

33917/H/08



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RSte
623.812
Sue
A-1

2008

TUGAS AKHIR - LK 1347

PEMBUATAN PROGRAM PERHITUNGAN DAMAGE STABILITY MENURUT SOLAS DENGAN MENGUNAKAN METODE LOST BUOYANCY

ARIF SULISTIAWAN
NRP. 4102 100 005

Dosen Pembimbing
Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2008

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	10-9-2008
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	252747

LEMBAR PENGESAHAN

PEMBUATAN PROGRAM PERHITUNGAN DAMAGE STABILITY MENURUT SOLAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE LOST BUOYANCY

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

ARIF SULISTIAWAN
Nrp. 4102 100 005

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D



SURABAYA, JULI 2008

LEMBAR PENGESAHAN

PEMBUATAN PROGRAM PERHITUNGAN DAMAGE STABILITY MENURUT SOLAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE LOST BUOYANCY

TUGAS AKHIR

Tidak ada revisi sesuai hasil sidang Tugas Akhir
pada
Tanggal 15 Juli 2008
Bidang Studi Perencanaan
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ARIF SULISTIAWAN
Nrp. 4102 100 005

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

1. Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D



22
7-08

SURABAYA, JULI 2008

PEMBUATAN PROGRAM PERHITUNGAN DAMAGE STABILITY MENURUT SOLAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE LOST BUOYANCY

Nama Mahasiswa : ARIF SULISTIAWAN
NRP : 4102.100.005
Jurusan : Teknik Perkapalan, FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D

ABSTRAK

Stabilitas kapal bocor atau lebih dikenal dengan *Damage Stability* adalah stabilitas kapal pada saat kapal mengalami kebocoran, yaitu masuknya air ke dalam kompartemen atau beberapa kompartemen yang berdekatan. Perhitungan ini dibuat untuk menggantikan Perhitungan *Floodable Length* dan *Intact Stability* yang tidak cukup lagi menjamin keselamatan kapal jika terjadi kebocoran. Pada perkembangan terakhirnya (1990-an), *damage stability* dihitung dengan menggunakan pendekatan Probabilistik yang lebih mendekati realitas kejadian sebenarnya ketika kapal mengalami kebocoran dibandingkan metode terdahulu yaitu pendekatan Deterministik. Perhitungan ini resmi dipakai dan disyaratkan oleh IMO mulai 1 Februari 1992. *Damage stability* berbasis pendekatan probabilistik ini mempunyai proses perhitungan yang cukup panjang, sehingga program komputer adalah pilihan yang paling realistis untuk mengatasi masalah ini menjadi perhitungan yang praktis dan efisien.

Dalam perhitungan kondisi kesetimbangan setelah kebocoran, metode yang dapat digunakan adalah Metode *Lost Buoyancy*. Metode ini mengansumsikan bahwa ketika mengalami kebocoran, maka besar *buoyancy* kapal akan berkurang. Hal ini terjadi karena ruang kosong dalam kapal akan terisi air sehingga dianggap tidak lagi menjadi bagian yang memberi kontribusi pada besarnya *buoyancy*, sehingga kapal akan mengalami *sinkage* dan sarat kapal bertambah.

Sesuai perhitungan probabilistik untuk kapal kargo dalam *SOLAS Consolidated Edition 2004 Chapter II-1 Part B-1*, terdapat dua index yang dibandingkan, yaitu index R (*Required subdivision index*) yang tergantung pada panjang penyekatan kapal dan index A (*Attained subdivision index*). Nilai index A tergantung pada faktor p_i yang menunjukkan kemungkinan bahwa kompartemen atau beberapa kompartemen berhubungan mengalami kebocoran, serta faktor s_i yang menunjukkan kemungkinan kapal akan selamat jika terjadi kebocoran. Dengan membandingkan nilai index A dan index R maka dapat diketahui apakah *damage stability* dan penyekatan kapal sudah memenuhi standar SOLAS.

Kata kunci : *damage stability, subdivision, kebocoran, metode lost buoyancy*

DAMAGE STABILITY CALCULATION PROGRAM ACCORDING TO SOLAS USING LOST BUOYANCY METHOD

Student Name : ARIF SULISTIAWAN
NRP : 4102.100.005
Departement : Naval Architect and Shipbuilding, FTK – ITS
Promotor : Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D

ABSTRACT

Damage Stability is the stability of ship when there is flooding due to damage, and water entered a compartement or a group of compartements. This calculation replaces the Floodable Length and Intact Stability calculation which is considered not sufficient to guarantee ship's safety when flooding happens. In the latest development, damage stability was calculated using Probabilistic approach which is closer to the reality than the ealier, Deterministic approach. This method was adopted by IMO since February 1st, 1992. In the calculation of damage stability based on probabilistic approach is very tedious, so using a computer program was the only practicable choice.

The equilibrium condition after flooding can be calculated by using Lost Buoyancy Method. This method is that the buoyancy of the ship will decrease. The flooding compartement together with internal water is treated as not belonging to the ship, as a result don't have contribution to buoyancy of the ship anymore.

In SOLAS there are two values of index that must be compared, index A (Attained subdivision index) and index R (Required subdivision index). Value of index R depends on subdivision length of the ship. Value of index A depends on factor p_i and factor s_i . Factor p_i represent to probability that only compartement or group of compartements under consideration may be flooded, factor s_i represent to probability of survival after flooding which shown by residual stability curve. Value of index A will be compared with value of index R to know that ship complies with SOLAS requirement or not.

Key words : damage stability, subdivision, flooding, lost buoyancy method

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Atas berkah dan rahmat Tuhan Yang Maha Kuasa, syukur alhamdulillah, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul **"PEMBUATAN PROGRAM PERHITUNGAN DAMAGE STABILITY MENURUT SOLAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE LOST BUOYANCY"**. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mengalami kendala, antara lainnya adalah penyusunan program perhitungan ini menggunakan Visual Basic 6.0 oleh penulis sendiri yang memakan waktu lama, pengumpulan data dan petunjuk perhitungan SOLAS 2004 Chapter II-1 Part B-1. Namun dengan usaha yang lebih banyak dan atas bimbingan serta bantuan dari beberapa pihak, akhirnya kendala-kendala tersebut dapat teratasi.

Tak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan, antara lain kepada :

1. Bapak Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan arahan serta bimbingan di dalam pengerjaan Tugas Akhir ini..
2. Bapak Firmanto Hadi ST. M.Sc. selaku dosen wali selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Perkapalan.
3. Bapak Ir. Triwilaswandio W.P., M.Sc. dan Aries Sulisetyono, ST, MASc, Phd selaku ketua dan sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Ayah, Ibu, dan adik yang penulis sayangi, atas kesabarannya, kasih sayang, bimbingan, serta doanya selama ini.
5. Yang tercinta, Nur Tri Wahyuni beserta keluarga, atas dorongan, semangat, dan kasih sayangnya kepada penulis.
6. Teman-teman angkatan 2002 Teknik Perkapalan ITS, atas masa-masa yang indah di kampus perjuangan ini.
7. Arpikal Crew : Dalbo, Buset, Tutus, Zaini, Aam, Andre, Yogi, Kus, dan Aka yang selama ini banyak berbagi suka dan duka bersama. Karena bersama mereka, semangat penulis selama sebagai mahasiswa Teknik Perkapalan tak pernah padam.
8. Teman seperjuangan di kos Bang Lahi, Keputih Gang Langgar 14A.
9. Rekan-rekan kerja penulis selama ini, baik selama masih di NaSDEC, maupun di JASALINDO yang banyak memberikan bantuan, dorongan dan masukannya.
10. Semua pihak yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, penulis ucapkan terima kasih sebesar-besarnya.

Semoga tugas akhir ini banyak membantu dan menjadi tambahan ilmu bagi para pembaca, terutama bagi mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan, maupun para dosen pengajar di Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. Penulis menyadari masih ada banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, kritik dan saran sangat penulis harapkan, sehingga dapat menjadikan kesempurnaan bagi karya-karya penulis selanjutnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2008

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN.....	2
1.4 BATASAN MASALAH	2
1.5 MANFAAT	2
1.6 METODOLOGI DAN MODEL ANALISIS	2
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 DASAR-DASAR KEBOCORAN.....	7
2.1.1 Pengaruh Kebocoran terhadap Kapal	7
2.1.2 Pengaruh Sekat Kedap terhadap Kebocoran	8
2.1.3 Munculnya Damage Stability	8
2.1.4 Pendekatan Probabilistik	9
2.1.5 Metode Perhitungan Damage Stability.....	10
2.2 PROSEDUR PERHITUNGAN METODE LOST BUOYANCY	10
2.2.1 Perubahan Sarat Rata-Rata	12
2.2.2 Koordinat Pusat Luasan Damaged Waterplane.....	12
2.2.3 Momen Inersia Luasan Damaged Waterplane	12
2.2.4 Perubahan Pusat Buoyancy Volume Kompartemen Bocor.....	13
2.2.5 Jarak Pusat Gravitasi di Atas Pusat Buoyancy	14
2.2.6 Perubahan Radius Metacentre	14
2.2.7 Tinggi Metacentre	15
2.2.8 Perubahan Sudut Heel dan Trim Akibat Kebocoran	15
2.2.9 Sarat Midship Setelah Kebocoran	16
2.2.10 Perubahan Sarat Depan dan Belakang.....	16
2.3 PROSEDUR PERHITUNGAN KURVA STABILITAS.....	16
2.3.1 Perhitungan Radius Metacentre Melintang	16
2.3.2 Perhitungan Lengan Stabilitas Statis.....	22
2.4 SOLAS CONSOLIDATED EDITION 2004 CHAPTER II-1 PART B-1	24
2.4.1 Indeks Subdivisi	25
2.4.2 Faktor p_i	26
2.4.3 Faktor s_i	28
2.4.4 Permeabilitas	29

BAB III ALUR PROGRAM DAN VALIDASI.....	31
3.1 ALUR PROGRAM	31
3.1.1 Input Data	32
3.1.2 Perhitungan Kurva Hidrostatik.....	37
3.1.3 Perhitungan Kurva Bonjean	37
3.1.4 Menghitung Kondisi Kesetimbangan Setelah Kebocoran.....	38
3.1.5 Mencari Perpotongan Dua Garis	38
3.1.6 Menghitung Ordinat Garis Air Sisi Tercelup dan Timbul.....	42
3.1.7 Menghitung Radius Metacentre Melintang	50
3.1.8 Perhitungan Lengan Stabilitas Statis.....	52
3.1.9 Mencari Sudut Progressive Flooding	55
3.1.10 Menyeleksi Kasus Kebocoran	55
3.1.11 Membuat Kurva Stabilitas Kondisi Kebocoran.....	56
3.1.12 Menghitung Factor s.....	58
3.1.13 Menghitung Faktor p	58
3.1.14 Menghitung SOLAS Requirement	60
3.1.15 Laporan Hasil Perhitungan Program	62
3.1.16 Petunjuk Penggunaan Program.....	62
3.2 VALIDASI	63
3.2.1 Perhitungan Hidrostatik.....	63
3.2.2 Perhitungan Kondisi Kesetimbangan dengan Metode Lost Buoyancy	65
3.2.3 Perhitungan Ordinat Garis Air Sisi Tercelup dan Sisi Timbul.....	72
3.2.4 Perhitungan Kurva Stabilitas.....	76
3.3 VARIASI PENYEKATAN	80
3.3.1 Ruang Muat Tanpa Sekat	80
3.3.2 Ruang Muat dengan 1 Sekat Melintang	81
3.3.3 Ruang Muat dengan 1 Sekat Memanjang.....	82
3.3.4 Ruang Muat dengan 1 Sekat Memanjang dan 1 Sekat Melintang.....	83
3.3.5 Ruang Muat dengan 1 Sekat Memanjang dan 2 Sekat Melintang.....	84
3.3.6 Ruang Muat dengan 2 Sekat Memanjang dan 1 Sekat Melintang.....	85
3.4 STUDI KASUS	87
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....	91
4.1 KESIMPULAN	91
4.2 SARAN.....	92
DAFTAR PUSTAKA.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram alir program	5
Gambar 2.1	Ilustrasi lost buoyancy method.....	10
Gambar 2.2	Ilustrasi added weight method.....	10
Gambar 2.3	Kurva stabilitas statis kebocoran	11
Gambar 2.4	Pandangan atas kompartemen bocor	12
Gambar 2.5	Pandangan samping kondisi sarat kapal karena pengaruh kebocoran.....	13
Gambar 2.6	Pandangan depan kondisi sarat kapal karena pengaruh kebocoran.....	13
Gambar 2.7	Ordinat sisi tercelup dan sisi timbul.....	16
Gambar 2.8	Perhitungan ordinat a dan b untuk tiap kondisi kemiringan.....	17
Gambar 2.9	Kondisi garis air memotong centreline di atas geladak.....	19
Gambar 2.10	Kondisi garis air memotong centreline tepat pada geladak.....	19
Gambar 2.11	Kondisi garis air memotong centreline di antara geladak dan keel untuk body plan dengan 2 titik potong	20
Gambar 2.12	Kondisi garis air memotong centreline di antara geladak dan keel untuk body plan dengan 4 titik potong	20
Gambar 2.13	Kondisi garis air memotong centreline tepat pada keel untuk body plan dengan 2 titik potong	21
Gambar 2.14	Kondisi garis air memotong centreline tepat pada keel untuk body plan dengan 4 titik potong	21
Gambar 2.15	Kondisi garis air memotong centreline di bawah keel untuk body plan dengan 2 titik potong	21
Gambar 2.16	Kondisi garis air memotong centreline di bawah keel untuk body plan dengan 4 titik potong	21
Gambar 2.17	Kondisi garis air memotong centreline di bawah keel untuk body plan dengan 2 titik potong	23
Gambar 2.18	Kondisi garis air memotong centreline di bawah keel untuk body plan dengan 2 titik potong	26
Gambar 2.19	Kondisi garis air memotong centreline di bawah keel untuk body plan dengan 2 titik potong	26
Gambar 3.1	Tampilan menu pembuka	31
Gambar 3.2	Tampilan menu utama	31
Gambar 3.3	Tampilan file input data kapal	32
Gambar 3.4	Tampilan ukuran utama.....	33
Gambar 3.5	Tampilan waterline kapal	34
Gambar 3.6	Tampilan section kapal.....	34
Gambar 3.7	Tampilan halfbreadth kapal	34
Gambar 3.8	Tampilan data input kompartemen.....	35
Gambar 3.9	Tampilan kompartemen kapal	35
Gambar 3.10	Tampilan data input kasus.....	36
Gambar 3.11	Tampilan kasus kebocoran kapal.....	36
Gambar 3.12	Tampilan hidrostatis kapal	37
Gambar 3.13	Tampilan kurva bonjean untuk tiap section.....	37
Gambar 3.14	Diagram alir perhitungan kondisi kesetimbangan setelah kebocoran menggunakan metode lost buoyancy (I).....	39
Gambar 3.15	Diagram alir perhitungan kondisi kesetimbangan setelah kebocoran menggunakan metode lost buoyancy (II)	40
Gambar 3.16	Titik perpotongan antara dua garis.....	41

Gambar 3.17	Perpotongan antara garis air dengan body plan kapal	42
Gambar 3.18	Titik pusat luasan bidang air secara melintang.....	44
Gambar 3.19	Perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik dan 4 titik jika garis air memotong centreline di atas geladak	46
Gambar 3.20	Perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik dan 4 titik jika garis air memotong centreline tepat pada geladak	46
Gambar 3.21	Perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik jika garis air memotong centreline di antara geladak dan keel.....	47
Gambar 3.22	Perhitungan program untuk bodyplan tipe 4 titik jika garis air memotong centreline di antara geladak dan keel.....	47
Gambar 3.23	Perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik jika garis air memotong centreline tepat pada keel	48
Gambar 3.24	Perhitungan program untuk bodyplan tipe 4 titik jika garis air memotong centreline tepat pada keel	48
Gambar 3.25	Perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik jika garis air memotong centreline di bawah keel	49
Gambar 3.26	Perhitungan program untuk bodyplan tipe 4 titik jika garis air memotong centreline di bawah keel	49
Gambar 3.27	Diagram alir perhitungan radius metacentre melintang	51
Gambar 3.28	Diagram alir perhitungan lengan stabilitas statis.....	54
Gambar 3.29	Grafik lengan stabilitas setelah kebocoran	56
Gambar 3.30	Diagram alir perhitungan faktor s.....	57
Gambar 3.31	Tampilan hasil perhitungan kurva stabilitas tiap kasus kebocoran	58
Gambar 3.32	Diagram alir perhitungan faktor p (I)	59
Gambar 3.33	Diagram alir perhitungan faktor p (II).....	60
Gambar 3.34	Diagram alir perhitungan SOLAS Requirement	61
Gambar 3.35	Tampilan hasil perhitungan SOLAS requirement	62
Gambar 3.36	Tampilan laporan hasil perhitungan program.....	62
Gambar 3.37	Ukuran utama model	63
Gambar 3.38	Pembagian kompartemen model pada sarat DSSL	65
Gambar 3.39	Pembagian kompartemen model pada sarat PLL	65
Gambar 3.40	Perhitungan hidrostatis model pada sarat awal	66
Gambar 3.41	Perhitungan kompartemen model pada sarat awal	67
Gambar 3.42	Kurva displacement model.....	68
Gambar 3.43	Perhitungan hidrostatis model pada kondisi setelah kebocoran.....	68
Gambar 3.44	Perhitungan kompartemen model pada kondisi setelah kebocoran, sarat T ₁	69
Gambar 3.45	Hasil perhitungan kurva stabilitas kondisi kebocoran.....	71
Gambar 3.46	Ukuran utama ponton	72
Gambar 3.47	Contoh kasus untuk perhitungan ordinat garis air	72
Gambar 3.48	Perhitungan ordinat dengan cara manual	72
Gambar 3.49	Penampang melintang titik potong 1 sisi starboard.....	73
Gambar 3.50	Penampang melintang titik potong 2 sisi starboard.....	74
Gambar 3.51	Penampang melintang titik potong 3 sisi starboard.....	74
Gambar 3.52	Penampang melintang titik potong 3 sisi starboard.....	75
Gambar 3.53	Hasil perhitungan kurva stabilitas kondisi kebocoran secara manual	78
Gambar 3.54	Hasil perhitungan kurva stabilitas kondisi kebocoran dengan menggunakan program.....	79
Gambar 3.55	Variasi ruang muat tanpa sekat kedap	80
Gambar 3.56	Hasil perhitungan program untuk ruang muat tanpa sekat kedap	80
Gambar 3.57	Variasi ruang muat dengan 1 sekat melintang.....	81

Gambar 3.58	Hasil perhitungan program untuk ruang muat dengan 1 sekat melintang	81
Gambar 3.59	Variasi ruang muat dengan 1 sekat memanjang	82
Gambar 3.60	Hasil perhitungan program untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang	82
Gambar 3.61	Variasi ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 1 sekat melintang	83
Gambar 3.62	Hasil perhitungan program untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 1 sekat melintang	83
Gambar 3.63	Variasi ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 2 sekat melintang	84
Gambar 3.64	Hasil perhitungan program untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 2 sekat melintang	85
Gambar 3.65	Variasi ruang muat dengan 2 sekat memanjang dan 1 sekat melintang	85
Gambar 3.66	Hasil perhitungan program untuk ruang muat dengan 2 sekat memanjang dan 1 sekat melintang	86
Gambar 3.67	Gambar rencana umum kapal yang dijadikan sebagai studi kasus.....	87
Gambar 3.68	Tampilan program setelah dilakukan input kapal	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perhitungan integral dengan metode Krilov	22
Tabel 2.2	Permeabilitas untuk tiap jenis kompartemen	29
Tabel 3.1	Tabel perhitungan momen inersia	50
Tabel 3.2	Tabel perhitungan lengan stabilitas dengan metode Krilov (I)	53
Tabel 3.3	Tabel perhitungan lengan stabilitas dengan metode Krilov (II).....	53
Tabel 3.4	Validasi perhitungan water plane area	63
Tabel 3.5	Validasi perhitungan longitudinal centre of buoyancy.....	64
Tabel 3.6	Validasi perhitungan volume displacement.....	64
Tabel 3.7	Validasi perhitungan keel to centre of buoyancy	64
Tabel 3.8	Validasi perhitungan longitudinal centre of buoyancy.....	64
Tabel 3.9	Validasi perhitungan displacement.....	65
Tabel 3.10	Kasus-kasus kebocoran pada model	66
Tabel 3.11	Validasi perhitungan kondisi kesetimbangan dengan metode lost buoyancy	71
Tabel 3.12	Validasi perhitungan koordinat garis air sisi tercelup dan sisi timbul.....	75
Tabel 3.13	Perhitungan manual kurva stabilitas dengan metode Krilov (I).....	76
Tabel 3.14	Perhitungan manual kurva stabilitas dengan metode Krilov (II).....	76
Tabel 3.15	Perhitungan manual kurva stabilitas dengan metode Krilov (III)	77
Tabel 3.16	Validasi perhitungan kurva stabilitas	79
Tabel 3.17	Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat tanpa sekat kedap.....	81
Tabel 3.18	Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat dengan 1 sekat melintang	82
Tabel 3.19	Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang	83
Tabel 3.20	Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 1 sekat melintang	84
Tabel 3.21	Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 2 sekat melintang	84
Tabel 3.22	Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat dengan 2 sekat memanjang dan 1 sekat melintang	86
Tabel 3.23	Kompartemen bocor pada kapal	88
Tabel 3.24	Kasus kebocoran pada kapal sesuai SOLAS	88
Tabel 3.25	Hasil perhitungan index A pada program.....	89

BAB I

PENDAHULUAN



1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Setiap kapal dapat mengalami kerusakan pada lambung kapal sehingga kapal mengalami kebocoran, yang dapat disebabkan antara lain karena terjadi tabrakan, kandas, atau terjadi ledakan. Hal yang paling mungkin dapat dilakukan oleh perancang kapal adalah berusaha semaksimal mungkin agar ketika mengalami kebocoran kapal masih dapat mengapung dan memiliki stabilitas yang cukup. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah dengan membagi kapal menjadi beberapa ruangan, dalam arti memberikan sekat kedap pada kapal baik secara melintang maupun secara memanjang. Fungsi dari pembagian ruangan ini adalah untuk mengurangi hilangnya stabilitas melintang maupun memanjang akibat kebocoran, untuk melindungi kerusakan pada muatan, dan mengurangi hilangnya daya apung cadangan kapal.

Untuk keselamatan kapal cargo, penambahan ruangan sangat diperlukan, hal ini berpengaruh baik pada stabilitas kapal pada saat mengalami kebocoran. Secara umum, diharapkan oleh para ahli bahwa semakin banyak sekat maka kapal akan semakin aman dari bahaya tenggelam jika terjadi kebocoran. Namun dari segi penerapan dapat menimbulkan permasalahan baru yaitu menambah berat konstruksi dan dapat membatasi muatan yang ada di ruangan. Selain itu biaya pembangunan kapal juga akan bertambah. Maka yang menjadi tugas perancang kapal adalah merencanakan sekat yang efisien sesuai kebutuhan tanpa melupakan segi keamanan untuk kapal.

Stabilitas kapal bocor atau yang lebih sering dikenal dengan *Damage Stability* adalah stabilitas kapal pada saat mengalami kebocoran, yaitu masuknya air ke dalam kompartemen atau beberapa kompartemen yang berdekatan. Perhitungan *damage stability* ini dibuat untuk menggantikan perhitungan *floodable length* dan *intact stability* yang sudah tidak cukup lagi menjamin keselamatan kapal jika mengalami kebocoran.

Ketahanan kapal terhadap kebocoran mulai dibahas pada tahun 1913, dipicu oleh tenggelamnya kapal *Titanic* yang menyebabkan banyak korban jiwa. Sehingga kemudian diputuskan perlu adanya *factor subdivision*, yang pada perkembangannya mensyaratkan bahwa kapal harus memiliki kompartemen standar.

Dengan perkembangan waktu, perhitungan kebocoran yang dulu hanya diasumsikan terjadi hanya pada beberapa kompartemen, atau sering dikenal sebagai metode *Deterministic*, kemudian dikembangkan dan diperkenalkan pendekatan baru yang lebih mendekati realitas kejadian sebenarnya ketika kapal mengalami kebocoran. Pendekatan ini dikenal dengan *probabilistic*. (Watson, 1998)

Tepatnya pada tanggal 1 Februari 1992, SOLAS mensyaratkan bahwa kapal-kapal barang yang akan dibangun pada atau setelah tanggal tersebut harus dihitung stabilitas bocornya dengan pendekatan *probabilistic*. Seperti yang kini sudah tercantum dalam SOLAS Consolidated Edition 2004 Chapter II-1 Part B-1.

Proses perhitungan *damage stability* dengan pendekatan *probabilistic* memiliki proses yang cukup panjang. Oleh karena itu proses perhitungan dibantu komputer merupakan solusi yang tepat untuk mendapatkan hasil perhitungan yang cepat, dan tepat. Hasil yang diperoleh dari perhitungan *damage stability* ini diharapkan memenuhi kriteria-kriteria yang telah ditetapkan dalam SOLAS, sehingga dapat diketahui apakah kapal tersebut telah memenuhi SOLAS atau tidak, selain itu dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam perencanaan kapal baru.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas, pokok permasalahan yang harus dipecahkan dalam penulisan tugas akhir ini adalah membuat software untuk membantu perhitungan *damage stability* dengan pendekatan *probabilistic* sesuai aturan SOLAS Consolidated Edition 2004 Chapter II-1 Part B-1, karena disebutkan bahwa untuk kapal barang yang dibangun pada atau setelah 1 Februari 1992 harus menyertakan perhitungan ini.

1.3 TUJUAN

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk membuat suatu program perhitungan *damage stability* dan *subdivision* pada kapal barang sesuai standar SOLAS
2. Menerapkan standar SOLAS Consolidated Edition 2004 Chapter II-1 Part B-1, mengenai *subdivision* dan *damage stability* pada kapal barang

1.4 BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Kapal yang akan dihitung stabilitasnya adalah kapal barang
2. Stabilitas yang dihitung adalah stabilitas melintang
3. Kondisi perairan pada saat kapal mengalami kebocoran diasumsikan dalam kondisi cuaca yang baik atau dalam keadaan air tenang

1.5 MANFAAT

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah

1. Untuk melengkapi kapal-kapal barang baru yang sedang direncanakan dengan standar penyekatan atau subdivisi minimum sesuai dengan standar SOLAS
2. Untuk mengetahui apakah kapal barang yang sudah ada sudah memenuhi standar penyekatan minimum sesuai SOLAS

1.6 METODOLOGI DAN MODEL ANALISIS

Untuk melakukan perhitungan *damage stability* pada kapal *cargo* sesuai SOLAS Consolidated Edition Chapter II-1 Part B-1 dengan menggunakan program, maka langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Input data utama

Proses input data utama dibutuhkan untuk melakukan proses perhitungan, data disimpan dalam bentuk file yang bisa diproses oleh program. data tersebut adalah sebagai berikut :

- Data kapal (*ship*)
Berisi ukuran utama kapal, dan offset kapal.
- Data kompartemen (*compartement*)
Berisikan ukuran kompartemen, karakteristik, dan letak sekat pada kompartemen.
- Data kasus (*case*)
Berisikan kasus-kasus kebocoran yang mungkin terjadi sesuai yang diatur dalam SOLAS CE 2004 Chapter II-1 Part B-1 untuk kapal *cargo*.

2. Perhitungan kondisi kesetimbangan akhir (*equilibrium*)

Sesuai dalam aturan SOLAS kondisi sarat awal yang harus dihitung ada 2 macam. yaitu DSSL (*Deep Subdivision Load Line*) dan PLL (*Partial Load Line*). Dari dua macam sarat

ini selanjutnya dihitung *equilibrium* untuk tiap macam kasus kebocoran. Metode yang digunakan adalah metode *lost buoyancy*. Hasil dari perhitungan ini akan diperoleh tiga parameter *equilibrium*, yaitu :

- Sarat midship kapal pada *centreline* setelah kapal mengalami kebocoran ($T_{midship}$).
- Sudut Heel (θ).
- Sudut Trim (ψ).

Langkah-langkah perhitungan dengan metode *lost buoyancy* adalah sebagai berikut :

- Perhitungan perubahan sarat rata-rata.
- Perhitungan LCF dan TCF dari *damaged waterplane*.
- Perhitungan momen inersia melintang dan memanjang dari *damaged waterplane*.
- Perhitungan titik centre of buoyancy (CB) volume kompartemen bocor.
- Perhitungan jarak centre of gravity (CG) diatas centre of buoyancy (CB).
- Perhitungan radius metacentre.
- Perhitungan tinggi metacentre.
- Perhitungan sudut *heel* dan sudut *trim* kondisi *equilibrium*.
- Perhitungan sarat *midship* kondisi *equilibrium*.

3. Perhitungan Kurva Stabilitas

Setelah didapatkan parameter diatas, maka kemudian dibuat kurva stabilitas dari kapal bocor dengan sudut kemiringan mulai $0^\circ - 90^\circ$. Metode yang digunakan dalam perhitungan kurva stabilitas ini menggunakan metode yang diperkenalkan oleh *Krilov*. Dari kurva stabilitas dapat diperoleh parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan faktor s_i dalam SOLAS CE 2004 Chapter II-1 Part B-1, parameter tersebut adalah :

- Sudut heel kondisi kesetimbangan akhir (θ_e).
- Lengan momen positif maksimum (GZ_{max}).
- Range of stability.

4. Perhitungan factor s_i

Dari kurva stabilitas yang diperoleh untuk setiap kasus kebocoran selanjutnya dihitung faktor s_i yang menunjukkan jumlah kemungkinan kapal dapat bertahan setelah kebocoran pada kompartemen atau kelompok kompartemen. Perhitungan ini sesuai dengan yang diatur dalam SOLAS CE 2004 Chapter II-1 Part B-1 regulation 25-6.

5. Perhitungan factor p_i

Berdasarkan penyekatan kompartemen dalam kapal, maka dapat dihitung faktor p_i yang menunjukkan jumlah kemungkinan dari kompartemen atau kelompok kompartemen yang diperhitungkan mengalami kebocoran. Perhitungan ini sesuai dengan yang diatur dalam SOLAS CE 2004 Chapter II-1 Part B-1 regulation 25-5.

6. Membandingkan Index A dengan Index R

Setelah diperoleh factor p_i dan factor s_i , dari perhitungan sebelumnya, selanjutnya dilakukan perhitungan Index A (*Attained Subdivision Index*) yang dilakukan hanya pada kasus yang dapat memberikan kontribusi pada Index A. Besar Index A ini harus lebih besar dari besar Index R (*Required Subdivision Index*) yang tergantung pada panjang penyekatan kapal (L_s). Perhitungan ini sesuai dengan yang diatur dalam SOLAS CE 2004 Chapter II-1 Part B-1 regulation 25-3 dan 25-4 Apabila besar Index A lebih besar dari Index R, maka penyekatan yang ada pada kapal telah memenuhi standar penyekatan minimum sesuai standar SOLAS.

7. Membuat Laporan Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan yang diperoleh akan disimpan dalam bentuk file yang nantinya akan dapat dicetak. Laporan ini akan memudahkan dalam pembacaan hasil perhitungan program.

8. Validasi

Untuk menguji apakah perhitungan yang ada di dalam program sudah benar, maka perlu dilakukan validasi program dengan perhitungan manual yang sudah teruji.

9. Studi Kasus

Agar dapat diketahui apakah program dapat digunakan untuk perhitungan pada kapal sebenarnya, maka perlu dilakukan studi kasus dengan menggunakan data kapal sebenarnya. Dari pengujian ini dapat diketahui apakah kapal uji sudah memenuhi standar penyekatan minimum yang diatur di SOLAS.

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk memperoleh hasil laporan tugas akhir yang sistematis dan tidak keluar dari pokok permasalahan maka dibuat sistematika sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan konsep dasar penyusunan tugas akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan teori yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah pada pengerjaan tugas akhir

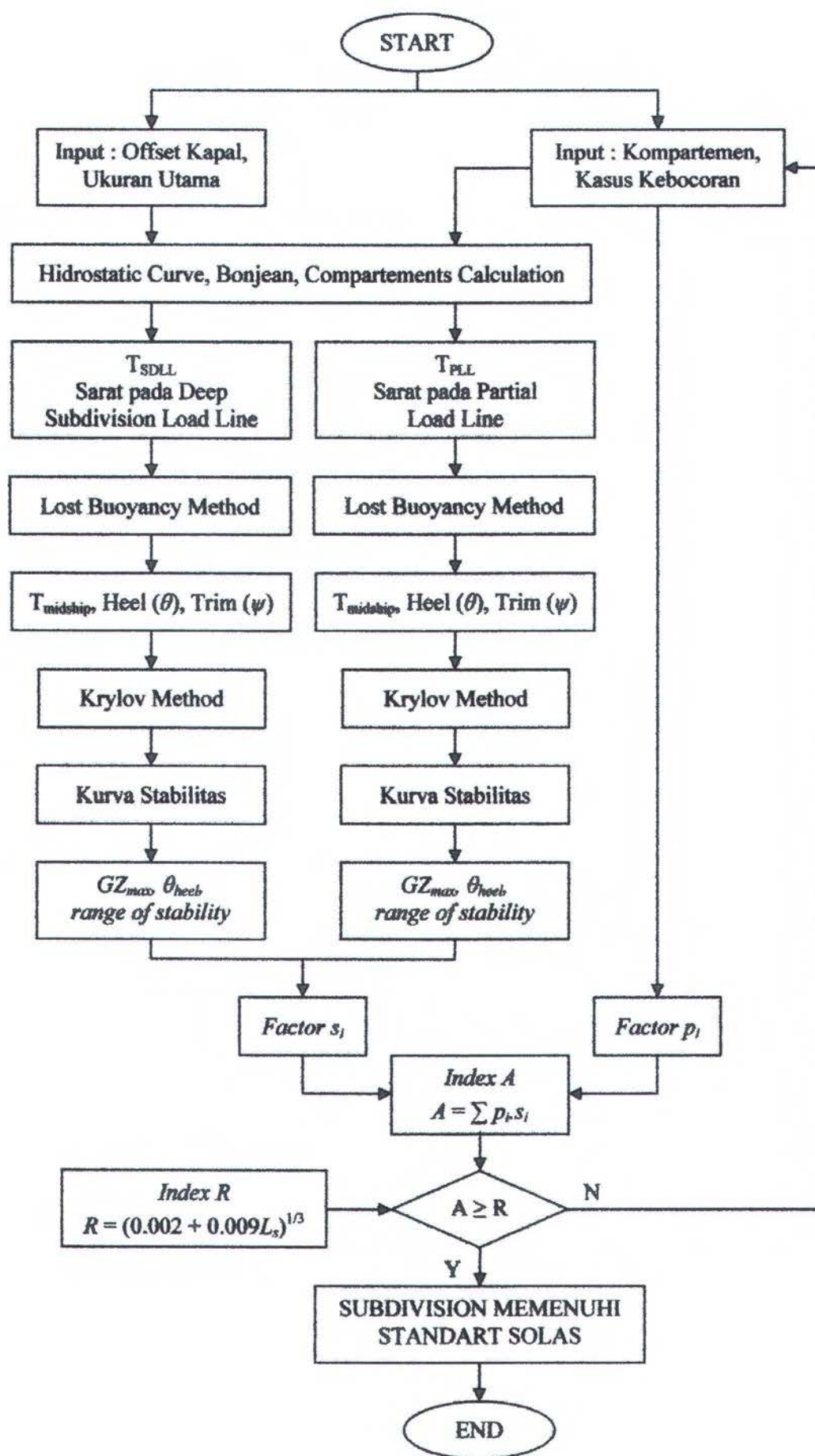
BAB III ALUR PROGRAM DAN VALIDASI

Berisikan penjelasan bagaimana sistematika program, mulai dari proses input, proses perhitungan, sampai output dari program. Kemudian berisi hasil validasi program yang telah dibuat dengan perhitungan manual yang sudah teruji serta studi kasus penggunaan program untuk perhitungan kapal sebenarnya.

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan dari hasil analisa dan evaluasi yang didapat dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut yang berkaitan dengan materi yang terdapat dalam tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



Gambar 1.1 Diagram alir program

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 DASAR-DASAR KEBOCORAN

Setiap kapal selama masa operasinya dapat mengalami kerusakan pada lambung kapal sehingga kapal mengalami kebocoran (*flooding*), yaitu masuknya air laut ke dalam kompartemen kapal karena adanya lubang pada lambung kapal dibawah garis air. Penyebab kebocoran pada kapal dapat disebabkan karena tabrakan, kandas, atau dapat juga karena terjadi ledakan. Masuknya air dalam kompartemen tidak selalu dari lubang pada lambung kapal dibawah garis air, tetapi bisa dari air laut yang masuk pada bagian terbuka geladak saat cuaca buruk, dari air yang disemprotkan kapal pemadam kebakaran, atau dari kesalahan pembukaan katup sistem perpipaan yang terhubung lambung kapal (Zubaly, 1996).

Kebocoran akan terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan (*equilibrium*) baru pada kapal atau sampai kapal itu sendiri tenggelam. Ketika terjadi kecelakaan yang menimbulkan kebocoran, kemungkinan kapal tersebut tenggelam cukup besar. Maka hal yang paling mungkin dapat dilakukan oleh perancang kapal adalah merancang kapal sedemikian rupa sehingga ketika terjadi kebocoran masih dapat mengapung dan memiliki stabilitas yang aman. (Lewis, 1988)

2.1.1 Pengaruh Kebocoran terhadap Kapal

Kebocoran yang terjadi pada lambung kapal akan sangat berpengaruh pada keselamatan kapal, beberapa hal yang sangat berpengaruh sebagai akibat yang ditimbulkan kebocoran kapal, (Zubaly, 1996) :

1. Sarat dan Freeboard

Kebocoran pada bagian kapal umumnya akan dapat menyebabkan kenaikan sarat dan penurunan *freeboard*. Pengecualian hanya terjadi jika kompartemen sudah terisi dengan *fluida* sampai di atas garis air kesetimbangan akhir. Pada kasus ini akan terjadi pengurangan sarat karena muatan *fluida* digantikan oleh air laut yang masuk ke dalam kompartemen.

Pada kebanyakan kasus, sarat akan bertambah sampai kesetimbangan tercapai atau sampai air kebocoran memenuhi kompartemen. Apabila *freeboard* sebelum kebocoran begitu kecil sehingga garis air mencapai geladak, maka daya apung cadangan tidak akan berguna dan kapal akan tenggelam atau *foundering*.

2. Stabilitas

Pada umumnya apabila mengalami kebocoran, kapal dengan bentuk normal akan terjadi pengurangan stabilitas melintang maupun memanjang. Perubahan stabilitas paling dominan disebabkan hilangnya momen inersia *waterline*

Jika kebocoran terjadi di kompartemen kapal paling lebar, hilangnya stabilitas melintang dapat sangat berbahaya, hingga kondisi akhirnya kapal akan terbalik atau *capsizing*.

3. Trim

Selain menyebabkan penambahan sarat dan *sinkage*, kebocoran juga dapat menyebabkan perubahan *trim*. Air yang masuk ke dalam kompartemen bagian depan akan menyebabkan *trim* sampai titik LCB badan kapal yang tercelup tegak lurus dengan titik LCG kapal.

Jika kesetimbangan belum tercapai sampai garis air *trim* mencapai geladak, maka air akan masuk melalui ruangan terbuka pada geladak yang tidak kedap. Dengan

bertambahnya kompartemen bocor, maka kapal akan kehilangan momen inersia memanjang sehingga mengurangi momen pengembali dan stabilitas memanjang, sehingga akhirnya kapal tenggelam. Kejadian ini disebut dengan *plunge*.

4. Heel

Kebocoran pada beberapa kompartemen dapat menyebabkan terjadinya *heel*, hal ini terjadi bila titik berat kebocoran di luar *centerline*, kondisi ini lebih berbahaya dibandingkan *sinkage* dan *trim*. Kapal akan mengalami *heel* sampai terjadi kondisi kesetimbangan. *Freeboard* pada sisi yang rendah berkurang secara cepat, dan jika daerah yang bocor besar, maka air akan mencapai geladak sebelum kapal mencapai kesetimbangan

Apabila air sampai masuk melalui bukaan yang tidak kedap pada geladak, air akan masuk ke dalam kompartemen lain, volume air yang masuk ke dalam ruangan akan bertambah sehingga stabilitas melintang semakin berkurang. Kombinasi tinggi metacentre yang negatif dengan kemiringan karena ketidaksimetrisan kebocoran dapat menyebabkan kapal terbalik dan tenggelam dengan atau tanpa ada peringatan sebelumnya.

2.1.2 Pengaruh Sekat Kedap terhadap Kebocoran

Salah satunya langkah yang dapat dilakukan untuk mengurangi kemungkinan tenggelamnya kapal karena kebocoran adalah dengan membagi kapal menjadi beberapa ruangan atau kompartemen, yaitu dengan memberikan sekat kedap pada kapal baik secara melintang maupun secara memanjang. Fungsi dari pembagian ruangan, ini adalah untuk mengurangi hilangnya stabilitas melintang maupun memanjang akibat kebocoran, untuk melindungi kerusakan pada muatan, dan mengurangi hilangnya daya apung cadangan kapal (Rawson, 2001).

Namun ada beberapa ketidakpastian yang dihadapi, antara lain letak dan besarnya kerusakan tidak diketahui lebih dulu, banyaknya jenis dan penempatan muatan selama pelayaran, ABK kapal dapat melakukan tindakan yang tepat ketika keadaan darurat atau bahkan semakin memperburuk keadaan.

Secara umum, diharapkan oleh para ahli bahwa semakin banyak sekat maka kapal akan semakin aman dari bahaya tenggelam jika terjadi kebocoran. Namun dari segi penerapan, dapat menimbulkan permasalahan baru, yaitu menambah berat konstruksi, dan dapat membatasi muatan yang ada di ruangan. Selain itu biaya pembangunan kapal juga akan bertambah. Maka yang menjadi tugas perancang kapal adalah merencanakan sekat yang efisien sesuai kebutuhan tanpa menghiraukan segi keamanan untuk kapal. (Lewis, 1988)

2.1.3 Munculnya Damage Stability

Setelah melalui berbagai pembahasan pada tahun 1926, akibat banyak tenggelamnya kapal karena kebocoran seperti *Titanic* tahun 1912, *Morro Castle* dan *Mohawk* pada tahun 1930-an, maka disepakati diterapkannya *Factorial System of Subdivision* yang mensyaratkan kapal mempunyai minimal satu kompartemen standar., Kemudian pada tahun 1964, disepakati suatu aturan yang disebut dengan *Floodable Length*. Aturan ini mensyaratkan bahwa jika terjadi satu atau dua kompartemen bocor maka kapal harus maksimal mempunyai sarat sampai garis batas tenggelam yang sering disebut *Margin Line*, yaitu garis batas 76 mm di bawah garis geladak.

Namun di akhir 1980-an ditemukan fakta bahwa metode atau aturan ini masih belum cukup untuk menjamin keselamatan kapal jika terjadi kebocoran, karena aturan ini tidak mengikutkan perhitungan stabilitas kapal. Padahal stabilitas adalah karakteristik utama kapal yang harus diperhatikan. Akhirnya dibuatlah suatu perhitungan yang menggabungkan kebocoran dan stabilitas yang disebut dengan *Damage stability*. Perhitungan ini diakui untuk digunakan dan selanjutnya dibukukan pertama kali pada PNA Vol I tahun 1982 (Lewis, 1988).

2.1.4 Pendekatan Probabilistik

Perhitungan Damage dibutuhkan untuk memperkirakan letak dan stabilitas kapal setelah kebocoran. Untuk memperkirakan keadaan kapal setelah kebocoran ini ada dua pendekatan yang pernah dibuat, yaitu *Deterministic* dan *Probabilistic*. Berikut ini adalah penjelasan untuk kedua pendekatan tersebut (Bureau Veritas, 2005) :

1. Pendekatan *Deterministic*

Pendekatan *deterministic* berdasarkan pada ukuran panjang kebocoran standar pada beberapa tempat sepanjang panjang kapal atau diantara sekat melintang tergantung persyaratan yang bersangkutan. Sebagai konsekuensinya adalah dalam pembuatan kasus kebocoran, jumlah grup kompartemen, begitu pula jumlah kompartemen yang termasuk di dalam sebuah kasus kebocoran tergantung dari ukuran kapal dan penyekatan di dalamnya.

Pada setiap kondisi pembebanan, setiap kasus kebocoran dipertimbangkan termasuk kriteria-kriteria yang dapat dipakai. Perbedaan metode *deterministic* pada *damage stability* dibuat berdasarkan tipe kapal, pengurangan *freeboard*, dan macam muatan yang dibawa.

Metode *deterministic* biasa diaplikasikan pada kapal penumpang, kapal tanker bermuatan minyak, kapal tanker bermuatan bahan kimia, dan kapal bermuatan gas.

2. Pendekatan *Probabilistic*

Pendekatan *probabilistic* melakukan suatu perhitungan yang mencakup seluruh kemungkinan kasus kebocoran yang terjadi sepanjang kapal yang bisa terjadi beserta akibat yang ditimbulkannya. Kemungkinan tersebut bisa satu, dua, atau lebih kompartemen yang saling berdekatan. Jadi dengan menggunakan pendekatan ini letak sekat memanjang maupun melintang kapal dapat dinyatakan relatif mampu atau tidak membuat kapal bertahan jika mengalami kebocoran sebagai ukuran keamanan kapal.

Perhitungan *damage stability* dilakukan untuk jumlah sarat yang terbatas dan nilai tinggi metacentre-nya (GM) dibuat untuk membuat kurva GM minimum dimana index A (*attained subdivision index*) harus sama atau lebih dari index R (*required subdivision index*) yang merupakan tingkat minimum yang disyaratkan.

Pada umumnya metode *probabilistic* diaplikasikan pada kapal kargo dengan panjang tidak kurang dari 80 m dan tidak menggunakan metode *deterministic*.

Untuk mengakomodasi pendekatan baru ini dalam perhitungan *damage stability* maka IMO membuat suatu set perhitungan melalui serangkaian penelitian dan berdasarkan pengalaman yang ada. Hal ini kemudian dituangkan dalam SOLAS Consolidated Edition 2004 Chapter II-1 Part B-1 yang mulai diberlakukan pada tanggal 1 Februari 1992 (Watson, 1998). Perhitungan SOLAS sudah mencakup 2 hal yang disyaratkan dan dibutuhkan dalam perhitungan *damage stability* berdasarkan pendekatan *probabilistic*, yaitu :

1. Perhitungan yang mengakomodasi kemungkinan tentang kompartemen atau grup kompartemen mana yang mengalami kebocoran. Kemungkinan ini berlaku untuk sepanjang kapal, yaitu satu kompartemen bocor sampai kemungkinan kompartemen seluruh panjang kapal, dengan catatan bahwa kompartemen yang mengalami kebocoran adalah kompartemen yang saling berdekatan.
2. Perhitungan yang mengakomodasi kemungkinan atas keselamatan kapal jika kapal mengalami kebocoran. Kemungkinan ini juga berlaku untuk sepanjang kapal.

Metode *Probabilistic* tidak hanya melakukan perhitungan keselamatan kapal terhadap kebocoran seperti pada metode *Deterministic*, tetapi juga keselamatan kapal terhadap *capsize*. Dengan adanya pendekatan *Probabilistic* ini maka pengaturan letak sekat akan lebih mudah dilakukan hanya saja perhitungan yang dilakukan relatif lebih rumit dan panjang dibandingkan dengan metode *Deterministic* (Watson, 1998).

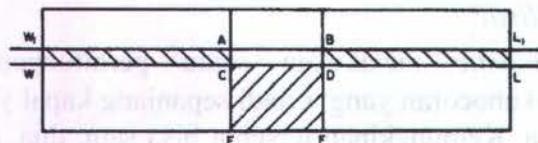
2.1.5 Metode Perhitungan Damage Stability

Ketika kapal mengalami kebocoran pada satu atau beberapa kompartemennya, diharapkan kapal tersebut masih mampu bertahan dengan daya apung cadangan. Namun tidak hanya itu, kapal juga harus mempunyai stabilitas yang aman. Untuk itu diperlukan suatu perhitungan untuk mengetahui kondisi kapal setelah mengalami kebocoran. Perhitungan itu antara lain untuk mengetahui perubahan sarat rata-rata, heel, trim, dan perubahan stabilitas akibat terjadinya kebocoran pada kompartemen (Semyonov-Tyan-Shansky).

Ada dua metode yang dapat digunakan dalam perhitungan kesetimbangan akhir pada kondisi kebocoran (Lewis, 1988) :

1. Lost Buoyancy Method

Prinsip dari metode ini adalah ketika kapal mengalami kebocoran maka besar buoyancy kapal akan berkurang. Hal ini terjadi karena ruangan kosong di dalam kapal sebagian telah terisi air sehingga dianggap tidak lagi menjadi bagian dari kapal yang memberi kontribusi pada besarnya *buoyancy*, atau dengan kata lain air yang masuk ke dalam kompartemen dianggap menjadi bagian air laut. Karena adanya hal ini maka kapal akan mengalami *sinkage* dan sarat kapal akan bertambah.



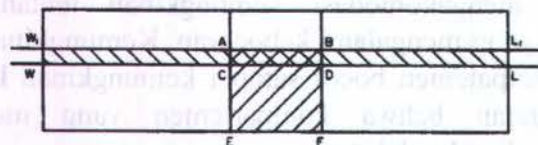
Gambar 2.1 Ilustrasi lost buoyancy method

Pada perhitungan dengan menggunakan metode *lost buoyancy*, displacement, volume displacement, dan KG kapal tidak berubah. Yang berubah hanya bentuk dan distribusi volume *buoyancy* kapal karena adanya volume *buoyancy* yang hilang (*lost buoyancy*). Oleh karena itu *lost buoyancy* dikenal juga dengan *constant displacement method*.

Prosedur penggunaan mudah dan sederhana jika bentuk dan konfigurasi ruangan bocor yang menghasilkan *trim*, *sinkage*, dan *heel* tidak mengakibatkan perubahan yang besar pada waterline kapal sebelum bocor. Sering digunakan untuk perhitungan *merchant ship* (Lewis, 1988).

2. Added Weight Method

Prinsip metode ini merupakan kebalikan dari metode *lost buoyancy* karena ruangan yang kemasukan air tetap dianggap sebagai bagian kapal. Sedangkan air yang masuk itu sendiri dianggap sebagai berat tambahan bagi kapal. Karena adanya bertambah ini maka *displacement* kapal akan berubah dari *displacement* awal kapal sebelum bocor. Jika *displacement* bertambah, maka sarat kapal juga akan bertambah.



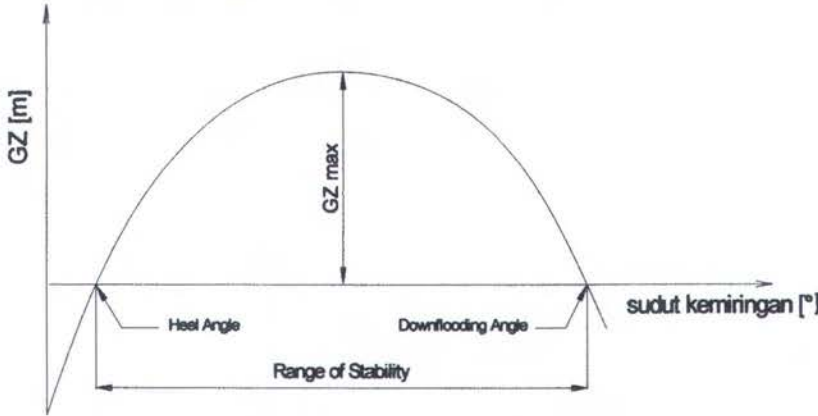
Gambar 2.2 Ilustrasi added weight method

2.2 PROSEDUR PERHITUNGAN METODE LOST BUOYANCY

Pada perhitungan persyaratan SOLAS 2004 Consolidated Edition Chapter II Part B-1 dibutuhkan perhitungan untuk faktor s_f . Perhitungan faktor ini membutuhkan besar sudut kesetimbangan akhir kapal setelah mengalami kebocoran (θ_e), lengan pengembali maksimum (GZ_{max}), dan selisih antara sudut tenggelam dengan sudut kesetimbangan akhir kapal

(*range*). Untuk mendapatkan θ_e , GZ_{max} , dan *range* harus digunakan metode perhitungan stabilitas yang disebut dengan *Damage Stability*.

