuk (KML_B)

Δ_2 = *Displacement* kapal kondisi muatan masuk (D_M)

Δ_3 = *Displacement* kapal kondisi ballas masuk (D_B)

Dari persamaan di atas ada variable yang belum diketahui yaitu:

- Trim pada kondisi muatan masuk (t_2)
- Trim pada kondisi ballas masuk (t_3)
- L_{wl} pada kondisi muatan masuk (L_2)
- L_{wl} pada kondisi ballas masuk (L_3)

Keempat variable tersebut dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t_2 = TH_M - TB_M \quad (4.8)$$

$$t_3 = TH_B - TB_B \quad (4.9)$$

$$L_2 = \sqrt{t_2^2 + L^2} \quad (4.10)$$

$$L_3 = \sqrt{t_3^2 + L^2} \quad (4.11)$$

Keterangan :

TH_M = sarat haluan kondisi muatan masuk

TB_M = sarat buritan kondisi muatan masuk

TH_B = sarat haluan kondisi ballas masuk

TB_B = sarat buritan kondisi ballas masuk

Jadi dengan diketahuinya variable tersebut, nilai LCG muatan dapat dicari dengan persamaan diatas. Sehingga jika nilai dari LCG muatan sudah diketahui, maka nilai KG total kapal dapat diketahui dengan rumus :

$$\overline{KG}_3 = \overline{KM}_{L3} - \frac{[(W_{muatan} \times LCG_{muatan}) + (W_{ballas} \times LCG_{ballas})] \times L_3}{\Delta_3 \times t_3} \quad (4.12)$$

4.5.3. Perhitungan Lengan Stabilitas Untuk Setiap Sudut Olang

Untuk menganalisa stabilitas kapal, maka harus mengetahui panjang dari lengan stabilitas kapal tiap sudut oleng. Dimana lengan stabilitas tersebut didapatkan jika telah mengetahui pusat gaya apung dari kapal, oleh karena itu perlu dihitung *displacement* dan KB pada tiap kondisi oleng. Pada tugas akhir ini, perhitungan lengan stabilitas dibagi menjadi 3 kondisi yaitu:

1. Kondisi sebelum sarat kapal mencapai *Deck* kapal
2. Kondisi setelah sarat kapal mencapai *Deck* kapal tetapi sebelum sarat kapal mencapai keel kapal
3. Kondisi setelah sarat kapal mencapai *Deck* kapal dan keel kapal

Untuk mengetahui ketiga kondisi diatas, maka dilakukan proses hitungan sebagai berikut:

1. Mencari sarat kapal kondisi even keel pada *displacement* sama dengan *displacement* kapal kondisi setelah ballas masuk dengan menggunakan rumus:

$$T_{K0} = \frac{\Delta_3}{L \times B \times \rho} \quad (4.13)$$

Keterangan :

T_{K0} = sarat kapal kondisi even keel

2. Mencari nilai $T1_T$ dan $T2_T$ dengan menggunakan rumus (untuk lebih jelasnya lihat gambar.....):

$$T1_T = T_{K0} - \left(\frac{B}{2} \times \tan\theta \right) \quad (4.14)$$

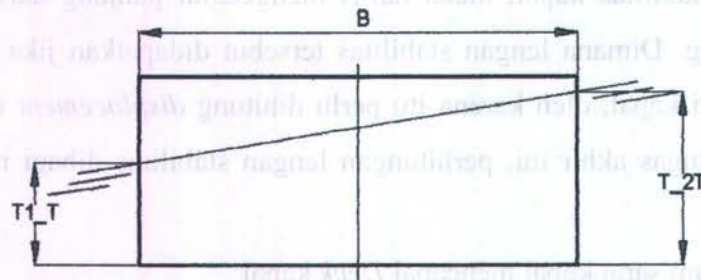
$$T2_T = T_{K0} + \left(\frac{B}{2} \times \tan\theta \right) \quad (4.15)$$

Keterangan :

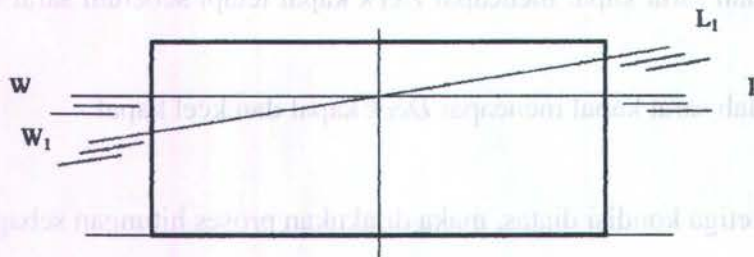
θ = sudut oleng kapal

3. Dengan melihat nilai $T1_T$ dan $T2_T$ maka dapat menentukan kondisi kapal tersebut dengan kondisi:
 - a. Jika nilai $T1_T > 0$ dan $T2_T \leq H$, maka kapal ini dalam keadaan sarat belum mencapai *Deck*
 - b. Jika nilai $T1_T > 0$ dan $T2_T > H$, maka kapal ini dalam keadaan sarat sudah mencapai *Deck*, tetapi belum mencapai keel kapal.

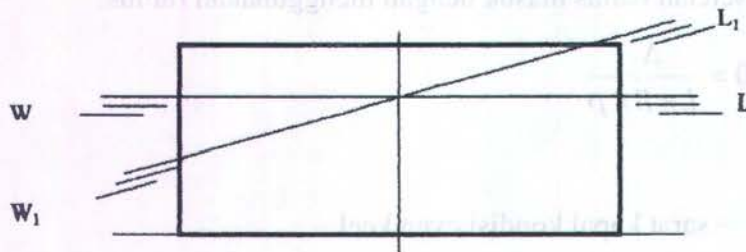
- c. Jika nilai $T1_T < 0$ dan $T2_T > H$, maka kapal ini dalam keadaan sarat sudah mencapai *Deck* dan keel kapal.



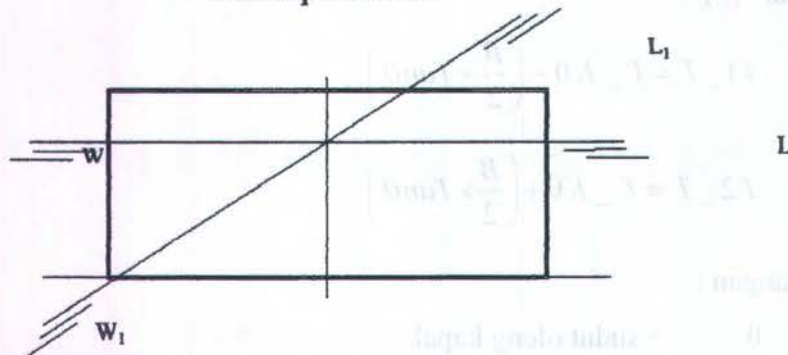
Gambar 4.7. Kapal Tongkang Kondisi Olang



Gambar 4.8. Kapal Tongkang Olang Pada Sarat Kapal Sebelum Menyentuh *Deck* Dan *Bottom*



Gambar 4.9. Kapal Tongkang Olang Pada Sarat Kapal Sudah Menyentuh *Deck* Dan Belum Mencapai *Bottom*



Gambar 4.10. Kapal Tongkang Olang Pada Sarat Kapal Sudah Menyentuh *Deck* Dan *Bottom*

Pada kondisi sebelum sarat kapal mencapai *Deck* kapal, langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan GZ adalah:

1. Mencari nilai $KB\theta$ dengan cara:

$$A1 = T1_T$$

$$B1 = B$$

$$\begin{aligned}
 C1 &= T2_T - T1_T \\
 V1\theta &= \frac{(T2_T + T1_T)}{2} \times B \times L \\
 \Delta I\theta &= V1\theta \times \rho \\
 KB1\theta &= \frac{A1^2 + (A1 \times C1) + \frac{C1^2}{3}}{C1 + (2 \times A1)}
 \end{aligned} \tag{4.16}$$

2. Mencari inersia transversal (IT) dengan cara:

$$IT = \frac{L \times B^3}{12} \tag{4.17}$$

3. Mencari tinggi metacenter melintang (KMT) dengan cara:

$$\begin{aligned}
 BMT &= \frac{IT}{V} \\
 KMT &= BMT + KB
 \end{aligned} \tag{4.18}$$

4. Mencari lengan stabilitas (GZ) dengan cara

$$\begin{aligned}
 MG &= KMT - KG \\
 GZ &= MG \times \sin\theta
 \end{aligned} \tag{4.19}$$

Rumusan dalam mencari GZ diatas merupakan rumusan untuk mencari lengan stabilitas pada sudut oleng kecil.

Pada kondisi sarat sudah mencapai *Deck* tetapi belum mencapai keel kapal, langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan GZ adalah:

1. Mencari nilai KB θ dengan cara =

$$\begin{aligned}
 A2 &= T1_T \\
 B2 &= B \\
 C2 &= H \\
 D2 &= \frac{B2}{2} - \frac{H - T_K0}{\tan\theta}
 \end{aligned} \tag{4.20}$$

$$A21 = A2 \times B2$$

$$A22 = 0.5 \times (B2 - D2) \times (C2 - A2)$$

$$A23 = D2 \times (C2 - A2)$$

$$KB21 = 0.5 \times A2$$

$$KB22 = A2 + \frac{C2 - A2}{3}$$

$$KB23 = A2 + \frac{C2 - A2}{2}$$

$$KB2 = \frac{(A21 \times KB21) + (A22 \times KB22) + (A23 \times KB23)}{A21 + A22 + A23} \quad (4.21)$$

$$BWL2 = \sqrt{(B - D)^2 + (C - A)^2}$$

$$\Delta l\theta = V l\theta \times \rho$$

$$KB1\theta = \frac{A1^2 + (A1 \times C1) + \frac{C1^2}{3}}{C1 + (2 \times A1)} \quad (4.22)$$

2. Mencari inersia transversal (IT) dengan cara:

$$IT2 = \frac{L \times BWL^3}{12} \quad (4.23)$$

3. Mencari tinggi metacenter melintang (KMT) dengan cara:

$$BMT = \frac{IT2}{V}$$

$$KMT = BMT + KB \quad (4.24)$$

4. Mencari lengan stabilitas (GZ) dengan cara

$$MG = KMT - KG$$

$$GZ = (MG + (0.5 \times BMT \times \tan^2 \theta)) \times \sin \theta \quad (4.25)$$

Pada rumus GZ diatas dapat digunakan karena diasumsikan pada kondisi ini volume baji masuk dan volume baji keluar memiliki selisih yang kecil.

