



TUGAS AKHIR – MN 141581

ANALISA PERBANDINGAN *FATIGUE* ANTARA *HULL-V* DAN *HULL-U* AKIBAT BEBAN *SLAMMING* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

MUHAMMAD LUQMAN HAKIM

NRP. 4111100078

Dosen Pembimbing

Totok Yulianto, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015



FINAL PROJECT – MN 141581

**FATIGUE COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN HULL-V AND HULL-U DUE TO
SLAMMING PRESSURE USING FINITE ELEMENT METHOD**

MUHAMMAD LUQMAN HAKIM

NRP. 41111100078

Supervisor

Totok Yulianto, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2015

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERBANDINGAN *FATIGUE* ANTARA *HULL-V* DAN *HULL-U* AKIBAT BEBAN *SLAMMING* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal

Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD LUQMAN HAKIM

NRP. 4111100078

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing



Totok Yulianto, S.T., M.T.

NIP. 19700731 199512 1 001

SURABAYA, 20 APRIL 2015

ANALISA PERBANDINGAN *FATIGUE* ANTARA *HULL-V* DAN *HULL-U* AKIBAT BEBAN *SLAMMING* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama : Muhammad Luqman Hakim
NRP : 4111100078
Jurusan : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Totok Yulianto, S.T., M.T.

ABSTRAK

Bentuk-bentuk penampang lambung mempunyai karakteristik yang berbeda dari berbagai segi, seperti perancangan, hidrodinamika, struktur maupun produksi. Hal tersebut mengakibatkan olah gerak kapal di laut bergelombang menjadi berbeda, salah satunya menyebabkan *dynamic effect* yang disebut *slamming*. *Slamming* merupakan beban dinamis yang berulang, dimana beban tersebut dapat menyebabkan kelelahan (*fatigue*) pada struktur. Oleh sebab itu, perbedaan bentuk lambung tentunya mengakibatkan peluang terjadinya *slamming*, intensitas *slamming* dan beban *slamming* yang berbeda, dimana hal tersebut mempengaruhi besar tegangan dan kelelahan pada struktur. Tugas Akhir ini menganalisa perbandingan *fatigue* akibat beban *slamming* dengan metode elemen hingga untuk bentuk lambung V dan U pada *FORMDATA I, Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data* (1962). Perhitungan divariasikan dengan kecepatan 8 knots (di bawah kecepatan dinas), 12 knots (kecepatan dinas) dan 16 knots (di atas kecepatan dinas). Didapatkan hasil bahwa semakin besar kecepatan, menyebabkan semakin besar peluang terjadinya *slamming*, intensitas *slamming*, beban *slamming*, tegangan dan *fatigue life*. Lambung U mempunyai peluang terjadinya *slamming*, intensitas *slamming* dan beban *slamming* lebih besar dari pada V. Untuk beban yang sama, lambung U memiliki nilai tegangan yang lebih kecil dan memiliki umur kelelahan (*fatigue life*) lebih lama dari pada lambung V.

Kata kunci : Slamming, Formdata, Lambung U, Lambung V, Metode elemen hingga, Tegangan, Umur kelelahan.

FATIGUE COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN HULL-V AND HULL-U DUE TO SLAMMING PRESSURE USING FINITE ELEMENT METHOD

Name : Muhammad Luqman Hakim
NRP : 4111100078
Department : Teknik Perkapalan
Supervisor : Totok Yulianto, S.T., M.T.

ABSTRACT

Sectional shapes of the ship's hull have different characteristics from various aspects, such as design, hydrodynamics, structure and production. It causes differences the ship's motion in the sea, one of them causes the dynamic effect that is called slamming. The slamming is a recurrent dynamic load, where it can cause fatigue on the structure. Therefore, the differences on hull form would result that the slamming probability, the slamming intensity and the slamming loads are different, where they affect to stress and fatigue on structure. This final project analyzes the comparison fatigue caused slamming load with finite element method for hull form V and U on *FORMDATA I, Some Systematically Varied Forms and Their Ship Hydrostatic Data* (1962). The calculations are varied on speed 8 knots (at below speed service), 12 knots (speed service) and 16 knots (at above speed service). They show that the greater of speed, cause the greater slamming probability, the greater slamming intensity, the greater slamming load, the greater stress and the greater fatigue life. the hull U has that the slamming probability, the slamming intensity and the slamming load are greater than V. For the same load, the hull U has that the stress value is smaller than V, and the fatigue life is longer than V.

Keywords : Slamming, Formdata, Hull-U, Hull-V, Finite Element Method, Stress, Fatigue life.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr, Wb.

Alhamdulillah, puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta anugerah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Dan tak lupa shalawat serta salam tetap tercurahkan untuk nabi Muhammad SAW yang senantiasa memberi petunjuk arah jalan kebenaran dan kebaikan.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik oleh penulis tentunya tidak lepas dari dukungan banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. Ayah Umar dan Ibu Siti Murtiatun tercinta yang telah membesarkan penulis atas do'a, kasih sayang, dukungan dan bimbingannya yang tidak pernah berhenti.
2. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Prof.Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D., CEng, FRINA, Selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS
4. Bapak Prof.Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D., CEng, FRINA, Selaku dosen wali penulis, atas bimbingannya selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS.
5. Teguh Putranto, S.T., M.T. yang telah bersedia membimbing, memberikan arahan kepada penulis, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
6. Argo Yogiarto, S.T. yang telah bersedia membimbing, memberikan arahan kepada penulis, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
7. Kepala Laboratorium Komputasi Bapak Solikhan Arief, S.T., M.T. atas ijinnya menggunakan fasilitas laboratorium untuk mengerjakan tugas akhir.
8. Semua Dosen dan Staff Karyawan Tata Usaha Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS.
9. Triwahyu Stellasari Nidyaputri yang telah memotivasi dan menginspirasi selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. Kakak Elvi Nur I, Adik Yulia Tri P., Ponakan Ahmad A. Rasya yang selalu menginspirasi penulis.

-
11. Teman-teman kontrakan seperjuangan, Rayung Aryadiandra (Cak Oco), Setyo Tuhu Baktianto (Boss Jhon), Bagus Ivan Sambogo (Mas Kes), Muhammad Rid Junata (Cukiprit), Ali Mustofa (Kencur), Elip Suprianto (Setot), Fajar Nugraha (Seh), Ahmad Riadus Solihin (Komodo Jablai), Arief Sugiarto (Cak Kadur).
 12. Saudara-saudari P-51 (CENTERLINE) dan segenap keluarga besar Warga HIMATEKPAL.
 13. Teman-teman SMA dan SMP, Roys Akbar D, Khairu Annisa H, Linda H., Agung Adi P., Jayus SS., Fakhur Rosi, Dhofi Hiftoni I., Estin Eka S., Arief Budiantono, Siska Puri.
 14. Teman-teman bulutangkis Jurusan Teknik Perkapalan.
 15. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah S.W.T.. Maka saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamualaikum, Wr, Wb.

Surabaya, 20 April 2015

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR REVISI.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xvii
DAFTAR PERSAMAAN	xviii
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Hipotesa.....	3
1.7. Sistematika Laporan	4
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1. Bentuk Lambung V dan U.....	6
2.2. Dinamika Kapal (<i>Ship Motions</i>)	7
2.2.1. Gerakan Relatif Vertikal pada CG.....	8
2.2.2. Gerakan Relatif Vertikal pada Haluan	10
2.2.3. Gelombang <i>Irregular</i>	11

2.3. Slamming.....	13
2.3.1. Peluang Terjadinya Slamming	13
2.3.2. Jumlah Kejadian Slamming.....	15
2.3.3. Beban Slamming.....	15
2.4. Struktur	16
2.4.1. Tegangan dan Regangan	17
2.4.2. Elastisitas Linier, Hukum Hooke dan Rasio Poisson.....	18
2.4.3. Tegangan Normal pada Balok.....	18
2.4.4. Tegangan <i>Principal</i> dan Tegangan <i>Von mises (Equivalent Stress)</i>	20
2.5. Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>).....	22
2.5.1. Langkah Umum Metode Elemen Hingga	23
2.5.2. Tipe Elemen	25
2.5.3. Kondisi Batas	30
2.5.4. <i>Nodal Equivalent</i> untuk Beban Permukaan Merata	32
2.5.5. Konvergensi	33
2.6. Umur Kelelahan Struktur (<i>Fatigue Life</i>)	34
2.6.1. S-N Diagram	35
2.6.2. <i>Stress Concentration Factor</i>	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	39
3.1. Diagram Alir	39
3.2. Pengambilan Ukuran Utama Kapal	40
3.3. Pembuatan <i>Body Plan</i> Lambung U dan V	41
3.4. Pembuatan <i>Lines Plan</i> dan Model di <i>Maxsurf</i>	42
3.5. Perhitungan <i>Response Amplitude Operator (RAO)</i> dengan <i>Maxsurf Motions</i> ... 44	44
3.6. Perhitungan Slamming	45
3.6.1. Perhitungan Peluang Terjadinya Slamming.....	46
3.6.2. Perhitungan Banyaknya Kejadian Slamming.....	46

3.6.3. Perhitungan Besarnya Beban <i>Slamming</i>	46
3.7. Perhitungan Konstruksi.....	47
3.8. Pemodelan di <i>Ansys Mechanical APDL</i>	48
3.8.1. Pemilihan Tipe Analisa.....	48
3.8.2. Pemilihan Tipe Elemen	49
3.8.3. Penentuan Material Properties.....	51
3.8.4. Penentuan Ukuran <i>Section</i> (profil dan plat)	52
3.8.5. Modeling.....	53
3.8.6. <i>Meshing</i>	55
3.8.7. Penentuan Kondisi Batas	56
3.8.8. Input Beban.....	58
3.8.9. <i>Running</i>	62
3.8.10. Pembacaan Hasil	63
BAB IV KONVERGENSI	66
4.1. Pemilihan Ukuran Mesh.....	66
4.2. Pemilihan Satu Nodal	67
4.3. Hasil Tegangan dengan Jumlah Mesh	67
BAB V ANALISA HASIL	70
5.1. Perbandingan <i>Lines Plan U dan V</i>	70
5.2. Perbandingan Hidrostatik Lambung U dan V.....	71
5.3. Perbandingan <i>RAO</i> Lambung U dan V.....	72
5.4. Perbandingan Probabilitas <i>Slamming</i>	76
5.5. Perbandingan Intensitas Terjadinya <i>Slamming</i>	77
5.6. Perbandingan Besarnya Beban <i>Slamming</i>	80
5.7. Perbandingan Hasil Tegangan	81
5.8. Perbandingan <i>Fatigue</i>	85
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	90

6.1. Kesimpulan	90
6.2. Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN	94

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter dasar untuk desain <i>S-N curves</i>	36
Tabel 2. <i>SCF (CSR for Bulk Carries, 2006)</i>	38
Tabel 3. Pengambilan ukuran utama kapal	40
Tabel 4. Kondisi batas menurut <i>ABS</i>	56
Tabel 5. Hasil konvergensi Model lambung U	68
Tabel 6. Hasil perhitungan probabilitas <i>slamming</i>	77
Tabel 7. Hasil perhitungan banyaknya kejadian <i>slamming</i> per waktu.....	77
Tabel 8. Perbandingan hasil perhitungan beban <i>slamming</i>	80
Tabel 9. Hasil tegangan <i>Von mises</i> masing-masing model dengan variasi kecepatan	83
Tabel 10. Hasil tegangan reaksi tumpuan	84
Tabel 11. Hasil analisa perbandingan <i>fatigue life</i>	86
Tabel 12. Hasil analisa <i>fatigue life</i> setelah asumsi waktu pelayaran.....	88
Tabel 13. Hasil analisa <i>fatigue life</i> setelah asumsi lambung V diperkuat.....	89

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 1. Gerakan <i>Heaving</i> menurut hukum Newton II	8
Persamaan 2. Gerakan <i>Pitching</i> menurut hukum Newton II	8
Persamaan 3. <i>Heaving</i> yang disempurnakan.....	9
Persamaan 4. <i>Pitching</i> yang disempurnakan	9
Persamaan 5. Waktu gerakan <i>Heaving</i>	9
Persamaan 6. Waktu gerakan <i>Pitching</i>	9
Persamaan 7. Gerakan vertikal haluan	10
Persamaan 8. Gerakan gabungan <i>heave</i> dan <i>pitch</i> untuk gerakan vertikal haluan	11
Persamaan 9. Peluang terjadinya haluan terangkat.....	13
Persamaan 10. Peluang kecepatan ambang <i>slamming</i>	14
Persamaan 11. Peluang terjadinya <i>slamming</i>	14
Persamaan 12. Jumlah kejadian <i>slamming</i> per detik.....	15
Persamaan 13. Jumlah kejadian <i>slamming</i> per jam.....	15
Persamaan 14. Besarnya beban <i>slamming</i>	15
Persamaan 15. Kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim.....	15
Persamaan 16. Tegangan aksial.....	17
Persamaan 17. Regangan aksial	17
Persamaan 18. <i>Hooke</i>	18
Persamaan 19. Rasio <i>Poisson</i>	18
Persamaan 20. Tegangan geser pada balok	19
Persamaan 21. Tegangan <i>principal</i> 1st untuk 2 dimensi	20
Persamaan 22. Tegangan <i>principal</i> 2nd untuk 2 dimensi	20
Persamaan 23. Tegangan <i>principal</i> 1st untuk 3 dimensi	20
Persamaan 24. Tegangan <i>principal</i> 2nd untuk 3 dimensi	21
Persamaan 25. Tegangan <i>principal</i> 3rd untuk 3 dimensi	21
Persamaan 26. Tegangan <i>Von Mises</i>	22

Persamaan 27. Hubungan strain/displacement dan stress/displacement.....	23
Persamaan 28. Kekakuan elemen	24
Persamaan 29. Kekakuan elemen dalam bentuk singkat	24
Persamaan 30. Kekakuan elemen global	24
Persamaan 31. Matrik kekakuan elemen global.....	25
Persamaan 32. Kekakuan pegas	26
Persamaan 33. Matrik kekakuan elemen pegas	26
Persamaan 34. Kekakuan elemen batang	26
Persamaan 35. Matrik kekakuan elemen batang	27
Persamaan 36. Kekakuan elemen balok	27
Persamaan 37. Matrik kekakuan elemen balok.....	27
Persamaan 38. Kekakuan elemen segitiga.....	28
Persamaan 39. Nodal equivalen	32
Persamaan 40. Kurva <i>S-N</i>	35
Persamaan 41. <i>Stress Concentration Factor</i>	37
Persamaan 42. Tegangan maksimum pada <i>fatigue</i>	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Fenomena <i>slamming</i> pada kapal pesiar.....	1
Gambar 2. Bentuk potongan depan U dan V dengan luasan di bawah sarat sama.....	6
Gambar 3. Macam gerakan kapal berdasarkan sumbu axis	8
Gambar 4. <i>Vertical motion</i>	10
Gambar 5. Contoh gelombang <i>irregular</i>	11
Gambar 6. Jonswap <i>spectrum</i>	12
Gambar 7. Diagram tegangan regangan material.....	17
Gambar 8. Tegangan geser pada balok.....	19
Gambar 9. Teori <i>principal stress</i> tiga dimensi	21
Gambar 10. Kriteria <i>Von Mises</i> dengan 6 komponen tegangan.....	22
Gambar 11. Elemen pegas linier	26
Gambar 12. Elemen batang (<i>truss</i>)	27
Gambar 13. Elemen balok (<i>beam element</i>)	28
Gambar 14. Plat didiskritisasi menggunakan elemen segitiga	28
Gambar 15. Elemen segitiga (<i>triangular</i>) dengan 3 <i>nodals</i>	29
Gambar 16. Elemen segitiga dengan 6 <i>nodals</i>	29
Gambar 17. <i>Basic rectangular</i> elemen plat dengan 4 <i>nodals</i> derajat kebebasan	30
Gambar 18. Simbol tumpuan jepit (<i>fix</i>)	30
Gambar 19. Simbol tumpuan <i>roll</i>	31
Gambar 20. Simbol tumpuan sendi/engsel	31
Gambar 21. Pemodelan simetri.....	31
Gambar 22. Contoh nodal ekuivalen pada beban permukaan	32
Gambar 23. Perbandingan solusi eksak dengan elemen hingga	33
Gambar 24. Contoh konvergensi hasil <i>displacement</i>	34
Gambar 25. <i>S-N Curves</i>	36
Gambar 26. Diagram alir	40

Gambar 27. Diagram kombinasi dari Formdata I	41
Gambar 28. Menentukan δ_a dan δ_f	41
Gambar 29. Pengambilan <i>section Body Plan</i> untuk lambung V	42
Gambar 30. Penentuan ukuran utama model kapal di <i>maxsurf</i>	43
Gambar 31. Pembentukan <i>section</i> model di <i>maxsurf</i>	43
Gambar 32. Pemilihan tipe analisa pada <i>maxsurf motions</i>	44
Gambar 33. <i>Input</i> pembagian <i>section</i> pada <i>seakeeper</i>	44
Gambar 34. <i>Input mass distribution</i>	45
Gambar 35. Letak <i>remote location</i> sebagai titik b untuk perhitungan <i>RBM</i>	46
Gambar 36. <i>Midship Section</i>	47
Gambar 37. <i>Fore section</i> U dan V	48
Gambar 38. Pemilihan tipe analisa pada <i>Ansys Mechanical APDL</i>	49
Gambar 39. Pemilihan elemen <i>Beam</i>	49
Gambar 40. Pemilihan elemen <i>Shell</i>	50
Gambar 41. Geometri Element <i>Beam189</i>	50
Gambar 42. Geometri Element <i>Shell181</i>	51
Gambar 43. <i>Input material properties</i> pada <i>Ansys Mechanical APDL</i>	52
Gambar 44. Pendefinisian penampang profil untuk <i>beam</i>	52
Gambar 45. Input tebal plat.....	53
Gambar 46. Input <i>Keypoint</i>	53
Gambar 47. Pembuatan model garis pada <i>Ansys</i>	54
Gambar 48. Tampilan model dalam bentuk plot <i>lines</i>	54
Gambar 49. Plot area model lambung U	54
Gambar 50. Inputan ukuran mesh.....	55
Gambar 51. Perbedaan sebelum dan sesudah di- <i>mesh</i>	56
Gambar 52. Kondisi batas menurut <i>ABS</i>	57
Gambar 53. Pemilihan kondisi batas pada <i>Ansys Mechanical</i>	57

Gambar 54. Hasil analisa dimana kondisi batas belum benar	58
Gambar 55. Gambaran tumpuan sederhana	58
Gambar 56. Inputan <i>load pressure</i>	61
Gambar 57. Ilustrasi penginputan beban pada model.....	61
Gambar 58. Tampilan penerapan kondisi batas dan beban pada model.....	61
Gambar 59. Tampilan <i>running</i> sedang berlangsung	62
Gambar 60. Tampilan <i>running</i> sudah selesai dan berhasil	63
Gambar 61. Pemilihan hasil perhitungan pada <i>Ansys Mechanical</i>	63
Gambar 62. Tampilan <i>plot result</i>	64
Gambar 63. Tampilan <i>list result</i>	65
Gambar 64. Tampilan <i>query result</i>	65
Gambar 65. Contoh perbedaan geometri mesh ukuran 0,1 (kiri) dan 0,05 (kanan).....	67
Gambar 66. Perbandingan <i>section</i> U dan V hasil dari <i>formdata</i>	70
Gambar 67. Perbandingan pemuatan pada ruang muat berbentuk V dan U.....	70
Gambar 68. Hasil <i>modeling</i> lambung V di <i>maxsurf</i>	71
Gambar 69. Hasil <i>modeling</i> lambung U di <i>maxsurf</i>	71
Gambar 70. Hasil perhitungan <i>hydrostatic</i> kedua model di <i>maxsurf</i>	72
Gambar 71. Ilustrasi perbandingan gerakan lambung akibat gelombang	79
Gambar 72. Ilustrasi kejadian <i>slamming</i>	81
Gambar 73. Hasil analisa tegangan <i>Von mises</i> model lambung U	82
Gambar 74. Hasil analisa tegangan <i>Von mises</i> pada model lambung V	82
Gambar 75. Letak tegangan terbesar	83
Gambar 76. Salah satu contoh reaksi tumpuan pada model	85
Gambar 77. Perbandingan area bergelombang dalam satu rute	87

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1. Hasil perhitungan <i>bottom impact pressure</i> dengan LR.....	59
Grafik 2. Hasil perhitungan <i>side shell impact pressure</i> dengan LR.....	60
Grafik 3. Hasil perhitungan beban muatan.....	60
Grafik 4. Hasil konvergensi berdasarkan ukuran <i>mesh</i>	68
Grafik 5. Hasil konvergensi berdasarkan jumlah <i>mesh</i>	68
Grafik 6. Hasil perhitungan <i>RAO Heave</i> pada <i>CG</i>	73
Grafik 7. Hasil perhitungan <i>RAO Pitch</i> pada <i>CG</i>	73
Grafik 8. Hasil <i>Spectrum</i> Gelombang Jonswap $H_s = 1.502$, $U = 15 \text{ knots}$	74
Grafik 9. Hasil perhitungan <i>wave spectrum encounter</i>	74
Grafik 10. Hasil <i>RAO of RBM</i>	75
Grafik 11. Hasil perhitungan <i>spectrum of RBM</i>	75
Grafik 12. Hasil perhitungan <i>spectra relative velocity</i>	76
Grafik 13. Hasil perhitungan <i>spectrum relative acceleration</i>	76
Grafik 14. Perbandingan hasil perhitungan probabilitas <i>slamming</i>	77
Grafik 15. Hasil perbandingan periode <i>slamming</i> dalam detik	78
Grafik 16. Hasil perbandingan frekuensi <i>slamming</i> per detik	78
Grafik 17. Hasil perbandingan jumlah kejadian <i>slamming</i> dalam satu tahun	79
Grafik 18. Perbandingan hasil perhitungan beban <i>slamming</i>	80
Grafik 19. Hasil tegangan <i>Von mises</i> model dengan variasi kecepatan	83
Grafik 20. Perbandingan <i>cycles</i> dan tegangan	85
Grafik 21. Hasil analisa perbandingan <i>fatigue life</i>	86
Grafik 22. Hasil analisa <i>fatigue life</i> setelah asumsi waktu pelayaran.....	88
Grafik 23. Hasil analisa <i>fatigue life</i> setelah asumsi lambung V diperkuat	89

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan konstruksi menurut Rule BKI Vol. II	94
Lampiran 2. Hasil perhitungan RAO lambung U kecepatan 8 knots	100
Lampiran 3. Hasil perhitungan RAO lambung U kecepatan 12 knots	101
Lampiran 4. Hasil perhitungan RAO lambung U kecepatan 16 knots	102
Lampiran 5. Hasil perhitungan RAO lambung V kecepatan 8 knots	103
Lampiran 6. Hasil perhitungan RAO lambung V kecepatan 12 knots	104
Lampiran 7. Hasil perhitungan RAO lambung V kecepatan 16 knots	105
Lampiran 8. Perhitungan <i>Slamming pressure</i> rule-LR SSC 8 knots	106
Lampiran 9. Perhitungan <i>Slamming pressure</i> rule-LR SSC 12 knots	107
Lampiran 10. Perhitungan <i>Slamming pressure</i> rule-LR SSC 16 knots	108
Lampiran 11. <i>List result</i> tegangan <i>von mises</i> U-8	109
Lampiran 12. <i>List result</i> tegangan <i>von mises</i> U-12	110
Lampiran 13. <i>List result</i> tegangan <i>von mises</i> U-16	111
Lampiran 14. <i>List result</i> tegangan <i>von mises</i> V-8	112
Lampiran 15. <i>List result</i> tegangan <i>von mises</i> V-12	113
Lampiran 16. <i>List result</i> tegangan <i>von mises</i> V-16	114
Lampiran 17. Daftar <i>Section U After</i> Formdata 1	115
Lampiran 18. Daftar <i>Section U Forwad</i> Formdata 1	116
Lampiran 19. Daftar <i>Section V After</i> Formdata 1	117
Lampiran 20. Daftar <i>Section V Forwad</i> Formdata 1	118
Lampiran 21. Daftar <i>Section N After</i> Formdata 1	119
Lampiran 22. Daftar <i>Section N Forwad</i> Formdata 1	120
Lampiran 23. Biodata Penulis	121

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bentuk lambung kapal menurut *lines plan* “*FORMDATA, Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data*”, *Danish Technical Press, Copenhagen, (1962)* terdapat tiga bentuk, yaitu bentuk V, U dan N. Variasi bentuk lambung kapal tersebut pastinya mempunyai karakteristik yang berbeda. Karakteristik tersebut berpengaruh kepada perencana untuk memilih bentuk lambung yang tepat sesuai kebutuhan perencanaan. Dari segi hidrodinamika misalnya, lambung berbentuk V memiliki tahanan gesek lebih kecil namun memiliki tahanan gelombang yang lebih besar dari pada lambung berbentuk U.

Lambung kapal tidak pernah lepas dari masalah olah gerak kapal di laut bergelombang, sehingga bentuk lambung yang direncanakan harus mampu mengatasinya. Salah satu fenomena dari gerakan kapal di laut bergelombang adalah fenomena *slamming*. *Slamming* merupakan kejadian dimana lambung kapal mengalami beda fase dengan fase gelombang laut, yang mengakibatkan bagian alas pada haluan terangkat dari permukaan dan turun menghantam gelombang. Kejadian ini menimbulkan beban *impact* dinamis berulang yang dinamakan beban *slamming* seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1. Fenomena *slamming* pada kapal pesiar

Bentuk lambung kapal berpengaruh terhadap bentuk konstruksi. Perbedaan lengkungan pada *lines plan* mengakibatkan bentuk profil juga melengkung. Hal tersebut tentunya memiliki perbedaan dari kekuatan lokal maupun kekuatan global. Perbedaan bentuk mengakibatkan nilai momen inersia berbeda, hingga menyebabkan hasil tegangan juga berbeda. Nilai tegangan yang berbeda menyebabkan umur kelelahan struktur yang berbeda pula.

Umur kelelahan struktur diakibatkan oleh beban yang terjadi secara berulang. Beban *slamming* juga termasuk beban dinamis yang dapat diperkirakan peluang, banyaknya dan besarnya dengan pendekatan statistik. Perhitungan umur kelelahan akibat beban *slamming* menjadi sangat perlu diperhitungkan. Perbedaan bentuk lambung mempengaruhi besarnya beban *slamming* dan besarnya respon tegangan struktur yang terjadi, sehingga juga menyebabkan perbedaan dari umur kelelahannya.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimanakah perbedaan peluang, jumlah dan tekanan *slamming* antara lambung kapal berbentuk V dan lambung kapal berbentuk U?
2. Bagaimanakah perbedaan tegangan struktur akibat beban *slamming* antara lambung kapal berbentuk V dan lambung kapal berbentuk U?
3. Bagaimanakah perbedaan *fatigue life* akibat beban *slamming* antara lambung kapal berbentuk V dan lambung kapal berbentuk U?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bentuk *section hull* yang dipakai adalah bentuk U dan V dari "*FORMDATA, Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data*", Danish Technical Press, Copenhagen, 1962.
2. Ukuran utama kapal adalah $LPP = 60$ m; $B = 12$ m; $T = 2.7$ m; $H = 4$ m dan $CB = 0.6$.
3. Perhitungan desain konstruksi menggunakan *Biro Klasifikasi Indonesia Rules for Hull Volume II 2014*.
4. Perhitungan *seakeeping* kapal menggunakan *Maxsurf Motion version 20*.
5. Pemodelan elemen hingga menggunakan *software ANSYS Mechanical APDL 14.5*.
6. Berat konstruksi dan gaya angkat diabaikan.

1.4. Tujuan

Tujuan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui perbedaan peluang, jumlah dan tekanan *slamming* antara lambung kapal berbentuk V dan lambung kapal berbentuk U.
2. Untuk mengetahui perbedaan tegangan struktur akibat beban *slamming* antara lambung kapal berbentuk V dan lambung kapal berbentuk U.
3. Untuk mengetahui perbedaan *fatigue life* akibat beban *slamming* antara lambung kapal berbentuk V dan lambung kapal berbentuk U.

1.5. Manfaat

Adapun manfaat bagi penulis dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Sebagai informasi penting guna meningkatkan pengetahuan di bidang perkapalan.
2. Dapat mengaplikasikan ilmu yang diperoleh untuk menunjang pengerjaan Tugas Akhir.
3. Memahami proses pemodelan *finite element* mulai dari aturan *meshing* pada *mode material properties*, kondisi pembebanan dan kondisi batas.
4. Berguna untuk memperkaya khasanah ilmu pengetahuan terutama dalam bidang konstruksi kapal.

1.6. Hipotesa

Hipotesa yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Kapal dengan lambung berbentuk U mendapat peluang, jumlah dan beban *slamming* lebih besar dari pada lambung berbentuk V.
2. Kapal dengan lambung berbentuk V mempunyai respon tegangan struktur lebih besar dari pada lambung berbentuk U.
3. Kapal dengan lambung berbentuk V mempunyai *fatigue life* lebih pendek dari pada lambung berbentuk U.

1.7. Sistematika Laporan

Untuk memperoleh hasil laporan Tugas Akhir yang sistematis dan tidak keluar dari pokok permasalahan yang telah ditentukan, maka dibuat sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian secara umum dan singkat meliputi latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat, tujuan, hipotesa dan sistematika penulisan dari Tugas Akhir yang disusun.

BAB II DASAR TEORI

Berisi tinjauan pustaka, yakni apa saja yang menjadi acuan dari penelitian Tugas Akhir ini. Dasar teori, persamaan-persamaan, *rules* dan *codes* yang digunakan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini diuraikan dalam bab ini.

BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian ini menjelaskan bagaimana langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, serta metode-metode yang digunakan. Mulai metode pembuatan *lines plan*, perhitungan *seakeeping*, perhitungan peluang jumlah dan beban *slamming*, pemodelan struktur hingga memperoleh hasil tegangan, dan perhitungan *fatigue life*.

BAB IV KONVERGENSI

Bab ini menjelaskan proses pemilihan elemen, ukuran dan bentuk elemen yang mendekati nilai sesungguhnya hingga terjadinya hasil yang konvergen.

BAB V ANALISA HASIL

Membahas tentang tahapan analisa perbandingan hasil pada *hull-U* dan *hull-V*. Hasil yang dibandingkan meliputi : peluang *slamming*, banyaknya kejadian *slamming*, beban *slamming*, respon tegangan struktur dan *fatigue life*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Menjelaskan tentang kesimpulan penting yang diperoleh dari hasil analisa perbandingan *fatigue* antara *hull-V* dan *hull-U* untuk menjawab permasalahan yang diajukan atau dirumuskan. Selain itu saran juga diperlukan dalam bab ini, dengan tujuan sebagai masukan-masukan pada penelitian-penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

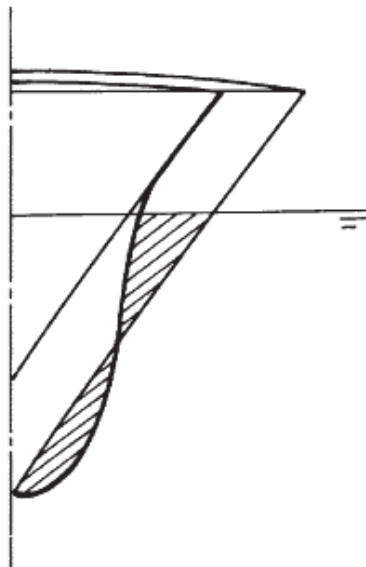
BAB II

DASAR TEORI

2.1. Bentuk Lambung V dan U

Lambung kapal atau dalam bahasa Inggris disebut *hull* adalah badan dari perahu atau kapal yang umumnya merupakan bagian terbesar dari kapal. Lambung kapal menyediakan gaya angkat atau *bouyancy* yang menyebabkan kapal terapung dan dirancang agar sekecil mungkin menimbulkan gesekan dengan air, khususnya untuk kapal dengan kecepatan tinggi.

Perencanaan lambung kapal merupakan hal yang sangat penting dalam membuat kapal karena merupakan dasar perhitungan stabilitas kapal, besarnya tahanan k apal. Tahanan kapal berdampak pada kecepatan kapal, besaran daya mesin dan konsumsi bahan bakar. Lambung kapal juga harus didesain dapat mengangkat barang dengan jumlah dan jenis tertentu.



Gambar 2. Bentuk potongan depan U dan V dengan luasan di bawah sarat sama

Bentuk potongan bagian depan dapat dianalogikan menyerupai huruf V dan huruf U. Potongan melintang dari garis air hingga *keel* bentuk V ekstrim dan bentuk U ekstrim harus mempunyai luas penampang yang sama. Menurut Schneekluth dan Bertram (1998), terdapat beberapa keuntungan dan kerugian pemilihan bentuk U atau V

Keuntungan bentuk lambung V adalah sebagai berikut :

1. Volume *topside* lebih besar.
2. *WPA* (*Water Plan Area*) lebih besar, sehingga memperbesar momen inersia dari *WPA* dan meninggikan *centre of buoyancy*, dimana keduanya meninggikan nilai *KM* (*Keel to Metacentre*).
3. Permukaan basah lebih kecil, berat baja yang digunakan lebih rendah.
4. Mengurangi kontruksi melengkung, pembuatan lebih mudah dan lebih murah.
5. Kemampuan *seakeeping* lebih baik.
6. *Deck* area yang lebih luas, sangat cocok pada bagian *hatch* depan pada *container*.
7. Dalam kondisi *ballast* pada *displacement* tertentu, bentuk V lebih mudah menenggelamkan pada sarat yang diinginkan dari pada bentuk U.

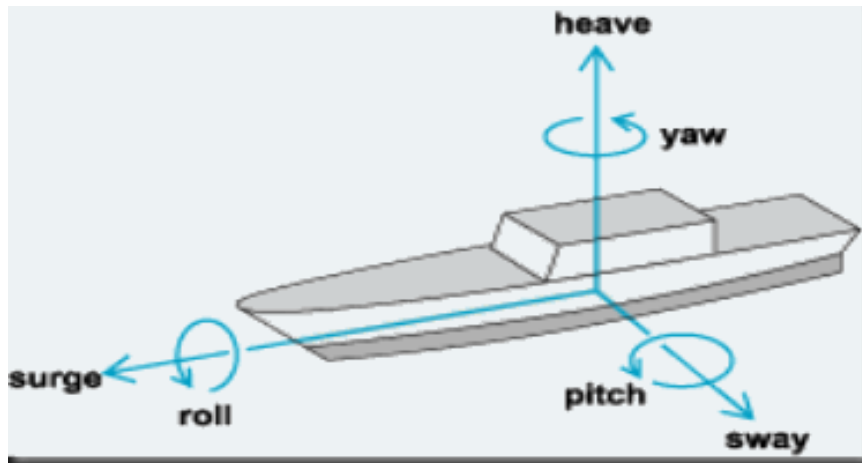
Kerugian bentuk V di *forebody* memiliki tahanan gelombang yang lebih tinggi dan memiliki tahanan gesek yang lebih kecil. Sehingga menyebabkan tahanan keseluruhan lebih tinggi dari bentuk U, untuk $0.18 < Fn < 0.25$ (tergantung pada efek lain yang mempengaruhi bentuk). Bentuk V di *forebody* hanya memiliki efek menguntungkan pada resistensi :

1. Untuk kapal *General Cargo* , pada $Fn < 0.18$ atau $Fn > 0.25$.
2. Untuk kapal dengan $B/T > 3.5$, dalam kisaran yang agak lebih besar.