Untuk mengetahui efek dari kebocoran pada kompartemen kapal yang berhubungan langsung dengan air di luar lebih teliti jika menggunakan metode *lost buoyancy*. Pada metode *lost buoyancy* ini *displacement* sisa kapal tidak berubah atau tetap, yang berubah hanya bidang bagian yang tercelup. Oleh karena itu metode ini juga disebut dengan *Constant Displacement Method*. (Semyonov-Tyan-Shansky)



Gambar 2.3 Kurva stabilitas statis kebocoran

Pada perhitungan *damage stability* dengan metode *lost buoyancy*, komponen-komponen yang berubah karena terisinya kompartemen oleh air antara lain adalah sarat rata-rata, posisi dari pusat *buoyancy*, elemen luasan permukaan bidang air, *radius metacentre*, *heel* dan *trim*. Sebelum dilakukan langkah-langkah perhitungan *damage stability* dengan metode *lost buoyancy*, terlebih dahulu perlu diperlukan data-data berikut (Semyonov-Tyan-Shansky) :

p = Berat air yang masuk ke dalam kompartemen sampai garis air awal yang akan mengurangi *bouyancy* kapal, atau *lost buoyancy* [ton]

v = Volume air yang masuk ke dalam kompartemen [m^3]

x_p = Jarak pusat *buoyancy* volume kompartemen bocor secara memanjang dihitung dari *midship (lcb)* [m]

y_p = Jarak pusat *buoyancy* volume kompartemen bocor secara melintang dihitung dari *centreline (tcb)* [m]

z_p = Jarak pusat *buoyancy* volume kompartemen bocor secara vertikal dihitung dari *keel (kb)* [m]

s = Luas bidang air dari kompartemen bocor, atau *lost area* [m^2]

x_s = Jarak pusat berat luasan bidang air kompartemen sebelum bocor secara memanjang dari *midship (lcf)* [m]

y_s = Jarak pusat berat luasan bidang air kompartemen sebelum bocor secara melintang dari *centreline (tcf)* [m]

i_x = Momen inersia dari luasan bidang air kompartemen terhadap sumbu OX atau secara melintang (i_T) [m^4]

i_y = Momen inersia dari luasan bidang air kompartemen terhadap sumbu OY atau secara memanjang (i_L) [m^4]

Data dari kapal pada kondisi sebelum terjadi kebocoran juga dibutuhkan, yaitu :

D = *Displacement* kapal sebelum terjadi kebocoran [ton]

V = Volume *displacement* kapal sebelum bocor [m^3]

T = Sarat rata-rata sebelum bocor [m]

- S = Luasan bidang air kapal sebelum terjadi kebocoran (*WPA*) [m^2]
- I_x = Momen inersia melintang luasan bidang air kapal sebelum kebocoran (I_T) [m^4]
- I_f = Momen inersia memanjang luasan bidang air kapal sebelum kebocoran (I_L) [m^4]
- x_f = Jarak pusat berat luasan bidang air kapal sebelum bocor secara memanjang dari *midship* (*LCF*) [m]

2.2.1 Perubahan Sarat Rata-Rata

Kita anggap volume *lost buoyancy* sebagai bagian yang hilang dari volume *displacement* yang menyebabkan *sinkage* pada kapal sebesar δT , sehingga volume sepanjang kompartemen tersebut tidak lagi memberikan kontribusi terhadap *bouyancy* kapal. Sehingga volume *lost bouyancy* diperoleh dari :

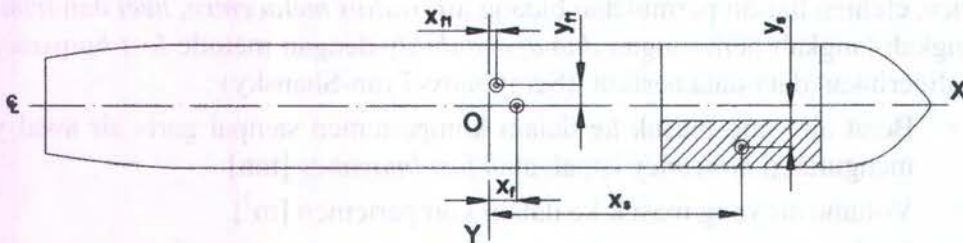
$$v = (S - s)\delta T \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk memperoleh δT dan mengganti v dengan p , persamaan (2.1) menjadi :

$$\delta T = \frac{p}{\gamma(S - s)} \dots\dots\dots (2.2)$$

2.2.2 Koordinat Pusat Luasan Damaged Waterplane

Untuk menentukan jarak memanjang pusat berat bidang air kapal bocor dari *midship* (x_{f1}) dan jarak melintang pusat berat bidang air kapal bocor dari *centreline* (y_{f1}) pusat luasan *damaged waterplane* ($S-s$), dapat dilihat dari persamaan momen statis berdasarkan gambar berikut :



Gambar 2.4 Pandangan atas kompartemen bocor

$$Sx_f - sx_s = (S - s)x_{f1} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$-s.y_s = (S - s)y_{f1} \dots\dots\dots (2.4)$$

Maka x_{f1} dan y_{f1} dapat diperoleh :

$$x_{f1} = x_f - (x_s - x_f) \frac{s}{(S - s)} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$y_{f1} = -y_s \frac{s}{(S - s)} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.2.3 Momen Inersia Luasan Damaged Waterplane

Karena adanya pengurangan luasan bidang air oleh s , maka momen inersia luasan *damaged waterplane* ($S-s$) dapat ditulis sebagai berikut sesuai gambar diatas :

$$I_{x1} = I_x - i_x - s.y_s^2 - (S - s)y_{f1}^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

$$I_{f1} = I_f - i_y - s.(x_s - x_f)^2 - (S - s)(x_{f1} - x_f)^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.5) dan (2.6), maka diperoleh :

$$I_{x1} = I_x - i_x - s \cdot y_s^2 \left(1 + \frac{s}{S-s} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$I_{f1} = I_f - i_y - s(x_s - x_f)^2 \left(1 + \frac{s}{S-s} \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

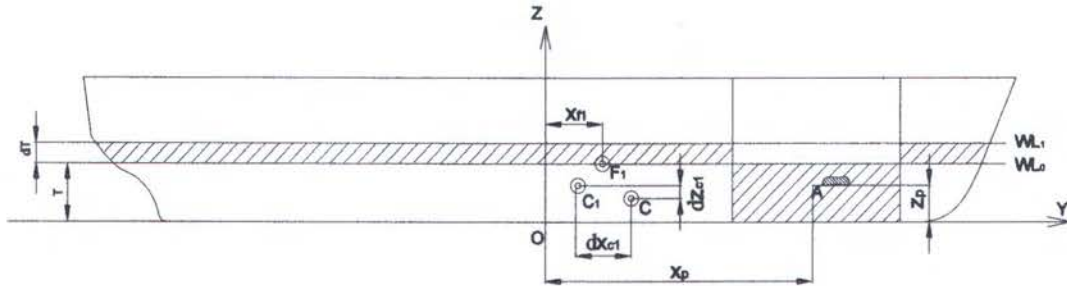
2.2.4 Perubahan Pusat Bouyancy Volume Kompartemen Bocor

Dari gambar di bawah ini, dapat dibayangkan bahwa pusat bouyancy mengalami perubahan yang disebabkan oleh sinkage, dengan jarak ($x_{f1}-x_p$), ($y_{f1}-y_p$) dan ($T+\delta T/2-z_p$). Tanpa adanya trim dan heel, diperoleh

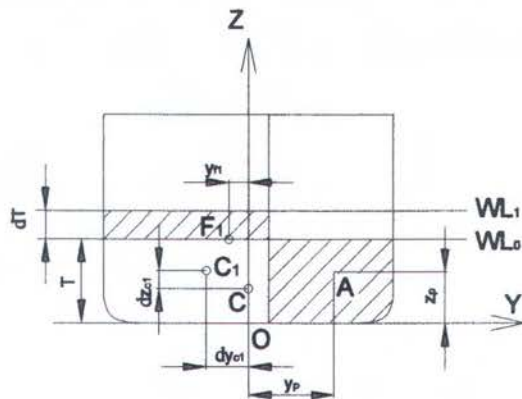
$$\delta x_{c1} = \frac{v}{V}(x_{f1} - x_p) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\delta y_{c1} = \frac{v}{V}(y_{f1} - y_p) \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\delta z_{c1} = -\frac{v}{V} \left(T - \frac{\delta T}{2} - z_p \right) \dots\dots\dots (2.13)$$



Gambar 2.5 *Pandangan samping kondisi sarat kapal karena pengaruh kebocoran*



Gambar 2.6 *Pandangan depan kondisi sarat kapal karena pengaruh kebocoran*

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.5) dan (2.6), maka diperoleh :

$$\delta x_{c1} = \frac{P}{D} \left[x_p - x_f + (x_s - x_f) \frac{s}{S-s} \right] \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\delta y_{c1} = -\frac{P}{D} \left(y_p + y_s \frac{s}{S-s} \right) \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\delta z_{c1} = -\frac{P}{D} \left(z_p - T - \frac{\delta T}{2} \right) \dots\dots\dots (2.16)$$

Karena adanya kemiringan kapal sebesar $\delta\psi$ dan $\delta\theta$, maka oordinat pusat *buoyancy* mengalami perubahan menjadi δx_{c2} , δy_{c2} , dan δz_{c2} .

$$\delta x_{c2} = \frac{\delta M_{yz}}{V} = \frac{I_{f1}}{V} \delta\psi + \frac{I_{x1}}{V} \delta\theta \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\delta y_{c2} = \frac{\delta M_{xz}}{V} = \frac{I_{x1}}{V} \delta\psi + \frac{I_{f1}}{V} \delta\theta \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\delta z_{c2} = 0 \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan menjumlahkan keduanya, diperoleh total pergeseran pusat *buoyancy* yang disebabkan oleh *sinkage* dan *heel* :

$$\delta x_c = \delta x_{c1} + \delta x_{c2} = \delta x_{c1} + \frac{I_{f1}}{V} \delta\psi + \frac{I_{x1}}{V} \delta\theta \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\delta y_c = \delta y_{c1} + \delta y_{c2} = \delta y_{c1} + \frac{I_{x1}}{V} \delta\psi + \frac{I_{f1}}{V} \delta\theta \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\delta z_c = \delta z_{c1} + \delta z_{c2} = \delta z_{c1} \dots\dots\dots (2.22)$$

2.2.5 Jarak Pusat Gravitasi di Atas Pusat Bouyancy

Sebelum terjadinya kebocoran jarak vertikal antara pusat gravitasi dengan pusat *buoyancy* (*a*) :

$$a = z_g - z_{c0} \dots\dots\dots (2.23)$$

Sedangkan setelah terjadinya kebocoran jarak vertikal antara pusat gravitasi dengan pusat *buoyancy* (*a*₁) dapat dihitung dengan :

$$a_1 = a - \delta z_{c1} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.16) maka persamaan (2.24) menjadi :

$$a_1 = a - \frac{p}{D} \left(T + \frac{\delta T}{2} - z_p \right) \dots\dots\dots (2.25)$$

2.2.6 Perubahan Radius Metacentre

Karena adanya perubahan volume displacement, maka radius metacentre memanjang (*R*) dan radius metacentre melintang (*r*) berubah, sebesar :

$$\frac{I_{f1}}{V} = R + \delta R \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\frac{I_{x1}}{V} = r + \delta r \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana besar perubahan radius metacentre yaitu :

$$\delta R = -\frac{1}{V} \left[i_y + s(x_x - x_f)^2 \left(1 + \frac{s}{S-s} \right) \right] \dots\dots\dots (2.28)$$

$$\delta r = -\frac{1}{V} \left[i_x + s_{ys}^2 \left(1 + \frac{s}{S-s} \right) \right] \dots\dots\dots (2.29)$$

2.2.7 Tinggi Metacentre

Karena adanya perubahan volume displacement, maka tinggi metacentre memanjang (H) dan tinggi metacentre melintang (h) berubah, sebesar :

$$H_2 = \frac{I_{f1}}{V} + z_{c1} - z_g \dots\dots\dots (2.30)$$

$$h_2 = \frac{I_{x1}}{V} + z_{c1} - z_g \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana z_{c1} adalah jarak vertikal pusat bouyancy dari keel pada keadaan kapal bocor:

$$z_{c1} = z_{c0} + \frac{v}{V} \left(T + \frac{\delta T}{2} - z_p \right) \dots\dots\dots (2.32)$$

2.2.8 Perubahan Sudut Heel dan Trim Akibat Kebocoran

Besar Perubahan heel (θ) dan trim (ψ) :

$$\delta\psi = \frac{p \left[x_p - x_f + (x_s - x_f) \frac{s}{S-s} \right]}{\gamma(I_{f2} - Va_1)} [(k_0 - 1)k + 1] \dots\dots\dots (2.33)$$

$$\delta\theta = \frac{p \left[y_p + y_s \frac{s}{S-s} \right]}{\gamma(I_{x2} - Va_1)} \left(\frac{k_0 - 1}{k} + 1 \right) \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana : $k_T = 1 + \frac{s}{(S-s)} \dots\dots\dots (2.35)$

Faktor pengaruh perubahan sarat rata-rata

$$k = \frac{\frac{y_p}{y_s} + (k_T - 1)}{\frac{(x_p - x_f)}{(x_s - x_f)} + (k_T - 1)} \dots\dots\dots (2.36)$$

Faktor pengaruh perubahan koordinat

$$k_\theta = 1 + \frac{s \cdot y_s^2}{V \cdot h_2} k_T \dots\dots\dots (2.37)$$

Faktor pengaruh heel

$$k_\psi = 1 + \frac{s \cdot (x_s - x_f)^2}{V \cdot H_2} k_T \dots\dots\dots (2.38)$$

Faktor pengaruh trim

$$I_{x2} = I_x - i_x - s \cdot y_s^2 k_T k_\psi \dots\dots\dots (2.39)$$

Momen inersia melintang (I_T) kapal bocor dengan pengaruh dari heel dan trim

$$I_{f2} = I_f - i_y - s(x_s - x_f)^2 k_T k_\theta \dots\dots\dots (2.40)$$

Momen inersia memanjang (I_L) kapal bocor dengan pengaruh dari heel dan trim

2.2.9 Sarat Midship Setelah Kebocoran

Sarat pada midship kapal akan mengalami perubahan karena adanya trim dan heel, besar sarat midship posisi centrelinekapal karena dampak adanya heel dan trim :

$$T_{midship} = T_1 - x_{f1} \cdot \tan \psi - y_f \cdot 1 \cdot \tan \theta \dots\dots\dots (2.41)$$

2.2.10 Perubahan Sarat Depan dan Belakang

Karena kapal mengalami trim, maka sarat depan dan belakang kapal akan berbeda, besar perubahan sarat depan dan belakang :

$$\delta T_f = \delta T + \delta \psi \left(\frac{L}{2} - x_{f2} \right) \dots\dots\dots (2.42)$$

$$\delta T_a = \delta T - \delta \psi \left(\frac{L}{2} + x_{f2} \right) \dots\dots\dots (2.43)$$

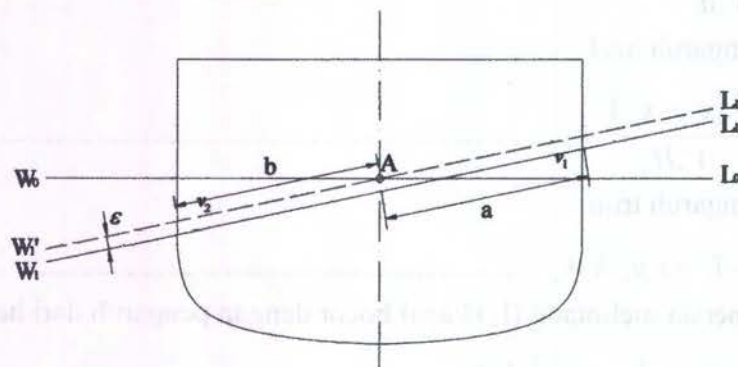
2.3 PROSEDUR PERHITUNGAN KURVA STABILITAS

Dari perhitungan damage stability dengan metode lost buoyancy yang dijabarkan sebelumnya, diperoleh parameter utama keadaan kesetimbangan kapal setelah terjadi kebocoran, yaitu, Sarat midship kapal ($T_{midship}$), Heel (θ), dan Trim (ψ). Untuk perhitungan kurva stabilitas digunakan metode yang dikenalkan oleh *A.N Krylov*. Langkah awal adalah mencari besar radius metacentre melintang untuk tiap sudut kemiringan, langkah berikutnya adalah mencari besar lengan stabilitas tiap sudut kemiringan tersebut, dan kemudian dari lengan stabilitas tiap sudut kemiringan tersebut diperoleh kurva stabilitas.

2.3.1 Perhitungan Radius Metacentre Melintang

Untuk mencari radius metacentre melintang (r) dari tiap sudut kemiringan dimana sudut kemiringan dibatasi antara $0^\circ - 90^\circ$, maka untuk sudut kemiringan yang besar metode yang digunakan disini adalah metode yang diperkenalkan oleh *A. N. Krylov* (*Semyonov*)

Metode ini menggunakan prinsip equivolum, artinya untuk mendapatkan kurva stabilitas, displacement kapal untuk setiap garis air pada semua sudut harus sama. Karena bentuk kapal yang cenderung berubah mulai buritan sampai haluan maka displacement kapal pada sudut 0° tidak akan sama dengan displacement kapal pada sudut-sudut yang lain, sehingga garis air yang didapat dari memutar garis air 0° , bukan merupakan garis air yang sebenarnya. Karena adanya perbedaan ini maka garis air pada setiap sudut θ (kecuali 0°) harus dikoreksi.



Gambar 2.7 Ordinat sisi tercelup dan sisi timbul

Langkah awal yang dilakukan adalah membuat garis air bantuan $W_1'L_1'$ untuk sudut heel tertentu, kemudian dari bidang air bantuan ini dihitung volume baji yang tercelup (v_1) dan

volume baji yang timbul (v_2). Kedua volume baji ini tidak sama, karena itu garis air equivolume yang sejajar garis air bantu dengan jarak sebesar ϵ . Sehingga volume lapisan antara bidang air garis bantu $W_1'L_1'$ dengan bidang air equivolume W_1L_1 sama dengan selisih antara volume baji. Kondisi ini dapat ditulis dengan :

$$\epsilon S = v_1 - v_2 \dots\dots\dots (2.44)$$

- Dimana : ϵ = Jarak antara bidang air garis bantu dengan bidang air equivolume
- S = Luasan bidang air
- v_1 = Volume baji yang tercelup
- v_2 = Volume baji yang timbul

Sehingga dari persamaan (2.44) dapat diperoleh :

$$\epsilon = \frac{v_1 - v_2}{S} \dots\dots\dots (2.45)$$

Dalam perhitungan perubahan volume (δv) yang sangat kecil, perubahan hanya terjadi pada parameter sudut kemiringan (θ). Dengan M_x merupakan momen statis dari bidang air pada kemiringan tertentu terhadap sumbu putar, maka diperoleh :

$$\delta v = M_x \delta \theta \dots\dots\dots (2.46)$$

Dengan mengganti perubahan volume menjadi $v_1 - v_2$, maka diperoleh :

$$v_1 - v_2 = \int_0^\theta M_x \delta \theta \dots\dots\dots (2.47)$$

Maka M_x dapat diperoleh dari :

$$M_x = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{+L/2} (a^2 - b^2) dx \dots\dots\dots (2.48)$$

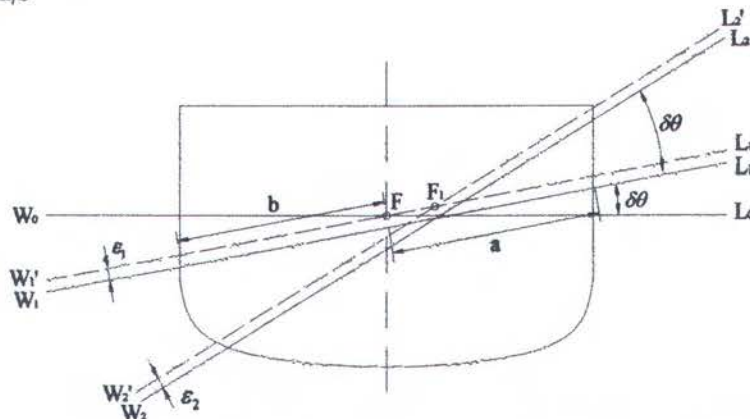
- Dimana : M_x = Momen statis dari bidang air terhadap sumbu putar
- a = Ordinat garis air dari sumbu putar untuk sisi yang tercelup
- b = Ordinat garis air dari sumbu putar untuk sisi yang timbul

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.48) ke dalam (2.45) maka dapat diperoleh :

$$\epsilon = \frac{1}{S} \int_0^\theta M_x d\theta \dots\dots\dots (2.49)$$

S merupakan luasan bidang air yang dapat dihitung dengan :

$$S = \int_{-L/2}^{+L/2} (a + b) dx \dots\dots\dots (2.50)$$



Gambar 2.8 Perhitungan Ordinat a dan b untuk tiap kondisi kemiringan

Dari perhitungan *Krilof* telah dihasilkan bahwa untuk mendapatkan garis air yang sebenarnya, maka garis air pada sudut θ_i hasil memutar dari garis air sudut sebelumnya (θ_{i-1}) harus digeser secara tegak lurus sebesar :

$$\varepsilon = \frac{1}{S} \int_{\theta_i}^{\theta_{i+1}} M_x d\theta \dots\dots\dots (2.51)$$

Dimana :

$$\theta_{i+1} - \theta_i = \delta\theta \dots\dots\dots (2.52)$$

$$\int_{\theta_i}^{\theta_{i+1}} M_x d\theta = \int_0^{\theta} M_x d\theta = \frac{\delta\theta}{2} (M_{x1} + M_{x2}) \dots\dots\dots (2.53)$$

Dimana : M_{x1} = Momen statis dari garis air sebenarnya terhadap sumbu putar
 M_{x2} = Momen statis dari garis air bantuan terhadap sumbu putar yang sama
 Besar $M_{x1} = 0$ karena sumbu putar melewati titik pusat luasan bidang air sebenarnya,

$$\varepsilon = \frac{\delta\theta}{2} \frac{M_x}{S} \dots\dots\dots (2.54)$$

M_x merupakan momes statis area S dari bidang garis air tambahan terhadap sumbu putar, maka dapat diperoleh :

$$y_f = \frac{M_x}{S} \dots\dots\dots (2.55)$$

Dimana y_f merupakan ordinat dari pusat luasan S bidang air tambahan.

Langkah berikutnya untuk mendpatkan BM adalah menghitung besar momen inersia dari equivolume sampai bada garis air sebenarnya terhadap pusat sumbu longitudinal. Karena posisi sumbu pusat longitudinal untuk garis air memanjang sebenarnya tidak diketahui, maka momen inersia aktual dapat dipeoleh :

$$I_{x0} = I_x - S y_f^2 \dots\dots\dots (2.56)$$

Dimana I_x adalah momen inersia

$$I_x = \frac{1}{3} \int_{-L/2}^{+L/2} (a^3 - b^3) dx \dots\dots\dots (2.57)$$

Setelah diperoleh momen inersia aktual I_{x0} maka radius metacentre dapat dihitung dengan :

$$r = \frac{I_{x0}}{V'} \dots\dots\dots (2.58)$$

Dimana : r = Radius Metacentre (BM)

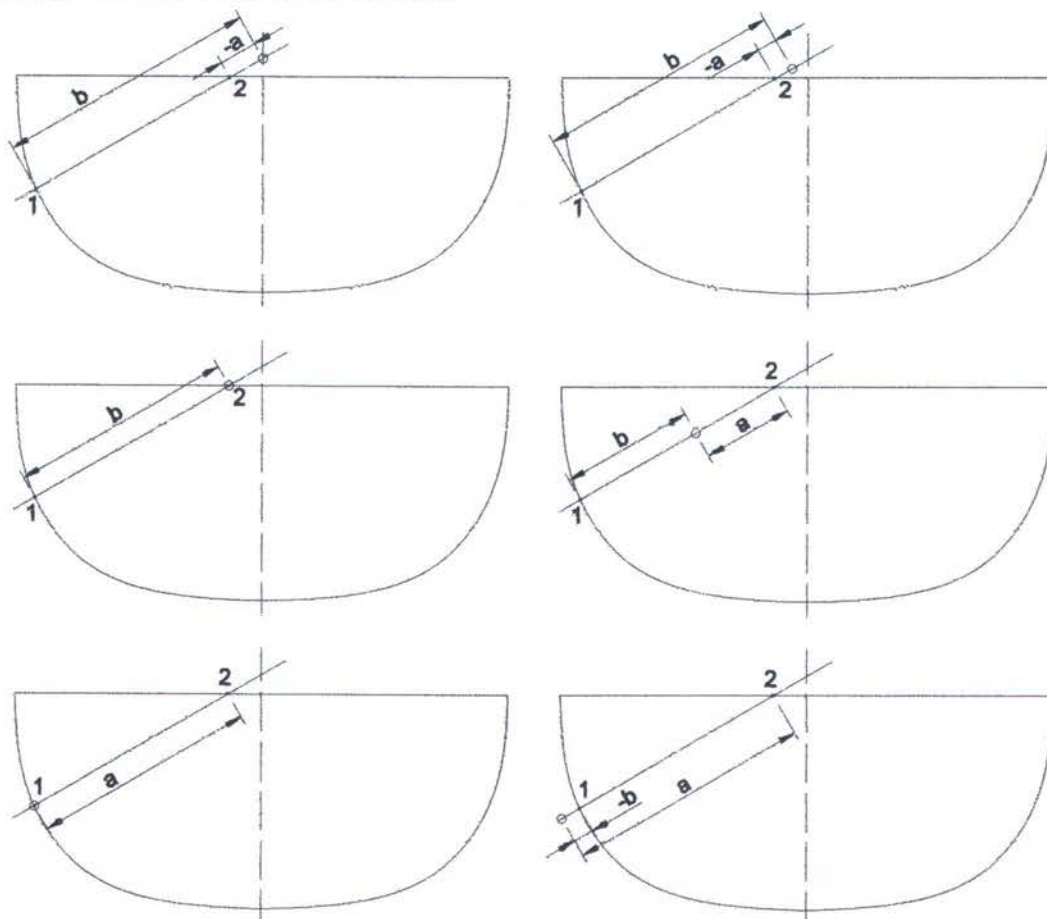
I_{x0} = Momen inersia aktual

V' = Volume kapal setelah terjadi kebocoran

Untuk mendapatkan panjang a dan b yaitu ordinat garis air pada sumbu putar untuk bagian yang terclup dan bagian yang timbul, ada beberapa kemungkinan. Hal itu terjadi karena perbedaan letak titik berat luasan garis air yang menjadi tempat berputarnya garis air untuk sudut oleng selanjutnya. Selain itu bentuk body plan juga akan berpengaruh terhadap jumlah titik potong antara garis air dengan body plan.

a. Jika garis air memotong centreline di atas geladak

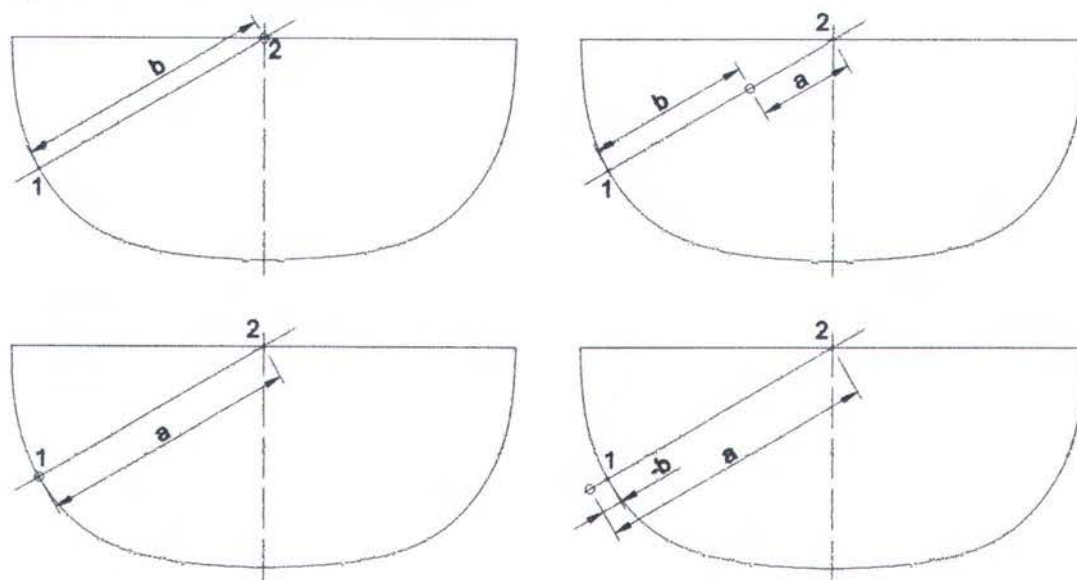
Pada keadaan ini, kemungkinan untuk garis air yang berpotongan dengan body plan sebanyak 2 titik dan 4 titik adalah sama :



Gambar 2.9 Kondisi garis air memotong centreline di atas geladak

b. Jika garis air memotong centreline tepat pada geladak

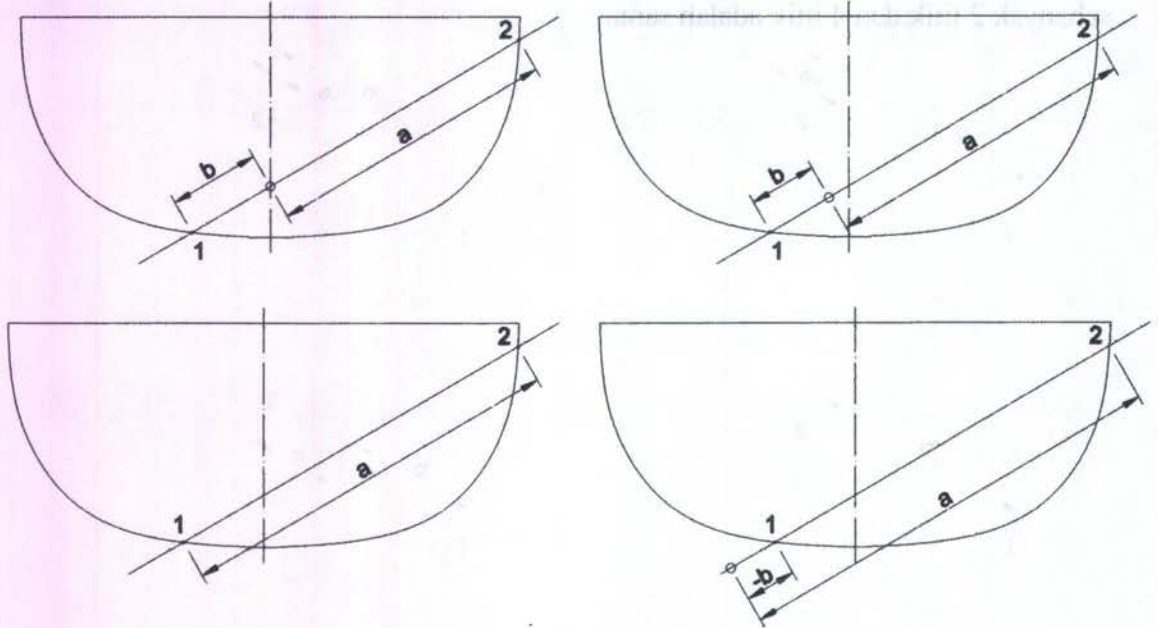
Pada keadaan ini, kemungkinan untuk garis air yang berpotongan dengan body plan sebanyak 2 titik dan 4 titik adalah sama :



Gambar 2.10 Kondisi garis air memotong centreline tepat pada geladak

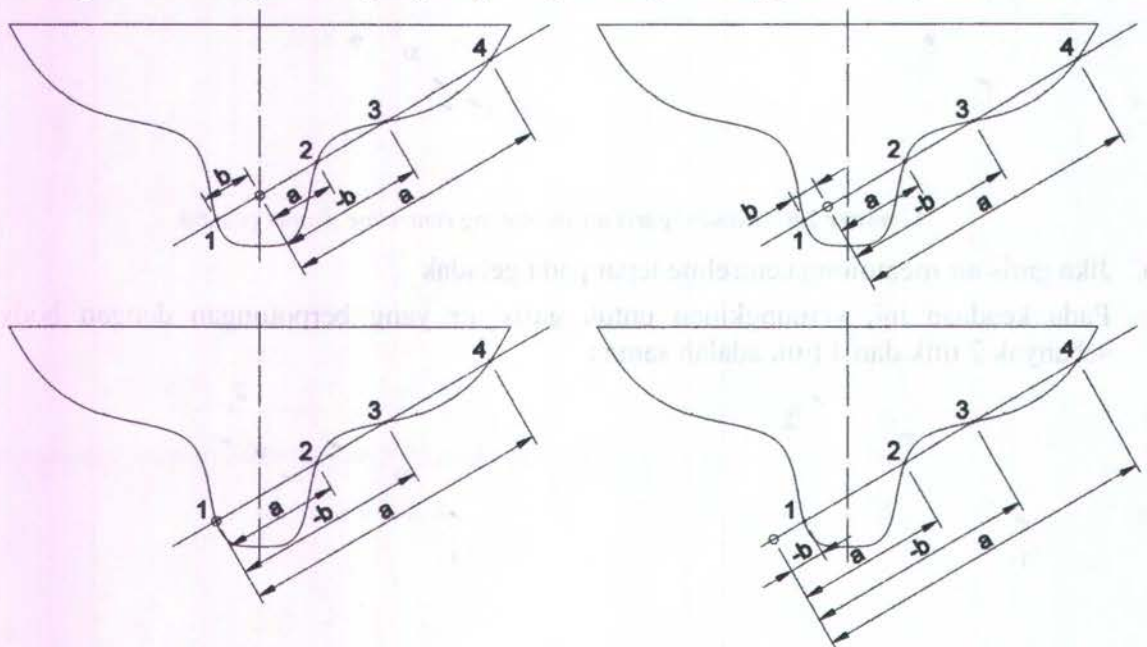
c. Jika garis air memotong centreline di antara geladak dan keel

Kemungkinan untuk garis air yang berpotongan dengan body plan sebanyak 2 titik :



Gambar 2.11 Kondisi garis air memotong centreline di antara geladak dan keel untuk body plan dengan 2 titik potong

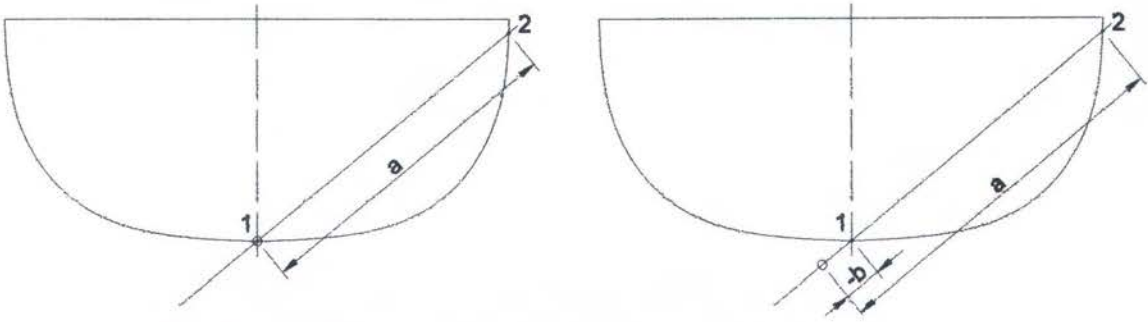
Kemungkinan untuk garis air yang berpotongan dengan body plan sebanyak 4 titik :



Gambar 2.12 Kondisi garis air memotong centreline di antara geladak dan keel untuk body plan dengan 4 titik potong

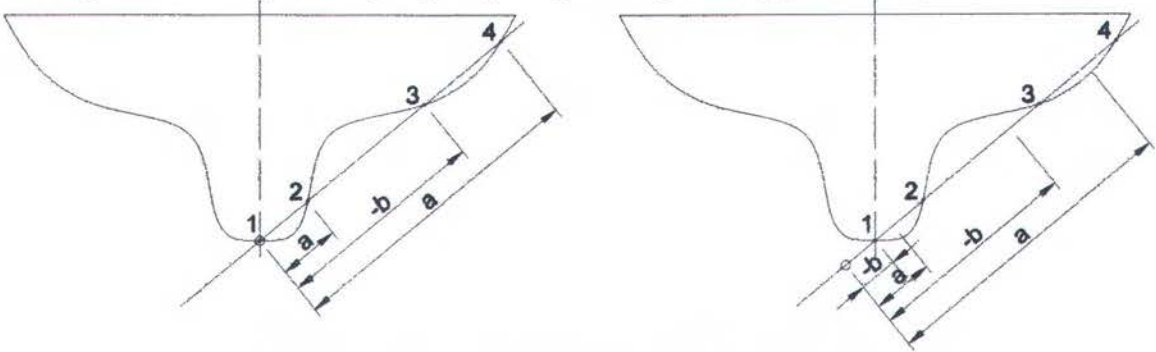
d. Jika garis air memotong centreline tepat pada keel

Kemungkinan untuk garis air yang berpotongan dengan body plan sebanyak 2 titik :



Gambar 2.13 Kondisi garis air memotong centreline tepat pada keel untuk body plan dengan 2 titik potong

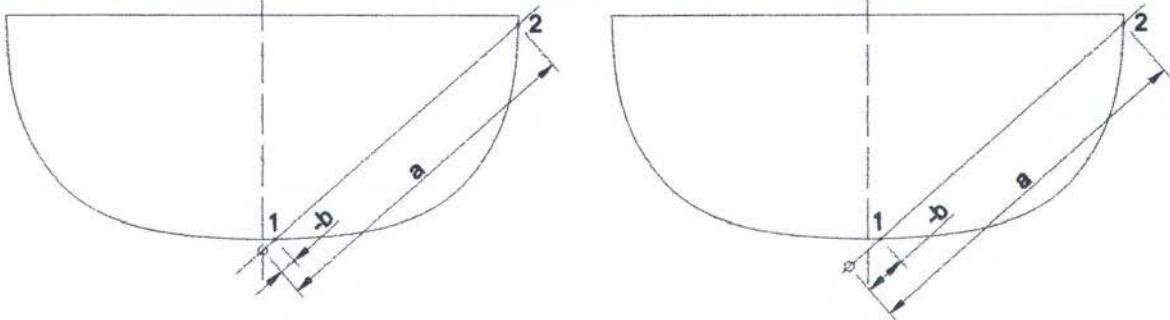
Kemungkinan untuk garis air yang berpotongan dengan body plan sebanyak 4 titik :



Gambar 2.14 Kondisi garis air memotong centreline tepat pada keel untuk body plan dengan 4 titik potong

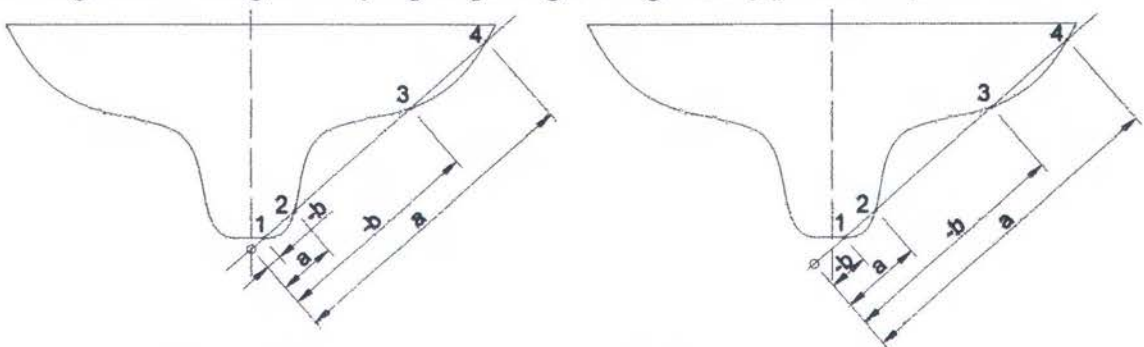
e. Jika garis air memotong centreline di bawah keel

Kemungkinan untuk garis air yang berpotongan dengan body plan sebanyak 2 titik :



Gambar 2.15 Kondisi garis air memotong centreline di bawah keel untuk body plan dengan 2 titik potong

Kemungkinan untuk garis air yang berpotongan dengan body plan sebanyak 4 titik :



Gambar 2.16 Kondisi garis air memotong centreline di bawah keel untuk body plan dengan 4 titik potong

2.3.2 Perhitungan Lengan Stabilitas Statis

Setelah diperoleh radius metacentre untuk tiap sudut, langkah selanjutnya dalam pembuatan kurva stabilitas adalah menghitung lengan stabilitas. Dalam pembuatan kurva stabilitas digunakan skema perhitungan yang dikenalkan oleh *A. N. Krylov* (Semyonov).

Metode yang digunakan dalam perhitungan kurva stabilitas ini adalah integral dengan variabel batas atas, yang dapat dilihat dalam formula :

$$\int_0^{z_n} f(z)dz = h \left[\frac{1}{2} f(z_0) + f(z_1) + \dots + f(z_{n-1}) + \frac{1}{2} f(z_n) \right] \dots\dots\dots (2.59)$$

Atau

$$\int_0^{z_n} f(z)dz = \frac{h}{2} \{ [f(z_0) + f(z_1)] + [f(z_1) + f(z_2)] + [f(z_2) + f(z_3)] + \dots + [f(z_{n-1}) + f(z_n)] \} \dots\dots\dots (2.60)$$

dimana $h = \frac{z_n}{n}$

Operasi perhitungan integral dengan variabel batas atas dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Perhitungan integral dengan variabel batas atas

No. of ordinate, <i>i</i>	Ordinates, <i>f(z)</i>	Integral sums, Σ_i	Values of definite integral $\int_0^{z_i} f(z)dz$
0	$f(z_0)$ ←	0	0
1	$f(z_1)$ → ←	$f(z_0) + f(z_1)$	$\frac{h}{2} \Sigma_1$
2	$f(z_2)$ → ←	$f(z_0) + 2f(z_1) + f(z_2)$	$\frac{h}{2} \Sigma_2$
3	$f(z_3)$ → ←	$f(z_0) + 2f(z_1) + 2f(z_2) + f(z_3)$	$\frac{h}{2} \Sigma_3$
...
n-1	$f(z_{n-1})$ → ←	$f(z_0) + 2f(z_1) + \dots + f(z_{n-1})$	$\frac{h}{2} \Sigma_{n-1}$
n	$f(z_n)$ →	$f(z_0) + 2f(z_1) + \dots + f(z_{n-1}) + f(z_n)$	$\frac{h}{2} \Sigma_n$

Langkah awal dalam perhitungan lengan stabilitas adalah menghitung koordinat titik bouyancy kapal pada kondisi dengan kemiringan θ . Kordinat tersebut adalah :

$$y_\theta = \int_0^\theta r_\varphi \cdot \cos \varphi d\varphi \dots\dots\dots (2.61)$$

$$z_\theta - z_c = \int_0^\theta r_\varphi \cdot \sin \varphi d\varphi \dots\dots\dots (2.62)$$

- Dimana :
- y_θ = Jarak horizontal antara pusat bouyancy volume badan kapal tercelup pada kemiringan θ° dengan sumbu z [m]
 - z_θ = Jarak vertikal pusat bouyancy volume badan kapal tercelup pada kondisi dengan kemiringan θ° [m]
 - z_c = Jarak vertikal antara pusat bouyancy volume badan kapal awal, yaitu pada kondisi 0° [m]
 - $z_\theta - z_c$ = Jarak vertikal antara pusat bouyancy volume badan kapal tercelup pada kondisi awal dengan kondisi kemiringan θ° [m]

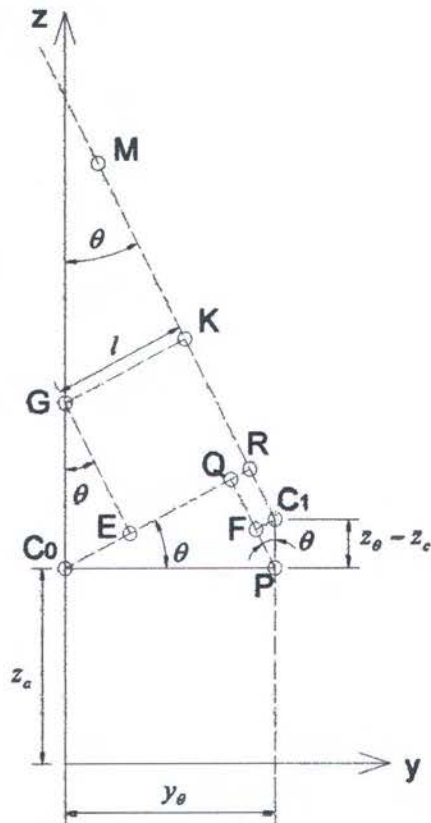
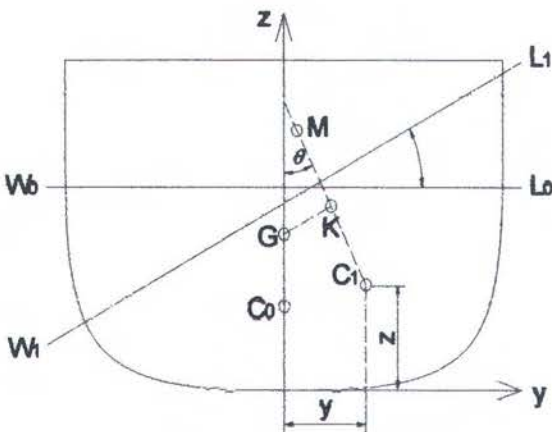
Jika ada sebuah kopel yang bekerja pada badan kapal dan komponen gaya, dengan arah dan letaknya diketahui, maka kopel ini dapat dipisah menjadi dua komponen, yaitu pertama momen stabilitas bentuk (M_c) dengan lengan stabilitas bentuk (l_c), dan yang kedua momen stabilitas beban (M_g) dengan lengan stabilitas beban (l_g). maka besar momen pengembali :

$$M_r = M_c - M_g \dots\dots\dots (2.63)$$

Sehingga diperoleh lengan stabilitas statis :

$$l = l_c - l_g \dots\dots\dots (2.64)$$

- Dimana :
- M_r = Momen statis [m^4]
 - M_c = Momen statis karena pengaruh bentuk badan kapal [m^4]
 - M_g = Momen statis karena pengaruh beban kapal [m^4]
 - l = Lengan stabilitas statis [m]
 - l_c = Lengan stabilitas karena pengaruh bentuk badan kapal [m]
 - l_g = Lengan stabilitas karena pengaruh beban kapal [m]



Gambar 2.17 Kondisi garis air memotong centreline di bawah keel untuk body plan dengan 2 titik potong

Dari gambar dapat diketahui bahwa lengan stabilitas bentuk dan lengan stabilitas beban :

$$l_c = \overline{C_0R} = \overline{C_0Q} + \overline{QR} \dots\dots\dots (2.65)$$

$$l_g = \overline{C_0E} \dots\dots\dots (2.66)$$

Sehingga lengan stabilitas statis, sesuai gambar diatas :

$$l = \overline{GK} = \overline{C_0Q} + \overline{QR} - \overline{C_0E} \dots\dots\dots (2.67)$$

Dari gambar diatas, diketahui bahwa :

$$\overline{C_0G} = a, \quad \overline{C_0P} = y_\theta, \quad \text{dan} \quad \overline{PC_1} = z_\theta - z_c$$

Maka diperoleh :

$$\overline{C_0Q} = y_\theta \cos \theta \dots\dots\dots (2.68)$$

$$\overline{QR} = (z_\theta - z_c) \sin \theta \dots\dots\dots (2.69)$$

$$\overline{C_0E} = a \sin \theta \dots\dots\dots (2.70)$$

Jika persamaan (2.68), (2.69), dan (2.70) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.67) diperoleh lengan stabilitas statis :

$$l = y_\theta \cos \theta + (z_\theta - z_c) \sin \theta - a \sin \theta \dots\dots\dots (2.71)$$

Setelah diperoleh lengan stabilitas atau *righting arm* untuk tiap sudut kemiringan, maka dapat dibuat kurva stabilitas.

2.4 SOLAS CONSOLIDATED EDITION 2004 CHAPTER II-1 PART B-1

Aturan SOLAS tentang subdivisi dan damage stability tercantum dalam Chapter II-1 Part B-1 Regulasi 25-1 sampai Regulasi 25-10, yang diberlakukan untuk kapal-kapal barang yang dibangun pada atau setelah tanggal 1 Februari 1992.

Dalam peraturan SOLAS ini terdapat istilah-istilah yang berhubungan dengan perhitungan yaitu :

1. *Subdivision Load Line* : garis air yang digunakan untuk menentukan penyekatan kapal.
2. *Deepest Subdivision Load Line (DSL)* : *Subdivision Load Line* yang merupakan sarat kapal pada musim panas (*summer draught*)
3. *Partial Load Line (PLL)* : Sarat kapal kosong ditambah 60% jarak antara sarat kapal kosong dan *Deepest Subdivision Load Line*
4. *Subdivision Length of the Ship (L_s)* : panjang yang diukur antara garis tegak pada *Deepest Subdivision Load Line*
5. *Mid-Length* : titik tengah dari *Subdivision Length*
6. *Aft Terminal* : ujung belakang dari *Subdivision Length*
7. *Forward Terminal* : Ujung depan dari *Subdivision Length*
8. *Breadth (B)* : Lebar terlebar kapal dari *Deepest Subdivision Load Line*
9. *Draught (d)* : Tinggi dari *moulded baseline* pada titik tengah *Subdivision Length* ke *Subdivision Load Line*
10. *Permeability (μ)* : bagian dari volume ruangan yang masih dapat diisi oleh air bocor

2.4.1 Indeks Subdivisi

Peraturan SOLAS tentang *subdivision* dibuat dimaksudkan untuk mendapatkan jarak sekat minimum bagi kapal barang yang masih memenuhi standar keselamatan. Memenuhi atau tidaknya *subdivision* suatu kapal ditentukan oleh suatu indeks derajat *subdivision* (R) yang tercantum pada Regulasi 25-3 :

$$R = (0.002 + 0.0009L_s)^{1/3} \quad \text{untuk } L_s \geq 100 \text{ m} \quad \dots\dots\dots (2.72)$$

$$R = 1 - \left[1 / \left(1 + \frac{L_s}{100} \times \frac{R_o}{1 - R_o} \right) \right] \quad \text{untuk } 80 \text{ m} \geq L_s > 100 \text{ m} \quad \dots\dots\dots (2.73)$$

R_o merupakan harga R dari perhitungan untuk kapal dengan $L_s \geq 100$ m

Indeks yang dicapai (*Attained Subdivision Index, A*) sebuah kapal tidak boleh kurang dari harga indeks R (*Required Subdivision Index, R*).

$$A \geq R \quad \dots\dots\dots (2.74)$$

Index A dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini sesuai dengan Regulasi 25-4 :

$$A = \sum p_i s_i \quad \dots\dots\dots (2.75)$$

- dimana :
- i : kompartemen atau kelompok kompartemen yang diperhitungkan
 - p_i : jumlah kemungkinan dari kompartemen atau kelompok kompartemen yang diperhitungkan bocor, dengan mengabaikan setiap subdivisi horisontal
 - s_i : jumlah kemungkinan dapat bertahan (tidak terbalik) setelah bocornya tiap kompartemen atau kelompok kompartemen yang diperhitungkan, termasuk pengaruh dari setiap subdivisi horisontal

Perhitungan ini hanya mencakup seluruh kasus kebocoran yang mungkin terjadi sepanjang kapal (L_s), yang memberikan kontribusi pada nilai *Index A*. Kasus ini bisa terjadi untuk satu kompartemen atau beberapa kompartemen yang saling berdekatan.

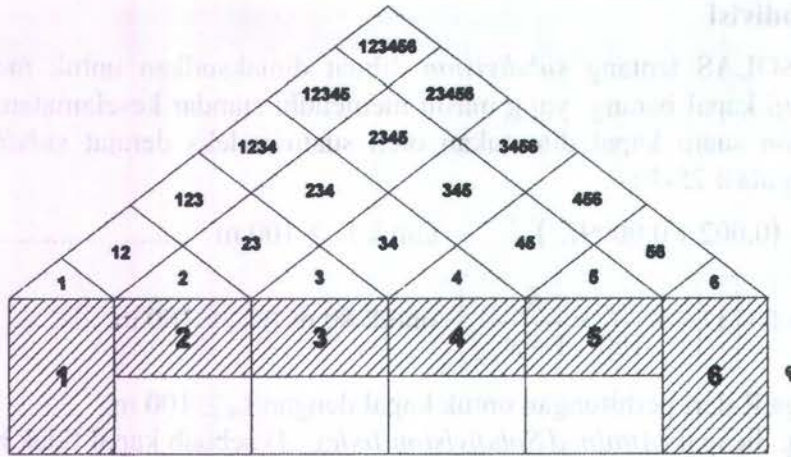
Jika terdapat wing kompartemen maka perhitungan juga harus mengikutsertakan kompartemen ini. Dimana kompartemen ini bisa menjadi kasus *flooding* tersendiri dan juga bisa gabungan dengan kompartemen di dalamnya.

Luas kerusakan vertikal yang diasumsikan adalah membentang dari garis dasar ke atas hingga ke setiap subdivisi horizontal kedap air di atas garis air atau lebih tinggi

Jika terdapat sekat memanjang maka kasus yang dihitung adalah kasus kebocoran pada salah satu sisi kapal yang mengakibatkan terjadinya olangan/hell. Jika terdapat sekat memanjang yang terletak tepat pada centerline maka sekat ini dianggap tidak pernah rusak.. Namun dapat menembus kompartemen yang membentang ke garis tengah kapal.

Contoh 1 :

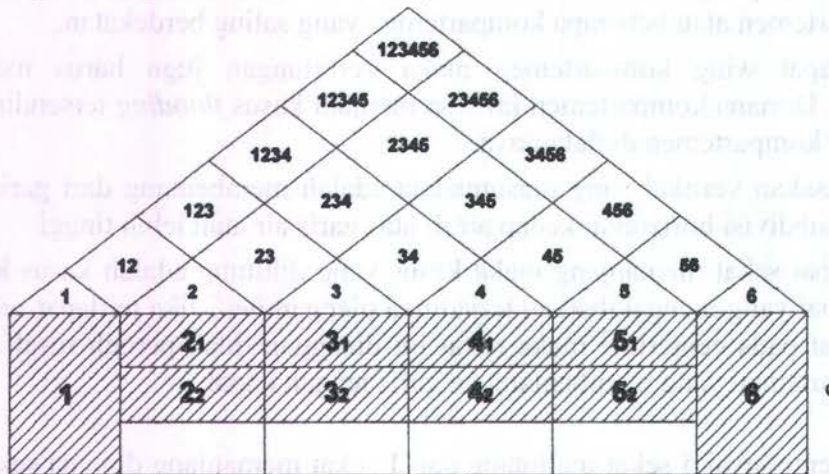
Ponton mempunyai 5 sekat melintang dan 1 sekat memanjang dimana sekat memanjang tepat di centerline. Segitiga dan angka-angka diatas menunjukkan kompartemen dan kelompok kompartemen yang bisa mengalami kebocoran. Angka 1 berarti kompartemen 1 yang mengalami kebocoran, angka 345 berarti kompartemen 3, 4 dan 5 yang mengalami kebocoran. Demikian seterusnya, kompartemen yang bocor dan jumlahnya sesuai dengan letak segitiga dan nomornya. Jika dijumlahkan maka ponton ini mempunyai 21 kemungkinan kompartemen bocor. Jadi subindex i akan bernilai $i = 1$ sampai $i = 21$.