Pada kondisi sarat sudah mencapai *Deck* dan keel kapal, langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan GZ adalah:

1. Mencari nilai KB θ dengan cara =

$$A3 = \frac{B}{2} - \frac{(T - K0)}{\tan \theta}$$

$$B3 = H$$

$$C3 = \frac{B}{2} - \frac{(H - T - K0)}{\tan \theta}$$

$$V1\theta = \frac{(A3 + C3)}{2} \times B3 \times L$$

$$VS = \frac{\Delta_3}{\rho}$$

$$AS = \frac{VS}{L}$$

$$CA = \frac{AS}{B3}$$

$$h = \frac{CA - A3 - C3}{B3}$$

$$A3' = A3 + h$$

$$B3' = B3$$

$$C3' = C3 + h$$

$$L3_1' = 0.5 \times B3' \times (A3' - C3')$$

$$L3_2' = B3' \times C3'$$

$$KB31' = B' / 3$$

$$KB32' = B' / 2$$

$$KB3 = \frac{(L3_1' \times KB31') + (L3_2' \times KB32')}{L3_2' + L3_1'} \quad (4.26)$$

$$TRB1 = C3' + \frac{A3'}{3}$$

$$TRB2 = \frac{C3'}{3}$$

$$TR3 = \frac{(L3_1' \times TRB1) + (L3_2' \times TRB2)}{L3_2' + L3_1'} \quad (4.27)$$

2. Mencari lengan stabilitas (GZ) dengan cara

$$RC = KB3 \times \tan\theta$$

$$KC = RC + TR3$$

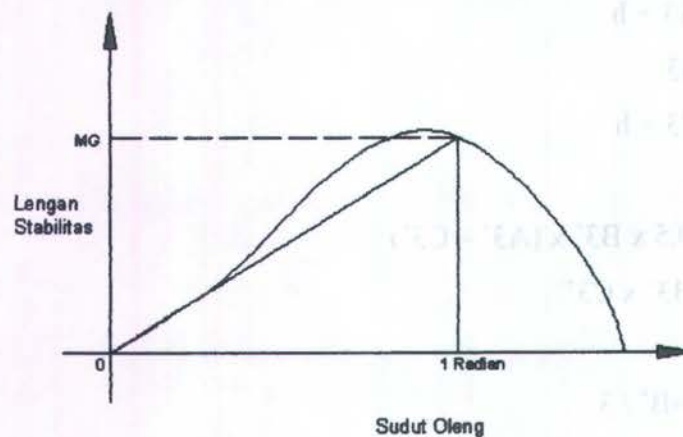
$$KN = KC \times \sin\theta$$

$$GZ = KN - (KG_3 \times \sin\theta) \quad (4.28)$$

Rumusan dalam mencari GZ diatas merupakan rumusan untuk mencari lengan stabilitas pada sudut oleng besar.

4.6. Analisa Stabilitas Menurut Aturan IMO

Setelah lengan stabilitas kapal tiap sudut oleng diketahui, maka langkah berikutnya adalah membuat kurva stabilitas. Kurva stabilitas tersebut adalah kurva antara lengan stabilitas dengan sudut oleng, yang nantinya baru dapat dianalisa menggunakan aturan IMO. Berikut ini adalah contoh dari kurva stabilitas:



Gambar 4.11. Contoh dari Kurva Stabilitas

Kurva stabilitas tersebut adalah hasil pengeplotan dari lengan stabilitas yang sudah dihitung, dengan sudut oleng. Dari kurva tersebut baru dapat dilakukan analisa menurut aturan IMO. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk menganalisa kurva tersebut adalah:

- Menghitung luasan dibawah kurva stabilitas yang memiliki nilai GZ positif
- Menghitung besar range sudut oleng yang menghasilkan nilai GZ positif

Pada tugas akhir ini nilai GZ yang dihitung pada sudut $0^{\circ} - 80^{\circ}$, dengan dengan langkah sudut oleng tiap 5° . Untuk menghitung besar range sudut oleng yang mempunyai sudut oleng positif, maka di butuhkan beberapa kondisi, yaitu :

1. Jika GZ pada sudut oleng 5° bernilai positif, maka $\theta_1 = 0$
2. Jika GZ pada sudut i bernilai positif dan GZ pada sudut $(i-1)$ bernilai kurang dari sama dengan 0, maka θ_1 dihitung dengan rumus:

$$\theta_1 = (\theta_{i-1}) - \left(\frac{5 \times GZ_{i-1}}{GZ_i - GZ_{i-1}} \right) \quad (4.29)$$

3. Jika GZ pada sudut oleng 5° sampai 80° bernilai positif, maka $\theta_2 = 80$.
4. Jika GZ pada sudut i bernilai negatif dan GZ pada sudut $(i-1)$ bernilai lebih dari sama dengan 0, maka θ_2 dihitung dengan rumus :

$$\theta_2 = (\theta_{i-1}) - \left(\frac{5 \times GZ_{i-1}}{GZ_i - GZ_{i-1}} \right) \quad (4.30)$$

Untuk menghitung luasan di bawah kurva stabilitas yang memiliki nilai GZ positif (LBK), maka dibutuhkan beberapa kondisi, yaitu:

1. Jika nilai GZ(i) yang diketahui antara θ_1 dan θ_2 berjumlah 1, maka LBK dihitung dengan rumus:

$$LBK = 0.5 \times (\theta_2 - \theta_1) \times GZ(i) \quad (4.31)$$

2. Jika nilai GZ(i) yang diketahui antara θ_1 dan θ_2 berjumlah 2 yaitu GZ(i) dan GZ(i+1), maka LBK dihitung dengan rumus:

$$LBK = (0.5 \times (i - \theta_1) \times GZ(i)) + (0.5 \times (GZ(i) + GZ(i+1)) \times 5) + (0.5 \times (\theta_2 - (i+1)) \times GZ(i+1)) \quad (4.32)$$

3. Jika nilai GZ(i) yang diketahui antara θ_1 dan θ_2 berjumlah lebih dari 2 dan bernilai ganjil, maka LBK dihitung dengan cara:

Tabel 4.1. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZnya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah Lebih Dari 2 Dan Bernilai Ganjil.

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
1			1	
2			4	
3			2	
4			4	
5			2	
...			...	
c-1			4	
c			1	
				$\Sigma 1$

$$LBK = ((0.5 \times (i - \theta_1) \times GZ(i)) + (5 \times \Sigma 1 / 3) + (0.5 \times (\theta_2 - (i+1)) \times GZ(i+1)) \quad (4.33)$$

4. Jika nilai GZ(i) yang diketahui antara θ_1 dan θ_2 berjumlah 4, maka LBK dihitung dengan rumus:

Tabel 4.2. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZnya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 4.

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
1			1	
2			3	
3			3	
4			1	
				$\Sigma 1$

$$LBK = ((0.5 \times (i - \theta_1) \times GZ(i)) + (5 \times 3 \times \Sigma 1 / 8) + (0.5 \times (\theta_2 - (i+1)) \times GZ(i+1)) \quad (4.44)$$

5. Jika nilai GZ(i) yang diketahui antara θ_1 dan θ_2 berjumlah 10, maka LBK dihitung dengan rumus:

Tabel 4.3. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZnya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 10.

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
1			1	
2			3	
3			3	
4			2	
5			3	
6			3	
7			2	
8			3	
9			3	
10			1	
				$\Sigma 1$

$$LBK = ((0.5 \times (i - \theta_1) \times GZ(i)) + (5 \times 3 \times \Sigma 1 / 8) + (0.5 \times (\theta_2 - (i+1)) \times GZ(i+1)) \quad (4.45)$$

6. Jika nilai GZ(i) yang diketahui antara θ_1 dan θ_2 berjumlah 16, maka LBK dihitung dengan rumus:

Tabel 4.4. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZnya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 16.

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
1			1	
2			3	
3			3	
4			2	
5			3	
6			3	
7			2	
8			3	
9			3	
10			2	
11			3	
12			3	
13			2	
14			3	
15			3	
16			1	
				$\Sigma 1$

$$LBK = ((0.5 \times (i - \theta_1) \times GZ(i)) + (5 \times 3 \times \Sigma 1 / 8) + (0.5 \times (\theta_2 - (i+1)) \times GZ(i+1)) \quad (4.46)$$

7. Jika nilai GZ(i) yang diketahui antara θ_1 dan θ_2 berjumlah 6, maka LBK dihitung dengan rumus:

Tabel 4.5. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZnya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 6. (Langkah 1)

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
1			1	
2			3	
3			3	
4			1	
				$\Sigma 1$

Tabel 4.6. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZnya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 6. (Langkah 2)

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
4			1	
5			4	
6			1	
				$\Sigma 2$

$$LBK = ((0.5 \times (i - \theta_1) \times GZ(i)) + (5 \times 3 \times \Sigma 1 / 8) + (0.5 \times (\theta_2 - (i+1)) \times GZ(i+1) + (5 \times \Sigma 2 / 3) \tag{4.47}$$

8. Jika nilai GZ(i) yang diketahui antara θ_1 dan θ_2 berjumlah 12, maka LBK dihitung dengan rumus:

Tabel 4.7. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZnya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 12 (Langkah 1).

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
1			1	
2			3	
3			3	
4			2	
5			3	
6			3	
7			2	
8			3	
9			3	
10			1	
				$\Sigma 1$

Tabel 4.8. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZnya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 12. (Langkah 2)

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
10			1	
11			4	
12			1	
				$\Sigma 2$

$$LBK = ((0.5 \times (i - \theta_1) \times GZ(i)) + (5 \times 3 \times \sum 1 / 8) + (0.5 \times (\theta_2 - (i+1)) \times GZ(i+1)) + (5 \times \sum 2 / 3) \quad (4.48)$$

9. Jika nilai $GZ(i)$ yang diketahui antara θ_1 dan θ_2 berjumlah 14, maka LBK dihitung dengan rumus:

Tabel 4.9. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 14.(Langkah 1)

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
1			1	
2			3	
3			3	
4			2	
5			3	
6			3	
7			2	
8			3	
9			3	
10			1	
				$\Sigma 1$

Tabel 4.10. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZ nya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 14.(Langkah 2)

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
10			1	
11			4	
12			2	
13			4	
14			1	
				$\Sigma 2$

$$LBK = ((0.5 \times (i - \theta_1) \times GZ(i)) + (5 \times 3 \times \sum 1 / 8) + (0.5 \times (\theta_2 - (i+1)) \times GZ(i+1)) + (5 \times \sum 2 / 3) \quad (4.49)$$

10. Jika nilai $GZ(i)$ yang diketahui antara θ_1 dan θ_2 berjumlah 8, maka LBK dihitung dengan rumus:



Tabel 4.11. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZnya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 8.(Langkah 1)

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
1			1	
2			3	
3			3	
4			1	
				$\Sigma 1$

Tabel 4.12. Perhitungan Luasan Di Bawah Kurva Stabilitas Jika Nilai GZnya Positif Pada Sudut Antara θ_1 dan θ_2 Berjumlah 14.(Langkah 2)

No.	θ	GZ	FS	GZ x FS
4			1	
5			4	
6			2	
7			4	
8			1	
				$\Sigma 2$

$$LBK = ((0.5 \times (i - \theta_1) \times GZ(i)) + (5 \times 3 \times \Sigma 1 / 8) + (0.5 \times (\theta_2 - (i+1)) \times GZ(i+1) + (5 \times \Sigma 2 / 3) \quad (4.50)$$

Dengan perhitungan di atas maka luasan di bawah kurva stabilitas yang memiliki nilai GZ positif dan besar range sudut oleng yang menghasilkan nilai GZ positif dapat diketahui nilainya. Dari nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan nilai minimal yang ditetapkan oleh IMO.

Tabel 4.13. Analisa Hasil Perhitungan Dengan Aturan Yang Ditetapkan Oleh IMO

No.	Kriteria	Nilai Minimal	Hasil Perhitungan	Analisa
1	Luasan di bawah kurva stabilitas yang memiliki nilai GZ positif	0.08 meter.radian		
2	Besar range sudut oleng yang menghasilkan nilai GZ positif	20 derajat		

Keterangan:

Kolom Hasil perhitungan → menunjukkan nilai dari hasil perhitungan yang telah dilakukan

Kolom Analisa → menunjukkan hasil koreksi antara hasil perhitungan dengan nilai minimal yang ditetapkan oleh aturan IMO.

Jika pada kolom analisa berisi memenuhi semua, maka kapal tersebut dikatakan stabil akan tetapi jika ada bagian yang tidak memenuhi, maka kapal tersebut dinyatakan tidak stabil.