2.2. Dinamika Kapal (*Ship Motions*)

Seakeeping adalah nilai ukur baik buruknya sebuah kapal beroperasi dengan baik pada kondisi lingkungan tertentu. Kondisi lingkungan tersebut dapat direncanakan sebelumnya dengan dugaan kondisi ekstrim pada suatu wilayah operasi yang direncanakan. Semakin baik gerakan kapal dalam melewati gelombang, maka semakin baik *seakeeping* kapal tersebut. Kemampuan *seakeeping* sering dikaitkan dengan *seasickness* atau mabuk laut yang dialami oleh awak kapal atau penumpang.

Setiap kapal memiliki karakteristik gerakan berbeda ketika memperoleh gaya dari gelombang, bergantung pada faktor bentuk lambung, letak titik berat dan faktor lainnya. Gerakan kapal sendiri dibagi menjadi 6 macam berdasarkan sumbu geraknya, yakni 3 gerak translasi dan 3 gerak rotasi. Gerak translasi arah sumbu X adalah *Surge*, arah sumbu Y adalah *Sway* dan arah sumbu Z adalah *Heave*. Sedangkan gerak rotasi pada sumbu X adalah *Roll*, pada sumbu Y adalah *Pitch* dan pada sumbu Z adalah *Yaw*.



Gambar 3. Macam gerakan kapal berdasarkan sumbu axis

2.2.1. Gerakan Relatif Vertikal pada CG

Saat kapal berlayar, kapal akan mengalami gerakan vertikal sepanjang kapal dengan gerakan harmoni sederhana. Gerakan vertikal ini adalah gerakan *heave* dan *pitch*. Dimana gerakan *heave* dan *pitch* ini berpusat pada titik berat kapal itu sendiri.

Berdasarkan Hukum Newton II maka semua gaya yang bekerja pada sebuah benda (*strip*) adalah sama dengan per kalian antara massa strip terhadap percepatannya. Persamaan untuk *heaving* :

$$m \cdot \ddot{z} = \Sigma F$$

Persamaan 1. Gerakan *Heaving* menurut hukum Newton II

Persamaan untuk *pitching* :

$$I \cdot \ddot{\theta} = \Sigma M$$

Persamaan 2. Gerakan *Pitching* menurut hukum Newton II

dengan :

ΣF = Total gaya fluida atau gaya eksternal.

ΣM = Total moment gaya akibat gerak relatif terhadap gelombang.

m = Massa kapal

I = *Moment Inertia* kapal

\ddot{z} = Gerakan *heave*

$\ddot{\theta}$ = Gerakan *pitch*

Persamaan di atas dapat disempurnakan dengan menambahkan *added mass* kapal, *damping* dan gaya pengembali, sehingga menurut Bhattacharyya (1978) menjadi :

Heave :

$$(m + a_z)\ddot{z} + b\dot{z} + cz + d\ddot{\theta} + e\dot{\theta} + h\theta = F(t)$$

Persamaan 3. *Heaving* yang disempurnakan

Pitch :

$$(I_{yy} + A_{yy})\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta + D\ddot{z} + E\dot{z} + Hz = M(t)$$

Persamaan 4. *Pitching* yang disempurnakan

Keterangan :

a_z = *added mass heaving*

b, B = *damping coefficient* untuk *heaving, pitching*

c, C = *restoring force coefficient* untuk *heaving, pitching*

d, D = *inertial moment coefficient* *heaving, pitching*

e, E = *damping moment coefficient* *heaving, pitching*

$F(t)$ = *exciting force*

I_{yy} = *momen inersia kapal*

A_{yy} = *added mass pitching*

$M(t)$ = *exciting moment*

Setelah menghitung komponen-komponen hidrodinamis di atas, maka didapatkan persamaan *heaving* dan *pitching* sebagai berikut :

Heave :

$$z = z_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_z)$$

Persamaan 5. Waktu gerakan *Heaving*

Pitch :

$$\theta = \theta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_\theta)$$

Persamaan 6. Waktu gerakan *Pitching*

dimana :

Z = gerakan *heave*

Z_a = amplitudo *heave*

ε_z = sudut fase *heave*

θ = gerakan *pitch*

θ_a = amplitudo *pitch*

ε_θ = sudut fase *pitch*

2.2.2. Gerakan Relatif Vertikal pada Haluan

Gerakan vertikal pada sepanjang kapal akan berbeda-beda. Hal ini terjadi karena terjadi gerakan *heave* dan *pitch* bersamaan. Gerakan ini dinamakan *coupled heaving and pitching motion*. Menurut Bhattacharyya (1978), gerakan vertikal sepanjang kapal dirumuskan sebagai berikut :

$$z_b = z + \xi \sin \theta$$

Persamaan 7. Gerakan vertikal haluan

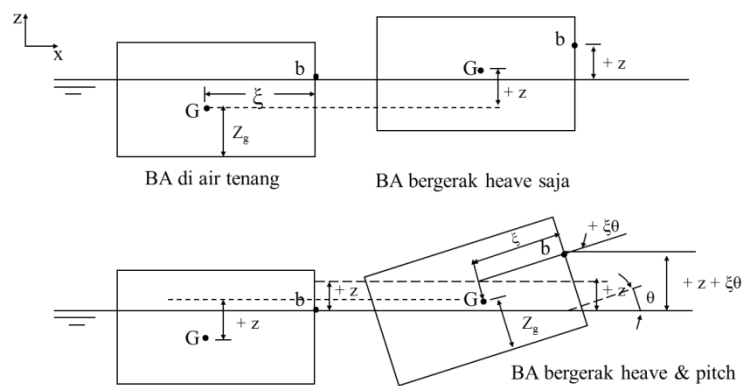
dimana :

z_b = *vertical motion*

z = *heaving motion*

ξ = jarak *section* terhadap CG

θ = *pitching motion*



Gambar 4. *Vertical motion*

Gerakan vertikal merupakan gerakan di setiap titik di sepanjang kapal di atas gelombang regular. Dalam persamaan gelombang regular, jika *heave* dan *pitch* di kopelkan sebagai berikut :

$$z_b = z_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_z) + \xi \theta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_\theta)$$

$$= (z_b)_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_b)$$

Persamaan 8. Gerakan gabungan *heave* dan *pitch* untuk gerakan vertikal haluan

dimana :

z_b = gerakan relatif gabungan

$(z_b)_a$ = amplitudo gerakan di titik b

$$= \sqrt{z_a^2 + (\xi\theta_a)^2 + 2z_a\xi\theta_a \cos(\varepsilon_z + \varepsilon_\theta)}$$

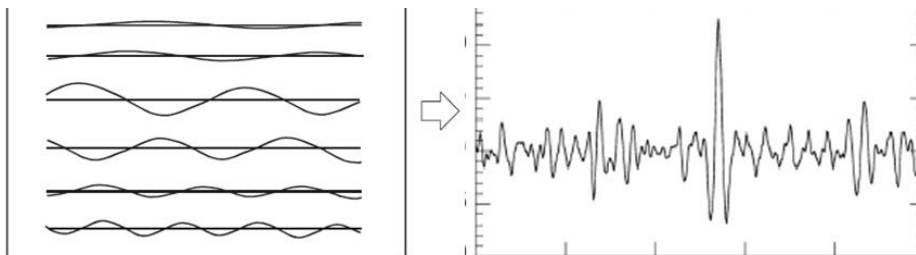
ε_b = sudut fase gerakan di titik b

$$= \frac{z_a \sin \varepsilon_z + \xi\theta_a \sin \varepsilon_\theta}{z_a \cos \varepsilon_z + \xi\theta_a \cos \varepsilon_\theta}$$

2.2.3. Gelombang *Irregular*

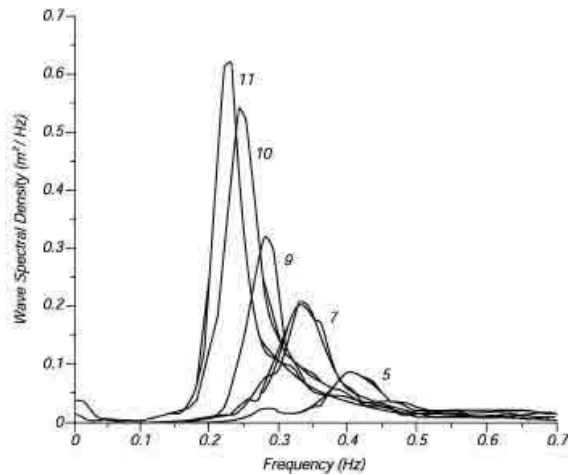
Gelombang *irregular* adalah gelombang acak yang terjadi akibat penjumlahan dari banyak gelombang yang memiliki frekuensi, tinggi dan fase gelombang yang berbeda-beda. Mempelajari perilaku gelombang laut yang mempunyai gerakan tidak konstan tersebut perlu menggunakan pendekatan statistik, yang mana pendekatan ini dapat mewakili keadaan sebenarnya.

Gelombang acak merupakan superposisi dari gelombang-gelombang regular dalam jumlah yang sangat banyak (teoretis sampai dengan tak berhingga), dengan kombinasi variasi tinggi gelombang H (m) dan frekuensi ω (rad/det).



Gambar 5. Contoh gelombang *irregular*

Dalam merencanakan struktur bangunan apung, diperlukan informasi karakteristik (*spectra*) gelombang diaman bangunan apung ter sebut dioperasikan. Namun tidak semua lautan telah dilakukan observasi pengambilan data gelombang. Dalam perancangan struktur bangunan laut dapat memilih data lingkungan yang dianggap mirip dengan daerah operasi. Selain itu juga dapat menggunakan formula spectra gelombang yang telah dikembangkan oleh beberapa institusi. Diantaranya adalah : Pierson & Moskowitz, Bretschneider, Ochi & Hubble, Jonswap, ITTC & ISSC *spectrum* dan lain sebagainya.



Gambar 6. Jonswap *spectrum*

Proses pengukuran gelombang laut secara menyeluruh akhirnya akan menghasilkan informasi dalam bentuk spektra kepadatan energi yang termuat pada suatu gelombang acak, atau disingkat spektra gelombang. Kontribusi intensitas gelombang-gelombang reguler dalam membentuk gelombang acak dinyatakan dalam bentuk spektrum kepadatan energi gelombang (spektrum gelombang). Energi per 1 m² luas permukaan gelombang (Nugraha, 2011).

Berdasarkan hal tersebut di atas, bilamana karakteristik respons struktur akibat eksitasi gelombang reguler/*Response Amplitudo Operator (RAO)* telah diketahui, maka respons struktur akibat eksitasi oleh gelombang acak kemudian dapat dihitung dengan menyusun kembali komponen energi respons yang timbul akibat pengaruh tiap-tiap gelombang dengan variasi H (m) dan ω (rad/det). Harap diingat bahwa suatu kurva *RAO* adalah memuat harga repons yang bervariasi tergantung dari harga ω (rad/det), sedangkan variasi H (m) pada tiap-tiap harga ω (rad/det) akan mengakibatkan perubahan respon yang linier.

2.3. Slamming

Sebuah kejadian *slamming* dicirikan dengan suatu beban tiba-tiba dengan durasi yang relatif singkat yang dikenakan pada badan kapal. Peristiwa ini terjadi ketika badan kapal memasuki air dengan sudut relatif kecil antara permukaan lambung dan permukaan air. Dalam hal ini, daerah kontak antara lambung dan permukaan air terjadi pada kecepatan tinggi, meskipun kecepatan gerak lambung sedang (Kapsenberg, 2011).

Slamming terjadi karena terdapat beda fase struktur kapal dengan fase gelombang. Perbedaan fase ini menyebabkan struktur kapal dapat terangkat keluar dari permukaan laut dan setelah itu jatuh menghantam permukaan laut tersebut. Kejadian masuknya lambung kapal ke dalam permukaan laut ini terjadi begitu cepat hingga menghasilkan beban *impact* yang disebut beban *slamming*. Kejadian *slamming* dapat terjadi berulang-ulang dan dikategorikan sebagai beban dinamis.

2.3.1. Peluang Terjadinya Slamming

Menurut Bhattacharyya (1978), *slamming* akan terjadi bilamana 2 (dua) syarat berikut terpenuhi :

1. Dasar haluan naik melewati (*emerge*) gelombang, atau dengan kata lain gerakan relatif vertikal haluan melampaui sarat air bagian haluan ($z_b > T_b$), dan
2. Kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati harga kecepatan ambang batas *slamming* atau *threshold velocity*. Perlu dicatat disini, efek *Slamming* yang sebenarnya hanya terjadi atau dialami oleh bangunan laut bilamana pada saat dasar haluan masuk kembali ke dalam air atau gelombang mempunyai kecepatan tertentu. Bilamana kecepatan terlalu rendah maka haluan dapat dikatakan hanya mencelup kembali ke dalam air, sehingga efek *slamming* atau hempasan tidak akan terasa.

Dengan demikian peluang terjadinya *slamming* harus juga memenuhi 2 (dua) syarat tersebut, yakni, pertama harus memperhitungkan peluang gerakan vertikal haluan relatif lebih besar dari sarat air bagian haluan, atau secara matematis dituliskan:

$$\Pr(\text{haluanterangkat}) = \Pr(Z_{br} > T_b) = \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}}\right)$$

Persamaan 9. Peluang terjadinya haluan terangkat

dimana :

Pr = peluang terjadinya *slamming*

Z_{br} = gerakan vertikal di haluan

T_b = sarat haluan

m_{0zbr} = luasan *respons spectrum* pada gerakan relatif kapal di haluan

m_{0Vbr} = luasan *respons spectrum relative velocity* di haluan

Kedua, peluang kecepatan relatif vertikal haluan lebih besar dari kecepatan ambang batas *slamming*:

$$Pr(\text{kec. ambang batas terlampaui}) = Pr(V_{br} > V_{th}) = \exp\left(-\frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right)$$

Persamaan 10. Peluang kecepatan ambang *slamming*

dimana :

V_{br} = kecepatan relatif vertikal

V_{th} = kecepatan ambang batas *slamming*

Peluang terjadinya *slamming* dengan demikian adalah kombinasi Persamaan 9 dan Persamaan 10, yang dapat dituliskan:

$$Pr(\text{slam}) = Pr(Z_{br} > T_b \text{ dan } V_{br} > V_{th}) = \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right)$$

Persamaan 11. Peluang terjadinya *slamming*

Bhattacharyya (1978) memberikan acuan = 12.0 ft/det (= 3.65 m/det) untuk kapal dengan panjang 520 ft (= 158.5 m), bila panjang kapal mempunyai harga panjang berbeda maka dapat diperoleh dengan memperhitungkan hukum skala, yakni ft/det. Sebagai misal kapal yang dikaji mempunyai = 550 ft (= 167.6 m) maka kecepatan ambang batasnya adalah = 12.6 ft/det (= 3.84 m/det).

2.3.2. Jumlah Kejadian *Slamming*

Sedangkan untuk frekuensi terjadinya *slamming* per satuan waktu (Ns) dapat diprediksi dengan persamaan :

$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \Pr(slam)$$

Persamaan 12. Jumlah kejadian *slamming* per detik

N_{slam} = jumlah kejadian *slamming* per detik

m_{2zbr} = luasan respon *spectrum* pada kecepatan *relative* pada haluan

Bilamana ingin diketahui jumlah kejadian *slamming* dalam waktu operasi tertentu, satuan jam misalkan. Maka dapat di hitung dengan modifikasi persamaan (12) atau (13) sebagai berikut :

$$N_{slam(T_0, jam)} = \frac{3600 \times T_0}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right)$$

Persamaan 13. Jumlah kejadian *slamming* per jam

2.3.3. Beban *Slamming*

Menurut Bhattacharyya (1978), besarnya tekanan yang terjadi pada dasar kapal di haluan akibat adanya *slamming* dapat dihitung dengan mempertimbangkan kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim V_{br} , yaitu :

$$P_s = \frac{1}{2} \rho k V_{br}^2 \text{ (kPa)}$$

Persamaan 14. Besarnya beban *slamming*

dimana,

P_s = Beban *slamming*

ρ = massa jenis fluida

k = koefisien *slamming* (= 9.0 rata-rata)

V_{br} = kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim

$$V_{br} = \sqrt{2 \times \ln \left\{ \frac{3600 \times T_0}{2\pi} \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right) \right\} \sqrt{\frac{m_{2Vbr}}{m_{0Vbr}}} \times \sqrt{m_{0Vbr}} \text{ (m/s)}$$

Persamaan 15. Kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim

dimana,

m_{2Vbr} = luasan respon *spectrum* pada percepatan *relative* pada haluan

2.4. Struktur

Struktur adalah cara sesuatu disusun atau di bangun; susunan; bangunan; yang disusun dengan pola tertentu; pengaturan unsur atau bagian suatu benda; ketentuan unsur-unsur dari suatu benda; pengaturan pola dalam bahasa secara sintagmatis (Pusat Bahasa, 2005).

Definisi struktur dalam konteks hubungannya dengan bangunan adalah sebagai sarana untuk menyalurkan beban dan akibat penggunaannya dan atau kehadiran bangunan ke dalam tanah (Schodek, 1998).

Merancang struktur adalah tindakan menempatkan unsur-unsur pokok dan merumuskan hubungan-hubungan timbal baliknya dengan tujuan menanamkan karakter yang diinginkan pada entitas struktur sebagai resultanya. Gagasan bahwa unsur-unsur itu ditempatkan dan hubungan itu berkaitan erat dengan setiap unsur-unsur, merupakan konsep dasar merancang struktur (Schodek, 1998).

Konstruksi merupakan suatu kegiatan membangun sarana maupun prasarana. Dalam sebuah bidang arsitektur atau teknik sipil, sebuah konstruksi juga dikenal sebagai bangunan atau satuan infrastruktur pada sebuah area atau pada beberapa area. Secara ringkas konstruksi didefinisikan sebagai objek keseluruhan bangunan yang terdiri dari bagian-bagian struktur. Misal, Konstruksi Struktur Bangunan adalah bentuk/bangun secara keseluruhan dari struktur bangunan. contoh lain: Konstruksi Jalan Raya, Konstruksi Jembatan, Konstruksi Kapal, dan lain lain (id.wikipedia.org, 2015).

Membuat struktur sangatlah penting diawali dengan merancang atau mendesain struktur itu sendiri. Kegiatan mendesain ini meliputi perhitungan-perhitungan matematika fisika yang diaplikasikan bahwa struktur mampu menahan beban-beban yang telah diasumsikan terlebih dahulu. Desain dari suatu struktur dapat berbeda-beda, bergantung pada selera atau pengalaman desainer. Nilai keindahan dapat juga diterapkan pada suatu struktur.

Berbeda sekali dengan struktur-stuktur di darat, sebuah kapal tidak ditumpu pada suatu sistem tumpuan tetap tetapi memperoleh tumpuan menyeluruh dari gaya tekan ke atas yang diberikan oleh sebuah lingkungan fluida yang dinamis dan selalu berubah (Rosyid dan Setyawan, 1999)

2.4.1. Tegangan dan Regangan

Konsep paling dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan normal dan regangan normal. Konsep ini dapat diilustrasikan dalam bentuk yang paling mendasar dengan meninjau sebuah batang prismatis yang mengalami gaya aksial. Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata di seluruh potongan melintang, dapat dilihat bahwa *resultan* sama dengan intensitas tegangan σ dikalikan dengan luas penampang A dari batang tersebut.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

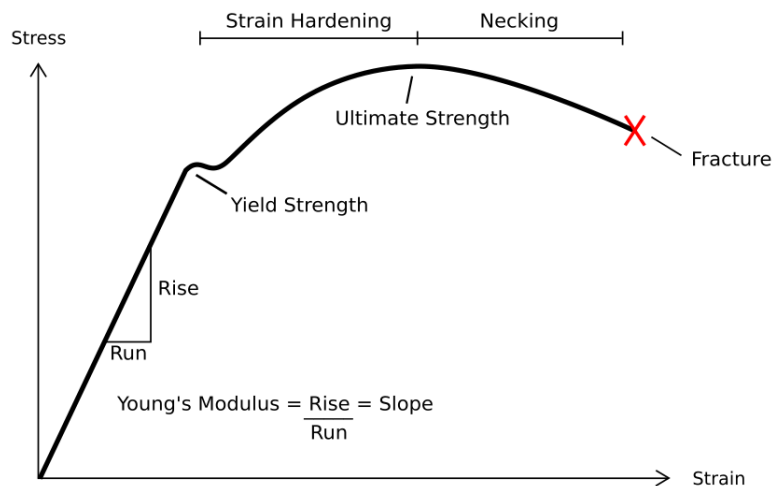
Persamaan 16. Tegangan aksial

Sedangkan regangan adalah perubahan panjang suatu batang jika mengalami beban tarik aksial atau tekan aksial. Jika batang tersebut mengalami beban tarik, maka regangannya disebut regangan tarik. Jika batang tersebut mengalami beban tekan, maka dinamakan regangan tekan. Persamaan regangan dirumuskan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Persamaan 17. Regangan aksial

Untuk mengetahui kekuatan suatu material, dilakukanlah pengujian tarik dengan spesimen dari material yang akan diuji. Sehingga didapatkan hubungan tegangan dan regangan seperti grafik dibawah ini :



Gambar 7. Diagram tegangan regangan material

2.4.2. Elastisitas Linier, Hukum *Hooke* dan Rasio *Poisson*

Banyak bahan struktural, termasuk bahan metal, kayu, plastik dan keramik, berperilaku elastis dan linier ketika dibebani pertama kali. Akibatnya, kurva tegangan-regangan dimulai dengan garis lurus yang melewati titik asalnya dan mempunyai slope tertentu. Apabila suatu bahan berperilaku elastis dan juga mempunyai hubungan linier antara tegangan dan regangan, bahan ini disebut elastis linier. Perilaku ini sangat penting di dalam rekayasa konstruksi dengan mendesain struktur agar bertahan pada daerah ini, untuk menghindari deformasi permanen akibat luluh (Gere dan Timoshenko, 1997).

Hubungan linier antara tegangan dan regangan dinyatakan dalam persamaan yang dikenal dengan hukum *Hooke*, yaitu :

$$\sigma = E\varepsilon$$

Persamaan 18. *Hooke*

E adalah konstanta proporsionalitas yang dikenal dengan modulus elastisitas atau *modulus young*. Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastisitas linier. Modulus elastisitas mempunyai harga yang relatif besar untuk bahan yang sangat kaku. Baja mempunyai modulus elastisitas sekitar 210 Gpa.

Rasio regangan lateral ε' terhadap regangan aksial ε dikenal dengan rasio poisson dan diberi notasi huruf ν , dengan rumus seperti di bawah ini :

$$\nu = \frac{\text{lateral strain}}{\text{axial strain}} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$$

Persamaan 19. Rasio *Poisson*

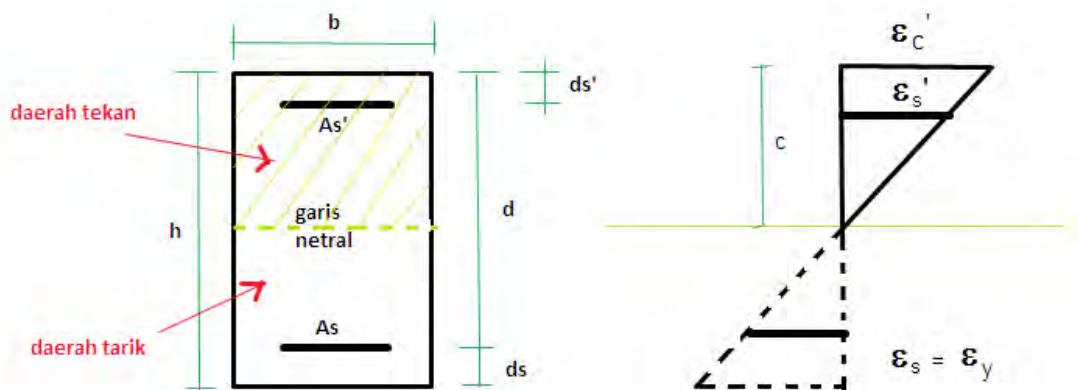
Bahan yang mempunyai besaran yang sama dalam semua arah (aksial, lateral, dan di antaranya) disebut *isotropik*. Jika besarnya berbeda pada berbagai arah, maka bahan tersebut disebut *anisotropik* (atau *aelotropik*). Plastik yang diperkuat dengan serat dan beton bertulang dengan batang tulangan baja adalah bahan komposit yang memperlihatkan jenis ketiga, yaitu *ortotropik*.

2.4.3. Tegangan Normal pada Balok

Tegangan normal terjadi akibat elemen balok yang terkena gaya geser atau momen lentur. Jika gaya aksial bekerja pada elemen batang, maka gaya geser dan momen lentur bekerja pada elemen balok yang mendapat beban lateral atau tegak lurus dengan sumbu

batang. Jika semua beban bekerja di bidang yang sama, dan jika semua defleksi terjadi di bidang tersebut, maka bidang tersebut disebut bidang lentur (*plane of bending*).

Regangan longitudinal di suatu balok dapat diperoleh dengan menganalisis kelengkungan suatu balok beserta deformasinya. Pada kejadian deformasi lentur akibat momen positif, pada bagian permukaan bawah balok mengalami bentuk cembung yang terjadi adalah menerima tegangan tarik. Sedangkan permukaan balok bagian atas mengalami bentuk cekung yang terjadi adalah menerima tegangan tekan. Antara bagian atas dan bawah balok terdapat garis longitudinal yang tidak berubah panjangnya, yang disebut sebagai sumbu netral dimana tegangan di daerah ini mengecil hingga sama dengan nol. Kejadian tersebut digambarkan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 8. Tegangan geser pada balok

Besar tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_x = - \frac{My}{I} = - \frac{M}{E_{penampang}}$$

Persamaan 20. Tegangan geser pada balok

dimana,

M = Momen lentur yang bekerja pada balok

y = jarak tegangan yang dihitung terhadap netral axis

I = momen inertia penampang balok

$E_{penampang}$ = Modulus penampang balok

2.4.4. Tegangan *Principial* dan Tegangan *Von mises (Equivalent Stress)*

Ketika struktur dikenakan beban yang terus meningkat dan akhirnya gagal. Hal ini relatif mudah untuk menentukan titik kegagalan suatu struktur untuk kekuatan tarik tunggal. Data-data kekuatan material dapat menjadi acuan pengidentifikasi kekuatan ini. Namun ketika struktur dibebani dengan sejumlah beban dalam arah yang berbeda, beberapa di antaranya tarik dan beberapa di antaranya geser, maka penentuan titik kegagalan lebih rumit (Roymech, 2011).

Logam dapat secara luas dipisahkan menjadi logam *Ductile* dan logam *Brittle*. Contoh logam *ductile* termasuk *mild steel*, tembaga dll. Besi cor adalah logam *brittle*. Logam *ductile* dengan tingkat *stress* yang tinggi akan mengalami deformasi plastis pada titik yield tertentu atau yield bertahap yang lebih lama dan kemudian gagal. Sedangkan logam *brittle* mengalami sedikit perpanjangan plastis sebelum terjadinya kegagalan dan kegagalannya pun umumnya terjadi tiba-tiba.

Teori *principal stress* maksimum adalah teori yang dikembangkan oleh Rankine. Teori ini digunakan untuk koreksi pendekatan perhitungan tegangan kegagalan untuk besi cor dan material *brittle* lainnya. Menurut teori ini kegagalan akan terjadi ketika *principal stress* maksimum dalam suatu sistem mencapai nilai kekuatan maksimum pada batas elastis dalam tegangan sederhana material tersebut. Untuk kasus stres dua dimensi dan tiga dimensi menurut en.wikiversity.org (2014) diperoleh dari rumus di bawah ini.

Untuk dua dimensi :

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{2}\right)^2 + \sigma_{12}^2}$$

Persamaan 21. Tegangan *principal* 1st untuk 2 dimensi

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{2}\right)^2 + \sigma_{12}^2}$$

Persamaan 22. Tegangan *principal* 2nd untuk 2 dimensi

dan untuk tiga dimensi:

$$\sigma_1 = \frac{I_1}{3} + \frac{2}{3} \left(\sqrt{I_1^2 - 3I_2} \right) \cos \phi$$

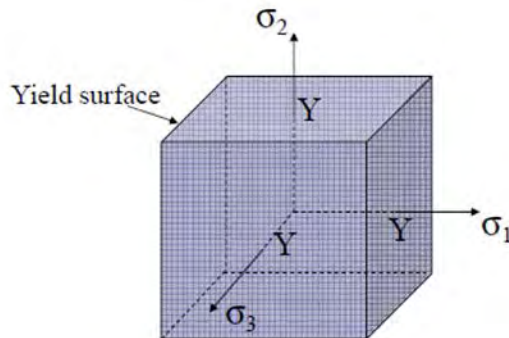
Persamaan 23. Tegangan *principal* 1st untuk 3 dimensi

$$\sigma_2 = \frac{I_1}{3} + \frac{2}{3} \left(\sqrt{I_1^2 - 3I_2} \right) \cos \left(\phi + \frac{2\pi}{3} \right)$$

Persamaan 24. Tegangan *principal* 2nd untuk 3 dimensi

$$\sigma_3 = \frac{I_1}{3} + \frac{2}{3} \left(\sqrt{I_1^2 - 3I_2} \right) \cos \left(\phi + \frac{4\pi}{3} \right)$$

Persamaan 25. Tegangan *principal* 3rd untuk 3 dimensi

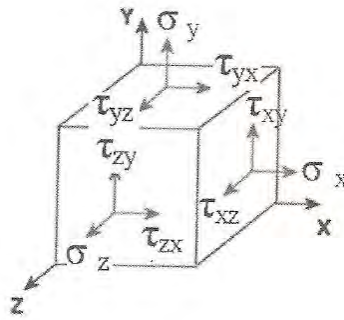


Gambar 9. Teori *principal stress* tiga dimensi

The Von Mises Kriteria, juga dikenal sebagai kriteria maksimum energi distorsi, teori tegangan geser oktahedral, atau teori *Maxwell-Huber-Hencky-von Mises*, sering digunakan untuk memperkirakan titik kegagalan untuk material *ductile*. Kriteria *von Mises* menyatakan bahwa kegagalan terjadi ketika energi distorsi atau tegangan mencapai nilai yang sama untuk hasil / kegagalan dalam uji kegagalan material pada beban aksial sederhana (eFunda, 2015).

Energi regangan adalah energi yang tersimpan dalam material akibat deformasi elastis. Energi regangan mirip dengan energi yang tersimpan dalam pegas. Energi regangan dipandang dari dua jenis: hasil satu bagian dari perubahan dimensi yang saling tegak lurus dalam suatu volume, dengan tidak ada perubahan perubahan sudut lain yang muncul dari distorsi sudut tanpa perubahan volume. Yang terakhir disebut sebagai energi regangan geser, yang telah terbukti menjadi penyebab utama kegagalan elastis (Roymech, 2011).

Von Mises stress, juga dikenal sebagai *Huber stress*, adalah kriteria yang memperhitungkan enam komponen tegangan yang digambarkan tiga dimensi seperti gambar dibawah ini (Kurowsk 2012).



Gambar 10. Kriteria *Von Mises* dengan 6 komponen tegangan

Von Mises stress σ_{vm} , dengan enam komponen tegangannya dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0.5 \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \right] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

Persamaan 26. Tegangan *Von Mises*

2.5. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik fisika dan matematika. Suatu masalah khusus yang menarik di bidang teknik dan matematika fisika yang dipecahkan dengan menggunakan metode elemen hingga meliputi analisa struktur, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massal, dan potensi elektromagnetik (Logan, 2007).

Metode elemen hingga (*FEM*) adalah teknik numerik untuk memecahkan masalah yang dijelaskan oleh persamaan diferensial parsial atau dapat dirumuskan sebagai fungsional minimalisasi. Sebuah domain disajikan sebagai perakitan elemen terbatas. Fungsi pendekatan dalam elemen hingga ditentukan dalam nilai nodal dari bidang fisik yang dicari. Permasalahan fisik selalu diubah menjadi perhitungan terdiskritisasi elemen hingga dengan nilai-nilai *unknown nodals* (Nikishkov, 2007).

Terdapat dua pendekatan umum dalam metode elemen hingga menurut Tawekal (2010), yaitu :

1. Metode fleksibilitas. Gaya dalam pada struktur digunakan sebagai variabel yang harus dicari (*unknown*) dalam metode ini. Persamaan keseimbangan digunakan untuk mendapatkan persamaan pengatur (*governing equation*). Kemudian, persamaan lainnya didapat dengan memberikan syarat kompatibilitas (*compatibility equations*).

-
2. Metode Kekakuan/Perpindahan (*Displacement/Stiffness Method*). Perpindahan titik simpul (nodes) digunakan sebagai variabel yang harus dicari (unknowns) dalam metode ini. Syarat kompatibilitas mengharuskan elemen yang berhubungan (*connected*) akan tetap berhubungan setelah mengalami deformasi.

Untuk kebutuhan komputasi, metode kekakuan lebih menguntungkan karena formulasi untuk masalah struktur lebih sederhana dari pada metode fleksibilitas.

2.5.1. Langkah Umum Metode Elemen Hingga

Menurut Tawekal (2010), berdasarkan metode kekakuan, langkah umum Metode Elemen Hingga bisa diuraikan dalam 8 langkah (*step*).

1. Pembagian dan Pemilihan Jenis Elemen.

Benda atau struktur dibagi menjadi suatu sistem elemen-elemen hingga. Penentuan jenis elemen dilakukan agar model mewakili sifat benda yang sebenarnya. Pemilihan jumlah, variasi ukuran, dan jenis elemen membutuhkan “*engineering judgement*”. Elemen bar atau truss (batang) dan beam adalah jenis elemen garis. Elemen 2 dimensi yang paling sederhana adalah elemen segitiga (*triangular*) dan elemen segi empat (*quadrilateral*), serta elemen 3 dimensi yang umum digunakan adalah elemen *tetrahedral* dan elemen *hexahedral*.

2. Pemilihan fungsi perpindahan.

Fungsi perpindahan (*displacement function*) dalam elemen ditentukan dengan menggunakan harga atau koordinat titik simpul (*nodal*) elemen.

3. Tentukan hubungan strain/displacement dan stress/displacement.

Hubungan strain-displacement dan stress-strain sangat penting dalam penurunan persamaan-persamaan dalam elemen hingga. Untuk kasus deformasi 1-dimensi (misalnya arah sumbu-x) hubungan *strain* (regangan) ϵ_x dengan *displacement* (perpindahan) u dinyatakan dengan:

$$\epsilon_x = \frac{du}{dx}$$

Persamaan 27. Hubungan strain/displacement dan stress/displacement

Persamaan tersebut berlaku untuk regangan yang relatif kecil.

Hubungan *stresses* (tegangan) σ_x dengan regangan ϵ_x dinyatakan dalam hukum *stress-strain* yang biasa disebut *constitutive law*. Hubungan tegangan-regangan

yang paling sederhana dan sering digunakan adalah hukum Hooke, yaitu seperti pada Persamaan 18 pada halaman 18.

4. Penurunan matrik dan persamaan kekakuan elemen.

Pada awalnya, pengembangan matrik kekakuan dan persamaan elemen diturunkan dari konsep koefisien pengaruh kekakuan yang digunakan dalam analisa struktur. Terdapat tiga metode, yaitu metode kesetimbangan (*direct equilibrium method*), metode energi (*work of energi method*) dan *method of weighted residuals*.