Gambar 2.18 Kondisi garis air memotong centreline di bawah keel untuk body plan dengan 2 titik potong

Contoh 2 :

Ponton mempunyai 5 sekat melintang dan 2 sekat memanjang dimana sekat memanjang tidak tepat di centerline. Penentuan kasus kemungkinan kompartemen bocor sama dengan contoh 1 diatas, namun dilakukan sebanyak 2 kali. Perbedaannya dalam menentukan kompartemen nomor 2. Pada perhitungan pertama digunakan kompartemen nomor 2₁, 3₁, 4₁, dan 5₁ atau lebar kompartemen b₁. Sedangkan perhitungan kedua digunakan kompartemen kedua digunakan kompartemen (2₁+2₂), (3₁+3₂), (4₁+4₂), dan (5₁+5₂) atau pada lebar kompartmen b₂, karena sekat memanjang yang atas dianggap mengalami kerusakan dan air masuk ke kompartemen sebelah dalam. Sedangkan kompartemen 1 dan 2 perhitungan dilakukan hanya 1 kali karena keadaan kompartemen tetap (tidak ada tambahan kompartemen lain). Jadi semakin banyak sekat memanjang maka perhitungan akan semakin banyak.



Gambar 2.19 Kondisi garis air memotong centreline di bawah keel untuk body plan dengan 2 titik potong

2.4.2 Faktor p₁

Sesuai dengan *Regulasi 25-5*, faktor p₁ harus dihitung sesuai dengan yang disyaratkan, menggunakan notasi berikut :

- x₁ = Jarak dari terminal belakang L_s ke bagian paling depan dari ujung belakang kompartemen yang diperhitungkan.
- x₂ = Jarak dari terminal belakang L_s ke bagian paling depan ujung depan kompartemen yang diperhitungkan.

$$E_1 = \frac{x_1}{L_s}$$

$$E_2 = \frac{x_2}{L_s}$$

$$E = E_1 + E_2 - 1$$

$$J = E_2 - E_1$$

$$J = J - E \quad , \text{jika } E > 0$$

$$J = J + E \quad , \text{jika } E < 0$$

Panjang kerusakan *nondimensional* maksimum :

$$J_{\max} = \frac{48}{L_s} \quad , \quad J_{\max} \leq 0,24$$

Distribusi berat jenis lokasi kerusakan yang membentang sepanjang kapal yang diasumsikan :

$$a = 1,2 + 0,8E \quad , \quad a \leq 1,2$$

Asumsi distribusi fungsi dari lokasi kerusakan yang membentang sepanjang kapal :

$$F = 0,4 + 0,25E(1,2 + a)$$

$$\gamma = \frac{J}{J_{\max}}$$

$$p = F_1 J_{\max}$$

$$q = 0,4 F_2 (J_{\max})^2$$

$$F_1 = \gamma^2 - \frac{\gamma^3}{3} \quad \text{jika } \gamma < 1$$

$$F_1 = \gamma - \frac{1}{3} \quad \text{sebaliknya}$$

$$F_2 = \frac{\gamma^3}{3} - \frac{\gamma^4}{12} \quad \text{jika } \gamma < 1$$

$$F_2 = \frac{\gamma^2}{2} - \frac{\gamma}{3} + \frac{1}{12} \quad \text{sebaliknya}$$

Faktor p_i ditentukan untuk tiap satu kompartemen :

- Jika kompartemen memanjang hingga sepanjang kapal L_s :

$$p_i = 1$$

- Jika batas belakang dari kompartemen berimpit dengan terminal belakang (AF) :

$$p_i = F + 0,5ap + q$$

- Jika batas depan dari kompartemen berimpit dengan terminal depan (FT) :

$$p_i = 1 - F + 0,5ap$$

- Jika kedua ujung kompartemen berada di antara terminal belakang dan depan :

$$p_i = ap$$

- Untuk 3 rumus terakhir, jika mid length kapal terletak di dalam kompartemen yang diperhitungkan, nilai rumus ini harus dikurangi dengan jumlah yang ditentukan menurut rumus q , dimana F_2 dihitung dengan γ sebagai J/J_{maks} .

Untuk mengevaluasi nilai-nilai p_i yang menghubungkan pada kelompok kompartemen

- Untuk kompartemen dianggap sebagai sepasang:

$$p_i = p_{12} - p_1 - p_2$$

$$p_i = p_{23} - p_2 - p_3, \text{ dan seterusnya.}$$

- Untuk kompartemen diambil terdiri atas tiga kelompok :

$$p_i = p_{123} - p_{12} - p_{23} + p_2$$

$$p_i = p_{234} - p_{23} - p_{34} + p_3, \text{ dan seterusnya}$$

- Untuk kompartemen diambil terdiri atas empat kelompok :

$$p_i = p_{1234} - p_{123} - p_{234} + p_{23}$$

$$p_i = p_{2345} - p_{234} - p_{345} + p_{34}, \text{ dan seterusnya.}$$

dimana :

$p_{12}, p_{23}, p_{34},$ dan seterusnya,

$p_{123}, p_{234}, p_{345},$ dan seterusnya, dan

$p_{1234}, p_{2345}, p_{3456},$ dan seterusnya.

dihitung seperti single kompartemen dimana *nondimensional length*, J dihitung dengan panjang gabungan kompartemen-kompartemen tersebut

Faktor p_i untuk kelompok dari 3 atau lebih kompartemen yang berdekatan sama dengan nol jika panjang *nondimensional* dari kelompok tersebut dikurangi panjang *nondimensional* dari kompartemen paling belakang dan paling depan dalam kelompok itu lebih besar dari J_{max} .

2.4.3 Faktor s_i

Sesuai dengan *Regulasi 25-6*, Untuk masing-masing kompartemen dan group kompartemen (i) nilai s_i didapat dari persamaan berikut :

$$s_i = 0.5 s_l + 0.5 s_p \dots\dots\dots (2.76)$$

dimana : s_l adalah faktor s pada garis muat subdivisi terdalam

s_p adalah faktor s pada garis muat sebagian.

Nilai s untuk kondisi pengengangan dari setiap kondisi awal pemuatan :

$$s = C \sqrt{0.5(GZ_{max})(range)} \dots\dots\dots (2.77)$$

dimana : $C = 1,$ jika $\theta_e \leq 25^\circ$

$C = 0,$ jika $\theta_e > 30^\circ$

$$C = \sqrt{\frac{30 - \theta_e}{5}} \text{ jika } 25^\circ < \theta_e \leq 30^\circ$$

GZ_{max} = Lengan momen positif maksimum (meter) dalam range, tetapi tidak lebih dari 0,1 meter.

range = jangkauan dari lengan momen positif maksimum dibawah sudut keseimbangan namun tidak melebihi 20° ; atau sampai sudut dimana terdampnya bukaan yang tidak dapat ditutup kedap.

θ_e = sudut kemiringan keseimbangan akhir (derajat).

Nilai $s = 0$, jika garis air akhir dari perhitungan *sinkage*, *heel*, dan *trim* garis air akhir yang diperhitungkan tenggelam, kemiringan dan *trim*, menenggelamkan sisi bawah bukaan dimana penggenangan secara *progresif* dapat terjadi. Bukaan tersebut meliputi pipa udara, ventilasi dan bukaan yang dipenutup kedap cuaca.

Yang termasuk kedap air, yaitu tutup *manhole* kedap air, *flush scuttles*, tutup palkah kecil kedap air yang mempertahankan integritas geladak tetap tinggi, pintu geser kedap air yang dioperasikan dari jarak jauh, pintu masuk dan hatch cover untuk masuk yang berpenutup kedap air dan kuat yang biasanya ditutup waktu kapal di laut, dan *side scuttles* jenis yang tidak dapat dibuka.

Untuk semua kompartemen di depan sekat tubrukan, nilai s dihitung dengan mengasumsikan kapal berada garis muat subdivisi terdalam dan dengan mengasumsikan tingkat kerusakan vertikal tidak terbatas, dengan kata lain $s = 1$

2.4.4 Permeabilitas

Perhitungan kebocoran tidak dapat digunakan untuk memprediksi secara pasti sarat dan stabilitas setelah kebocoran karena adanya banyak ketidakpastian kondisi kebocoran. Ketidakpastian tersebut antara lain adalah besar kebocoran, panjang, tinggi dan lokasi kebocoran. Hal ini menunjukkan ketidakpastian seberapa banyak volume air yang masuk ke dalam kompartemen (Zubaly, 1996).

Perbandingan antara volume air kebocoran yang masuk ke dalam kompartemen (v_w) dengan volume *moulded* kompartemen (v_c) disebut dengan permeabilitas volume ruangan (μ)

$$\mu = \frac{v_w}{v_c} \dots\dots\dots (2.78)$$

Perkiraan permeabilitas ditentukan berdasarkan tipe kompartemen. Beberapa tipe kompartemen telah ditentukan berdasarkan eksperimen. *Permeability* untuk masing-masing lokasi kompartemen :

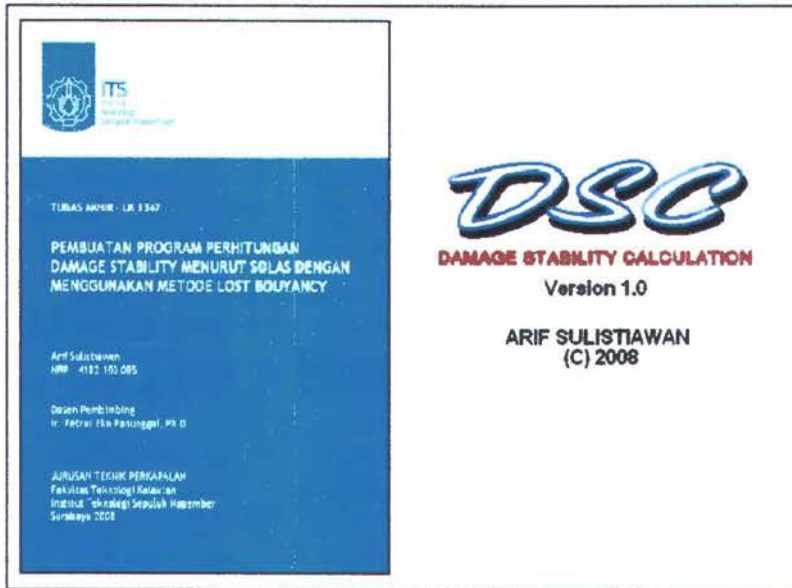
Tabel 2.2 *Permeabilitas untuk tiap jenis kompartemen*

Kompartemen	Permeabilitas
Void / ruang kosong	0.95
Kompartemen muatan kering / gudang	0.60
Ruang akomodasi	0.95
Ruang mesin	0.85
Cargo diisi zat cair (penuh)	0

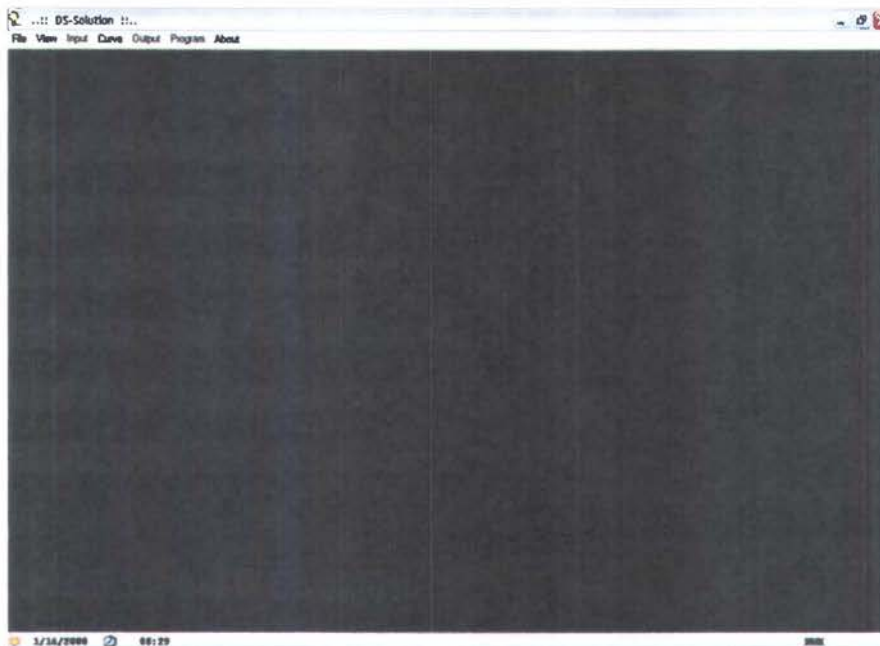
BAB III ALUR PROGRAM DAN VALIDASI

3.1 ALUR PROGRAM

Program ini memiliki 1 form induk dan 3 form cabang yang salah satunya adalah inti dari program perhitungan damage stability. Untuk lebih lanjutnya program perhitungan damage stability ini disebut dengan *DSC* yang merupakan kepanjangan dari *Damage Stability Calculation*. Pada awal program dijalankan akan muncul splash pembuka selama beberapa detik, kemudian akan tampil menu utama



Gambar 3.1 *Tampilan menu pembuka*



Gambar 3.2 *Tampilan menu utama*

3.1.1 Input Data

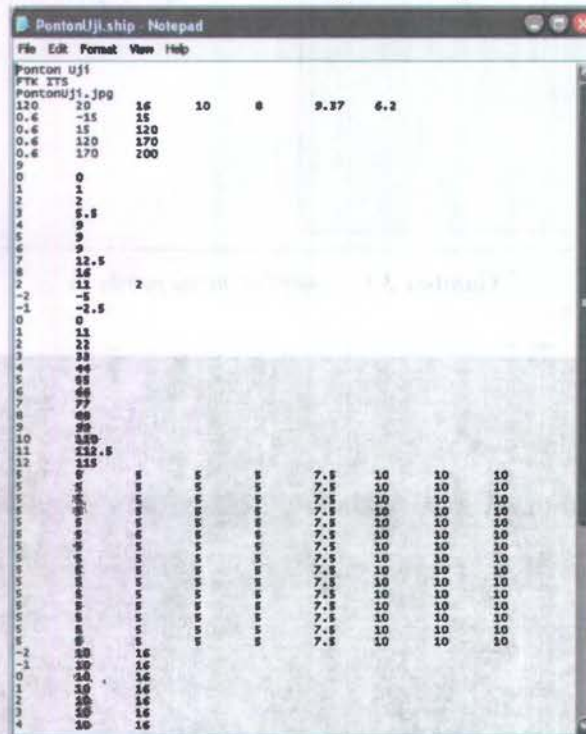
Dalam suatu program perhitungan, hal yang harus dilakukan agar proses perhitungan dapat dijalankan adalah memasukkan data yang dibutuhkan selama proses perhitungan, proses ini sering disebut dengan *Input Data*. Data yang akan dimasukkan bisa berupa file dokumen, file gambar, atau juga data yang langsung dimasukkan melalui program.

Pada program ini data yang dimasukkan berupa file dokumen dengan format *.txt*. Karena begitu banyak dan panjangnya data yang harus dimasukkan sebelum program di-*running*, yaitu dimulainya proses perhitungan, maka proses input data melalui file dokumen ini akan menjadikan program lebih efisien, tidak membuang waktu lama ketika harus di-*running* berulang-ulang.

Data input yang akan dimasukkan ke dalam program dibagi menjadi 3 jenis. Hal ini agar proses perhitungan dapat dibagi menjadi beberapa bagian, dan yang utama adalah agar hasil perhitungan dapat divariasikan. Tipe data tersebut adalah Input Kapal (*Ship*), Input Kompartemen (*Compartemen*), dan Input Kasus Kebocoran (*Case*). Berikut akan dijelaskan dari tipe-tipe data input tersebut.

1. Input Kapal (*Ship*)

Input Kapal merupakan data input pertama kali yang harus dimasukkan, yang berisikan data ukuran utama kapal, serta detail bentuk badan kapal yang akan diolah lagi menjadi data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan program.. Data input kapal ini disimpan dalam suatu file berbentuk dokumen berformat *.txt* yang terletak pada folder *ship*.



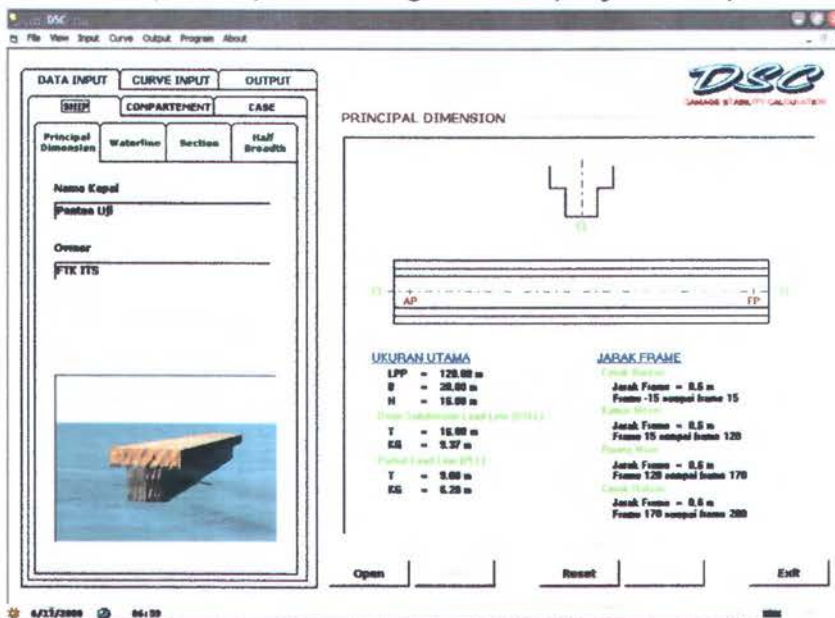
Gambar 3.3 Tampilan file input data kapal

Berikut rincian isi dari data Input Kapal (*Ship*) :

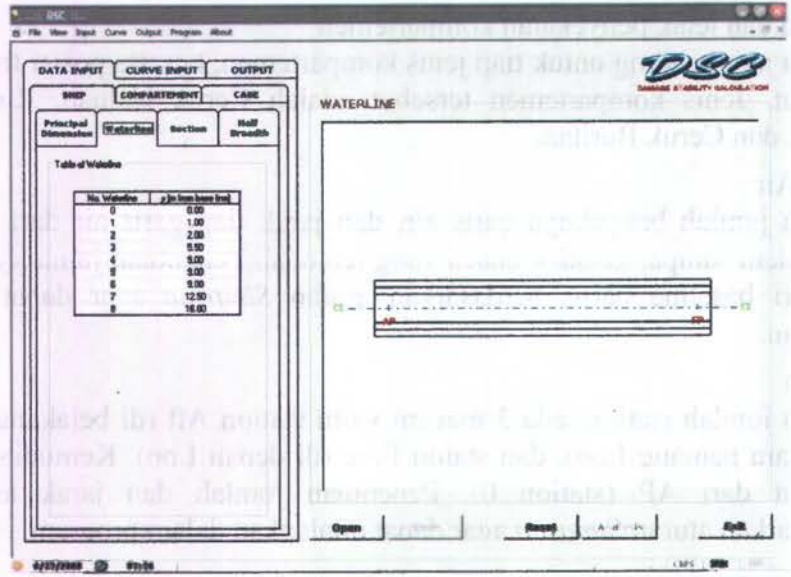
- Informasi Kapal
Berupa nama kapal, nama pemilik kapal, nama file gambar.
- Ukuran Utama
Berupa panjang kapal (L) , lebar kapal (B), tinggi kapal (H), sarat (T) dan titik berat kapal (KG) pada kondisi DSLL (*Deepest Subdivision Load Line*), maupun PLL (*Partial Load Line*).

- **Gading dan letak penyekatan kompartemen**
Berupa jarak gading untuk tiap jenis kompartemen, beserta posisi frame kompartemen tersebut. Jenis kompartemen tersebut adalah Ceruk Haluan, Ruang Muat, Kamar Mesin, dan Ceruk Buritan.
- **Garis Air**
Berupa jumlah banyaknya garis air, dan jarak tiap garis air dari baseline. Garis air ditentukan sampai geladak cuaca yang terendah. Penentuan jumlah dan jarak tiap garis air dari baseline harus berdasarkan aturan *Simpson* agar dapat dijalankan dalam program.
- **Station**
Berupa jumlah station, ada 3 macam yaitu station Aft (di belakang Lpp), station Lpp (di antara panjang Lpp), dan station Fore (di depan Lpp). Kemudian jarak tiap station tersebut dari AP (station 0). Penentuan jumlah dan jarak antar station harus berdasarkan aturan *Simpson* agar dapat dijalankan dalam program.
- **Setengah Lebar Kapal**
Berupa setengah lebar kapal (*Half Breadth*) semua station dan waterline. Disusun dalam bentuk matrik, dimana baris menunjukkan station, dan kolom menunjukkan waterline
- **Geladak Cuaca**
Berupa posisi tepi geladak cuaca tiap station yang bisa juga menunjukkan penambahan bodyplan di atas garis air tertinggi yang telah ditentukan sebelumnya. Data yang dimasukkan adalah berupa setengah lebar dan tinggi dari baseline tepi geladak cuaca untuk tiap station
- **Progressive Flooding**
Berupa posisi dimana akan terjadinya kebocoran secara terus-menerus (*progressive flooding*) untuk tiap station. Data yang dimasukkan berupa letak centreline dan tinggi dari baseline untuk tiap station.

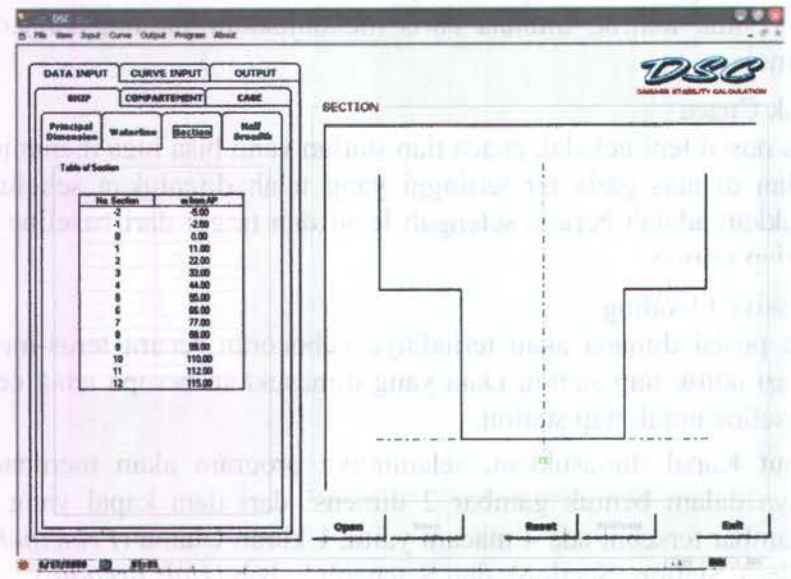
Setelah Input Kapal dimasukkan, selanjutnya program akan membaca data, dan akan mengubahnya dalam bentuk gambar 2 dimensi dari data kapal yang telah dimasukkan. Tampilan gambar tersebut ada 4 macam yaitu, Ukuran Utama (*Principal Dimension*), Garis Air (*Waterline*), Station (Section), dan Setengah Lebar (*Half Breadth*)



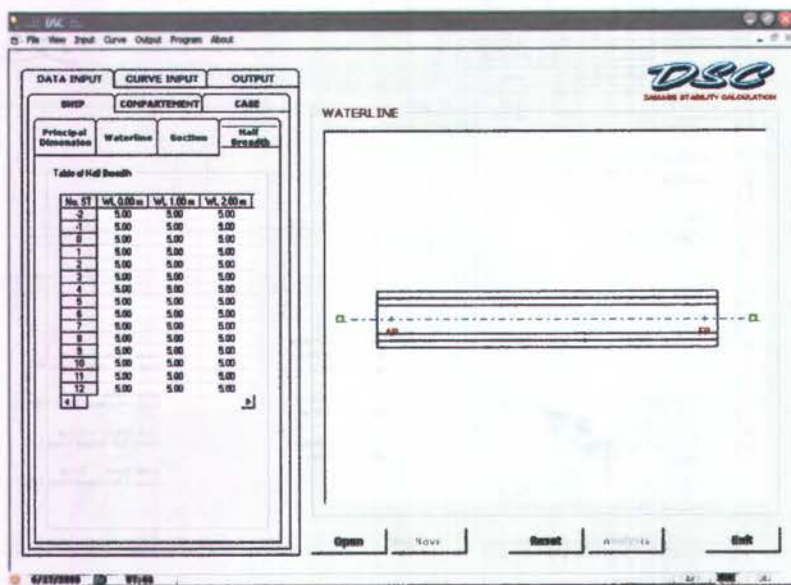
Gambar 3.4 Tampilan ukuran utama



Gambar 3.5 Tampilan waterline kapal



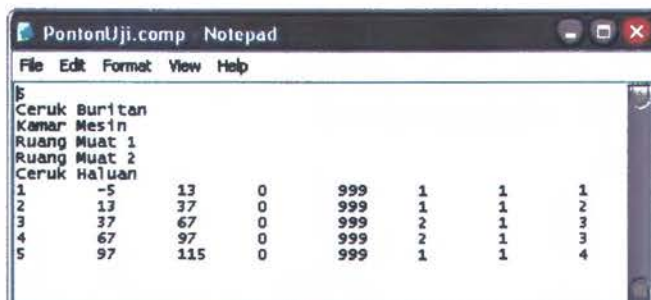
Gambar 3.6 Tampilan section kapal



Gambar 3.7 Tampilan halfbreadth kapal

2. Input Kompartemen (*Compartment*)

Input Kompartemen (*Compartment*) merupakan data input kedua yang harus dimasukkan, yang berisikan data-data kompartemen dan informasi penyekatan dalam kapal yang akan diolah lagi menjadi data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan program.. Data input kompartemen ini disimpan dalam suatu file berbentuk dokumen berformat *.txt* yang terletak pada folder *compartment*.



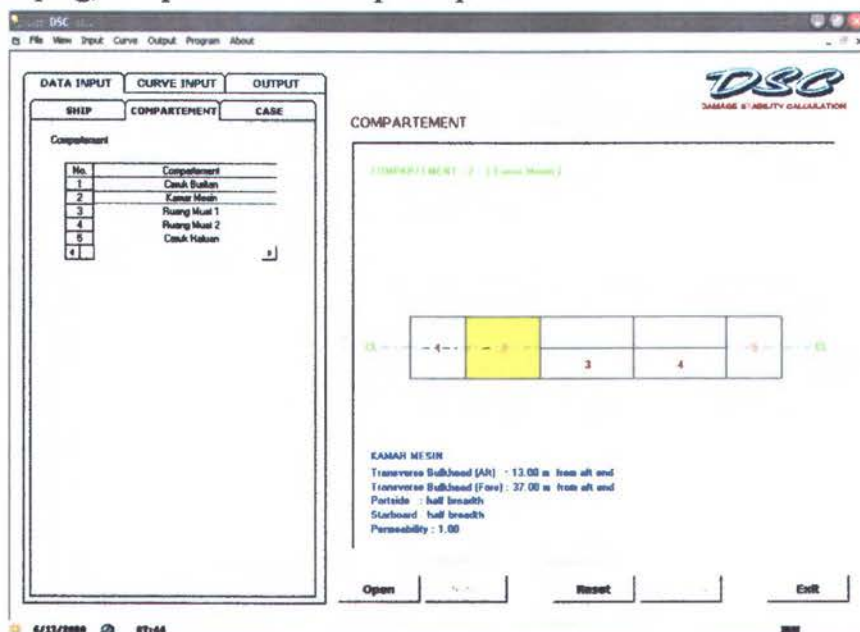
```

b
Ceruk Buritan
Kamar Mesin
Ruang Muat 1
Ruang Muat 2
Ceruk Haluan
1      -5      13      0      999      1      1      1
2      13      37      0      999      1      1      2
3      37      67      0      999      2      1      3
4      67      97      0      999      2      1      3
5      97      115     0      999      1      1      4
  
```

Gambar 3.8 Tampilan data input kompartemen

Berikut rincian isi dari data Input Kompartemen (*Compartment*) :

- Jumlah dan Nama
Berupa jumlah kompartemen dan nama masing-masing kompartemen
- Penyekatan
Berupa batas-batas penyekatan tiap kompartemen, yaitu batas depan, batas belakang, patas samping, dan permeabilitas tiap kompartemen.



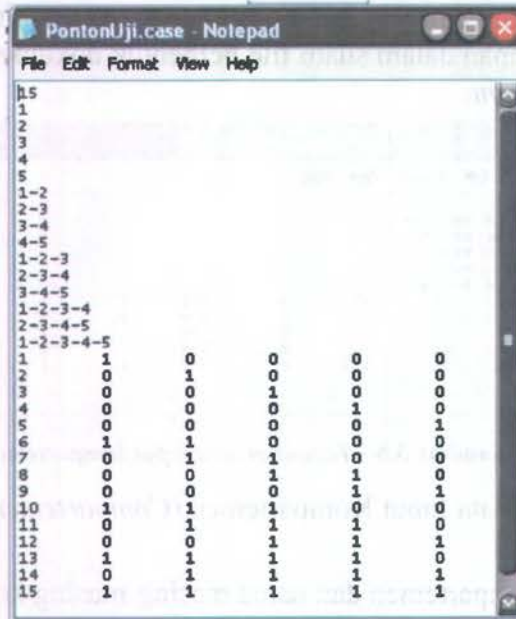
Gambar 3.9 Tampilan kompartemen kapal

Setelah Input Kompartemen dimasukkan, selanjutnya program akan membaca data, dan akan menggabungkan Input Kompartemen ke dalam Input Kapal, sehingga akan terdefinisi kompartemen dalam kapal.

3. Input Kasus (*Case*)

Input Kasus (*Case*) merupakan data input ketiga yang harus dimasukkan, yang berisikan data-data kemungkinan kasus kebocoran yang terjadi pada satu atau beberapa kompartemen. Data kompartemen bocor dari Input Kasus ini harus sesuai dengan kompartemen yang telah didefinisikan dalam Input Kompartemen. Data kemungkinan kasus

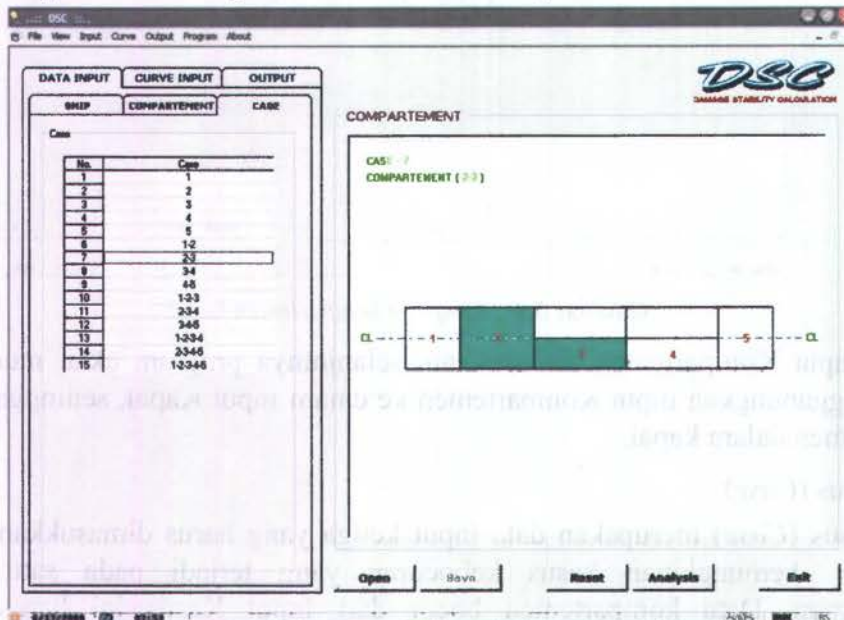
kebocoran ini diolah bersama Input Kapal dan Input Kompartemen sehingga diperoleh informasi yang dibutuhkan untuk perhitungan program. Data input kasus ini disimpan dalam suatu file berbentuk dokumen berformat .txt yang terletak pada folder case.



Gambar 3.10 Tampilan data input kasus

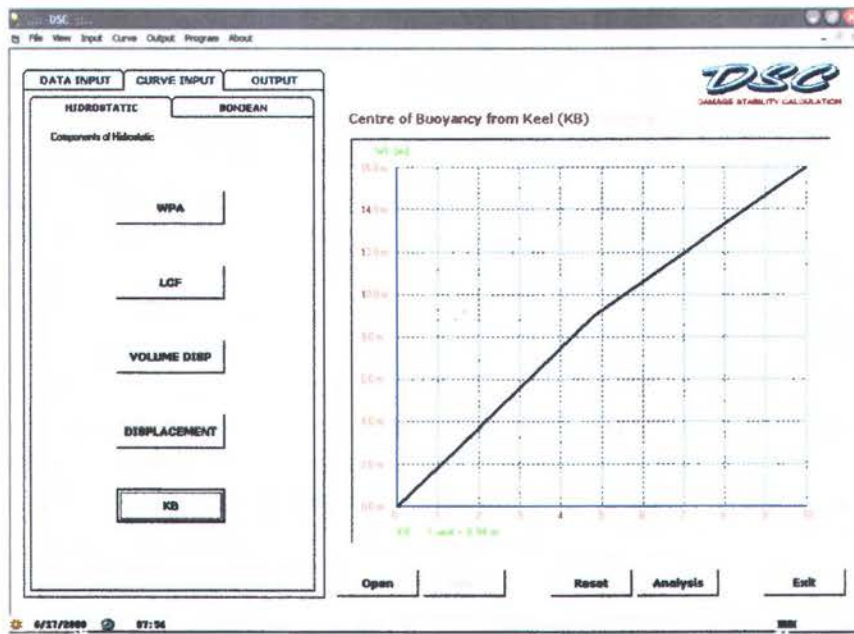
Berikut rincian isi dari data Input Kasus (Case) :

- Jumlah dan Nama
Berupa jumlah kasus dan nama masing-masing kasus, disini nama disesuaikan dengan kompartemen-kompartemen yang mengalami kebocoran.
- Kemungkinan Kebocoran
Berupa Informasi untuk tiap kasus, apakah pada kasus tersebut suatu kompartemen mengalami kebocoran atau tidak. Banyaknya kolom menunjukkan banyaknya kompartemen, sedangkan banyaknya baris menunjukkan banyaknya kasus. Jika suatu kompartemen mengalami kebocoran pada suatu kasus maka nilainya adalah 1, sedangkan jika tidak mengalami kebocoran nilainya 0.



Gambar 3.11 Tampilan kasus kebocoran kapal

3.1.2 Perhitungan Kurva Hidrostatik

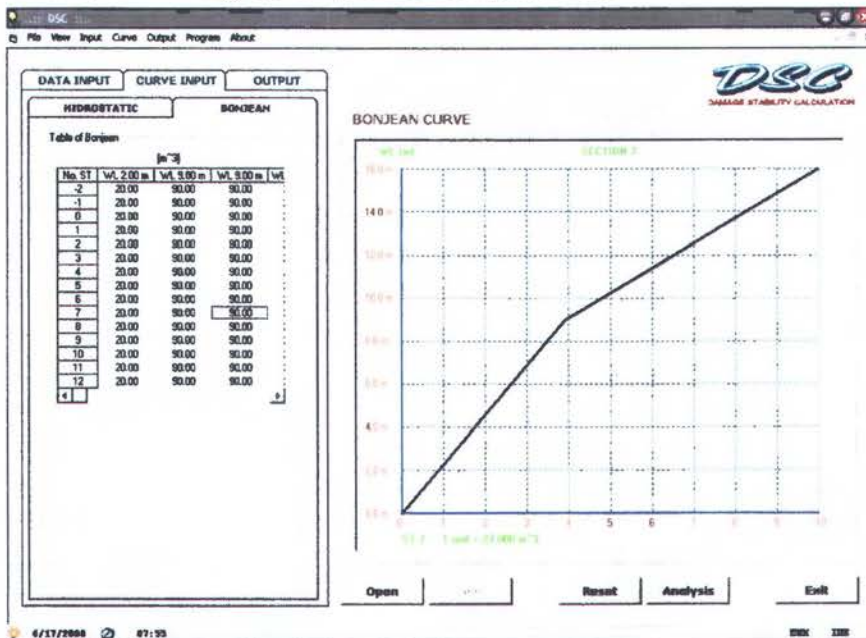


Gambar 3.12 Tampilan hidrostatik kapal

Kurva hidrostatik merupakan hasil perhitungan dari data input kapal, berisikan informasi yang akan dibutuhkan untuk perhitungan damage stability dengan metode *lost buoyancy*. Komponen-komponen dari kurva hidrostatik yang dibutuhkan antara lain, luasan bidang air (WPA), titik pusat luasan bidang air secara memanjang (LCF), volume displacement, displacement kapal, dan titik buoyancy dari baseline (KB). Langkah-langkah perhitungan kurva hidrostatik ini dilakukan secara berurutan dari waterline paling bawah sampai paling atas.

3.1.3 Perhitungan Kurva Bonjean

Kurva Bonjean merupakan hasil perhitungan dari data input kapal, berisikan informasi yang akan dibutuhkan untuk perhitungan damage stability dengan metode *lost buoyancy*. Terutama digunakan untuk mengetahui volume kompartemen.



Gambar 3.13 Tampilan Kurva Bonjean untuk tiap section

3.1.4 Menghitung Kondisi Kesetimbangan Setelah Kebocoran

Setelah diperoleh data-data awal yang diperlukan, langkah selanjutnya kita dapat melakukan perhitungan kondisi kesetimbangan kapal atau yang sering disebut dengan *equilibrium*. Ketika mengalami keboboran, air akan masuk ke dalam kompartemen atau beberapa kompartemen berdekatan yang mengalami kebocoran terus menerus sampai kapal mencapai keadaan kesetimbangan baru. Untuk menghitung keadaan kesetimbangan tersebut digunakan metode *lost bouyancy*. Prinsip metode ini adalah mengansumsikan air yang masuk ke dalam kompartemen akan mengurangi *bouyancy* atau gaya tekan ke atas kapal.

Gata yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan *lost bouyancy* diperoleh dari kurva hidrostatik, bonjean dan perhitungan kompartemen. Dari perhitungan *lost bouyancy* ini akan diperoleh parameter utama kondisi kesetimbangan yaitu trim (ϕ), heel (θ), dan sarat pada midship ($T_{midship}$). Dari parameter kondisi kesetimbangan ini akan digunakan untuk perhitungan kurva stabilitas untuk kondisi kebocoran. Skema iterasi dari proses perhitungan kondisi kesetimbangan menggunakan metode *lost bouyancy* dalam program adalah sebagai berikut :

```
.....
For t = 1 to 2 (SDLL & PLL)
```

```
.....
  For g = 1 to jumlah_kasus
```

```
.....
    Trim(t,g) = ...
```

```
    Heel(t,g) = ...
```

```
    Tmidship(t,g) = ...
```

```
  Next g
```

```
.....
Next t
```

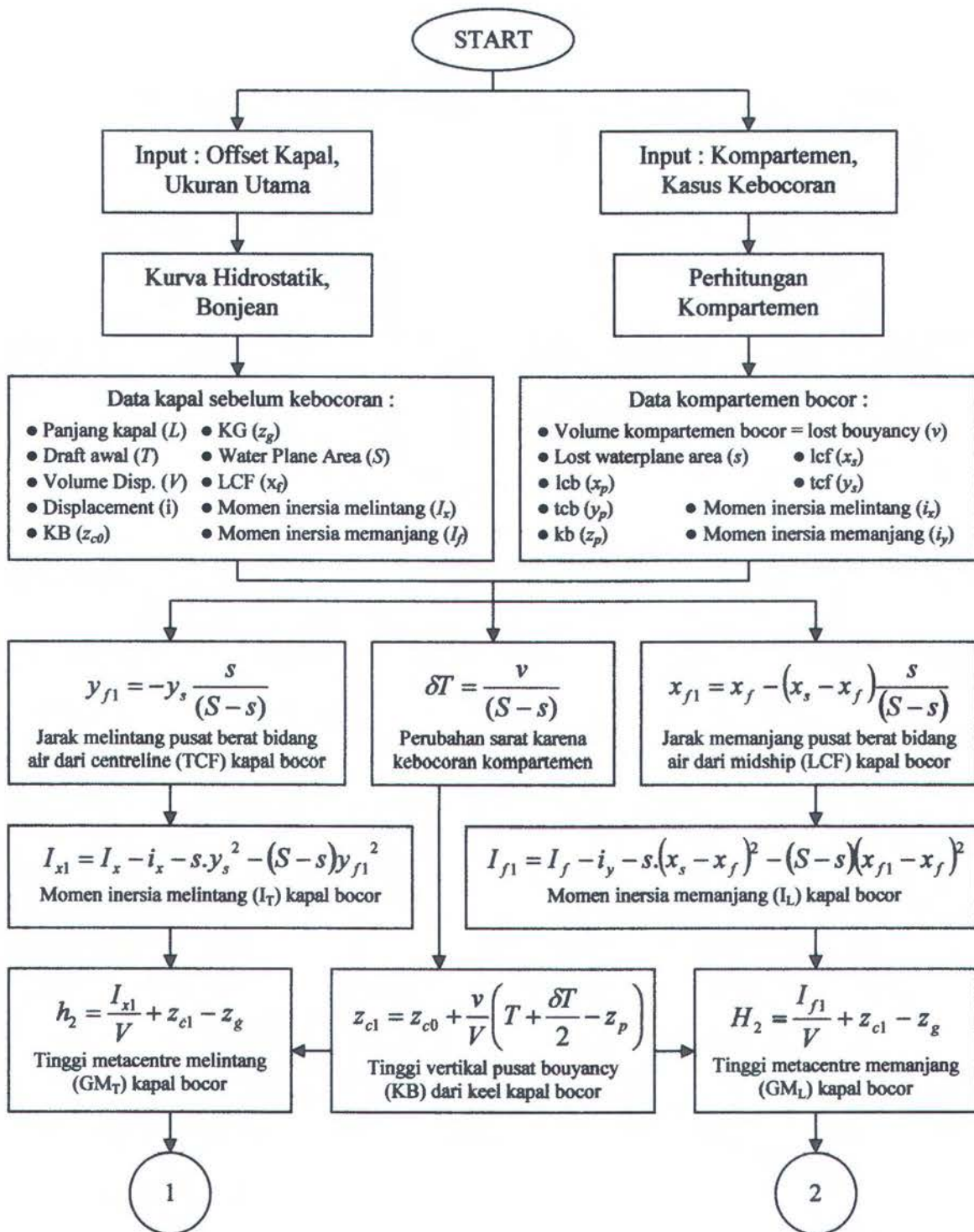
```
.....
```

Langkah-langkah perhitungan kondisi kesetimbangan menggunakan metode *lost bouyancy* dapat dilihat pada diagram alir gambar 3.14 dan 3.15.

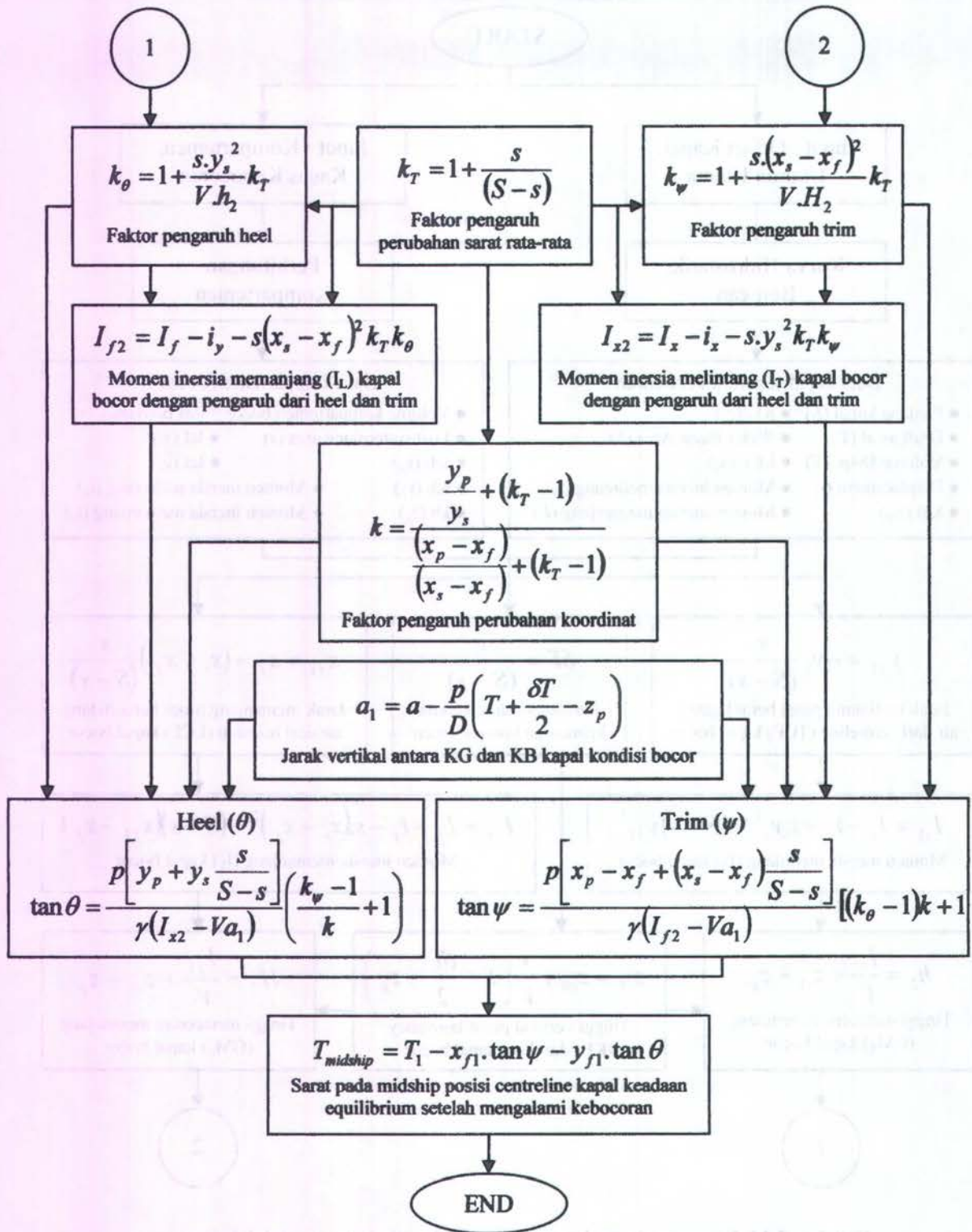
3.1.5 Mencari Perpotongan Dua Garis

Untuk mendapatkan kurva stabilitas, metode yang digunakan adalah metode Krilov. Bagian terpenting adalah mendapatkan nilai a dan b. Untuk mendapatkan nilai a dan b maka akan digunakan logika sederhana. Seperti diketahui bahwa panjang a atau b adalah panjang yang diukur antara titik putar dan titik perpotongan garis a atau b dengan garis tepi kapal (sisi kapal, geladak, ataupun garis dasar kapal). Sebelumnya kita asumsikan bahwa sisi kapal adalah integral dari garis-garis lurus yang membentuk kurva body plan. Dari sini panjang a atau b dapat dicari dengan menghitung jarak dan titik putar ke perpotongan antara garis antara garis a atau b dengan garis lurus yang merupakan segmen dan body plan.

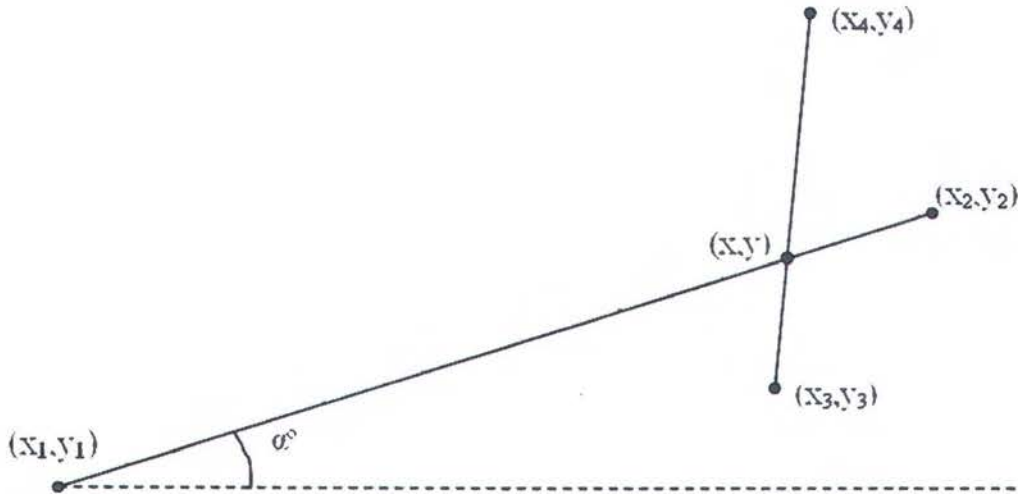
Jika kita akan menghitung perpotongan dua garis lurus yaitu A dan B, dimana untuk garis A hanya diketahui satu titik yaitu $P_1(x_1, y_1)$ sedangkan titik lainnya $P_2(x_2, y_2)$ tidak diketahui, namun besar sudut yang terbentuk antara garis A dengan sumbu x positif diketahui sebesar α . Sedangkan untuk garis B diketahui dua titik yaitu $P_3(x_3, y_3)$ dan $P_4(x_4, y_4)$. Maka untuk menghitung perpotongan dua garis tersebut digunakan persamaan garis lurus untuk garis A dan B dari substitusi dua garis lurus tersebut akan diperoleh titik perpotongan (x,y). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.14 Diagram alir perhitungan kondisi kesetimbangan setelah kebocoran menggunakan metode lost buoyancy (1)



Gambar 3.15 Diagram alir perhitungan kondisi kesetimbangan setelah kebocoran menggunakan metode lost buoyancy (II)



Gambar 3.16 Titik perpotongan antara dua garis

Garis A

$$\frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} = \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dari persamaan (3.1) diperoleh :

$$y = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x - x_1) + y_1 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$x = \frac{(x_2 - x_1)}{(y_2 - y_1)}(y - y_1) + x_1 \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana,

$$\frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} = M_A = \tan \alpha \dots\dots\dots (3.4)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.2) dan (3.3) ke dalam (3.4) diperoleh :

$$y = M_A(x - x_1) + y_1 \dots\dots\dots (3.5)$$

$$x = \frac{(y - y_1)}{M_A} + x_1 \dots\dots\dots (3.6)$$

Garis B

$$\frac{(x - x_3)}{(x_4 - x_3)} = \frac{(y - y_3)}{(y_4 - y_3)} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dari persamaan (3.7) diperoleh :

$$y = \frac{(y_4 - y_3)}{(x_4 - x_3)}(x - x_3) + y_3 \dots\dots\dots (3.8)$$

$$x = \frac{(x_4 - x_3)}{(y_4 - y_3)}(y - y_3) + x_3 \dots\dots\dots (3.9)$$

Dimana

$$\frac{(y_4 - y_3)}{(x_4 - x_3)} = M_B \dots\dots\dots (3.10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.8) dan (3.9) ke dalam (3.10) diperoleh :

$$y = M_B(x - x_3) + y_3 \dots\dots\dots (3.11)$$

$$x = \frac{(y - y_3)}{M_B} + x_3 \dots\dots\dots (3.12)$$

Jika persamaan (3.5) dan (3.11) disubstitusikan maka diperoleh :

$$M_A(x - x_1) + y_1 = M_B(x - x_3) + y_3 \dots\dots\dots (3.13)$$

Sehingga dari persamaan (3.13) diperoleh koordinat (x) titik potong garis A dan B :

$$x = \frac{M_A x_1 - M_B x_3 + y_3 - y_1}{M_A - M_B} \dots\dots\dots (3.14)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.6) dan (3.12) diperoleh :

$$\frac{(y - y_1)}{M_A} + x_1 = \frac{(y - y_3)}{M_B} + x_3 \dots\dots\dots (3.15)$$

Sehingga dari persamaan (3.15) diperoleh koordinat (y) titik potong garis A dan B :

$$y = \frac{\frac{y_1}{M_A} - \frac{y_3}{M_B} + x_3 - x_1}{\frac{1}{M_A} - \frac{1}{M_B}} \dots\dots\dots (3.16)$$

Pengecualian,

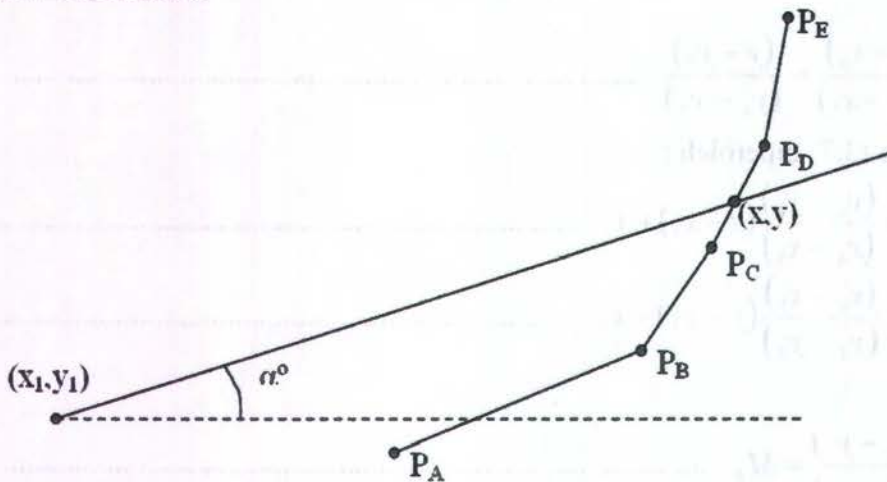
jika $M_A = 0$, maka $y = y_1$

jika $x_3 = x_4$, maka $x = x_3$ dan $y = y_1 + (x_3 - x_1)M_A$

jika $y_3 = y_4$, maka $y = y_3$

3.1.6 Menghitung Ordinat Garis Air Sisi Tercelup dan Timbul

Dengan menggunakan rumus untuk perpotongan dua garis yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dicari berapa panjang garis a dan b. Untuk mengetahui garis mana yang saling berpotongan, maka diperlukan filter untuk menyaring garis-garis yang menghasilkan titik potong. Dengan menggunakan program, penyaringan dilakukan dengan metode perulangan dari garis air paling rendah sampai garis air paling tinggi, dan dibagi atas dua bagian yaitu kanan (starboard) dan kiri (portside).