4.7. Hasil *Running Program*

Hasil analisis yang menggunakan program analisa stabilitas untuk kapal tongkang dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi kapal adalah 80 meter, 18 meter dan 6 meter, dengan penjelasan sebagai berikut:

4.7.1 Analisa Berat dan Titik Berat Kapal Total

Dari data inputan tersebut setelah melewati proses perhitungan seperti di atas, maka didapatkan hasil analisa berat dan titik berat sebagai berikut:

1. Berat Kapal Total = 4502.018 ton
2. KG Kapal Total = 2.015 meter
3. KML Kapal = 176.727 meter
4. KB kapal total = 1.611 meter
5. LCB kapal total = 5.512 meter

Hasil analisa tersebut akan otomatis tampil ketika pada *form* input data ditekan tombol hitung. Dengan bentuk tampilan *form* ditunjukkan pada Gambar 4.12.

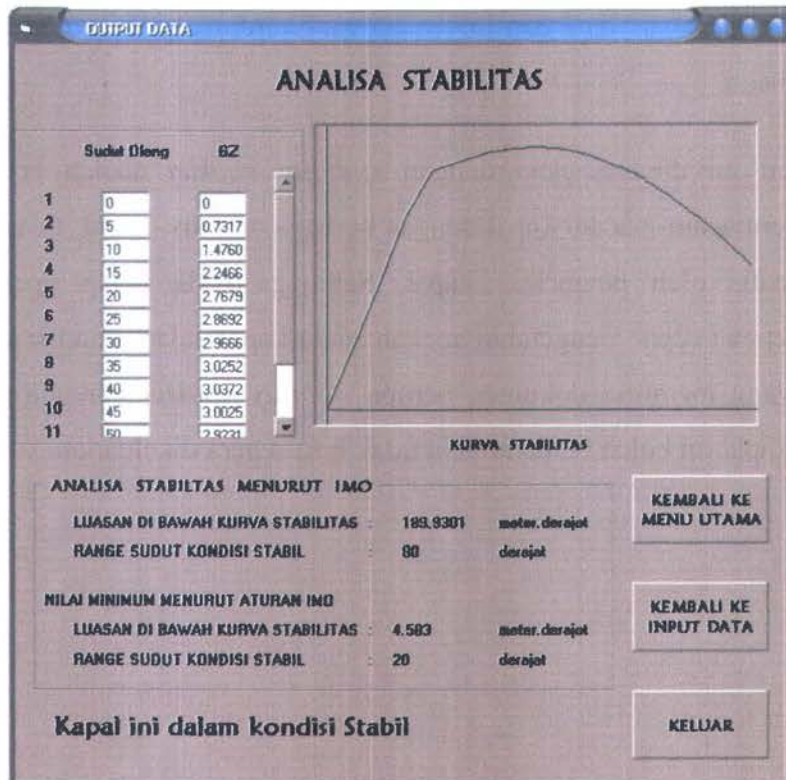
The screenshot shows a software window titled "OUTPUT DATA" with a dark blue header. The main content area is titled "DATA BERAT KAPAL" in bold black text. Below the title, there are five rows of data, each consisting of a label, a colon, a value in a white text box, and a unit. The labels are "BERAT KAPAL", "KG KAPAL", "KML KAPAL", "KB KAPAL", and "LCB KAPAL". The units are "TON", "METER", "METER", "METER", and "METER" respectively. At the bottom of the window, there are three buttons: "KEMBALI", "LANJUT", and "KELUAR".

Label	Value	Unit
BERAT KAPAL	4502.018	TON
KG KAPAL	2.015	METER
KML KAPAL	176.727	METER
KB KAPAL	1.611	METER
LCB KAPAL	5.512	METER

Gambar 4.12. Form Analisa Titik Berat Kapal

4.7.2 Analisa Lengan Stabilitas Kapal

Setelah data inputan melewati proses perhitungan lengan stabilitas, maka akan didapatkan nilai dari lengan stabilitas tiap sudut oleng. Form yang menunjukkan nilai-nilai dari lengan stabilitas tersebut akan ditampilkan setelah menekan tombol Lanjut. Tampilan dari form tersebut ditunjukkan seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.13. Form Lengan Stabilitas Kapal

Dari tampilan tersebut akan didapatkan beberapa data tentang analisa stabilitas yaitu lengan stabilitas, bentuk kurva stabilitas, serta analisa stabilitas menurut aturan IMO tentang kapal tongkang.

Jadi program analisa stabilitas ini menghasilkan data output berupa komponen titik berat kapal, data lengan stabilitas serta analisa stabilitas menurut aturan IMO. Hal itu tidak jauh berbeda dengan *Final Stability Booklet*, yaitu dokumen kapal yang memberikan informasi tentang stabilitas suatu kapal.

Perhitungan stabilitas tidak pernah terlepas dalam kegiatan mendesain kapal. Perhitungan ini dilakukan dengan beberapa kondisi yaitu kondisi kapal datang; kondisi kapal berangkat serta variasi muatan dari muatan kosong hingga muatan penuh. Perhitungan stabilitas juga perlu dilakukan pada kapal-kapal yang memiliki kondisi-kondisi kritis yang lain. Data-data tersebut ditulis pada *Stability Booklet* dari masing-masing kapal.

Pada peraturan stabilitas menurut IMO telah dijelaskan syarat-syarat kapal yang diwajibkan memiliki dokumen *stability booklet*, sehingga tidak semua kapal diwajibkan memiliki *stability*

booklet,. Dimana perhitungan, data dan informasi yang terdapat pada *stability booklet* untuk tiap-tiap kapal berbeda.

Kelebihan program ini dibandingkan dengan *stability booklet* adalah program ini bisa dilakukan untuk bermacam-macam kapal dengan berbagai kondisi kapal, tidak hanya kondisi yang dianggap kritis oleh perancang kapal. Sehingga pada tahap operasional kapal, syahbandar bisa dengan cepat mengetahui apakah suatu kapal dalam kondisi stabil atau labil, baik pada kapal yang memiliki dokumen berupa *stability booklet* maupun tidak, sehingga keputusan bahwa kapal ini boleh berlayar atau tidak bisa segera dikeluarkan.

BAB 5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan perhitungan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan berat dan titik berat kapal total dapat dilakukan walaupun tanpa diketahui berat muatan dan peletakan muatan yang masuk di dalam kapal. Dengan menganalisa bagian kapal yang tercelup dapat digunakan dasar dalam perhitungan berat dan titik berat kapal. Dasar perhitungan yang digunakan:
 - a. Kondisi trim kapal.
 - b. Bagian kapal yang tercelup.
 - c. Bentuk dari Water Plan Area (WPA).
2. Analisa berat dan titik berat kapal ini jika dilakukan pada kapal tongkang akan efektif pada sudut trim kapal 1.73° sampai 2.25° , karena pada kondisi tersebut nilai *error*nya kurang dari 1%.
3. Analisa stabilitas diasumsikan kapal pada kondisi even keel.

5.2. Saran

Saran dari Tugas Akhir ini adalah:

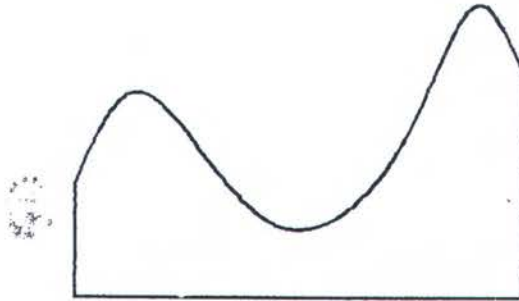
1. Program ini dapat digunakan untuk membantu analisa stabilitas suatu kapal tetapi masih diperlukan penyempurnaan.
2. Pemrograman ini dapat dilanjutkan untuk menganalisis berat, titik berat serta stbilitas untuk kapal umum (selain kapal tongkang).

DAFTAR PUSTAKA

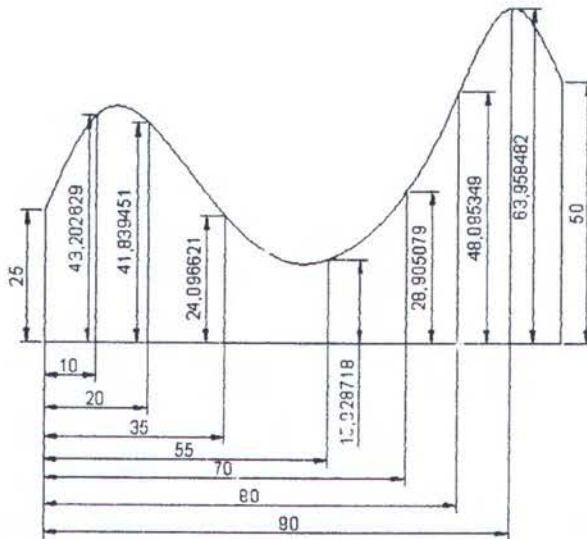
- Ambarwulan, W., Hartini, S. dan Cornelia, M.I. 2003. Aplikasi citra satelit untuk inventarisasi sumberdaya alam pesisir dan laut di Delta Mahakam. Cibinong: Pusat Survei Sumberdaya Alam Laut-BAKOSURTANAL.
- Barrass, B. dan Derrett, D.R. 2006. **Ship Stability for Master and Mates**. Jordan Hill, Oxford. Elsevier Ltd.
- Intact Stability (IS) Code - Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments
- Lewis, E.V. 1988. **Principles of Naval Architecture Second Revision Volume I : Stability And Strength**. Jersey City, NJ : The Society of Naval Architect and Marine Engineers 601 Pavonia Avenue.
- Manfaat, J. 2001. **Diktat Kuliah Perancangan Dibantu Komputer**. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, FTK-ITS.
- Parsons, M.G. 2002. **Parametric Design Chapter 11**.
- Rawson, K.J. dan Tupper, E.C. 2001. **Basic Ship Theory Volume 2 : Ship Dynamic and Design**. Jordan Hill, Oxford : Longman Group Limited.
- Willy Aditya, W. Februari 2007. **Nenek Moyang Kami Ada di Laut**. Voice Of Human Right, Human Rights NewsCentre, <URL><http://www.vhrmedia.nethomeindex.php?id=print&aid=4071&cid=1&lang=>

Validasi Rumus Simpson

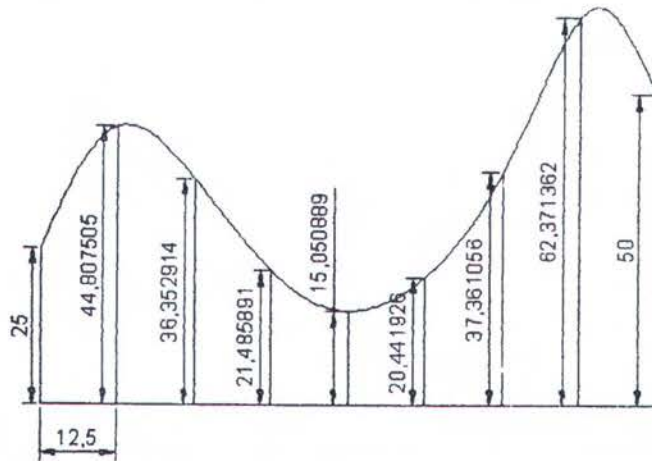
Contoh 1



Gambar kurva 1



Gambar Kurva 1 dibagi 9 ststion dengan jarak berbeda



Gambar Kurva 1 dibagi 9 station dengan jarak sama

Kurva diatas dihitung luasan dan titik beratnya dengan bantuan Auto Cad, metode simpson dengan jarak yang sama, dari metode simpson dengan jarak yang berbeda. Perhitungannya sebagai berikut:

- Hasil perhitungan Auto Cad
 Luas = 3500.787 meter²
 Titik Berat X = 54.5168 meter (dari garis paling kiri)
 Titik Berat Y = 20.7504 meter (dari garis paling bawah)
- Perhitungan dengan metode simpson dengan jarak station sama.