Dengan menggunakan metode-metode tersebut, akan menghasilkan persamaan-persamaan menggambarkan sifat/jenis dari elemen. Persamaan-persamaan tersebut biasanya dituliskan dalam bentuk matrik berikut:

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & \cdots & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ k_{n1} & \cdots & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix}$$

Persamaan 28. Kekakuan elemen

atau dalam bentuk singkat berikut:

$$\{f\} = [k]\{d\}$$

Persamaan 29. Kekakuan elemen dalam bentuk singkat

dimana:

$\{f\}$ = vektor gaya pada titik simpul

$[k]$ = matrik kekakuan elemen

$\{d\}$ = vektor perpindahan titik simpul

5. Penggabungan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global/total dan penetapan syarat batas.

Setelah persamaan setiap elemen didapat, kemudian digabungkan dengan metode superposisi (disebut "*direct stiffness method*") berdasarkan kesetimbangan gaya pada titik simpul. Persamaan global dapat dituliskan dalam bentuk matrik berikut:

$$\{F\} = [K]\{d\}$$

Persamaan 30. Kekakuan elemen global

dimana:

$\{F\}$ = vektor gaya global pada titik simpul

$[K]$ = matrik kekakuan global struktur

$\{d\}$ = vektor perpindahan titik simpul = *unknown*

6. Penyelesaian persamaan global.

Dengan menerapkan syarat batas pada persamaan global, didapat sekumpulan persamaan simultan yang dituliskan dalam bentuk matrik berikut:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \cdots & K_{1n} \\ K_{21} & \cdots & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ K_{n1} & \cdots & \cdots & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix}$$

Persamaan 31. Matrik kekakuan elemen global

Dimana n = jumlah total derajat kebebasan titik simpul struktur

Persamaan di atas dapat diselesaikan dengan metode eliminasi (seperti metode *Gauss*) atau metode iterasi (seperti metode *Gauss-Seidel*) untuk mendapatkan nilai perpindahan titik simpul (*nodals*).

7. Penyelesaian regangan dan tegangan elemen.

Tegangan dan regangan bisa didapat dari persamaan hubungan stress-strain dan strain-displacement. Persamaan tersebut bisa langsung dimasukkan ke dalam persamaan global, sehingga tegangan elemen bisa langsung didapat.

8. Interpretasi hasil.

Langkah terakhir adalah menginterpretasikan atau menganalisa hasil yang didapat untuk digunakan dalam proses analisa atau perancangan selanjutnya. Penentuan lokasi dimana deformasi dan tegangan besar adalah hal yang penting dalam proses desain tersebut.

2.5.2. Tipe Elemen

Penentuan jenis elemen sangatlah penting, agar model yang dibuat dapat mewakili sifat benda atau struktur yang sebenarnya. Elemen bar atau truss (batang) dan beam adalah jenis elemen garis. Elemen 2 dimensi yang paling sederhana adalah elemen segitiga (*triangular*) dan elemen segi empat (*quadrilateral*), serta elemen 3 dimensi yang umum

digunakan adalah elemen *tetrahedral* dan elemen *hexahedral*. Berikut penjelasan singkat mengenai beberapa macam elemen:

1. Elemen pegas (*spring element*)

Matrik kekakuan dalam elemen pegas adalah \underline{k} yang memenuhi persamaan :

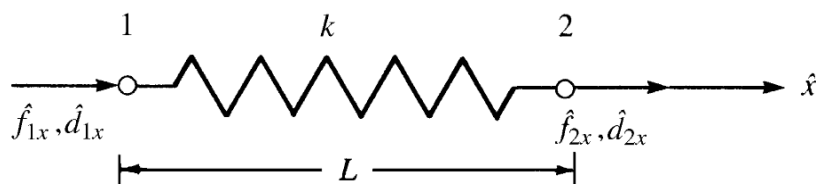
$$\underline{f} = \underline{k} \cdot \underline{d}$$

Persamaan 32. Kekakuan pegas

dimana \underline{k} menghubungkan perpindahan titik simpul \underline{d} dalam koordinat lokal elemen (x,y,z) dengan gaya lokal \underline{f} pada satuan elemen. Sehingga, persamaan satu elemen menjadi:

$$\begin{Bmatrix} f_{1x} \\ f_{2x} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{2x} \end{Bmatrix}$$

Persamaan 33. Matrik kekakuan elemen pegas



Gambar 11. Elemen pegas linier

2. Elemen batang (*bar/truss element*)

Penurunan matrik kekakuan elemen batang dilakukan dengan asumsi berikut:

- Batang tidak menahan gaya geser (*shear*).
- Pengaruh *displacement* arah melintang diabaikan.
- Material linier elastik sehingga berlaku hukum *Hooke*.
- Tidak ada gaya yang bekerja di tengah batang.

Penurunan matrik berdasarkan hukum *Hooke* didapatkan matrik kekakuan elemen batang sebagai berikut:

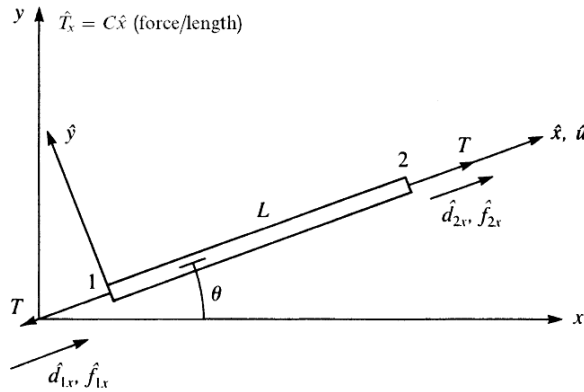
$$\underline{k} = \frac{AE}{L}$$

Persamaan 34. Kekakuan elemen batang

sehingga persamaan elemen menjadi :

$$\begin{Bmatrix} f_{1x} \\ f_{2x} \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{2x} \end{Bmatrix}$$

Persamaan 35. Matrik kekakuan elemen batang



Gambar 12. Elemen batang (*truss*)

3. Elemen balok (*beam element*)

Balok adalah bagian struktur yang panjang dan langsing. Balok biasanya menanggung beban tr ansversal, sehingga menimbulkan efek lentur yang sangat besar dibanding efek puntir atau aksial. Deformasi balok biasanya diberikan sebagai displacement translasi dan rotasi, sehingga derajat kebebasan pada setiap simpul adalah translasi dan rotasi.

Penurunan matrik kekakuan elemen batang adalah sebagai berikut:

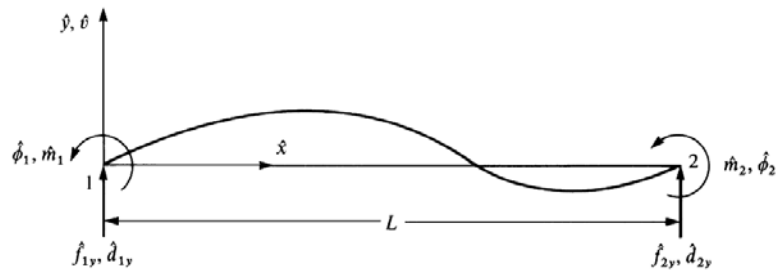
$$\underline{k} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ & & 12 & -6L \\ \text{symm} & & & 4L^2 \end{bmatrix}$$

Persamaan 36. Kekakuan elemen balok

sehingga persamaan elemen menjadi:

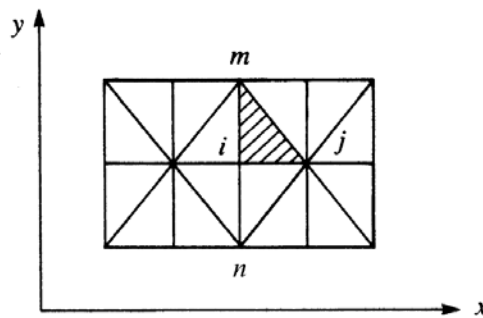
$$\begin{Bmatrix} f_{1y} \\ m_1 \\ f_{2y} \\ m_2 \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ & & 12 & -6L \\ \text{symm} & & & 4L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1y} \\ \phi_1 \\ d_{2y} \\ \phi_2 \end{Bmatrix}$$

Persamaan 37. Matrik kekakuan elemen balok



Gambar 13. Elemen balok (*beam element*)

4. Elemen segitiga (*triangular element*) sebagai *plane stress-strain*



Gambar 14. Plat didiskritisasi menggunakan elemen segitiga

Untuk menganalisis plat, kita mempertimbangkan unsur segitiga dasar seperti gambar di atas mendiskritisasi sebuah pelat. Pelat terdiskritisasi telah dibagi menjadi elemen-elemen segitiga, masing-masing dengan node seperti i; j, dan m. Kita menggunakan unsur segitiga karena pada tepian bentuk yang tidak beraturan dapat didekati erat dengan cara ini, dan karena ekspresi yang berhubungan dengan elemen segitiga relatif sederhana.

Menurut (Weaver dan Johnston 1993), matrik kekakuan elemen segitiga (*Constant Strain Triangle*) dapat dinyatakan sebagai :

$$[K] = h \cdot \Delta [B]^T [C] [B]$$

Persamaan 38. Kekakuan elemen segitiga

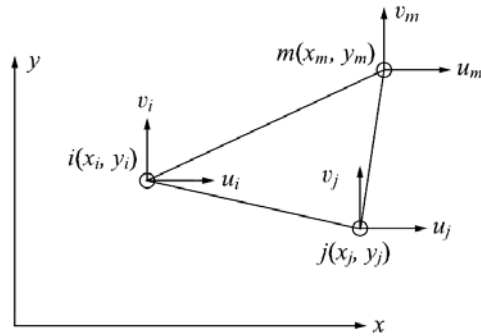
dimana:

$[K]$ = matriks kekakuan elemen

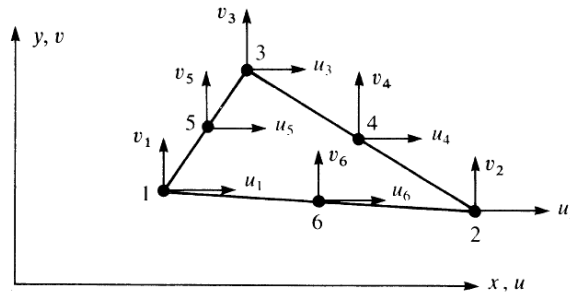
h = tebal elemen

Δ = luasan elemen

- [B] = matrik gabungan
 [C] = matrik elastisitas



Gambar 15. Elemen segitiga (*triangular*) dengan 3 nodals



Gambar 16. Elemen segitiga dengan 6 nodals

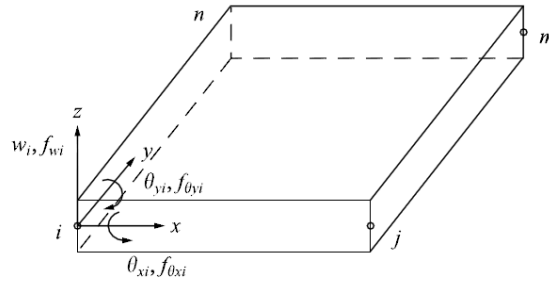
5. Elemen segiempat (*quadrilateral*) sebagai *plate bending*

Plat dapat dianggap sebagai perpanjangan dua dimensi dari balok ditebuk sederhana. Balok dan pelat, keduanya mendukung pembebanan secara melintang atau tegak lurus terhadap luasannya dan dapat dibending. Plat datar (jika itu melengkung, itu akan menjadi *shell*). Balok memiliki ketahanan momen lentur tunggal, sementara plat tahan lentur dua sumbu dan memiliki momen memutar (Logan, 2007).

Kirchhof mengasumsikan sebagai berikut:

1. Bahwa tegangan geser melintang $\gamma_{yz} = 0$ dan juga $\gamma_{xz} = 0$. Namun, γ_{xy} tidak sama = 0; sudut yang awalnya tegak lurus pada bidang plat mungkin tidak akan tegak lurus setelah pembebanan. Plat dapat memutar pada bidang.
2. Perubahan tebal dapat diabaikan. Ini berarti tegangan normal, $\epsilon_z = 0$.
3. Tegangan normal σ_z tidak menimbulkan efek pada tegangan bidang ϵ_x dan ϵ_y di persamaan *stress-strain* dan dianggap diabaikan.
4. Membran atau gaya pada bidang diabaikan di sini, dan resistensi tegangan bidang dapat ditumpangkan kemudian (yaitu, elemen segitiga dengan regangan

konstan dapat ditumpangkan sebagai elemen plat *bending*). Artinya, dalam deformasi bidang arah x dan y di tengah permukaan yang diasumsikan nol; $u(x,y,0) = 0$ dan $v(x,y,0) = 0$.



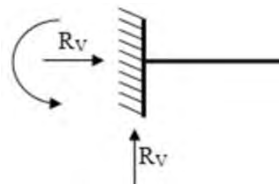
Gambar 17. Basic rectangular elemen plat dengan 4 nodes derajat kebebasan

2.5.3. Kondisi Batas

Menurut Tawekal (2010), kondisi batas harus ditentukan agar matrik kekakuan global tidak *singular* dan struktur tidak bergerak sebagai benda pejal (*rigid body*).

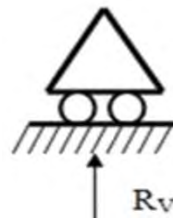
Sifat-sifat gaya reaksi yang timbul pada suatu benda yang mendapat beban tergantung bagaimana benda tersebut ditumpu atau bagaimana benda tersebut disambung dengan benda lain. Ada beberapa pengondisian tumpuan pada sebuah struktur. Pada umumnya tumpuan yang sering kita jumpai pada struktur adalah tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*) dan tumpuan sendi/engsel.

1. **Tumpuan jepit (*fix*)** dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen. Dengan demikian tumpuan jepit mempunyai tiga gaya reaksi.



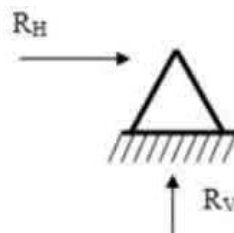
Gambar 18. Simbol tumpuan jepit (*fix*)

2. **Tumpuan roda (*roll*)** hanya dapat menerima gaya dalam arah tegak lurus *roll* dan tidak mampu menahan momen. Jadi tumpuan *roll* hanya mempunyai satu gaya reaksi yang tegak lurus dengan *roll*.



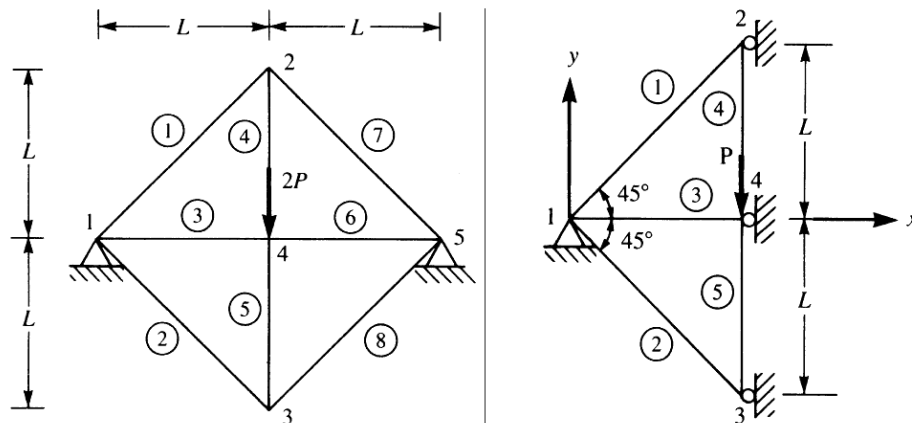
Gambar 19. Simbol tumpuan *roll*

3. **Tumpuan sendi/engsel** dapat menerima gaya dari segala arah tetapi tidak mampu menahan momen. Dengan demikian tumpuan sendi mempunyai dua gaya reaksi.



Gambar 20. Simbol tumpuan sendi/engsel

Kegunaan lain dari kondisi batas ini adalah menyederhanakan pemodelan benda yang ingin kita hitung. Salah satu contoh adalah pemangkasan model simetri yang diubah menjadi setengahnya dan digantikan oleh tumpuan *roll* tegak lurus dengan garis simetrinya. Gambar dibawah ini menggambarkan hal tersebut.



Gambar 21. Pemodelan simetri

2.5.4. Nodal Equivalent untuk Beban Permukaan Merata

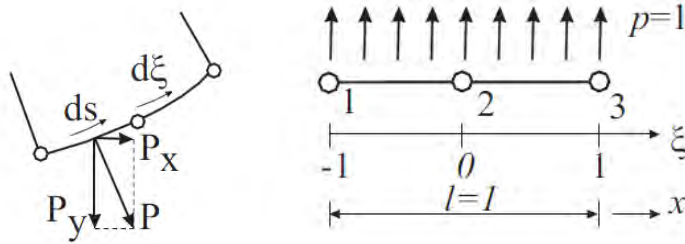
Menurut Nikishkov (2007), untuk menghitung nodal ekuivalen pada beban permukaan, integral permukaan diganti oleh integrasi garis sepanjang sisi elemen. Fraksi beban permukaan dievaluasi sebagai berikut :

$$\{p\} = \int_S [N]^T \{p^S\} dS = \int_{-1}^1 [N]^T \{p^S\} \frac{ds}{d\xi} d\xi$$

$$\frac{ds}{d\xi} = \sqrt{\left(\frac{dx}{d\xi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\xi}\right)^2}$$

Persamaan 39. Nodal ekuivalen

Sebagai contoh perhitungan nodal ekuivalen dari beban didistribusikan dengan intensitas konstan yang diterapkan pada sisi elemen *quadratic* dua dimensi :



Gambar 22. Contoh nodal ekuivalen pada beban permukaan

Nodal ekuivalen dari beban terdistribusikan dihitung sebagai :

$$\{p\} = \int_{-1}^1 [N]^T p \frac{dx}{d\xi} d\xi$$

atau

$$\{p\} = \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{Bmatrix} = \int_{-1}^1 \begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{Bmatrix} p \frac{dx}{d\xi} d\xi, \quad \frac{dx}{d\xi} = \frac{1}{2}$$

sehingga diperoleh nilai pada masing-masing nodal sebagai berikut:

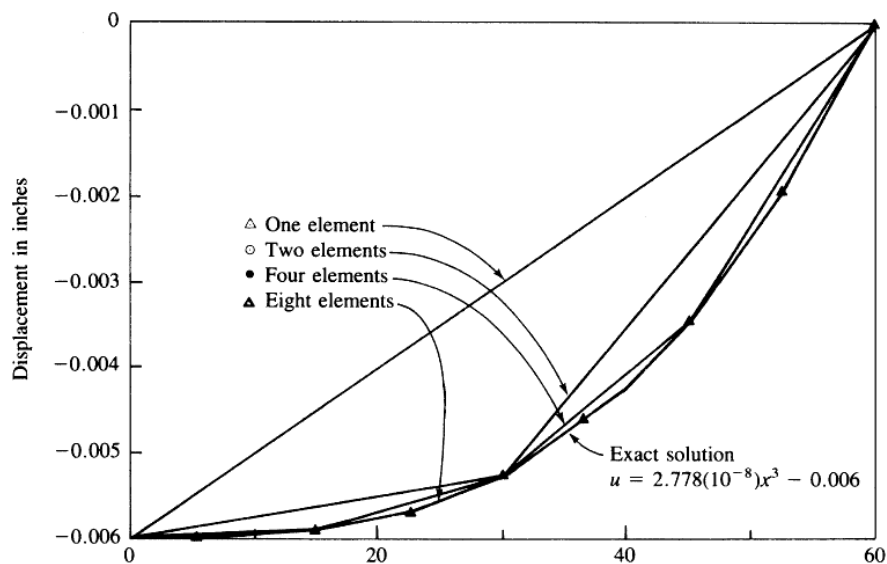
$$p_1 = - \int_{-1}^1 \frac{1}{2} \xi(1 - \xi) \frac{1}{2} d\xi = \frac{1}{6}$$

$$p_2 = \int_{-1}^1 (1 - \xi^2) \frac{1}{2} d\xi = \frac{2}{3}$$

$$p_3 = \int_{-1}^1 \frac{1}{2} \xi(1 + \xi) \frac{1}{2} d\xi = \frac{1}{6}$$

2.5.5. Konvergensi

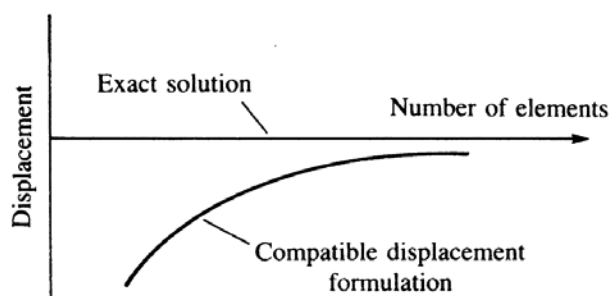
Dalam literatur mengenai metode elemen hingga (*FEM*), seringkali disebutkan bahwa akurasi solusi elemen hingga semakin meningkat dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan, akan tetapi dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan untuk komputasi juga semakin besar. Bahkan terkadang jumlah elemen yang terlalu besar akan meningkatkan *round-off error* (Madenci dan Guven, 2006).



Gambar 23. Perbandingan solusi eksak dengan elemen hingga

Hasil perhitungan elemen hingga hampir mendekati dengan hasil perhitungan eksak di *node* poinnya. Alasan mengapa nilai-nilai nodal tersebut dapat mendekati solusi eksak bahwa gaya yang bekerja pada nodal disetiap elemen dihitung atas dasar energi beban ekuivalen yang didistribusikan merata pada setiap elemen. Meskipun nilai perpindahan nodal tersebut sesuai dengan solusi eksak, namun nilai-nilai di lokasi antar nodal buruk untuk jumlah elemen yang sedikit (lihat solusi satu dan dua elemen pada gambar di atas) karena hal tersebut menggunakan perpindahan fungsi linier dalam setiap elemen, sedangkan solusi eksak menggunakan fungsi kuadrat (Logan, 2007).

Rekomendasi untuk menentukan jumlah elemen dengan akurasi hasil yang bisa diterima dalam suatu analisis elemen hingga adalah dengan melakukan uji konvergensi (*convergence test*) terhadap hasil yang diperoleh. Misal untuk analisis *displacement* pada suatu model, analisis awal dilakukan dengan ukuran/jumlah elemen tertentu, solusi diperoleh dengan menyelesaikan model yang digunakan. Analisis kemudian diulang dengan jumlah elemen yang lebih besar, nilai *displacement* pada lokasi tertentu dibandingkan dengan hasil analisis sebelumnya. Jika perbedaan nilai *displacement* antara kedua analisis tersebut cukup besar, maka analisis diulang lagi dengan jumlah elemen yang lebih besar hingga perbedaan nilai *displacement* tersebut dianggap cukup kecil.



Gambar 24. Contoh konvergensi hasil *displacement*

2.6. Umur Kelelahan Struktur (*Fatigue Life*)

Dalam ilmu material, kelelahan adalah melemahnya kekuatan bahan yang disebabkan oleh beban berulang kali. Kelelahan adalah kerusakan struktural progresif dan lokal yang terjadi ketika suatu material mengalami beban siklik. Nilai nominal tegangan maksimum yang menyebabkan kerusakan tersebut mungkin jauh lebih kecil daripada kekuatan material, yang biasanya mengacu pada batas tegangan *ultimate*, atau batas tegangan luluh (en.wikipedia.com, 2015).

Kelelahan terjadi ketika suatu material mengalami beban berulang. Jika beban di atas ambang tertentu, retak mikroskopik akan mulai terbentuk pada konsentrasi tegangan permukaan, dan antarmuka struktur mikro. Akhirnya retak akan mencapai ukuran kritis, retak akan menyebar tiba-tiba, dan struktur akan patah. Bentuk struktur secara signifikan akan mempengaruhi umur kelelahan. Lubang persegi atau sudut tajam akan menyebabkan tegangan lokal menjadi tinggi di mana retak kelelahan sering dimulai. Lubang bulat dan perubahan bentuk yang diperhalus atau *fillet* akan meningkatkan kekuatan kelelahan struktur, karena mengurangi konsentrasi tegangan yang terjadi.

Proses kelelahan struktur dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

1. Initial crack

Tahap ini dimana mulai muncul terjadinya retak kecil yang disebabkan konsentrasi tegangan. Pada umumnya sering muncul pada permukaan las. Kualitas las sering kali menyebabkan hal ini, juga sering terjadi pada bentuk-bentuk yang tajam dari konstruksi.

2. Crack propagation (perambatan retak)

Setelah initial *crack* muncul, maka *crack* tersebut membesar atau merambat. Perambatan retak ini sering terjadi di alur las. Perambatan retak dari masing-masing jenis material berbeda, dimana material yang brittle lebih cepat retak dari pada material *ductile*.

3. Final fracture failure

Setelah retak membesar dan menjadi kritis, di situlah terjadinya kepecahan atau kegagalan struktur. Oleh sebab itu material *ductile* lebih dipilih untuk konstruksi, karena mempunyai nilai *crack propagation* lebih kecil.

Menurut Hughes dan Paik (2010), ada tiga tipe analisa *fatigue*. Ketiga tipe analisis tersebut adalah *spectral analysis*, *Simplified analysis* dan *equivalent regular wave concept*. Dalam *spectral fatigue analysis*, perhitungan tegangan ditentukan dengan melakukan analisa gerakan kapal dan beban dalam pendekatan *spectrum* untuk variasi gelombang dan sudut hadap kapal. *Simplified analysis* adalah penentuan *range* tegangan yang terjadi dengan melakukan kombinasi beban, seperti *wave bending moment*, *torsional moment*, *external sea pressure*, dan *internal inertial load*). Sebuah pendekatan berbeda, pertengahan antara *spectral* dan *simplified* analisis disebut *equivalent regular wave* yang dikembangkan oleh Bureau Veritas.

2.6.1. S-N Diagram

Untuk analisis kelelahan berdasarkan tegangan nominal (*nominal stress approach*), bahwa hubungan antara rentang tegangan (*stress range*) dan jumlah kejadian beban (*load cycle*) telah dilakukan penelitian yang ditampilkan dalam kurva S-N. Kurva S-N memuat sebaran data hasil pengukuran kelelahan konfigurasi sambungan struktur tertentu. *Basic design* dari kurva S-N dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Log } N = \text{Log } K - m \text{ log } S$$

Persamaan 40. Kurva S-N

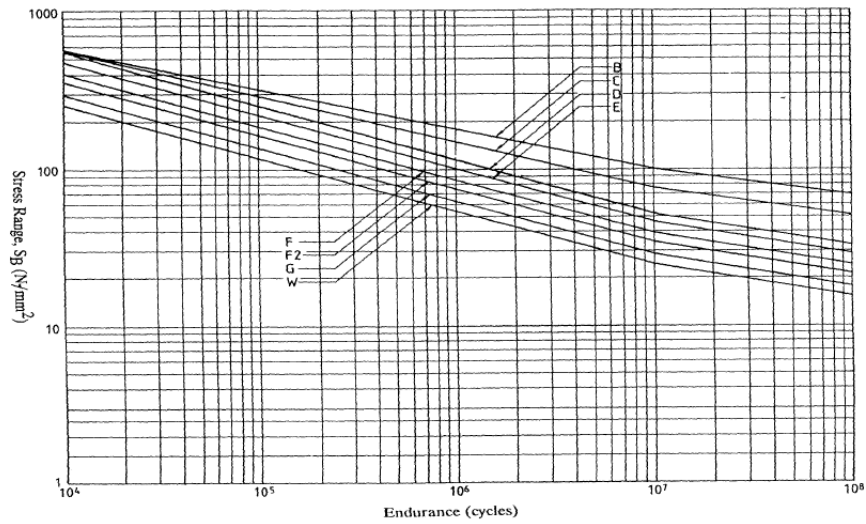
dimana:

S = Rentang tegangan

N = Nilai prediksi dari *cycles* untk gagal pada rentang tegangan S

m = nilai *slope* inverse negative dari kurva S-N

log K = *intersep* dari log N-axis pada kurva S-N



Gambar 25. S-N Curves

Class	$N \leq 10^7$		$N > 10^7$	
	A (For MPa units)	m	C (For MPa units)	r
B	1.013×10^{15}	4	1.020×10^{19}	6
C	4.227×10^{15}	3.5	2.584×10^{17}	5.5
D	1.519×10^{12}	3	4.239×10^{15}	5
E	1.035×10^{12}	3	2.300×10^{15}	5
F	6.315×10^{11}	3	9.975×10^{14}	5
F2	4.307×10^{11}	3	5.278×10^{14}	5
G	2.477×10^{11}	3	2.138×10^{14}	5
W	1.574×10^{11}	3	1.016×10^{14}	5

Tabel 1. Parameter dasar untuk desain S-N curves

2.6.2. Stress Concentration Factor

Untuk menentukan nilai tegangan yang sebenarnya terjadi atau yang menyebabkan *fatigue*, menurut Hughes dan Paik (2010) ada tiga metode. Ketiga metode tersebut adalah *nominal stress*, *hot spot stress* dan *local stress*.

Salah satu contoh *hot spot stress* diskontinuitas. Diskontinuitas (cacat las) merupakan faktor yang menimbulkan berkumpulnya tegangan di daerah tersebut, hingga menimbulkan konsentrasi tegangan yang tinggi pada daerah tersebut yang dapat menimbulkan *initial crack*.

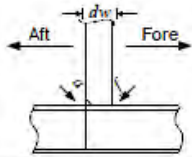
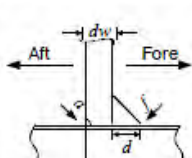
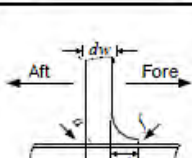
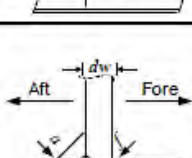
Faktor konsentrasi tegangan atau *stress concentration factor (SCF)* merupakan perbandingan antara tegangan tertinggi di suatu posisi pada sambungan (*hot spot stress*) dan tegangan nominal. *Stress Concentration Factor* karena efek geometri dinyatakan sebagai berikut :

$$SCF = \frac{\sigma_{hotspot}}{\sigma_{nominal}}$$

Persamaan 41. *Stress Concentration Factor*

Besarnya *SCF* untuk tiap sambungan akan berbeda tergantung pada geometrinya dan *SCF* ini merupakan parameter yang dapat mengindikasikan kekuatan sambungannya. Konsentrasi tegangan menggambarkan suatu kondisi dimana telah terjadi tegangan lokal yang tinggi akibat dari geometri sambungan tersebut, sehingga dibutuhkan keakuratan yang tinggi dalam penentuan nilai tegangan *hot spot*, dan juga penentuan *SCF* untuk jenis sambungan yang berbeda.

Common Structural Rules For Bulk Carriers (2006) membuat tabel untuk menentukan dan mengelompokkan jenis detail sambungan las dan faktor konsentrasi tegangan seperti tabel di bawah ini :

Structural type	Assessed point	Collar plate	Bracket size	Stress concentration factors			
				K_{St}	K_{Pst}	K_{LF}	K_{Lst}
	a	watertight	-----	1.5	1.1	1.15	1.5
		non-watertight	-----	1.65	1.1	-----	-----
	f	watertight	-----	1.1	1.05	1.55	1.05
	a	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.45	1.1	1.15	1.4
		watertight	$1.5dw \leq d$	1.4	1.05	1.15	1.35
	non-watertight	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.55	1.1	-----	-----
		watertight	$1.5dw \leq d$	1.5	1.05	-----	-----
f	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.1	1.05	1.15	1.1	
	watertight	$1.5dw \leq d$	1.05	1.05	1.1	1.05	
	a	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.4	1.1	1.1	1.35
		watertight	$1.5dw \leq d$	1.35	1.05	1.05	1.3
	non-watertight	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.5	1.1	-----	-----
		watertight	$1.5dw \leq d$	1.45	1.05	-----	-----
f	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.05	1.05	1.1	1.05	
	watertight	$1.5dw \leq d$	1.05	1.05	1.05	1.05	
	a	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.1	1.05	1.05	1.25
		watertight	$1.5dw \leq d$	1.05	1.05	1.05	1.2
	f	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.3	1.1	1.35	1.05
		watertight	$1.5dw \leq d$	1.3	1.05	1.3	1.05
	non-watertight	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.4	1.1	-----	-----
		watertight	$1.5dw \leq d$	1.4	1.05	-----	-----

Tabel 2. SCF (CSR for Bulk Carries, 2006)

Sehingga, nilai S_i yang digunakan dalam perhitungan adalah tegangan maksimum di posisi tertentu pada sambungan (*hot spot stress*) yang diperoleh dari magnifikasi tegangan nominal, $S_{i(nom)}$, dengan memperhitungkan faktor konsentrasi tegangan, *SCF* (*Stress Concentration Factor*). Sehingga tegangan maksimum dihitung dari persamaan berikut :

$$S_i = S_{i(nom)} \times SCF$$

Persamaan 42. Tegangan maksimum pada *fatigue*

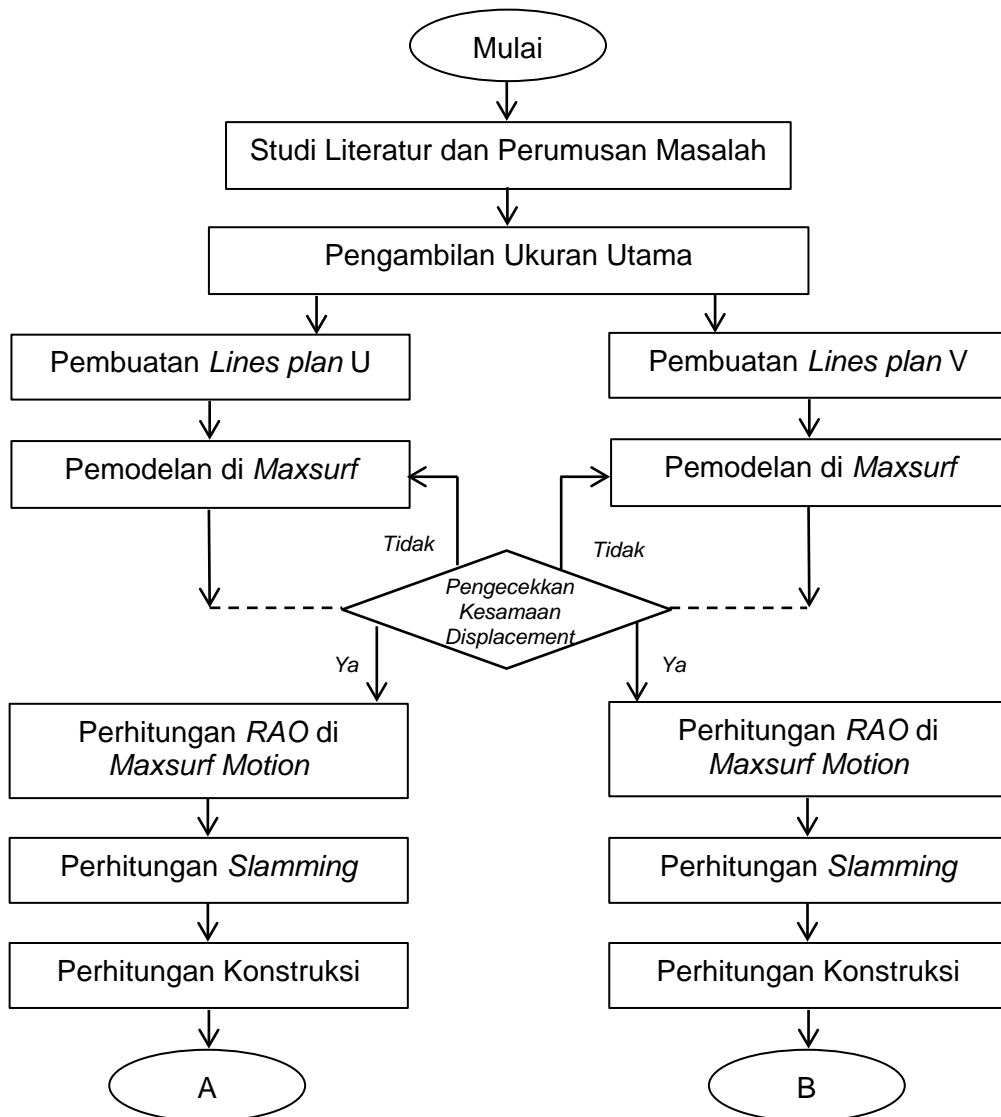
Tegangan nominal, $S_{i(nom)}$, diperoleh dari analisis struktur berdasar beban gelombang dengan bantuan perangkat lunak yang sesuai, misal: *Ansys*, *SAP*, *NASTRAN*, *GTSTRUDL*, dll.