Gambar 3.17 Perpotongan antara garis air dengan body plan kapal

Maka dari hasil perhitungan dengan program akan diperoleh panjang garis a dan b untuk starboard (a_{SB} dan b_{SB}) serta panjang garis a dan b untuk portside (a_{PS} dan b_{PS}). Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan pembuatan program perhitungan. Dari sini dapat dilihat bahwa hasil akhir yaitu panjang garis a (jumlah dari a_{SB} dan a_{PS}) dan garis b (jumlah dari b_{SB} dan b_{PS}) dari hasil pemrograman akan sama dengan hasil perhitungan dengan cara manual.

Pada tiap kasus SDLL maupun PLL yang sudah tersaring, perhitungan ordinat garis air untuk bagian yang terselup maupun yang timbul dilakukan secara berulang untuk tiap sudut kemiringan dan pada setiap station untuk tiap sudut tersebut. Skema iterasi dari proses perhitungan a dan b dalam program adalah sebagai berikut :

```

.....
For t = 1 to 2 (SDLL & PLL)
    .....
    For g = 1 to jumlah_kasus
        .....
        For i = 0 to 90°
            .....
            For j = 1 to jumlah_station
                (Sisi Starboard)
                aSB(t,g,i,j) = ...
                bSB(t,g,i,j) = ...
                .....
                (Sisi Portside)
                aPS(t,g,i,j) = ...
                bPS(t,g,i,j) = ...
                .....
                a(t,g,i,j) = aSB(t,g,i,j) + aPS(t,g,i,j)
                b(t,g,i,j) = bSB(t,g,i,j) + bPS(t,g,i,j)
            Next j
        Next i
    Next g
Next t
.....

```

Proses perulangan untuk mendapatkan titik potong adalah sebagai berikut,

- Titik (x_1, y_1) tiap station tetap untuk tiap perulangan. Letak koordinat (x_1, y_1) tiap station selalu berimpit dengan centreline, karena titik (x_1, y_1) merupakan titik acuan untuk perhitungan ordinat titik potong dalam program.

$$x_1 = 0 \text{ (karena pada centreline)}$$

$$y_1 = T_{\text{centreline}} \text{ (koordinat y pada centreline)}$$

- Proses perulangan perhitungan dimulai dari sisi starboard. Pencarian titik potong dimulai dari garis yang terbentuk dari koordinat garis air terbawah dengan koordinat garis air di atasnya. Misal titik terbawah adalah n , maka garis tersebut adalah garis yang terbentuk antara koordinat (x_n, y_n) dan (x_{n+1}, y_{n+1})

$$\text{Misal : } x_3 = x_A, y_3 = y_A$$

$$x_4 = x_B, y_4 = y_B$$

- Dari dua garis A dan B yang akan dicari letak titik perpotongannya, garis A merupakan sumbu putar, sedangkan garis B adalah garis yang terbentuk dari titik (x_3, y_3) dan (x_4, y_4) , dicari besar gradien tiap garis

$$M_A = \tan \alpha, \quad M_B = \frac{(y_4 - y_3)}{(x_4 - x_3)}$$

- Dicari y titik potong,

$$y = \frac{\frac{y_1}{M_A} - \frac{y_3}{M_B} + x_3 - x_1}{\frac{1}{M_A} - \frac{1}{M_B}}$$

- Jika y terletak di antara y_3 dan y_4 maka dilanjutkan dengan pencarian x titik potong,

$$x = \frac{M_A x_1 - M_B x_3 + y_3 - y_1}{M_A - M_B}$$

Jika titik y tidak terletak di antaranya, maka proses perulangan dilanjutkan ke titik berikutnya.

- Dari titik potong x dan y yang sudah diketahui, maka dapat dicari panjang garis dari titik (x_1, y_1) ke titik (x, y)

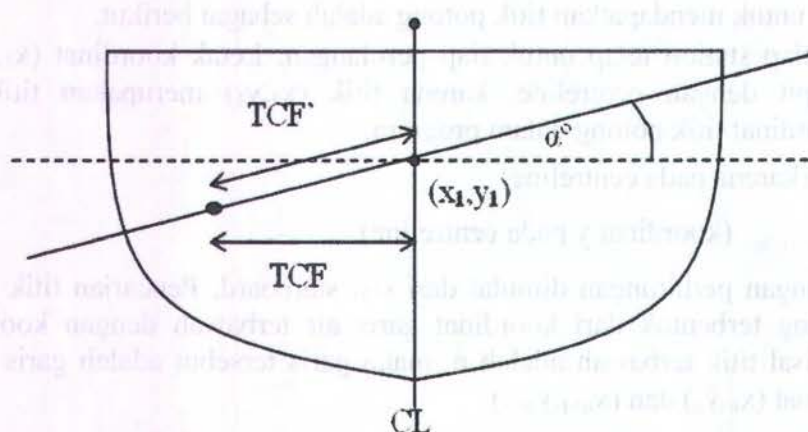
$$L = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}$$

- Proses perulangan dilanjutkan untuk $x_3 = x_B$, $y_3 = y_B$, $x_4 = x_C$, $y_4 = y_C$, dst sampai x_4 dan y_4 pada titik P_E , dengan titik x_1 dan y_1 tetap.
- Langkah yang sama dilakukan untuk sisi portside, perbedaan hanya pada gradien garis A, hal ini karena bodyplan untuk sisi portside merupakan pencerminan sisi starboard terhadap centreline, sedangkan sumbu putar untuk sisi portside merupakan hasil pencerminan sisi starboard terhadap sumbu horizontal, sehingga nilai gradien garis A terhadap titik pusat (x_1, y_1) adalah negatif

$$M_A = -\tan \alpha$$

- Karena pada sisi portside terdapat titik putar yang berjarak TCF terhadap garis centreline, maka perlu dicari TCF' yaitu panjang antara titik putar dengan titik pusat (x_1, y_1) .

$$TCF' = TCF / \cos \alpha$$



Gambar 3.18 Titik pusat luasan bidang air secara melintang

- Pencarian titik potong pada sisi portside sama seperti sisi starboard, yaitu dimulai dari koordinat garis air yang paling bawah.
- Setelah koordinat titik potong (x,y) diketahui, selanjutnya dihitung jarak antara koordinat (x,y) dengan (x_1,y_1) .

$$L = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}$$

- Hasil yang diperoleh, yaitu L untuk tiap-tiap titik potong dan LCF' akan digunakan dalam perhitungan program

Dari berbagai kemungkinan ordinat perpotongan antara garis air dan bodyplan, maka perhitungan untuk mendapatkan nilai a dan b akan dikelompokkan berdasarkan letak perpotongan garis air dengan centreline kapal dan tipe bodyplan yang akan menghasilkan 2 titik potong atau 4 titik potong. Metode perhitungan untuk tiap perpotongannya adalah secara perulangan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, namun langkah-langkah untuk tiap-tiap kelompok berbeda. Hasil dari perhitungan adalah mendapatkan nilai a dan b dimana :

$$a = a_{SB} + a_{PS}$$

$$b = b_{SB} + b_{PS}$$

a_{SB} = Ordinat a untuk sisi kanan centreline (starboard)

a_{PS} = Ordinat a untuk sisi kiri centreline (portside)

b_{SB} = Ordinat b untuk sisi kanan centreline (starboard)

b_{PS} = Ordinat b untuk sisi kiri centreline (portside)

$L1$ = jarak antara titik perpotongan pertama sisi kiri (portside) dengan centreline pada sumbu putar

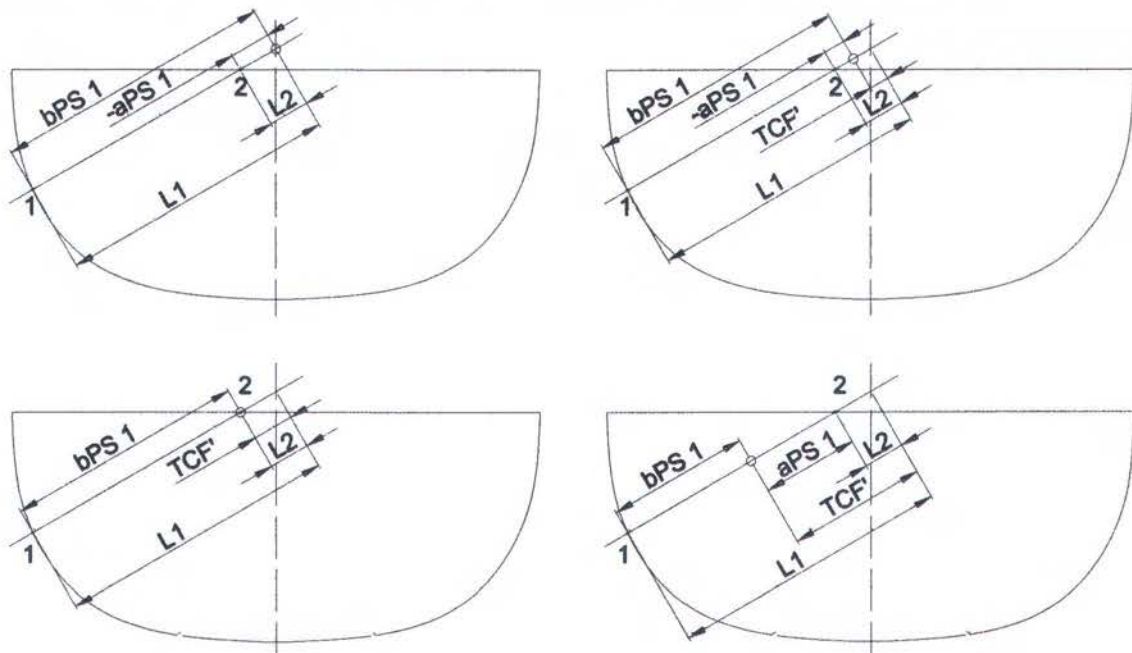
$L2$ = jarak antara titik perpotongan kedua sisi kiri (portside) dengan centreline pada sumbu putar

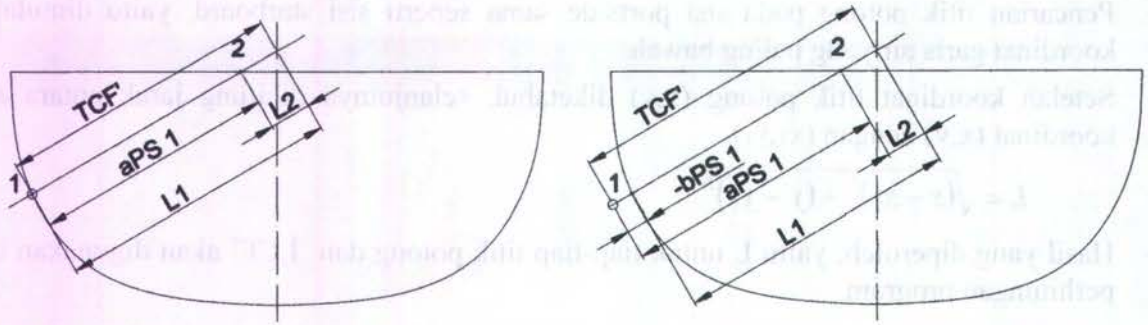
TCF = Jarak antara titik putar dengan centreline pada sumbu putar

Proses perhitungan pada program untuk berbagai kemungkinan nilai a dan b :

- Jika garis air memotong centreline di atas geladak

Langkah-langkah perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik dan 4 titik :





Gambar 3.19 Perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik dan 4 titik jika garis air memotong centreline di atas geladak

Portside

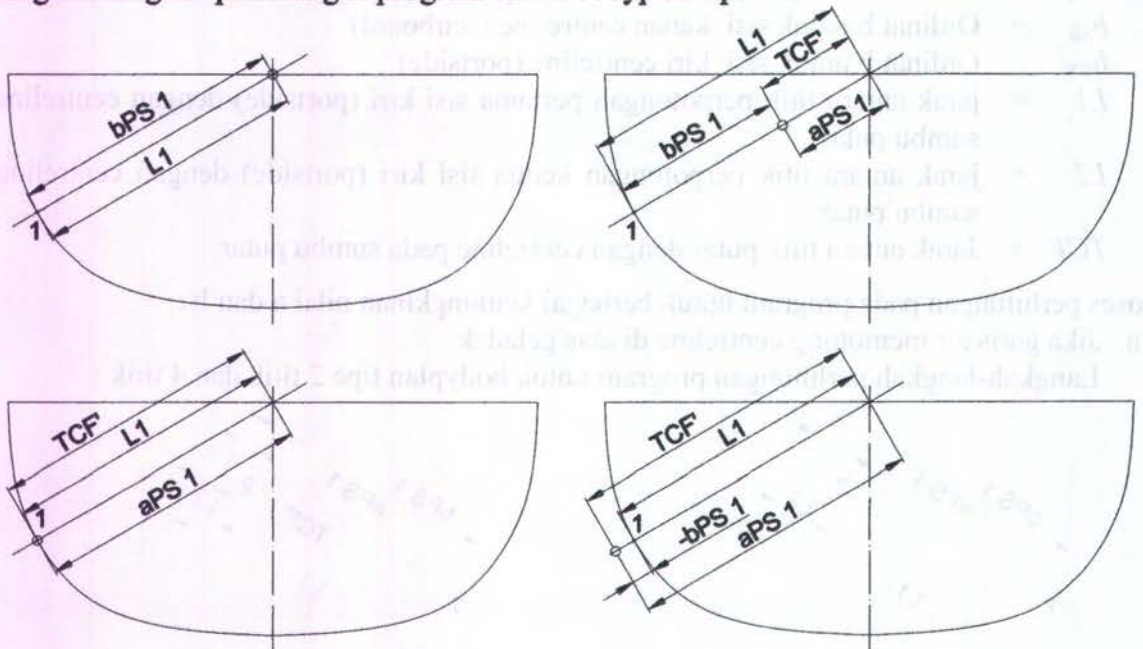
$$\begin{aligned} a_{PS1} &= TCF' - L2 \\ b_{PS1} &= L1 - TCF' \\ a_{PS} &= a_{PS1} = TCF' - L2 \\ b_{PS} &= b_{PS1} = L1 - TCF' \end{aligned}$$

Starboard

$$\begin{aligned} a_{SB} &= 0 \\ b_{SB} &= 0 \end{aligned}$$

b. Jika garis air memotong centreline tepat pada geladak

Langkah-langkah perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik dan 4 titik :



Gambar 3.20 Perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik dan 4 titik jika garis air memotong centreline tepat pada geladak

Portside

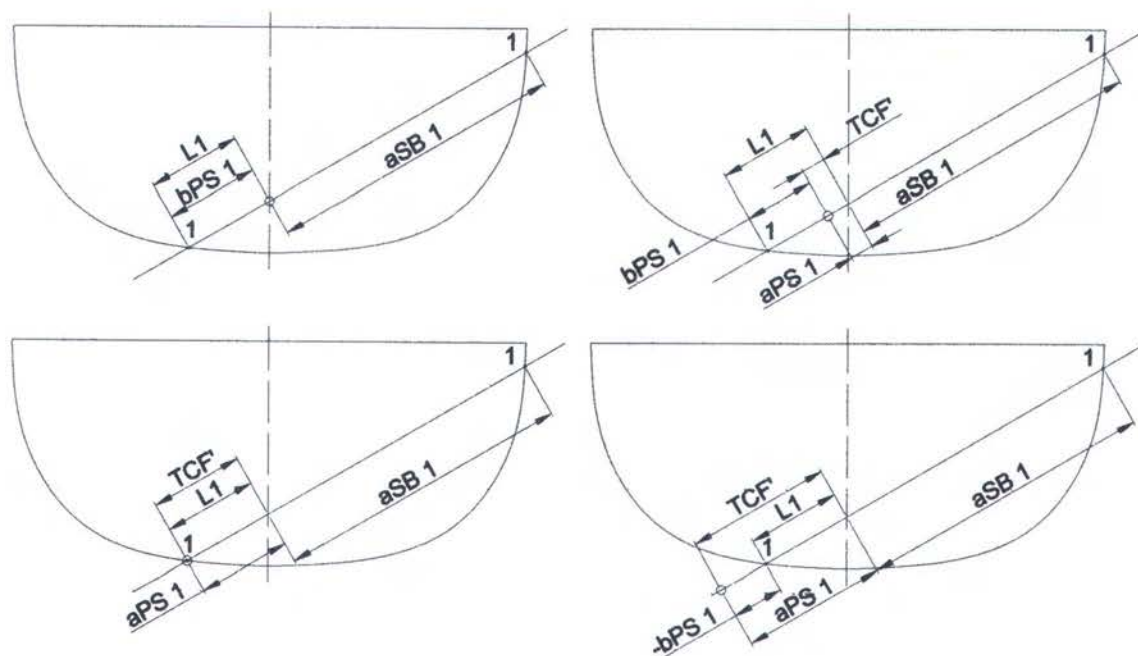
$$\begin{aligned} a_{PS1} &= TCF' \\ b_{PS1} &= L1 - TCF' \\ a_{PS} &= a_{PS1} = TCF' \\ b_{PS} &= b_{PS1} = L1 - TCF' \end{aligned}$$

Starboard

$$\begin{aligned} a_{SB} &= 0 \\ b_{SB} &= 0 \end{aligned}$$

c. Jika garis air memotong centreline di antara geladak dan keel

Langkah-langkah perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik :



Gambar 3.21 Perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik jika garis air memotong centreline di antara geladak dan keel

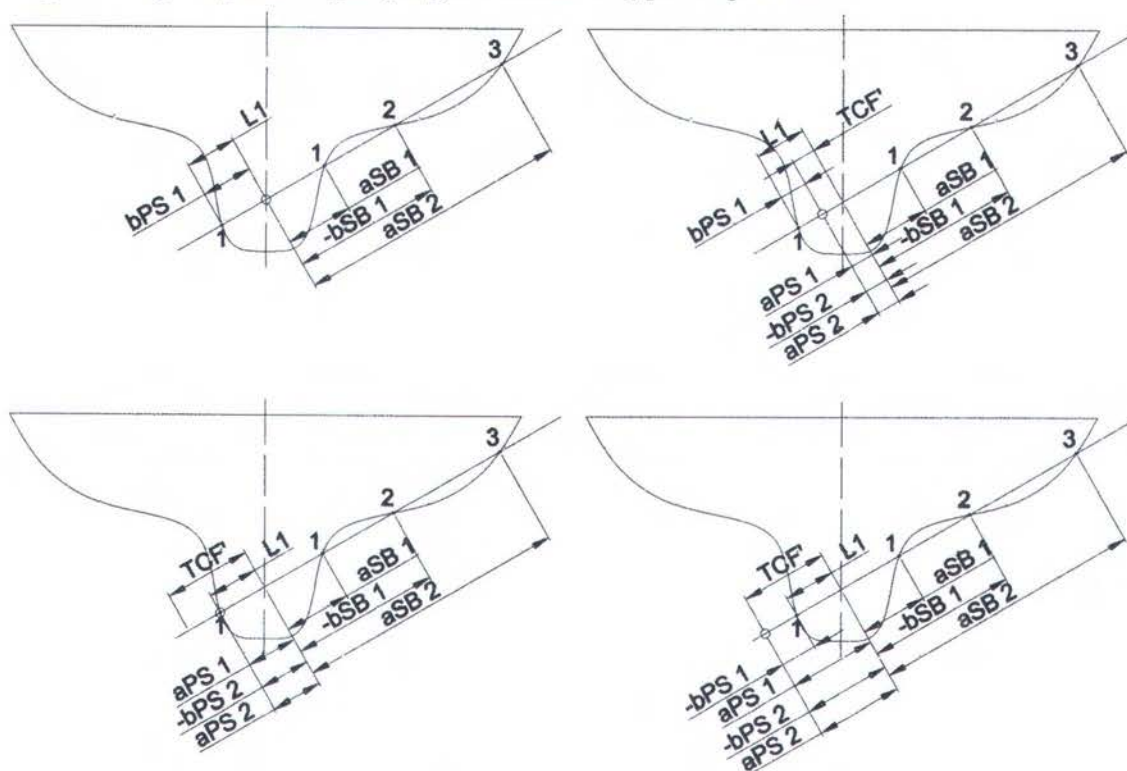
Portside

$$\begin{aligned} a_{PS1} &= TCF' \\ b_{PS1} &= L1 - TCF' \\ a_{PS} &= a_{PS1} = TCF' \\ b_{PS} &= b_{PS1} = L1 - TCF' \end{aligned}$$

Starboard

$$\begin{aligned} \text{Titik potong 1} &\rightarrow a_{SB1} \\ a_{SB} &= a_{SB1} \\ b_{SB} &= 0 \end{aligned}$$

Langkah-langkah perhitungan program untuk bodyplan tipe 4 titik :



Gambar 3.22 Perhitungan program untuk bodyplan tipe 4 titik jika garis air memotong centreline di antara geladak dan keel

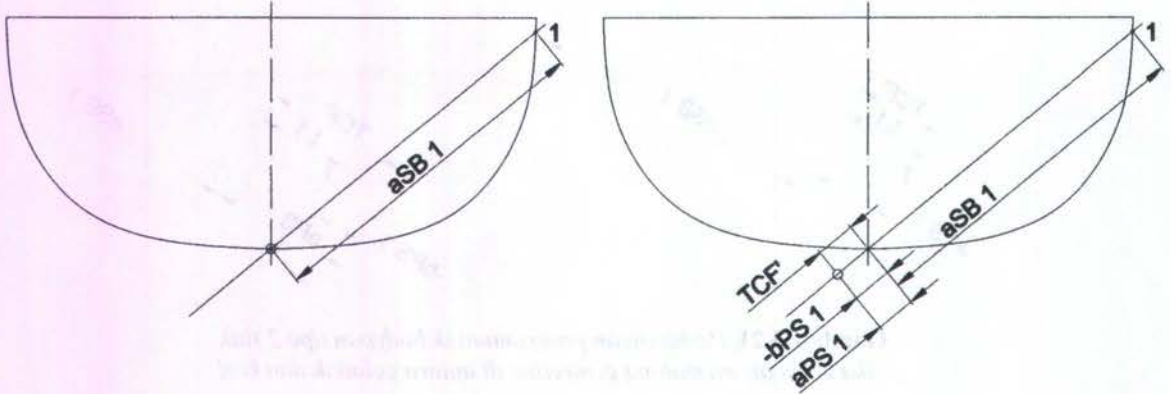
Portside

$$\begin{aligned} a_{PS1} &= TCF' \\ b_{PS1} &= L1 - TCF' \\ a_{PS2} &= TCF' \\ b_{PS2} &= -TCF' \\ a_{PS} &= a_{PS1} + a_{PS2} = 2.TCF' \\ b_{PS} &= b_{PS1} + b_{PS2} = L1 - 2.TCF' \end{aligned}$$

Starboard

$$\begin{aligned} \text{Titik potong 1} &\rightarrow a_{SB1} \\ \text{Titik potong 2} &\rightarrow -b_{SB1} \\ \text{Titik potong 3} &\rightarrow a_{SB2} \\ a_{SB} &= a_{SB1} + a_{SB2} \\ b_{SB} &= -b_{SB1} \end{aligned}$$

d. Jika garis air memotong centreline tepat pada keel
Langkah-langkah perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik :



Gambar 3.23 Perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik jika garis air memotong centreline tepat pada keel

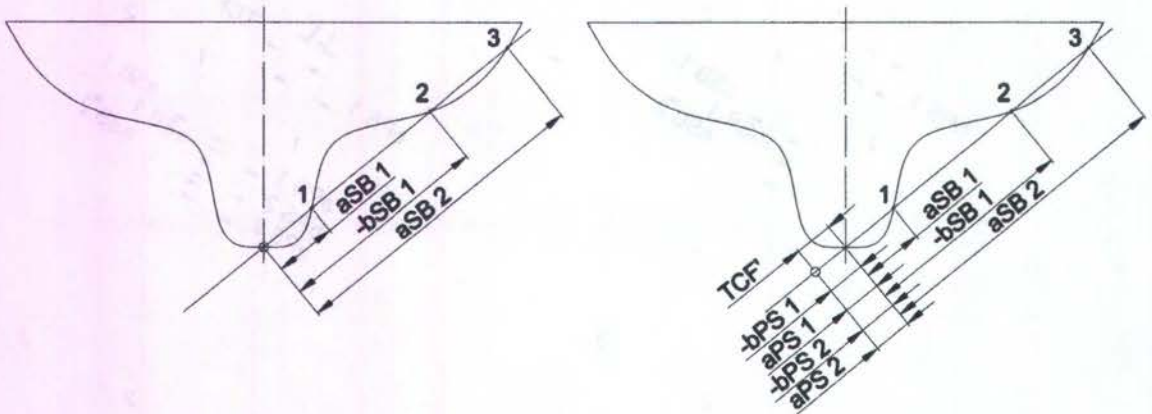
Portside

$$\begin{aligned} a_{PS1} &= TCF' \\ b_{PS1} &= -TCF' \\ a_{PS} &= a_{PS1} = TCF' \\ b_{PS} &= b_{PS1} = -TCF' \end{aligned}$$

Starboard

$$\begin{aligned} \text{Titik potong 1} &\rightarrow a_{SB1} \\ a_{SB} &= a_{SB1} \\ b_{SB} &= -b_{SB1} \end{aligned}$$

Langkah-langkah perhitungan program untuk bodyplan tipe 4 titik :



Gambar 3.24 Perhitungan program untuk bodyplan tipe 4 titik jika garis air memotong centreline tepat pada keel

Portside

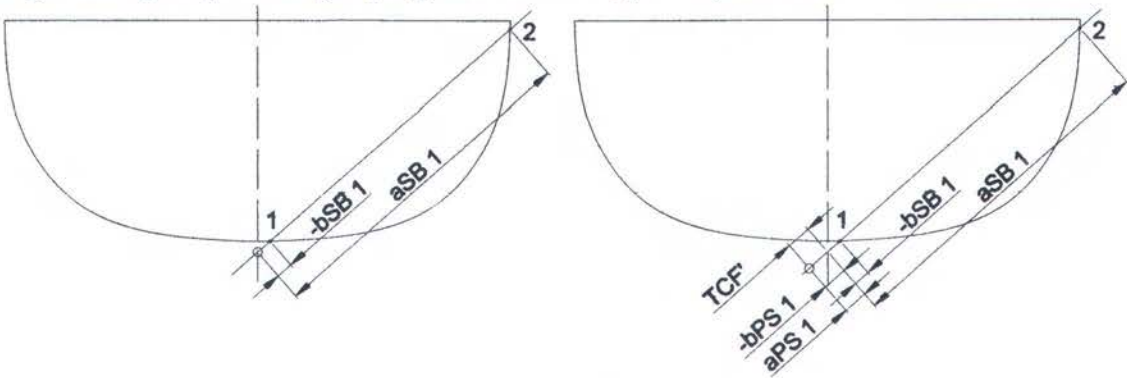
$$\begin{aligned} a_{PS1} &= TCF' \\ b_{PS1} &= -TCF' \\ a_{PS2} &= TCF' \\ b_{PS2} &= -TCF' \\ a_{PS} &= a_{PS1} + a_{PS2} = 2.TCF' \\ b_{PS} &= b_{PS1} + b_{PS2} = -2.TCF' \end{aligned}$$

Starboard

$$\begin{aligned} \text{Titik potong 1} &\rightarrow a_{SB1} \\ \text{Titik potong 2} &\rightarrow -b_{SB1} \\ \text{Titik potong 3} &\rightarrow a_{SB2} \\ a_{SB} &= a_{SB1} + a_{SB2} \\ b_{SB} &= -b_{SB1} \end{aligned}$$

e. Jika garis air memotong centreline di bawah keel

Langkah-langkah perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik :



Gambar 3.25 Perhitungan program untuk bodyplan tipe 2 titik jika garis air memotong centreline di bawah keel

Portside

$$a_{PS 1} = TCF'$$

$$b_{PS 1} = -TCF'$$

$$a_{PS} = a_{PS 1} = TCF''$$

$$b_{PS} = b_{PS 1} = -TCF'$$

Starboard

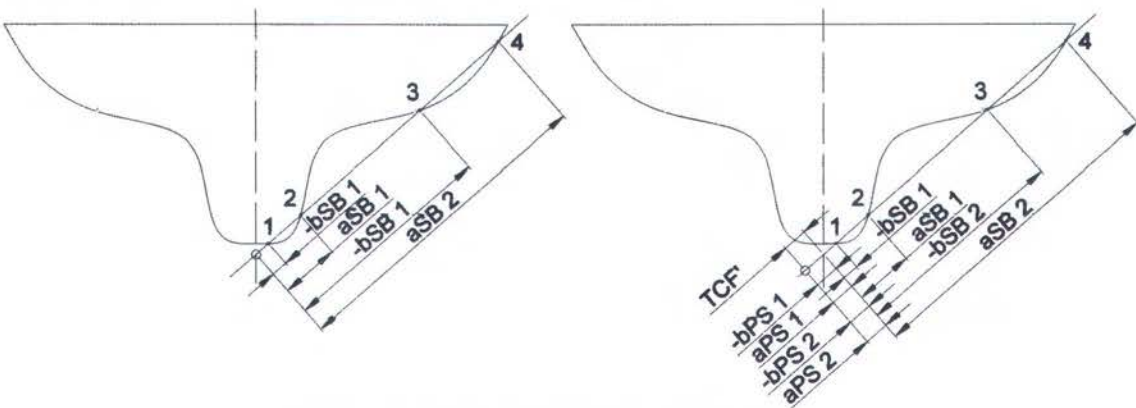
Titik potong 1 $\rightarrow -b_{SB 11}$

Titik potong 2 $\rightarrow a_{SB 1}$

$$a_{SB} = a_{SB 1}$$

$$b_{SB} = -b_{SB 1}$$

Langkah-langkah perhitungan program untuk bodyplan tipe 4 titik :



Gambar 3.26 Perhitungan program untuk bodyplan tipe 4 titik jika garis air memotong centreline di bawah keel

Portside

$$a_{PS 1} = TCF'$$

$$b_{PS 1} = -TCF'$$

$$a_{PS 2} = TCF'$$

$$b_{PS 2} = -TCF'$$

$$a_{PS} = a_{PS 1} + a_{PS 2} = 2.TCF'$$

$$b_{PS} = b_{PS 1} + b_{PS 2} = -2.TCF'$$

Starboard

Titik potong 1 $\rightarrow -b_{SB 1}$

Titik potong 2 $\rightarrow a_{SB 1}$

Titik potong 3 $\rightarrow -b_{SB 2}$

Titik potong 4 $\rightarrow a_{SB 2}$

$$a_{SB} = a_{SB 1} + a_{SB 2}$$

$$b_{SB} = -b_{SB 1} - b_{SB 2}$$

3.1.7 Menghitung Radius Metacentre Melintang

Untuk mencari radius metacentre melintang (r) dari tiap sudut kemiringan dimana sudut kemiringan dibatasi antara $0^\circ - 90^\circ$, maka untuk sudut kemiringan yang besar metode yang digunakan disini adalah metode yang diperkenalkan oleh *A. N. Krylov* yang diambil dari buku *Static and Dynamics of the Ship* karangan *Semyonov and Tyan Shansky*.

Pada tiap kasus pada SDLL maupun PLL yang sudah tersaring, dilakukan perhitungan radius metacentre. Proses perhitungan dilakukan secara berulang untuk tiap jenis sarat yaitu SDLL dan PLL, kemudian untuk tiap kasus, dan untuk tiap sudut. Skema iterasi dari proses perhitungan radius metacentre dalam program adalah sebagai berikut :

```

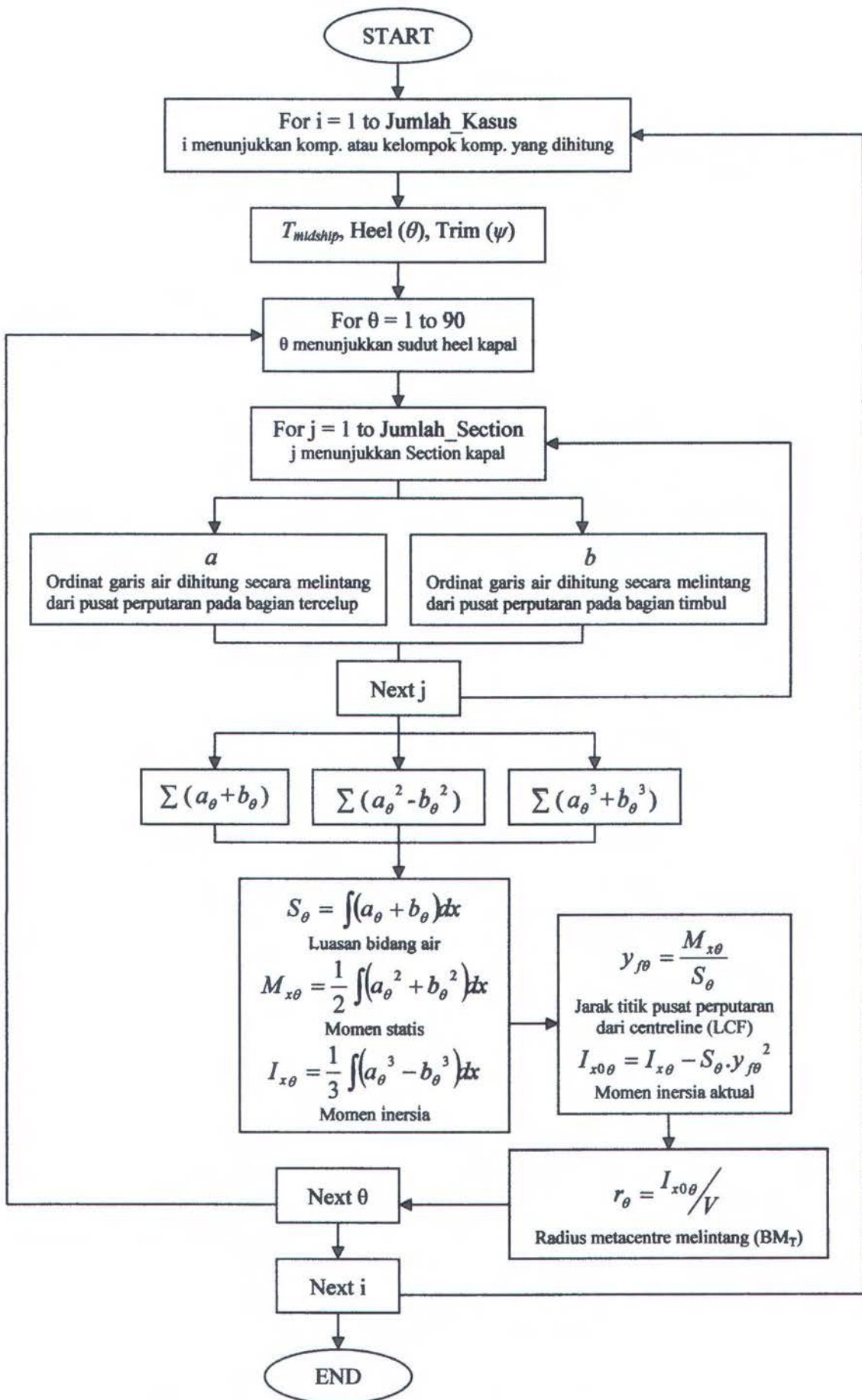
.....
For t = 1 to 2 (SDLL & PLL)
.....
  For g = 1 to jumlah_kasus
.....
    For i = 0 to 90°
.....
      For j = 1 to jumlah_station
.....
        a(t,g,i,j) = ...
        b(t,g,i,j) = ...
.....
      Next j
.....
      r(t,g,i) = ...
.....
    Next i
.....
  Next g
.....
Next t
.....

```

Nilai a dan b yang diperoleh dari proses perhitungan sebelumnya digunakan untuk melakukan perhitungan radius metacentre. Dengan menggunakan menggunakan metode perhitungan Simpson, proses perhitungan radius metacentre dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1 *Tabel perhitungan momen inersia*

ST	FS	a	b	$a + b$	$(a + b).FS$	$a^2 - b^2$	$(a^2 - b^2).FS$	$a^3 + b^3$	$(a^3 + b^3).FS$
0	1	...	...	...	...	...	...	...	...
1	4	...	...	...	...	...	...	...	...
2	2	...	...	...	...	...	...	...	...
...
...
n-2	2	...	...	...	...	...	...	...	...
n-1	4	...	...	...	...	...	...	...	...
n	1	...	...	...	...	...	...	...	...
				Σ	...	Σ	...	Σ	...



Gambar 3.27 Diagram alir perhitungan radius metacentre melintang

$$\Delta L = L/n$$

$$S = \int(a+b)dx = \frac{1}{3} \cdot \Delta L \cdot \sum(a+b)FS$$

$$M_x = \frac{1}{2} \int(a^2 - b^2)dx = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \Delta L \cdot \sum(a^2 - b^2)FS$$

$$y_f = \frac{M_x}{S}$$

$$I_x = \frac{1}{3} \int(a^3 + b^3)dx = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \Delta L \cdot \sum(a^3 + b^3)FS$$

$$I_{x0} = I_x - S \cdot y_f^2$$

$$r = \frac{I_{x0}}{V'}$$

Dimana : ST = Station

FS = Faktor Simpson

V' = Volume kapal setelah terjadi kebocoran [m^3]

L = Panjang kapal [m]

ΔL = Jarak antara station [m]

S = Luasan bidang air [m^2]

M_x = Momen statis [m^4]

y_f = Ordinat pusat luasan bidang air [m]

I_x = Momen inersia [m^4]

I_{x0} = Momen inersia aktual [m^4]

r = Radius metacentre [m]

3.1.8 Perhitungan Lengan Stabilitas Statis

Untuk membuat kurva stabilitas, maka diperlukan lengan stabilitas atau *righting arm*. Dari radius metacentre yang telah diketahui dari perhitungan sebelumnya, maka dapat dihitung lengan stabilitas untuk tiap sudut kemiringan. Skema iterasi perhitungan lengan stabilitas dalam program adalah sebagai berikut :

```
.....
For t = 1 to 2 (SDLL & PLL)
```

```
.....
  For g = 1 to jumlah_kasus
```

```
.....
    For i = 0 to 90°
```

```
.....
      l(t,g,i) = ...
```

```
    Next i
```

```
.....
  Next g
```

```
.....
Next t
```

```
.....
```

Metode yang digunakan dalam perhitungan lengan stabilitas adalah integral dengan variabel batas atas, atau *Integral with Variable Upper Limit* yang diambil dari buku *Static and Dynamics of the Ship* karangan *Semyonov and Tyan Shansky*. Untuk lebih mudahnya, berikut tabel perhitungan lengan stabilitas menggunakan integral dengan variabel batas atas.

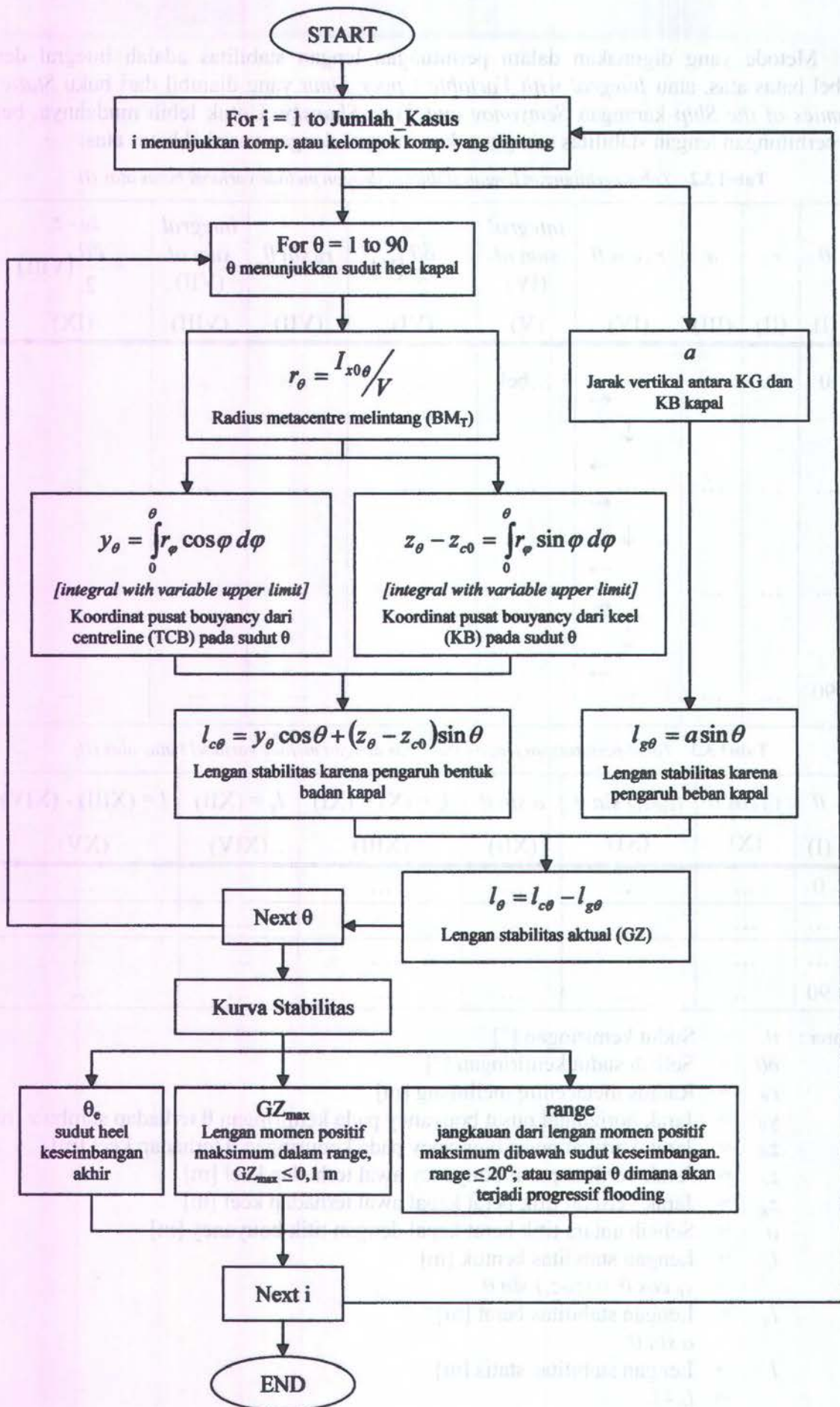
Tabel 3.2 Tabel perhitungan lengan stabilitas dengan metode variabel batas atas (I)

θ	r_θ	a	$r_\theta \cos \theta$	integral sum of (IV)	y_θ $= \frac{\delta\theta}{2}$ (V)	$r_\theta \sin \theta$	integral sum of (VII)	$\frac{z_\theta - z_c}{2}$ $= \frac{\delta\theta}{2}$ (VIII)
(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	(VI)	(VII)	(VIII)	(IX)
0 ←	...bel	...	...	...	...
			↓					
			→					
... ←
			↓					
			→					
... ←
			↓					
			→					
90

Tabel 3.3 Tabel perhitungan lengan stabilitas dengan metode variabel batas atas (II)

θ	$y_\theta \cos \theta$	$(z_\theta - z_c) \sin \theta$	$a \sin \theta$	$l_c = (X) + (XI)$	$l_g = (XII)$	$l = (XIII) - (XIV)$
(I)	(X)	(XI)	(XII)	(XIII)	(XIV)	(XV)
0
...
...
90

- Dimana :
- θ = Sudut kemiringan [°]
 - $\delta\theta$ = Selisih sudut kemiringan [°]
 - r_θ = Radius metacentre melintang [m]
 - y_θ = Jarak horizontal pusat bouyancy pada kemiringan θ terhadap sumbu z [m]
 - z_θ = Jarak vertikal pusat bouyancy pada kemiringan θ terhadap keel [m]
 - z_c = Jarak vertikal pusat bouyancy awal terhadap keel [m]
 - z_g = Jarak vertikal titik berat kapal awal terhadap keel [m]
 - a = Selisih antara titik berat kapal dengan titik bouyancy [m]
 - l_c = Lengan stabilitas bentuk [m]
 - $= y_\theta \cos \theta + (z_\theta - z_c) \sin \theta$
 - l_g = Lengan stabilitas berat [m]
 - $= a \sin \theta$
 - l = Lengan stabilitas statis [m]
 - $= l_c - l_g$



Gambar 3.28 Diagram alir perhitungan lengan stabilitas statis

3.1.9 Mencari Sudut Progressive Flooding

Pada sudut kemiringan tertentu, garis air akan mencapai titik dimana air akan masuk ke dalam kompartemen kapal secara terus menerus. *Progressive flooding* adalah kebocoran tambahan pada suatu ruangan yang sebelumnya tidak diasumsikan terjadi kebocoran. *Progressive flooding* dapat disebabkan oleh bukaan maupun pipa (Bureau Veritas, Rules for the Classification of Steel Part B Chapters 3, 2005).

Dalam perhitungan SOLAS 2004 Chapter II-1 Part B-1 dalam perhitungan faktor s , disebutkan bahwa range lengan stabilitas positif dibatasi sampai sudut dimana terjadinya *progressive flooding*. Skema iterasi sudut terjadinya *progressive flooding* dalam program dapat dilihat sebagai berikut :

```

.....
For t = 1 to 2 (SDLL & PLL)
  .....
  For g = 1 to jumlah_kasus
    .....
    For i = 0 to 90°
      .....
      If GarisAir >= TitikProgressiveFlooding
        ProgressiveAngle (t,g) = i
      End if
    Next i
  Next g
Next t
.....

```

3.1.10 Menyeleksi Kasus Kebocoran

Dalam beberapa kasus kebocoran tertentu, *progressive flooding* terjadi pada sudut yang lebih kecil dari sudut heel kesetimbangan. Dari sini dapat dilihat bahwa sebelum mencapai sudut kesetimbangannya, *progressive flooding* terjadi dan air menggenangi kompartemen sehingga kapal mengalami *capsize*. Oleh karena itu kasus kebocoran tersebut tidak perlu dihitung lagi agar dapat mempercepat proses perhitungan. Proses iterasi penyeleksian kasus kebocoran tersebut dapat dilihat pola dasarnya sebagai berikut,

```

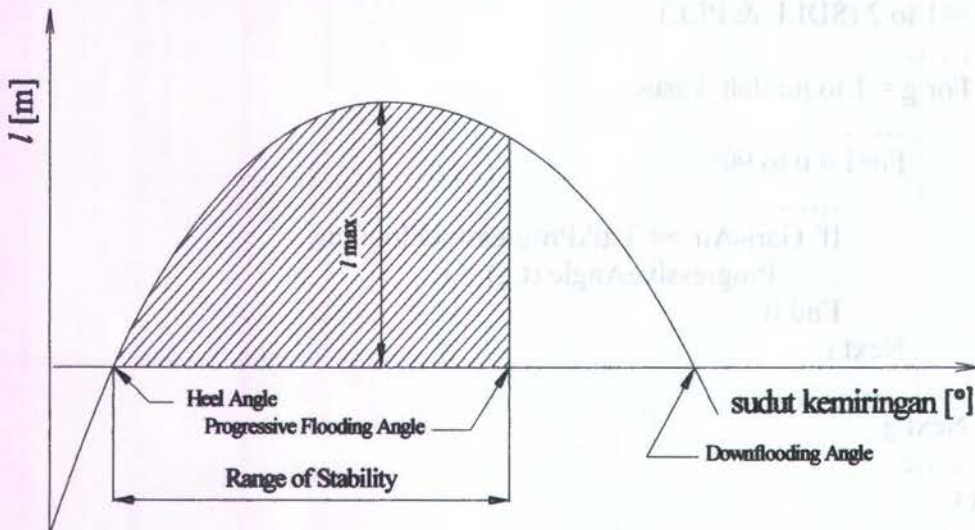
.....
For t = 1 to 2 (SDLL & PLL)
  .....
  For g = 1 to jumlah_kasus
    .....
    If HeelAngle (t,g) >= ProgressiveAngle (t,g)
      Accept
    Else
      Reject
    End if
  Next g
Next t
.....

```

3.1.11 Membuat Kurva Stabilitas Kondisi Kebocoran

Setelah diperoleh lengan stabilitas (I) untuk tiap sudut, maka langkah selanjutnya adalah membuat kurva stabilitas statis. Dimana sumbu x menunjukkan besar sudut kemiringan mulai sudut kemiringan 0° sampai sudut kemiringan akhir dalam program sudut kemiringan akhir adalah 90° , sedangkan sumbu y menunjukkan besar lengan stabilitas (I). Dengan menghubungkan panjang lengan stabilitas untuk tiap sudut kemiringan maka diperoleh kurva stabilitas statis kondisi bocor.

Ketika kondisi bocor, kapal mengalami kesetimbangan pada sudut heel tertentu, maka kurva stabilitas statis yang telah dibuat harus dikoreksi, yaitu dengan merubah posisi sumbu x agar besar lengan stabilitas (I) bernilai nol pada sudut heel kesetimbangan. Maka didapat kurva stabilitas statis seperti gambar berikut.