No	Panjang	FS	Panjang x FS	h	Panjang x FS x h	Y	Panjang x FS x h
1	25	1	25	0	0	12.5	312.5
2	44.807505	4	179.23002	1	179.23002	22.40375	4015.425009
3	36.352914	2	72.705828	2	145.411656	18.17646	1321.534356
4	21.485891	4	85.943564	3	257.830692	10.74295	923.2870241
5	15.050889	2	30.101778	4	120.407112	7.525445	226.5292597
6	20.441926	4	81.767704	5	408.83852	10.22096	835.7446772
7	37.361056	2	74.722112	6	448.332672	18.68053	1395.848505
8	62.371362	4	249.485448	7	1746.398136	31.18568	7780.373595
9	50	1	50	8	400	25	1250
		$\Sigma_1 =$	848.956454	$\Sigma_2 =$	3706.448808	$\Sigma_3 =$	18061.24243

Luas = 3537.319 meter²
 Titik Berat X = 54.5736 meter (dari garis paling kiri)
 Titik Berat Y = 21.27464 meter (dari garis paling bawah)
 Error yang dihasilkan :
 Luas = 1.0435 %
 X = 0.1042 %
 Y = 2.5264 %

- perhitungan dengan metode simpson dengan jarak station beda

No	Panjang (P)	X	n	FS	Y'	P x FS	P x FS x X	P x FS x Y'
1	25	0	0	3.3333	12.5000	83.3333	0.0000	1041.6667
2	43.202629	10	10	13.3333	21.6013	576.0351	5760.3505	12443.1144
3	41.839451	20	10	7.2222	20.9197	302.1738	6043.4763	6321.3932
4	24.096621	35	15	23.8194	12.0483	573.9681	20088.8844	6915.3462
5	15.928718	55	20	12.8472	7.9644	204.6398	11255.1879	1629.8247
6	28.905079	70	15	17.3611	14.4525	501.8243	35127.7002	7252.6353
7	48.095349	80	10	5.4167	24.0477	260.5165	20841.3179	6264.8154
8	63.958482	90	10	13.3333	31.9792	852.7798	76750.1784	27271.2495
9	50	100	10	3.3333	25.0000	166.6667	16666.6667	4166.6667
						3521.9373	192533.7622	73306.7119

Luas = 3521.937 meter²
 Titik Berat X = 54.667 meter (dari garis paling kiri)
 Titik Berat Y = 20.81431 meter (dari garis paling bawah)

Error yang dihasilkan :

Luas = 0.6042 %

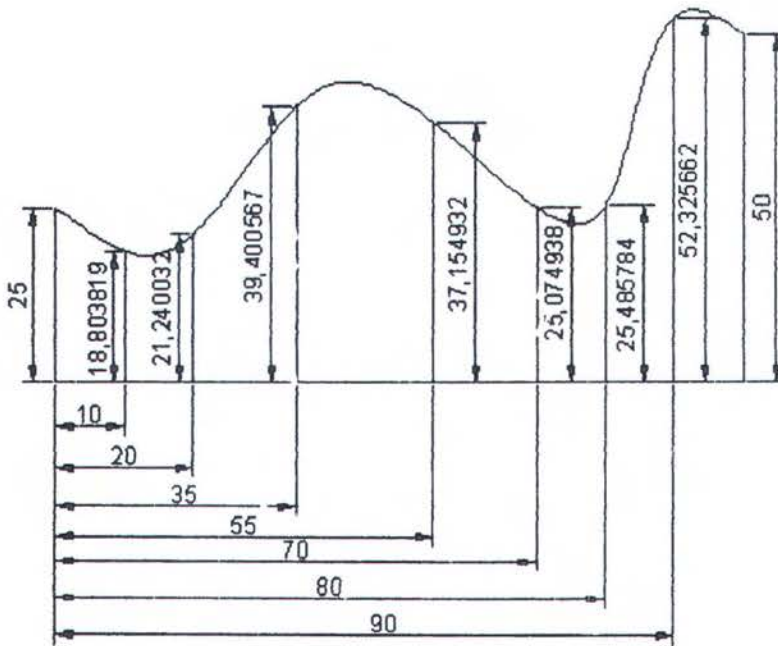
X = 0.2755 %

Y = 0.3080 %

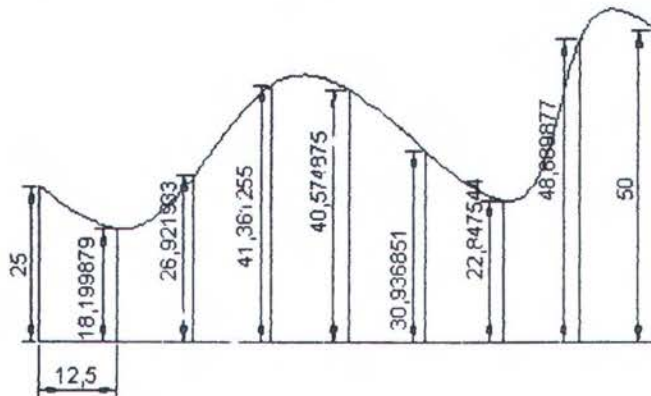
Contoh 2



Gambar Kurva ke 2



Gambar Kurva 2 dibagi 9 ststion dengan jarak berbeda



Gambar Kurva 2 dibagi 9 station dengan jarak sama

Kurva diatas dihitung luasan dan titik beratnya dengan bantuan Auto Cad, metode simpson dengan jarak yang sama, dan metode simpson dengan jarak yang berbeda. Perhitungannya sebagai berikut:

- Hasil perhitungan Auto Cad
 Luas = 3500.787 meter²
 Titik Berat X = 54.5168 meter (dari garis paling kiri)
 Titik Berat Y = 20.7504 meter (dari garis paling bawah)

- Perhitungan dengan metode simpson dengan jarak station sama.

No	Panjang	FS	Panjang x FS	h	Panjang x FS x h	Y	Panjang x FS x h
1	25	1	25	0	0	12.5	312.5
2	18.199879	4	72.799516	1	72.799516	9.09994	662.4711912
3	26.921933	2	53.843866	2	107.687732	13.46097	724.7904765
4	41.361255	4	165.44502	3	496.33506	20.68063	3421.50683
5	40.574875	2	81.14975	4	324.599	20.28744	1646.320481
6	30.936851	4	123.747404	5	618.73702	15.46843	1914.1775
7	22.847544	2	45.695088	6	274.170528	11.42377	522.0102668
8	48.689877	4	194.759508	7	1363.316556	24.34494	4741.408245
9	50	1	50	8	400	25	1250
			$\Sigma_1 =$		$\Sigma_2 =$	$\Sigma_3 =$	
			812.440152		3657.645412		15195.18499

- Luas = 3385.167 meter²
 Titik Berat X = 56.27561 meter (dari garis paling kiri)
 Titik Berat Y = 18.70314 meter (dari garis paling bawah)
 Error yang dihasilkan :
 Luas = 2.2710 %
 X = 1.0405 %
 Y = 2.2969 %

- perhitungan dengan metode simpson dengan jarak station beda

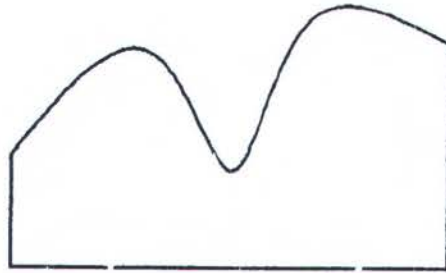
No	Panjang (P)	X	n	FS	Y'	P x FS	P x FS x X	P x FS x Y'
1	25	0	0	3.3333	12.5000	83.3333	0.0000	1041.6667
2	18.803319	10	10	13.3333	9.4019	250.7176	2507.1759	2357.2241
3	21.240032	20	10	7.2222	10.6200	153.4002	3068.0046	1629.1129
4	39.400567	35	15	23.8194	19.7003	938.4996	32847.4866	18488.7085
5	37.154932	55	20	12.8472	18.5775	477.3377	26253.5717	8867.7243
6	25.074938	70	15	17.3611	12.5375	435.3288	30473.0149	5457.9211
7	25.485784	80	10	5.4167	12.7429	138.0480	11043.8397	1759.1307
8	52.325662	90	10	13.3333	26.1628	697.6755	62790.7944	18253.1660
9	50	100	10	3.3333	25.0000	166.6667	16666.6667	4166.6667
						3341.0074	185650.5545	62021.3210

- Luas = 3341.007 meter²
 Titik Berat X = 55.56724 meter (dari garis paling kiri)
 Titik Berat Y = 18.56366 meter (dari garis paling bawah)
 Error yang dihasilkan :
 Luas = 0.9368 %

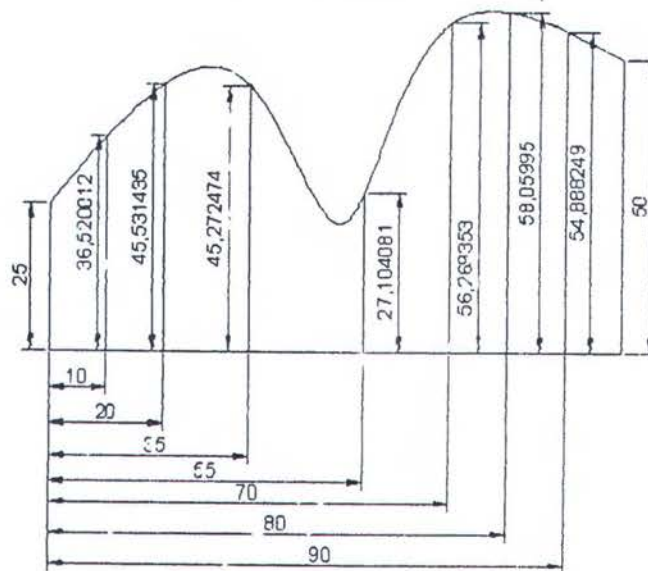
$$X = 0.2314 \%$$

$$Y = 1.5310 \%$$

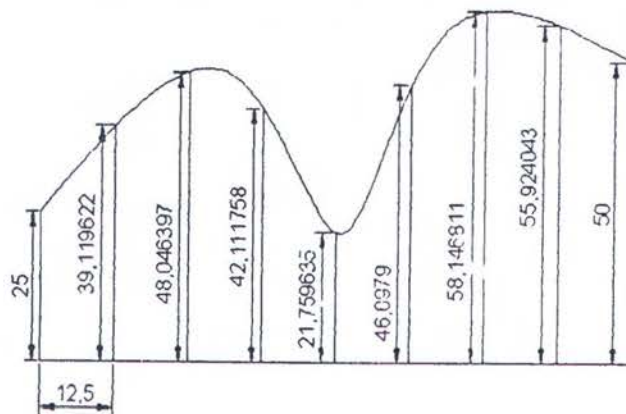
Contoh 3



Gambar Kurva ke 3



Gambar Kurva 3 dibagi 9 ststion dengan jarak berbeda



Gambar Kurva 3 dibagi 9 station dengan jarak sama

Kurva diatas dihitung luasan dan titik beratnya dengan bantuan Auto Cad, metode simpson dengan jarak yang sama, dan metode simpson dengan jarak yang berbeda. Perhitungannya sebagai berikut:

- Hasil perhitungan Auto Cad
Luas = 4457.094 meter²
Titik Berat X = 54.389 meter (dari garis paling kiri)
Titik Berat Y = 23.34577 meter (dari garis paling bawah)

- Perhitungan dengan metode simpson dengan jarak station sama.