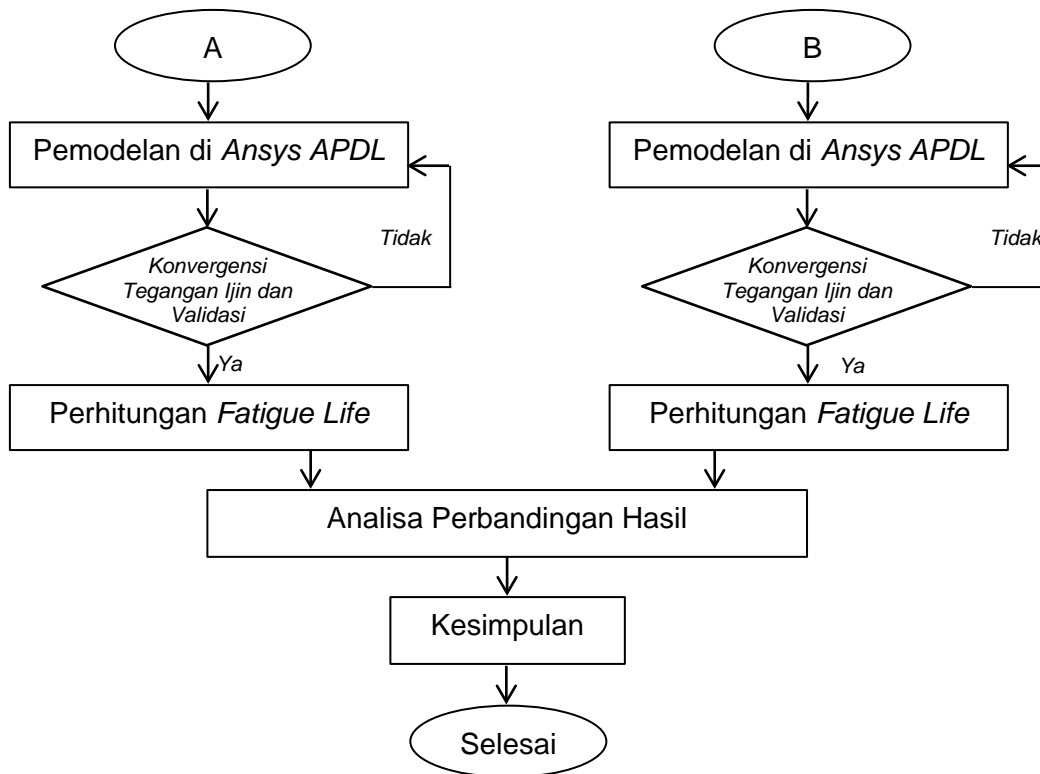
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Metodologi yang digunakan dalam menyusun Tugas Akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir di bawah ini :





Gambar 26. Diagram alir

3.2. Pengambilan Ukuran Utama Kapal

Data-data kapal yang dibutuhkan untuk pemodelan diantaranya adalah ukuran utama kapal yang meliputi panjang antara garis tegak (L_{pp}), lebar (B), sarat air (T), tinggi (H), dan kecepatan. Untuk *Coefficien Block* penulis menetapkan nilainya adalah 0.6, sesuai pada kurva *CB* dengan tipe kapal yang dibuat oleh Watson dan Gilfillan (1977).

Untuk membuat model *lines plan*, penulis melakukan pengambilan ukuran utama kapal *Cargo Passanger Sabuk Nusantara 41* yang di klaskan kepada Biro Klasifikasi Indonesia. Ukuran-ukuran utaman tersebut ditabelkan di bawah ini :

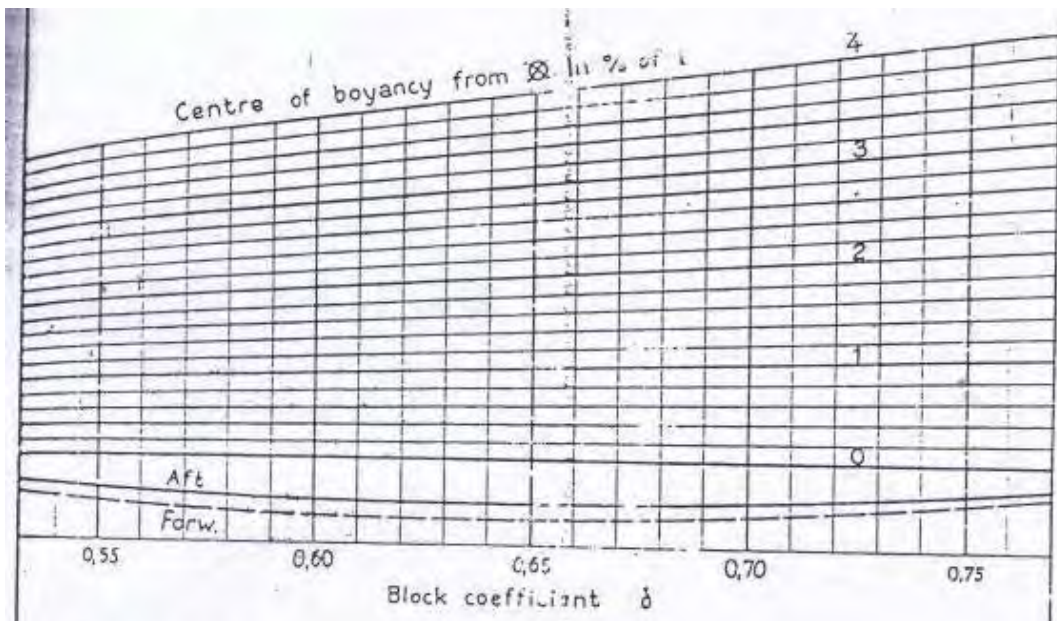
LPP	59	meter
B	12	meter
H	4	meter
T	2.7	meter
Kecepatan	12	<i>knots</i>
CB	0.6	

Tabel 3. Pengambilan ukuran utama kapal

3.3. Pembuatan *Body Plan* Lambung U dan V

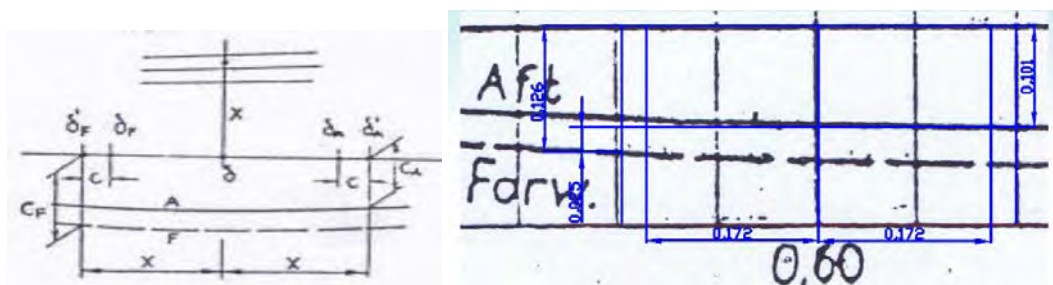
Setelah ukuran utama kapal didapatkan, maka pembuatan *body plan* dapat dilakukan menggunakan metode Formdata I. Pada FORMDATA I, *Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data* (1962). *Lines plan* dari Formdata tersebut memvariasi bentuk bagian depan dan belakang yang terdiri dari U, V dan N. Jadi pada bagian *midship* keduanya bahkan ketiganya sama, yaitu berbentuk U. Ketiga *lines plan* tersebut merupakan kapal jenis *displacement mode mono hull*. Gambar-gambar section dari Formdata I dilampirkan pada halaman 115 sampai dengan 118.

Penulis tidak memilih lambung berbentuk N, karena lambung berbentuk N adalah di antara lambung U dan V, jadi lambung berbentuk N tidak jauh berbeda dengan U maupun V. Langkah-langkah pembuatan seksi-seksi dari *body plan* diuraikan sebagai berikut :



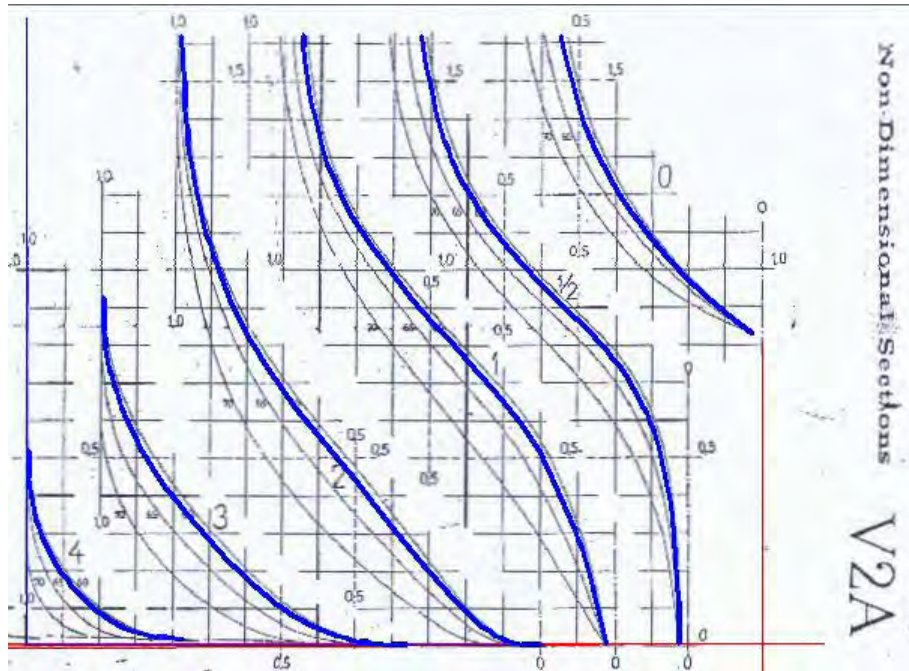
Gambar 27. Diagram kombinasi dari Formdata I

1. *Coefficient Block* dilambangkan dengan symbol δ .
2. Jarak X diukur dari δ ke δ_a dan δ_f , seperti gambar dibawah ini.



Gambar 28. Menentukan δ_a dan δ_f

3. Nilai akhir δ_a dan δ_f dikoreksi dengan $c = C_F - C_A$.
4. Ketika letak titik gaya apung berada di belakang/depan *midship*, δ'_a akan lebih besar/kecil dan δ'_f lebih kecil/besar dari pada δ .
5. Setelah nilai δ_a dan δ_f didapat, bentuk *section* dapat diambil dari kumpulan bentuk-bentuk *section* U dan V. Seperti gambar di bawah ini.

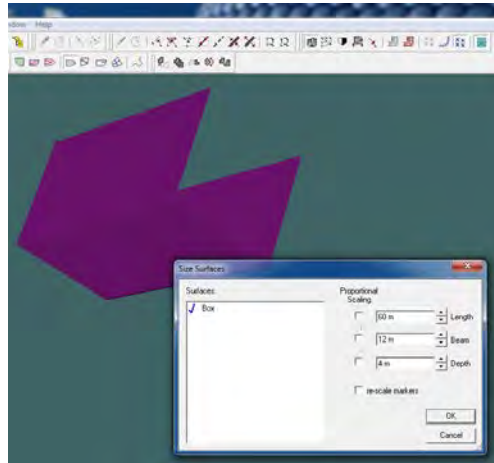


Gambar 29. Pengambilan *section Body Plan* untuk lambung V

3.4. Pembuatan *Lines Plan* dan Model di *Maxsurf*

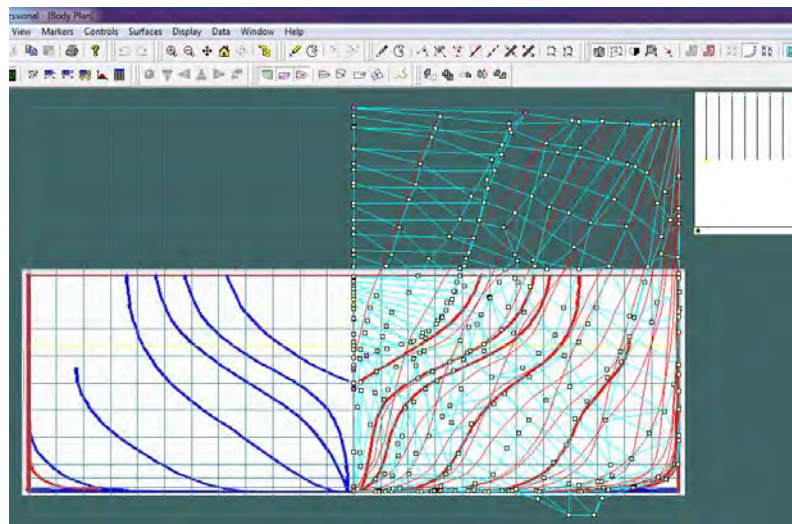
Setelah *body plan* didapatkan, langkah selanjutnya adalah membuat model pada *maxsurf modeller* agar nantinya bisa dilakukan perhitungan seakeeping pada aplikasi *maxsurf motion*. Langkah-langkah pembuatan model pada *maxsurf* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Surface* dibuat dari bentuk *box* dan menentukan ukuran *box* sesuai dengan ukuran utama model kapal yang akan dibuat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 30. Penentuan ukuran utama model kapal di *maxsurf*

2. Pandangan dirubah menjadi *body plan view*, lalu *import image background* dengan gambar *body plan* yang dibuat dari *formdata*. Kemudian atur ukuran *background* sesuai ukuran model kapal.
3. *Grid spacing* diatur sesuai dengan jarak antar *station* pada *section* yang di peroleh dari *formdata*.
4. Beberapa *control point* ditambahkan agar *surface* dapat dibentuk sesuai bentuk *section U* atau *V* yang di dapat dari *formdata*. Lebih jelasnya ditampilkan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 31. Pembentukan *section* model di *maxsurf*

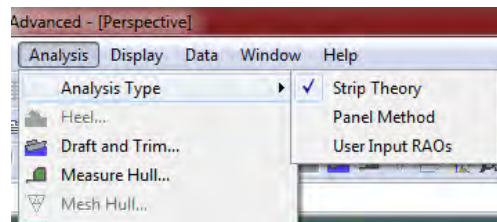
5. Control point diatur hingga garis-garis pada *body plan*, *sheer plan* dan *half breath plan* menjadi *smooth*. Hingga didapatkan model lambung yang utuh.
6. Setelah *section* dibuat, lalu dilakukan pengecekan nilai *CB* apakah benar 0.6 dengan cara memunculkan data *hydrostatic*.

3.5. Perhitungan *Response Amplitude Operator (RAO)* dengan *Maxsurf Motions*

Sebelum menghitung slamming, terlebih dulu harus menghitung *Seakeeping* atau *RAO* (*Response Amplitudo of Operator*) pada titik berat (*Center Gravity*) kedua model kapal tersebut. Perhitungan seakeeping dilakukan menggunakan aplikasi *maxsurf motions* yang masih dalam satu paket aplikasi dengan *maxsurf 20*.

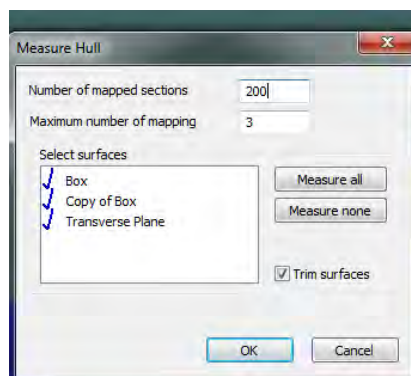
Pada aplikasi *maxsurf motions*, perhitungan didasarkan pada *strip theory* yang dikembangkan oleh *Salvansen*. Tampilan pada aplikasi *maxsurf motions* mirip dengan *maxsurf modeller* dengan toolbar yang berbeda. Tahapan perhitungan dijelaskan sebagai berikut :

1. Model kapal yang telah dibuat di *maxsurf modeller* dibuka, lalu memilih tipe analisa. Tipe analisa yang dipilih adalah *strip theory*.



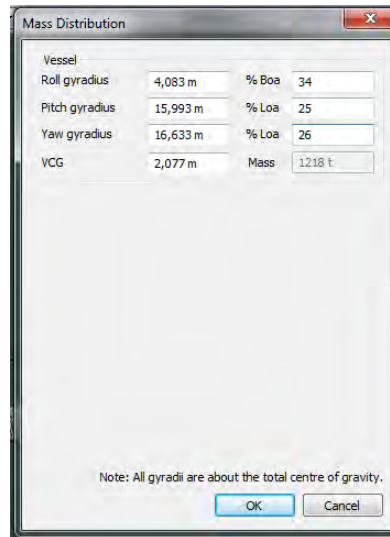
Gambar 32. Pemilihan tipe analisa pada maxsurf motions

2. Jumlah pembagian *section measure hull* diatur. Semakin banyak jumlah potongan *sections*, maka semakin banyak perhitungan yang dilakukan oleh komputer dan juga sebaliknya. Pada kasus ini penulis membagi model menjadi 200 *sections*.



Gambar 33. Input pembagian *section* pada seakeeper

3. *Mass distribution* dari model kapal tersebut ditentukan seperti menurut Wibowo (2013), radius girasi dapat dihitung sebagai : $K_{xx} = 0.34 B$, $K_{yy} = 0.25 Lwl$ dan $K_{zz} = 0.26 Lwl$. Sedangkan untuk nilai VCG dapat dihitung menggunakan rumus practical dari Watson dan Gilfillan (1977).



Mass Distribution			
Vessel			
Roll gyradius	4,083 m	% Boa	34
Pitch gyradius	15,993 m	% Loa	25
Yaw gyradius	16,633 m	% Loa	26
VCG	2,077 m	Mass	1218 t

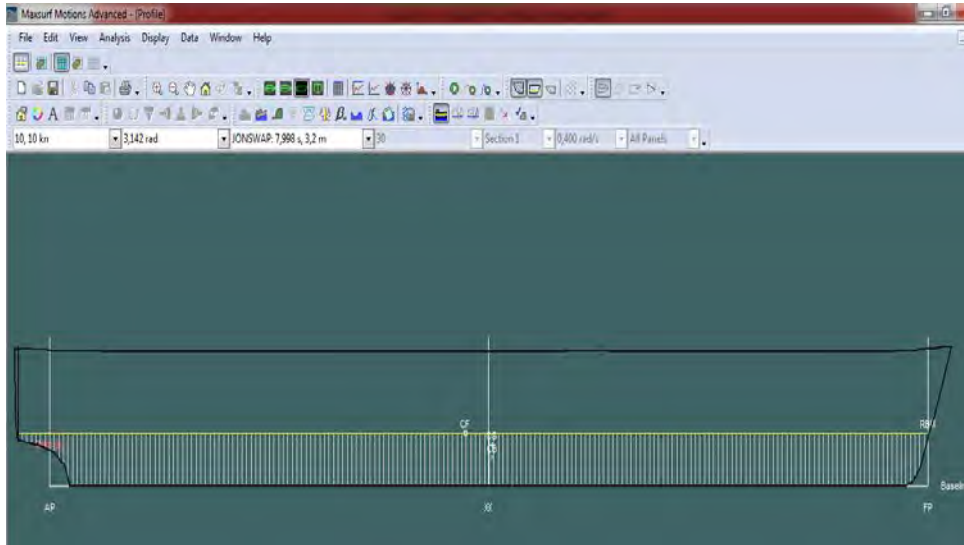
Note: All gyradii are about the total centre of gravity.

Gambar 34. *Input mass distribution*

4. Input *remote locations*, *speeds*, *headings* dan tipe *spectra* gelombang ditentukan. Dalam penelitian ini penulis memberikan variasi speed, yaitu : 8 *knots* (di bawah kecepatan dinas), 12 *knots* (kecepatan dinas) dan 16 *knots* (di atas kecepatan dinas). Untuk *headings*, penulis menetapkan *headseas* atau gelombang datang dari arah depan. Dan tipe *spectra* gelombang menggunakan Jonswap dengan tinggi gelombang tertinggi sama dengan 3 meter dan kecepatan angin 16 *knots*, sesuai dengan BMKG (2015).
5. Setelah dilakukan *running*, akan didapatkan hasil *RAO heave*, *RAO pitch*, *Wave spectra* dan *Wave Encounter*.

3.6. Perhitungan *Slamming*

Untuk menghitung *slamming* perlu transformasi *RAO Heave* dan *Pitch* menjadi *RAO of RBM*, atau merubah yang awalnya berada pada pusat titik berat kapal menuju ke titik haluan kapal. Dengan menggunakan Persamaan 8 pada halaman 11, aplikasi *maxsurf motion* akan menghasilkan *RAO of RBM*.



Gambar 35. Letak *remote location* sebagai titik b untuk perhitungan *RBM*

3.6.1. Perhitungan Peluang Terjadinya *Slamming*

Dimana m_{0zbr} adalah luasan dibawah kurva *Spectrum of RBM* dan m_{0vbr} adalah luasan kurva turunan dari *Spectrum of RBM*, yaitu *Spectrum of Relative Bow Velovity*. Dengan menggunakan Persamaan 11. Peluang terjadinya (*slamming*) pada halaman 14, nantinya akan didapatkan hasil probabilitas *slamming* untuk kecepatan 8 knots, 12 knots dan 16 knots untuk masing-masing bentuk lambung.

3.6.2. Perhitungan Banyaknya Kejadian *Slamming*

Setelah menghitung probabilitas *slamming*, selanjutnya adalah menghitung banyaknya kejadian *slamming* dalam satuan waktu. Perhitungan tersebut menggunakan Persamaan 12. Jumlah kejadian *slamming* per detik pada 15. Hasil perhitungan jumlah kejadian *slamming* per detik dapat dikalikan satuan waktu yang lain, misalkan jam atau tahun.

3.6.3. Perhitungan Besarnya Beban *Slamming*

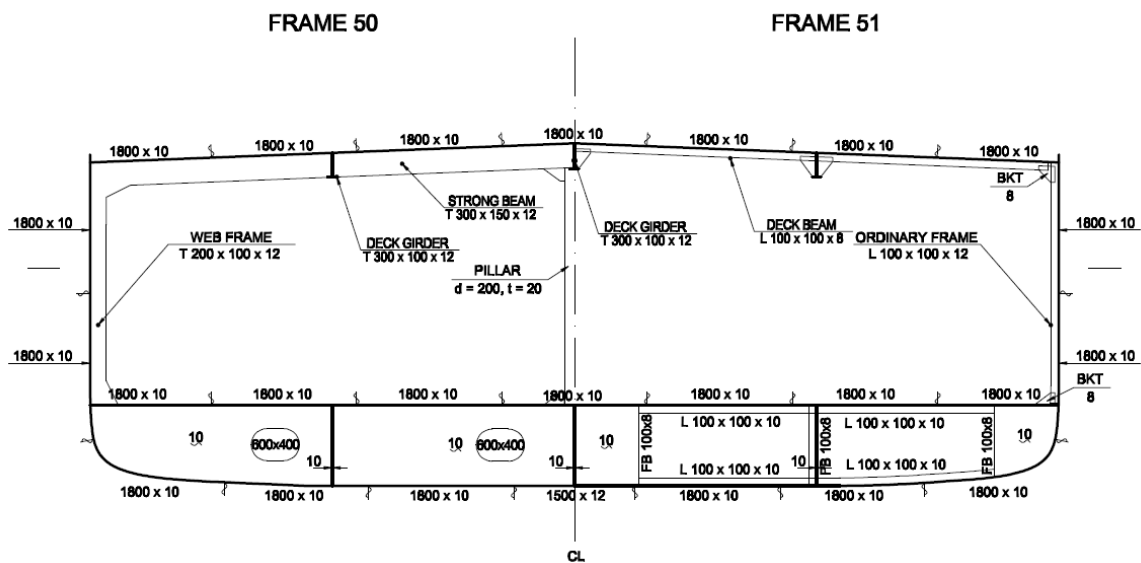
Untuk menghitung besarnya beban *slamming* untuk masing masing lambung dan kecepatan di gunakan Persamaan 14, dimana nilai m_{0zbr} , m_{0vbr} dan m_{2vbr} didapat dari perhitungan luas *spectrum* dari *spectrum* gerakan relatif vertikal, *spectrum* kecepatan relatif vertikal haluan dan *spectrum* percepatan relatif vertikal haluan pada.

3.7. Perhitungan Konstruksi

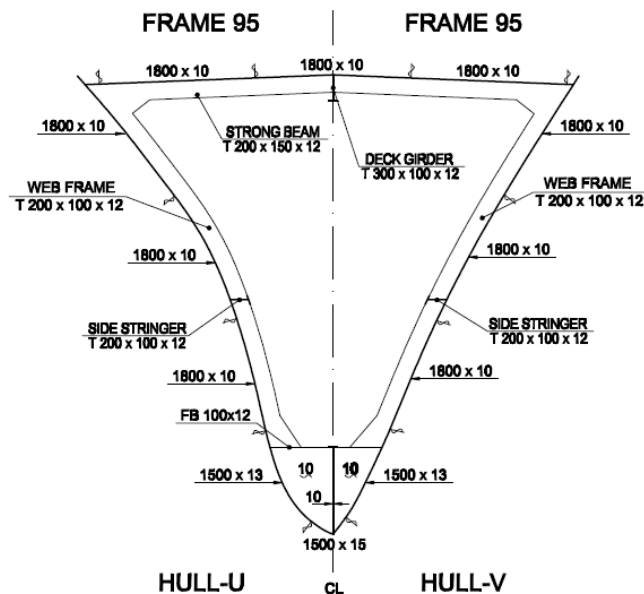
Perhitungan konstruksi perlu dilakukan untuk membuat ukuran-ukuran profil dan tebal plat yang nantinya akan dimodelkan di aplikasi elemen hingga. Perhitungan konstruksi menggunakan Biro Klasifikasi Indonesia Volume II *Rules for Hull* (2014). Perhitungan tersebut akan dihasilkan *Midship section* seperti pada gambar di bawah ini.

Pada Rule BKI tersebut terdapat penguatan untuk daerah depan. Daerah depan tersebut adalah 0,7 L kedepan untuk kapal dibawah 100 meter. Penguatan alas untuk daerah depan tersebut antara lain adalah :

1. Untuk sistem konstruksi melintang, wrang plat dipasang setiap satu kali jarak gading. Untuk sistem konstruksi memanjang dan campuran, wrang plat dipasang maksimal tiga kali jarak gading.
2. Untuk sistem konstruksi melintang, jarak antar *girder* tidak boleh lebih dari $L/250 + 0,9$ meter.



Gambar 36. *Midship Section*



Gambar 37. Fore section U dan V

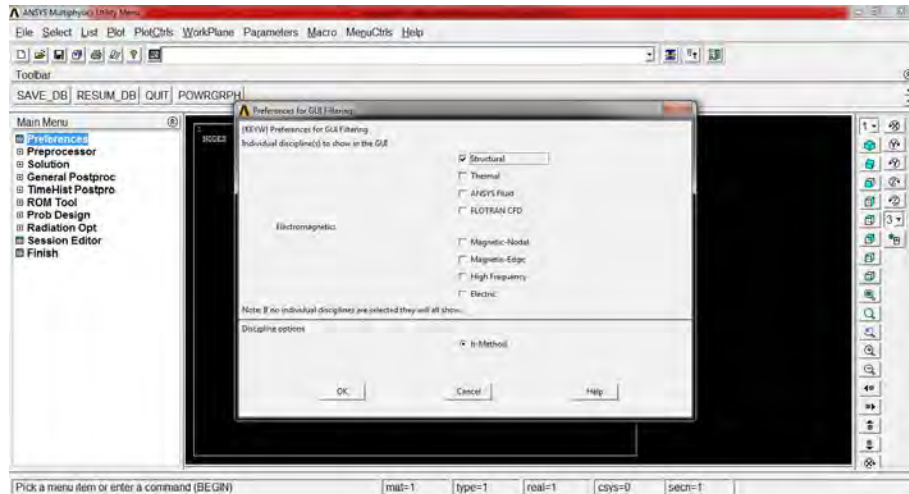
3.8. Pemodelan di *Ansys Mechanical APDL*

Setelah desain konstruksi, tahap selanjutnya adalah pemodelan konstruksi tersebut dalam bentuk model elemen hingga. Pemodelan elemen yang telah dijelaskan bahwa suatu bentuk konstruksi didiskritisasi menjadi elemen-elemen penyusun yang lebih kecil. Pemodelan untuk konstruksi lambung U dan lambung V menggunakan aplikasi elemen hingga, yaitu *Ansys Mechanical APDL* 14.5. Dalam aplikasi tersebut, model diterjemahkan menjadi nodal-nodal yang dapat dihitung menggunakan matematika dalam bahasa mesin.

Pemodelan dalam aplikasi ini terdapat beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut harus dilakukan secara benar, agar model dapat di-*running* (proses perhitungan yang dilakukan oleh komputer). Setiap tahapan dijelaskan sebagai berikut.

3.8.1. Pemilihan Tipe Analisa

Dalam aplikasi tersebut, terdapat beberapa analisa yang umum dilakukan dengan metode elemen hingga. Beberapa analisa tersebut adalah analisa struktur, *thermal*, *fluid*, *CFD* dan *Magnetic*. Dalam pemodelan ini, kita menggunakan analisa struktur seperti gambar dibawah ini. Pemilihan analisa ini karena pada penelitian ini menganalisa tegangan yang terjadi pada suatu konstruksi akibat adanya beban *pressure*.

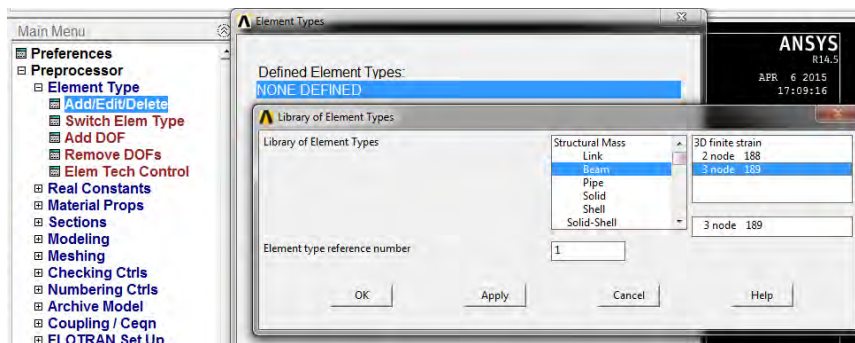


Gambar 38. Pemilihan tipe analisa pada Ansys Mechanical APDL

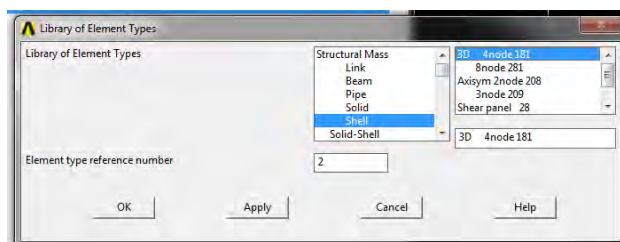
3.8.2. Pemilihan Tipe Elemen

Elemen pada *finite element software* dapat dikategorikan kedalam dua jenis yaitu elemen 2D dan elemen 3D. Elemen tersebut terdiri dari elemen titik, elemen garis, elemen area, dan elemen solid. Elemen-elemen ini dapat dikombinasikan sesuai dengan kebutuhan pemodelan.

Untuk membuat model dalam kasus ini, pemodelan dengan mudah menggunakan elemen 2D dengan kombinasi elemen garis sebagai beam dan elemen luasan (*shell*) sebagai plat. Penulis memilih elemen *beam* 189 dan *shell* 181 berdasarkan penjelasan pada *Ansys Help* 14.5.



Gambar 39. Pemilihan elemen Beam



Gambar 40. Pemilihan elemen *Shell*

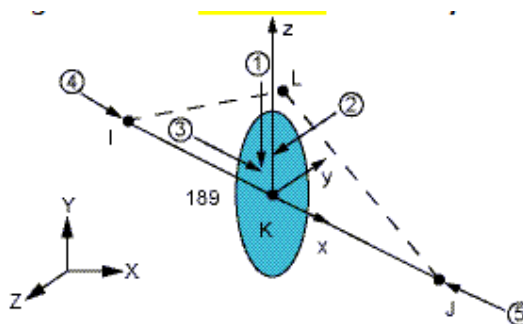
Menurut *Ansys help* 14.5, masing-masing elemen yang telah dipilih diatas dijelaskan sebagai berikut :

1. **Element Beam189**

Elemen *BEAM189* cocok untuk menganalisis struktur balok tipis hingga cukup tebal. Elemen ini didasarkan pada teori balok Timoshenko yang meliputi efek geser-deformasi. Elemen ini menyediakan pilihan untuk pembengkokan terkendali dan pembengkokan terkendali lintas-bagian.

Elemen tersebut merupakan kuadratig tiga simpul Elemen balok dalam 3-D. Dengan pengaturan standar, enam derajat kebebasan terjadi pada setiap node; ini termasuk translasi arah x , y , dan z , serta rotasi arah x , y , dan z . Gelar ketujuh opsional kebebasan (pembengkokan besarnya) tersedia. Unsur ini sangat cocok untuk *linear*, rotasi besar, dan / atau besar-regangan aplikasi *nonlinear*.

Sebuah tambahan derajat kebebasan ke-tujuh tersedia. Elemen tersebut sangat cocok untuk *linear*, rotasi besar, atau aplikasi *nonlinear* regangan besar.



Gambar 41. Geometri Element Beam189

2. **Element Shell181**

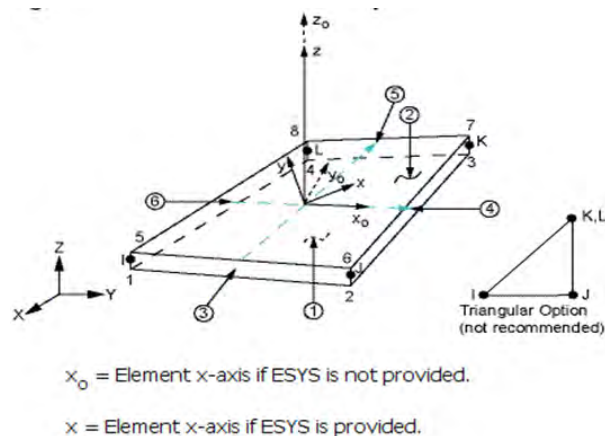
Elemen *SHELL181* cocok untuk menganalisis struktur plat tipis hingga cukup tebal. Elemen ini adalah elemen empat simpul dengan enam derajat kebebasan pada setiap node: translasi arah x , y , dan z , dan rotasi arah sumbu x , y , dan z . (Jika opsi membran digunakan, elemen ini hanya memiliki derajat kebebasan translasi saja). Pilihan segitiga degenerasi seharusnya hanya digunakan sebagai elemen pengisi dalam generasi mesh.

Elemen *SHELL181* cocok untuk *linear*, rotasi besar, atau aplikasi *nonlinear* regangan besar. Perubahan ketebalan plat dihitung dalam *nonlinear* analisis. Dalam domain Elemen,

baik skema integrasi penuh dan pengurangan didukung. *SHELL181* menyumbang beban kekakuan efek tekanan yang didistribusikan.