Gambar 3.29 Grafik lengan stabilitas setelah kebocoran

Skema iterasi perhitungan lengan stabilitas dalam program adalah sebagai berikut :

```
.....
For t = 1 to 2 (SDLL & PLL)
```

```
.....
  For g = 1 to jumlah_kasus
```

```
.....
    For i = 0 to 90°
```

```
.....
      I(t,g,i) = ...
```

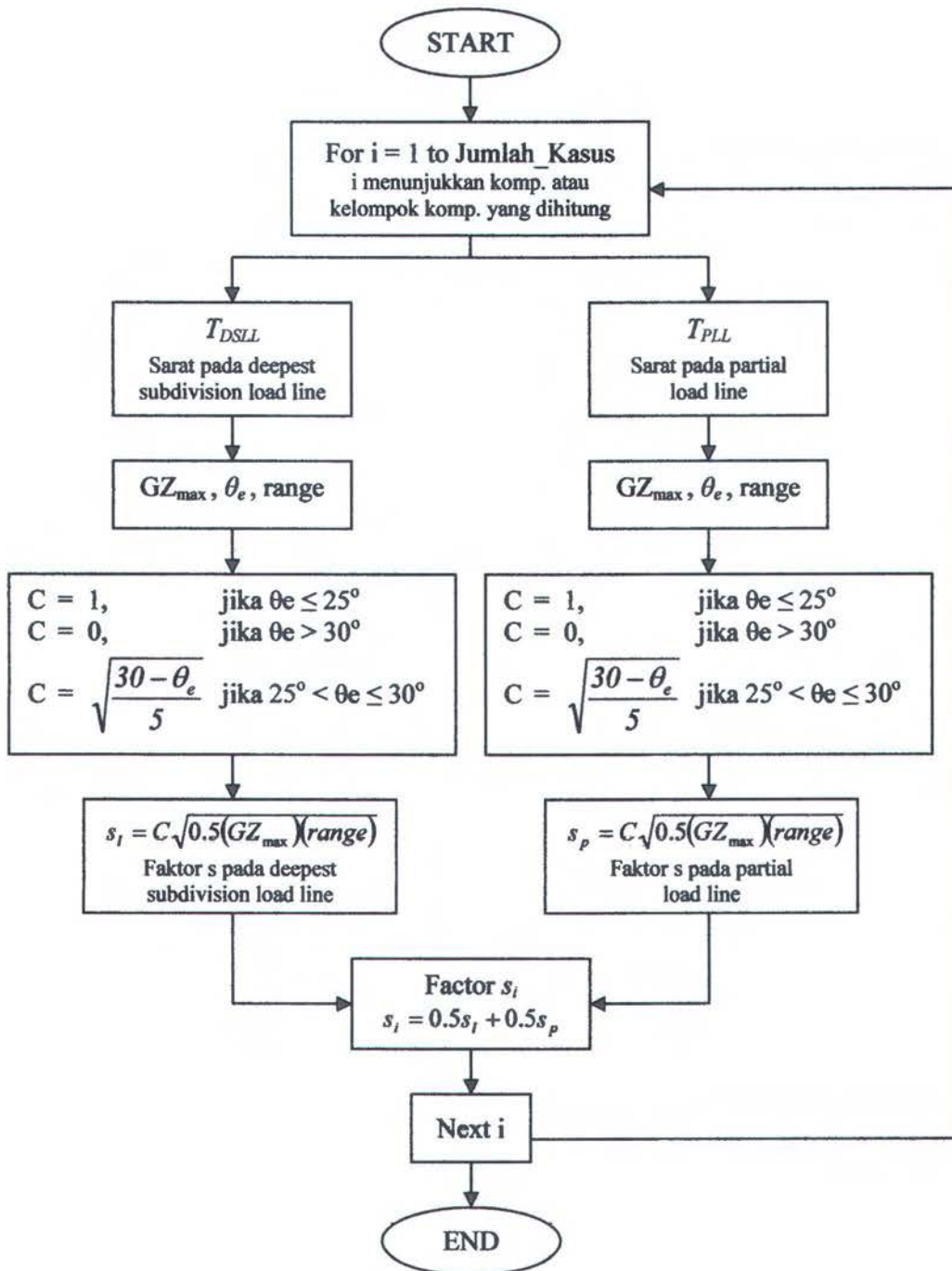
```
    Next i
```

```
.....
  Next g
```

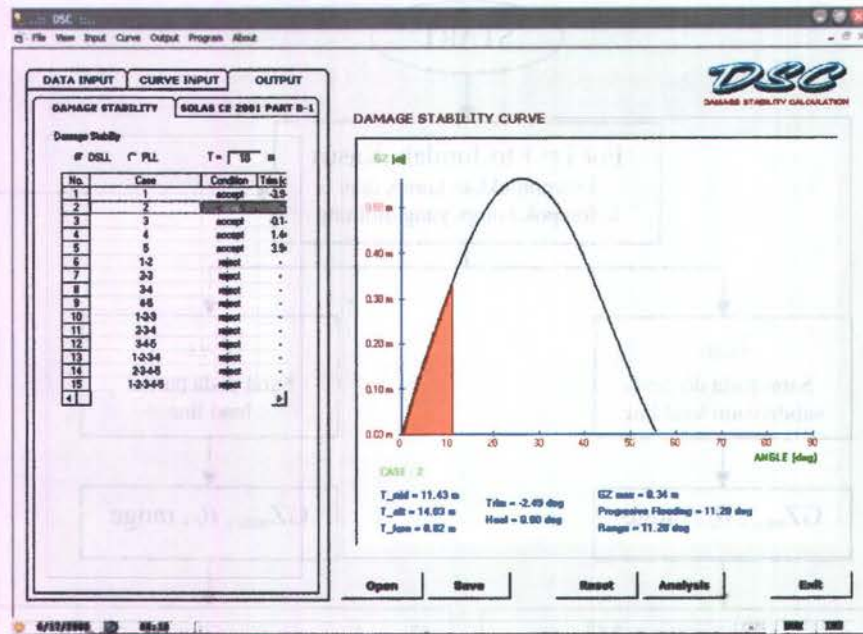
```
.....
Next t
```

```
.....
```

Dalam program ini hasil perhitungan kurva stabilitas akan ditampilkan untuk masing-masing kasus kebocoran tiap kondisi sarat yang memenuhi. Kurva lengan stabilitas statis kondisi kebocoran yang dihasilkan akan digunakan dalam perhitungan faktor s. Yang dibutuhkan untuk perhitungan tersebut adalah lengan stabilitas maksimum, sudut heel kondisi kesetimbangan, dan range stabilitas. Berikut ini adalah kurva stabilitas yang diperoleh dari salah satu kebocoran yang dihitung menggunakan program DSC.



Gambar 3.30 Diagram alir perhitungan faktor s



Gambar 3.31 Tampilan hasil perhitungan kurva stabilitas tiap kasus kebocoran

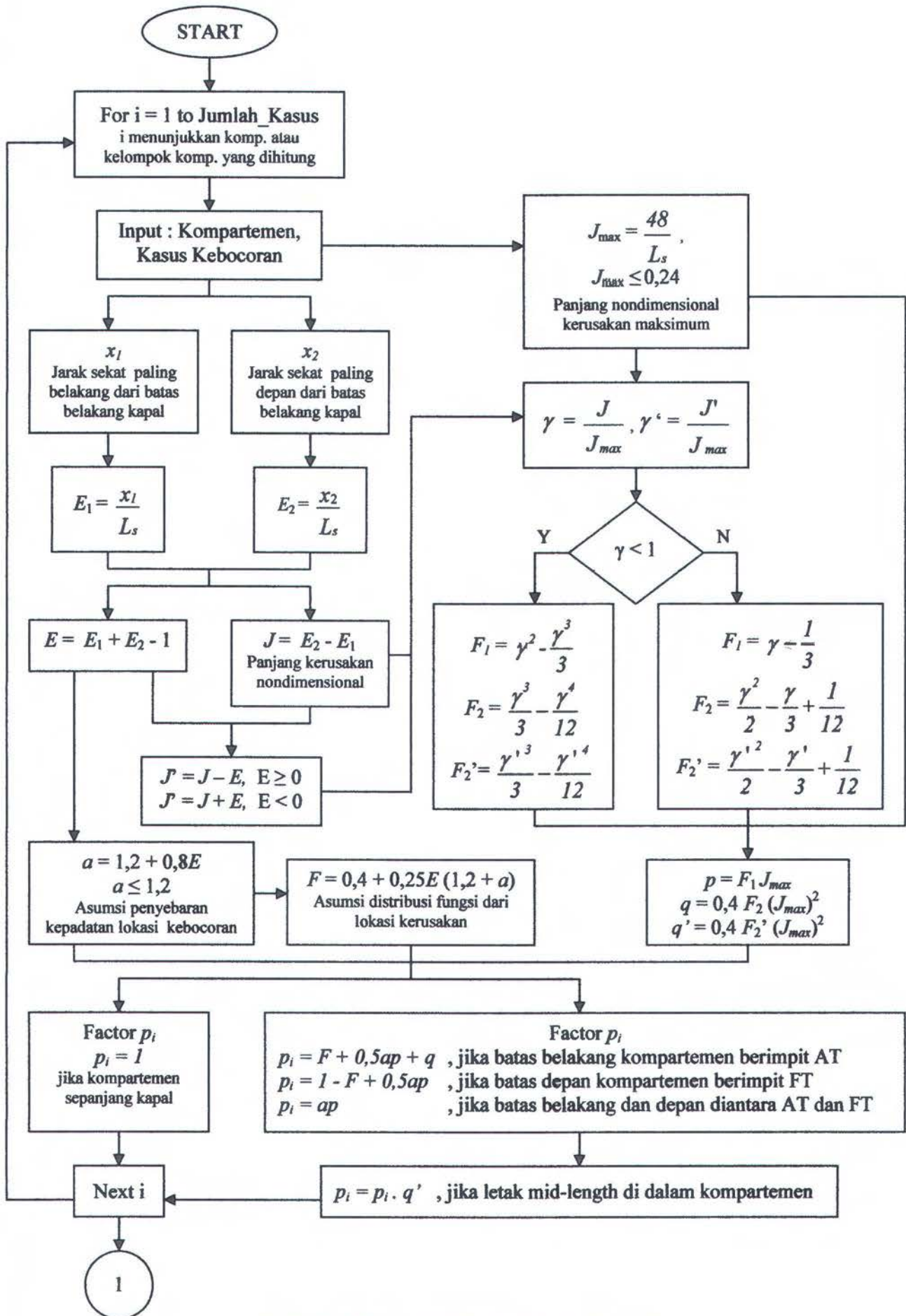
3.1.12 Menghitung Factor s

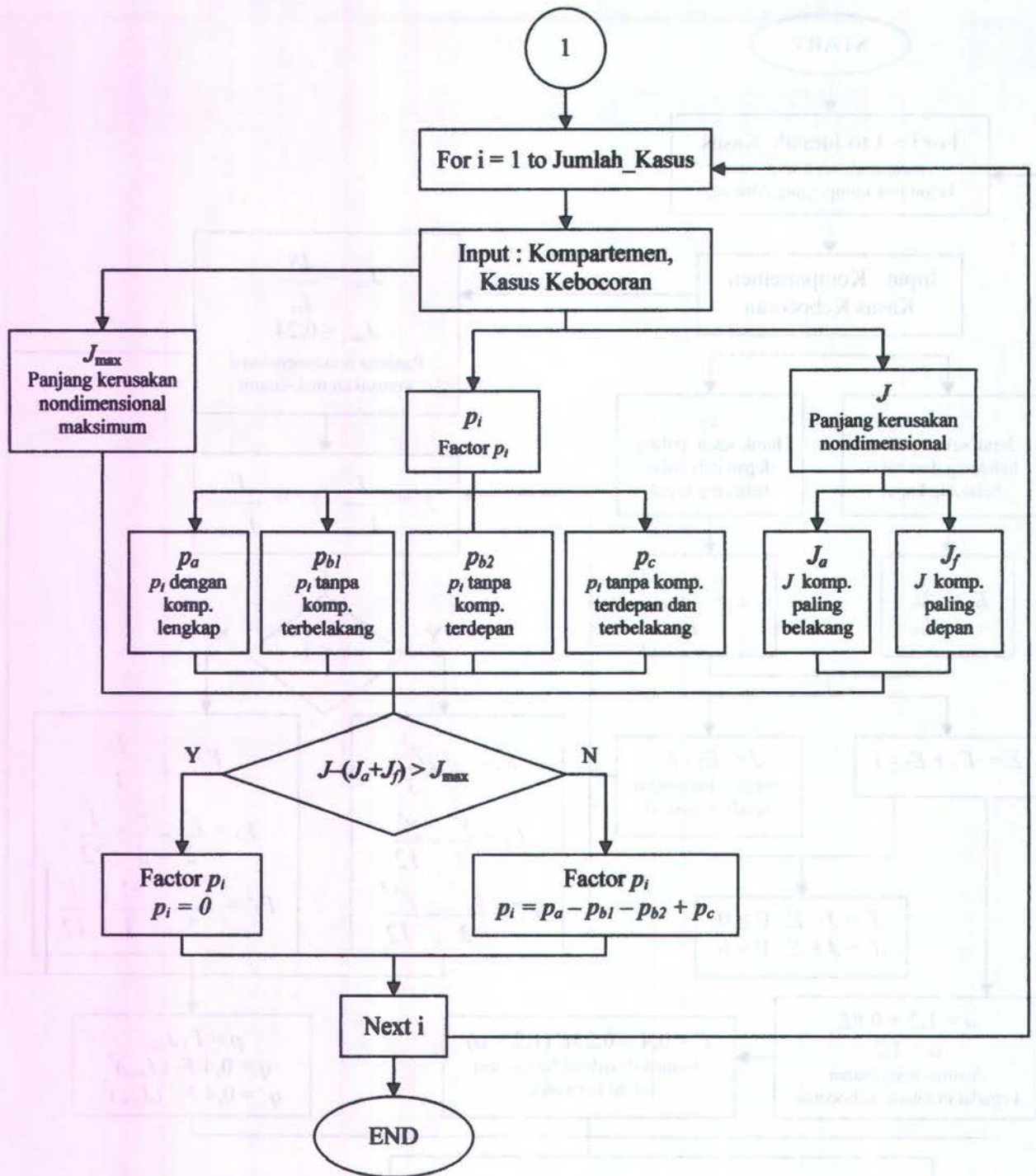
Dari kurva damage stability yang telah diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung faktor s , yang dibutuhkan dalam perhitungan index A SOLAS. Faktor s disini menunjukkan jumlah kemungkinan bahwa kapal masih mampu bertahan dan tidak terbalik setelah mengalami kebocoran. Dalam perhitungan faktor s untuk tiap kasus kebocoran dibutuhkan nilai faktor s untuk sarat DSLL dan PLL. Dari kasus kebocoran tiap kasus kebocoran diperoleh data-data yang diperlukan untuk perhitungan faktor s , yaitu lengan stabilitas maksimum (GZ_{max}), Sudut heel, dan range of stability.

Perhitungan faktor s ini didasarkan pada aturan SOLAS 2004 Chapter II-1 Part B-1 peraturan nomor 25-6. Faktor s untuk suatu kasus kebocoran akan bernilai nol jika keadaan kesetimbangannya terjadi *progressive flooding*. Proses perhitungan faktor s dapat dilihat pada gambar (3.31).

3.1.13 Menghitung Faktor p

Perhitungan faktor p ini didasarkan pada aturan SOLAS 2004 Chapter II-1 Part B-1 peraturan nomor 25-5. Faktor p menunjukkan kemungkinan bahwa hanya kompartemen atau kelompok kompartemen yang saling berdekatan dapat mengalami kebocoran. Perhitungan faktor p hanya dipengaruhi oleh jenis sarat, sehingga perhitungan faktor p untuk sarat DSLL dan PLL adalah sama. Proses perhitungan faktor p dapat dilihat pada gambar (3.32) dan gambar (3.33).

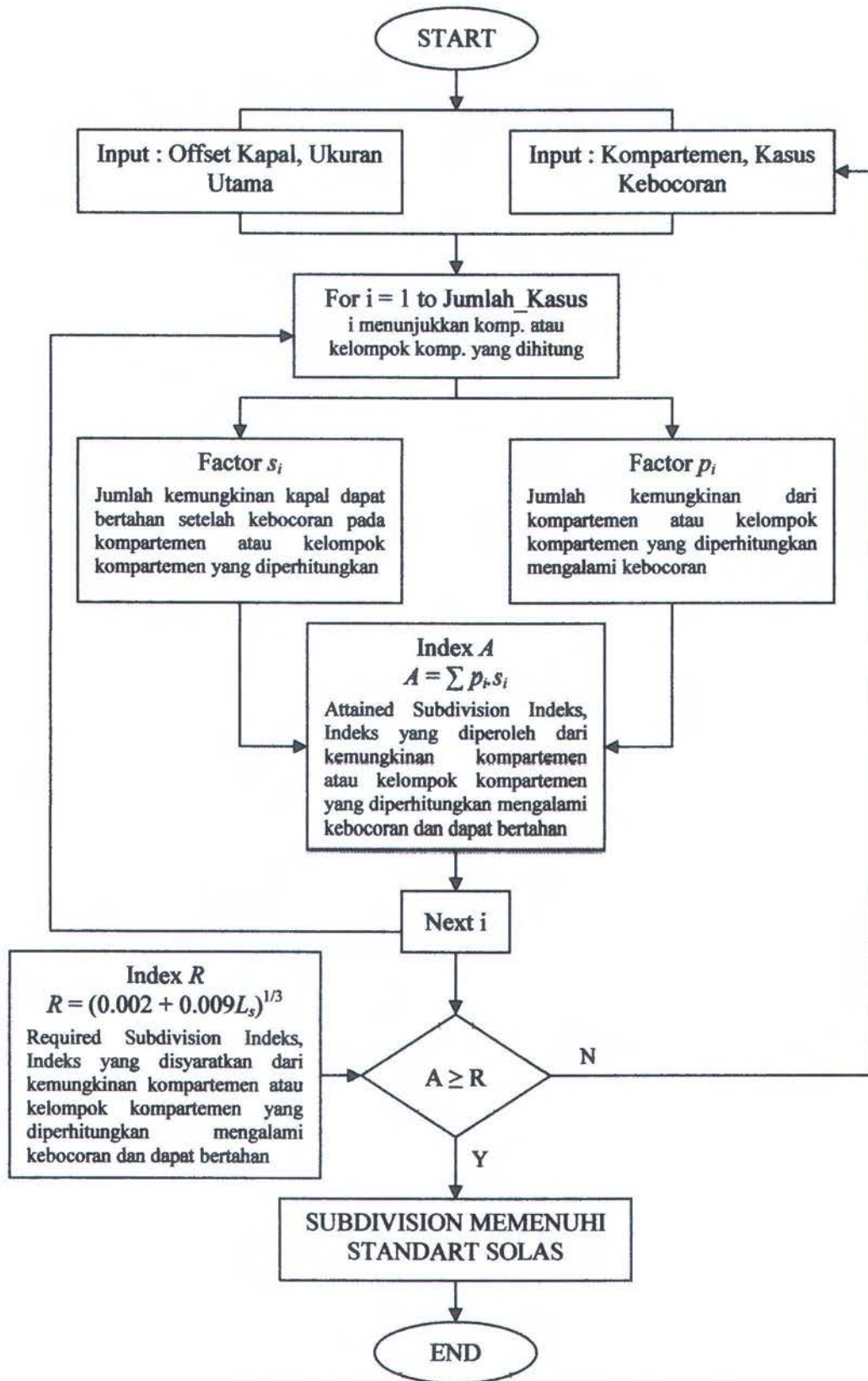
Gambar 3.32 Diagram alir perhitungan faktor $p(i)$



Gambar 3.33 Diagram alir perhitungan faktor p (II)

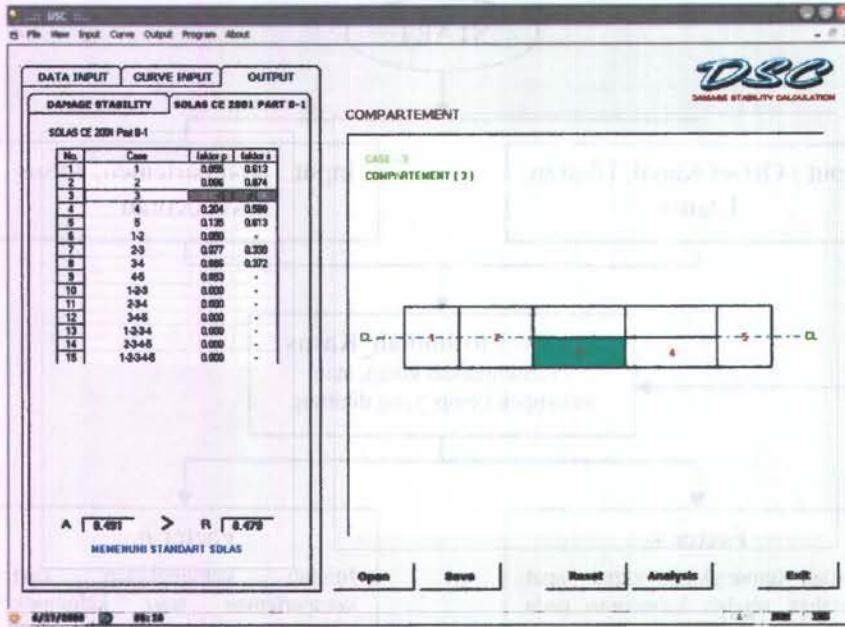
3.1.14 Menghitung SOLAS Requirement

Langkah terakhir dalam perhitungan probabilistik adalah menghitung *SOLAS Requirement*. Perhitungan ini mencakup perhitungan index R (*Required subdivision index*) berdasarkan pada aturan SOLAS 2004 Chapter II-1 Part B-1 peraturan 25-3, dan index A (*Attained subdivision index*) berdasarkan peraturan 25-4. Index R dihitung berdasarkan panjang penyekatan kapal (L_s), sedangkan index A diperoleh dari perhitungan faktor s dan faktor p untuk tiap kasus kebocoran yang memberikan kontribusi pada nilai index A. Proses perhitungan *SOLAS Requirement* dapat dilihat pada gambar (3.34).



Gambar 3.34 Diagram alir perhitungan SOLAS Requirement

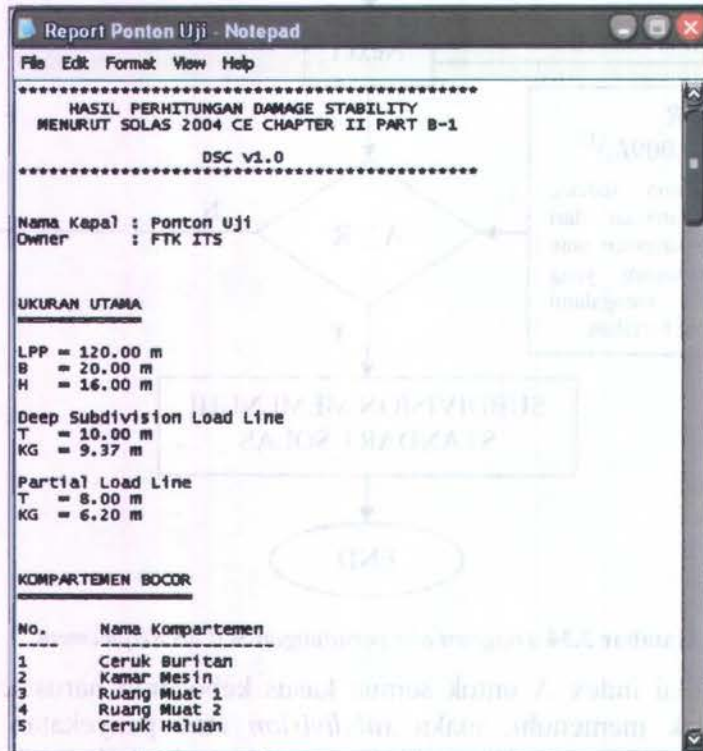
Total jumlah nilai index A untuk semua kasus kebocoran harus lebih besar dari nilai index R. Apabila tidak memenuhi, maka *subdivision* atau penyekatan pada kapal belum memenuhi standar SOLAS, dan sebaliknya bila memenuhi, yaitu Index A lebih besar dari Index R maka *subdivision* atau penyekatan pada kapal sudah memenuhi standar SOLAS. Perhitungan SOLAS requirement dalam program tampak seperti pada gambar (3.35).



Gambar 3.35 Tampilan hasil perhitungan SOLAS requirement

3.1.15 Laporan Hasil Perhitungan Program

Hasil perhitungan damage stability dengan pendekatan probablistik sesuai SOLAS 2004 Chapter II-1 Part B-1 dapat disimpan dalam sebuah file yang berbentuk *notepad* berformat *.txt* yang tersimpan dalam folder *Output*. Laporan hasil perhitungan ini hanya bisa disimpan setelah proses analisa dilakukan. Dalam laporan ini berisi informasi mengenai kapal, ukuran utama, kompartemen-kompartemen yang didefinisikan dalam perhitungan kebocoran, kasus-kasus kebocoran, informasi perhitungan untuk tiap kasus kebocoran, sampai pada hasil perhitungan *SOLAS requirement*.



Gambar 3.36 Tampilan laporan hasil perhitungan program

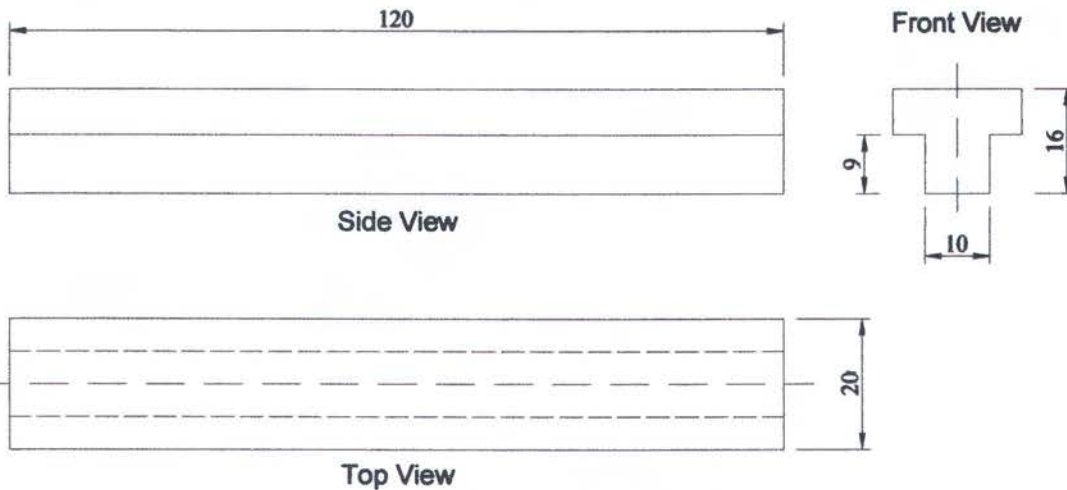
3.2 VALIDASI

Untuk mengetahui tingkat kevalidan dari program ini, dapat dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan suatu contoh kasus, dimana hasil perhitungan secara manual untuk kasus tersebut harus sama dengan hasil perhitunga dengan menggunakan program.

Perhitungan detail tidak perlu diuraikan, cukup hasil yang diperoleh dari perhitungan dengan cara manual dan program yang akan dibandingkan. Untuk memudahkan perhitungan manual, maka kasus yang dipilih adalah kasus yang sederhana namun bisa mewakili alur program, sehingga program ini mampu menyelesaikan kasus sederhana yang lebih kompleks (kapal sebenarnya).

3.2.1 Perhitungan Hidrostatik

Dalam contoh kasus ini akan digunakan sebuah model dengan ukuran utama panjang (L) 120 m, lebar (B) 20 m, tinggi (T) 16 m, dan koefisien blok (C_B) = 1, mengapung di air laut dengan massa jenis (γ) 1.025 ton/m³. Maka model ini akan berbentuk sama dengan balok sebagai berikut :



Gambar 3.37 Ukuran utama model

Untuk perhitungan hidrostatiknya, maka dari perhitungan menggunakan manual dan program diperoleh hasil sebagai berikut :

- Water Plane Area (WPA)

Tabel 3.4 Validasi perhitungan Water Plane Area

WL	Hasil Perhitungan		Beda	Beda [%]
	Manual	Program		
0	1200.00	1200.00	0.00	0.00
1	1200.00	1200.00	0.00	0.00
2	1200.00	1200.00	0.00	0.00
5.5	1200.00	1200.00	0.00	0.00
9	1200.00	1200.00	0.00	0.00
9	1800.00	1800.00	0.00	0.00
9	2400.00	2400.00	0.00	0.00
12.5	2400.00	2400.00	0.00	0.00
16	2400.00	2400.00	0.00	0.00

- Longitudinal Centre of Floatation (LCF)

Tabel 3.5 Validasi perhitungan longitudinal centre of bouyancy

WL	Hasil Perhitungan		Beda	Beda [%]
	Manual	Program		
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
12.5	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00

- Volume Displacement

Tabel 3.6 Validasi perhitungan volume displacement

WL	Hasil Perhitungan		Beda	Beda [%]
	Manual	Program		
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0-2	2400.00	2400.00	0.00	0.00
0-9	10800.00	10800.00	0.00	0.00
0-9	10800.00	10800.00	0.00	0.00
0-16	27600.00	27600.00	0.00	0.00

- Keel to Center of Bouyancy (KB)

Tabel 3.7 Validasi perhitungan keel to centre of bouyancy

WL	Hasil Perhitungan		Beda	Beda [%]
	Manual	Program		
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0-2	1.00	1.00	0.00	0.00
0-9	4.50	4.50	0.00	0.00
0-9	4.50	4.50	0.00	0.00
0-16	9.37	9.37	0.00	0.00

- Longitudinal Centre of Bouyancy (LCB)

Tabel 3.8 Validasi perhitungan longitudinal centre of bouyancy

WL	Hasil Perhitungan		Beda	Beda [%]
	Manual	Program		
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0-2	0.00	0.00	0.00	0.00
0-9	0.00	0.00	0.00	0.00
0-9	0.00	0.00	0.00	0.00
0-16	0.00	0.00	0.00	0.00

- Displacement

Tabel 3.9 Validasi perhitungan displacement

WL	Hasil Perhitungan		Beda	Beda [%]
	Manual	Program		
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0-2	2460.00	2460.00	0.00	0.00
0-9	11070.00	11070.00	0.00	0.00
0-9	11070.00	11070.00	0.00	0.00
0-16	28290.00	28290.00	0.00	0.00

3.2.2 Perhitungan Kondisi Kesetimbangan dengan Metode Lost Bouyancy

Untuk validasi perhitungan dengan metode lost bouyancy model yang akan digunakan sama dengan model sebelumnya. Pada model ditempatkan 4 sekat kedap melintang dan 1 sekat kedap memanjang. Penempatan sekat kedap tersebut terhadap ujung belakang model adalah sebagai berikut :

Sekat melintang :

Sekat I : 18 m Sekat III : 72 m

Sekat II : 42 m Sekat IV : 102 m

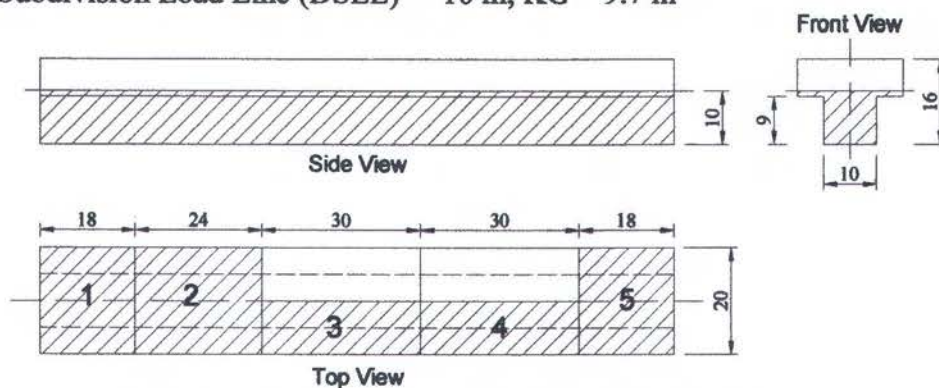
Sekat Memanjang :

pada meter ke-42 sampai ke-102,

tepat pada centreline

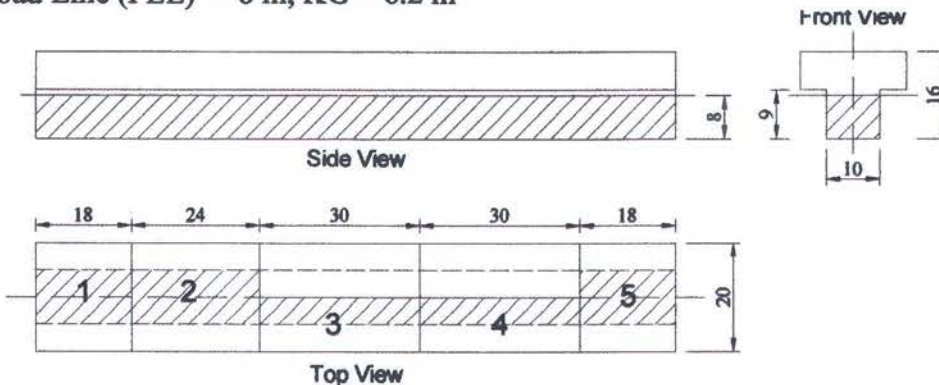
Adapun syarat untuk model :

- Deepest Subdivision Load Line (DSL) = 10 m, KG = 9.7 m



Gambar 3.38 Pembagian kompartemen model pada sarat DSL

- Partial Load Line (PLL) = 8 m, KG = 6.2 m



Gambar 3.39 Pembagian kompartemen model pada sarat PLL

Sedangkan untuk permeabilitas tiap kompartemen dianggap 1, artinya artinya air akan memenuhi seluruh ruangan.

Berdasarkan penempatan sekat-sekat diatas maka kasus-kasus kebocoran kompartemen yang mungkin terjadi pada model sesuai dengan SOLAS Consolidated Edition 2004 Part B-1 Peraturan 25-4 adalah sebagai berikut :

Tabel 3.10 Kasus-kasus kebocoran pada model

Kasus	Kompartemen Bocor	Kasus	Kompartemen Bocor
1	1	9	4-5
2	2	10	1-2-3
3	3	11	2-3-4
4	4	12	3-4-5
5	5	13	1-2-3-4
6	1-2	14	2-3-4-5
7	2-3	15	1-2-3-4-5
8	3-4		

Dari kemungkinan-kemungkinan kasus kebocoran di atas, akan diambil satu kasus untuk dilakukan perhitungan manualnya, hal ini dikarenakan proses perhitungannya untuk tiap kasus cukup panjang, Proses perhitungan dalam program untuk tiap kasus adalah sama, sehingga dengan mengambil satu kasus kebocoran sudah cukup untuk validasi program. Disini akan diambil contoh kasus ke-7 dengan sarat PLL (Partial Load Line) yaitu 8 m, dimana kompartemen yang bocor sesuai dengan gambar adalah kompartemen nomor 2 dan 3. Pertimbangan dari pemilihan kasus ini karena pada program, kasus ini sudah memenuhi kriteria-kriteria untuk perhitungan program, sehingga kasus ini dapat digunakan untuk validasi pada tahap selanjutnya.

- Perhitungan Manual

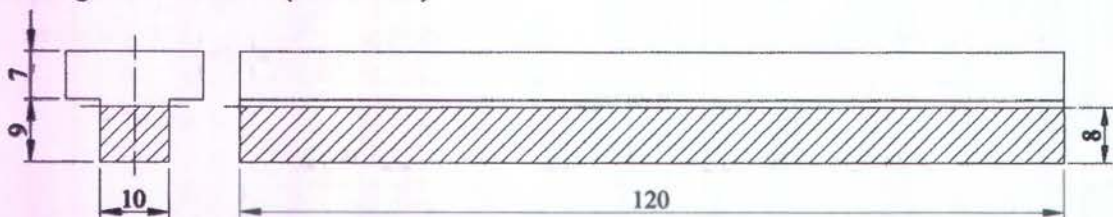
Input program dari ukuran utama :

$$L = \text{Panjang kapal [m]} \\ = 120 \text{ m}$$

$$z_g = \text{KG kapal utuh sebelum bocor [m]} \\ = 6.20 \text{ m}$$

$$T = \text{Sarat kapal utuh sebelum bocor [m]} \\ = 8.00 \text{ m}$$

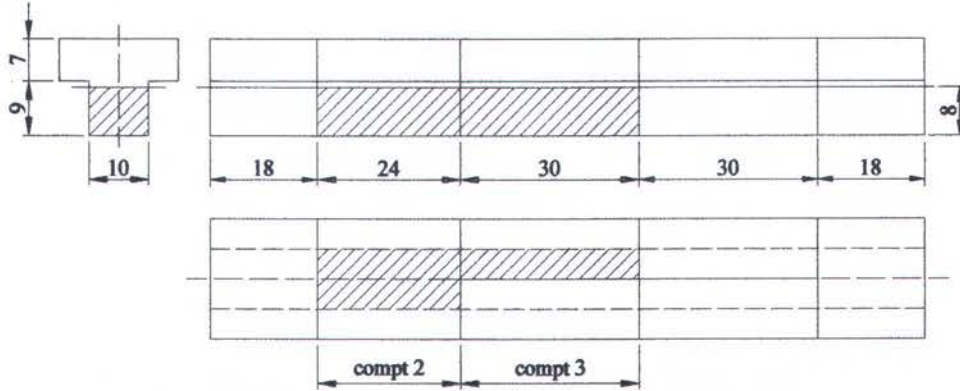
Perhitungan Hidrostatik (sarat awal)



Gambar 3.40 Perhitungan hidrostatik model pada sarat awal

$$\begin{aligned}
 V &= \text{Volume kapal utuh sebelum bocor [m}^3\text{]} \\
 &= 120 \times 10 \times 8 = 9600.00 \text{ m}^3 \\
 z_{c0} &= \text{KB kapal utuh sebelum bocor [m]} \\
 &= 4.00 \text{ m (dari baseline)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kompartemen (sarat awal)

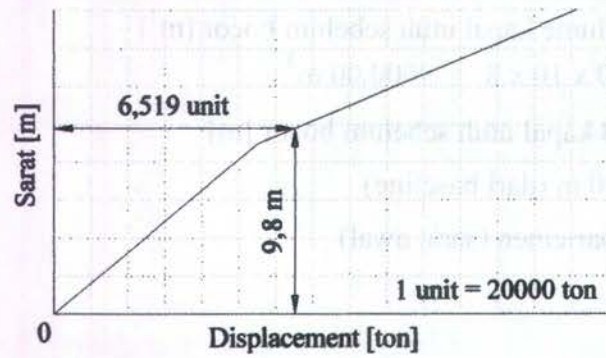


Gambar 3.41 Perhitungan kompartemen model pada sarat awal

$$\begin{aligned}
 v &= \text{Volume kompartemen bocor pada sarat T [m}^3\text{]} \\
 &= v_2 + v_3 = 24 \times 10 \times 8 + 30 \times 5 \times 8 = 1920 + 1200 = 3120.00 \text{ m}^3 \\
 x_p &= \text{LCB kompartemen bocor pada sarat T [m]} \\
 &= \frac{v_2 x_{p2} + v_3 x_{p3}}{v_2 + v_3} = \frac{1920 \times (-30) + 200 \times (-3)}{3120} = -19.62 \text{ m (dari midship)} \\
 y_p &= \text{TCB kompartemen bocor pada sarat T [m]} \\
 &= \frac{v_2 x_{p2} + v_3 x_{p3}}{v_2 + v_3} = \frac{1920 \times 0 + 200 \times 2.5}{3120} = 0.96 \text{ m (dari centreline)} \\
 z_p &= \text{KB kompartemen bocor pada sarat T [m]} \\
 &= \frac{v_2 x_{p2} + v_3 x_{p3}}{v_2 + v_3} = \frac{1920 \times 4 + 200 \times 4}{3120} = 4.00 \text{ m (dari baseline)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan sarat kapal bocor

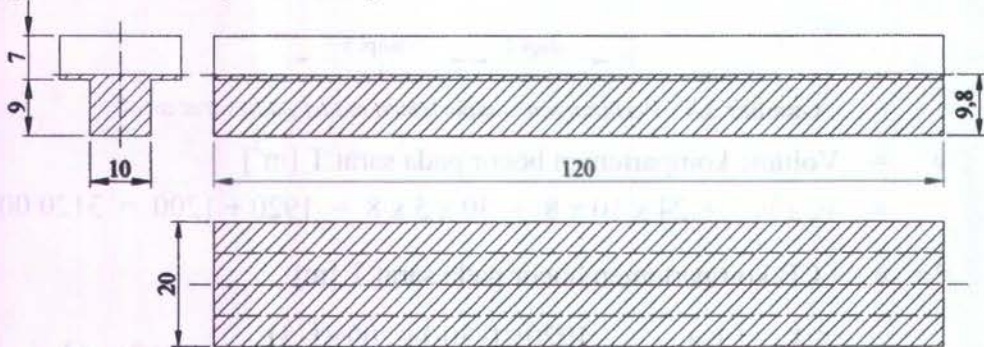
$$\begin{aligned}
 \Delta &= \text{Displacement kapal utuh [ton]} \\
 &= V \times \gamma = 9600 \times 1.025 = 9840 \text{ ton} \\
 \Delta_p &= \text{Displacement kompartemen bocor [ton]} \\
 &= v \times \gamma = 3120 \times 1.025 = 3198 \text{ ton} \\
 \Delta' &= \text{Displacement kapal bocor [ton]} \\
 &= \Delta + \Delta_p = 9840 + 3198 = 13038 \text{ ton} \\
 T_1 &= \text{Sarat kapal utuh karena adanya kebocoran [m]} \\
 &\quad \text{(diperoleh dari kurva displacement Hidrostatik)} \\
 &= 13038 \text{ ton} \approx 9.80 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.42 Kurva displacement model

$$\begin{aligned}\delta T &= \text{Selisih sarat } T_1 \text{ dan sarat awal } T \text{ [m]} \\ &= T_1 - T = 9.80 - 8.00 = 1.80 \text{ m}\end{aligned}$$

Perhitungan Hidrostatik (sarat bocor)



Gambar 3.43 Perhitungan hidrostatik model pada kondisi setelah kebocoran

$$\begin{aligned}S &= \text{WPA kapal utuh pada sarat } T_1 \text{ [m}^2\text{]} \\ &= 120 \times 20 = 2400.00 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_f &= \text{LCF kapal utuh pada sarat } T_1 \text{ [m]} \\ &= 0.00 \text{ m (dari midship)}\end{aligned}$$

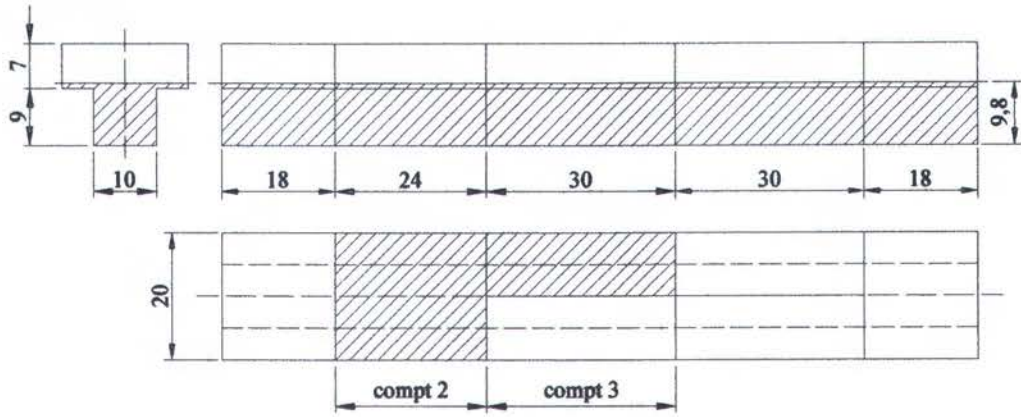
$$\begin{aligned}I_x &= \text{Momen inersia melintang kapal utuh pada sarat } T_1 \text{ [m}^4\text{]} \\ &= \frac{(L \cdot B^3)}{12} = \frac{(120 \cdot 20^3)}{12} = 80000.00 \text{ m}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_f &= \text{Momen inersia memanjang kapal utuh pada sarat } T_1 \text{ [m}^4\text{]} \\ &= \frac{(L^3 \cdot B)}{12} = \frac{(120^3 \cdot 20)}{12} = 2880000.00 \text{ m}^4\end{aligned}$$

Perhitungan Kompartemen (sarat bocor)

$$\begin{aligned}s &= \text{WPA kompartemen bocor pada sarat } T_1 \text{ [m}^2\text{]} \\ &= s_2 + s_3 = 24 \times 20 + 30 \times 10 = 480 + 300 = 780.00 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_s &= \text{LCF kompartemen bocor pada sarat } T_1 \text{ [m]} \\ &= \frac{s_2 x_{s2} + s_3 x_{s3}}{s_2 + s_3} = \frac{480 \times (-30) + 300 \times (-3)}{780} = -19.62 \text{ m (dari midship)}\end{aligned}$$



Gambar 3.44 Perhitungan kompartemen model pada kondisi setelah kebocoran, sarat T_1

$$\begin{aligned}
 y_s &= \text{TCF kompartemen bocor pada sarat } T_1 \text{ [m]} \\
 &= \frac{s_2 y_{s2} + s_3 y_{s3}}{s_2 + s_3} = \frac{480 \times (0) + 300 \times (5)}{780} = 1.92 \text{ m (dari centreline)} \\
 i_x &= \text{Momen inersia melintang kompartemen pada sarat } T_1 \text{ [m}^4\text{]} \\
 &= i_{x2} + i_{x3} = \frac{(l_2 \cdot b_2^3)}{12} + \frac{(l_3 \cdot b_3^3)}{12} = \frac{(24 \cdot 20^3)}{12} + \frac{(30 \cdot 10^3)}{12} = 18500.00 \text{ m}^4 \\
 i_y &= \text{Momen inersia memanjang kompartemen pada sarat } T_1 \text{ [m}^4\text{]} \\
 &= i_{y2} + i_{y3} = \frac{(l_2^3 \cdot b_2)}{12} + \frac{(l_3^3 \cdot b_3)}{12} = \frac{(24^3 \cdot 20)}{12} + \frac{(30^3 \cdot 10)}{12} = 45540.00 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

Perhitungan parameter keadaan equilibrium menggunakan metode lost buoyancy

$$\begin{aligned}
 x_{f1} &= \text{LCF kapal bocor pada sarat } T_1 \text{ [m]} \\
 &= x_f - (x_s - x_f) \frac{s}{(S - s)} = 9.44 \text{ m (dari midship)} \\
 y_{f1} &= \text{TCF kapal bocor pada sarat } T_1 \text{ [m]} \\
 &= -y_s \frac{s}{(S - s)} = -0.93 \text{ m (dari centreline)} \\
 I_{x1} &= \text{Momen inersia melintang kapal bocor pada sarat } T_1 \text{ [m}^4\text{]} \\
 &= I_x - i_x - s \cdot y_s^2 - (S - s) y_{f1}^2 = 57226.50 \text{ m}^4 \\
 I_{f1} &= \text{Momen inersia memanjang kapal bocor pada sarat } T_1 \text{ [m}^4\text{]} \\
 &= I_f - i_y - s \cdot (x_s - x_f)^2 - (S - s) (x_{f1} - x_f)^2 = 2389844.62 \text{ m}^4 \\
 z_{c1} &= \text{KB kapal bocor [m]} \\
 &= z_{c0} + \frac{v}{V} \left(T + \frac{\delta T}{2} - z_p \right) = 5.59 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_2 &= \text{Tinggi metacentre memanjang kapal bocor [m]} \\
 &= \frac{I_{f1}}{V} + z_{c1} - z_g = 248.33 \text{ m} \\
 h_2 &= \text{Tinggi metacentre melintang kapal bocor [m]} \\
 &= \frac{I_{x1}}{V} + z_{c1} - z_g = 5.35 \text{ m} \\
 k_T &= \text{Faktor pengaruh perubahan sarat rata-rata} \\
 &= 1 + \frac{s}{(S-s)} = 1.481 \\
 k_\psi &= \text{Faktor pengaruh trim} \\
 &= 1 + \frac{s(x_s - x_f)^2}{V H_2} k_T = 1.186 \\
 k_\theta &= \text{Faktor pengaruh heel} \\
 &= 1 + \frac{s y_s^2}{V h_2} k_T = 1.083 \\
 k &= \text{Faktor pengaruh perubahan koordinat} \\
 &= \frac{\frac{y_p}{y_s} + (k_T - 1)}{\frac{(x_p - x_f)}{(x_s - x_f)} + (k_T - 1)} = 0.663 \\
 I_{x2} &= \text{Momen inersia melintang kapal bocor dengan pengaruh heel dan trim [m}^4\text{]} \\
 &= I_x - i_x - s y_s^2 k_T k_\psi = 56429.49 \text{ m}^4 \\
 I_{f2} &= \text{Momen inersia memanjang kapal bocor dengan pengaruh heel dan trim [m}^4\text{]} \\
 &= I_f - i_y - s(x_s - x_f)^2 k_T k_\theta = 2352874.40 \text{ m}^4 \\
 a &= \text{Jarak vertikal antara KG dan KB kapal utuh [m]} \\
 &= z_g - z_{c0} = 2.20 \text{ m} \\
 a_1 &= \text{Jarak vertikal antara KG dan KB kapal bocor [m]} \\
 &= a - \frac{p}{D} \left(T + \frac{\delta T}{2} - z_p \right) = 0.608 \text{ m} \\
 \psi &= \text{Sudut trim [}^\circ\text{]} \\
 \tan \psi &= \frac{p \left[x_p - x_f + (x_s - x_f) \frac{s}{S-s} \right]}{\gamma (I_{f2} - V a_1)} [(k_\theta - 1)k + 1] = -0.04 \\
 \psi &= -2.33^\circ
 \end{aligned}$$

θ = Sudut heel [°]

$$\tan \theta = \frac{P \left[y_p + y_s \frac{s}{S-s} \right]}{\gamma(I_{x2} - Va_1)} \left(\frac{k_\psi - 1}{k} + 1 \right) = 0.15$$

$$\theta = 8.48^\circ$$

$T_{midship}$ = Sarat pada midship posisi centreline kapal keadaan equilibrium setelah mengalami kebocoran [m]

$$= T_1 - x_{f1} \cdot \tan \psi - y_{f1} \cdot \tan \theta = 10.32 \text{ m}$$

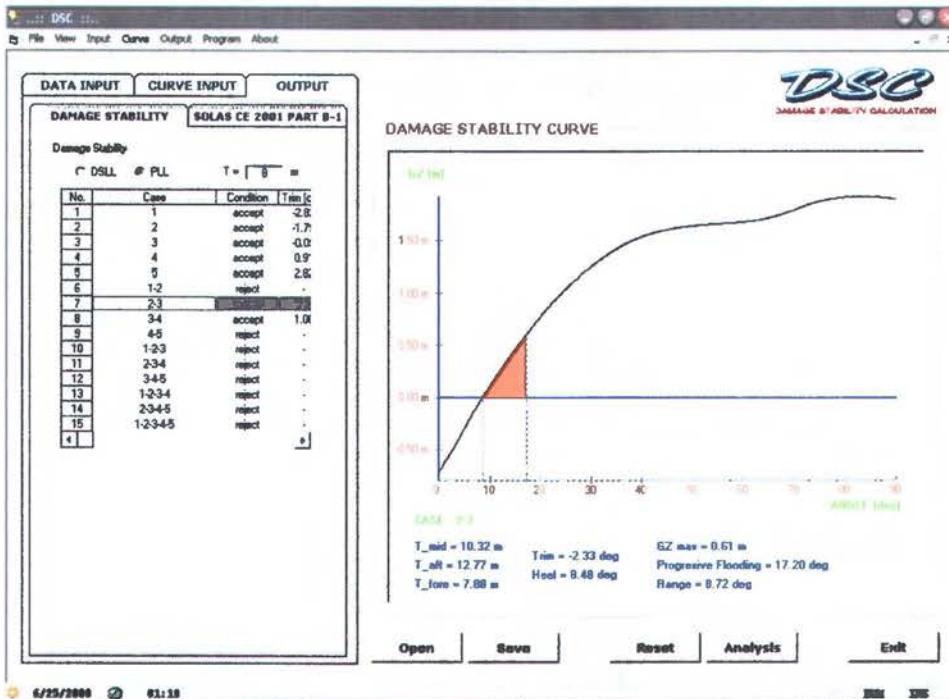
• Perhitungan Program

Dari hasil perhitungan program, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$T_{midship} = 10.32 \text{ m} \quad \text{Trim } (\psi) = -2.33^\circ$$

$$T_{aft} = 12.77 \text{ m} \quad \text{Heel } (\theta) = 8.48^\circ$$

$$T_{fore} = 7.88 \text{ m}$$



Gambar 3.45 Hasil perhitungan kurva stabilitas kondisi kebocoran

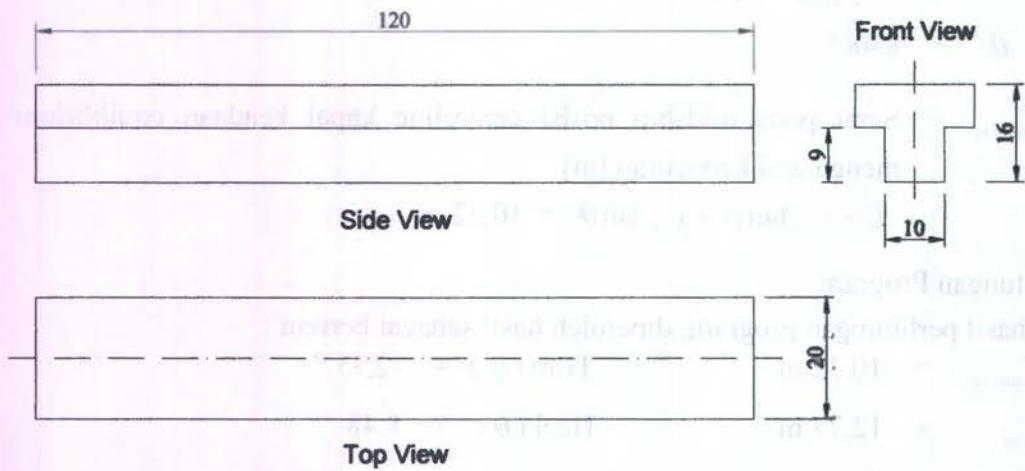
Dari perhitungan manual dan program dapat dibandingkan bahwa hasil keduanya sama. Sebagai contoh kalibrasi, diambil satu kasus kebocoran yang telah dihitung secara manual :

Tabel 3.11 Validasi perhitungan kondisi kesetimbangan dengan metode lost buoyancy

Sarat	Kasus	Item yang dikoreksi	Hasil Perhitungan		Beda	Beda [%]
			Manual	Program		
8 m (PLL)	(2,3)	$T_{midship}$	10.32	10.32	0.00	0.00
8 m (PLL)	(2,3)	Trim (ψ)	-2.33	-2.33	0.00	0.00
8 m (PLL)	(2,3)	Heel (θ)	8.48	8.48	0.00	0.00

3.2.3 Perhitungan Ordinat Garis Air Sisi Tercelup dan Sisi Timbul

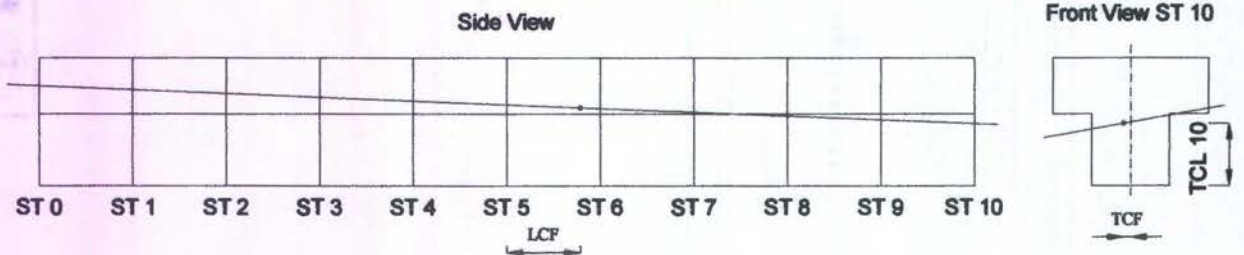
Untuk validasi perhitungan ordinat garis air sisi tercelup dan sisi timbul maka akan digunakan satu contoh kasus dengan kondisi heel dan trim tertentu, serta pada posisi tertentu.



Gambar 3.46 Ukuran utama ponton

Berikut kondisi dari contoh kasus yang akan dihitung secara manual maupun program. Kondisi ini diperoleh dari hasil perhitungan kondisi kesetimbangan dengan metode lost bouyancy sebelumnya.