No	Panjang	FS	Panjang x FS	h	Panjang x FS x h	Y	Panjang x FS x h
1	25	1	25	0	0	12.5	312.5
2	39.119622	4	156.478488	1	156.478488	19.55981	3060.689651
3	48.046397	2	96.092794	2	192.185588	24.0232	2308.456265
4	42.111758	4	168.447032	3	505.341096	21.05588	3546.800324
5	21.759635	2	43.51927	4	174.07708	10.87982	473.4817153
6	46.0979	4	184.3916	5	921.958	23.04895	4250.032769
7	58.146811	2	116.293622	6	697.761732	29.07341	3381.051629
8	55.924043	4	223.696172	7	1565.873204	27.96202	6254.997171
9	50	1	50	8	400	25	1250
		$\Sigma_1 =$	1063.918978	$\Sigma_2 =$	4613.675188	$\Sigma_3 =$	24838.00952

Luas = 4432.996 meter²

Titik Berat X = 54.20614 meter (dari garis paling kiri)

Titik Berat Y = 23.34577 meter (dari garis paling bawah)

Error yang dihasilkan :

Luas = 0.5407 %

X = 0.3362 %

Y = 0.4262 %

- perhitungan dengan metode simpson dengan jarak station beda

No	Panjang (P)	X	n	FS	Y'	P x FS	P x FS x X	P x FS x Y'
1	25	0	0	3.3333	12.5000	83.3333	0.0000	1041.6667
2	36.520012	10	10	13.3333	18.2600	486.9335	4869.3349	8891.4085
3	45.531435	20	10	7.2222	22.7657	328.8381	6576.7628	7486.2362
4	45.272474	35	15	23.8194	22.6362	1078.3652	37742.7813	24410.1298
5	27.104081	55	20	12.8472	13.5520	348.2122	19151.6683	4718.9852
6	56.269358	70	15	17.3611	28.1347	976.8986	68382.9003	27484.7279
7	58.05995	80	10	5.4167	29.0300	314.4914	25159.3117	9129.6774
8	54.888249	90	10	13.3333	27.4441	731.8433	65865.8988	20084.7992
9	50	100	10	3.3333	25.0000	166.6667	16666.6667	4166.6667
						4515.5823	244415.3249	107414.2974

Luas = 4515.582 meter²

Titik Berat X = 54.12709 meter (dari garis paling kiri)

Titik Berat Y = 23.78747 meter (dari garis paling bawah)

Error yang dihasilkan :

Luas = 1.3123 %

X = 0.4816 %

Y = 1.4577 %

KECELAKAAN TRANSPORTASI LAUT

NO	WAKTU	LOKASI	KAPAL	KORBAN
1	3/1/2007	Tanjung Bolang, NTT	KM Harapan Jaya karam	1
2	30/12/2006	Laut Jawa	KM Senopati Nusantara karam	-
3	30/12/2006	Selat Bangka	KM Tristar I karam	27
4	3/12/2006	Selat Sunda	Kapal BBM MT Putri Dua terbakar	-
5	16/11/2006	Pelabuhan Merak	Kapal Feri Lampung terbakar	-
6	26/10/2006	Danau Singkarak	Kapal Wisata Singkarak tenggelam	5
7	09/10/2006	Sungai Batanghari, Jambi	KM Masrina bertabrakan dengan Tuk Boat Armando V	1
8	29/6/2006	Rote, NTT	Kapal Ikan Fajar tenggelam	4
9	22/6/2006	Pesisir Jember	Kapal Tuna Damarina terbalik	1
10	22/5/2006	Banda Aceh	Kapal Tongkang King Tiger terdampar	-
11	3/5/2006	Sungai Linggo, Nganjuk	Kapal terbalik	3
12	7/4/2006	Rote, Rotendao	KM Berpista tenggelam	est-109
13	7/4/2006	Laut Sawu, NTT	KM New Fuji tenggelam	29
14	5/4/2006	Pulau Mursala, Sumut	Kapal Barang Rezeki Zippo hilang	-
15	4/2/2006	Pantai Baru, Rotendao	KMP Citra Mandala Bahari tenggelam	36
16	26/1/2006	Mangkalian, Kaltim	Kapal motor tenggelam	12
17	16/1/2006	Selat Dole, NTT	KM Putera Mandiri tenggelam	5
18	8/1/2006	Pantai Mauk, Tangerang	KM Bone Raya tenggelam	2
19	13/1/2006	Bali - Nusa Tenggara	KMP Nusa Bakti	72 selamat
20	2/1/2007	Kalimantan	Speed Boat	10
21	31/12/2006	Bali - Nusa Tenggara	KM Sinar Baru	-
22	29/12/2006	Perairan Luwuk Sulawesi	KM Nur Budiman	24 penumpang selamat

23	20/12/2006	Binatan, Sumatera	Feri Sentosa 89	1 tewas 1 hilang
24	29/12/2006	Pontianak, Kalimantan Barat- Juwana, Jawa Tengah	KM Karlina Indah	-
25	8/7/2006	Laut Arafura.	KM Digoel	84 tewas, 100 belum jelas
26	22/2/2006	Tanjung periok	KMP Levina 1	20

Sumber: data diolah Litbang VHR dari berbagai sumber

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 1

Ukuran Utama	nilai	Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =		80 meter		
B =		10 meter		
H =		10 meter		
Kondisi Kapal Kosong				
Berat Kapal =		3500 ton		
KG Kapal =		5 meter		
LCG kapal =		0 meter		
Kondisi Muatan Masuk				
Sarat Haluan :		7.03 meter		
Sarat Buritan :		5.162 meter		
Trim1 =		1.868 meter		
LWL1 =		80.022 meter	80.022	0.00024%
Kondisi Ballas Masuk				
Sarat Haluan :		7.824 meter		
Sarat Buritan :		5.5885 meter		
Berat Ballas =		500 ton		
KG Ballas =		5 meter		
LCG Ballas =		4 meter		
Trim2 =		2.2355 meter		
LWL2 =		80.031 meter	80.031	0.00028%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk				
Volume Displacement1 :		4878.129289 meter ³		
Displacement 1:		5000.082522 ton	4250	17.64900%
a1 =		5.162		
b1 =		80		
c1 =		1.868		
LCB1 =		2.043 meter	2.044	0.05530%
KB1 =		3.071850503 meter	3.072	0.00487%
IL1 =		427015.6566 meter ⁴		
BML1 =		87.537 meter	87.561	0.02768%
KML1 =		90.609 meter	90.633	0.02690%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5367.09423 meter ³		
Displacement 2:	5501.271586 ton	4500	22.25048%
a2 =	5.5885		
b2 =	80		
c2 =	2.2355		
LCB2=	2.222 meter	2.224	0.07621%
KB2 =	3.38417 meter	3.384	0.00516%
IL2 =	427166.5102		
BML2 =	79.590	79.624	0.04282%
KML2 =	82.974	83.008	0.04087%

Perhitungan Total

Berat Muatan =	1500.082522 ton		
----------------	-----------------	--	--

Cari LCG

o =	-9.47176E-05		
p =	456462.9375		
q =	453050.5541		
r =	2500		
s =	71600.29347		
LCG muatan =	6.69539 meter		

Cari KG

U =	82.97407797		
V =	65.36010135		
W =	13.01522609		
KG =	4.598750529 meter	5	8.0250%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 2

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.124 meter		
Sarat Buritan :	5.068 meter		
Trim1 =	2.056 meter		
LWL1 =	80.026 meter	80.026	0.00052%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	7.918 meter		
Sarat Buritan :	5.4946 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Bailas =	4 meter		
Trim2 =	2.4234 meter		
LWL2 =	80.037 meter	80.037	0.00038%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4878.410273 meter ³		
Displacement 1:	5000.37053 ton	4250	17.65578%
a1 =	5.068		
b1 =	80		
c1 =	2.056		
LCB1 =	2.248 meter	2.248	0.02086%
KB1=	3.076892826 meter	3.077	0.00348%
IL1 =	427089.4501 meter ⁴		
BML1 =	87.547 meter	87.576	0.03329%
KML1 =	90.624 meter	90.653	0.03227%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5367.501011 meter ³		
Displacement 2:	5501.688537 ton	4500	22.25975%
a2 =	5.4946		
b2 =	80		
c2 =	2.4234		
LCB2=	2.409 meter	2.409	0.00324%
KB2 =	3.38964 meter	3.39	0.01066%
IL2 =	427254.0881		
BML2 =	79.600	79.64	0.04999%
KML2 =	82.990	83.03	0.04838%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1500.37053 ton

Cari LCG

o =	-0.000113029		
p =	456584.1756		
q =	453152.2905		
r =	2500		
s =	66053.22853		
LCG muatan =	7.36059 meter		

Cari KG

U =	82.98982623		
V =	66.29480024		
W =	12.00599199		
KG =	4.689033995 meter	5	6.2193%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 3

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.217 meter		
Sarat Buritan :	4.974 meter		
Trim1 =	2.243 meter		
LWL1 =	80.031 meter	80.031	0.00055%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.01 meter		
Sarat Buritan :	5.398 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.612 meter		
LWL2 =	80.043 meter	80.043	0.00046%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4878.316296 meter ³		
Displacement 1:	5000.274203 ton	4250	17.65351%
a1 =	4.974		
b1 =	80		
c1 =	2.243		
LCB1 =	2.453 meter	2.453	0.00717%
KB1 =	3.082140459 meter	3.082	0.00456%
IL1 =	427169.8704 meter ⁴		
BML1 =	87.565 meter	87.592	0.03080%
KML1 =	90.647 meter	90.675	0.03070%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5366.057884 meter ³		
Displacement 2:	5500.209332 ton	4500	22.22687%
a2 =	5.398		
b2 =	80		
c2 =	2.612		
LCB2=	2.597 meter	2.594	0.13316%
KB2 =	3.39440 meter	3.395	0.01757%
IL2 =	427349.1029		
BML2 =	79.639	79.658	0.02347%
KML2 =	83.034	83.053	0.02323%
Perhitungan Total			
Berat Muatan =	1500.274203 ton		
Cari LCG			
o =	-0.000132347		
p =	456702.7599		
q =	453260.6646		
r =	2500		
s =	61288.38403		
LCG muatan =	7.98665 meter		
Cari KG			
U =	83.03370515		
V =	66.75815194		
W =	11.14291845		
KG =	5.132634758 meter	5	2.6527%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 4

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	erorr
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.31 meter		
Sarat Buritan :	4.882 meter		
Trim1 =	2.428 meter		
LWL1 =	80.037 meter	80.037	0.00020%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.104 meter		
Sarat Buritan :	5.308 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.796 meter		
LWL2 =	80.049 meter	80.049	0.00019%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4879.045548 meter ³		
Displacement 1:	5001.021687 ton	4250	17.67110%
a1 =	4.882		
b1 =	80		
c1 =	2.428		
LCB1 =	2.655 meter	2.656	0.02662%
KB1=	3.088294073 meter	3.088	0.00952%
IL1 =	427256.3208 meter ⁴		
BML1 =	87.570 meter	87.61	0.04605%
KML1 =	90.658 meter	90.698	0.04416%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5368.075558 meter ³		
Displacement 2:	5502.277447 ton	4500	22.27283%
a2 =	5.308		
b2 =	80		
c2 =	2.796		
LCB2=	2.780 meter	2.779	0.02160%
KB2 =	3.40157 meter	3.402	0.01254%
IL2 =	427448.6669		
BML2 =	79.628	79.676	0.06035%
KML2 =	83.029	83.078	0.05839%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1501.021687 ton