SHELL181 dapat digunakan untuk aplikasi berlapis untuk pemodelan plat komposit atau konstruksi sandwich. Ketepatan dalam pemodelan plat komposit diatur oleh orde pertama teori geser-deformasi (biasanya disebut sebagai Mindlin-Reissner plat teori).

Formulasi elemen didasarkan pada regangan logaritmik dan kejadian tegangan sebenarnya. Kinematika Elemen memungkinkan regangan membran terbatas (peregangan). Namun, perubahan kelengkungan dalam selisih waktu diasumsikan kecil.

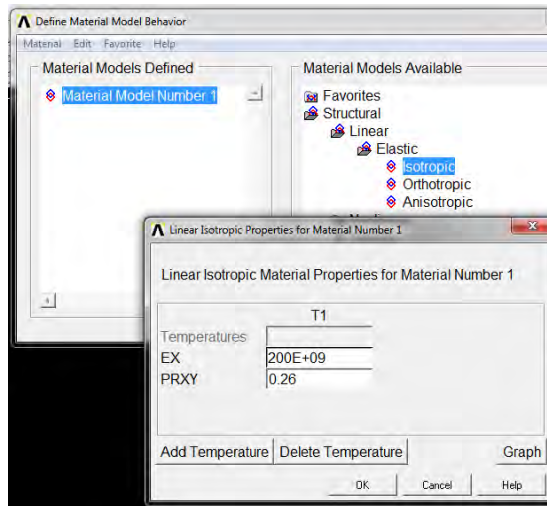


Gambar 42. Geometri Element *Shell181*

3.8.3. Penentuan Material Properties

Pada tahap ini dilakukan pendefinisian sifat-sifat mekanis dan sifat-sifat fisika material yang sedang dimodelkan. Penulis menggunakan material baja A36 dengan *material properties* menurut en.wikipedia.com (2015), A36 memiliki massa jenis 7.800 kg/m^3 ($0,28 \text{ lb/cu in}$), *Modulus Young* untuk baja A36 adalah 200 GPa ($29.000.000 \text{ psi}$), baja A36 memiliki rasio Poisson sebesar 0.26 , dan modulus geser 75 GPa ($10.900.000 \text{ psi}$).

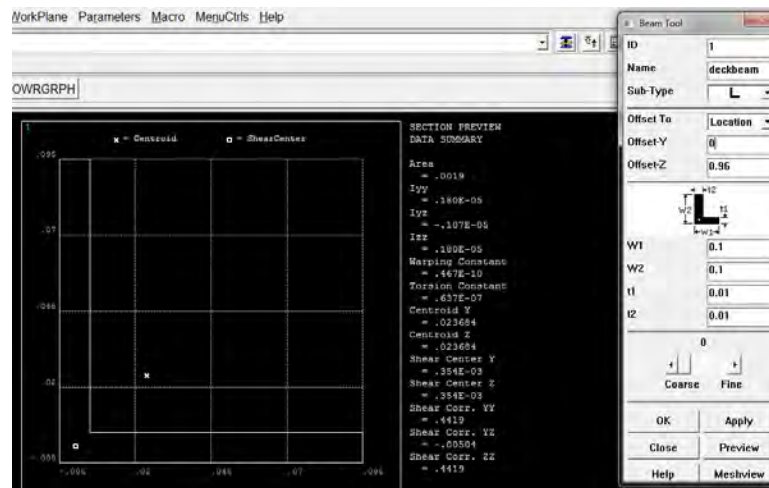
Dalam aplikasi *Ansys*, *material properties* yang harus diinputkan adalah nilai *modulus Young* dan *rasio Poisson* sebagai material isotropik.



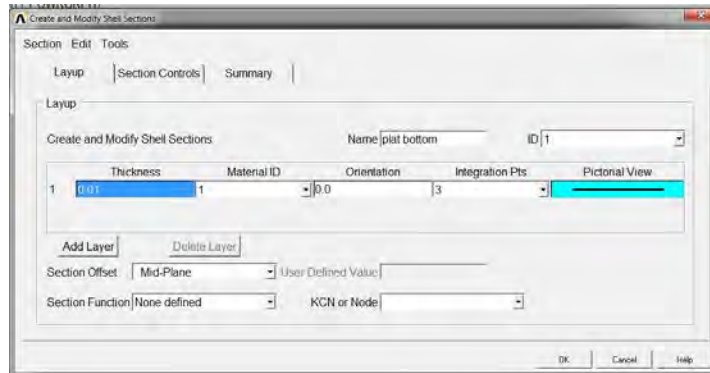
Gambar 43. *Input material properties pada Ansys Mechanical APDL*

3.8.4. Penentuan Ukuran *Section* (profil dan plat)

Pada tahapan ini dilakukan pendefinisian ukuran penampang melintang *beam* dan ukuran tebal plat yang digunakan dalam pemodelan lambung U dan V. Untuk penampang profil terdapat berbagai pilihan, misal L, T, H, I dan lain-lain.



Gambar 44. Pendefinisian penampang profil untuk *beam*



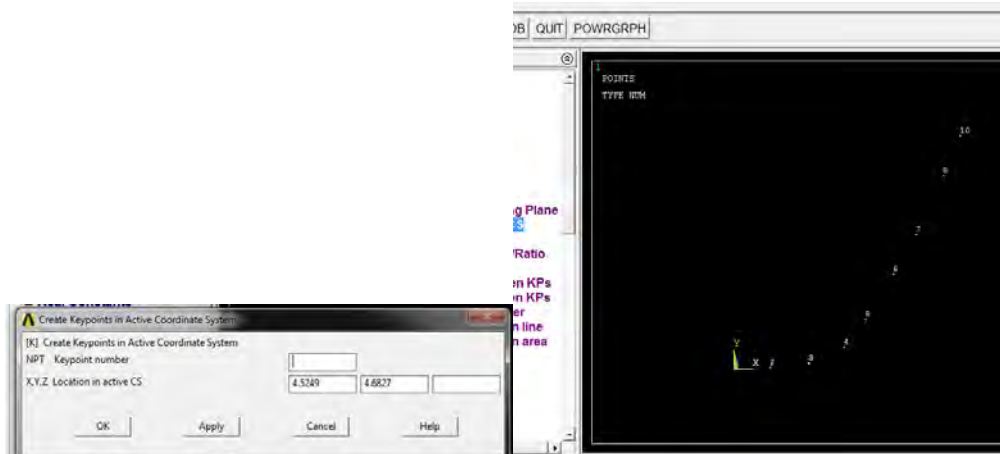
Gambar 45. Input tebal plat

3.8.5. Modeling

Dalam pembuatan model ada beberapa tahap yang harus diingat. Dalam model ini yang diperlukan adalah plat berpenegar, dengan kata lain adalah luasan yang dibatasi oleh penegar. Untuk membuat luasan tersebut harus dimulai dari input *keypoint* (titik), *keypoint* menjadi *line* (garis), setelah itu *line* menjadi area (luasan). Tahapan-tahapan itu dijelaskan sebagai berikut :

1. *Keypoint*

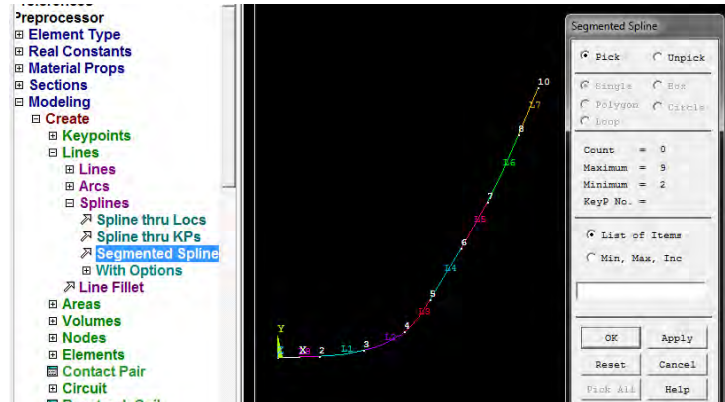
Untuk membuat garis lengkung pada kapal digunakan *spline* dengan menginput koordinat garis *body plan* pada kotak dialog seperti dibawah ini.



Gambar 46. Input Keypoint

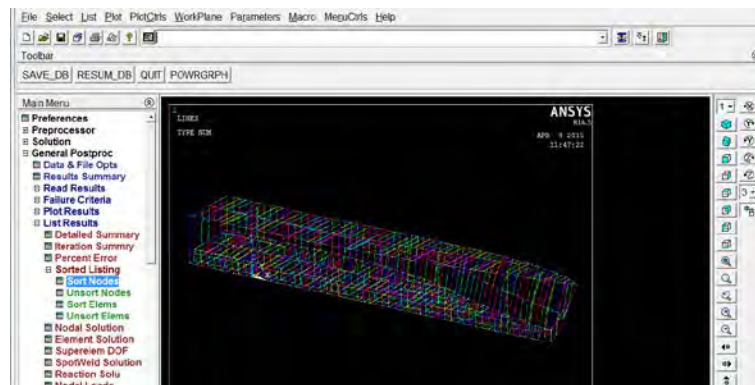
2. *Line*

Line dibentuk dari 2 *keypoint*. Untuk membuat garis lengkung pada Ansys menggunakan perintah *splines*. Untuk garis lurus menggunakan *straight line*. Setelah itu buat garis-garis yang lain hingga semua bagian kapal terbentuk.



Gambar 47. Pembuatan model garis pada Ansys

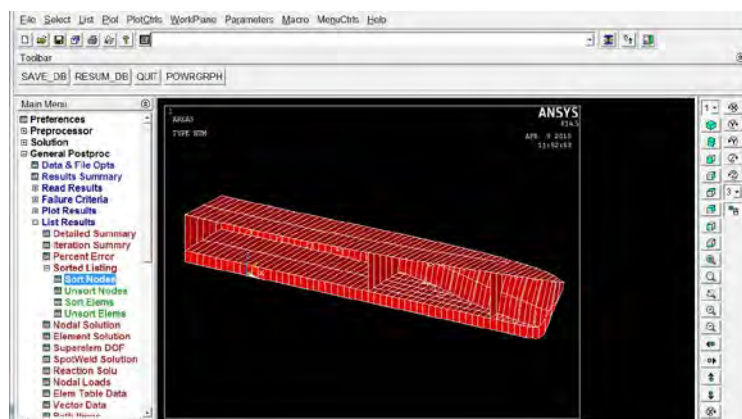
Berikut adalah gambar hasil pembuatan model yang di plot dalam bentuk *line*.



Gambar 48. Tampilan model dalam bentuk plot *lines*

3. Area

Untuk membuat luasan atau area, yang dibutuhkan adalah minimal 3 garis untuk luasan yang datar. Jika luasan berbentuk lengkung seperti dalam model ini, maka area harus dibuat dengan 4 garis, tidak boleh kurang atau lebih. Jika tidak, maka Ansys tidak dapat membuat luasan tersebut. Gambar dibawah ini adalah hasil dari pemodelan dalam plot luasan atau area.



Gambar 49. Plot area model lambung U

3.8.6. Meshing

Meshing merupakan salah satu tahapan yang penting dalam pemodelan elemen hingga. Proses *meshing* ini yang akan menentukan akurat atau tidaknya hasil perhitungan. Semakin besar ukuran *meshing* maka hasil kurang akurat dan semakin kecil ukuran *meshing* maka hasil semakin akurat. Namun ukuran *meshing* yang semakin kecil maka akan membutuhkan spesifikasi komputer yang semakin besar, karena jumlah nodalnya semakin banyak. Oleh sebab itu pemilihan ukuran *meshing* sangat penting.

Secara umum *meshing* merupakan tahapan mendiskritkan model geometri menjadi elemen-elemen hingga dan titik-titik nodal yang akan dianalisa. Pada saat penentuan ukuran elemen, keselarasan ukuran elemen perlu diperhatikan agar hasil yang diperoleh seragam. Ukuran elemen ini dapat digunakan sebagai salah satu variabel konvergensi yang telah dijelaskan pada bab dua.

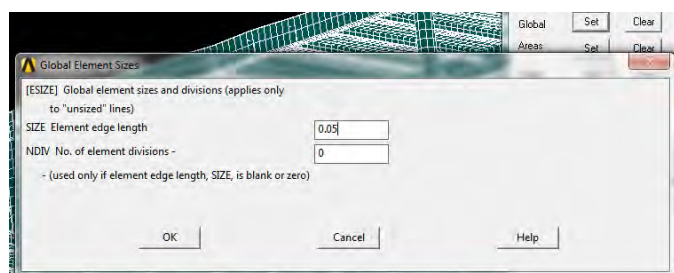
Dalam tahapan *meshing* sendiri ada tiga tahapan dalam aplikasi *Ansys*, yaitu :

1. *Mesh attribute*

Dalam tahapan ini adalah penentuan suatu model (seperti : keypoint, *line*, area atau volume) didefinisikan terhadap *section* yang telah ditentukan sebelumnya. Misalnya tebal plat untuk area yang akan kita tentukan tebalnya, dan *line* yang kita definisikan sebagai profil dengan ukuran profil yang diinginkan.

2. *Mesh size control*

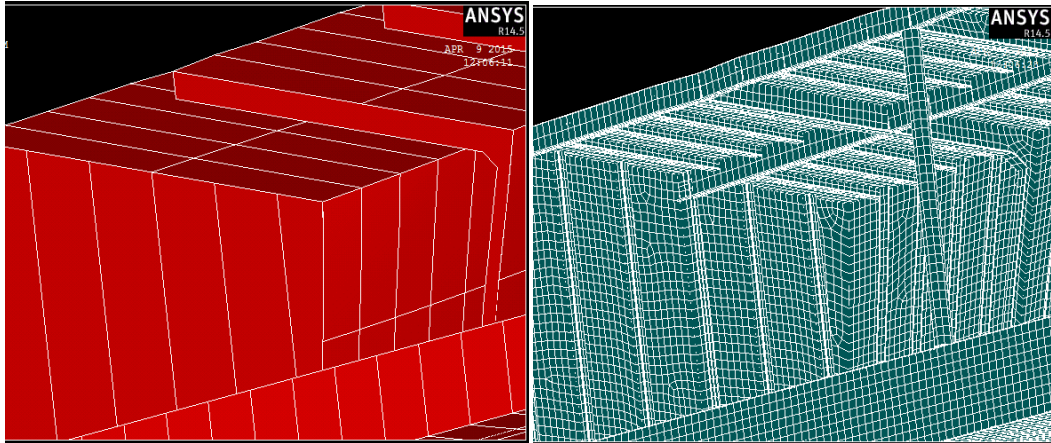
Untuk menentukan ukuran dari pada mesh, maka digunakanlah tool mesh size control. Ukuran mesh yang dapat kita atur secara global atau satu persatu. Ukuran mesh ditentukan dengan memasukkan suatu nilai. Nilai tersebut adalah ukuran terbesar dari suatu mesh yang dibuat oleh komputer secara otomatis, atau dapat ditentukan sendiri dengan membagi setiap elemen model dengan kemauan kita sendiri.



Gambar 50. Inputan ukuran mesh

3. Meshing

Langkah terakhir yang dilakukan adalah *meshing* model. *Meshing* dibagi berdasarkan jenis elemen dan model, diantaranya adalah *keypoint*, *line*, area dan volume. Untuk area dapat dibagi lagi menjadi *triangular* dan *quadratic*. Untuk volume dapat dibagi lagi menjadi *tetrahedral* dan *hexahedral*. Di bawah ini adalah gambar tampilan area yang sebelum dan sesudah di mesh.



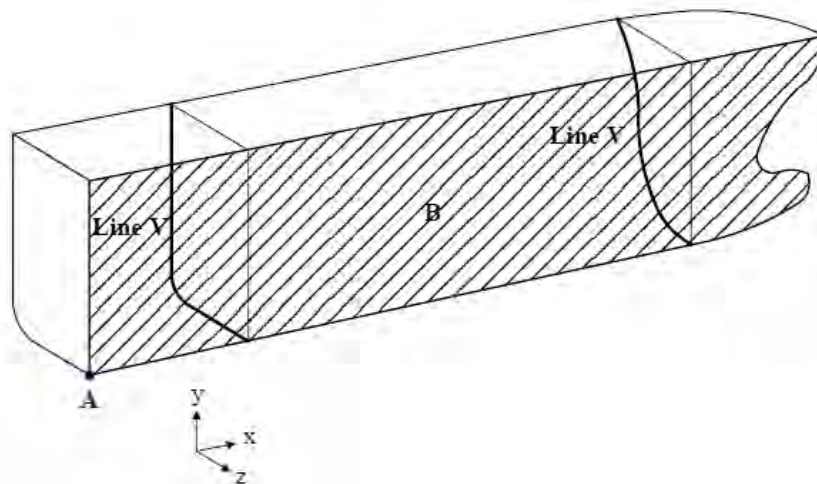
Gambar 51. Perbedaan sebelum dan sesudah di-mesh

3.8.7. Penentuan Kondisi Batas

Pengambilan asumsi kondisi batas dalam perhitungan elemen hingga harus diatur sedemikian rupa sehingga semirip mungkin dengan kondisi nyata. Sehingga model struktur bisa mewakili kondisi nyata yang terjadi. Kondisi batas yang dipakai dalam perhitungan ini berdasarkan *Guide for Slamming Loads And Strength Assessment For Vessels (2013)* dari *American Bureau of Shipping (ABS)*. Kondisi batas tersebut dijelaskan seperti pada tabel dan gambar di bawah ini.

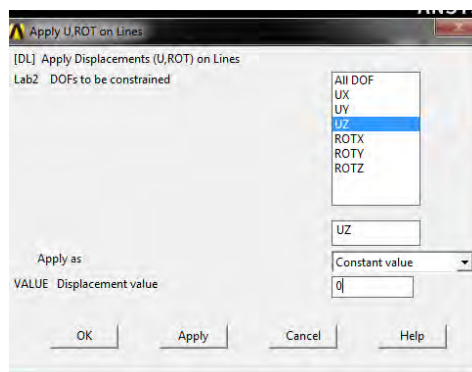
Point A	$UX = 0, UY = 0$
Line V	Attach spring rod elements
Section B	$UZ = 0, RX = 0, RY = 0$

Tabel 4. Kondisi batas menurut ABS



Gambar 52. Kondisi batas menurut ABS

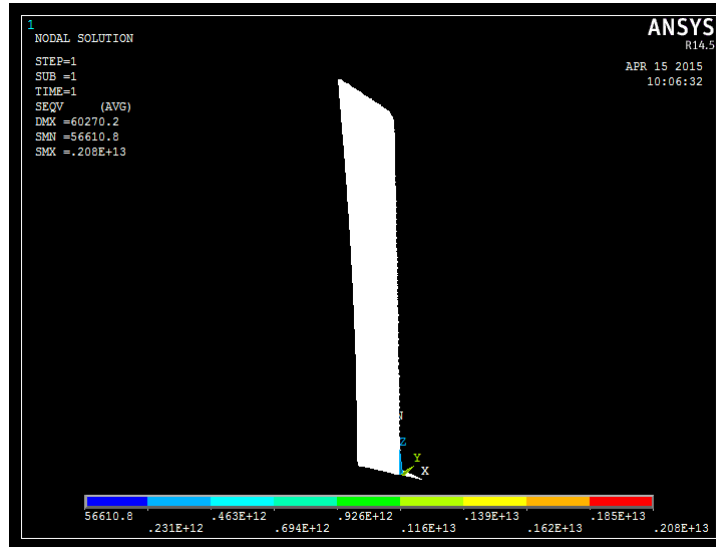
Jenis tumpuan pada *Ansys Mechanical* ada tujuh jenis yaitu All DOF, UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, dan ROTZ, seperti gambar di bawah ini.



Gambar 53. Pemilihan kondisi batas pada *Ansys Mechanical*

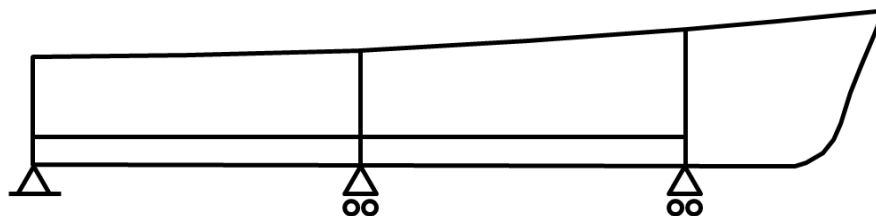
Untuk pemodelan yang bersifat *symmetrical* seperti yang dijelaskan di Bab II. Pada pemodelan ini diberi tumpuan *roll* pada center *line* kapal agar tidak bisa bergerak ke arah melebar atau sumbu Y. Jadi tumpuan yang dipakai untuk setiap elemen pada center *line* adalah UY.

Namun dalam analisa menggunakan kondisi batas tersebut dihasilkan model terjadi rotasi 90 derajat terhadap sumbu Y. Hasil analisa tersebut ditampilkan dalam gambar di bawah ini.



Gambar 54. Hasil analisa dimana kondisi batas belum benar

Setelah itu penulis menambahkan tumpuan sederhana pada model. Tumpuan sederhana adalah tumpuan yang terdiri dari tumpuan engsel dan *roll*. Konstruksi kapal diasumsikan balok yang ditumpu sederhana dan diberi beban distribusi memanjang. Sehingga pada sekat kamar mesin diasumsikan menggunakan tumpuan engsel dan sekat-sekat di depannya menggunakan tumpuan rol. Sekat dianggap memiliki deformasi yang lebih kecil dari daerah sekitarnya. Oleh karena itu, sekat dapat dianggap sebagai tumpuan.



Gambar 55. Gambaran tumpuan sederhana

3.8.8. Input Beban

Setelah memberikan kondisi batas, langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai beban-beban yang bekerja pada model. Beban dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis. Beban gaya/momen adalah beban yang bekerja pada satu nodal, sedangkan *pressure* adalah beban yang bekerja pada suatu luasan yang nantinya besar beban tersebut di distribusikan terhadap nodal-nodal yang ada didalamnya.

Untuk memberikan nilai beban *impact slamming* kepada kedua model tersebut, penulis mengambil perhitungan Class Lloyd's Register - Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft, July 2014. Menurut Lloyd's Register (2014), beban *impact pressure*

yang terjadi pada *bottom* dan *side shell* adalah sebagai berikut :

$$P_{dh} = \Phi_{dh} \left(19 - 2720 \left(\frac{T_x}{L_{WL}} \right)^2 \right) \sqrt{L_{WL} V} \quad \text{kN/m}^2$$

dimana :

$$\begin{aligned} \Phi_{dh} &= 0,09 \text{ at } L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL} \\ &= 0,18 \text{ at } 0,9L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL} \\ &= 0,18 \text{ at } 0,8L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL} \\ &= 0,0 \text{ between aft end of } L_{WL} \text{ and } 0,5L_{WL} \text{ from aft end} \\ &\quad \text{of } L_{WL} \end{aligned}$$

Selain beban *impact* yang terjadi pada *bottom* dan *side shell*, ada beban muatan yang juga bekerja pada *inner bottom* yang berlawanan arah dengan beban *slamming*. Beban muatan ini dihitung berdasarkan *Class Biro Klasifikasi Indonesia – Rules for The Classification and Contruction of Seagoing Steel Ships, Volume II (2014)*. BKI merumuskan beban muatan pada *inner bottom* adalah sebagai berikut :

$$P_i = 9.81 \cdot (G/V) \cdot h \cdot (1 + a_v)$$

dimana :

G/V = massa jenis muatan (*stowage factor*)

h = tinggi tumpukan muatan

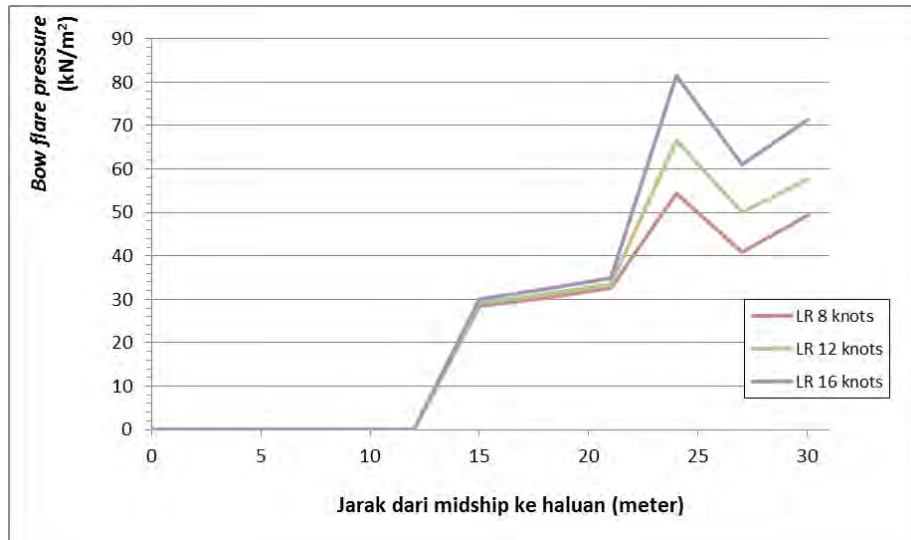
a_v = faktor percepatan

detail untuk setiap perhitungan dijelaskan di lampiran.

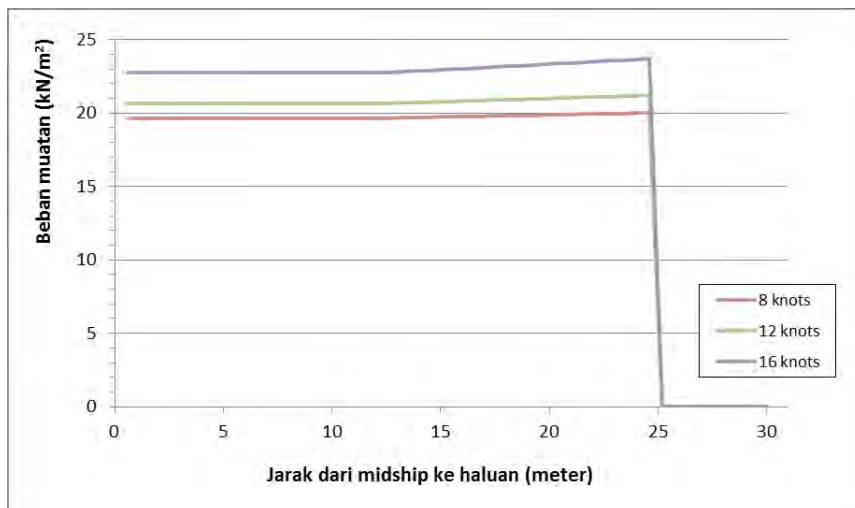
Jika beban-beban di atas disusun dalam bentuk grafik adalah sebagai berikut :



Grafik 1. Hasil perhitungan *bottom impact pressure* dengan LR

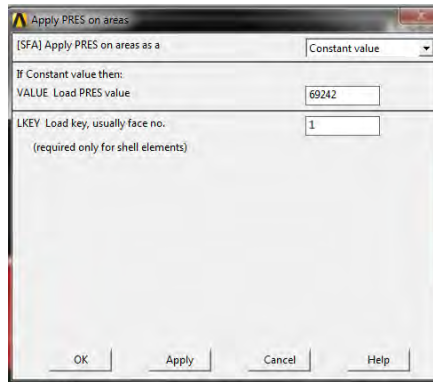


Grafik 2. Hasil perhitungan *side shell impact pressure* dengan LR



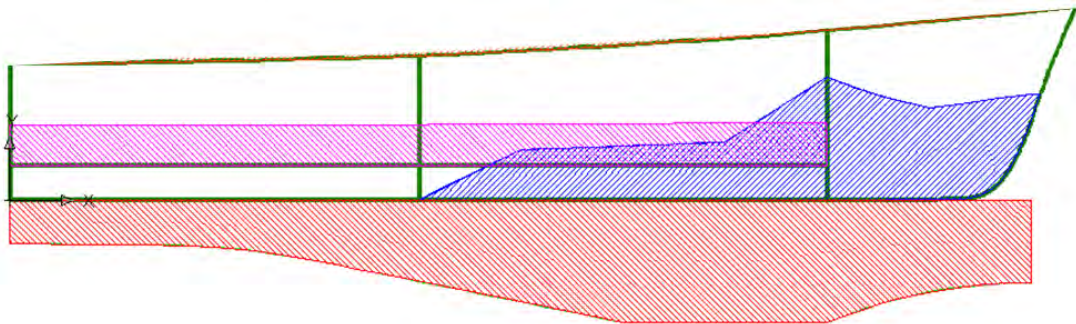
Grafik 3. Hasil perhitungan beban muatan

Untuk pemodelan ini, input beban *pressure* dikenakan pada luasan yang telah dimodelkan. Untuk menentukan besar satuan pada aplikasi *Ansys* harus konsisten, karena aplikasi ini tidak mendefinisikan satuan. Dibawah ini adalah tampilan input *load* yang ada pada aplikasi *Ansys*.



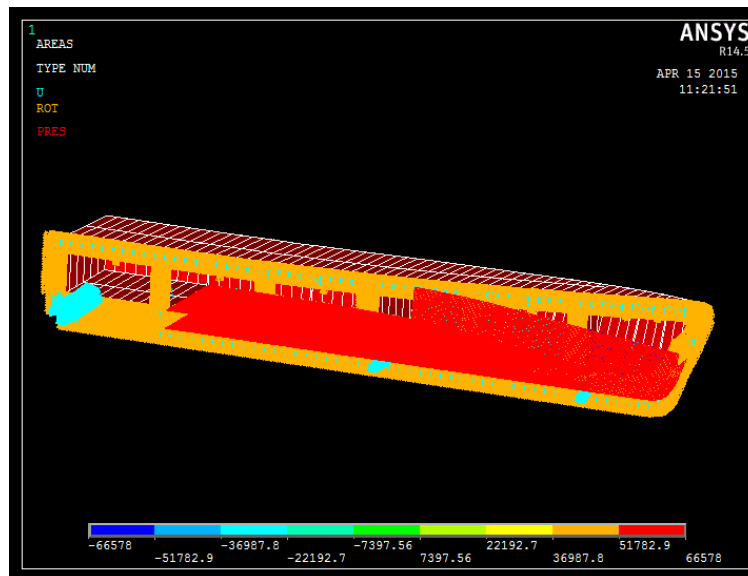
Gambar 56. Inputan *load pressure*

Secara visual, input beban pada model diilustrasikan dengan gambar di bawah ini :



Gambar 57. Ilustrasi penginputan beban pada model

Dibawah ini adalah gambaran kondisi batas dan beban yang bekerja pada model dan gambaran pada *Ansys* :

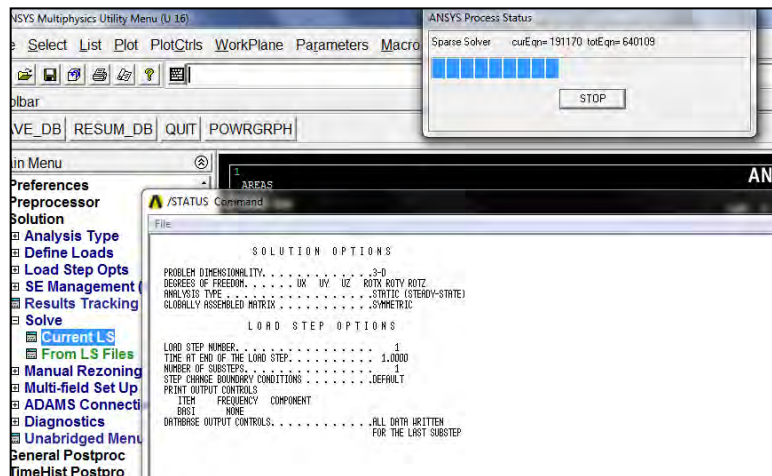


Gambar 58. Tampilan penerapan kondisi batas dan beban pada model

3.8.9. Running

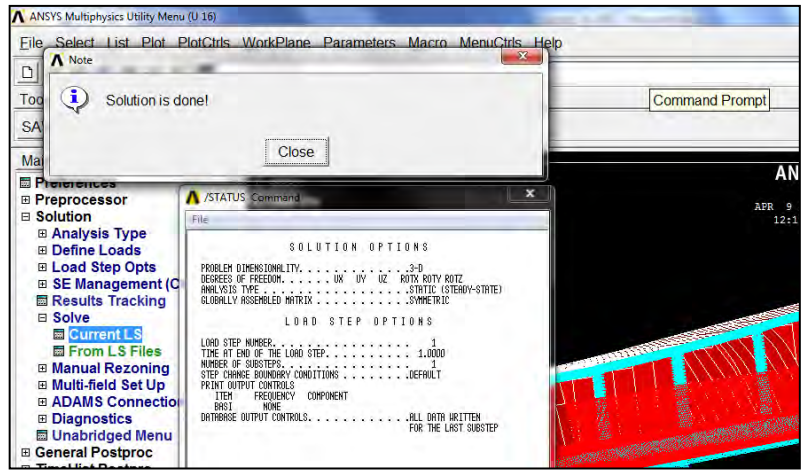
Pada tahapan ini dilakukan pemilihan tipe penyelesaian dari masalah elemen hingga. Pada umumnya penyelesaian ada dua jenis yaitu analisa statik dan analisa dinamik. Pada analisa perbandingan bentuk lambung ini menggunakan analisa statik. Penyelesaian dilakukan terhadap model dalam bentuk elemen sesuai dengan pembebanan dan kondisi batas yang diberikan pada model.

Proses ini sering disebut dengan istilah *running*. Pada tahapan ini *finite element software* menjalankan proses analisa terhadap model yang telah digenerasi dalam bentuk elemen hingga serta telah diberi kondisi batas dan beban tertentu. Dari proses ini nanti bisa diketahui apakah model kita telah memenuhi untuk dianalisa atau belum. Setelah itu computer melakukan perhitungan inverse matrik yang jumlah baris dan kolomnya bergantung pada jumlah nodal yang dibuat. Semakin banyak elemen, maka waktu yang dibutuhkan semakin lama. Selain waktu yang dibutuhkan semakin lama, semakin banyak elemen juga akan mempengaruhi kapasitas komputer yang dibutuhkan. Jika kapasitas tidak memenuhi maka proses *running* akan terhenti dan mengalami *error*.



Gambar 59. Tampilan *running* sedang berlangsung

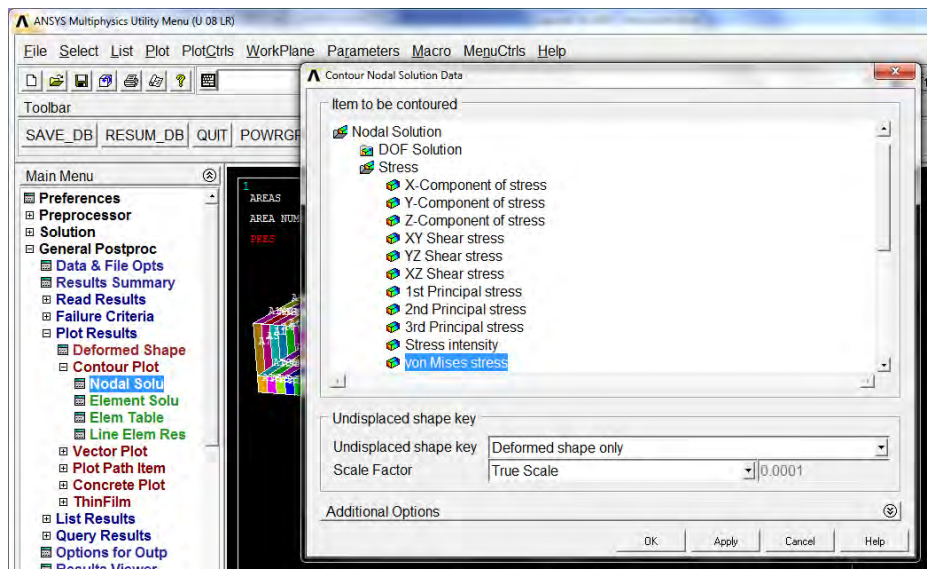
Jika telah memenuhi maka proses analisa akan berlanjut sampai dengan selesai seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 60. Tampilan *running* sudah selesai dan berhasil

3.8.10. Pembacaan Hasil

Setelah proses *running* selesai, hasil dapat ditampilkan dalam beberapa pilihan. Hasil-hasil tersebut dapat ditampilkan sesuai dengan apa yang kita pilih pada tampilan menu dibawah ini. Misalnya untuk displacement, dibagi lagi menjadi displacement arah translasi X,Y,Z dan *vector*. Gambar dibawah ini menunjukkan hasil apa saja yang dapat ditampilkan dalam suatu hasil.