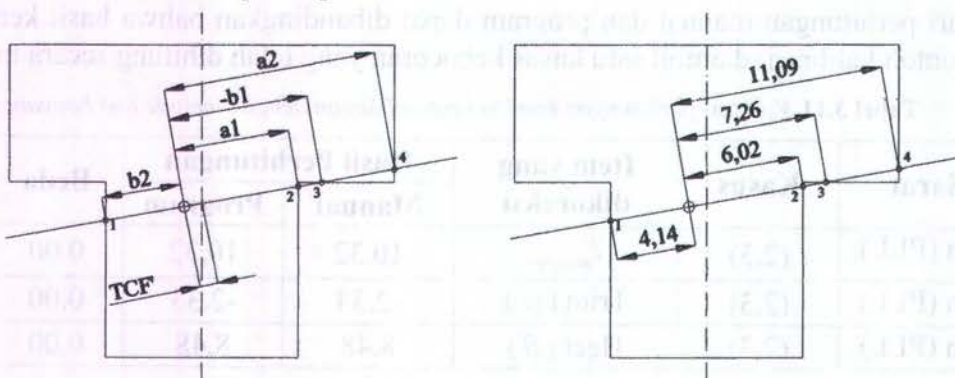
- | | | | | | |
|-------------------|---|--------|--------|---|---------------------------|
| Trim (ψ) | = | -2.33° | LCF | = | 9.44 m (dari midship) |
| Heel (θ) | = | 10° | TCF | = | 0.93 m (dari centre line) |
| Sarat rata (T) | = | 9.80 m | Posisi | = | Station 10 |



Gambar 3.47 Contoh kasus untuk perhitungan ordinat garis air

• **Perhitungan Manual**

Dari gambar penampang melintang station 10, dibuat garis air pada posisi station tersebut sesuai kondisi kesetimbangan yang telah diketahui. Dengan cara manual, diukur panjang koordinat untuk sisi tercelup maupun sisi timbul.



Gambar 3.48 Perhitungan ordinat dengan cara manual

Hasil perhitungan manual di atas adalah sebagai berikut :

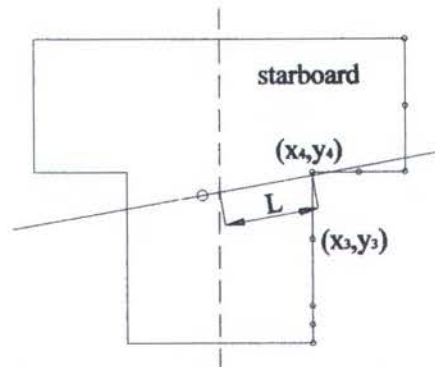
$$\begin{aligned} a &= \text{Ordinat garis air untuk sisi yang tercelup} \\ &= a_1 + a_2 = 6.02 + 11.09 = 17.11 \\ b &= \text{Ordinat garis air untuk sisi yang timbul} \\ &= -b_1 + b_2 = -7.26 + 4.14 = -3.12 \end{aligned}$$

• **Perhitungan Program**

$$\begin{aligned} \text{Trim } (\psi) &= -2.33^\circ \\ \text{Heel } (\theta) &= 10^\circ \\ \text{Sarat rata (T)} &= 9.80 \text{ m} \\ \text{LCF} &= 9.44 \text{ m (dari midship)} \\ \text{TCF} &= 0.93 \text{ m (dari centre line)} \\ \text{L}_{ST 10} &= 60 \text{ m (dari midship)} \\ \text{T}_{CL 10} &= T - \tan(\psi) \cdot \text{LCF} - \tan(\theta) \cdot \text{TCF} + \tan(\psi) \cdot \text{L}_{ST 10} \\ &= 9.80 - \tan(-2.33) \cdot 9.44 - \tan(10) \cdot 0.93 + \tan(-2.33) \cdot 60 \\ &= 7.90 \text{ m} \end{aligned}$$

Sisi Starboard

Titik Potong 1



Gambar 3.49 Penampang melintang titik potong 1 sisi starboard

$$\begin{aligned} (x_1, y_1) &= (0, 7.74) & M_A &= \tan(10) \\ (x_3, y_3) &= (5, 5.5) & &= 0.176 \\ (x_4, y_4) &= (5, 9) \end{aligned}$$

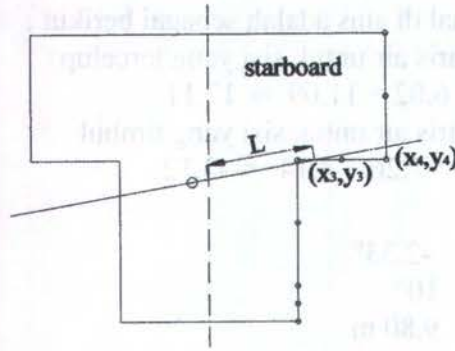
Titik potong :

$$\begin{aligned} x &= x_3 & (\text{jika } x_3 = x_4) \\ &= 5 \\ y &= y_1 + (x_3 - x_1) \cdot M_A & (\text{jika } x_3 = x_4) \\ &= 8.78 \\ L &= \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \\ &= 5.08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a(\text{SB})_1 &= L \\ &= 5.08 \text{ m} \end{aligned}$$

Titik Potong 2

$$\begin{aligned} (x_1, y_1) &= (0, 7.74) & M_A &= \tan(10) \\ (x_3, y_3) &= (5, 9) & &= 0.176 \\ (x_4, y_4) &= (7.5, 9) & M_B &= (y_4 - y_3) / (x_4 - x_3) \\ & & &= 0 \end{aligned}$$



Gambar 3.50 Penampang melintang titik potong 2 sisi starboard

Titik potong :

$$x = \frac{(M_A \cdot x_1 - M_B \cdot x_3 + y_3 - y_1)}{(M_A - M_B)}$$

$$= 6.22$$

$$y = y_3 \quad (\text{jika } y_3 = y_4)$$

$$= 9$$

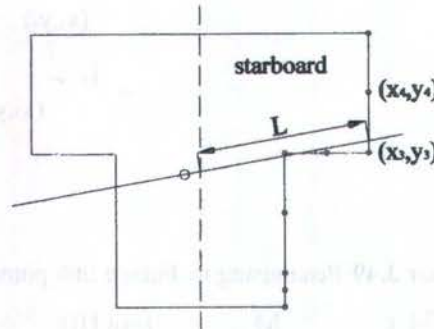
$$L = \sqrt{((x - x_1)^2 + (y - y_1)^2)}$$

$$= 6.32$$

$$b(\text{SB})_1 = -L$$

$$= -6.32 \text{ m}$$

Titik Potong 3



Gambar 3.51 Penampang melintang titik potong 3 sisi starboard

$$(x_1, y_1) = (0, 7.74) \quad M_A = \tan(10)$$

$$(x_3, y_3) = (10, 9) \quad = 0.176$$

$$(x_4, y_4) = (10, 12.5)$$

Titik potong :

$$x = x_3 \quad (\text{jika } x_3 = x_4)$$

$$= 10$$

$$y = y_1 + (x_3 - x_1) \cdot M_A \quad (\text{jika } x_3 = x_4)$$

$$= 9.67$$

$$L = \sqrt{((x - x_1)^2 + (y - y_1)^2)}$$

$$= 10.15$$

$$a(\text{SB})_2 = L$$

$$= 10.15 \text{ m}$$

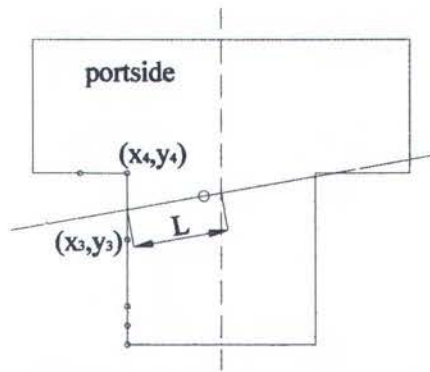
$$a_{\text{SB}} = a(\text{SB})_1 + a(\text{SB})_2$$

$$= 5.08 + 10.15 = 15.23$$

$$b_{\text{SB}} = b(\text{SB})_1$$

$$= -6.32$$

Sisi Portside

Titik Potong 4

Gambar 3.52 Penampang melintang titik potong 3 sisi starboard

$$\begin{aligned}
 (x_1, y_1) &= (0, 7.74) & M_A &= -\tan(10) \\
 (x_3, y_3) &= (5, 5.5) & &= -0.176 \\
 (x_4, y_4) &= (5, 9) & TCF' &= TCF / \cos(10) \\
 & & &= 0.94
 \end{aligned}$$

Titik potong :

$$\begin{aligned}
 x &= x_3 && \text{(jika } x_3=x_4) \\
 &= 5 \\
 y &= y_1 + (x_3 - x_1) \cdot M_A && \text{(jika } x_3=x_4) \\
 &= 6.86 \\
 L &= \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \\
 &= 5.08
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{PS} &= 2 \cdot TCF' \\
 &= 1.88 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{PS} &= L - 2 \cdot TCF' \\
 &= 3.20 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka didapat :

$$\begin{aligned}
 a &= \text{Ordinat garis air untuk sisi yang tercelup} \\
 &= a_{SB} + a_{PS} = 15.23 + 1.88 \\
 &= 17.11 \text{ m} \\
 b &= \text{Ordinat garis air untuk sisi yang timbul} \\
 &= b_{SB} + b_{PS} = -6.32 + 3.20 \\
 &= -3.12 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan manual dan program dapat dibandingkan bahwa hasil ordinat garis air tercelup dan timbul untuk keduanya sama.:

Tabel 3.12 Validasi perhitungan koordinat garis air sisi tercelup dan sisi timbul

Kasus	Posisi	Item yang dikoreksi	Hasil Perhitungan		Beda	Beda [%]
			Manual	Program		
(2,3)	Station 10	a	17.11	17.11	0.00	0.00
(2,3)	Station 10	b	-3.12	-3.12	0.00	0.00

3.2.4 Perhitungan Kurva Stabilitas

Untuk validasi perhitungan kurva stabilitas maka akan digunakan satu contoh kasus dengan kondisi heel dan trim tertentu seperti pada perhitungan sebelumnya pada gambar (3.54). Berikut ini adalah beberapa data kasus tersebut yang diperoleh dari perhitungan dengan metode lost bouyancy :

Trim (ψ)	=	-2.33°	LCF	=	9.44 m (dari midship)
Heel (θ)	=	8.48°	TCF	=	0.93 m (dari centre line)
Sarat rata (T)	=	9.80 m	a	=	2.20 m

- Perhitungan Manual

Berikut ini adalah tabel perhitungan kurva stabilitas secara manual dengan menggunakan metode variabel batas atas. Dalam perhitungan manual, beda sudut yang dipakai adalah 10° agar perhitungan dapat dikerjakan lebih mudah.

Tabel 3.13 Perhitungan manual kurva stabilitas dengan metode variabel batas atas (I)

θ [°]	r_θ [m]	a [m]	$r_\theta \cos \theta$	Integral sum of (IV)	$y_\theta = \delta\theta/2(V)$	$y_\theta \cos \theta$
(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	(VI)	(VII)
0	5.31	2.20	5.31	0.00	0.00	0.00
10	5.45	2.20	5.37	10.67	0.93	0.92
20	4.59	2.20	4.31	20.35	1.78	1.67
30	3.67	2.20	3.18	27.83	2.43	2.10
40	2.82	2.20	2.16	33.17	2.89	2.22
50	2.49	2.20	1.60	36.93	3.22	2.07
60	2.93	2.20	1.47	39.99	3.49	1.74
70	4.27	2.20	1.46	42.92	3.75	1.28
80	3.91	2.20	0.68	45.06	3.93	0.68
90	3.73	2.20	0.00	45.74	3.99	0.00

Tabel 3.14 Perhitungan manual kurva stabilitas dengan metode variabel batas atas (II)

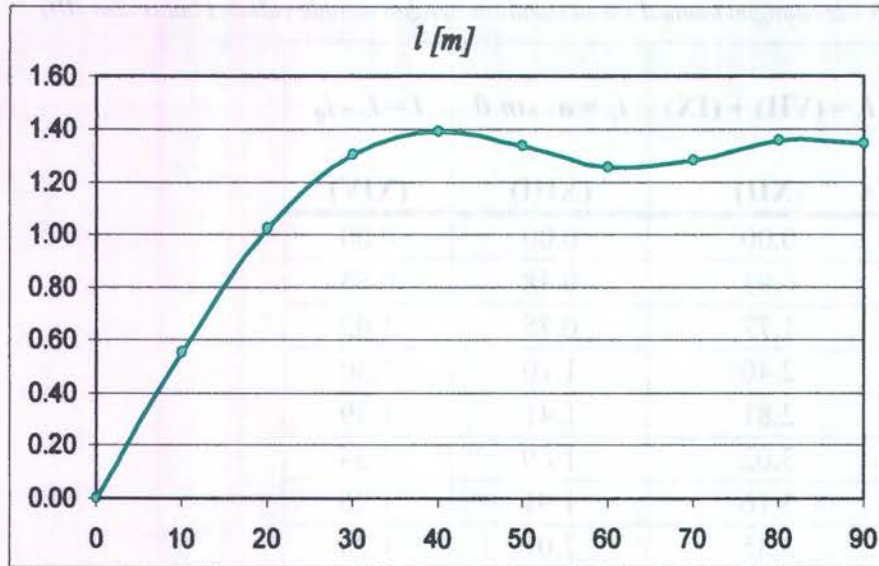
θ [°]	r_θ [m]	a [m]	$r_\theta \sin \theta$	integral sum of (VIII)	$z_\theta - z_c = \delta\theta/2(IX)$	$(z_\theta - z_c) \sin \theta$
(I)	(II)	(III)	(VIII)	(IX)	(X)	(XI)
0	5.31	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00
10	5.45	2.20	0.95	0.95	0.08	0.01
20	4.59	2.20	1.57	3.46	0.30	0.10
30	3.67	2.20	1.83	6.86	0.60	0.30
40	2.82	2.20	1.81	10.51	0.92	0.59
50	2.49	2.20	1.90	14.23	1.24	0.95
60	2.93	2.20	2.54	18.67	1.63	1.41
70	4.27	2.20	4.01	25.22	2.20	2.07
80	3.91	2.20	3.85	33.09	2.89	2.84
90	3.73	2.20	3.73	40.67	3.55	3.55

Tabel 3.15 Perhitungan manual kurva stabilitas dengan metode variabel batas atas (III)

θ [°]	$l_c = \text{(VII)} + \text{(IX)}$	$l_g = a_1 \sin \theta$	$l = l_c - l_g$
(I)	(XII)	(XIII)	(XIV)
0	0.00	0.00	0.00
10	0.93	0.38	0.55
20	1.77	0.75	1.02
30	2.40	1.10	1.30
40	2.81	1.41	1.39
50	3.02	1.69	1.34
60	3.16	1.91	1.25
70	3.35	2.07	1.28
80	3.53	2.17	1.36
90	3.55	2.20	1.35

Keterangan :

 θ = Sudut Kemiringan [°] $\delta\theta$ = Besar perubahan tiap sudut kemiringan [°]
= 10° r_θ = Radius metacentre untuk tiap sudut [m]
(dari perhitungan radius metacentre) a = Jarak vertikal antara KG dan KB kapal [m]
= $z_g - z_{c0}$ z_g = Jarak vertikal titik berat kapal dari keel [m] z_{c0} = Jarak vertikal pusat bouyancy kapal utuh terhadap keel [m] y_θ = Jarak horizontal pusat bouyancy volume badan kapal tercelup pada kemiringan θ° terhadap sumbu z [m]
= $\int r_\phi \cos \phi \delta\phi$ $z_\theta - z_c$ = Jarak vertikal antara pusat bouyancy volume badan kapal tercelup pada kemiringan θ sebelum dan sesudah bocor [m]
= $\int r_\phi \sin \phi \delta\phi$ l_c = Lengan stabilitas karena pengaruh bentuk badan kapal [m]
= $y_\theta \cos \theta + (z_\theta - z_c) \sin \theta$ l_g = Lengan stabilitas karena pengaruh perubahan titik berat [m]
= $a_1 \sin \theta$ l = Lengan stabilitas statis [m]
= $l_c - l_g$



Gambar 3.53 Hasil perhitungan kurva stabilitas kondisi kebocoran secara manual

Dari kurva stabilitas kondisi kebocoran perhitungan manual diperoleh :

$$\begin{aligned}\theta_e &= \text{Sudut kesetimbangan akhir } [^\circ] \\ &= 8.48^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}GZ_e &= \text{Lengan stabilitas pada kondisi kesetimbangan [m]} \\ &= 0.8 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}GZ_{\max} &= \text{Lengan stabilitas positif maksimum [m]} \\ &= 1.39 - GZ_e = 1.39 - 0.6 = 0.79 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_f &= \text{Sudut terjadinya progressive flooding } [^\circ] \\ &\text{(diukur pada kondisi kesetimbangan dari sudut kemiringan nol sampai} \\ &\text{mencapai titik terjadinya progressive flooding)} \\ &= 20^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{range} &= \text{Panjang jangkauan sudut stabilitas } [^\circ] \\ &= \theta_f - \theta_e = 20 - 8.48 = 11.52^\circ\end{aligned}$$

- Perhitungan Program

Dalam perhitungan program, beda sudut yang digunakan adalah 0.1° sehingga diperoleh tingkat akurasi perhitungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perhitungan manual. Gambar 3.54 menunjukkan tampilan kurva stabilitas pada kondisi kesetimbangan setelah kebocoran hasil perhitungan dengan menggunakan program.

Dari Perhitungan kurva stabilitas dengan menggunakan program diperoleh :

$$\begin{aligned}\theta_e &= \text{Sudut kesetimbangan akhir } [^\circ] \\ &= 8.48^\circ\end{aligned}$$

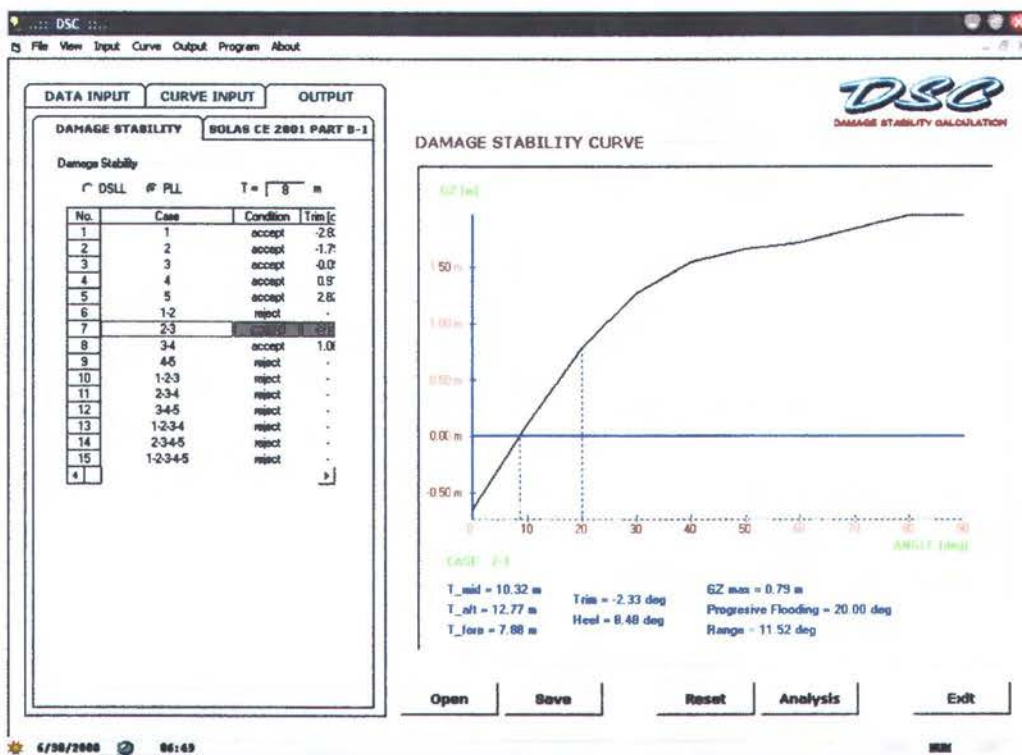
$$\begin{aligned}GZ_{\max} &= \text{Lengan stabilitas positif maksimum [m]} \\ &= 0.79 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_f &= \text{Sudut terjadinya progressive flooding } [^\circ] \\ &\text{(diukur pada kondisi kesetimbangan dari sudut kemiringan nol sampai} \\ &\text{mencapai titik terjadinya progressive flooding)} \\ &= 20^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{range} &= \text{Panjang jangkauan sudut stabilitas } [^\circ] \\ &= 11.52^\circ\end{aligned}$$

Tabel 3.16 Validasi perhitungan kurva stabilitas

Sarat	Kasus	Item yang dikoreksi	Hasil Perhitungan		Beda	Beda [%]
			Manual	Program		
8 m (PLL)	(2,3)	θ_e	8.48	8.48	0.00	0.00
8 m (PLL)	(2,3)	GZ_{max}	0.79	0.79	0.00	0.00
8 m (PLL)	(2,3)	range	11.52	11.52	0.00	0.00



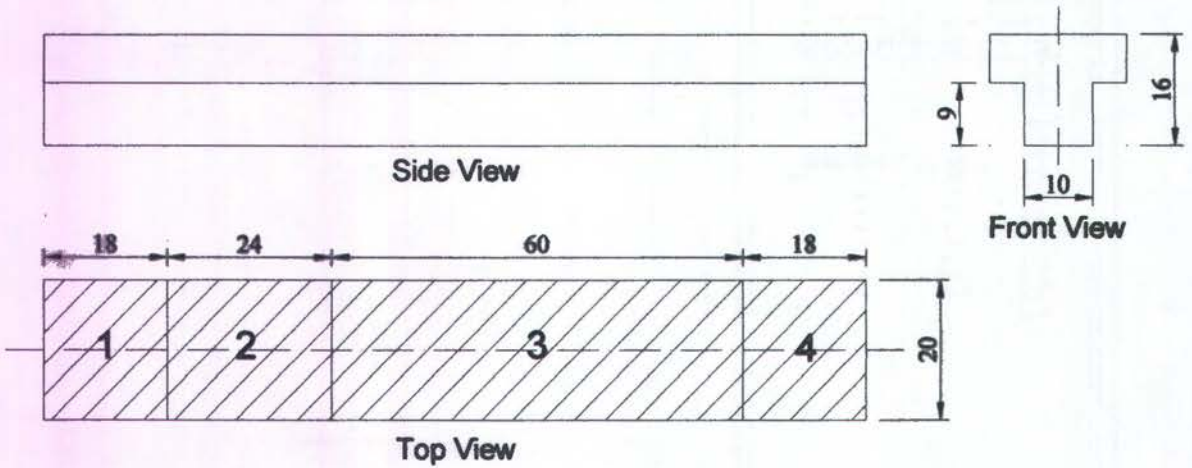
Gambar 3.54 Hasil perhitungan kurva stabilitas kondisi kebocoran dengan menggunakan program

3.3 VARIASI PENYEKATAN

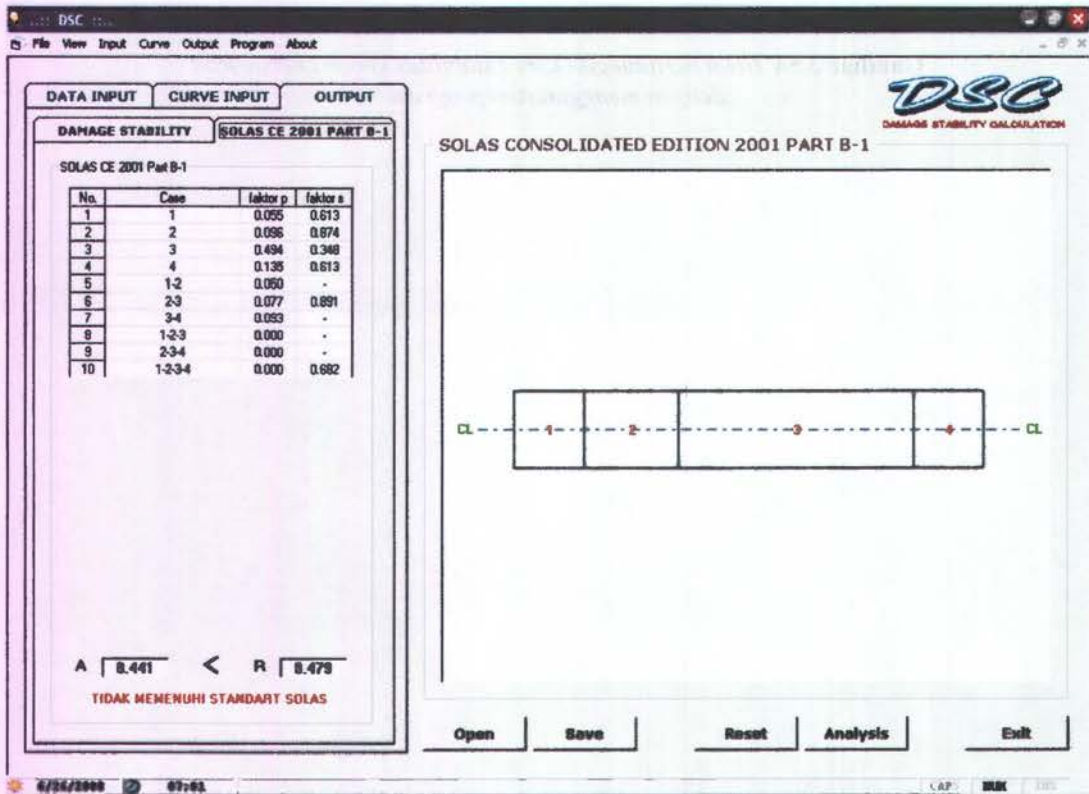
Untuk mengetahui pengaruh penyekatan melintang maupun memanjang pada kapal, maka perlu dilakukan pengujian dengan melakukan variasi penyekatan pada kapal. Variasi tersebut agar tampak lebih jelas pengaruhnya, maka dibuat masing-masing untuk sekat melintang maupun memanjang. Berikut ini adalah beberapa variasi penyekatan tersebut yang diterapkan pada ruang muat sebuah ponton uji.

3.3.1 Ruang Muat Tanpa Sekat

Variasi ini akan dibandingkan dengan variasi-variasi yang lainnya. Pada variasi ini pada ruang muat (Nomor 3) tidak diberikan sekat kedap baik melintang maupun memanjang.



Gambar 3.55 Variasi ruang muat tanpa sekat kedap



Gambar 3.56 Hasil perhitungan program untuk ruang muat tanpa sekat kedap

Hasil perhitungan SOLAS Requirement untuk variasi ruang muat tanpa sekat kedap dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.17 Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat tanpa sekat kedap

No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A	No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A
1	1	0.055	0.613	0.034	6	2-3	0.077	0.891	0.068
2	2	0.096	0.874	0.084	7	3-4	-	-	-
3	3	0.494	0.348	0.172	8	1-2-3	-	-	-
4	4	0.135	0.613	0.083	9	2-3-4	-	-	-
5	1-2	-	-	-	10	1-2-3-4	0	0.682	0

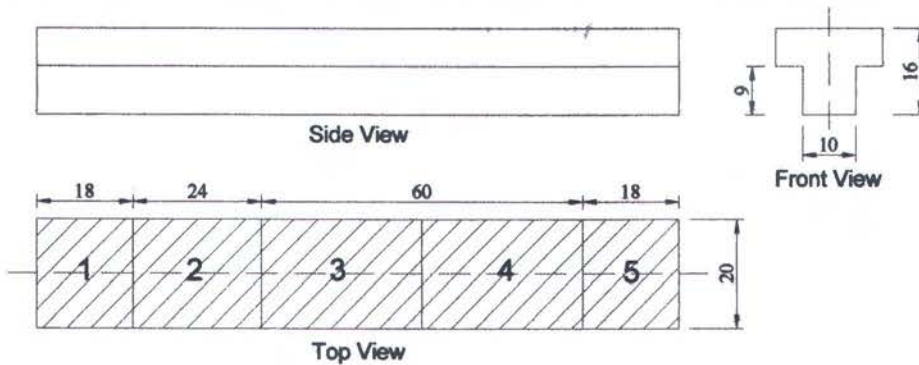
Nilai Index A = 0.441

Nilai Index R = 0.479

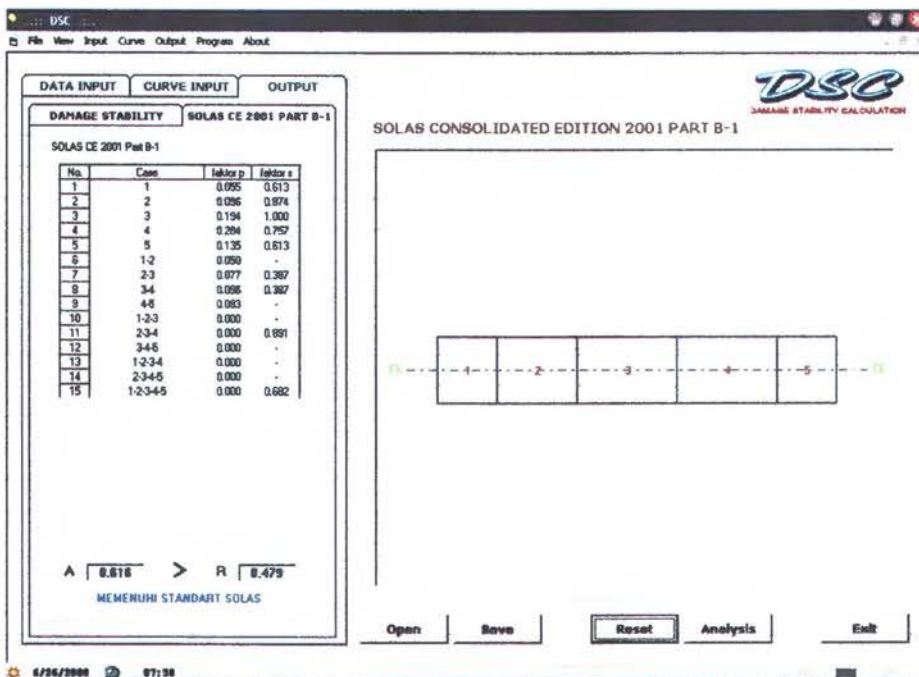
Karena nilai Index A < Index R, maka penyekatan tidak memenuhi persyaratan SOLAS

3.3.2 Ruang Muat dengan 1 Sekat Melintang

Pada variasi ini ruang muat dibagi menjadi 2 kompartemen oleh satu sekat melintang



Gambar 3.57 Variasi ruang muat dengan 1 sekat melintang



Gambar 3.58 Hasil perhitungan program untuk ruang muat dengan 1 sekat melintang

Hasil perhitungan SOLAS Requirement untuk variasi ruang muat dengan 1 sekat melintang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.18 Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat dengan 1 sekat melintang

No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A	No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A
1	1	0.055	0.613	0.034	9	4-5	-	-	-
2	2	0.096	0.874	0.084	10	1-2-3	-	-	-
3	3	0.194	1	0.194	11	2-3-4	0	0.891	0
4	4	0.204	0.757	0.155	12	3-4-5	-	-	-
5	5	0.135	0.613	0.083	13	1-2-3-4	-	-	-
6	1-2	-	-	-	14	2-3-4-5	-	-	-
7	2-3	0.077	0.387	0.03	15	1-2-3-4-5	0	0.682	0
8	3-4	0.096	0.387	0.037					

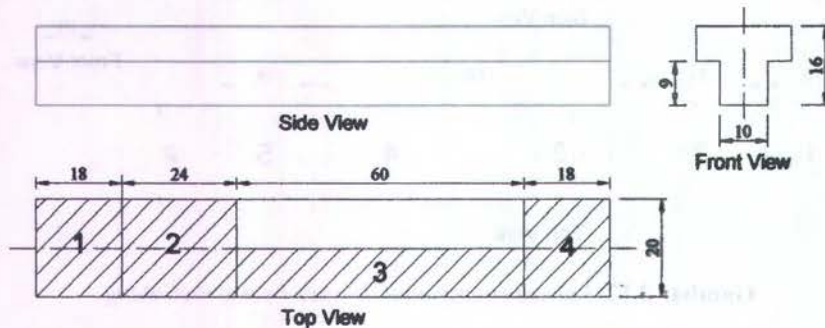
Nilai Index A = 0.616

Nilai Index R = 0.479

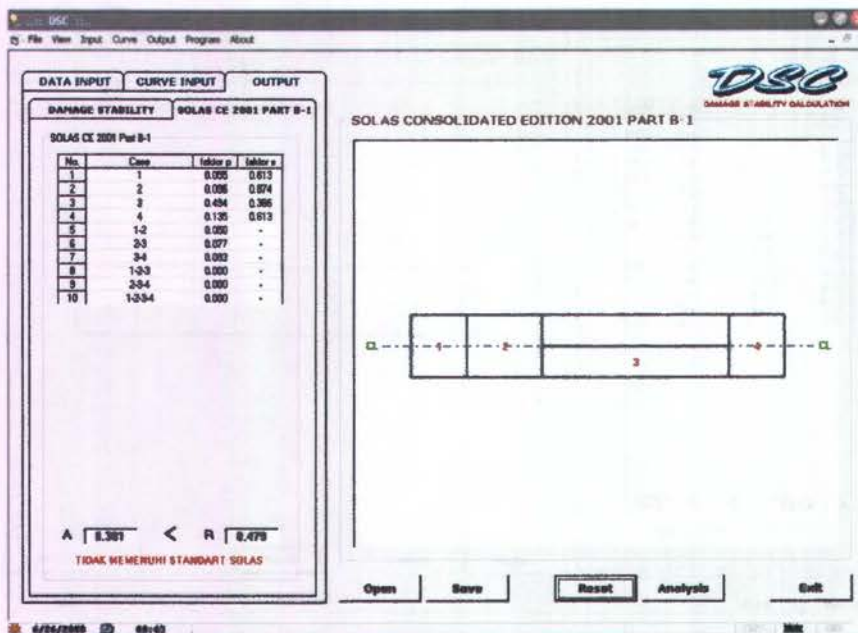
Karena nilai Index A > Index R, maka penyekatan **memenuhi** persyaratan SOLAS

3.3.3 Ruang Muat dengan 1 Sekat Memanjang

Pada variasi ini ruang muat dibagi menjadi 2 kompartemen oleh satu sekat memanjang.



Gambar 3.59 Variasi ruang muat dengan 1 sekat memanjang



Gambar 3.60 Hasil perhitungan program untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang

Hasil perhitungan SOLAS Requirement untuk variasi ruang muat dengan 1 sekat memanjang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.19 Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang

No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A	No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A
1	1	0.055	0.613	0.034	6	2-3	-	-	-
2	2	0.096	0.874	0.084	7	3-4	-	-	-
3	3	0.494	0.366	0.181	8	1-2-3	-	-	-
4	4	0.135	0.613	0.083	9	2-3-4	-	-	-
5	1-2	-	-	-	10	1-2-3-4	-	-	-

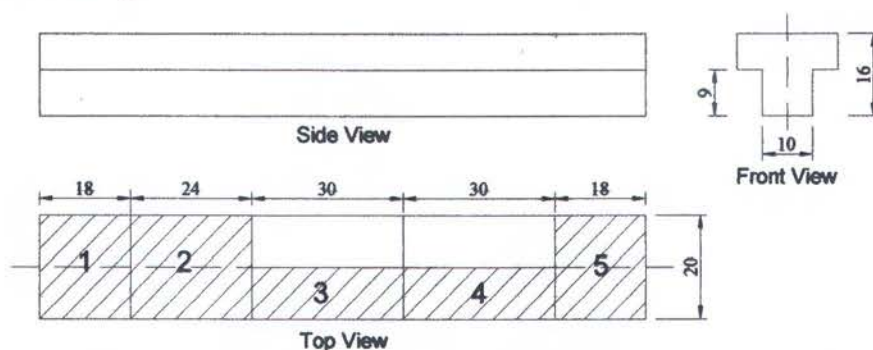
Nilai Index A = 0.381

Nilai Index R = 0.479

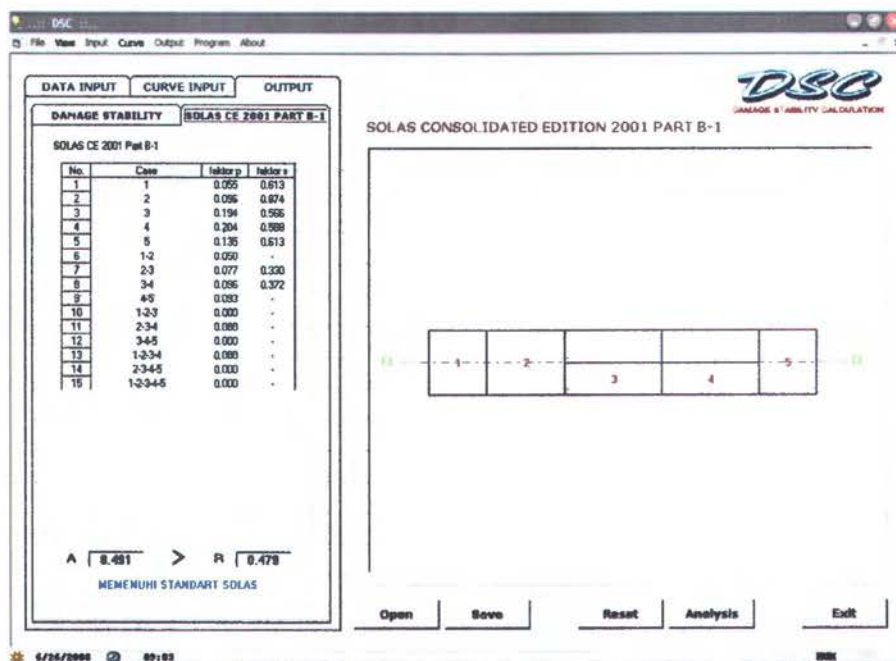
Karena nilai Index A < Index R, maka penyekatan **tidak memenuhi** persyaratan SOLAS

3.3.4 Ruang Muat dengan 1 Sekat Memanjang dan 1 Sekat Melintang

Pada variasi ini ruang muat dibagi menjadi 4 kompartemen oleh satu sekat memanjang dan satu sekat melintang.



Gambar 3.61 Variasi ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 1 sekat melintang



Gambar 3.62 Hasil perhitungan program untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 1 sekat melintang

Hasil perhitungan SOLAS Requirement untuk variasi ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 1 sekat melintang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.20 Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 1 sekat melintang

No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A	No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A
1	1	0.055	0.613	0.034	9	4-5	-	-	-
2	2	0.096	0.874	0.084	10	1-2-3	-	-	-
3	3	0.194	0.566	0.11	11	2-3-4	-	-	-
4	4	0.204	0.588	0.12	12	3-4-5	-	-	-
5	5	0.135	0.613	0.083	13	1-2-3-4	-	-	-
6	1-2	-	-	-	14	2-3-4-5	-	-	-
7	2-3	0.077	0.33	0.025	15	1-2-3-4-5	-	-	-
8	3-4	0.096	0.372	0.036					

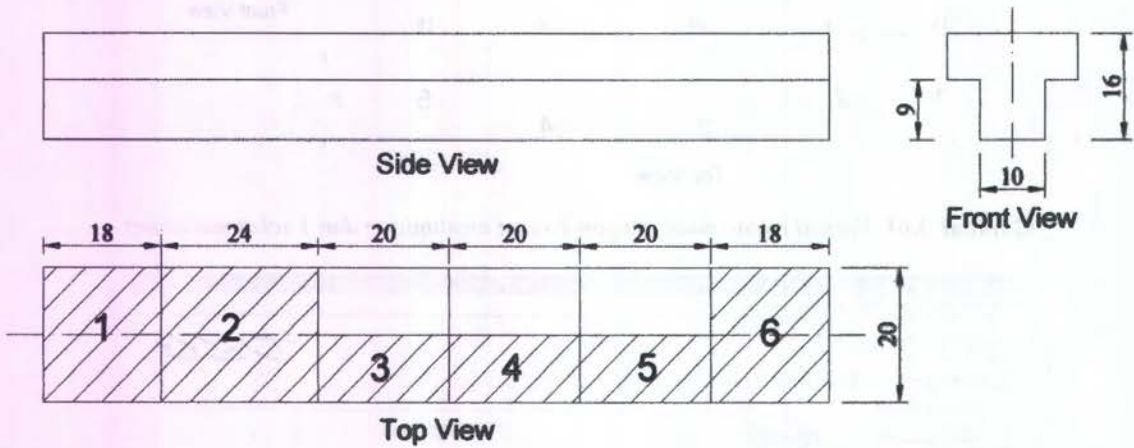
Nilai Index A = 0.491

Nilai Index R = 0.479

Karena nilai Index A > Index R, maka penyekatan memenuhi persyaratan SOLAS

3.3.5 Ruang Muat dengan 1 Sekat Memanjang dan 2 Sekat Melintang

Pada variasi ini ruang muat dibagi menjadi 6 kompartemen oleh satu sekat memanjang dan dua sekat melintang.



Gambar 3.63 Variasi ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 2 sekat melintang

Hasil perhitungan SOLAS Requirement untuk variasi ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 2 sekat melintang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.21 Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 2 sekat melintang

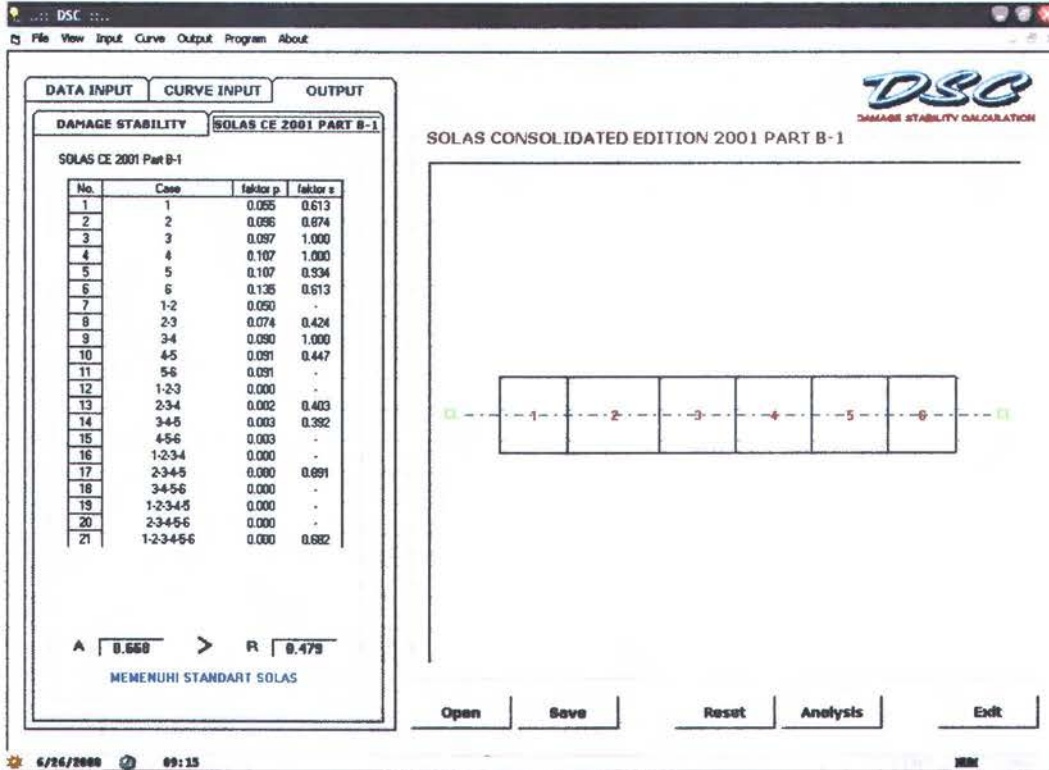
No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A	No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A
1	1	0.055	0.613	0.034	12	1-2-3	-	-	-
2	2	0.096	0.874	0.084	13	2-3-4	0.002	0.403	0.001
3	3	0.097	1	0.097	14	3-4-5	0.003	0.392	0.001
4	4	0.107	1	0.107	15	4-5-6	-	-	-
5	5	0.107	0.934	0.1	16	1-2-3-4	-	-	-

6	6	0.135	0.613	0.083	17	2-3-4-5	0	0.891	0
7	1-2	-	-	-	18	3-4-5-6	-	-	-
8	2-3	0.074	0.424	0.031	19	1-2-3-4-5	-	-	-
9	3-4	0.09	1	0.09	20	2-3-4-5-6	-	-	-
10	4-5	0.091	0.447	0.04	21	1-2-3-4-5-6	0	0.682	0
11	5-6	-	-	-					

Nilai Index A = 0.668

Nilai Index R = 0.479

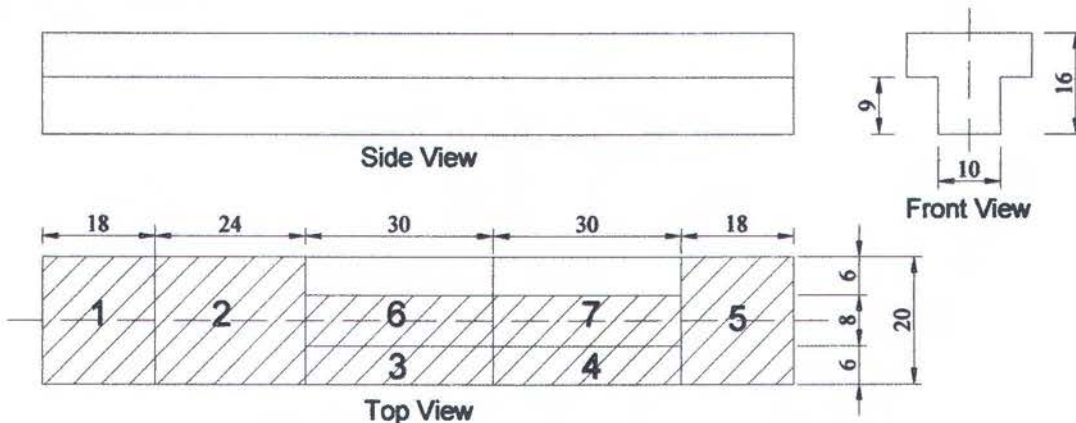
Karena nilai Index A > Index R, maka penyekatan **memenuhi** persyaratan SOLAS



Gambar 3.64 Hasil perhitungan program untuk ruang muat dengan 1 sekat memanjang dan 2 sekat melintang

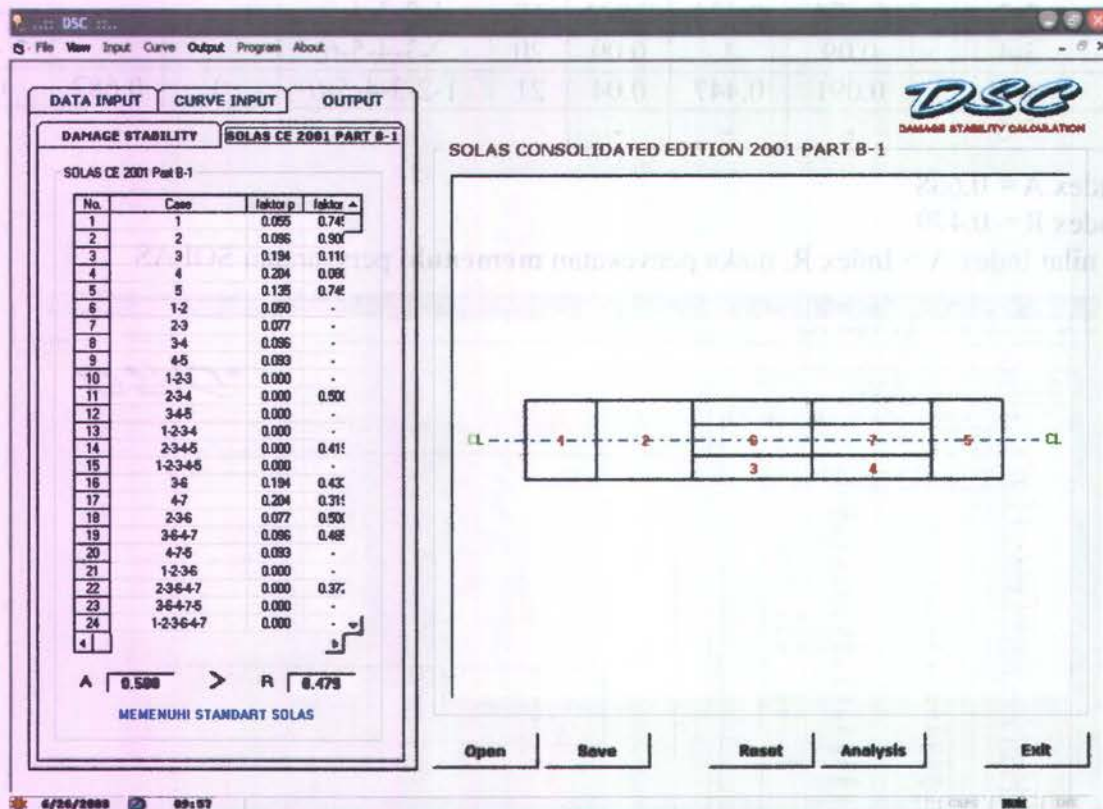
3.3.6 Ruang Muat dengan 2 Sekat Memanjang dan 1 Sekat Melintang

Pada variasi ini ruang muat dibagi menjadi 6 kompartemen oleh satu sekat memanjang dan satu sekat melintang.



Gambar 3.65 Variasi ruang muat dengan 2 sekat memanjang dan 1 sekat melintang

Hasil perhitungan SOLAS Requirement untuk variasi ruang muat dengan 2 sekat memanjang dan 1 sekat melintang dapat dilihat pada tabel berikut.



Gambar 3.66 Hasil perhitungan program untuk ruang muat dengan 2 sekat memanjang dan 1 sekat melintang

Tabel 3.22 Hasil perhitungan SOLAS requirement untuk ruang muat dengan 2 sekat memanjang dan 1 sekat melintang

No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A	No.	Kompartemen Bocor	Factor p	Factor s	Index A
1	1	0.055	0.745	0.041	14	2-3-4-5	0	0.419	0
2	2	0.096	0.9	0.087	15	1-2-3-4-5	-	-	-
3	3	0.194	0.11	0.021	16	3-6	0.194	0.433	0.084
4	4	0.204	0.08	0.016	17	4-7	0.204	0.319	0.065
5	5	0.135	0.745	0.1	18	2-3-6	0.077	0.5	0.038
6	1-2	-	-	-	19	3-6-4-7	0.096	0.485	0.047
7	2-3	-	-	-	20	4-7-5	-	-	-
8	3-4	-	-	-	21	1-2-3-6	-	-	-
9	4-5	-	-	-	22	2-3-6-4-7	0	0.372	0
10	1-2-3	-	-	-	23	3-6-4-7-5	-	-	-
11	2-3-4	0	0.5	0	24	1-2-3-6-4-7	-	-	-
12	3-4-5	-	-	-	25	2-3-6-4-7-5	0	0.682	0
13	1-2-3-4	-	-	-	26	1-2-3-6-4-7-5	-	-	-

Nilai Index A = 0.500

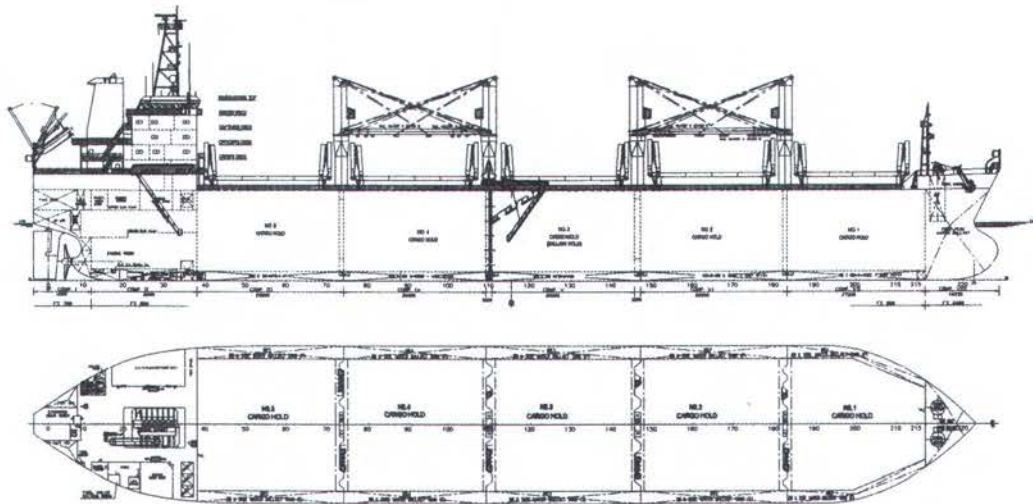
Nilai Index R = 0.479

Karena nilai Index A > Index R, maka penyekatan memenuhi persyaratan SOLAS

3.4 STUDI KASUS

Sebagai studi kasus untuk program ini akan dihitung perhitungan damage stability sesuai SOLAS untuk sebuah kapal dengan ukuran utama sebagai berikut :

Type = Bulk Carrier 50000 DWT
 LPP = 182.00 m
 B = 30.50 m
 H = 17.50 m
 T = 12.80 m (Deep Subdivision Load Line)
 = 5.75 m (Partial Load Line)
 KG = 9.39 m (Deep Subdivision Load Line)
 = 7.26 m (Partial Load Line)



Gambar 3.67 Gambar rencana umum kapal yang dijadikan sebagai studi kasus

Dari data offset kapal yang diperoleh dari gambar lines plan, program tampilan program setelah data dimasukkan seperti pada gambar berikut.