Cari LCG

o =	-0.000153706		
p =	456851.2849		
q =	453382.3545		
r =	2500		
s =	57259.54591		
LCG muatan =	8.65221 meter		

Cari KG

U =	83.02948901		
V =	67.57556282		
W =	10.40651739		
KG =	5.047408811 meter	5	0.9482%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 5

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	erorr
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.404 meter		
Sarat Buritan :	4.789 meter		
Trim1 =	2.615 meter		
LWL1 =	80.043 meter	80.043	0.00034%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.197 meter		
Sarat Buritan :	5.215 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.982 meter		
LWL2 =	80.056 meter	80.056	0.00055%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4879.804882 meter ³		
Displacement t:	5001.800004 ton	4250	17.68941%
a1 =	4.789		
b1 =	80		
c1 =	2.615		
LCB1 =	2.860 meter	2.861	0.05018%
KB1 =	3.094986003 meter	3.095	0.00045%
IL1 =	427350.6718 meter ⁴		
BML1 =	87.575 meter	87.629	0.06121%
KML1 =	90.670 meter	90.724	0.05914%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5368.525702 meter ³		
Displacement 2:	5502.738844 ton	4500	22.28309%
a2 =	5.215		
b2 =	80		
c2 =	2.982		
LCB2=	2.965 meter	2.964	0.01719%
KB2 =	3.40825 meter	3.408	0.00737%
IL2 =	427556.2079		
BML2 =	79.641	79.696	0.06867%
KML2 =	83.050	83.105	0.06676%
Perhitungan Total			
Berat Muatan =	1501.800004 ton		
Cari LCG			
o =	-0.00017696		
p =	456999.8285		
q =	453514.9396		
r =	2500		
s =	53692.52698		
LCG muatan =	9.32715 meter		
Cari KG			
U =	83.0495216		
V =	68.33861901		
W =	9.757418715		
KG =	4.953483877 meter	5	0.9303%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 6

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.423 meter		
Sarat Buritan :	4.77 meter		
Trim1 =	2.653 meter		
LWL1 =	80.044 meter	80.044	0.00003%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.2155 meter		
Sarat Buritan :	5.19525 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.02025 meter		
LWL2 =	80.057 meter	80.057	0.00001%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4879.881117 meter ³		
Displacement 1:	5001.878145 ton	4250	17.69125%
a1 =	4.77		
b1 =	80		
c1 =	2.653		
LCB1 =	2.901 meter	2.901	0.00407%
KB1=	3.096354165 meter	3.096	0.01144%
IL1 =	427370.701 meter ⁴		
BML1 =	87.578 meter	87.633	0.06265%
KML1 =	90.674 meter	90.729	0.06012%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5368.121503 meter ³		
Displacement 2:	5502.324541 ton	4500	22.27388%
a2 =	5.19525		
b2 =	80		
c2 =	3.02025		
LCB2=	3.003 meter	3	0.09383%
KB2 =	3.40937 meter	3.41	0.01847%
IL2 =	427579.1826		
BML2 =	79.652	79.7	0.06079%
KML2 =	83.061	83.11	0.05906%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1501.878145 ton

Cari LCG

o =	-0.000181704		
p =	457028.1242		
q =	453542.5548		
r =	2500		
s =	53013.48672		
LCG muatan =	9.45370 meter		

Cari KG

U =	83.0609174		
V =	68.39851265		
W =	9.634743704		
KG =	5.027661049 meter	5	0.5532%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 7

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	erorr
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.441 meter		
Sarat Buritan :	4.751 meter		
Trim1 =	2.69 meter		
LWL1 =	80.045 meter	80.045	0.00027%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.234 meter		
Sarat Buritan :	5.177 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.057 meter		
LWL2 =	80.058 meter	80.058	0.00048%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4879.556175 meter ³		
Displacement 1:	5001.54508 ton	4250	17.68341%
a1 =	4.751		
b1 =	80		
c1 =	2.69		
LCB1 =	2.942 meter	2.942	0.00613%
KB1 =	3.097459345 meter	3.098	0.01745%
IL1 =	427390.4812 meter ⁴		
BML1 =	87.588 meter	87.637	0.05593%
KML1 =	90.685 meter	90.735	0.05462%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5368.315107 meter ³		
Displacement 2:	5502.522984 ton	4500	22.27829%
a2 =	5.177		
b2 =	80		
c2 =	3.057		
LCB2=	3.039 meter	3.038	0.04266%
KB2 =	3.41082 meter	3.411	0.00529%
IL2 =	427601.5326		
BML2 =	79.653	79.705	0.06544%
KML2 =	83.064	83.116	0.06298%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1501.54508 ton

Cari LCG

o =	-0.000186652
p =	457059.6839
q =	453567.3257
r =	2500
s =	52377.0929
LCG muatan =	9.59105 meter

Cari KG

U =	83.06365738		
V =	68.54158548		
W =	9.518741321		
KG =	5.003330578 meter	5	0.0666%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 8

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.46 meter		
Sarat Buritan :	4.733 meter		
Trim1 =	2.727 meter		
LWL1 =	80.046 meter	80.046	0.00058%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.253 meter		
Sarat Buritan :	5.1592 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.0938 meter		
LWL2 =	80.060 meter	80.06	0.00025%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4880.032727 meter ³		
Displacement 1:	5002.033545 ton	4250	17.69491%
a1 =	4.733		
b1 =	80		
c1 =	2.727		
LCB1 =	2.982 meter	2.983	0.03222%
KB1 =	3.099075125 meter	3.099	0.00242%
IL1 =	427410.5355 meter ⁴		
BML1 =	87.584 meter	87.642	0.06670%
KML1 =	90.683 meter	90.741	0.06434%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5368.890257 meter ³		
Displacement 2:	5503.112514 ton	4500	22.29139%
a2 =	5.1592		
b2 =	80		
c2 =	3.0938		
LCB2=	3.076 meter	3.075	0.01977%
KB2 =	3.41252 meter	3.413	0.01404%
IL2 =	427624.1843		
BML2 =	79.649	79.709	0.07587%
KML2 =	83.061	83.122	0.07333%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1502.033545 ton

Cari LCG

o =	-0.000191542		
p =	457094.2744		
q =	453597.4767		
r =	2500		
s =	51754.99395		
LCG muatan =	9.72234 meter		

Cari KG

U =	83.06104468		
V =	68.66954627		
W =	9.404676685		
KG =	4.986821726 meter	5	0.2636%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 9

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	erorr
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.479 meter		
Sarat Buritan :	4.714 meter		
Trim1 =	2.765 meter		
LWL1 =	80.048 meter	80.048	0.00029%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.271 meter		
Sarat Buritan :	5.13935 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.13165 meter		
LWL2 =	80.061 meter	80.061	0.00034%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4880.1122 meter ³		
Displacement 1:	5002.115005 ton	4250	17.69682%
a1 =	4.714		
b1 =	80		
c1 =	2.765		
LCB1 =	3.024 meter	3.024	0.01347%
KB1 =	3.100501463 meter	3.1	0.01618%
IL1 =	427431.4174 meter ⁴		
BML1 =	87.586 meter	87.646	0.06801%
KML1 =	90.687 meter	90.746	0.06513%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5368.248377 meter ³		
Displacement 2:	5502.454586 ton	4500	22.27677%
a2 =	5.13935		
b2 =	80		
c2 =	3.13165		
LCB2=	3.114 meter	3.112	0.05349%
KB2 =	3.41353 meter	3.414	0.01375%
IL2 =	427647.7655		
BML2 =	79.662	79.713	0.06343%
KML2 =	83.076	83.127	0.06139%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1502.115005 ton

Cari LCG

o =	-0.00019666		
p =	457121.7571		
q =	453626.2678		
r =	2500		
s =	51130.4084		
LCG muatan =	9.85956 meter		

Cari KG

U =	83.0759709		
V =	68.81029008		
W =	9.292290849		
KG =	4.973389973 meter	5	0.5322%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 10

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.4979 meter		
Sarat Buritan :	4.695 meter		
Trim1 =	2.8029 meter		
LWL1 =	80.049 meter	80.049	0.00011%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.29 meter		
Sarat Buritan :	5.12065 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.16935 meter		
LWL2 =	80.063 meter	80.063	0.00031%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4880.152534 meter ³		
Displacement 1:	5002.156347 ton	4250	17.69780%
a1 =	4.695		
b1 =	80		
c1 =	2.8029		
LCB1 =	3.065 meter	3.064	0.03468%
KB1=	3.101919147 meter	3.102	0.00261%
IL1 =	427452.5326 meter ⁴		
BML1 =	87.590 meter	87.65	0.06846%
KML1 =	90.692 meter	90.752	0.06621%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5368.467944 meter ³		
Displacement 2:	5502.679643 ton	4500	22.28177%
a2 =	5.12065		
b2 =	80		
c2 =	3.16935		
LCB2=	3.151 meter	3.148	0.09777%
KB2 =	3.41508 meter	3.415	0.00236%
IL2 =	427671.5386		
BML2 =	79.664	79.718	0.06823%
KML2 =	83.079	83.133	0.06533%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1502.156347 ton

Cari LCG

o =	-0.000201864		
p =	457155.4206		
q =	453655.1304		
r =	2500		
s =	50523.13898		
LCG muatan =	9.99689 meter		

Cari KG

U =	83.07869081		
V =	68.93916318		
W =	9.181551945		
KG =	4.957975683 meter	5	0.8405%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 11

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.5158 meter		
Sarat Buritan :	4.676 meter		
Trim1 =	2.8398 meter		
LWL1 =	80.050 meter	80.05	0.00048%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.308 meter		
Sarat Buritan :	5.1025 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.2055 meter		
LWL2 =	80.064 meter	80.064	0.00024%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4879.791543 meter ³		
Displacement 1:	5001.786332 ton	4250	17.68909%
a1 =	4.676		
b1 =	80		
c1 =	2.8398		
LCB1 =	3.106 meter	3.106	0.00985%
KB1 =	3.103072186 meter	3.103	0.00233%
IL1 =	427473.3671 meter ⁴		
BML1 =	87.601 meter	87.654	0.06076%
KML1 =	90.704 meter	90.758	0.05970%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5368.504397 meter ³		
Displacement 2:	5502.717007 ton	4500	22.28260%
a2 =	5.1025		
b2 =	80		
c2 =	3.2055		
LCB2=	3.187 meter	3.186	0.03311%
KB2 =	3.41648 meter	3.417	0.01535%
IL2 =	427694.602		
BML2 =	79.667	79.722	0.06853%
KML2 =	83.084	83.139	0.06635%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1501.786332 ton

Cari LCG

o =	-0.000207333		
p =	457186.8657		
q =	453631.1053		
r =	2500		
s =	49954.26263		
LCG muatan =	10.14865 meter		

Cari KG

U =	83.08384115		
V =	69.18023143		
W =	9.078108608		
KG =	4.825501114 meter	5	3.4900%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 12