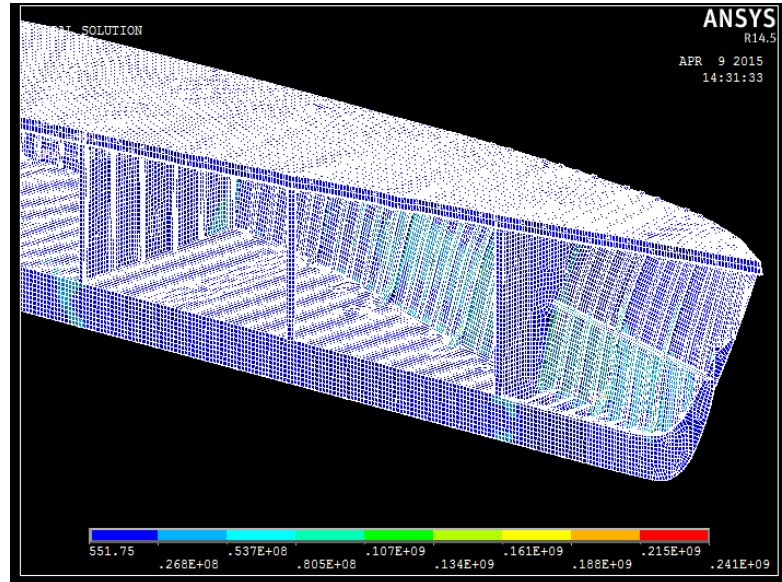


Gambar 61. Pemilihan hasil perhitungan pada *Ansys Mechanical*

Untuk macam tampilan yang mempermudah dalam untuk keperluan pembacaan hasil dapat dipilih beberapa macam tampilan hasil. Tampilan hasil tersebut antara lain : *plot result*, *list result* dan *query result*. Beberapa tampilan tersebut dijelaskan berikut :

1. *Plot result*

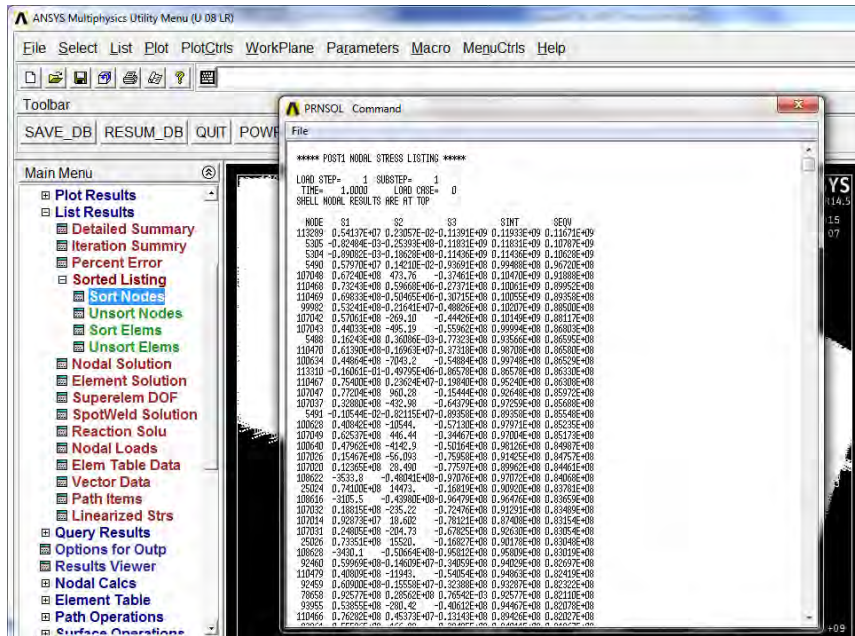
Plot result adalah menampilkan hasil dalam bentuk plot atau pemetaan dengan perbedaan gradasi warna untuk menunjukkan suatu nilai hasil. Contoh hasil *plot result* untuk tegangan *von mises* ditunjukkan dengan gambar dibawah ini.



Gambar 62. Tampilan *plot result*

2. *List result*

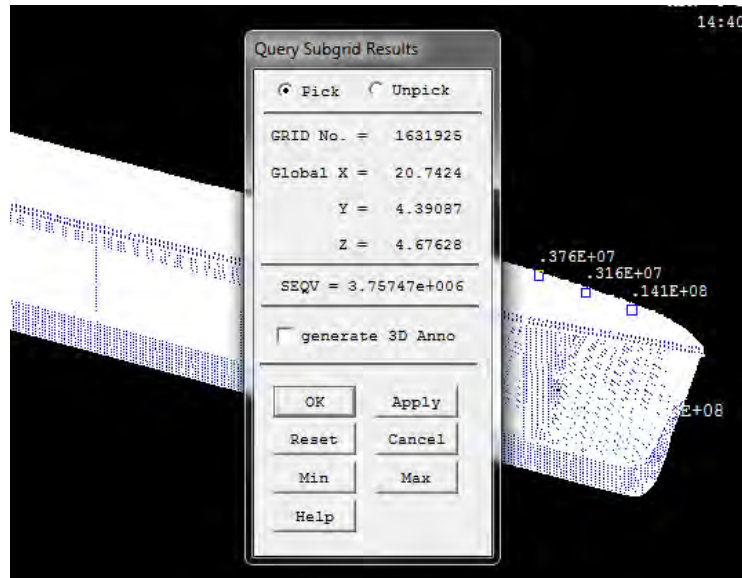
List result adalah menampilkan hasil dalam bentuk list atau daftar dengan nomor nodal dan besarnya nilai dari suatu nilai tegangan misalnya. Contoh hasil *list result* untuk tegangan *von mises* ditunjukkan dengan gambar dibawah ini.



Gambar 63. Tampilan list result

3. Query result

Query result adalah menampilkan hasil perhitungan dengan memilih sendiri nodal yang ingin kita ketahui nilainya, contohnya seperti gambar di bawah ini.



Gambar 64. Tampilan query result

Pada pemodelan ini, penulis menggunakan ketiga tampilan agar dapat menentukan hasil tegangan von mises 3 terbesar. Juga dapat diketahui letak jenis sambungan dari konsentrasi tegangan tersebut.

BAB IV

KONVERGENSI

Setelah pembacaan hasil perhitungan atau hasil *running*, hasil tersebut harus dilakukan konvergensi. Konvergensi sendiri telah dijelaskan pada Bab II. Hal ini diperlukan untuk mengetahui suatu nilai yang mendekati nilai sebenarnya dalam kondisi nyata. Model konstruksi ini terdiri dari banyak mesh yang membentuk struktur kapal. Ukuran mesh yang tepat perlu dicari agar nilai dari hasil perhitungan mendekati kondisi nyata dan kapasitas komputer yang digunakan tetap memadai.

Tahapan-tahapan untuk melakukan konvergensi adalah sebagai berikut :

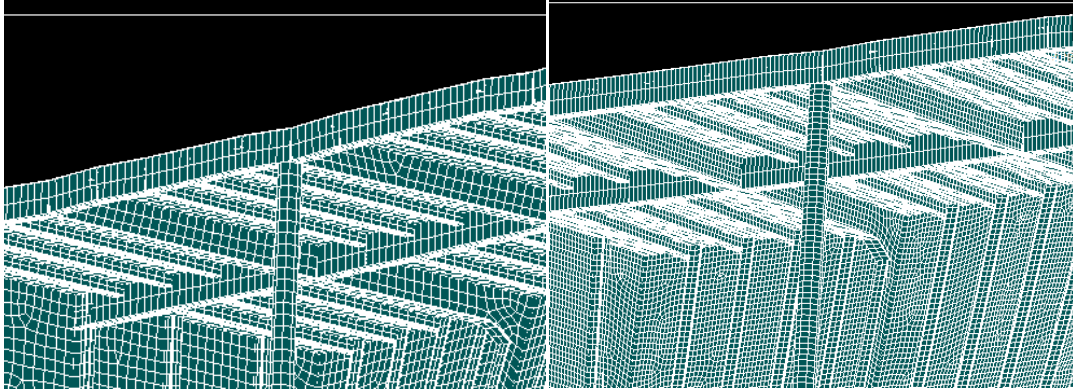
4.1. Pemilihan Ukuran Mesh

Pada pemodelan ini, dilakukan *meshing* dengan ukuran awal 0,2 meter dan selanjutnya mengecil menjadi 0,175; 0,15; 0,125; 0,1; 0,075 dan 0,05. Penulis menggunakan ukuran terkecil sama dengan 0,05 karena menurut ABS-CSR for Bulk Carrier (2006), ukuran mesh maksimal untuk analisis *fatigue* adalah 50 mm x 50 mm dan 1/10 dari jarak penegar.

Untuk melakukan perubahan ukuran mesh langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mesh dengan ukuran semula yang telah di-*running* dan dibaca hasilnya dihapus atau clear. Menghapus mesh ada beberapa pilihan menurut tipe elemen. Pertama yang dihapus adalah mesh untuk area dengan perintah clear. Setelah itu dilanjutkan dengan menghapus elemen garis.
2. Menentukan ukuran mesh baru yang dilakukan sama seperti langkah-langkah pembuatan mesh, namun tidak perlu melakukan mesh attribute.
3. Untuk menentukan ukuran mesh, perlu diketahui bahwa mesh area itu terbagi berdasarkan ukuran mesh pada garis yang mengelilinginya.

Gambar di bawah ini menunjukkan perbedaan geometri ukuran mesh.



Gambar 65. Contoh perbedaan geometri mesh ukuran 0,1 (kiri) dan 0,05 (kanan)

4.2. Pemilihan Satu Nodal

Untuk melakukan konvergensi, pembacaan hasil harus pada nodal yang sama. Pada aplikasi *ansys*, ketika dilakukan *re-meshing* maka nomor nodal akan berubah. Oleh sebab itu perlu melakukan suatu tanda yang dapat menunjukkan nodal tersebut tempatnya sama dengan yang dianalisa sebelumnya.

Pada kasus ini, penulis melakukan pembacaan nodal pada plat *bottom* di bawah sekat tubrukan. Untuk membaca hasil tegangan *von mises* dilakukan dengan *query result*.

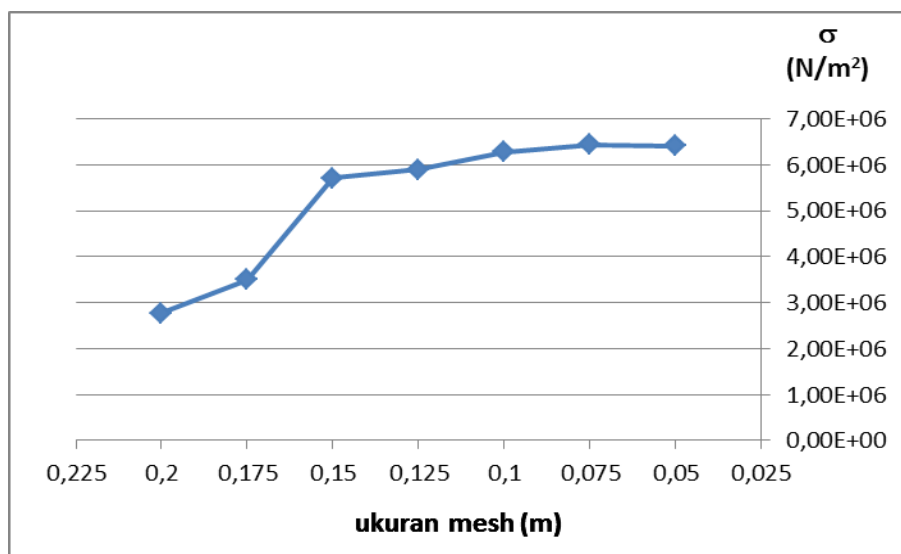
4.3. Hasil Tegangan dengan Jumlah Mesh

Untuk mengetahui nilai hasil tegangan untuk sebuah nodal dapat menggunakan perintah *query result*. Untuk mengetahui jumlah mesh atau elemen pada model kita menggunakan perintah *list element* atau *list nodal*. Nantinya akan terlihat berapa jumlah elemen beam dan berapa jumlah elemen *shell*.

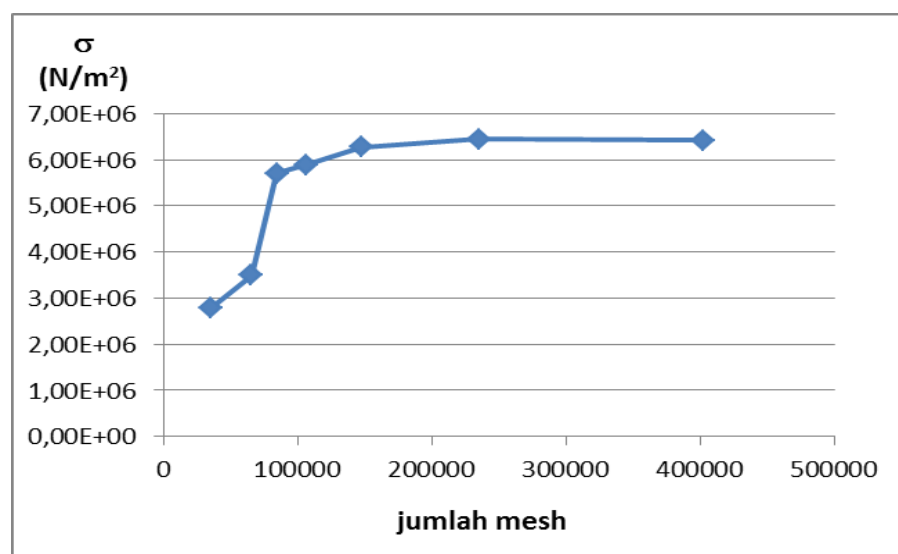
Setelah hasil tegangan dan jumlah mesh diketahui, maka disusunlah kedalam grafik. Nilai tegangan menjadi Ordinat dan jumlah mesh menjadi Absis. Untuk kasus ini, penulis melakukan konvergensi untuk model lambung U saja, sedangkan model lambung V mengikuti ukuran mesh pada model lambung U. Berikut adalah rekapan hasil dalam bentuk tabel dan grafik.

ukuran mesh (meter)	jumlah mesh	tegangan von mises pada bottom (N/m ²)
0,2	35077	2,78E+06
0,175	65165	3,50E+06
0,15	84124	5,71E+06
0,125	106460	5,90E+06
0,1	147396	6,28E+06
0,075	235074	6,44E+06
0,05	401863	6,42E+06

Tabel 5. Hasil konvergensi Model lambung U



Grafik 4. Hasil konvergensi berdasarkan ukuran mesh



Grafik 5. Hasil konvergensi berdasarkan jumlah mesh

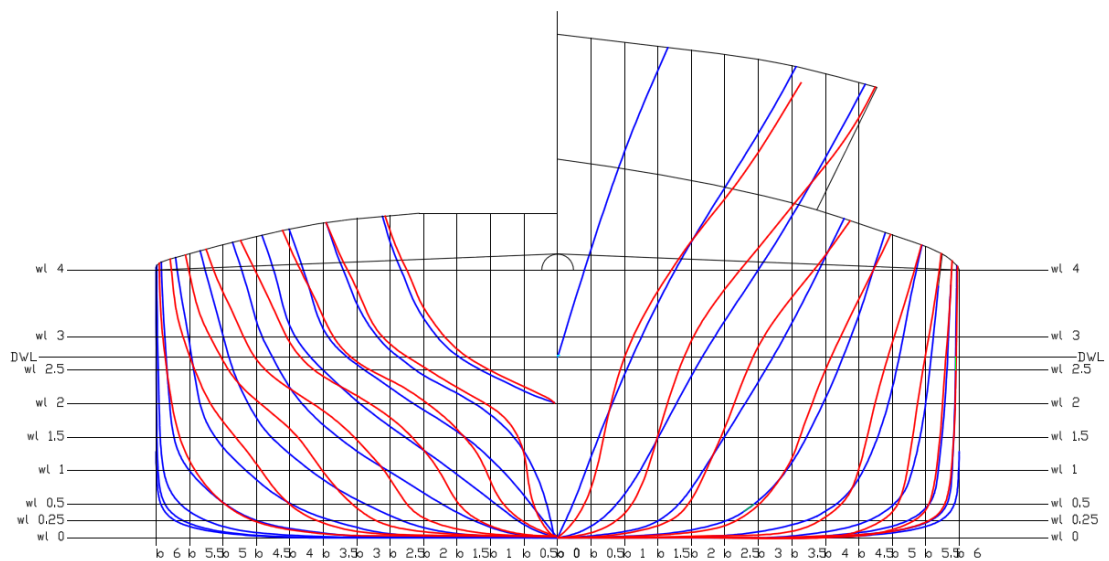
Sesuai dengan hasil konvergensi yang tertera pada grafik di atas, nilai yang paling optimum untuk analisa model konstruksi mempunyai ukuran *meshing* 0,05. Ukuran *meshing* 0,075 dipilih sebagai ukuran *meshing* paling optimum karena pada ukuran *meshing* tersebut perbedaan nilai tegangan sudah sangat kecil dan grafik mendekati konstan. Selain itu kinerja grafis dari pada komputer tidak begitu berat, sehingga mudah untuk diteliti.

BAB V

ANALISA HASIL

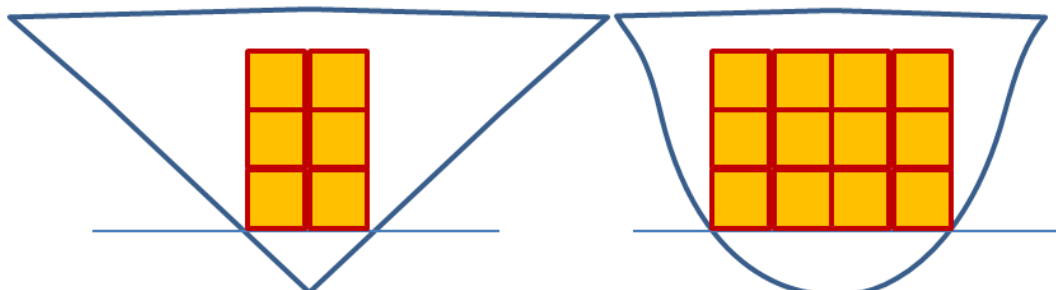
5.1. Perbandingan *Lines Plan* U dan V

Setelah dilakukan pengambilan *section* 0 sampai 10 dari masing-masing bentuk U dan V pada FORMDATA I, *Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data* (1962), maka didapatkan perbandingan bentuk *section* U dan V seperti gambar dibawah ini.



Gambar 66. Perbandingan *section* U dan V hasil dari *formdata*

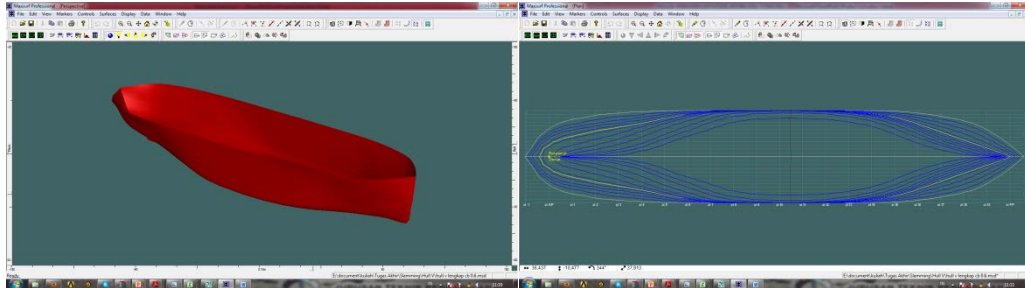
Ruang muat berbentuk U akan lebih banyak menaruh barang karena luas dari alas dalam lebih besar pada ruang muat berbentuk V. Hal tersebut dapat diilustrasikan seperti gambar dibawah ini :



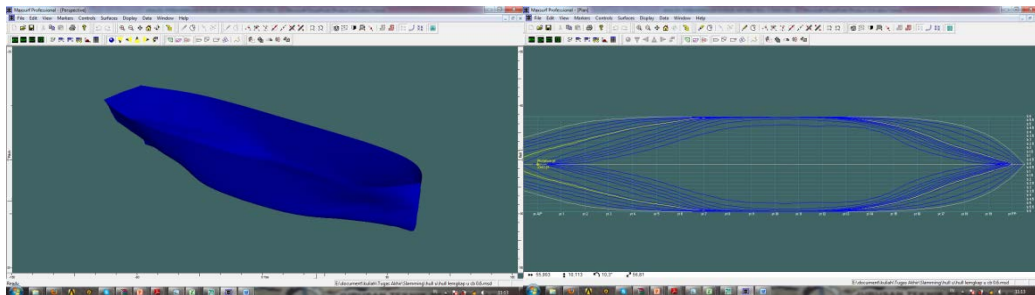
Gambar 67. Perbandingan pemuatan pada ruang muat berbentuk V dan U

5.2. Perbandingan Hidrostatik Lambung U dan V

Setelah *section-section* disusun dan dimodelkan di *maxsurf modeller*, didapatkan model seperti dibawah ini.



Gambar 68. Hasil *modeling* lambung V di *maxsurf*



Gambar 69. Hasil *modeling* lambung U di *maxsurf*

Telah didapatkan harga CB untuk model U dan V sama seperti hasil *hydrostatic* dibawah ini.

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	1219,998	tonne
2	Volume	1190,242	m ³
3	Draft to Baseline	2,7	m
4	Immersed depth	2,716	m
5	Lwl	61	m
6	Beam wl	12	m
7	WSA	726,396	m ²
8	Max cross sect area	31,873	m ²
9	Waterplane area	529,639	m ²
10	Cp	0,612	
11	Cb	0,599	
12	Cm	0,984	
13	Cwp	0,724	
14	LCB from zero pt	30,36	m
15	LCF from zero pt	28,91	m
16	KB	1,458	m
17	KG	0	m
18	BMt	3,96	m
19	BMI	89,993	m
20	GMt	5,419	m
21	GMI	91,451	m
22	KMt	5,419	m
23	KMI	91,451	m
24	Immersion (TPc)	5,429	tonne/cm
25	MTC	0	tonne.m
26	RM at 1deg = GMT.Di	115,374	tonne.m
27	Precision	Highest	200 station

Density: 1.025 tonne/m³ Recalculate

VCG: 0 m Close

Hidrostatik V

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	1218,537	tonne
2	Volume	1188,817	m ³
3	Draft to Baseline	2,7	m
4	Immersed depth	2,711	m
5	Lwl	61	m
6	Beam wl	11,999	m
7	WSA	730,466	m ²
8	Max cross sect area	31,818	m ²
9	Waterplane area	523,846	m ²
10	Cp	0,613	
11	Cb	0,599	
12	Cm	0,98	
13	Cwp	0,716	
14	LCB from zero pt	30,267	m
15	LCF from zero pt	28,598	m
16	KB	1,441	m
17	KG	0	m
18	BMt	3,929	m
19	BMI	87,026	m
20	GMt	5,37	m
21	GMI	88,467	m
22	KMt	5,37	m
23	KMI	88,467	m
24	Immersion (TPc)	5,369	tonne/cm
25	MTC	0	tonne.m
26	RM at 1deg = GMT.Di	114,194	tonne.m
27	Precision	Medium	50 station

Density: 1.025 tonne/m³ Recalculate

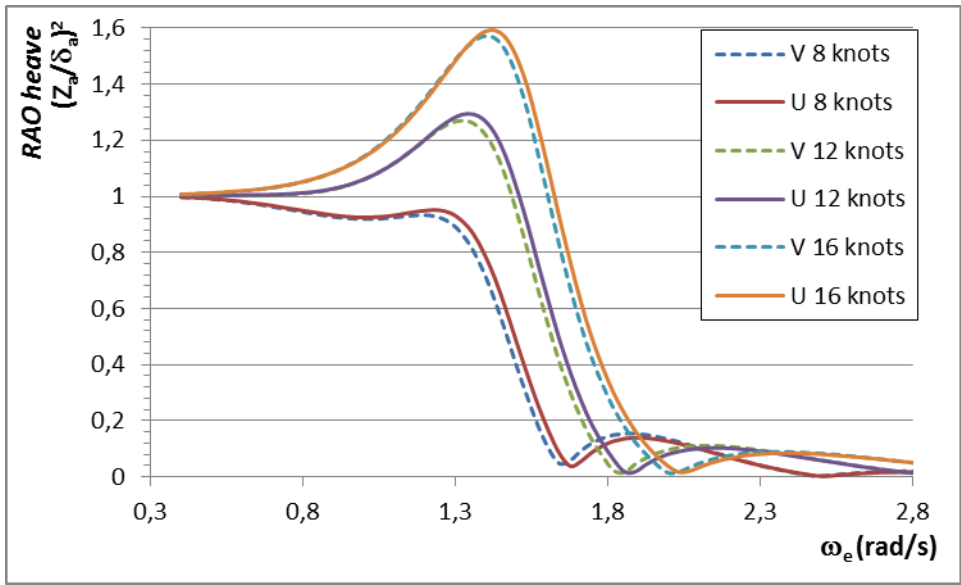
VCG: 0 m Close

Hidrostatik U

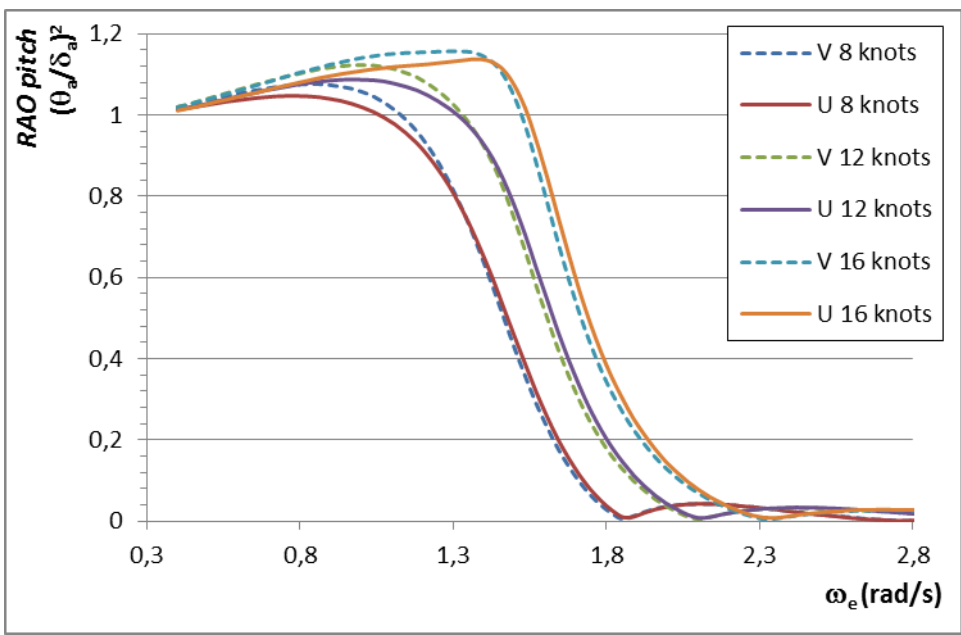
Gambar 70. Hasil perhitungan *hydrostatic* kedua model di *maxsurf*

5.3. Perbandingan *RAO* Lambung U dan V

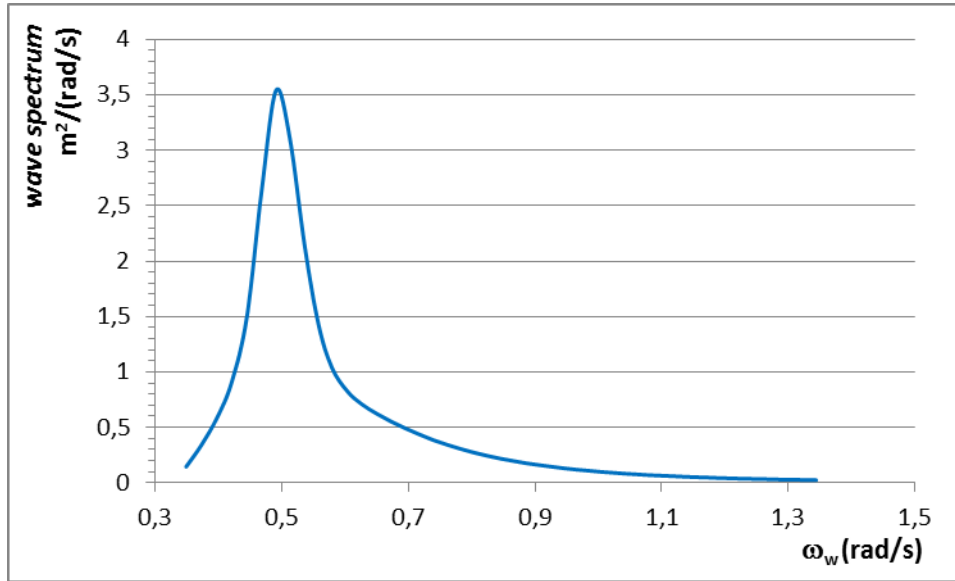
Setelah dilakukan *running* pada *maxsurf* motion untuk kedua model dengan variasi kecepatan, didapatkan hasil dalam bentuk grafik dibawah ini :



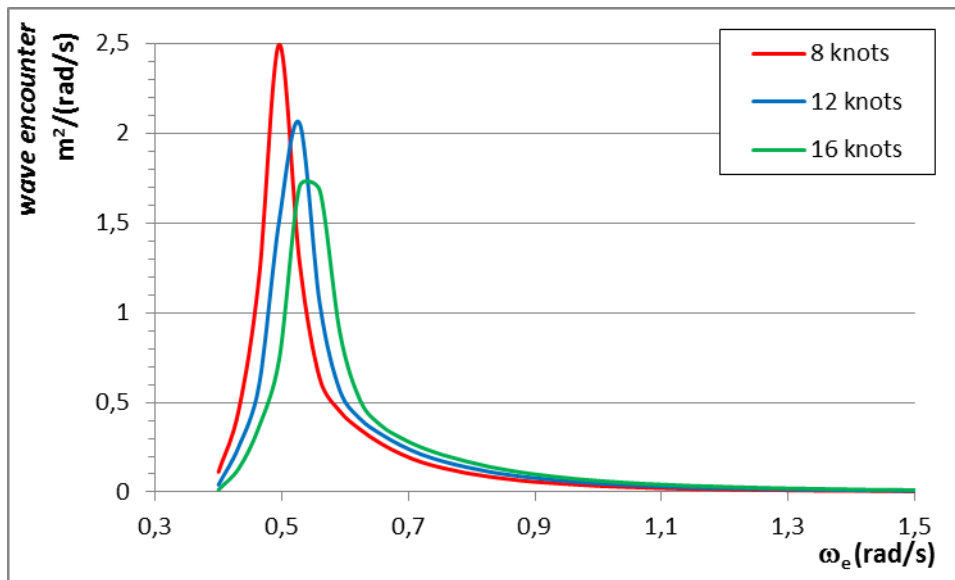
Grafik 6. Hasil perhitungan *RAO Heave* pada CG



Grafik 7. Hasil perhitungan *RAO Pitch* pada CG

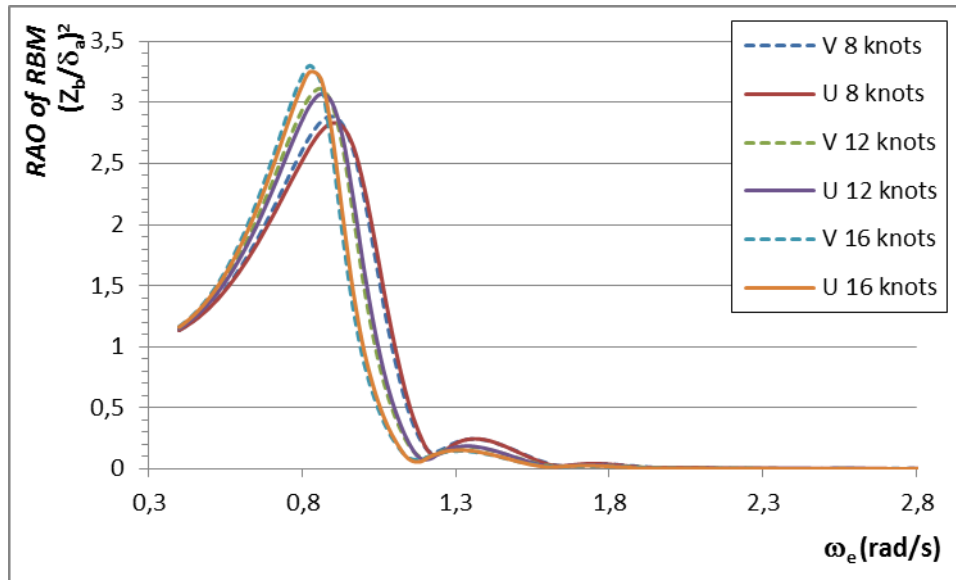


Grafik 8. Hasil *Spectrum Gelombang Jonswap* $H_s = 1.502$, $U = 15$ knots



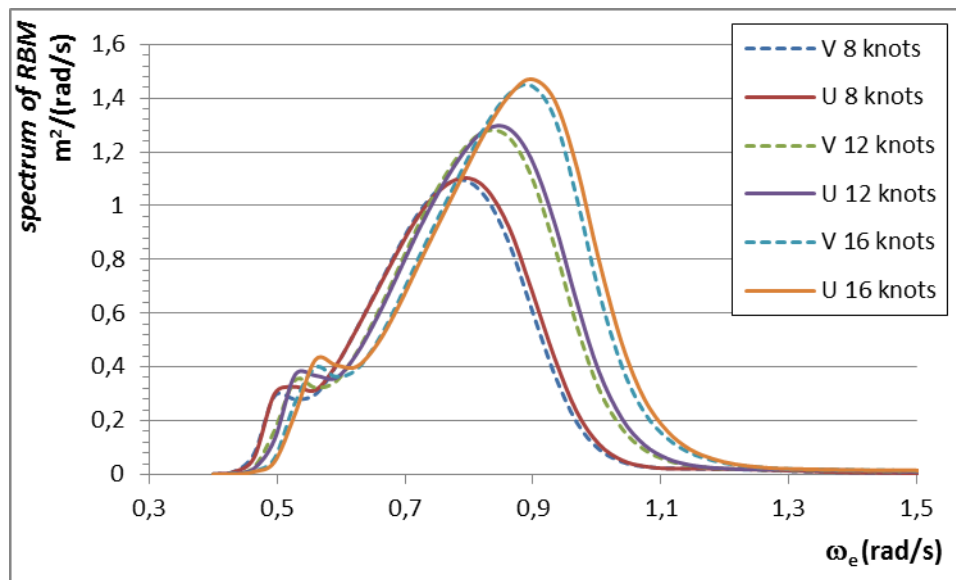
Grafik 9. Hasil perhitungan *wave spectrum encounter*

Setelah dilakukan penggabungan *RAO heave* dan *pitch* untuk *RBM* didapatkan seperti grafik di bawah ini :



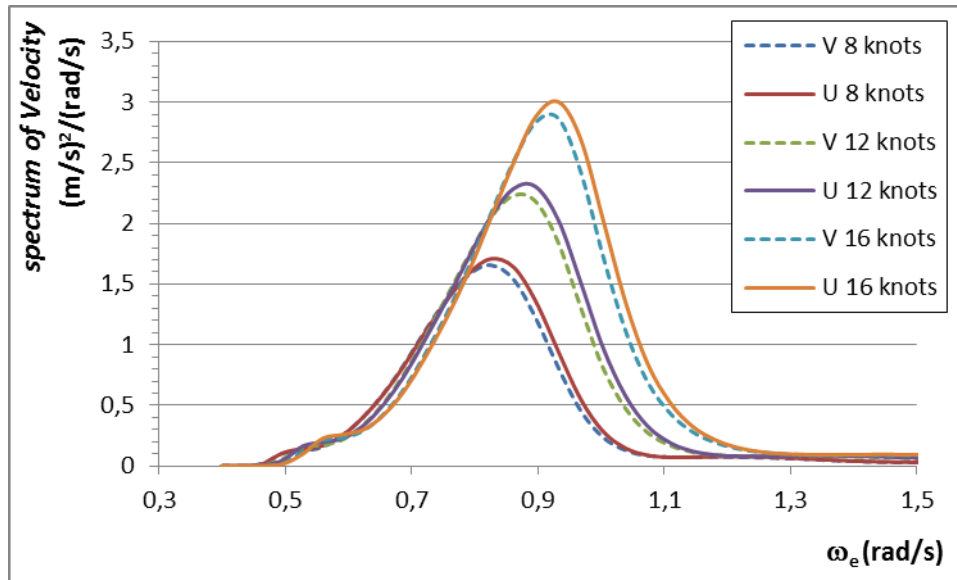
Grafik 10. Hasil RAO of RBM

Setelah didapatkan *RAO of RBM*, untuk mendapatkan hasil *respons spectra of RBM* harus dikalikan dengan *spectra* gelombang terlebih dahulu. *Frequency Spectra* gelombang (ω_w) harus dirubah dulu menjadi *frequency encounter* (ω_e) agar dapat dikalikan dengan *RAO of RBM*. Hasil kurva *spectra of RBM*, atau disebut juga *spectra relative motion* adalah sebagai berikut :

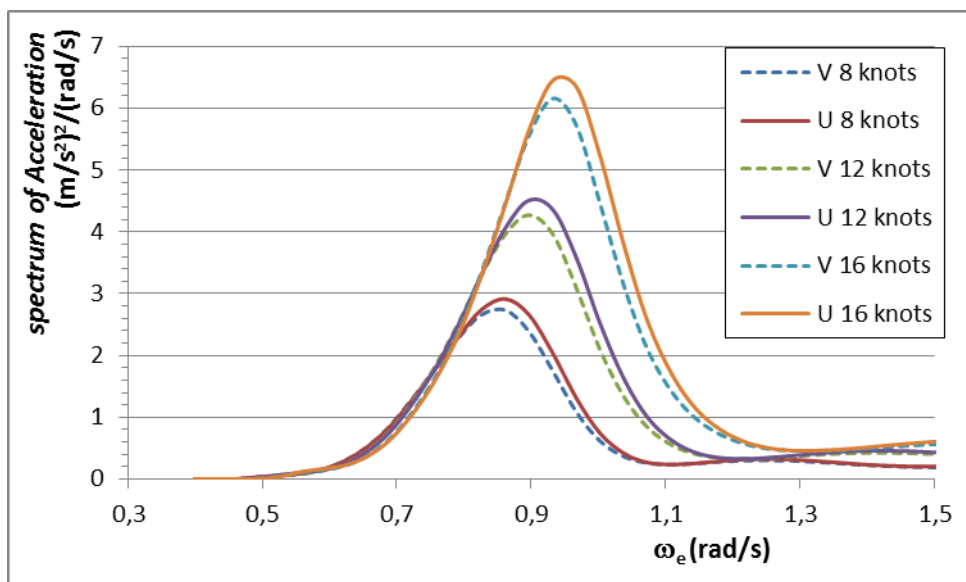


Grafik 11. Hasil perhitungan *spectrum of RBM*

Setelah kurva *Spectra relative motion* didapat, maka dapat diturunkan menjadi *spectra relative velocity* pada turunan pertama dan *spectra relative acceleration* pada turunan kedua.