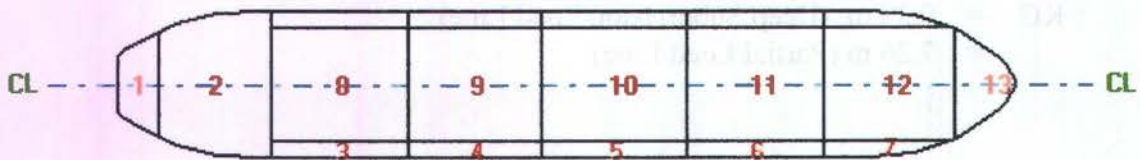


Gambar 3.68 Tampilan program setelah dilakukan input data kapal

Dari gambar rencana umum diperoleh data mengenai kompartemen kapal, yang digunakan sebagai input kompartemen pada program. Pada kapal terdapat 8 sekat melintang yang terpasang dengan jarak dari titik AP sebagai berikut.

Sekat 1 : 5.60 m	Sekat 5 : 116.40 m
Sekat 2 : 29.20 m	Sekat 6 : 145.20 m
Sekat 3 : 58.00 m	Sekat 7 : 172.40 m
Sekat 4 : 86.00 m	

Sedangkan untuk sekat memanjang terpasang pada jarak 12 m dari centreline di sisi starboard dan portside, terpasang dari sekat 2 sampai sekat 7.



Gambar 3.69 Penomoran kompartemen pada kapal

Tabel 3.23 Kompartemen bocor pada kapal

No. Kompartemen	Nama Kompartemen
1	Fore Peak Tank
2	Engine Room
3	No 5 Water Ballast Tank (S)
4	No 4 Water Ballast Tank (S)
5	No 3 Water Ballast Tank (S)
6	No 2 Water Ballast Tank (S)
7	No 1 Water Ballast Tank (S)
8	No 5 Cargo Tank
9	No 4 Cargo Tank
10	No 3 Cargo Tank
11	No 2 Cargo Tank
12	No 1 Cargo Tank
13	After Peak Tank

Dari kompartemen yang terdapat dalam kapal kemudian dibuat input kasus kompartemen sesuai aturan SOLAS. Nomor kompartemen bocor sesuai dengan nomor yang telah ditentukan sebelumnya sesuai gambar 3.69 dan tabel 3.23 . Kasus-kasus kebocoran tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 3.24 Kasus kebocoran pada kapal sesuai SOLAS

No.	Kompartemen Bocor	No.	Kompartemen Bocor
1	1	35	2-3-4-5-6-7-13
2	2	36	1-2-3-4-5-6-7-13
3	3	37	3-8
4	4	38	4-9
5	5	39	5-10
6	6	40	6-11
7	7	41	7-12

8	13	42	2-3-8
9	1-2	43	3-8-4-9
10	2-3	44	4-9-5-10
11	3-4	45	5-10-6-11
12	4-5	46	6-11-7-12
13	5-6	47	7-12-13
14	6-7	48	1-2-3-8
15	7-13	49	2-3-8-4-9
16	1-2-3	50	3-8-4-9-5-10
17	2-3-4	51	4-9-5-10-6-11
18	3-4-5	52	5-10-6-11-7-12
19	4-5-6	53	6-11-7-12-13
20	5-6-7	54	1-2-3-8-4-9
21	6-7-13	55	2-3-8-4-9-5-10
22	1-2-3-4	56	3-8-4-9-5-10-6-11
23	2-3-4-5	57	4-9-5-10-6-11-7-12
24	3-4-5-6	58	5-10-6-11-7-12-13
25	4-5-6-7	59	1-2-3-8-4-9-5-10
26	5-6-7-13	60	2-3-8-4-9-5-10-6-11
27	1-2-3-4-5	61	3-8-4-9-5-10-6-11-7-12
28	2-3-4-5-6	62	4-9-5-10-6-11-7-12-13
29	3-4-5-6-7	63	1-2-3-8-4-9-5-10-6-11
30	4-5-6-7-13	64	2-3-8-4-9-5-10-6-11-7-12
31	1-2-3-4-5-6	65	3-8-4-9-5-10-6-11-7-12-13
32	2-3-4-5-6-7	66	1-2-3-8-4-9-5-10-6-11-7-12
33	3-4-5-6-7-13	67	2-3-8-4-9-5-10-6-11-7-12-13
34	1-2-3-4-5-6-7	68	1-2-3-8-4-9-5-10-6-11-7-12-13

Tabel 3.25 Hasil perhitungan index A pada program

No.	Factor pi	Factor si	Index A	No.	Factor pi	Factor si	Index A
1	0.011	1	0.011	35	0	0.621	0
2	0.03	0.953	0.029	36	0	0.271	0
3	0.022	1	0.022	37	0.037	1	0.037
4	0.028	1	0.028	38	0.046	1	0.046
5	0.037	1	0.037	39	0.062	0.545	0.034
6	0.034	1	0.034	40	0.057	1	0.057
7	0.031	1	0.031	41	0.051	1	0.051
8	0.026	1	0.026	42	0.037	1	0.037
9	0.025	0.909	0.022	43	0.042	0.97	0.041
10	0.016	0.858	0.014	44	0.054	0.992	0.053
11	0.023	1	0.023	45	0.057	0.983	0.056
12	0.029	1	0.029	46	0.055	0.995	0.055
13	0.031	1	0.031	47	0.051	1	0.051
14	0.03	1	0.03	48	0.037	1	0.037
15	0.021	1	0.021	49	0.042	0.97	0.041
16	0.002	0.779	0.001	50	0.003	0.912	0.003
17	0.001	0.737	0.001	51	0.002	0.929	0.002

18	0.002	0.949	0.002	52	0.003	0.916	0.003
19	0.001	0.953	0.001	53	0.055	0.995	0.055
20	0.002	0.981	0.002	54	0.042	0.97	0.041
21	0.002	0.972	0.002	55	0.003	0.912	0.003
22	0	0.481	0	56	0	0.856	0
23	0	0.45	0	57	0	0.823	0
24	0	0.902	0	58	0.003	0.916	0.003
25	0	0.928	0	59	0.003	0.912	0.003
26	0	0.899	0	60	0	0.856	0
27	0	0.391	0	61	0	0.761	0
28	0	0.345	0	62	0	0.823	0
29	0	0.852	0	63	0	0.856	0
30	0	0.841	0	64	0	0.761	0
31	0	0.311	0	65	0	0.761	0
32	0	0.318	0	66	0	0.761	0
33	0	0.757	0	67	0	0.761	0
34	0	0.283	0	68	0	0.761	0

Nilai Index A = 1.106

Nilai Index R = 0.557

Karena nilai Index A > Index R, maka penyekatan sudah **memenuhi** persyaratan SOLAS

Dari hasil perhitungan *SOLAS requirement* ini dapat diketahui bahwa kapal yang dipakai dalam studi kasus sudah memenuhi standart penyekatan minimum sesuai SOLAS 2004 Chapter II-1 Part B-1. Perhitungan untuk lebih detailnya beserta laporan hasil perhitungan bisa dilihat pada lampiran.

No.	Factor in	Index A	%	Factor in	Index R
1	0.001	0.001	77	0	0.001
2	0.002	0.002	76	0	0.002
3	0.002	0.002	77	0.002	0.002
4	0.002	0.002	78	0.002	0.002
5	0.002	0.002	79	0.002	0.002
6	0.002	0.002	79	0.002	0.002
7	0.002	0.002	79	0.002	0.002
8	0.002	0.002	79	0.002	0.002
9	0.002	0.002	79	0.002	0.002
10	0.002	0.002	79	0.002	0.002
11	0.002	0.002	79	0.002	0.002
12	0.002	0.002	79	0.002	0.002
13	0.002	0.002	79	0.002	0.002
14	0.002	0.002	79	0.002	0.002
15	0.002	0.002	79	0.002	0.002
16	0.002	0.002	79	0.002	0.002
17	0.002	0.002	79	0.002	0.002

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pada bab-bab sebelumnya, pada akhir laporan ini dapatlah ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan program ini perhitungan *SOLAS requirement* yaitu SOLAS 2004 Chapter II-1 Part B-1 bisa dilakukan relatif lebih cepat dibanding perhitungan manual. Sebagai contoh perhitungan manual untuk validasi membutuhkan waktu hampir 24 jam lebih, namun dengan program ini hanya memerlukan waktu lebih kurang 5 menit
2. Untuk menguji validasi program digunakan model ponton dengan bentuk bodyplan seperti pada sub-bab 3.2. Pemilihan bentuk ini adalah untuk menguji program bila garis air berpotongan dengan bodyplan pada 4 titik. Hasil validasi menunjukkan bahwa perbedaan hasil antara perhitungan manual dan program adalah 0%, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa program ini mempunyai hasil perhitungan yang sama seperti perhitungan manual.
3. Pada perhitungan manual, proses perhitungan yang paling lama dan menjemukan adalah pada perhitungan kurva stabilitas. Pembacaan lengan a dan b pada body plan membutuhkan ketelitian tingkat tinggi, selain itu besar beda sudut interval pada perhitungan kurva stabilitas juga berpengaruh. Semakin kecil interval sudut, maka hasil perhitungannya semakin akurat akan tetapi proses perhitungannya akan semakin lama. Disinilah program berperan lebih sehingga hasil lebih akurat dan cepat.
4. Jumlah penyekatan pada kapal sangat berpengaruh pada perhitungan SOLAS requirement. Dengan semakin banyak penyekatan, maka jumlah kasus kebocoran yang akan memberikan kontribusi pada nilai index A akan bertambah, sehingga nilai index A yang diperoleh akan semakin besar, yang berarti bahwa penyekatan pada kapal akan semakin aman. Sebagai contoh untuk variasi penyekatan pada sub-bab 3.3.1 untuk ruang muat tanpa sekat (Gambar 3.55) index A = 0.441 sedangkan pada sub-bab 3.3.2 setelah ditambahkan satu sekat melintang pada ruang muat (Gambar 3.57) maka index A = 0.616.
5. Jenis penyekatan yang digunakan pada kapal berpengaruh pada index A. Pada sub-bab 3.3.1 ruang muat tanpa sekat (Gambar 3.55) index A = 0.441 dengan index R = 0.479, Index A < R, sehingga penyekatan belum memenuhi standar SOLAS. Pada sub-bab 3.3.2 jika pada kapal ditambahkan 1 sekat melintang saja (Gambar 3.57) index A = 0.616, Index A > R sehingga penyekatan sudah memenuhi standar SOLAS. Pada sub-bab 3.3.3 jika pada kapal ditambahkan 1 sekat memanjang saja (Gambar 3.59) index A = 0.381, Index A < R sehingga penyekatan belum memenuhi standar SOLAS. Untuk membandingkan pengaruh jenis sekat pada volume kebocoran yang sama dapat dilihat pada kasus nomor 3 pada sub-bab 3.3.2 dan sub-bab 3.3.3. Pada sub-bab 3.3.2 nilai faktor p = 0.194, sedangkan faktor s = 1, maka A = 0.194. Pada sub-bab 3.3.3 nilai faktor p = 0.494, sedangkan faktor s = 0.366, maka A = 0.181. Meskipun pada sub-bab 3.3.3 nilai faktor p lebih besar, namun nilai faktor s lebih kecil, sehingga nilai index A yang diperoleh juga lebih kecil dibandingkan sub-bab 3.3.2. Dapat disimpulkan bahwa pemberian sekat memanjang akan lebih beresiko.
6. Kontribusi sekat melintang untuk nilai index A lebih besar dibanding sekat memanjang. Dari sub-bab 3.3.4 penyekatan dengan 1 sekat memanjang dan 1 sekat melintang (Gambar 3.61) diperoleh index A = 0.491.

Pada sub-bab 3.3.5 jika ditambahkan jumlah sekat melintang 2 dan sekat memanjang 1 (Gambar 3.63) maka index $A = 0.668$.

Pada sub-bab 3.3.6 jika ditambahkan jumlah sekat memanjang 2 dan sekat melintang 1 (Gambar 3.65) maka index $A = 0.500$.

Meskipun semua variasi pada sub-bab 3.3.3, 3.3.4 dan 3.3.5 sudah memenuhi standar penyekatan yaitu $A > R$, tetapi memperbanyak sekat melintang akan lebih mengurangi resiko tenggelamnya kapal.

4.2 SARAN

Beberapa saran yang diajukan penulis untuk perbaikan pada penelitian selanjutnya, karena terdapat banyaknya kekurangan dalam Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Program ini bisa lebih dikembangkan lagi dengan mengubah ketentuan input offset lines plan, yaitu pembagian Simpson I dibuat untuk jarak yang tidak sama tergantung bentuk kapal. Hal ini akan sangat efisien ketika melakukan input program.
2. Program perhitungan damage stability ini perlu dilakukan studi kasus yang lebih banyak dan variatif sehingga diketahui jika program mempunyai kelemahan yang saat ini tidak atau belum diketahui oleh pembuat sehingga program dapat lebih disempurnakan.
3. Penambahan visualisasi kondisi kapal keadaan bocor secara 3 dimensi untuk masing-masing kasus akan membuat program tampak semakin menarik. Walaupun tidak terlalu signifikan terhadap manfaat program, namun user akan menjadi lebih menikmati dan memahami kondisi kapal ketika mengalami kebocoran.
4. Pembuatan file data input kapal, kompartemen, dan kasus kebocoran penulis rasa sedikit rumit walaupun dalam bentuk file *notepad* tampak begitu sederhana. Ada beberapa aturan pembuatan file input data dan aturan untuk menjalankan program yang harus diikuti agar program dapat dijalankan dengan sebagaimana seharusnya. Oleh karena itu untuk pengembangan selanjutnya dari program ini agar dibuat lebih *user friendly*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bureau Veritas. *"Rules for the Classification of Steel Ships, Part B – Hull and Stability , Chapters 3"*. 2005.
- Cahyanto, Budi Hari. *"Pembuatan Program Perhitungan Stabilitas Kapal Bocor Menurut SOLAS dengan Trimline Added Weight Method"*. Tugas Akhir, Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan FTK – ITS. 2005.
- International Maritime Organization. *"SOLAS Consolidated Edition 2004"*. London : Bath Press. 2004.
- Lewis, Edward V., Ed. *"Principles of Naval Architecture Second Revision Volume I"*. New Jersey : The Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME). 1988.
- Rawson, K.J. and Tupper, E.C. *"Basic Ship Theory Fifth Edition Volume I"*. Butterworth-Heinemann. 2001.
- Semyonov-Tyan-Shansky, V. *"Statics and Dynamics of The Ship"*. Moskow : Peace Publisher
- Watson, D.G.M . *"Practical Ship Building"*. United Kingdom : Elsevier. 1998.
- Zubaly, Robert. B. *"Applied Naval Architecture"*. Maryland : Cornell Maritime Press. 1996.



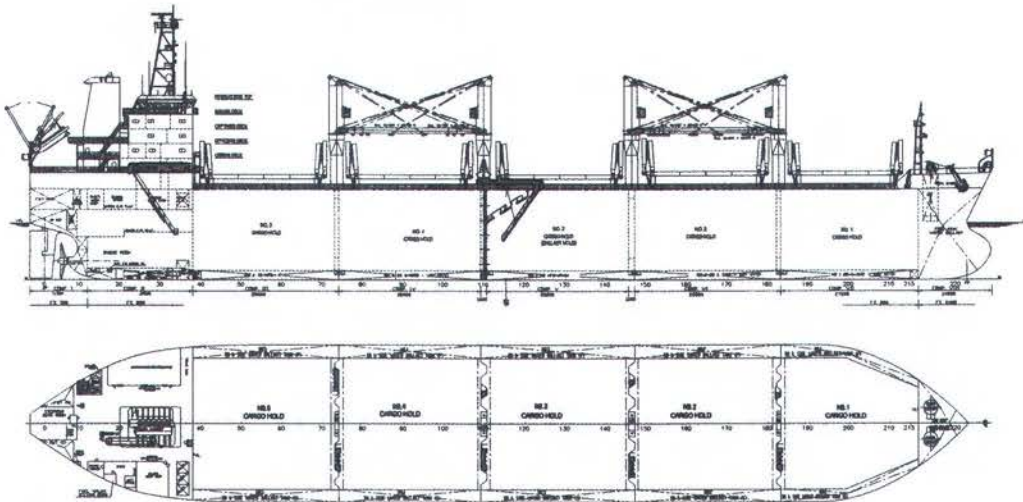
LAMPIRAN 1

**STUDI KASUS :
BULK CARRIER 50000 DWT**

STUDI KASUS

Lampiran ini akan menjelaskan penggunaan program *Damage Stability Calculation* (DSC) untuk melakukan perhitungan SOLAS requirement untuk kapal yang sudah dijelaskan pada sub-bab 3.4. Adapun data kapal tersebut adalah sebagai berikut :

- Type = Bulk Carrier
- LPP = 182.00 m
- B = 30.50 m
- H = 17.50 m
- T = 12.80 m (Deep Subdivision Load Line)
- = 5.75 m (Partial Load Line)
- KG = 9.39 m (Deep Subdivision Load Line)
- = 7.26 m (Partial Load Line)

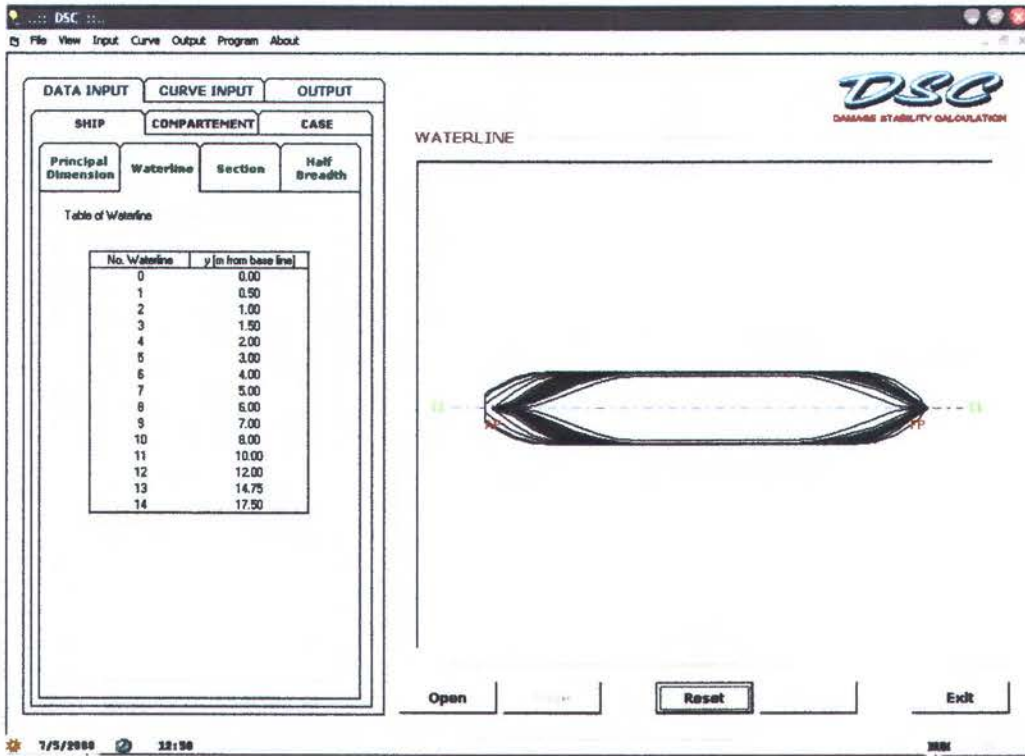


Gambar 1 Gambar rencana umum kapal yang dijadikan sebagai studi kasus

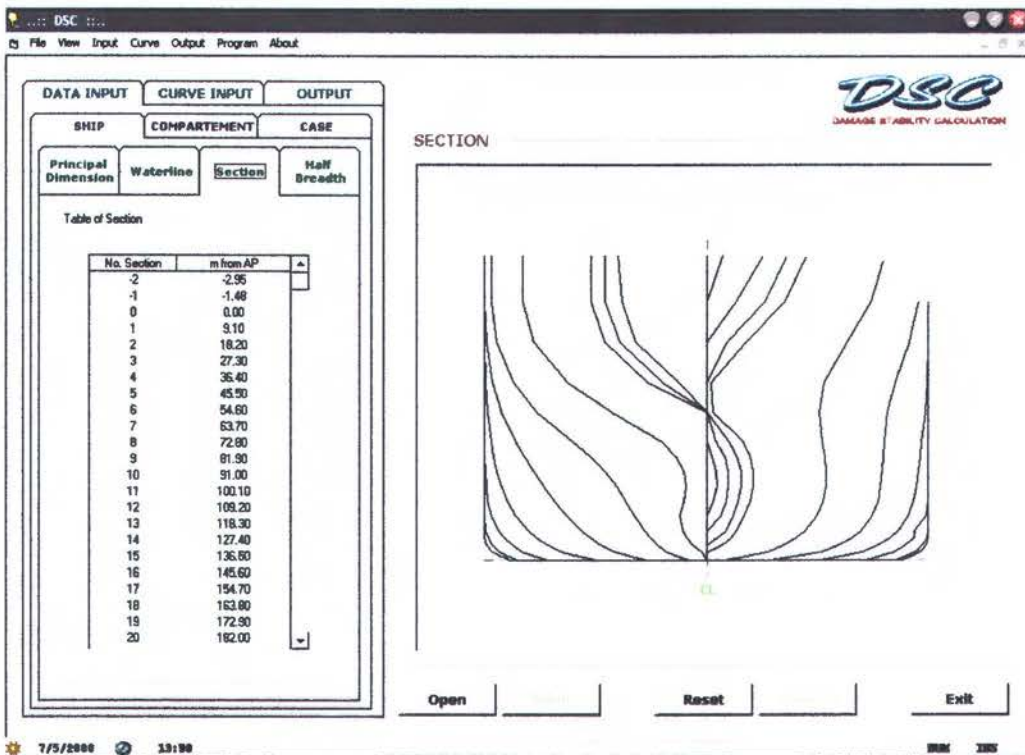
Dari data offset kapal yang diperoleh dari gambar lines plan, program tampilan program setelah data dimasukkan seperti pada gambar berikut.



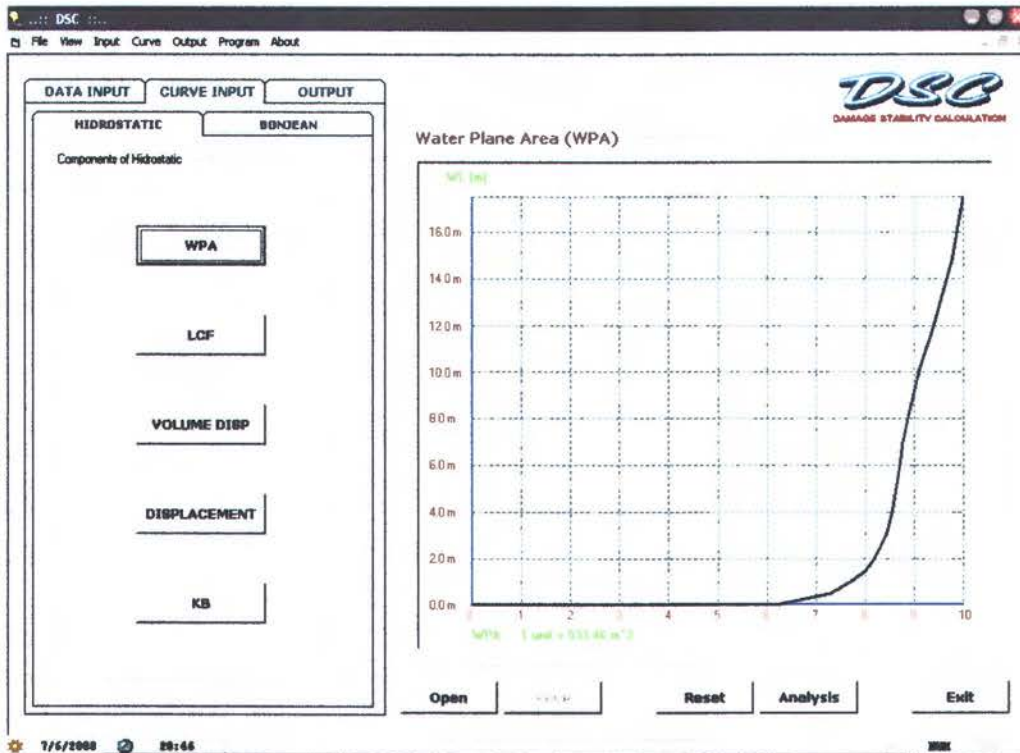
Gambar 2 Tampilan program setelah dilakukan input kapal



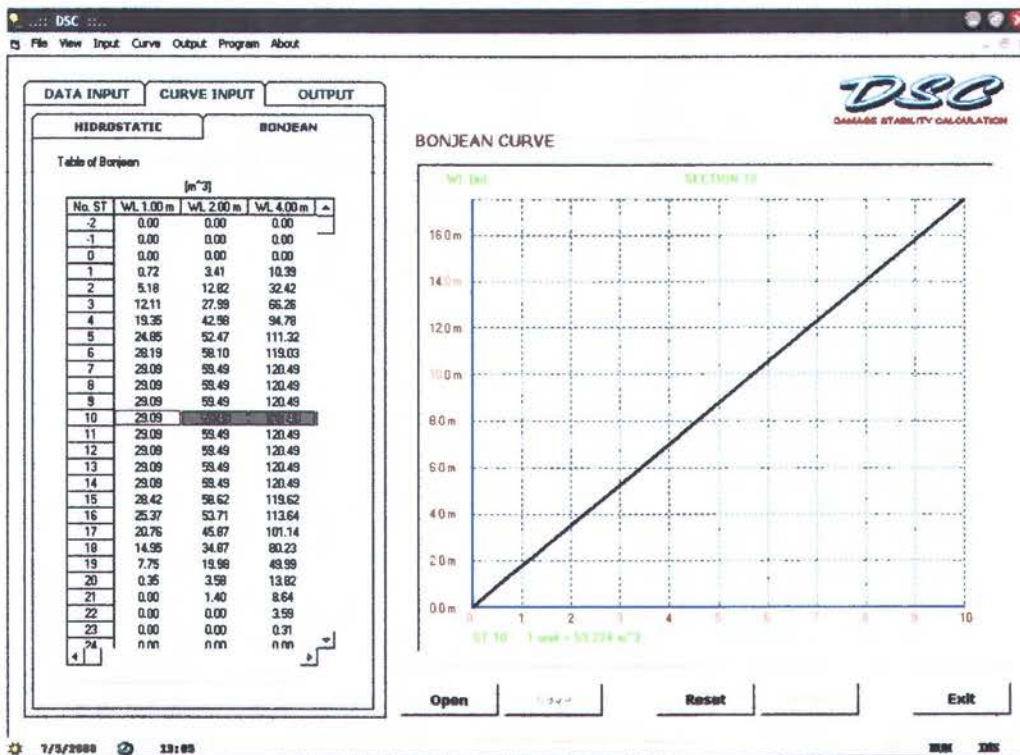
Gambar 3 Tampilan semua waterline kapal



Gambar 4 Tampilan semua setion kapal

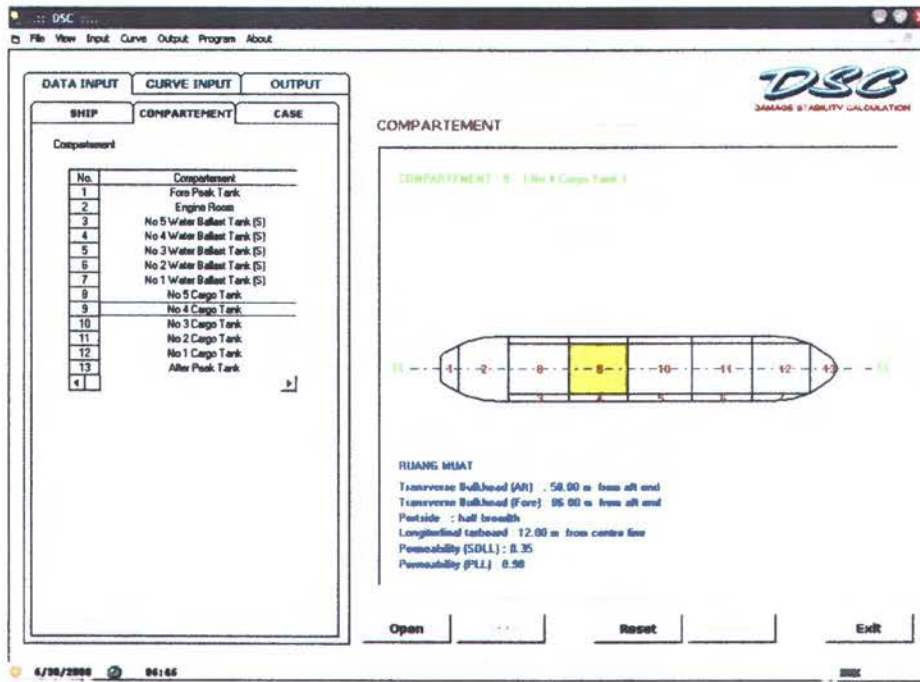


Gambar 5 Tampilan kurva hidrostatis kapal



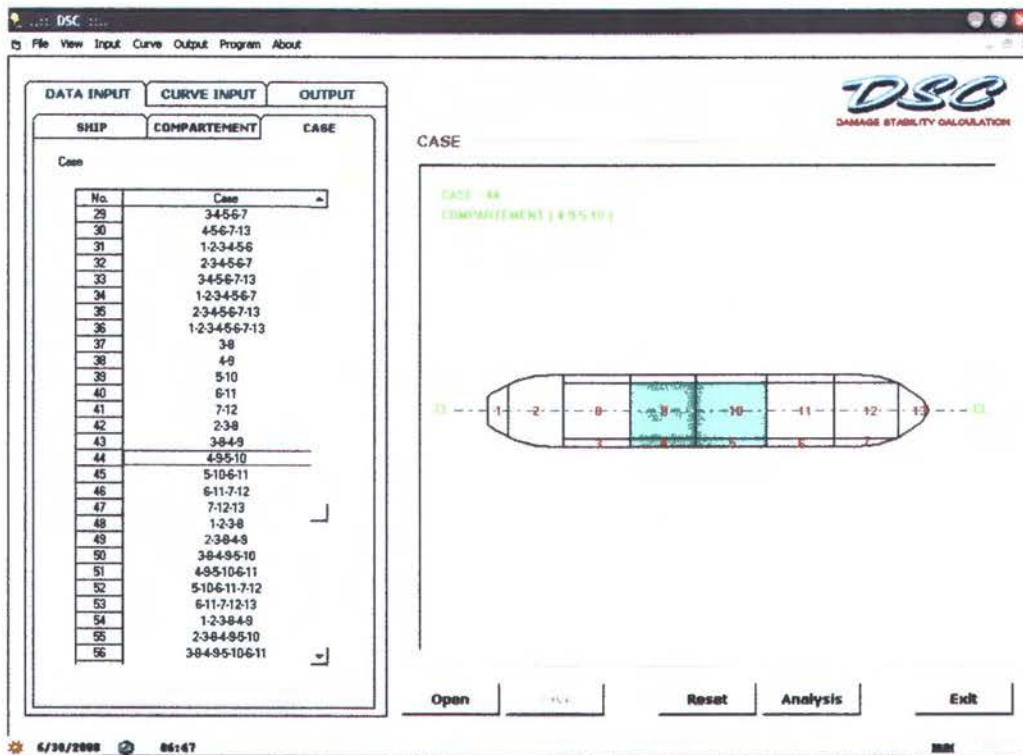
Gambar 6 Tampilan kurva bonjean kapal

Dari penyekatan yang ada dalam kapal seperti pada sub-bab 3.4 maka tampilan setelah proses input satu kompartemen adalah sebagai berikut. Tabel nama dan nomor kompartemen bocor dapat dilihat pada tabel 3.23.



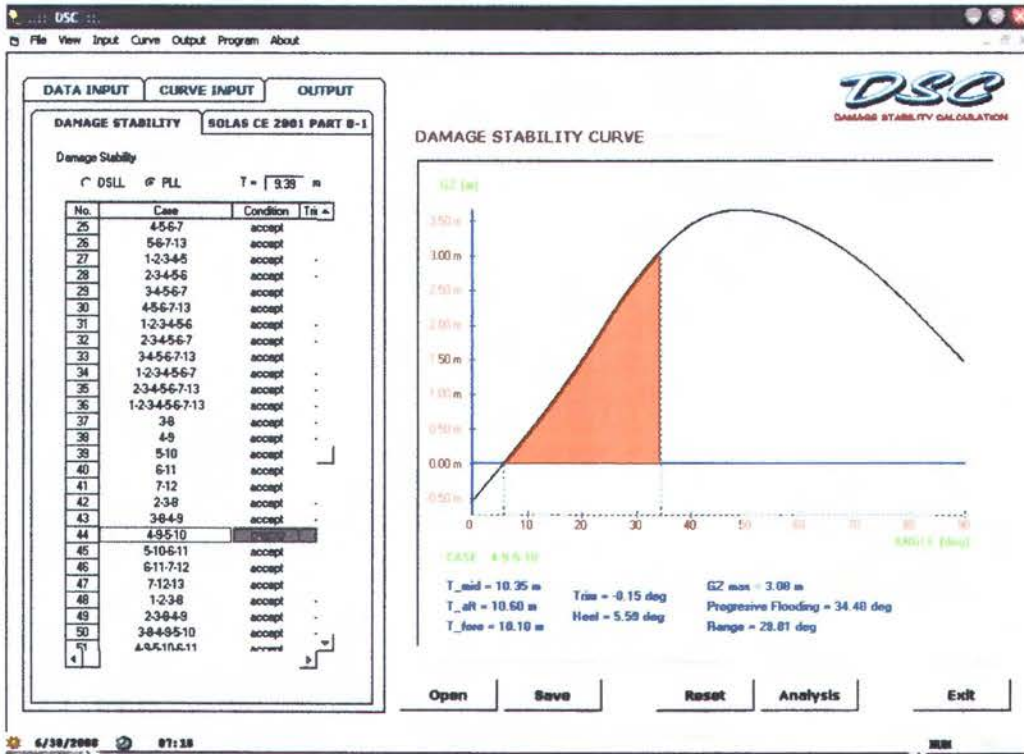
Gambar 7 Tampilan program setelah dilakukan input data kompartemen

Berikut ini adalah tampilan program setelah data input kasus kebocoran dimasukkan. Nomor dan kompartemen bocor pada kasus kebocoran dapat dilihat pada tabel 3.24.

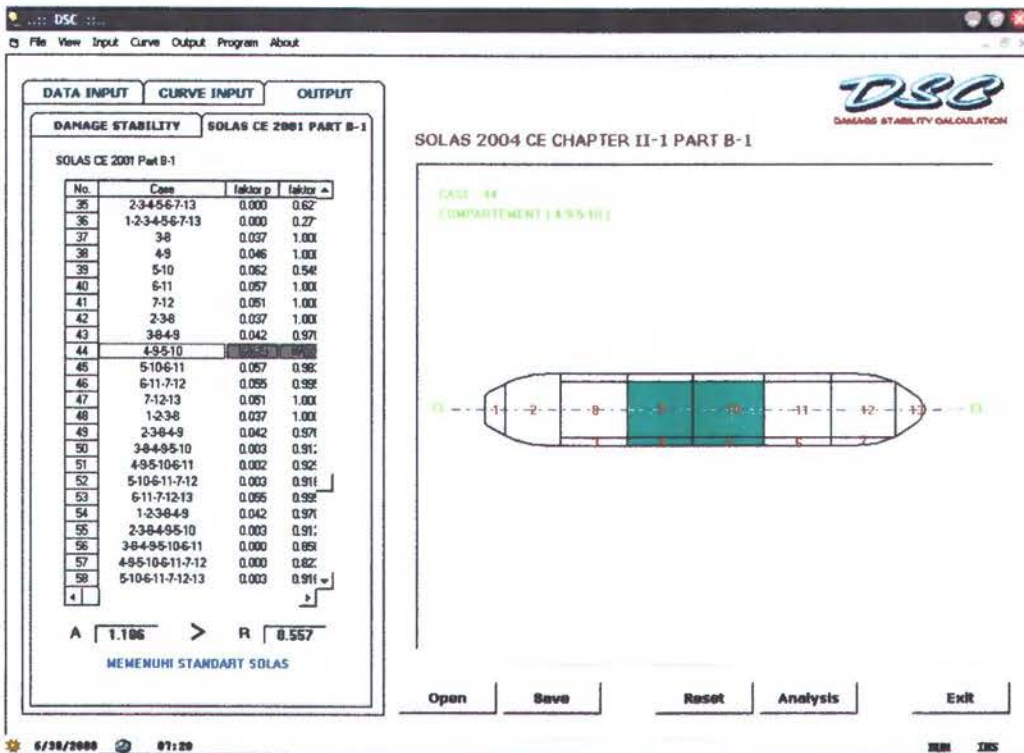


Gambar 8 Tampilan program setelah dilakukan input data kasus

Setelah semua input data telah dimasukkan, maka perhitungan damage stability dapat dilakukan. Hasil perhitungan *damage stability* untuk kapal studi kasus adalah sebagai berikut.



Gambar 9 Tampilan hasil perhitungan kurva stabilitas program



Gambar 10 Tampilan hasil perhitungan SOLAS requirement

Hasil perhitungan yang ditampilkan pada program dapat dicetak menjadi laporan yang berformat file *notepad* (*.txt). Format ini dapat disalin ke bentuk file *Microsoft Word* (*.doc) agar lebih mudah diedit format tulisan maupun susunannya. Berikut ini hasil laporan dalam bentuk *notepad*.

HASIL PERHITUNGAN DAMAGE STABILITY
MENURUT SOLAS 2004 CE CHAPTER II-1 PART B-1

DSC v1.0
Arif Sulistiawan

Nama Kapal : Bulk Carrier 50000 DWT
Owner : FTK - ITS

UKURAN UTAMA
=====

LPP = 182.00 m
B = 30.50 m
H = 17.50 m

Deep Subdivision Load Line (DSL)

T = 12.80 m
KG = 5.75 m

Partial Load Line (PLL)

T = 9.39 m
KG = 7.26 m

KOMPARTEMEN BOCOR
=====

No.	Nama Kompartemen
1	Fore Peak Tank
2	Engine Room
3	No 5 Water Ballast Tank (S)
4	No 4 Water Ballast Tank (S)
5	No 3 Water Ballast Tank (S)
6	No 2 Water Ballast Tank (S)
7	No 1 Water Ballast Tank (S)
8	No 5 Cargo Tank
9	No 4 Cargo Tank
10	No 3 Cargo Tank
11	No 2 Cargo Tank
12	No 1 Cargo Tank
13	After Peak Tank

KASUS KEBOCORAN
=====

No.	Kompartemen Bocor
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	13
9	1-2
10	2-3
11	3-4
12	4-5
13	5-6
14	6-7
15	7-13
16	1-2-3
17	2-3-4
18	3-4-5
19	4-5-6

20 5-6-7
 21 6-7-13
 22 1-2-3-4
 23 2-3-4-5
 24 3-4-5-6
 25 4-5-6-7
 26 5-6-7-13
 27 1-2-3-4-5
 28 2-3-4-5-6
 29 3-4-5-6-7
 30 4-5-6-7-13
 31 1-2-3-4-5-6
 32 2-3-4-5-6-7
 33 3-4-5-6-7-13
 34 1-2-3-4-5-6-7
 35 2-3-4-5-6-7-13
 36 1-2-3-4-5-6-7-13
 37 3-8
 38 4-9
 39 5-10
 40 6-11
 41 7-12
 42 2-3-8
 43 3-8-4-9
 44 4-9-5-10
 45 5-10-6-11
 46 6-11-7-12
 47 7-12-13
 48 1-2-3-8
 49 2-3-8-4-9
 50 3-8-4-9-5-10
 51 4-9-5-10-6-11
 52 5-10-6-11-7-12
 53 6-11-7-12-13
 54 1-2-3-8-4-9
 55 2-3-8-4-9-5-10
 56 3-8-4-9-5-10-6-11
 57 4-9-5-10-6-11-7-12
 58 5-10-6-11-7-12-13
 59 1-2-3-8-4-9-5-10
 60 2-3-8-4-9-5-10-6-11
 61 3-8-4-9-5-10-6-11-7-12
 62 4-9-5-10-6-11-7-12-13
 63 1-2-3-8-4-9-5-10-6-11
 64 2-3-8-4-9-5-10-6-11-7-12
 65 3-8-4-9-5-10-6-11-7-12-13
 66 1-2-3-8-4-9-5-10-6-11-7-12
 67 2-3-8-4-9-5-10-6-11-7-12-13
 68 1-2-3-8-4-9-5-10-6-11-7-12-13

KONDISI KESETIMBANGAN SETELAH BOCOR
 [Lost Bouyancy Method]

Sarat DSSL, T = 12.80 m

No. Kasus	T_mid [m]	Trim [deg]	Heel [deg]	LCF mid[m]	TCF CL[m]
1	12.82	-0.10	0.00	0.30	0.00
2	13.84	-2.03	0.00	8.43	0.00
3	12.97	-0.21	2.01	-0.56	-0.25
4	13.00	-0.10	2.26	-1.10	-0.25
5	13.03	0.07	2.46	-1.66	-0.27
6	13.01	0.23	2.28	-2.20	-0.25
7	12.84	0.16	0.59	-2.09	-0.14
8	13.20	0.88	0.00	-4.49	0.00
9	14.06	-2.53	0.00	10.85	0.00
10	14.15	-2.48	2.76	9.60	-0.29
11	13.22	-0.33	4.50	-0.28	-0.51
12	13.28	-0.04	4.92	-1.39	-0.53
13	13.29	0.32	4.97	-2.50	-0.53
14	13.09	0.41	3.03	-2.95	-0.40
15	13.29	1.09	0.76	-5.30	-0.15
16	14.44	-3.10	2.99	12.17	-0.30

17	14.49	-2.75	5.88	10.19	-0.58
18	13.52	-0.27	7.36	-0.56	-0.80
19	13.56	0.22	7.60	-2.24	-0.80
20	13.38	0.52	5.88	-3.29	-0.69
21	13.58	1.42	3.40	-6.30	-0.42
23	14.81	-2.72	9.13	10.17	-0.91
24	13.83	-0.02	10.20	-1.41	-1.08
25	13.67	0.43	8.64	-3.06	-0.97
26	13.90	1.57	6.34	-6.78	-0.72
29	13.95	0.20	11.32	-2.25	-1.25
30	14.19	1.49	9.00	-6.67	-1.01
33	14.44	1.26	11.42	-5.95	-1.31
35	15.19	-0.83	11.71	4.73	-1.53
36	15.36	-1.21	12.13	7.97	-1.58
37	13.14	-0.44	2.00	1.20	-0.26
38	13.16	-0.18	2.21	-0.47	-0.26
39	13.20	0.12	2.39	-2.19	-0.28
40	13.20	0.42	2.25	-3.86	-0.26
41	13.07	0.55	0.64	-3.64	-0.15
42	13.14	-0.44	2.00	1.20	-0.26
43	13.57	-0.67	4.34	2.29	-0.55
44	13.61	-0.06	4.65	-1.28	-0.57
45	13.67	0.59	4.76	-4.87	-0.57
46	13.55	1.07	3.09	-6.44	-0.43
47	13.07	0.55	0.64	-3.64	-0.15
48	13.14	-0.44	2.00	1.20	-0.26
49	13.57	-0.67	4.34	2.29	-0.55
50	14.04	-0.56	6.85	1.61	-0.89
51	14.09	0.41	7.05	-4.07	-0.90
52	14.07	1.29	5.76	-7.78	-0.78
53	13.55	1.07	3.09	-6.44	-0.43
54	13.57	-0.67	4.34	2.29	-0.55
55	14.04	-0.56	6.85	1.61	-0.89
56	14.50	-0.09	9.22	-1.17	-1.26
57	14.50	1.11	8.08	-7.25	-1.13
58	14.07	1.29	5.76	-7.78	-0.78
59	14.04	-0.56	6.85	1.61	-0.89
60	14.50	-0.09	9.22	-1.17	-1.26
61	14.87	0.59	10.19	-4.57	-1.54
62	14.50	1.11	8.08	-7.25	-1.13
63	14.50	-0.09	9.22	-1.17	-1.26
64	14.87	0.59	10.19	-4.57	-1.54
65	14.87	0.59	10.19	-4.57	-1.54
66	14.87	0.59	10.19	-4.57	-1.54
67	14.87	0.59	10.19	-4.57	-1.54
68	14.87	0.59	10.19	-4.57	-1.54

Sarat PLL, T = 9.39 m

No.	T_mid [m]	Trim [deg]	Heel [deg]	LCF mid[m]	TCF CL[m]
1	9.40	-0.08	0.00	2.17	0.00
2	10.10	-1.47	0.00	9.94	0.00
3	9.51	-0.18	2.37	2.63	-0.26
4	9.53	-0.10	2.73	2.06	-0.26
5	9.54	0.04	2.98	1.47	-0.28
6	9.52	0.16	2.73	0.92	-0.27
7	9.41	0.08	0.86	1.36	-0.10
8	9.65	0.71	0.00	-1.21	0.00
9	10.18	-1.65	0.00	10.40	0.00
10	10.34	-1.85	3.34	11.08	-0.29
11	9.71	-0.31	5.61	2.85	-0.53
12	9.74	-0.07	6.20	1.66	-0.56
13	9.74	0.23	6.25	0.49	-0.56
14	9.58	0.26	3.82	0.38	-0.38
15	9.70	0.82	0.99	-1.77	-0.11
16	10.44	-2.06	3.46	11.58	-0.29
17	10.63	-2.15	7.43	11.64	-0.60
18	9.96	-0.30	9.67	2.46	-0.84
19	9.98	0.14	10.02	0.67	-0.85
20	9.81	0.34	7.61	-0.06	-0.68
21	9.90	1.06	4.16	-2.80	-0.39
22	10.74	-2.39	7.68	12.25	-0.60
23	10.93	-2.24	11.97	11.55	-0.94
24	10.24	-0.10	14.09	1.47	-1.14
25	10.07	0.27	11.64	0.10	-0.96

26	10.15	1.19	7.93	-3.30	-0.70
27	11.06	-2.49	12.36	12.29	-0.95
28	11.19	-2.08	16.08	10.77	-1.28
29	10.36	0.04	15.98	0.89	-1.26
30	10.41	1.14	11.64	-3.16	-1.00
31	11.33	-2.34	16.54	11.63	-1.30
32	11.28	-1.96	17.62	10.21	-1.43
33	10.66	0.96	15.26	-2.40	-1.30
34	11.41	-2.21	18.09	11.10	-1.45
35	11.25	-0.79	15.62	6.98	-1.49
36	11.34	-0.98	15.88	8.06	-1.51
37	9.85	-0.66	2.39	4.19	-0.27
38	9.83	-0.27	2.62	2.49	-0.27
39	9.86	0.12	2.83	0.65	-0.30
40	9.83	0.50	2.68	-1.09	-0.28
41	9.89	1.01	0.96	-0.28	-0.11
42	9.85	-0.66	2.39	4.19	-0.27
43	10.37	-1.00	5.36	5.05	-0.57
44	10.35	-0.15	5.59	1.30	-0.60
45	10.38	0.69	5.77	-2.50	-0.61
46	10.46	1.65	4.02	-3.44	-0.40
47	9.89	1.01	0.96	-0.28	-0.11
48	9.85	-0.66	2.39	4.19	-0.27
49	10.37	-1.00	5.36	5.05	-0.57
50	10.91	-0.87	8.44	4.01	-0.94
51	10.89	0.44	8.58	-1.95	-0.95
52	11.08	1.87	7.30	-5.11	-0.75
53	10.46	1.65	4.02	-3.44	-0.40
54	10.37	-1.00	5.36	5.05	-0.57
55	10.91	-0.87	8.44	4.01	-0.94
56	11.43	-0.25	11.34	0.73	-1.34
57	11.59	1.60	10.05	-4.85	-1.12
58	11.08	1.87	7.30	-5.11	-0.75
59	10.91	-0.87	8.44	4.01	-0.94
60	11.43	-0.25	11.34	0.73	-1.34
61	12.06	0.87	12.51	-2.41	-1.54
62	11.59	1.60	10.05	-4.85	-1.12
63	11.43	-0.25	11.34	0.73	-1.34
64	12.06	0.87	12.51	-2.41	-1.54
65	12.06	0.87	12.51	-2.41	-1.54
66	12.06	0.87	12.51	-2.41	-1.54
67	12.06	0.87	12.51	-2.41	-1.54
68	12.06	0.87	12.51	-2.41	-1.54

Faktor si

[SOLAS Chapter II-1 Part B-1 Reg.25-6]

Sarat DSSL, T = 12.80 m

No. Kasus	Heel [deg]	Floodg [deg]	Range [deg]	GZmax [m]	C	Faktor si
1	0.00	27.50	27.50	3.23	1.00	1.00
2	0.00	16.40	16.40	2.00	1.00	0.91
3	2.01	26.20	24.19	2.83	1.00	1.00
4	2.26	26.50	24.24	2.81	1.00	1.00
5	2.46	26.60	24.14	2.62	1.00	1.00
6	2.28	26.50	24.22	2.79	1.00	1.00
7	0.59	27.40	26.81	3.13	1.00	1.00
8	0.00	25.40	25.40	2.94	1.00	1.00
9	0.00	13.40	13.40	1.62	1.00	0.82
10	2.76	13.00	10.24	1.23	1.00	0.72
11	4.50	24.60	20.10	2.35	1.00	1.00
12	4.92	25.40	20.48	2.35	1.00	1.00
13	4.97	25.10	20.13	2.30	1.00	1.00
14	3.03	25.90	22.87	2.63	1.00	1.00
15	0.76	24.00	23.24	2.68	1.00	1.00
16	2.99	9.20	6.21	0.73	1.00	0.56
17	5.88	10.40	4.52	0.53	1.00	0.48
18	7.36	23.50	16.14	1.84	1.00	0.90
19	7.60	24.00	16.40	1.84	1.00	0.91
20	5.88	24.40	18.52	2.10	1.00	0.96
21	3.40	21.20	17.80	2.04	1.00	0.94
23	9.13	9.40	0.27	0.03	1.00	0.07

24	10.20	23.10	12.90	1.32	1.00	0.80
25	8.64	23.30	14.66	1.62	1.00	0.86
26	6.34	19.10	12.76	1.43	1.00	0.80
29	11.32	22.50	11.18	1.16	1.00	0.75
30	9.00	18.30	9.30	1.01	1.00	0.68
33	11.42	18.40	6.98	0.68	1.00	0.59
35	11.71	15.20	3.49	0.36	1.00	0.42
36	12.13	13.20	1.07	0.11	1.00	0.23
37	2.00	24.80	22.80	2.68	1.00	1.00
38	2.21	25.60	23.39	2.72	1.00	1.00
39	2.39	4.00	1.61	0.01	1.00	0.09
40	2.25	25.70	23.45	2.69	1.00	1.00
41	0.64	26.20	25.56	2.98	1.00	1.00
42	2.00	24.80	22.80	2.68	1.00	1.00
43	4.34	22.00	17.66	2.09	1.00	0.94
44	4.65	24.00	19.35	2.22	1.00	0.98
45	4.76	23.40	18.64	2.11	1.00	0.97
46	3.09	22.70	19.61	2.25	1.00	0.99
47	0.64	26.20	25.56	2.98	1.00	1.00
48	2.00	24.80	22.80	2.68	1.00	1.00
49	4.34	22.00	17.66	2.09	1.00	0.94
50	6.85	20.40	13.55	1.57	1.00	0.82
51	7.05	21.80	14.75	1.64	1.00	0.86
52	5.76	19.60	13.84	1.56	1.00	0.83
53	3.09	22.70	19.61	2.25	1.00	0.99
54	4.34	22.00	17.66	2.09	1.00	0.94
55	6.85	20.40	13.55	1.57	1.00	0.82
56	9.22	20.30	11.08	1.18	1.00	0.74
57	8.08	18.60	10.52	1.14	1.00	0.73
58	5.76	19.60	13.84	1.56	1.00	0.83
59	6.85	20.40	13.55	1.57	1.00	0.82
60	9.22	20.30	11.08	1.18	1.00	0.74
61	10.19	18.50	8.31	0.84	1.00	0.64
62	8.08	18.60	10.52	1.14	1.00	0.73
63	9.22	20.30	11.08	1.18	1.00	0.74
64	10.19	18.50	8.31	0.84	1.00	0.64
65	10.19	18.50	8.31	0.84	1.00	0.64
66	10.19	18.50	8.31	0.84	1.00	0.64
67	10.19	18.50	8.31	0.84	1.00	0.64
68	10.19	18.50	8.31	0.84	1.00	0.64