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.535 meter		
Sarat Buritan :	4.657 meter		
Trim1 =	2.878 meter		
LWL1 =	80.052 meter	80.052	0.00031%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.327 meter		
Sarat Buritan :	5.0842 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.2428 meter		
LWL2 =	80.066 meter	80.066	0.00038%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4879.954758 meter ³		
Displacement 1:	5001.953627 ton	4250	17.69303%
a1 =	4.657		
b1 =	80		
c1 =	2.878		
LCB1 =	3.147 meter	3.146	0.04511%
KB1=	3.104614201 meter	3.105	0.01243%
IL1 =	427495.223 meter ⁴		
BML1 =	87.602 meter	87.659	0.06469%
KML1 =	90.707 meter	90.763	0.06180%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5368.885343 meter ³		
Displacement 2:	5503.107476 ton	4500	22.29128%
a2 =	5.0842		
b2 =	80		
c2 =	3.2428		
LCB2=	3.224 meter	3.223	0.03016%
KB2 =	3.41814 meter	3.418	0.00415%
IL2 =	427718.6737		
BML2 =	79.666	79.727	0.07626%
KML2 =	83.084	83.145	0.07296%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1501.953627 ton

Cari LCG

o =	-0.000213072		
p =	457222.0425		
q =	453711.7398		
r =	2500		
s =	49380.59484		
LCG muatan =	10.30635 meter		

Cari KG

U =	83.08433816		
V =	69.45117483		
W =	8.97322014		
KG =	4.659943198 meter	5	6.8011%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 13

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	erorr
L =	80 meter		
B =	10 meter		
H =	10 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3500 ton		
KG Kapal =	5 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	7.553 meter		
Sarat Buritan :	4.639 meter		
Trim1 =	2.914 meter		
LWL1 =	80.053 meter	80.053	0.00007%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	8.346 meter		
Sarat Buritan :	5.0678 meter		
Berat Ballas =	500 ton		
KG Ballas =	5 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.2782 meter		
LWL2 =	80.067 meter	80.067	0.00017%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4880.034149 meter ³		
Displacement 1:	5002.035003 ton	4250	17.69494%
a1 =	4.639		
b1 =	80		
c1 =	2.914		
LCB1 =	3.187 meter	3.187	0.00662%
KB1=	3.106039397 meter	3.106	0.00127%
IL1 =	427516.0879 meter ⁴		
BML1 =	87.605 meter	87.663	0.06600%
KML1 =	90.711 meter	90.769	0.06370%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	5370.022882 meter ³		
Displacement 2:	5504.273454 ton	4500	22.31719%
a2 =	5.0678		
b2 =	80		
c2 =	3.2782		
LCB2=	3.259 meter	3.26	0.04495%
KB2 =	3.42021 meter	3.42	0.00624%
IL2 =	427741.7772		
BML2 =	79.654	79.731	0.09705%
KML2 =	83.074	83.151	0.09280%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1502.035003 ton

Cari LCG

o =	-0.000218443		
p =	457261.1109		
q =	453740.5078		
r =	2500		
s =	48848.2326		
LCG muatan =	10.44763 meter		

Cari KG

U =	83.07383613		
V =	69.63324765		
W =	8.874601345		
KG =	4.565987136 meter	5	8.6803%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 14

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	3.834 meter		
Sarat Buritan :	1.923 meter		
Trim1 =	1.911 meter		
LWL1 =	80.023 meter	80.023	0.00022%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.054 meter		
Sarat Buritan :	2.04185 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.01215 meter		
LWL2 =	80.025 meter	80.025	0.00038%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4146.222437 meter ³		
Displacement 1:	4249.877998 ton	4250	0.00287%
a1 =	1.923		
b1 =	80		
c1 =	1.911		
LCB1 =	4.426 meter	4.425	0.02071%
KB1=	1.492112038 meter	1.492	0.00751%
IL1 =	768657.4395 meter ⁴		
BML1 =	185.387 meter	185.42	0.01758%
KML1 =	186.880 meter	186.913	0.01791%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4390.400062 meter ³		
Displacement 2:	4500.160063 ton	4500	0.00356%
a2 =	2.04185		
b2 =	80		
c2 =	2.01215		
LCB2=	4.401 meter	4.401	0.00310%
KB2 =	1.57931 meter	1.579	0.01969%
IL2 =	768728.8898		
BML2 =	175.093	175.133	0.02277%
KML2 =	176.672	176.712	0.02239%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1249.877998 ton

Cari LCG

o =	-0.000380301		
p =	795054.264		
q =	794215.1697		
r =	500		
s =	39771.04126		
LCG muatan =	14.99603 meter		

Cari KG

U =	176.6724411		
V =	165.6467095		
W =	8.837694815		
KG =	2.188036828 meter	2	9.4018%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 15

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	erorr
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	3.898 meter		
Sarat Buritan :	1.86 meter		
Trim1 =	2.038 meter		
LWL1 =	80.026 meter	80.026	0.00006%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.118 meter		
Sarat Buritan :	1.97895 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.13905 meter		
LWL2 =	80.029 meter	80.029	0.00051%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4147.10503 meter ³		
Displacement 1:	4250.782656 ton	4250	0.01842%
a1 =	1.86		
b1 =	80		
c1 =	2.038		
LCB1 =	4.719 meter	4.72	0.01629%
KB1=	1.499611208 meter	1.5	0.02592%
IL1 =	768747.7412 meter ⁴		
BML1 =	185.370 meter	185.442	0.03897%
KML1 =	186.869 meter	186.942	0.03887%



Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4391.372915 meter ³		
Displacement 2:	4501.157238 ton	4500	0.02572%
a2 =	1.97895		
b2 =	80		
c2 =	2.13905		
LCB2=	4.678 meter	4.678	0.00303%
KB2 =	1.58678 meter	1.587	0.01411%
IL2 =	768823.7435		
BML2 =	175.076	175.155	0.04514%
KML2 =	176.663	176.742	0.04486%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1250.782656 ton

Cari LCG

o =	-0.000431285		
p =	795186.6657		
q =	794340.956		
r =	500		
s =	37413.14695		
LCG muatan =	15.98665 meter		

Cari KG

U =	176.6627166		
V =	166.2031646		
W =	8.311895136		
KG =	2.14765695 meter	2	7.3828%



PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 16

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	3.961 meter		
Sarat Buritan :	1.796 meter		
Trim1 =	2.165 meter		
LWL1 =	80.029 meter	80.029	0.00036%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.181 meter		
Sarat Buritan :	1.91516 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.26584 meter		
LWL2 =	80.032 meter	80.032	0.00010%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4146.557592 meter ³		
Displacement 1:	4250.221532 ton	4250	0.00521%
a1 =	1.796		
b1 =	80		
c1 =	2.165		
LCB1 =	5.014 meter	5.013	0.02365%
KB1 =	1.507098199 meter	1.507	0.00652%
IL1 =	768843.855 meter ⁴		
BML1 =	185.417 meter	185.463	0.02460%
KML1 =	186.924 meter	186.97	0.02435%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4390.995352 meter ³		
Displacement 2:	4500.770236 ton	4500	0.01712%
a2 =	1.91516		
b2 =	80		
c2 =	2.26584		
LCB2=	4.956 meter	4.956	0.00453%
KB2 =	1.59422 meter	1.594	0.01388%
IL2 =	768924.3109		
BML2 =	175.114	175.178	0.03659%
KML2 =	176.708	176.772	0.03614%
Perhitungan Total			
Berat Muatan =	1250.221532 ton		
Cari LCG			
o =	-0.000486568		
p =	795322.642		
q =	794470.4525		
r =	500		
s =	35321.15298		
LCG muatan =	17.01479 meter		
Cari KG			
U =	176.7081189		
V =	166.9404125		
W =	7.847801848		
KG =	1.919904577 meter	2	4.0048%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 17

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	4.025 meter		
Sarat Buritan :	1.733 meter		
Trim1 =	2.292 meter		
LWL1 =	80.033 meter	80.033	0.00022%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.245 meter		
Sarat Buritan :	1.85217 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.39283 meter		
LWL2 =	80.036 meter	80.036	0.00028%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4147.461118 meter ³		
Displacement 1:	4251.147645 ton	4250	0.02700%
a1 =	1.733		
b1 =	80		
c1 =	2.292		
LCB1 =	5.307 meter	5.308	0.01133%
KB1 =	1.515528482 meter	1.515	0.03488%
IL1 =	768945.7815 meter ⁴		
BML1 =	185.402 meter	185.488	0.04660%
KML1 =	186.917 meter	187.004	0.04647%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4391.925658 meter ³		
Displacement 2:	4501.7238 ton	4500	0.03831%
a2 =	1.85217		
b2 =	80		
c2 =	2.39283		
LCB2=	5.233 meter	5.235	0.04475%
KB2 =	1.60255 meter	1.602	0.03420%
IL2 =	769030.8448		
BML2 =	175.101	175.202	0.05761%
KML2 =	176.704	176.804	0.05678%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1251.147645 ton

Cari LCG

o =	-0.000543656		
p =	795470.8438		
q =	794612.1614		
r =	500		
s =	33448.16691		
LCG muatan =	17.98929 meter		

Cari KG

U =	176.7036094		
V =	167.2307671		
W =	7.430079764		
KG =	2.04276252 meter	2	2.1381%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 18

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	4.089 meter		
Sarat Buritan :	1.669 meter		
Trim1 =	2.42 meter		
LWL1 =	80.037 meter	80.037	0.00051%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.309 meter		
Sarat Buritan :	1.78827 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.52073 meter		
LWL2 =	80.040 meter	80.04	0.00037%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4147.656381 meter ³		
Displacement 1:	4251.347791 ton	4250	0.03171%
a1 =	1.669		
b1 =	80		
c1 =	2.42		
LCB1 =	5.604 meter	5.603	0.01424%
KB1 =	1.524257439 meter	1.524	0.01689%
IL1 =	769054.3931 meter ⁴		
BML1 =	185.419 meter	185.515	0.05174%
KML1 =	186.943 meter	187.039	0.05118%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4392.213127 meter ³		
Displacement 2:	4502.018455 ton	4500	0.04485%
a2 =	1.78827		
b2 =	80		
c2 =	2.52073		
LCB2=	5.512 meter	5.513	0.01344%
KB2 =	1.61116 meter	1.611	0.00998%
IL2 =	769144.0182		
BML2 =	175.115	175.227	0.06371%
KML2 =	176.727	176.838	0.06304%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1251.347791 ton

Cari LCG

o =	-0.000605232		
p =	795626.094		
q =	794760.9014		
r =	500		
s =	31752.58879		
LCG muatan =	18.99665 meter		

Cari KG

U =	176.7265288		
V =	167.6590144		
W =	7.052967265		
KG =	2.014547131 meter	2	0.7274%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 19

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	4.152 meter		
Sarat Buritan :	1.605 meter		
Trim1 =	2.547 meter		
LWL1 =	80.041 meter	80.041	0.00058%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.372 meter		
Sarat Buritan :	1.72437 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.64763 meter		
LWL2 =	80.044 meter	80.044	0.00025%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4147.140229 meter ³		
Displacement 1:	4250.818735 ton	4250	0.01926%
a1 =	1.605		
b1 =	80		
c1 =	2.547		
LCB1 =	5.899 meter	5.898	0.01536%
KB1 =	1.533153205 meter	1.533	0.00999%
IL1 =	769167.9935 meter ⁴		
BML1 =	185.469 meter	185.542	0.03908%
KML1 =	187.003 meter	187.076	0.03921%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk:

Volume Displacement2 :	4391.789598 meter ³		
Displacement 2:	4501.584338 ton	4500	0.03521%
a2 =	1.72437		
b2 =	80		
c2 =	2.64763		
LCB2=	5.791 meter	5.792	0.02391%
KB2 =	1.61991 meter	1.62	0.00532%
IL2 =	769262.1355		
BML2 =	175.159	175.254	0.05412%
KML2 =	176.779	176.874	0.05367%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1250.818735 ton

Cari LCG

o =	-0.000670044		
p =	795785.8674		
q =	794914.3497		
r =	500		
s =	30232.2455		
LCG muatan =	20.00799 meter		