Grafik 12. Hasil perhitungan *spectra relative velocity*



Grafik 13. Hasil perhitungan *spectrum relative acceleration*

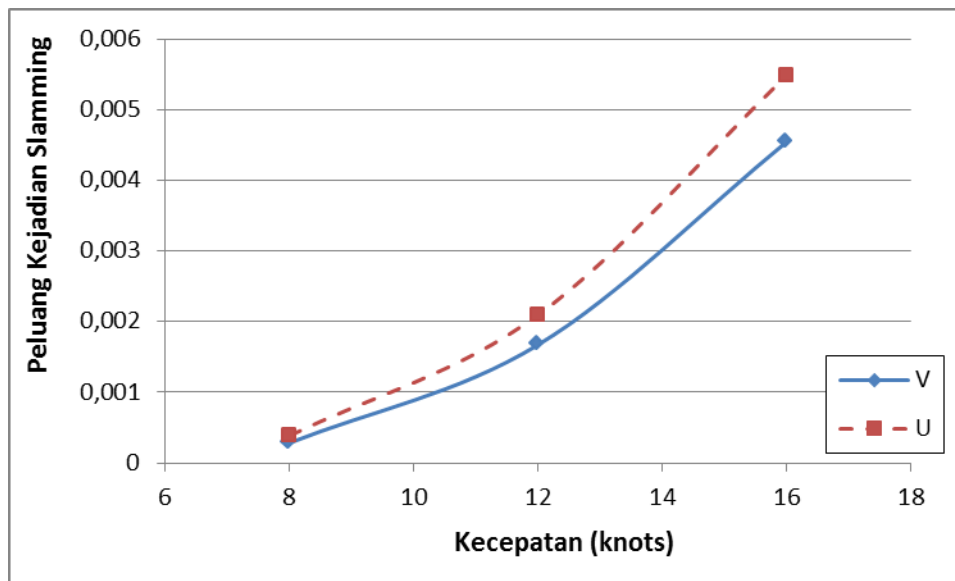
5.4. Perbandingan Probabilitas *Slamming*

Untuk memenuhi Persamaan 11. Peluang terjadinya *slamming*, telah dilakukan perhitungan luasan di bawah kurva dari Grafik 11. Hasil perhitungan *spectrum of RBM* sebagai nilai m_{0zbr} dan luasan di bawah kurva dari Grafik 12. Hasil perhitungan *spectra relative velocity* sebagai nilai m_{0Vbr} . Didapatkan probabilitas *slamming* untuk masing-masing lambung dengan variasi kecepatan sebagai berikut :

Kecepatan (knots)	m_{0zbr} (m ²)		m_{0vbr} ((m/s) ²)		Pr (<i>slamming</i>)	
	hull-V	hull-U	hull-V	hull-U	hull-V	hull-U
8	0,668	0,690	0,936	0,983	0,00029	0,00039
12	0,813	0,838	1,326	1,393	0,00167	0,00210
16	0,930	0,958	1,718	1,808	0,00455	0,00549

Tabel 6. Hasil perhitungan probabilitas *slamming*

Jika disusun dalam grafik adalah sebagai berikut :



Grafik 14. Perbandingan hasil perhitungan probabilitas *slamming*

Dari grafik tersebut membuktikan bahwa lambung berbentuk U mempunyai nilai probabilitas *slamming* lebih besar dari pada lambung berbentuk V.

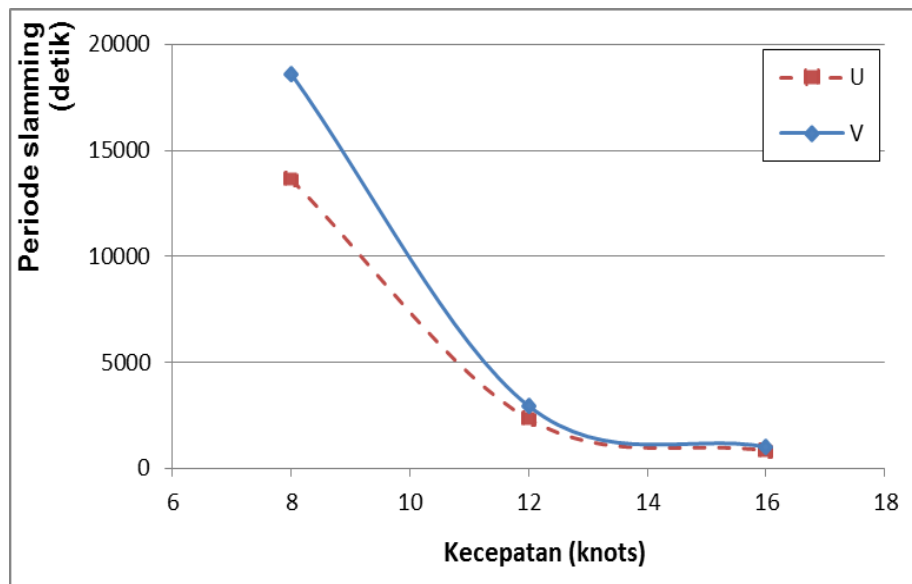
5.5. Perbandingan Intensitas Terjadinya *Slamming*

Dengan menggunakan Persamaan 12. Jumlah kejadian *slamming* per detik didapatkan hasil perbandingan periode *slamming*, *slamming* perdetik dan jumlah *slamming* selama setahun yang di tabelkan di bawah ini.

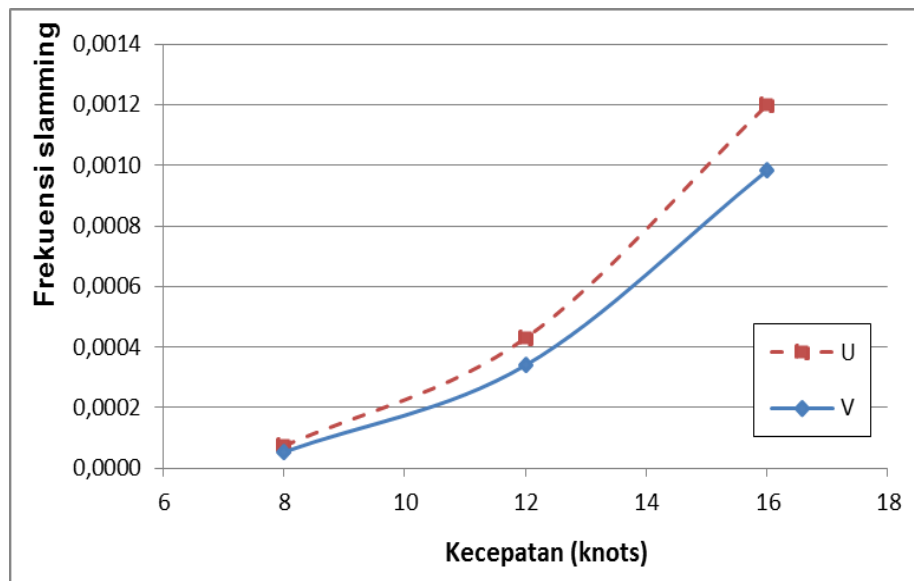
Kecepatan (knots)	Periode (detik)		Periode (jam)		<i>Slamming</i> / tahun	
	hull V	hull U	hull V	hull U	hull V	hull U
8	18611,373	13628,325	5,16983	3,78565	1694	2314
12	2941,633	2325,326	0,81712	0,64592	10721	13562
16	1017,072	833,857	0,28252	0,23163	31007	37819

Tabel 7. Hasil perhitungan banyaknya kejadian *slamming* per waktu

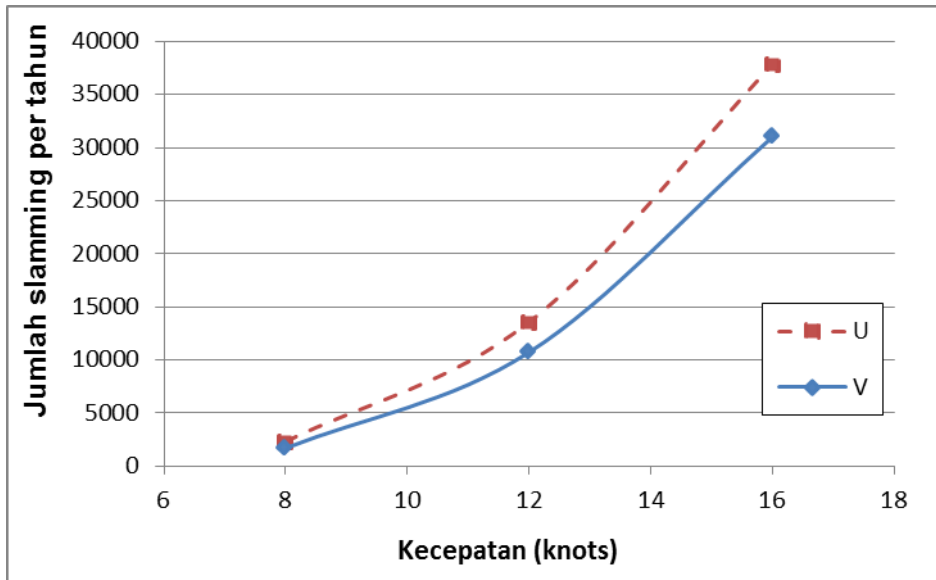
Jika masing-masing disusun dalam grafik adalah sebagai berikut :



Grafik 15. Hasil perbandingan periode *slamming* dalam detik

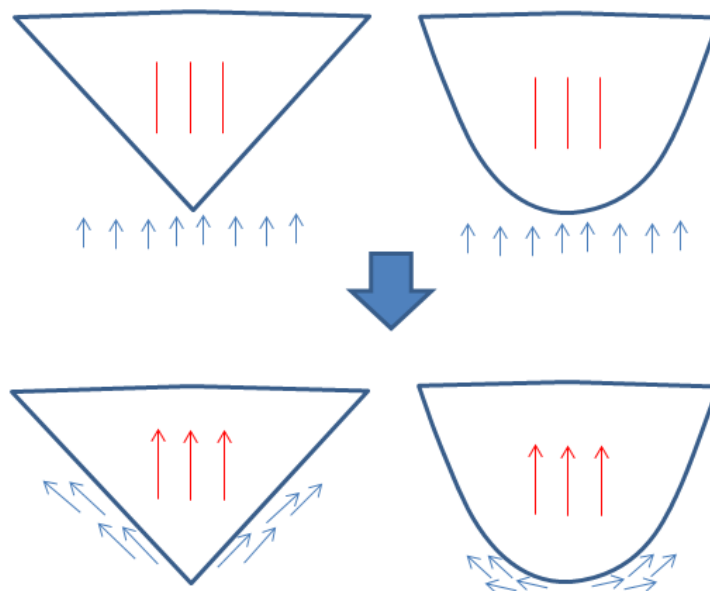


Grafik 16. Hasil perbandingan frekuensi *slamming* per detik



Grafik 17. Hasil perbandingan jumlah kejadian *slamming* dalam satu tahun

Dari hasil grafik-grafik di atas membuktikan bahwa lambung berbentuk U lebih sering mengalami *slamming* dari pada lambung berbentuk V. Hal ini dapat terjadi karena ketika gelombang datang dengan suatu energi mendorong kapal ke arah atas lambung kapal merespon energi tersebut dengan bentuknya. Kejadian tersebut digambarkan sebagai berikut.



Gambar 71. Ilustrasi perbandingan gerakan lambung akibat gelombang

Dari gambar di atas, lambung U menahan kecepatan/gaya gelombang lebih banyak dari pada lambung V. Sesuai dengan hukum kekekalan momentum, dimana massa dikali kecepatan sama dengan konstan. Lambung U menyerap lebih banyak gaya gelombang dan meneruskannya. Sedangkan lambung V menyerap sedikit gaya gelombang dan meneruskannya dengan gaya yang sedikit itu.

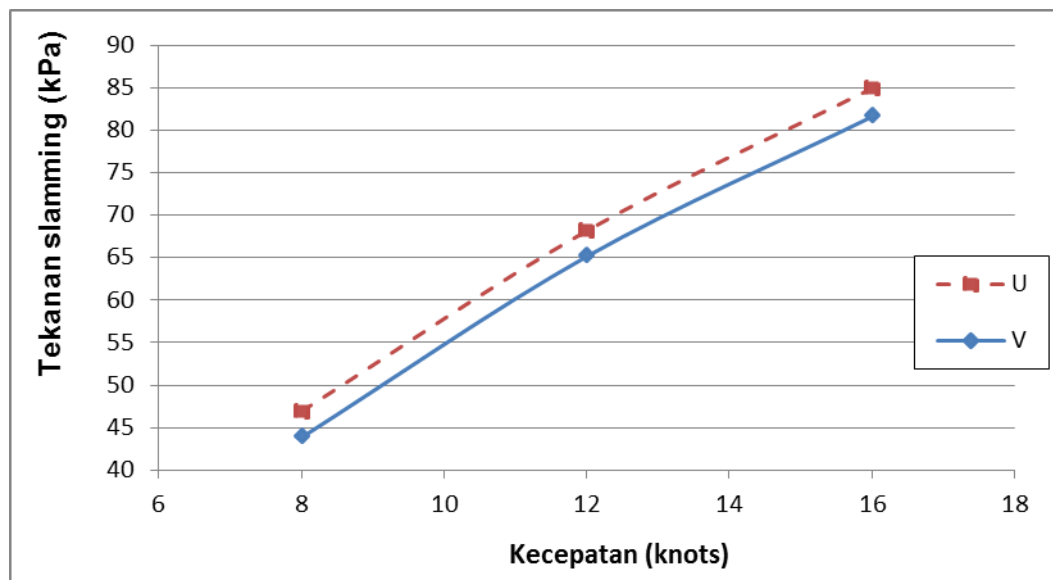
5.6. Perbandingan Besarnya Beban *Slamming*

Dengan menggunakan Persamaan 14. Besarnya beban *slamming*, didapatkan hasil perbandingan besarnya beban *slamming* untuk lambung V dan lambung U dengan variasi kecepatannya sebagai berikut.

Kecepatan (knots)	ρ (ton/m ³)	k	m_{0zbr} (m ²)		m_{0Vbr} ((m/s) ²)		m_{2Vbr} ((m/s ²) ²)		Slamming Pressure (kPa)	
			hull-V	hull-U	hull-V	hull-U	hull-V	hull-U	hull-V	hull-U
8	1,025	9	0,668	0,690	0,936	0,983	2,233	2,429	43,829	46,916
12	1,025	9	0,813	0,838	1,326	1,393	3,892	4,169	65,147	68,167
16	1,025	9	0,930	0,958	1,718	1,808	5,696	6,115	81,612	84,964

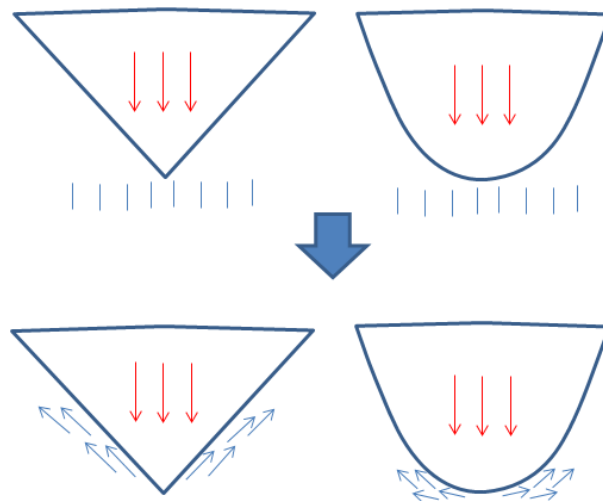
Tabel 8. Perbandingan hasil perhitungan beban *slamming*

Jika masing-masing disusun dalam grafik adalah sebagai berikut :



Grafik 18. Perbandingan hasil perhitungan beban *slamming*

Dari hasil grafik di atas membuktikan bahwa lambung berbentuk U mempunyai beban *slamming* lebih besar dari pada lambung berbentuk V. Hal ini terjadi karena suatu benda yang membentur fluida dengan bentuk tajam dan tumpul berbeda. Bentuk lambung V dapat mengalirkan (memindahkan) fluida lebih baik (cepat) dari pada lambung U. Lambung U menahan aliran fluida lebih banyak dari pada lambung V, yang diilustrasikan seperti gambar di bawah ini.

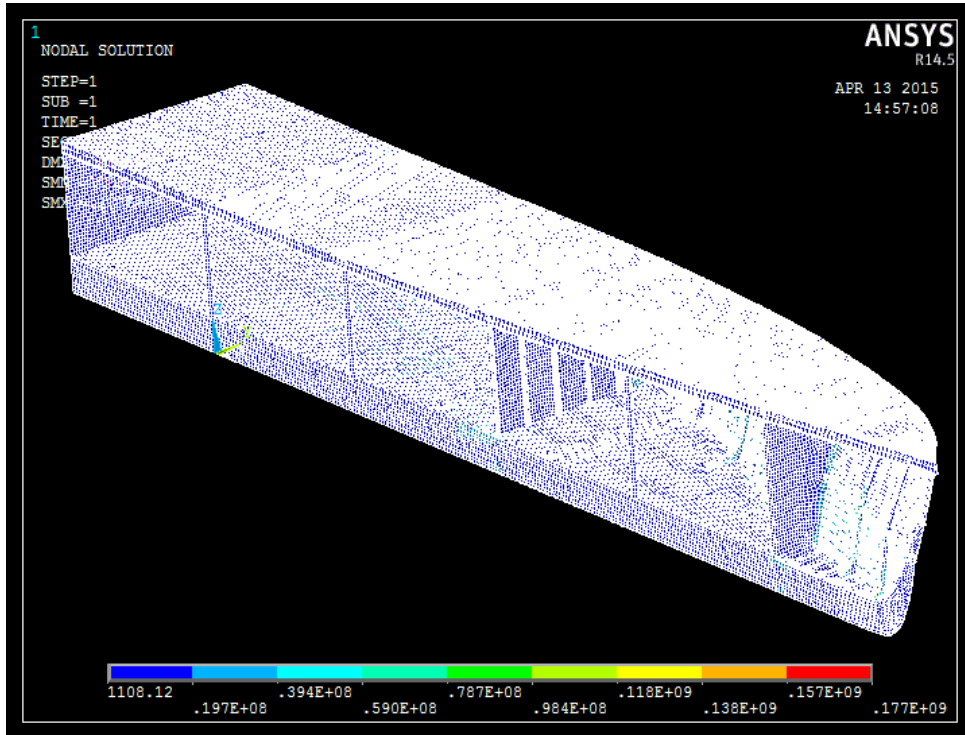


Gambar 72. Ilustrasi kejadian *slamming*

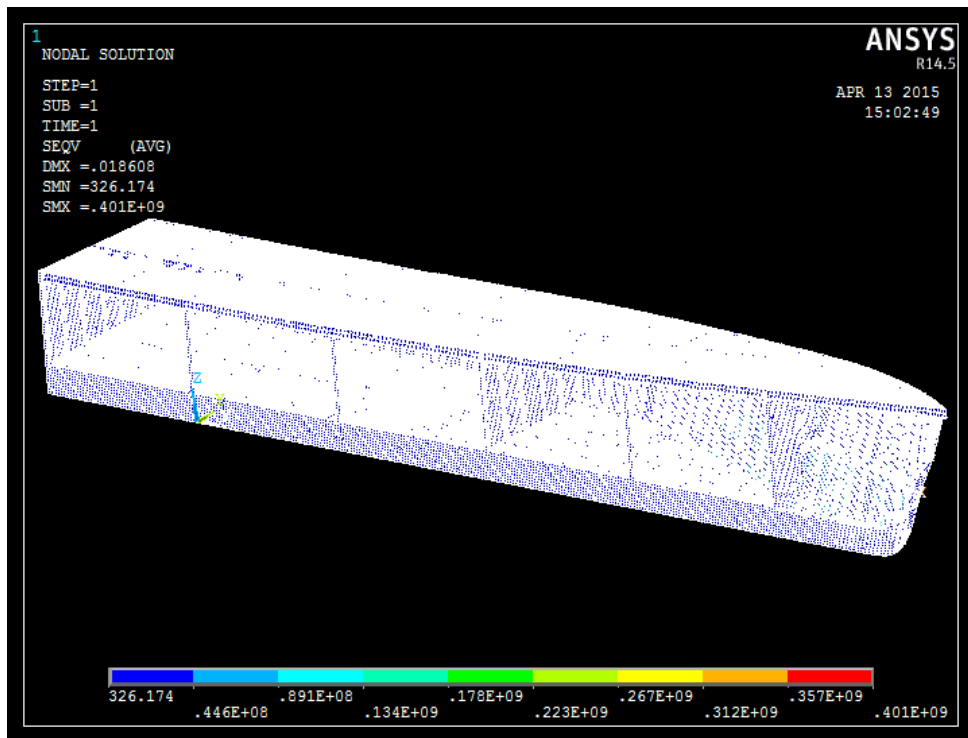
Dari gambar di atas, gelombang menahan jatuhnya lambung U lebih cepat dari pada lambung V. Pada fenomena tersebut lambung U mengalami perlambatan yang lebih besar, sehingga gaya yang terjadi lebih besar.

5.7. Perbandingan Hasil Tegangan

Setelah dilakukan perhitungan atau *running* oleh aplikasi *Ansys Mechanical APDL* dengan variasi beban yang di akibatkan oleh variasi kecepatan untuk kedua model maka didapatkan hasil seperti berikut.

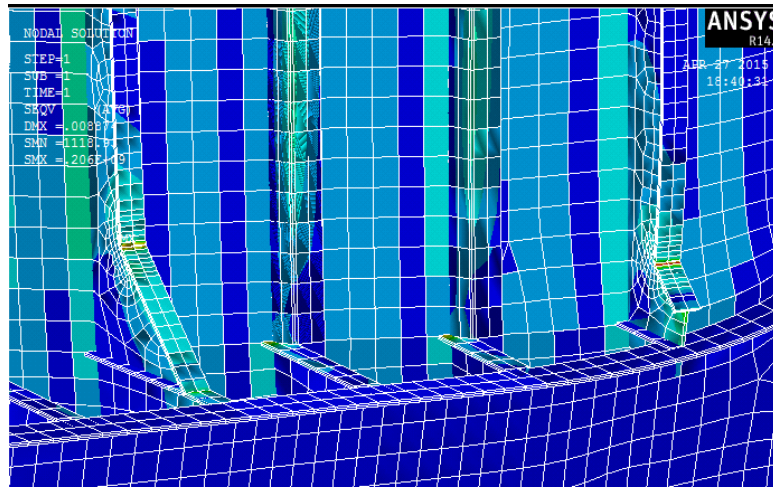


Gambar 73. Hasil analisa tegangan *Von mises* model lambung U



Gambar 74. Hasil analisa tegangan *Von mises* pada model lambung V

Tegangan terbesar terjadi pada sambungan webframe dengan wrang plat (*bracket*) pada daerah 0,94 L. Berikut adalah gambar letak tegangan terbesar:



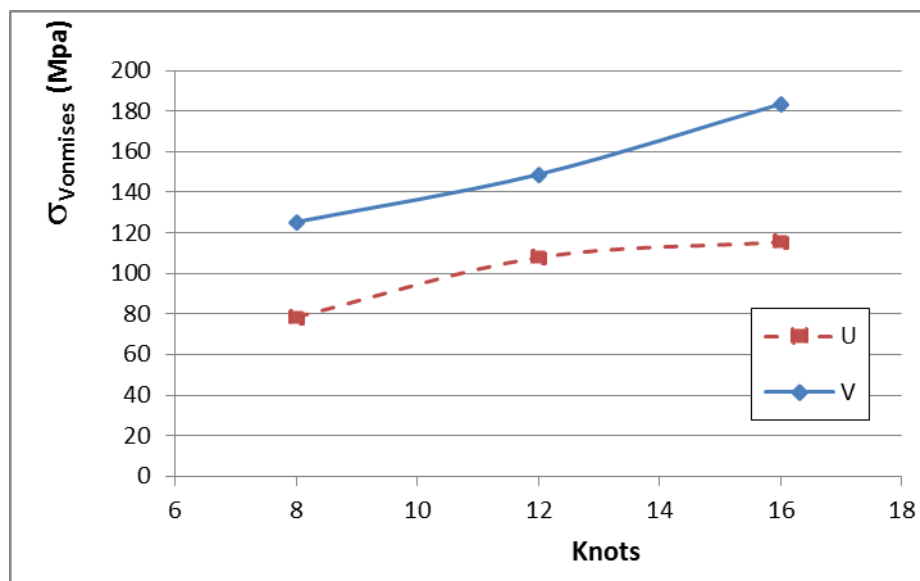
Gambar 75. Letak tegangan terbesar

Jika diambil tegangan *Von mises* pada 3 nodal terbesar menggunakan *list result* dan ditabulasi adalah sebagai berikut :

Hull	U			V		
Speed (knots)	8	12	16	8	12	16
Tegangan max (Mpa)	78,518	107,87	115,49	125,4	148,8	183,44
Node number	5305			8063		
Posisi	Sambungan Webframe dengan wrang pada 0,94 L					

Tabel 9. Hasil tegangan *Von mises* masing-masing model dengan variasi kecepatan

Jika masing-masing disusun dalam grafik adalah sebagai berikut :



Grafik 19. Hasil tegangan *Von mises* model dengan variasi kecepatan

Dari hasil grafik di atas membuktikan bahwa lambung berbentuk U mempunyai tegangan *Von mises* lebih kecil dari pada lambung V, yang artinya lambung U lebih kuat dari pada lambung V.

Rule – Biro Klasifikasi Indonesia Volume II *Rules for Hull* (2014) memberikan batas tegangan ijin untuk kapal dengan panjang di bawah 90 meter adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{\text{ijin}} = 18,5 \frac{\sqrt{L}}{k}$$

$$L = 60 \text{ meter}$$

$$K = 1$$

$$\sigma_{\text{ijin}} = 18,5 \cdot (60)^{1/2} / 1$$

$$= 143,3 \text{ Mpa}$$

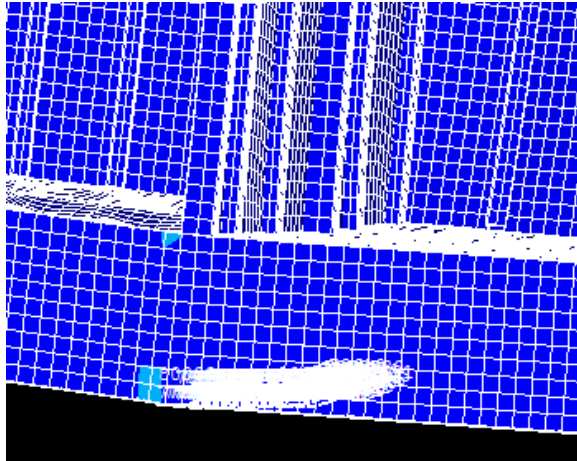
Dari analisa di atas, untuk lambung U memenuhi kriteria tegangan ijin untuk semua kondisi kecepatan dinas. Untuk lambung V, memenuhi kriteria tegangan ijin untuk kondisi kecepatan 8 knots (di bawah kecepatan operasi) dan tidak memenuhi untuk semua kecepatan 12 knots dan 16 knots. Untuk lambung berbentuk V, perlu penambahan kekuatan struktur agar tegangan ijin memenuhi aturan *rule*-Biro Klasifikasi Indonesia Volume II, *Rules for Hull* (2014).

Lambung V adalah lambung yang mempunyai bentuk lebih mematah. Hal tersebut yang menyebabkan tegangannya lebih tinggi dari pada lambung berbentuk U. Seperti halnya mendesain sebuah terowongan, kebanyakan lebih memilih bentuk tumpul atau circular dari pada bentuk yang memiliki sudut.

Ketika memberi tumpuan sederhana yang dikenakan pada sekat, maka harus dianalisa tegangan yang terjadi pada kondisi batas tersebut. Tegangan *Von Mises* yang terjadi pada masing-masing tumpuan adalah sebagai berikut :

Lambung	U			V		
	8	12	16	8	12	16
Kecepatan (knots)						
Tegangan tumpuan engsel/sekat kamar mesin (mPa)	22,405	24,829	27,534	22,398	49,554	53,765
Tegangan tumpuan roll/sekat ruang muat (mPa)	38,517	39,186	42,174	24,144	53,634	54,835
Tegangan tumpuan roll/sekat tubrukan (mPa)	33,727	34,824	42,467	24,905	66,736	55,301

Tabel 10. Hasil tegangan reaksi tumpuan

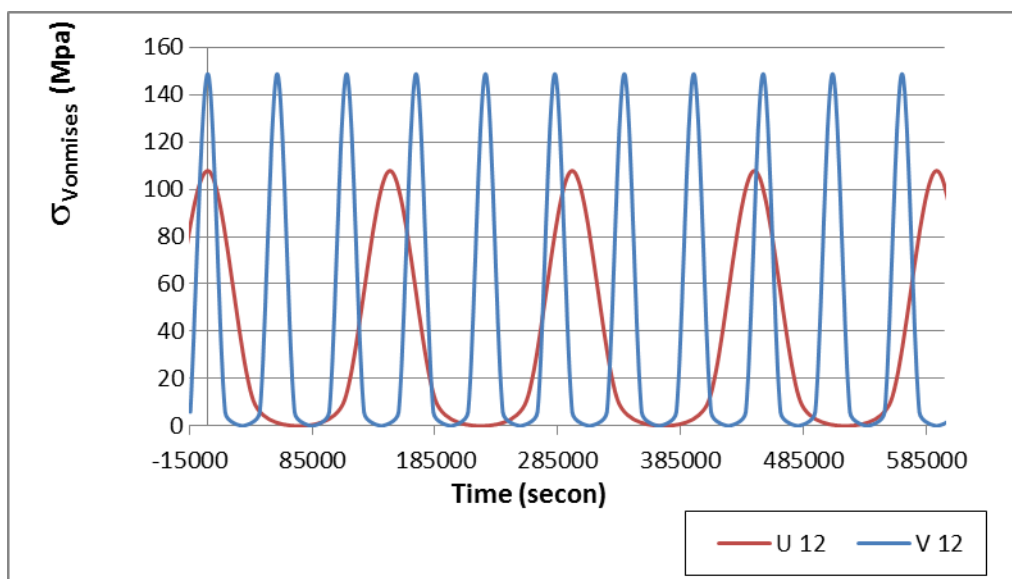


Gambar 76. Salah satu contoh reaksi tumpuan pada model

Dari hasil tegangan rekasi tumpuan di atas, tegangan yang terjadi masih di bawah batas tegangan luluh maupun tegangan ijin dari BKI.

5.8. Perbandingan *Fatigue*

Setelah didapatkan nilai tegangan, maka dapat dilakukan perhitungan *fatigue life* dengan menggunakan Persamaan 40. Kurva *S-N*. Tegangan yang terjadi adalah tegangan maksimal dan tegangan minimal sama dengan 0. Maka nilai $S_0 = \sigma_{max} - 0$. Di bawah ini adalah perbandingan tegangan yang terjadi untuk lambung V dan U dengan kecepatan 12 knots.