Sarat PLL, T = 9.39 m

No. Kasus	Heel [deg]	Floodg [deg]	Range [deg]	GZmax [m]	C	Faktor si
1	0.00	38.30	38.30	4.23	1.00	1.00
2	0.00	32.20	32.20	3.60	1.00	1.00
3	2.37	37.30	34.93	3.88	1.00	1.00
4	2.73	37.40	34.67	3.84	1.00	1.00
5	2.98	37.60	34.62	3.82	1.00	1.00
6	2.73	37.60	34.87	3.84	1.00	1.00
7	0.86	38.30	37.44	3.70	1.00	1.00
8	0.00	37.30	37.30	4.03	1.00	1.00
9	0.00	31.40	31.40	3.50	1.00	1.00
10	3.34	29.70	26.36	2.92	1.00	1.00
11	5.61	35.90	30.29	3.38	1.00	1.00
12	6.20	36.40	30.20	3.34	1.00	1.00
13	6.25	36.40	30.15	3.32	1.00	1.00
14	3.82	37.10	33.28	3.65	1.00	1.00
15	0.99	36.80	35.81	3.84	1.00	1.00
16	3.46	28.70	25.24	2.78	1.00	1.00
17	7.43	27.40	19.97	2.20	1.00	1.00
18	9.67	34.90	25.23	2.75	1.00	1.00
19	10.02	35.50	25.48	2.79	1.00	1.00
20	7.61	36.00	28.39	3.10	1.00	1.00
21	4.16	34.90	30.74	3.29	1.00	1.00
22	7.68	26.20	18.52	2.02	1.00	0.96
23	11.97	25.90	13.93	1.52	1.00	0.83
24	14.09	34.40	20.31	1.98	1.00	1.00
25	11.64	35.00	23.36	2.45	1.00	1.00
26	7.93	33.40	25.47	2.70	1.00	1.00
27	12.36	24.60	12.24	1.32	1.00	0.78
28	16.08	25.60	9.52	1.02	1.00	0.69
29	15.98	34.30	18.32	1.96	1.00	0.96
30	11.64	32.50	20.86	8.74	1.00	1.00
31	16.54	24.30	7.76	0.82	1.00	0.62

32	17.62	25.70	8.08	73.38	1.00	0.64
33	15.26	32.30	17.04	1.76	1.00	0.92
34	18.09	24.50	6.41	1.06	1.00	0.57
35	15.62	29.20	13.58	231.83	1.00	0.82
36	15.88	28.40	12.52	0.02	1.00	0.31
37	2.39	34.90	32.51	3.62	1.00	1.00
38	2.62	36.10	33.48	3.68	1.00	1.00
39	2.83	36.60	33.77	3.67	1.00	1.00
40	2.68	36.40	33.72	3.65	1.00	1.00
41	0.96	35.70	34.74	3.73	1.00	1.00
42	2.39	34.90	32.51	3.62	1.00	1.00
43	5.36	31.80	26.44	2.90	1.00	1.00
44	5.59	34.40	28.81	3.08	1.00	1.00
45	5.77	34.10	28.33	2.98	1.00	1.00
46	4.02	31.30	27.28	2.83	1.00	1.00
47	0.96	35.70	34.74	3.73	1.00	1.00
48	2.39	34.90	32.51	3.62	1.00	1.00
49	5.36	31.80	26.44	2.90	1.00	1.00
50	8.44	30.10	21.66	2.31	1.00	1.00
51	8.58	32.40	23.82	2.42	1.00	1.00
52	7.30	28.00	20.70	2.09	1.00	1.00
53	4.02	31.30	27.28	2.83	1.00	1.00
54	5.36	31.80	26.44	2.90	1.00	1.00
55	8.44	30.10	21.66	2.31	1.00	1.00
56	11.34	30.10	18.76	1.91	1.00	0.97
57	10.05	27.00	16.95	1.69	1.00	0.92
58	7.30	28.00	20.70	2.09	1.00	1.00
59	8.44	30.10	21.66	2.31	1.00	1.00
60	11.34	30.10	18.76	1.91	1.00	0.97
61	12.51	27.90	15.39	1.49	1.00	0.88
62	10.05	27.00	16.95	1.69	1.00	0.92
63	11.34	30.10	18.76	1.91	1.00	0.97
64	12.51	27.90	15.39	1.49	1.00	0.88
65	12.51	27.90	15.39	1.49	1.00	0.88
66	12.51	27.90	15.39	1.49	1.00	0.88
67	12.51	27.90	15.39	1.49	1.00	0.88
68	12.51	27.90	15.39	1.49	1.00	0.88

Faktor pi
[SOLAS Chapter II-1 Part B-1 Reg.25-5]

Kasus	x1	x2	E1	E2	E	J	J'	Jmax
1	0.00	8.55	0.000	0.045	-0.955	0.045	-0.910	0.240
2	8.55	32.15	0.045	0.169	-0.786	0.124	-0.662	0.240
3	32.15	60.95	0.169	0.320	-0.511	0.151	-0.359	0.240
4	60.95	88.95	0.320	0.468	-0.212	0.147	-0.065	0.240
5	88.95	119.35	0.468	0.627	0.095	0.160	0.065	0.240
6	119.35	148.15	0.627	0.779	0.406	0.151	-0.255	0.240
7	148.15	175.35	0.779	0.922	0.700	0.143	-0.558	0.240
8	175.35	189.85	0.922	0.998	0.920	0.076	-0.843	0.240
9	0.00	32.15	0.000	0.169	-0.831	0.169	-0.662	0.240
10	8.55	60.95	0.045	0.320	-0.635	0.275	-0.359	0.240
11	32.15	88.95	0.169	0.468	-0.363	0.299	-0.065	0.240
12	60.95	119.35	0.320	0.627	-0.052	0.307	0.255	0.240
13	88.95	148.15	0.468	0.779	0.246	0.311	0.065	0.240
14	119.35	175.35	0.627	0.922	0.549	0.294	-0.255	0.240
15	148.15	189.85	0.779	0.998	0.777	0.219	-0.558	0.240
16	0.00	60.95	0.000	0.320	-0.680	0.320	-0.359	0.240
17	8.55	88.95	0.045	0.468	-0.487	0.423	-0.065	0.240
18	32.15	119.35	0.169	0.627	-0.204	0.458	0.255	0.240
19	60.95	148.15	0.320	0.779	0.099	0.458	0.359	0.240
20	88.95	175.35	0.468	0.922	0.389	0.454	0.065	0.240
21	119.35	189.85	0.627	0.998	0.625	0.371	-0.255	0.240
22	0.00	88.95	0.000	0.468	-0.532	0.468	-0.065	0.240
23	8.55	119.35	0.045	0.627	-0.328	0.582	0.255	0.240
24	32.15	148.15	0.169	0.779	-0.052	0.610	0.558	0.240
25	60.95	175.35	0.320	0.922	0.242	0.601	0.359	0.240
26	88.95	189.85	0.468	0.998	0.466	0.530	0.065	0.240
27	0.00	119.35	0.000	0.627	-0.373	0.627	0.255	0.240
28	8.55	148.15	0.045	0.779	-0.176	0.734	0.558	0.240
29	32.15	175.35	0.169	0.922	0.091	0.753	0.662	0.240
30	60.95	189.85	0.320	0.998	0.318	0.678	0.359	0.240

31	0.00	148.15	0.000	0.779	-0.221	0.779	0.558	0.240
32	8.55	175.35	0.045	0.922	-0.033	0.877	0.843	0.240
33	32.15	189.85	0.169	0.998	0.167	0.829	0.662	0.240
34	0.00	175.35	0.000	0.922	-0.078	0.922	0.843	0.240
35	8.55	189.85	0.045	0.998	0.043	0.953	0.910	0.240
36	0.00	189.85	0.000	0.998	-0.002	0.998	0.996	0.240
37	32.15	60.95	0.169	0.320	-0.511	0.151	-0.359	0.240
38	60.95	88.95	0.320	0.468	-0.212	0.147	-0.065	0.240
39	88.95	119.35	0.468	0.627	0.095	0.160	0.065	0.240
40	119.35	148.15	0.627	0.779	0.406	0.151	-0.255	0.240
41	148.15	175.35	0.779	0.922	0.700	0.143	-0.558	0.240
42	32.15	60.95	0.169	0.320	-0.511	0.151	-0.359	0.240
43	32.15	88.95	0.169	0.468	-0.363	0.299	-0.065	0.240
44	60.95	119.35	0.320	0.627	-0.052	0.307	0.255	0.240
45	88.95	148.15	0.468	0.779	0.246	0.311	0.065	0.240
46	119.35	175.35	0.627	0.922	0.549	0.294	-0.255	0.240
47	148.15	175.35	0.779	0.922	0.700	0.143	-0.558	0.240
48	32.15	60.95	0.169	0.320	-0.511	0.151	-0.359	0.240
49	32.15	88.95	0.169	0.468	-0.363	0.299	-0.065	0.240
50	32.15	119.35	0.169	0.627	-0.204	0.458	0.255	0.240
51	60.95	148.15	0.320	0.779	0.099	0.458	0.359	0.240
52	88.95	175.35	0.468	0.922	0.389	0.454	0.065	0.240
53	119.35	175.35	0.627	0.922	0.549	0.294	-0.255	0.240
54	32.15	88.95	0.169	0.468	-0.363	0.299	-0.065	0.240
55	32.15	119.35	0.169	0.627	-0.204	0.458	0.255	0.240
56	32.15	148.15	0.169	0.779	-0.052	0.610	0.558	0.240
57	60.95	175.35	0.320	0.922	0.242	0.601	0.359	0.240
58	88.95	175.35	0.468	0.922	0.389	0.454	0.065	0.240
59	32.15	119.35	0.169	0.627	-0.204	0.458	0.255	0.240
60	32.15	148.15	0.169	0.779	-0.052	0.610	0.558	0.240
61	32.15	175.35	0.169	0.922	0.091	0.753	0.662	0.240
62	60.95	175.35	0.320	0.922	0.242	0.601	0.359	0.240
63	32.15	148.15	0.169	0.779	-0.052	0.610	0.558	0.240
64	32.15	175.35	0.169	0.922	0.091	0.753	0.662	0.240
65	32.15	175.35	0.169	0.922	0.091	0.753	0.662	0.240
66	32.15	175.35	0.169	0.922	0.091	0.753	0.662	0.240
67	32.15	175.35	0.169	0.922	0.091	0.753	0.662	0.240
68	32.15	175.35	0.169	0.922	0.091	0.753	0.662	0.240

Kasus	a	F	y	y'	F1	F2	F2'	
1	0.436	0.009	0.187	-3.792	0.033	0.002	-35.41	
2	0.571	0.052	0.517	-2.758	0.221	0.04	-11.82	
3	0.792	0.146	0.631	-1.497	0.314	0.07	-1.536	
4	1.03	0.282	0.613	-0.27	0.299	0.065	-0.007	
5	1.2	0.457	0.666	0.27	0.345	0.082	0.006	
6	1.2	0.644	0.631	-1.061	0.314	0.07	-0.504	
7	1.2	0.82	0.596	-2.323	0.284	0.06	-6.605	
8	1.2	0.952	0.318	-3.514	0.09	0.01	-27.182	
9	0.535	0.04	0.704	0.704	-2.758	0.379	0.096	-11.82
10	0.692	0.1	1.148	1.148	-1.497	0.814	0.359	-1.536
11	0.909	0.208	1.244	1.244	-0.27	0.911	0.442	-0.007
12	1.158	0.369	1.279	1.279	1.061	0.946	0.475	0.293
13	1.2	0.548	1.297	1.297	0.27	0.963	0.492	0.006
14	1.2	0.729	1.227	1.227	-1.061	0.893	0.427	-0.504
15	1.2	0.866	0.913	0.913	-2.323	0.58	0.196	-6.605
16	0.656	0.085	1.335	1.335	-1.497	1.002	0.529	-1.536
17	0.81	0.155	1.761	1.761	-0.27	1.428	1.047	-0.007
18	1.037	0.286	1.91	1.91	1.061	1.577	1.271	0.293
19	1.2	0.459	1.91	1.91	1.497	1.577	1.271	0.705
20	1.2	0.634	1.892	1.892	0.27	1.559	1.243	0.006
21	1.2	0.775	1.544	1.544	-1.061	1.211	0.761	-0.504
22	0.774	0.137	1.948	1.948	-0.27	1.615	1.332	-0.007
23	0.938	0.225	2.427	2.427	1.061	2.093	2.219	0.293
24	1.158	0.369	2.541	2.541	2.323	2.207	2.464	2.007
25	1.2	0.545	2.506	2.506	1.497	2.172	2.387	0.705
26	1.2	0.679	2.21	2.21	0.27	1.877	1.789	0.006
27	0.902	0.204	2.614	2.614	1.061	2.281	2.629	0.293
28	1.059	0.3	3.058	3.058	2.323	2.724	3.738	2.007
29	1.2	0.454	3.136	3.136	2.758	2.803	3.956	2.968
30	1.2	0.591	2.823	2.823	1.497	2.49	3.127	0.705
31	1.023	0.277	3.245	3.245	2.323	2.911	4.266	2.007
32	1.173	0.38	3.653	3.653	3.514	3.32	5.539	5.087
33	1.2	0.5	3.454	3.454	2.758	3.121	4.897	2.968
34	1.137	0.354	3.841	3.841	3.514	3.507	6.178	5.087
35	1.2	0.426	3.971	3.971	3.792	3.638	6.644	6.009

36	1.198	0.399	4.158	4.15	3.825	7.342	7.31
37	0.792	0.146	0.631	-1.497	0.314	0.07	-1.536
38	1.03	0.282	0.613	-0.27	0.299	0.065	-0.007
39	1.2	0.457	0.666	0.27	0.345	0.082	0.006
40	1.2	0.644	0.631	-1.061	0.314	0.07	-0.504
41	1.2	0.82	0.596	-2.323	0.284	0.06	-6.605
42	0.792	0.146	0.631	-1.497	0.314	0.07	-1.536
43	0.909	0.208	1.244	-0.27	0.911	0.442	-0.007
44	1.158	0.369	1.279	1.061	0.946	0.475	0.293
45	1.2	0.548	1.297	0.27	0.963	0.492	0.006
46	1.2	0.729	1.227	-1.061	0.893	0.427	-0.504
47	1.2	0.82	0.596	-2.323	0.284	0.06	-6.605
48	0.792	0.146	0.631	-1.497	0.314	0.07	-1.536
49	0.909	0.208	1.244	-0.27	0.911	0.442	-0.007
50	1.037	0.286	1.91	1.061	1.577	1.271	0.293
51	1.2	0.459	1.91	1.497	1.577	1.271	0.705
52	1.2	0.634	1.892	0.27	1.559	1.243	0.006
53	1.2	0.729	1.227	-1.061	0.893	0.427	-0.504
54	0.909	0.208	1.244	-0.27	0.911	0.442	-0.007
55	1.037	0.286	1.91	1.061	1.577	1.271	0.293
56	1.158	0.369	2.541	2.323	2.207	2.464	2.007
57	1.2	0.545	2.506	1.497	2.172	2.387	0.705
58	1.2	0.634	1.892	0.27	1.559	1.243	0.006
59	1.037	0.286	1.91	1.061	1.577	1.271	0.293
60	1.158	0.369	2.541	2.323	2.207	2.464	2.007
61	1.2	0.454	3.136	2.758	2.803	3.956	2.968
62	1.2	0.545	2.506	1.497	2.172	2.387	0.705
63	1.158	0.369	2.541	2.323	2.207	2.464	2.007
64	1.2	0.454	3.136	2.758	2.803	3.956	2.968
65	1.2	0.454	3.136	2.758	2.803	3.956	2.968
66	1.2	0.454	3.136	2.758	2.803	3.956	2.968
67	1.2	0.454	3.136	2.758	2.803	3.956	2.968
68	1.2	0.454	3.136	2.758	2.803	3.956	2.968

Kasus	p	q	q'	Faktor pi
1	0.008	0	-0.816	0.011
2	0.053	0.001	-0.272	0.03
3	0.075	0.002	-0.035	0.022
4	0.072	0.001	0	0.028
5	0.083	0.002	0	0.037
6	0.075	0.002	-0.012	0.034
7	0.068	0.001	-0.152	0.031
8	0.022	0	-0.626	0.026
9	0.091	0.002	-0.272	0.025
10	0.195	0.008	-0.035	0.016
11	0.219	0.01	0	0.023
12	0.227	0.011	0.007	0.029
13	0.231	0.011	0	0.031
14	0.214	0.01	-0.012	0.03
15	0.139	0.005	-0.152	0.021
16	0.24	0.012	-0.035	0.002
17	0.343	0.024	0	0.001
18	0.378	0.029	0.007	0.002
19	0.378	0.029	0.016	0.001
20	0.374	0.029	0	0.002
21	0.291	0.018	-0.012	0.002
22	0.388	0.031	0	0
23	0.502	0.051	0.007	0
24	0.53	0.057	0.046	0
25	0.521	0.055	0.016	0
26	0.45	0.041	0	0
27	0.547	0.061	0.007	0
28	0.654	0.086	0.046	0
29	0.673	0.091	0.068	0
30	0.598	0.072	0.016	0
31	0.699	0.098	0.046	0
32	0.797	0.128	0.117	0
33	0.749	0.113	0.068	0
34	0.842	0.142	0.117	0
35	0.873	0.153	0.138	0
36	0.918	0.169	0.168	0
37	0.075	0.002	-0.035	0.037
38	0.072	0.001	0	0.046
39	0.083	0.002	0	0.062
40	0.075	0.002	-0.012	0.057

41	0.068	0.001	-0.152	0.051
42	0.075	0.002	-0.035	0.037
43	0.219	0.01	0	0.042
44	0.227	0.011	0.007	0.054
45	0.231	0.011	0	0.057
46	0.214	0.01	-0.012	0.055
47	0.068	0.001	-0.152	0.051
48	0.075	0.002	-0.035	0.037
49	0.219	0.01	0	0.042
50	0.378	0.029	0.007	0.003
51	0.378	0.029	0.016	0.002
52	0.374	0.029	0	0.003
53	0.214	0.01	-0.012	0.055
54	0.219	0.01	0	0.042
55	0.378	0.029	0.007	0.003
56	0.53	0.057	0.046	0
57	0.521	0.055	0.016	0
58	0.374	0.029	0	0.003
59	0.378	0.029	0.007	0.003
60	0.53	0.057	0.046	0
61	0.673	0.091	0.068	0
62	0.521	0.055	0.016	0
63	0.53	0.057	0.046	0
64	0.673	0.091	0.068	0
65	0.673	0.091	0.068	0
66	0.673	0.091	0.068	0
67	0.673	0.091	0.068	0
68	0.673	0.091	0.068	0

SOLAS REQUIREMENT
[SOLAS Chapter II-1 Part B-1 Reg.25-4]

Kasus	fact pi	fact si	index A
1	0.011	1.000	0.011
2	0.030	0.953	0.029
3	0.022	1.000	0.022
4	0.028	1.000	0.028
5	0.037	1.000	0.037
6	0.034	1.000	0.034
7	0.031	1.000	0.031
8	0.026	1.000	0.026
9	0.025	0.909	0.022
10	0.016	0.858	0.014
11	0.023	1.000	0.023
12	0.029	1.000	0.029
13	0.031	1.000	0.031
14	0.030	1.000	0.030
15	0.021	1.000	0.021
16	0.002	0.779	0.001
17	0.001	0.737	0.001
18	0.002	0.949	0.002
19	0.001	0.953	0.001
20	0.002	0.981	0.002
21	0.002	0.972	0.002
22	0.000	0.481	0.000
23	0.000	0.450	0.000
24	0.000	0.902	0.000
25	0.000	0.928	0.000
26	0.000	0.899	0.000
27	0.000	0.391	0.000
28	0.000	0.345	0.000
29	0.000	0.852	0.000
30	0.000	0.841	0.000
31	0.000	0.311	0.000
32	0.000	0.318	0.000
33	0.000	0.757	0.000
34	0.000	0.283	0.000
35	0.000	0.621	0.000
36	0.000	0.271	0.000
37	0.037	1.000	0.037
38	0.046	1.000	0.046

39	0.062	0.545	0.034
40	0.057	1.000	0.057
41	0.051	1.000	0.051
42	0.037	1.000	0.037
43	0.042	0.970	0.041
44	0.054	0.992	0.053
45	0.057	0.983	0.056
46	0.055	0.995	0.055
47	0.051	1.000	0.051
48	0.037	1.000	0.037
49	0.042	0.970	0.041
50	0.003	0.912	0.003
51	0.002	0.929	0.002
52	0.003	0.916	0.003
53	0.055	0.995	0.055
54	0.042	0.970	0.041
55	0.003	0.912	0.003
56	0.000	0.856	0.000
57	0.000	0.823	0.000
58	0.003	0.916	0.003
59	0.003	0.912	0.003
60	0.000	0.856	0.000
61	0.000	0.761	0.000
62	0.000	0.823	0.000
63	0.000	0.856	0.000
64	0.000	0.761	0.000
65	0.000	0.761	0.000
66	0.000	0.761	0.000
67	0.000	0.761	0.000
68	0.000	0.761	0.000
		----- +	
			1.106

A = 1.106
R = 0.557

A >= R , PENYEKATAN PADA KAPAL MEMENUHI STANDART SOLAS

Karena nilai Index A > Index R, maka penyekatan sudah **memenuhi** persyaratan minimum penyekatan SOLAS 2004 Chapter II-1 Part B-1.

LAMPIRAN 2

**PETUNJUK PENGGUNAAN PROGRAM
DAMAGE STABILTY CALCULATION
(DSC Version 1.0)**

1. FILE INPUT DATA KAPAL

File disimpan dalam bentuk notepad (.txt) yang disimpan pada folder *ship*. Aturan pengisian data kapal harus diikuti agar program dapat menjalankan perhitungan dengan input data yang seharusnya. Semua ukuran panjang menggunakan satuan meter, data kapal yang diisikan adalah untuk sisi starboard. Berikut ini adalah pola pengisian data pada file.

W						
1						
...						
A+L+F						
A	L	F				
1						
...						
A+L+F						
1	...	W-1	W			
...						
A+L+F						
1						
...						
A+L+F						
1						
...						
A+L+F						

Keterangan :

- Baris pertama berisi jumlah nama kapal yang dimasukkan
- Baris kedua berisi nama owner kapal yang dimasukkan
- Baris ketiga berisi nama file gambar kapal lengkap dengan format gambarnya. File gambar tersimpan pada folder *image*.
- Baris keempat berisikan data ukuran utama kapal yang terbagi menjadi 7 kolom.
 - Kolom 1 : Panjang LPP kapal.
 - Kolom 2 : Lebar (B) kapal.
 - Kolom 3 : Tinggi (H) kapal.
 - Kolom 4 : Sarat (T) kapal pada kondisi SDLL.
 - Kolom 5 : Sarat (T) kapal pada kondisi PLL.
 - Kolom 6 : KG kapal pada kondisi SDLL.
 - Kolom 7 : KG kapal pada kondisi PLL.
- Baris kelima berisikan data frame untuk ceruk haluan, terbagi menjadi 3 kolom.
 - Kolom 1 : Jarak frame ceruk buritan.
 - Kolom 2 : Nomor frame awal.
 - Kolom 3 : Nomor frame akhir.

- Baris keenam □ berisikan data frame untuk kamar mesin, terbagi menjadi 3 kolom.
 Kolom 1 : Jarak frame kamar mesin.
 Kolom 2 : Nomor frame awal.
 Kolom 3 : Nomor frame akhir.
- Baris ketujuh □ berisikan data frame untuk ruang muat, terbagi menjadi 3 kolom.
 Kolom 1 : Jarak frame ruang muat.
 Kolom 2 : Nomor frame awal.
 Kolom 3 : Nomor frame akhir.
- Baris kedelapan □ berisikan data frame untuk ceruk halian, terbagi menjadi 3 kolom.
 Kolom 1 : Jarak frame ceruk haluan.
 Kolom 2 : Nomor frame awal.
 Kolom 3 : Nomor frame akhir.
- Baris kesembilan □ berisi jumlah waterline (W) yang didefinisikan, disusun sesuai aturan *Simpson*.
- Baris kesepuluh sampai sebanyak W, atau baris □. Terbagi menjadi 2 kolom.
 Kolom 1 : Nomor waterline, dimulai dari 0, 1, dan seterusnya sampai sebanyak W baris. Diurutkan dari tinggi waterline paling rendah diukur dari baseline sampai ke waterline paling tinggi.
 Kolom 2 : Tinggi waterline untuk tiap nomor waterline, diukur dari baseline.
- Baris □ berisi jumlah station untuk daerah sebelum LPP, daerah sepanjang LPP, dan daerah di depan LPP. Terbagi menjadi 2 dengan penjelasan sebagai berikut
 Kolom 1 : Jumlah station di belakang LPP (A). Disesuaikan dengan aturan *Simpson* khusus untuk jarak sebelum LPP.
 Kolom 2 : Jumlah station di antara LPP, termasuk pada station AP dan FP (L). Disesuaikan dengan aturan *Simpson* khusus untuk jarak LPP.
 Kolom 3 : Jumlah station di depan LPP (F). Disesuaikan dengan aturan *Simpson* khusus untuk jarak setelah LPP.
- Baris □ sebanyak (A+L+F) baris. Terbagi menjadi 2 kolom.
 Kolom 1 : Nomor station, dimulai dari AP yaitu station 0. Untuk station di belakang AP diberi simbol negatif yang berarti berada di belakang AP.
 Kolom 2 : Letak station dari titik AP. Untuk station di belakang AP, bernilai negatif.
- Baris □ sebanyak (A+L+F) baris dan W kolom. Berisikan setengah lebar untuk tiap station dan tiap waterline. Baris menunjukkan nomor station, dari atas ke bawah menunjukkan station sebelum LPP sampai station setelah LPP. Kolom menunjukkan jumlah waterline. Dari kiri ke kanan menunjukkan waterline paling rendah sampai waterline paling tinggi.
- Baris □ sebanyak (A+L+F) baris dan 3 kolom. Berisikan data letak geladak utama karena sheer atau *superstructure* untuk setiap station. Keterangan kolom adalah sebagai berikut :
 Kolom 1 : Nomor station, dimulai dari AP yaitu station 0. Untuk station di belakang AP diberi simbol negatif yang berarti berada di belakang AP.
 Kolom 2 : Setengah lebar geladak utama atau *superstructure* pada tiap station.
 Kolom 3 : Tinggi geladak utama atau *superstructure* pada tiap station dihitung dari baseline.
- Baris □ sebanyak (A+L+F) baris dan 3 kolom. Berisikan data posisi terjadinya *progressive flooding*. Keterangan kolom adalah sebagai berikut :
 Kolom 1 : Nomor station, dimulai dari AP yaitu station 0. Untuk station di belakang AP diberi simbol negatif yang berarti berada di belakang AP.
 Kolom 2 : Tinggi posisi terjadinya *progressive flooding* pada tiap station dihitung dari baseline.

0	10	16
1	10	16
2	10	16
3	10	16
4	10	16
5	10	16
6	10	16
7	10	16
8	10	16
9	10	16
10	10	16
11	10	16
12	10	16
-2	16	10
-1	16	10
0	16	10
1	16	10
2	16	10
3	16	10
4	16	10
5	16	10
6	16	10
7	16	10
8	16	10
9	16	10
10	16	10
11	16	10
12	16	10

2. FILE INPUT DATA KOMPARTEMEN

File disimpan dalam bentuk notepad (.txt) yang disimpan pada folder *compartement*. Aturan pengisian data kompartemen harus diikuti agar program dapat menjalankan perhitungan dengan input data yang seharusnya. Semua ukuran panjang menggunakan satuan meter, data kompartemen yang diisikan adalah untuk sisi starboard. Berikut ini adalah pola pengisian data pada file.

K									
1									
...									
K									
1									
...									
K									

Keterangan :

- Baris pertama atau baris berisi jumlah kompartemen (K) yang didefinisikan dalam kasus kebocoran
- Mulai baris ke-2 sebanyak K baris, atau baris berisi nama tiap kompartemen. Urutan baris menunjukkan nomor kompartemen.
- Setelah baris , yaitu baris sebanyak K baris dan 9 kolom, berisikan data sebagai berikut :

- Kolom 1 : Nomor kompartemen, sesuai urutan pada baris
- Kolom 2 : Batas belakang sekat melintang, diukur dari titik AP.
- Kolom 3 : Batas depan sekat melintang, diukur dari titik AP.
- Kolom 4 : Batas terdalam sekat memanjang untuk sisi starboard, diukur dari *centreline*. Bila batas sekat memanjang ada pada sisi portside, maka batas terdalam diisi nol yaitu pada *centreline*, hanya nanti pada kolom ke-6 diisi nilai 1, yang artinya sisi starboard dan portside jadi satu kesatuan kompartemen.
- Kolom 5 : Batas terluar sekat memanjang untuk sisi starboard, diukur dari *centreline*. Bila batas sekat memanjang sisi terluar adalah mengikuti bentuk lambung kapal maka diisi 999.
- Kolom 6 : Berisikan nilai 1 atau 2. Bernilai 1 jika kompartemen yang didefinisikan pada sisi starboard merupakan satu kesatuan kompartemen yang berhubungan pada sisi portside. Bernilai 2 jika sebaliknya.
- Kolom 7 : Permeabilititas tiap kompartemen ketika kondisi sarat DSLL (*Deep Subdivision Load Line*). Pada kondisi ini sarat yang digunakan adalah sarat penuh musim panas, sehingga untuk ruang muat berisi muatan penuh sesuai keadaan operasional normal.
- Kolom 8 : Permeabilititas tiap kompartemen ketika kondisi sarat PLL (*Partial Load Line*). Pada kondisi ini sarat yang digunakan adalah sarat kosong ditambah 60% dari jarak antara sarat kosong dan sarat DSLL. Permeabilitas disesuaikan dengan sarat yang diperoleh.
- Kolom 9 : Jenis kompartemen :
- | | |
|-------------------|------------------------|
| 1 = Ceruk buritan | 6 = Void |
| 2 = Kamar mesin | 7 = Slop tank |
| 3 = Ruang muat | 8 = Tangki bahan bakar |
| 4 = Ceruk haluan | 9 = Tangki air tawar |
| 5 = Tangki ballas | |

Berikut ini adalah contoh file notepad untuk input data kompartemen

5								
Ceruk Buritan								
Kamar Mesin								
Ruang Muat 1								
Ruang Muat 2								
Ceruk Haluan								
1	-5	13	0	999	1	1	1	1
2	13	37	0	999	1	1	1	2
3	37	67	0	999	2	1	1	3
4	67	97	0	999	2	1	1	3
5	97	115	0	999	1	1	1	4



3. FILE INPUT DATA KASUS KEBOCORAN

File disimpan dalam bentuk notepad (.txt) yang disimpan pada folder *case*. Aturan pengisian data kasus kebocoran harus diikuti agar program dapat menjalankan perhitungan dengan input data yang seharusnya. Semua ukuran panjang menggunakan satuan meter, data kompartemen yang diisi adalah untuk sisi starboard. Berikut ini adalah pola pengisian data pada file.

G					
1					
...					
G					
1	1	...	...	K-1	K
...					
G					
1					
...					
G					

Keterangan :

- Baris pertama atau baris berisi jumlah kasus kebocoran (G) yang divariasikan berdasarkan probabilitas sesuai dengan yang diatur dalam SOLAS CE 2004 Chapter II-1 Part B-1.
- Mulai baris ke-2 sebanyak G baris, atau baris berisi nama tiap kasus kebocoran. Urutan baris menunjukkan nomor kasus.
- Setelah baris , yaitu baris sebanyak G baris dan K+1 kolom. Jumlah baris menunjukkan jumlah kasus kebocoran, sedangkan jumlah kolom menunjukkan jumlah kompartemen yang didefinisikan pada input kompartemen. Penjelasan isi dari kolom-kolom tersebut adalah sebagai berikut :
 Kolom 1 : Nomor kasus kebocoran, sesuai urutan pada baris
 Kolom 2 dan seterusnya : Kemungkinan kompartemen yang mengalami kebocoran. Nomor baris menunjukkan nomor kasusnya, sedangkan nomor kolom disesuaikan dengan nomor kompartemen bocor. Nilai kemungkinan tersebut adalah 1 atau 0. Bernilai 1 jika kompartemen (kolom) pada kasus kebocoran (baris) mengalami kebocoran, dan 0 jika sebaliknya.
- Setelah baris , yaitu baris sebanyak G baris, terdiri atas 4 kolom. Jumlah baris menunjukkan jumlah kasus kebocoran dengan urutan disesuaikan dengan nama kompartemen sesuai pada baris . Penjelasan tentang isi kolom adalah sebagai berikut :
 Kolom 1 : Nomor kasus kebocoran, sesuai urutan pada baris
 Kolom 2 : Tipe faktor reduksi untuk tiap kasus kebocoran sesuai aturan SOLAS
 1 = Jika tanpa faktor reduksi
 2 = Jika faktor reduksinya (r)
 3 = Jika faktor reduksinya (1-r)
 4 = Jika tipe faktor reduksinya (r_2-r_1)
 Kolom 3 : besar b untuk kompartemen wing terluar, yaitu lebar rata-rata kompartemen wing untuk kasus kebocoran. Bernilai 0 jika tipe faktor reduksinya 1 (tanpa faktor reduksi)
 Kolom 3 : besar b untuk kompartemen wing dalam, yaitu lebar rata-rata kompartemen wing untuk kasus kebocoran. Bernilai 0 jika tipe faktor reduksinya 1 (tanpa faktor reduksi), 2 (faktor reduksi r), dan 3 (faktor reduksi 1-r)

Berikut ini adalah contoh file notepad untuk input data kasus kebocoran

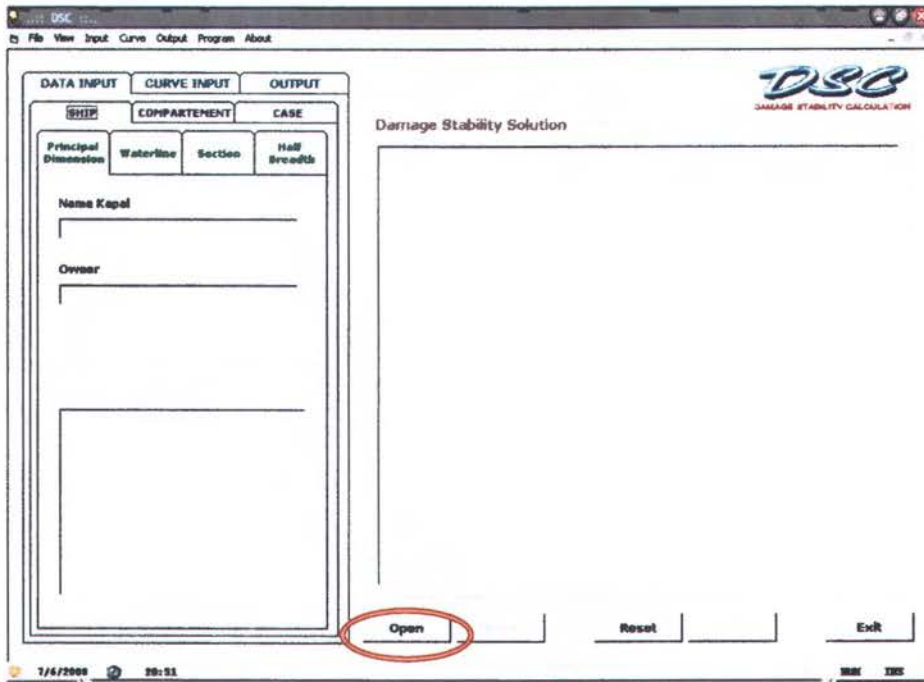
15
 1
 2
 3
 4
 5
 1-2
 2-3
 3-4
 4-5
 1-2-3
 2-3-4
 3-4-5
 1-2-3-4
 2-3-4-5
 1-2-3-4-5

1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1
6	1	1	0	0	0
7	0	1	1	0	0
8	0	0	1	1	0
9	0	0	0	1	1
10	1	1	1	0	0
11	0	1	1	1	0
12	0	0	1	1	1
13	1	1	1	1	0
14	0	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1

1	1	0.00	0.00
2	1	0.00	0.00
3	1	0.00	0.00
4	1	0.00	0.00
5	1	0.00	0.00
6	1	0.00	0.00
7	1	0.00	0.00
8	1	0.00	0.00
9	1	0.00	0.00
10	1	0.00	0.00
11	1	0.00	0.00
12	1	0.00	0.00
13	1	0.00	0.00
14	1	0.00	0.00
15	1	0.00	0.00

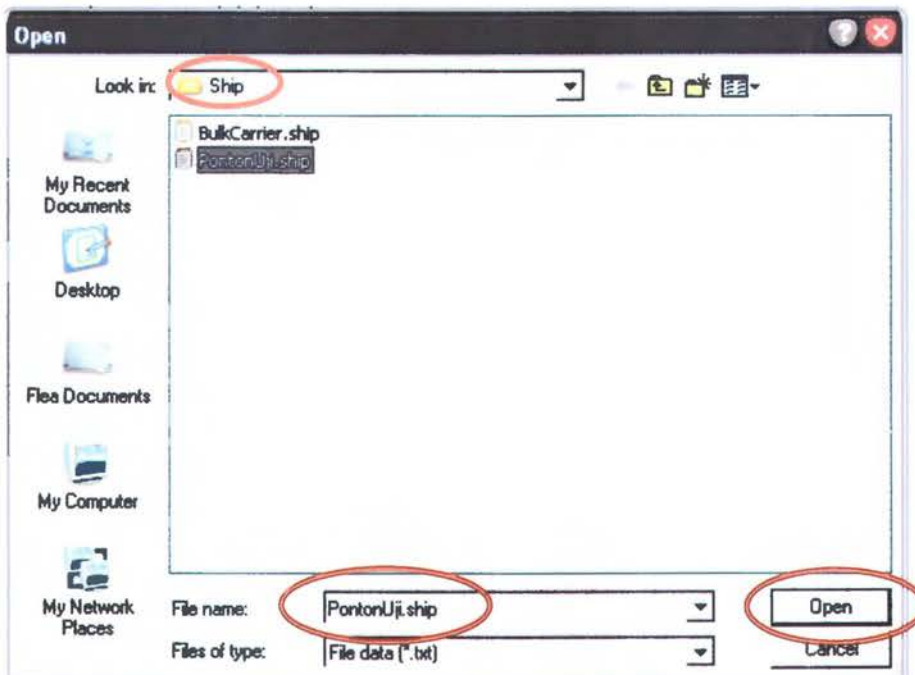
4. LANGKAH-LANGKAH INPUT DATA KAPAL

Langkah pertama adalah klik tombol *Open* pada layar bagian bawah. Menu tab jenis input harus ada pada tab *ship*, jika tidak berada disana maka segera pindahkan sebelum menekan tombol *Open*..



Gambar 11 Tampilan sebelum data kapal dimasukkan

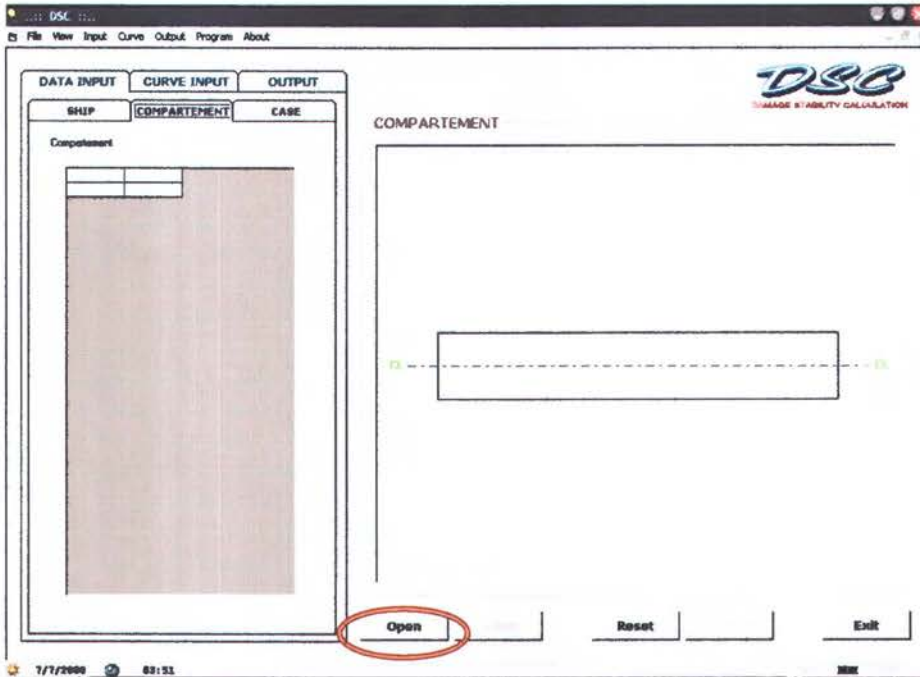
Kemudian pilih file data kapal yang akan dimasukkan. Data kapal yang diinputkan tersimpan pada folder *ship*, jadi jika folder belum berada pada folder *ship*, pindahkan terlebih dahulu. Data kapal yang akan dibaca adalah yang terakhir dimasukkan.



Gambar 12 Memilih file data input kapal pada folder ship

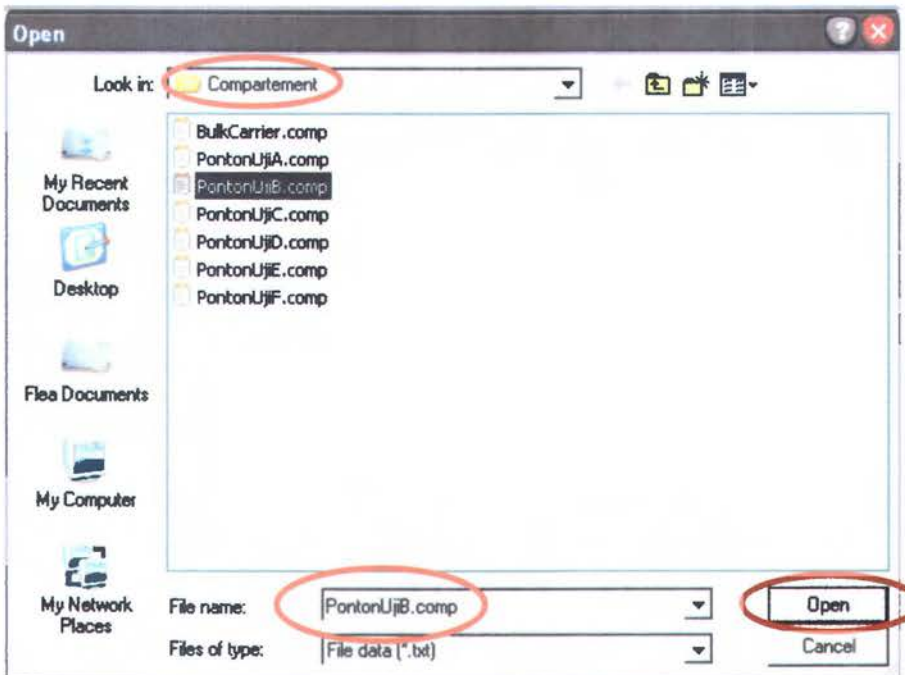
5. LANGKAH-LANGKAH INPUT DATA KOMPARTEMEN

Langkah pertama adalah klik tombol *Open* pada layar bagian bawah. Menu tab jenis input harus ada pada tab *compartement*, jika tidak berada disana maka segera pindahkan sebelum menekan tombol *Open*. Langkah input data kompartemen hanya bisa dilakukan setelah input data kapal telah dilakukan



Gambar 13 Tampilan sebelum data kompartemen dimasukkan

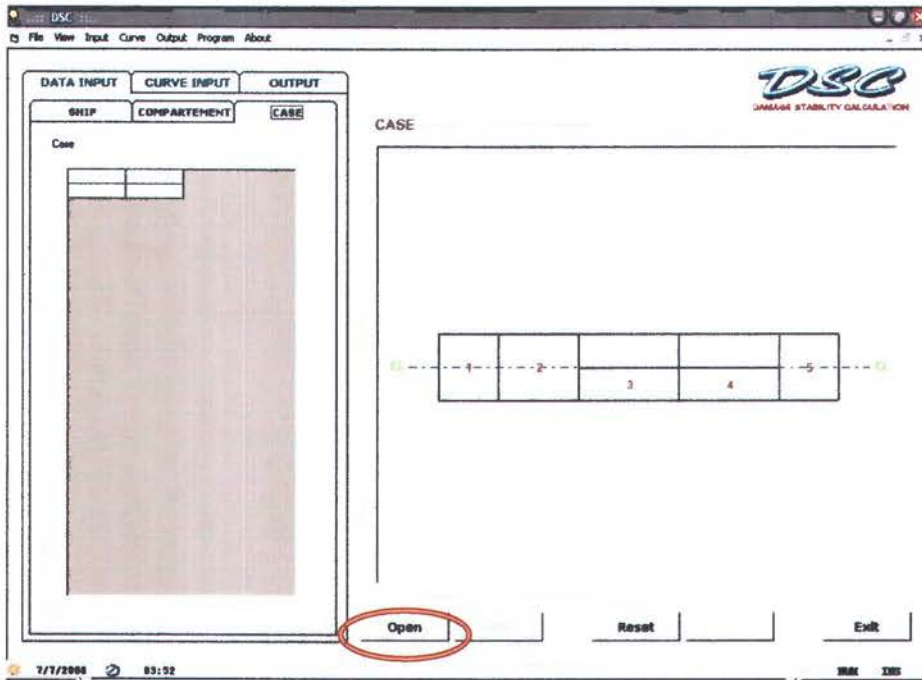
Kemudian pilih file data kompartemen yang akan dimasukkan. Data kapal yang diinputkan tersimpan pada folder *compartement*, jadi jika folder belum berada pada folder *compartement*, pindahkan terlebih dahulu. Data kompartemen yang akan dibaca adalah yang terakhir dimasukkan. Hati-hati dalam memasukkan data kompartemen, harus sesuai dengan data kapal yang terakhir dimasukkan



Gambar 14 Memilih file data input kompartemen pada folder *compartement*

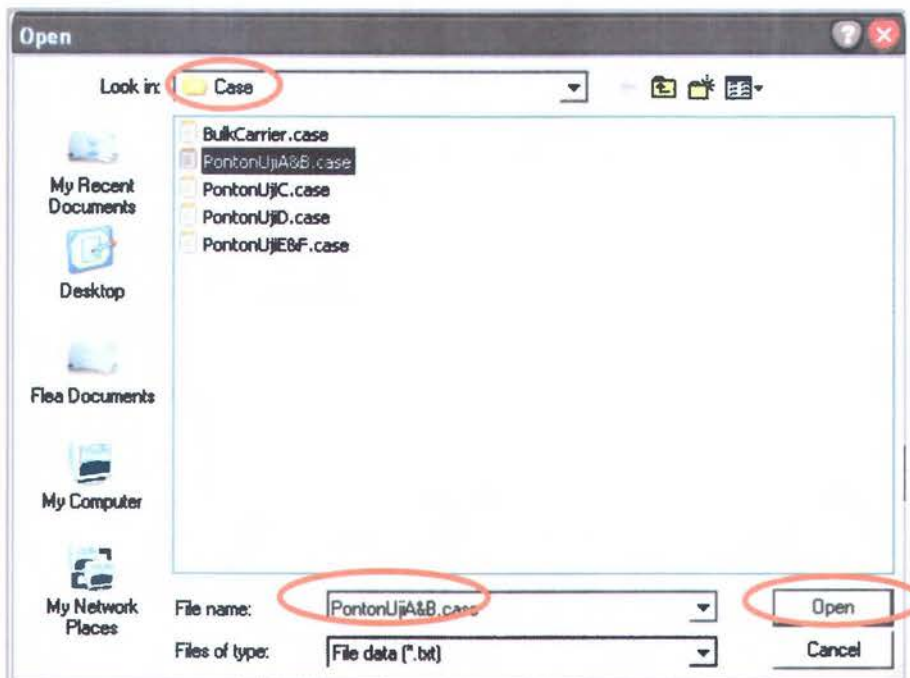
6. LANGKAH-LANGKAH INPUT DATA KASUS KEBOCORAN

Langkah pertama adalah klik tombol *Open* pada layar bagian bawah. Menu tab jenis input harus ada pada tab *case*, jika tidak berada disana maka segera pindahkan sebelum menekan tombol *Open*. Langkah input data kasus kebocoran hanya bisa dilakukan setelah input data kapal, dan kompartemen telah dilakukan



Gambar 15 Tampilan sebelum data kompartemen dimasukkan

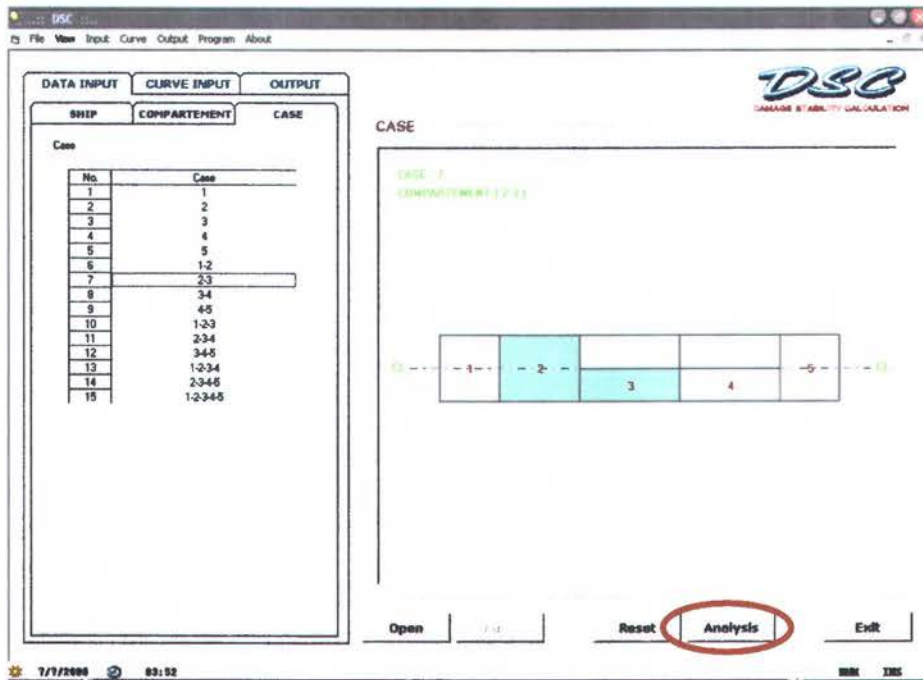
Kemudian pilih file data kasus yang akan dimasukkan. Data kasus yang diinputkan tersimpan pada folder *case*, jadi jika folder belum berada pada folder *case*, pindahkan terlebih dahulu. Data kasus kebocoran yang akan dibaca adalah yang terakhir dimasukkan. Hati-hati dalam memasukkan data kasus kebocoran, harus sesuai dengan data kapal dan kompartemen yang terakhir dimasukkan



Gambar 16 Memilih file data input kompartemen pada folder compartment

7. MENJALANKAN PERHITUNGAN PROGRAM

Setelah semua data input dimasukkan ke dalam program, langkah selanjutnya adalah memulai perhitungan data-data tersebut. Lama perhitungan program tergantung seberapa rumit dan seberapa banyak data waterline, section, kompartemen, dan kasus kebocoran. Dengan menekan tombol *Analysis*, maka perhitungan program akan dimulai untuk data-data input yang terakhir dimasukkan.



Gambar 17 Memulai perhitungan program untuk data input yang terakhir dimasukkan

8. MENYIMPAN LAPORAN HASIL PERHITUNGAN

Hasil perhitungan program dapat disimpan dalam bentuk file yang nantinya dapat dicetak diatas kertas. Dalam program DSC, proses menyimpan hasil perhitungan dapat dilakukan apabila proses perhitungan sudah selesai dilaksanakan. Perhitungan yang disimpan adalah hasil perhitungan yang terakhir dilakukan. Dengan hanya menekan tombol *save* maka akan muncul kotak dialog untuk meletakkan dimana file akan disimpan. Ketika muncul kotak dialog, secara *default* program DSC menempatkan lokasi penyimpanan hasil perhitungan pada folder *Output*.

BIOGRAFI PENULIS



Arif Sulistiawan, Lahir di Surabaya pada tanggal 13 Februari 1984. Penulis yang akrab disapa dengan Wawan atau PM ini memulai pendidikan di taman kanak-kanan di TK Bakti III Randuagung lulus tahun 1990, kemudian di sekolah dasar di SD Negeri 2 Randuagung, lulus pada tahun 1996. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SLTP Negeri 3 Gresik, lulus pada tahun 1999. Pendidikan selanjutnya ditempuh di SMU Negeri 1 Gresik. Setelah itu pada tahun 2002 penulis diterima melalui jalur PMDK di Jurusan Teknik Perkapalan ITS. Selanjutnya, penulis tercatat sebagai mahasiswa Teknik Perkapalan ITS sejak September 2002.

Selama menjadi mahasiswa, penggemar tim sepak bola Manchester United ini aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan sebagai KaDiv. Jurnalistik. Selain itu, penulis juga pernah aktif sebagai anggota tim *Indonesia Challenge* mahasiswa Teknik Perkapalan ITS. Untuk menambah pengalaman dan mengasah kemampuan akademis dan soft skill, anak pertama dari 2 bersaudara ini mengikuti beberapa pelatihan. Pelatihan AutoCad diikutinya pada tahun 2003, dan pelatihan maksurf pada tahun 2004. Bahkan pada penggemar musik dan melukis ini mencoba menularkan ilmu yang telah diperoleh dengan menjadi grader mata kuliah Pemrograman Dibantu Komputer pada tahun 2003, Metode Numerik pada tahun 2005, serta sebagai trainer dalam pelatihan AutoCad yang diadakan Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan pada tahun 2004.

Penulis melakukan kerja praktek untuk menambah pemahaman materi kuliah yang diperoleh dengan kenyataan lapangan. Kerja praktek yang dilakukan penulis di dua galangan kapal di Surabaya, yaitu PT. Dok dan Perkapalan Surabaya dan PT PAL Indonesia divisi Harkan. Di akhir masa kuliah, penggemar masakan berkuah ini mengambil judul "*Pembuatan Program Perhitungan Damage Stability Menurut SOLAS Dengan Menggunakan Metode Lost Bouyancy*" sebagai judul tugas akhirnya. Di tengah kesibukannya mengerjakan tugas akhir, penulis pernah tercatat sebagai drafter di National Ship Design and Engineering Centre (NaSDEC) ITS, dan yang terakhir di PT. Jaya Salvage Indonesia.