Cari KG

U =	176.7790644		
V =	168.0749006		
W =	6.715912273		
KG =	1.988251501 meter	2	0.5874%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 20

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	4.216 meter		
Sarat Buritan :	1.542 meter		
Trim1 =	2.674 meter		
LWL1 =	80.045 meter	80.045	0.00040%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.436 meter		
Sarat Buritan :	1.66145 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.77455 meter		
LWL2 =	80.048 meter	80.048	0.00012%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4148.075239 meter ³		
Displacement 1:	4251.777119 ton	4250	0.04181%
a1 =	1.542		
b1 =	80		
c1 =	2.674		
LCB1 =	6.192 meter	6.193	0.01672%
KB1 =	1.542983212 meter	1.543	0.00109%
IL1 =	769287.4091 meter ⁴		
BML1 =	185.456 meter	185.572	0.06225%
KML1 =	186.999 meter	187.115	0.06175%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4392.803522 meter ³		
Displacement 2:	4502.62361 ton	4500	0.05830%
a2 =	1.66145		
b2 =	80		
c2 =	2.77455		
LCB2=	6.067 meter	6.07	0.04734%
KB2 =	1.62957 meter	1.629	0.03512%
IL2 =	769386.0796		
BML2 =	175.147	175.282	0.07705%
KML2 =	176.777	176.912	0.07659%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1251.777119 ton

Cari LCG

o =	-0.000737236		
p =	795958.0817		
q =	795080.015		
r =	500		
s =	28850.84026		
LCG muatan =	20.99115 meter		

Cari KG

U =	176.7765087		
V =	168.3666513		
W =	6.407562069		
KG =	2.002295279 meter	2	0.1148%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 21

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	13 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	4.28 meter		
Sarat Buritan :	1.478 meter		
Trim1 =	2.802 meter		
LWL1 =	80.049 meter	80.049	0.00007%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.5 meter		
Sarat Buritan :	1.597536 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	2.902464 meter		
LWL2 =	80.053 meter	80.053	0.00046%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4148.302127 meter ³		
Displacement 1:	4252.009681 ton	4250	0.04729%
a1 =	1.478		
b1 =	80		
c1 =	2.802		
LCB1 =	6.488 meter	6.488	0.00561%
KB1 =	1.553127475 meter	1.553	0.00821%
IL1 =	769413.65 meter ⁴		
BML1 =	185.477 meter	185.602	0.06748%
KML1 =	187.030 meter	187.155	0.06685%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4393.114389 meter ³		
Displacement 2:	4502.942249 ton	4500	0.06538%
a2 =	1.597536		
b2 =	80		
c2 =	2.902464		
LCB2=	6.347 meter	6.349	0.03548%
KB2 =	1.63952 meter	1.639	0.03152%
IL2 =	769516.8724		
BML2 =	175.164	175.312	0.08424%
KML2 =	176.804	176.951	0.08317%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1252.009681 ton

Cari LCG

o =	-0.000808728		
p =	796137.4425		
q =	795252.9044		
r =	500		
s =	27580.92247		
LCG muatan =	21.99448 meter		

Cari KG

U =	176.8038315		
V =	168.668453		
W =	6.125089095		
KG =	2.01028935 meter	2	0.5145%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 22

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	erorr
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	4.343 meter		
Sarat Buritan :	1.414 meter		
Trim1 =	2.929 meter		
LWL1 =	80.054 meter	80.054	0.00050%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.563 meter		
Sarat Buritan :	1.533624 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.029376 meter		
LWL2 =	80.057 meter	80.057	0.00042%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4147.817231 meter ³		
Displacement 1:	4251.512662 ton	4250	0.03559%
a1 =	1.414		
b1 =	80		
c1 =	2.929		
LCB1 =	6.784 meter	6.783	0.00922%
KB1=	1.563432749 meter	1.564	0.03627%
IL1 =	769544.7448 meter ⁴		
BML1 =	185.530 meter	185.635	0.05653%
KML1 =	187.093 meter	187.198	0.05583%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4392.715309 meter ³		
Displacement 2:	4502.533192 ton	4500	0.05629%
a2 =	1.533624		
b2 =	80		
c2 =	3.029376		
LCB2=	6.625 meter	6.627	0.02635%
KB2 =	1.64960 meter	1.65	0.02449%
IL2 =	769652.4734		
BML2 =	175.211	175.343	0.07523%
KML2 =	176.861	176.992	0.07419%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1251.512662 ton

Cari LCG

o =	-0.000883524		
p =	796321.1456		
q =	795430.3175		
r =	500		
s =	26427.00558		
LCG muatan =	23.00358 meter		

Cari KG

U =	176.8605941		
V =	168.9747391		
W =	5.869363856		
KG =	2.016591195 meter	2	0.8296%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 23

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	erorr
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	4.407 meter		
Sarat Buritan :	1.351 meter		
Trim1 =	3.056 meter		
LWL1 =	80.058 meter	80.058	0.00044%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.627 meter		
Sarat Buritan :	1.47074 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.15626 meter		
LWL2 =	80.062 meter	80.062	0.00030%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4148.783727 meter ³		
Displacement 1:	4252.50332 ton	4250	0.05890%
a1 =	1.351		
b1 =	80		
c1 =	3.056		
LCB1 =	7.077 meter	7.078	0.02075%
KB1=	1.574661746 meter	1.575	0.02148%
IL1 =	769681.6576 meter ⁴		
BML1 =	185.520 meter	185.668	0.07980%
KML1 =	187.094 meter	187.243	0.07931%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4393.788408 meter ³		
Displacement 2:	4503.633119 ton	4500	0.08074%
a2 =	1.47074		
b2 =	80		
c2 =	3.15626		
LCB2=	6.901 meter	6.906	0.06536%
KB2 =	1.66058 meter	1.66	0.03482%
IL2 =	769793.8535		
BML2 =	175.200	175.375	0.09951%
KML2 =	176.861	177.035	0.09825%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1252.50332 ton

Cari LCG

o =	-0.000960852		
p =	796517.334		
q =	795619.9533		
r =	500		
s =	25366.1733		
LCG muatan =	23.99132 meter		

Cari KG

U =	176.8610615		
V =	169.248546		
W =	5.632380044		
KG =	1.980135423 meter	2	0.9932%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 24

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	4.471 meter		
Sarat Buritan :	1.287 meter		
Trim1 =	3.184 meter		
LWL1 =	80.063 meter	80.063	0.00042%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.691 meter		
Sarat Buritan :	1.40681 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.28419 meter		
LWL2 =	80.067 meter	80.067	0.00048%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4149.042226 meter ³		
Displacement 1:	4252.768281 ton	4250	0.06514%
a1 =	1.287		
b1 =	80		
c1 =	3.184		
LCB1 =	7.373 meter	7.373	0.00094%
KB1=	1.586221315 meter	1.586	0.01395%
IL1 =	769825.5365 meter ⁴		
BML1 =	185.543 meter	185.703	0.08619%
KML1 =	187.129 meter	187.289	0.08534%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4394.121227 meter ³		
Displacement 2:	4503.974258 ton	4500	0.08832%
a2 =	1.40681		
b2 =	80		
c2 =	3.28419		
LCB2=	7.181 meter	7.184	0.03987%
KB2 =	1.67185 meter	1.672	0.00874%
IL2 =	769942.2805		
BML2 =	175.221	175.408	0.10661%
KML2 =	176.893	177.08	0.10569%
Perhitungan Total			
Berat Muatan =	1252.768281 ton		
Cari LCG			
o =	-0.001042247		
p =	796720.8241		
q =	795817.0066		
r =	500		
s =	24379.64415		
LCG muatan =	24.98874 meter		
Cari KG			
U =	176.8928459		
V =	169.4519328		
W =	5.412918182		
KG =	2.027994885 meter	2	1.3997%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 25

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	erorr
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	4.534 meter		
Sarat Buritan :	1.223 meter		
Trim1 =	3.311 meter		
LWL1 =	80.068 meter	80.068	0.00061%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.754 meter		
Sarat Buritan :	1.34287 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.41113 meter		
LWL2 =	80.073 meter	80.073	0.00039%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4148.588553 meter ³		
Displacement 1:	4252.303267 ton	4250	0.05419%
a1 =	1.223		
b1 =	80		
c1 =	3.311		
LCB1 =	7.668 meter	7.668	0.00451%
KB1 =	1.597936831 meter	1.598	0.00395%
IL1 =	769974.1346 meter ⁴		
BML1 =	185.599 meter	185.74	0.07588%
KML1 =	187.197 meter	187.338	0.07527%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4393.735076 meter ³		
Displacement 2:	4503.578453 ton	4500	0.07952%
a2 =	1.34287		
b2 =	80		
c2 =	3.41113		
LCB2=	7.460 meter	7.463	0.04221%
KB2 =	1.68326 meter	1.683	0.01534%
IL2 =	770095.3971		
BML2 =	175.271	175.443	0.09790%
KML2 =	176.954	177.126	0.09682%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1252.303267 ton

Cari LCG

o =	-0.001126877		
p =	796928.4675		
q =	796018.3999		
r =	500		
s =	23473.94874		
LCG muatan =	25.99016 meter		

Cari KG

U =	176.9544987		
V =	169.6472902		
W =	5.212288181		
KG =	2.094920375 meter	2	4.7460%

PROSES PERHITUNGAN KG MANUAL

CONTOH 26

Ukuran Utama	Nilai Satuan	Nilai Maxsurf	error
L =	80 meter		
B =	18 meter		
H =	6 meter		
Kondisi Kapal Kosong			
Berat Kapal =	3000 ton		
KG Kapal =	2 meter		
LCG kapal =	0 meter		
Kondisi Muatan Masuk			
Sarat Haluan :	4.598 meter		
Sarat Buritan :	1.159 meter		
Trim1 =	3.439 meter		
LWL1 =	80.074 meter	80.074	0.00015%
Kondisi Ballas Masuk			
Sarat Haluan :	4.818 meter		
Sarat Buritan :	1.27895 meter		
Berat Ballas =	250 ton		
KG Ballas =	2 meter		
LCG Ballas =	4 meter		
Trim2 =	3.53905 meter		
LWL2 =	80.078 meter	80.078	0.00030%
Perhitungan Kapal pada kondisi Muatan Masuk			
Volume Displacement1 :	4148.868094 meter ³		
Displacement 1:	4252.589797 ton	4250	0.06094%
a1 =	1.159		
b1 =	80		
c1 =	3.439		
LCB1 =	7.965 meter	7.963	0.02256%
KB1=	1.610443344 meter	1.611	0.03455%
IL1 =	770129.7929 meter ⁴		
BML1 =	185.624 meter	185.777	0.08232%
KML1 =	187.235 meter	187.388	0.08191%

Perhitungan Kapal pada kondisi Ballas Masuk

Volume Displacement2 :	4394.097349 meter ³		
Displacement 2:	4503.949783 ton	4500	0.08777%
a2 =	1.27895		
b2 =	80		
c2 =	3.53905		
LCB2=	7.739 meter	7.741	0.01940%
KB2 =	1.69543 meter	1.695	0.02525%
IL2 =	770255.5801		
BML2 =	175.293	175.479	0.10586%
KML2 =	176.989	177.175	0.10517%

Perhitungan Total

Berat Muatan = 1252.589797 ton

Cari LCG

o =	-0.00121511		
p =	797148.092		
q =	796231.5927		
r =	500		
s =	22627.0446		
LCG muatan =	26.98825 meter		

Cari KG

U =	176.9886722		
V =	169.8313506		
W =	5.023822577		
KG =	2.133499024 meter	2	6.6750%