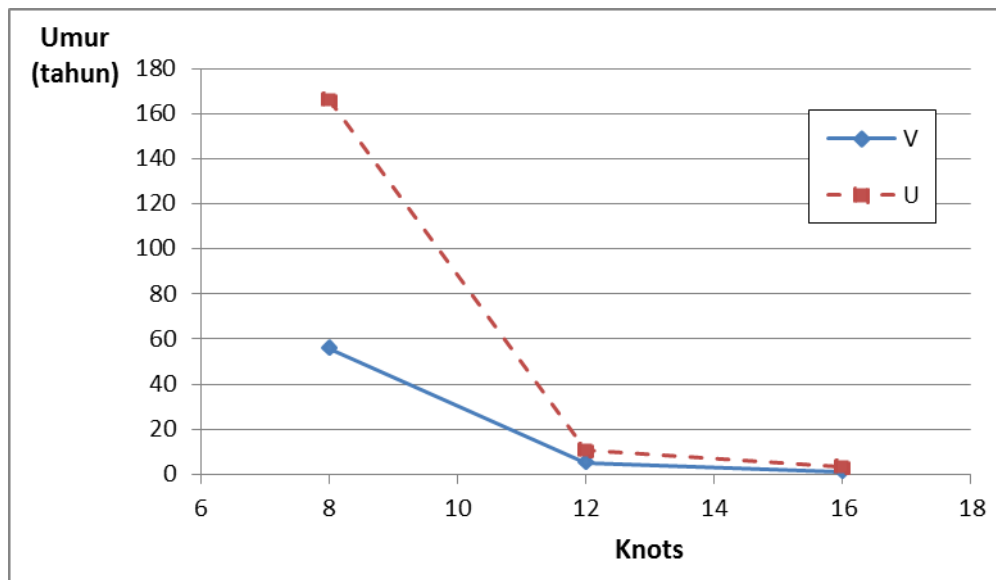
Grafik 20. Perbandingan *cycles* dan tegangan

Dalam perhitungan ini diasumsikan bahwa kapal berlayar terus menerus tanpa berlabuh.

Hull	U			V		
Speed (knots)	8	12	16	8	12	16
S_0 (Mpa)	78,518	107,87	115,49	125,4	148,8	183,44
Node number	5305			8063		
Posisi	Sambungan Webframe dengan wrang pada 0,94 L					
SCF	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
$S_1 = S_0 \times SCF$ (Mpa)	86,3698	118,657	127,039	137,94	163,68	201,784
K	1,57E+11	1,57E+11	1,57E+11	1,57E+11	1,57E+11	1,57E+11
m	3	3	3	3	3	3
Log K	11,197	11,197	11,197	11,197	11,197	11,197
m Log S	5,809086	6,22288	6,311811	6,419071	6,641987	6,91466
Log N	5,387919	4,974125	4,885194	4,777934	4,555018	4,282345
N_0	244297,5	94215,99	76770,35	59970	35893,67	19157,75
Tebal Plat	12	12	12	12	12	12
N	384901,9	148441,6	120955,2	94485,49	56552,13	30183,92
Jumlah Slamming / tahun	2314	13562	37819	1694	10721	31007
Umur (tahun)	166,3362	10,94541	3,198266	55,77656	5,274893	0,973455

Tabel 11. Hasil analisa perbandingan *fatigue life*

Jika masing-masing disusun dalam grafik adalah sebagai berikut :

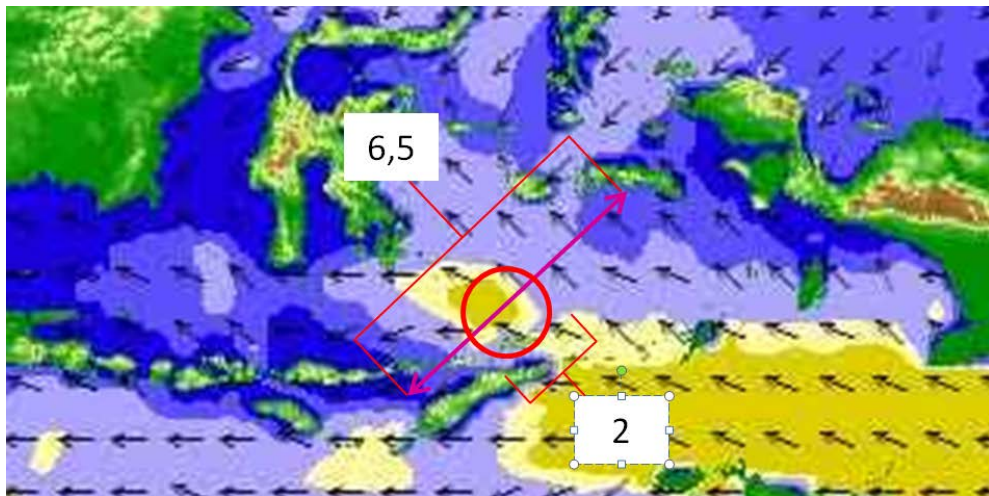


Grafik 21. Hasil analisa perbandingan *fatigue life*

Jika kapal diperhitungkan waktu pelayarannya dengan asumsi sebagai berikut :

1. Rute : Kupang – Ambon – Kupang
2. Jarak : 2 x 487 nm
3. Jadwal pelayaran : seminggu satu kali rute pulang pergi
4. Waktu docking : 1 bulan = 4 minggu
5. Areal bergelombang : 2/6,5 rute
6. 1 tahun : 52 minggu

Perbandingan daerah laut bergelombang tinggi dibandingkan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 77. Perbandingan area bergelombang dalam satu rute

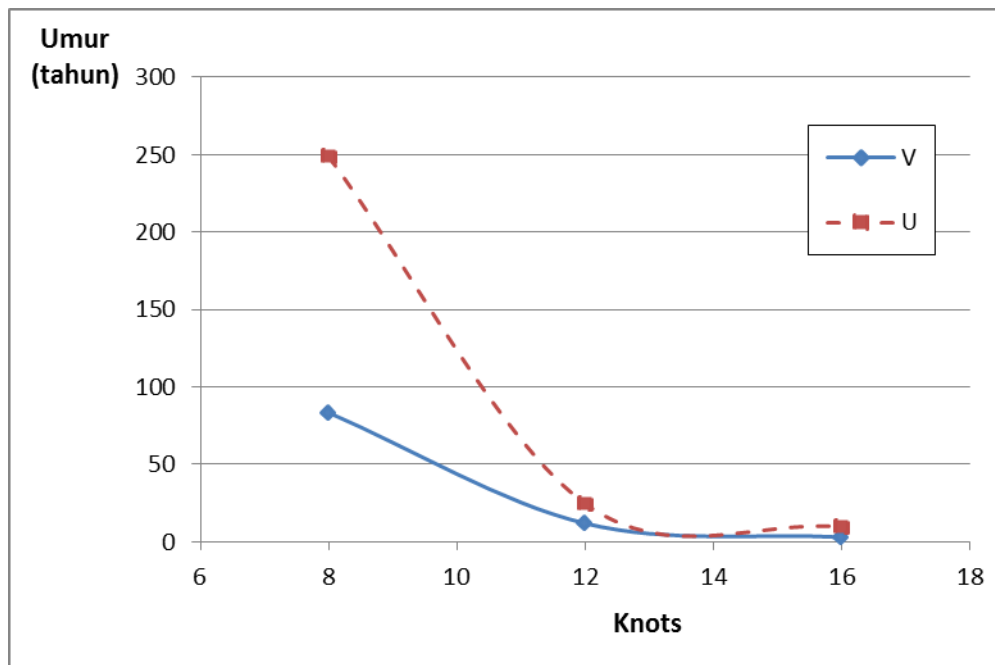
Gambar di atas diambil dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (2014), dimana areal yang berwarna kuning tersebut adalah areal dengan tinggi gelombang significant = 1,5 meter.

Dengan asumsi-asumsi di atas, maka jumlah *slamming* per tahun = jumlah *slamming* pertahun awal x $\{[52 \text{ minggu} - 4 \text{ minggu}] \times \{2 \times 487 \text{ nm} / (\text{kecepatan kapal} \times 24 \text{ jam} \times 7 \text{ hari})\}\} / 52 \text{ minggu}$. Untuk perhitungan lambung U dengan kecepatan kapal 12 knots, yaitu jumlah *slamming* per tahun = $13562 \times \{[52 - 4] \times \{2 \times 487 / (12 \times 24 \times 7)\}\} / 52 = 6049$ kali *slamming*. Sehingga perhitungan *fatigue life*-nya menjadi $134401 / 6049 = 22,219$ tahun. Untuk hasil yang lain adalah sebagai berikut :

Lambung	U			V		
	8	12	16	8	12	16
Kecepatan (knots)						
Jumlah <i>slamming</i> / tahun awal	2314	13562	27819	1694	10721	31007
Jumlah <i>slamming</i> / tahun setelah diasumsi	1548	6048	12650	1134	4781	10371
N	384901,9	148441,6	120955,2	94485,5	56552,1	30183,9
Umur (tahun)	248,6	24,5	9,6	83,3	11,8	2,9

Tabel 12. Hasil analisa *fatigue life* setelah asumsi waktu pelayaran

Perhitungan di atas dengan asumsi faktor korosi diabaikan. Jika masing-masing disusun dalam grafik adalah sebagai berikut :



Grafik 22. Hasil analisa *fatigue life* setelah asumsi waktu pelayaran

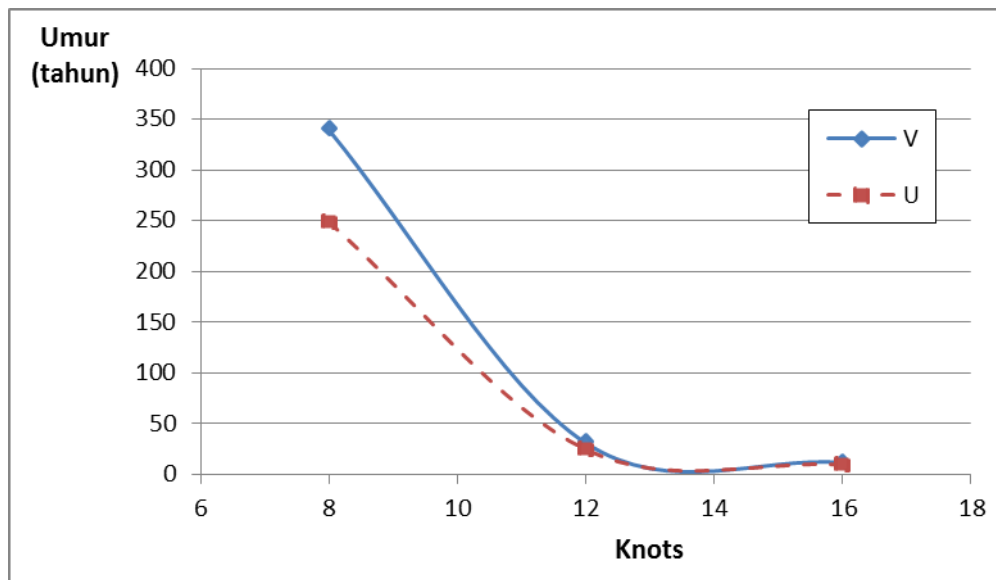
Dari hasil grafik di atas membuktikan bahwa lambung berbentuk U mempunyai *fatigue life* lebih lama dari pada lambung V. Jadi perlu diberi penguatan tambahan untuk lambung berbentuk V agar nilai *fatigue life*-nya lebih lama.

Jika lambung V diperkuat dan hasil tegangan menjadi sama dengan lambung U, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

Hull	U			V		
Speed (knots)	8	12	16	8	12	16
S_0 (Mpa)	78,518	107,87	115,49	78,518	107,87	115,49
Node number	5305			8063		
Posisi	Sambungan Webframe dengan wrang pada 0,94 L					
SCF	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
$S_1 = S_0 \times SCF$ (Mpa)	86,3698	118,657	127,039	86,3698	118,657	127,039
K	1,57E+11	1,57E+11	1,57E+11	1,57E+11	1,57E+11	1,57E+11
m	3	3	3	3	3	3
Log K	11,197	11,197	11,197	11,197	11,197	11,197
m Log S	5,809086	6,22288	6,311811	5,809086	6,22288	6,311811
Log N	5,387919	4,974125	4,885194	5,387919	4,974125	4,885194
N_0	244297,5	94215,99	76770,35	244297,5	94215,99	76770,35
Tebal Plat	12	12	12	12	12	12
N	384901,9	148441,6	120955,2	384901,9	148441,6	120955,2
Jumlah Slamming / tahun	1548	6048	12650	1134	4781	10371
Umur (tahun)	248,6446	24,54392	9,561677	339,4197	31,04824	11,66283

Tabel 13. Hasil analisa *fatigue life* setelah asumsi lambung V diperkuat

Jika masing-masing disusun dalam grafik adalah sebagai berikut :



Grafik 23. Hasil analisa *fatigue life* setelah asumsi lambung V diperkuat

Dari hasil grafik di atas membuktikan bahwa lambung berbentuk V mempunyai *fatigue life* lebih lama dari pada lambung U, jika lambung V diperkuat hingga nilai tegangan yang terjadi sama dengan lambung U.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan beberapa analisa perbandingan model kapal dengan lambung berbentuk U dan lambung berbentuk V dengan variasi kecepatan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Lambung kapal berbentuk U mempunyai peluang, jumlah dan tekanan *slamming* lebih besar dari pada lambung kapal berbentuk V.
2. Untuk beban yang sama, lambung kapal berbentuk V memiliki tegangan lebih besar dari pada lambung kapal berbentuk U.
3. Untuk beban yang sama namun intensitas berbeda, lambung kapal berbentuk U mempunyai harga *fatigue life* lebih lama dari pada lambung kapal berbentuk V.

6.2. Saran

Saran yang dapat diberikan pada kajian Tugas Akhir ini untuk adalah :

1. Untuk lebih akuratnya, sebaiknya diberikan variasi untuk ukuran kapal, tinggi gelombang, dan sudut hadap kapal terhadap gelombang.
2. Untuk lebih akuratnya, sebaiknya dilakukan variasi yang lebih banyak untuk kecepatan kapal.
3. Perlu penambahan kondisi beban berat konstruksi dan gaya angkat.
4. Software *Ansys Mechanical APDL* masih bisa dipelajari lebih dalam untuk pemodelan yang lebih mendekati keadaan sebenarnya.
5. Penelitian sebaiknya dilakukan seperti kondisi nyata untuk distribusi beban *slamming*, agar pemetaan beban pada model mendekati keadaan sebenarnya.
6. Sebaiknya pemodelan dilakukan satu kapal utuh.

DAFTAR PUSTAKA

- American Bureau of Shipping. *Guide for Slamming Loads and Strength Assessment for Vessels*. Houston, 2013.
- ANSYS.inc. *Ansys Help 14.5*. t.thn.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. *www.bmkg.go.id*. 12 12 2014.
http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Informasi_Cuaca/Maritim_-_Cuaca_Pelayaran/Prakiraan_Tinggi_Gelombang.bmkg (diakses 12 12, 2014).
- Bhattacharyya, Rameswar. *Dynamic of Marine Vehicle*. New York: John Wiley and Sons, 1978.
- Biro Klasifikasi Indonesia Volume II. *Rules for Hull*. 2014.
- eFunda. *Failure Criteria: Ductile Materials*. 2015.
http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/failure_criteria/failure_criteria_ductile.cfm (diakses Maret 23, 2015).
- en.wikipedia.com. *A36 steel*. 27 Maret 2015. http://en.wikipedia.org/wiki/A36_steel (diakses April 6, 2015).
- en.wikipedia.com. *Fatigue (material)*. 16 Maret 2015.
http://en.wikipedia.org/wiki/Fatigue_%28material%29 (diakses Maret 19, 2015).
- en.wikiversity.org. *en.wikiversity.org*. 3 Desember 2014.
http://en.wikiversity.org/wiki/Principal_stresses (diakses Maret 23, 2015).
- FORMDATA, Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data*. Copenhagen: Danish Technical Press, 1962.
- Gere, James M., dan P. Stephen Timoshenko. *Mekanika Bahan Jilid 1*. Jakarta: Erlangga, 1997.
- Hughes, Owen F., dan Jeom Kee Paik. *Ship Structural Analysis and Design*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2010.
- id.wikipedia.org. *Wikipedia bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas*. 30 Januari 2015.
<http://id.wikipedia.org/wiki/Konstruksi> (diakses Maret 19, 2015).
- Kapsenberg, G. K. *Slamming of ships: where are we now?* 20 Juni 2011.
<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/369/1947/2892> (diakses Maret 15, 2015).

-
- Kurowsk, P. M. *www.deu.edu.tr*. 2012.
http://www.deu.edu.tr/userweb/zeki.kiral/CAD/Failure_Assesment.pdf (diakses Maret 22, 2015).
- Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft*. Juli 2014.
- Logan, Daryl L. *A First Course in the Finite Element Method, Fourth Edition*. Kanada: Thomson, 2007.
- Madenci, Erdogan, dan Ibrahim Guven. *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS*. New York: Springer, 2006.
- Nikishkov, G. P. *Introduction To The Finite Element Method*. Aizu-Japan: University of Aizu, 2007.
- Nugraha, M. C. *Mcnugraha's Blog*. 20 Juni 2011.
<https://mcnugraha.wordpress.com/2011/06/20/spektra-gelombang-pengukuran-gelombang-rao/> (diakses Maret 23, 2015).
- Pusat Bahasa. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka, 2005.
- Rosyid, Daniel Mohammad, dan Dony Setyawan. *Kekuatan Struktur Kapal*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 1999.
- Roymech. *www.roymech.co.uk*. 9 Maret 2011.
http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Mechanics/stress.html (diakses Maret 23, 2015).
- Schneekluth, H., dan V. Bertram. *Ship Design for Efficiency and Economy*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.
- Schodek, D. L. *Struktur*. Bandung: PT. Refika Aditama, 1998.
- Tawekal, Ricky Lukman. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2010.
- The IACS Members. *Common Structural Rules For Bulk Carriers*. The IACS Members, 2006.
- Timoshenko, Stephen P. *Teori Elastisitas*. Jakarta: Sapdodadi, 1994.
- Watson, D. G. M., dan A. W. Gilfillan. *Some Ship Design Methods*. Transactions RINA, 1977.
- Weaver, JR William, dan Paul R. Johnston. *Finite Elements for Structural Analysis (Elemen Hingga untuk Analisis Struktur) Terjemahan oleh Markus Rubijanto Kusuma*. Bandung: PT. Eresco, 1993.

Wibowo, Cahyono Fajri. *Analisis Tekanan pada Bottom Plate Bagian Depan Kapal Trimaran Akibat Slamming*. Tugas Akhir, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan konstruksi menurut Rule BKI Vol. II

1. Perhitungan Beban

- Basic External Dynamic Load

$$\begin{aligned}
 P0 &= 2,1*(CB+0,7)*c0*cL*f \\
 P01 &= 2,6*(CB+0,7)*c0*cL \\
 CRW &= 0,9 \quad \text{Pelayaran samudra terbatas} \\
 C0 &= (L/24+4.1)*cRW \\
 &= 5,85 \\
 CL &= (L/90)^{0.5} \\
 &= (L/90)^{0.5} \\
 &= 0,816496581 \quad L > 90m \\
 f &= 1 \quad \text{Untuk pelat kulit, geladak cuaca} \\
 f &= 0,75 \quad \text{Untuk gading biasa, balok geladak} \\
 f &= 0,6 \quad \text{Untuk gading besar, senta, penumpu} \\
 \text{maka:} \\
 P0 &= 2,1*(0.65+0,7)*5.85*0.816496580927726*1 \\
 &= 13,54139167 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{,Untuk pelat kulit, geladak cuaca} \\
 P0 &= 2,1*(0.65+0,7)*5.85*0.816496580927726*0.75 \\
 &= 10,15604375 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{,Untuk gading, balok geladak, pembujur} \\
 P0 &= 2,1*(0.65+0,7)*5.85*0.816496580927726*0.6 \\
 &= 8,124835002 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{,Untuk gading besar, senta, penumpu} \\
 P01 &= 2,6*(0.65+0,7)*0.816496580927726*1 \\
 &= 16,76553254 \quad \text{kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel faktor distribusi beban

Range		Factor C_D	Factor C_F
A	$0 \leq x/L < 0,2$	$1,2-x/L$	$1,0+5/Cb*(0,2-x/L)$
	$x/L = 0,1$	$1,2-0.1 = 1,1$	$= 1,769$
M	$0,2 \leq x/L < 0,7$	1	1
F	$0,70 \leq x/L \leq 1$	$1+c/3*(x/L-0,7)$	$1+20/Cb*(x/L-0,7)^2$
	$x/L = 0,93$	$c = 0,15*L-10$	$1+20/0.65*(0.93-$
		$c = -1$	$0,7)^2$
		$1+-1/3*(0.93-0,7)$	$= 2,6277$
	$= 0,9233$		

- Load on Weather Decks (Geladak Cuaca)

$$\begin{aligned}
 z \text{ diambil di daerah } 0,5L &= 4 \quad \text{m} & PD &= P0*20*T/((10+z-T)*H)*cD \\
 \text{untuk pelat geladak cuaca, pelat panel pilar} & & &= 8.1248*20*2.7/((10+4-2.7)*4)*1 \\
 PD &= P0*20*T/((10+z-T)*H)*cD & &= 9,706619469 \quad \text{kN/m}^2 \\
 &= 13.5414*20*2.7/((10+4-2.7)*4)*1 & & \\
 &= 16,1777876 \quad \text{kN/m}^2 & & \\
 \text{untuk balok geladak, penegar geladak} & & \text{Pelat di bawah garis air :} & \\
 PD &= P0*20*T/((10+z-T)*H)*cD & Ps &= 10*(T-z)+p0*cF*(1+(z/T)) \\
 &= 10.156*20*2.7/((10+4-2.7)*4)*1 & Ps1 &= 10*(T-z)+p01*(1+(z/T))*(2- \\
 &= 12,13327434 \quad \text{kN/m}^2 & & (z/T))^2*(y/B) \\
 \text{untuk balok besar, penumpu geladak} & & \text{dengan,} & \\
 z &= 0,577 \quad \text{m} & & \\
 y &= 6 \quad \text{m} & &
 \end{aligned}$$

$$Ps = 10 \cdot (2.7 - 0.577) + 13.5414 \cdot 1 \cdot (1 + (0.577/2.7)) = 37,66524733 \text{ kN/m}^2$$

$$Ps1 = 10 \cdot (2.7 - 0.577) + 16.7655 \cdot (1 + (0.577/2.7)) \cdot (2 - (0.577/2.7))^2 \cdot (6/12) = 44,39553069 \text{ kN/m}^2$$

Gading biasa di bawah garis air :

$$Ps = 10 \cdot (T-z) + p0 \cdot cF \cdot (1 + (z/T))$$

$$Ps1 = 10 \cdot (T-z) + p01 \cdot (1 + (z/T)) \cdot (2 - (z/T))^2 \cdot (y/B)$$

dengan,

$$z = 2,5 \text{ m}$$

$$y = 6 \text{ m}$$

$$Ps = 10 \cdot (2.7 - 2.5) + 10.156 \cdot 1 \cdot (1 + (2.5/2.7)) = 36,60502779 \text{ kN/m}^2$$

$$Ps1 = 10 \cdot (2.7 - 2.5) + 16.7655 \cdot (1 + (2.5/2.7)) \cdot (2 - (2.5/2.7))^2 \cdot (6/12) = 35,43900823 \text{ kN/m}^2$$

Gading besar :

$$Ps = 10 \cdot (T-z) + p0 \cdot cF \cdot (1 + (z/T))$$

$$Ps1 = 10 \cdot (T-z) + p01 \cdot (1 + (z/T)) \cdot (2 - (z/T))^2 \cdot (y/B)$$

dengan,

$$z = 2,4 \text{ m}$$

$$y = 6 \text{ m}$$

$$Ps = 10 \cdot (2.7 - 2.4) + 8.1248 \cdot 1 \cdot (1 + (2.4/2.7)) = 18,34684444 \text{ kN/m}^2$$

$$Ps1 = 10 \cdot (2.7 - 2.4) + 16.7655 \cdot (1 + (2.4/2.7)) \cdot (2 - (2.4/2.7))^2 \cdot (6/12) = 36,32401852 \text{ kN/m}^2$$

Load on the Ship's Bottom

$$PB = 10 \cdot T + p0 \cdot cF$$

$$PB1 = 10 \cdot T + p01 \cdot 2 \cdot y/B$$

dengan,

$$y = 6 \text{ m}$$

untuk pelat

$$PB = 10 \cdot 2.7 + 13.5414 \cdot 1 = 40,5414 \text{ kN/m}^2$$

$$PB1 = 10 \cdot 2.7 + 16.7655 \cdot 2 \cdot 6/12 = 43,7655 \text{ kN/m}^2$$

untuk penegar

$$PB = 10 \cdot 2.7 + 10.156 \cdot 1 = 37,156 \text{ kN/m}^2$$

$$PB1 = 10 \cdot 2.7 + 16.7655 \cdot 2 \cdot 6/12 = 43,7655 \text{ kN/m}^2$$

untuk penumpu

$$PB = 10 \cdot 2.7 + 8.1248 \cdot 1 = 35,1248 \text{ kN/m}^2$$

$$PB1 = 10 \cdot 2.7 + 16.7655 \cdot 2 \cdot 6/12 = 43,7655 \text{ kN/m}^2$$

Load on Inner Bottom

$$Pi = 9,81 \cdot (G/V) \cdot h \cdot (1 + av)$$

$$G/V = 0,6 \text{ t/m}^3$$

$$h = 3,5 \text{ m}$$

$$Pi = 9,81 \cdot (0.6) \cdot 3.5 \cdot (1 + 0.170411267233126) = 24,11164252 \text{ kN/m}^2$$

Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]

Load on Weather Decks (Geladak Cuaca)

z diambil di daerah $0,7L = 4 \text{ m}$

untuk pelat geladak cuaca, pelat panel pilar

$$PD = P0 \cdot 20 \cdot T / ((10 + z - T) \cdot H) \cdot cD$$

$$= 13.5414 \cdot 20 \cdot 2.7 / ((10 + 4 - 2.7) \cdot 4) \cdot 0.9233 = 14,93694313 \text{ kN/m}^2$$

untuk balok geladak, penegar geladak

$$PD = P0 \cdot 20 \cdot T / ((10 + z - T) \cdot H) \cdot cD$$

$$= 10.156 \cdot 20 \cdot 2.7 / ((10 + 4 - 2.7) \cdot 4) \cdot 0.9233 = 11,20265219 \text{ kN/m}^2$$

untuk balok besar, penumpu geladak

$$PD = P0 \cdot 20 \cdot T / ((10 + z - T) \cdot H)$$

$$= 8.1248 \cdot 20 \cdot 2.7 / ((10 + 4 - 2.7) \cdot 4) \cdot 0.9233 = 8,962121756 \text{ kN/m}^2$$

Load on Ship's Sides (Sisi Kapal)

Harga CF dapat di cari dari tabel diatas

Pelat di bawah garis air :

$$Ps = 10 \cdot (T-z) + p0 \cdot cF \cdot (1 + (z/T))$$

$$Ps1 = 10 \cdot (T-z) + p01 \cdot (1 + (z/T)) \cdot (2 - (z/T))^2 \cdot (y/B)$$

dengan,

$$z = 0,5055 \text{ m}$$

$$y = 0,7068 \text{ m}$$

$$Ps = 10 \cdot (2.7 - 0.5055) + 13.5414 \cdot 2.6277 \cdot (1 + (0.5055/2.7)) = 64,18961583 \text{ kN/m}^2$$

$$Ps1 = 10 \cdot (2.7 - 0.5055) + 16.7655 \cdot (1 + (0.5055/2.7)) \cdot (2 - (0.5055/2.7))^2 \cdot (0.7068/12) = 39,38079158 \text{ kN/m}^2$$

Design Bottom Slamming Pressure

$$PSL = 162 \cdot (L)^{(0,5)} \cdot c1 \cdot cSL \cdot cA \cdot cS$$

$$c1 = 3,6 - 6,5 \cdot (Tb/L)^{(0,2)}$$

$$Tb = 2,7 \text{ m}$$

$$c1 = 3,6 - 6,5 \cdot (2.7/60)^{(0,2)} = 0,10412529$$

$$cSL = \text{diambil terbesar} = 1$$

$$cA = 1$$

$$cS = (1 + cRW)/2$$

$$= 0,95$$

$$\text{PSL} = 162 \cdot (60)^{0,5} \cdot 0.104125289969147 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.95$$

$$= 124,1282032 \text{ kN/m}^2$$

Load on Bulkhead

$$p = 9,81 \cdot h$$

untuk pelat

$$h = 4,2162 \text{ m}$$

$$p = 9,81 \cdot 4,2162$$

$$= 41,360922 \text{ kN/m}^2$$

$$h = 2,4162 \text{ m}$$

$$p = 9,81 \cdot 2,4162$$

$$= 23,702922 \text{ kN/m}^2$$

untuk penegar

$$h = 2,6081 \text{ m}$$

$$p = 9,81 \cdot 2,6081$$

$$= 25,585461 \text{ kN/m}^2$$

$$h = 2,9162 \text{ m}$$

$$p = 9,81 \cdot 2,9162$$

$$= 28,607922 \text{ kN/m}^2$$

2. Perhitungan Tebal Plat

Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]

Bottom Plating

$$tB1 = 18,3 \cdot n_f \cdot a \cdot (PB/spl)^{0,5} + tk$$

$$tB2 = 1,21 \cdot a \cdot (PB \cdot k)^{0,5} + tk$$

$$n_f = 1$$

$$a = 0,6 \text{ m}$$

$$PB = 106,929 \text{ kN/m}^2$$

$$spl = (s^2 \text{perm} - 3 \cdot tL)^{0,5} - 0,89 \cdot sLB$$

$$tL = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$spl = (230^2 - 3 \cdot 0^2)^{0,5} - 0,89 \cdot 120$$

$$= 123,2 \text{ N/mm}^2$$

$$tB1 = 18,3 \cdot 0,83 \cdot 0,6 \cdot (106,929/123,2)^{0,5} + tk$$

$$= 8,490295996 + tk$$

$$= 8,490295996 + 1,5$$

$$= 9,990295996 \text{ mm} \text{ -----> } 10 \text{ mm}$$

$$tB2 = 1,21 \cdot 0,6 \cdot (106,929 \cdot 1)^{0,5} + tk$$

$$= 7,507310411 + tk$$

$$= 7,507310411 + 1,5$$

$$= 9,007310411 \text{ mm} \text{ -----> } 10 \text{ mm}$$

Inner bottom plate

$$t = 1,1 \cdot a \cdot (p \cdot k)^{0,5} + tk$$

$$p = 106,929 \text{ kN/m}^2$$

$$a = 0,6 \text{ m}$$

$$t = 1,1 \cdot 0,6 \cdot (106,929 \cdot 1)^{0,5} + tk$$

$$= 6,824827646 + tk$$

$$= 6,824827646 + 1,5$$

$$= 8,324827646 \text{ mm} \text{ -----> } 9 \text{ mm}$$

Minimum thickness of Main deck

$$t_{min} = (4,5 + 0,05 \cdot L) \cdot (k)^{0,5}$$

$$t = (4,5 + 0,05 \cdot 60) \cdot (1)^{0,5}$$

$$t = 7,5 \text{ -----> } 8 \text{ mm}$$

$$tE1 = 1,21 \cdot a \cdot (pD \cdot k)^{0,5} + tk$$

$$pD = 16,17777876 \text{ kN/m}^2$$

$$a = 0,6 \text{ m}$$

$$t = 1,21 \cdot 0,6 \cdot (16,17777876 \cdot 10619 \cdot 1)^{0,5} + tk$$

$$= 2,920088855 + tk$$

$$= 2,920088855 + 1,5$$

$$= 4,420088855 \text{ mm} \text{ -----> } 5 \text{ mm}$$

$$tE_{min} = (5,5 + 0,02 \cdot L) \cdot (k)^{0,5}$$

$$t = (5,5 + 0,02 \cdot 60) \cdot (1)^{0,5}$$

$$t = 6,7 \text{ -----> } 7 \text{ mm}$$

Bulkhead Plating

$$t = cp \cdot a \cdot (p)^{0,5} + tk$$

$$f = 235/ReH$$

$$= 1$$

$$cp = 0,9 \cdot (f)^{0,5}$$

$$= 0,9$$

$$a = 1 \text{ m}$$

$$p = 41,360922 \text{ kN/m}^2$$

$$t = 0,9 \cdot 1 \cdot (41,360922)^{0,5} + tk$$

$$t = 5,788121182 + tk$$

$$= 5,788121182 + 1,5$$

$$= 7,288121182 \text{ mm} \text{ -----> } 8 \text{ mm}$$

$$p = 23,702922$$

$$t = 0,9 \cdot 1 \cdot (23,702922)^{0,5} + tk$$

$$t = 4,381708208 + tk$$

$$= 4,381708208 + 1,5$$

$$= 5,881708208 \text{ mm} \text{ -----> } 6 \text{ mm}$$

Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]

Bottom Plating

$$tB1 = 18,3 \cdot n_f \cdot a \cdot (PB/spl)^{0,5} + tk$$

$$tB2 = 1,21 \cdot a \cdot (PB \cdot k)^{0,5} + tk$$

$$n_f = 1$$

$$a = 0,6 \text{ m}$$

$$PB = 124,1282032 \text{ kN/m}^2$$

$$spl = (s^2 \text{perm} - 3 \cdot tL)^{0,5} - 0,89 \cdot sLB$$

$$tL = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$spl = (230^2 - 3 \cdot 0^2)^{0,5} - 0,89 \cdot 120$$

$$= 123,2 \text{ N/mm}^2$$

$$tB1 = 18,3 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot (124,12820319982/123,2)^{0,5} + tk$$

$$= 11,02128469 + tk$$

$$= 11,02128469 + 1,602128469$$

$$= 12,62341316 \text{ mm} \text{ -----> } 13 \text{ mm}$$

$$tB2 = 1,21 \cdot 0,6 \cdot (124,12820319982 \cdot 1)^{0,5} + tk$$

$$= 8,08857199 + tk = 8,08857199 + 1,5$$

3. Perhitungan Profil

Daerah $02 \leq x/L < 0.7$ [M]

Bottom Section

Longitudinal girder minimum

$$t_{min} = (5+0,03*L)*k^{(0,5)} = (5+0,03*60)*1^{(0,5)} = 6,8 \text{ mm} \text{ -----> } 7 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 6*k^{(0,5)} = 6*1^{(0,5)} = 6 \text{ mm} \text{ -----> } 6 \text{ mm}$$

Centre girder

$$h = 350+45*b = 350+45*12 = 890 \text{ mm}$$

$$h_a = 1000 \text{ mm}$$

$$t_m = h/h_a*(h/100+1)*k^{(0,5)} = 890/1000*(890/100+1)*1^{(0,5)} = 8,811 \text{ mm} \text{ -----> } 9 \text{ mm}$$

Side girder

$$t = (h^2)/(120*h_a)*k^{(0,5)} = (890^2)/(120*1000)*1^{(0,5)} = 6,600833333 \text{ mm} \text{ -----> } 7 \text{ mm}$$

Plate floor

$$t_{pf} = (t_m-2)*k^{(0,5)} = (8,811-2)*1^{(0,5)} = 6,811 \text{ mm} \text{ -----> } 7 \text{ mm}$$

watertight plate floor

$$t_{min} = t \text{ (tank structur)} = 8 \text{ mm} \text{ -----> } 8 \text{ mm}$$

ordinary frame

dibawah 2nd deck

$$WR = n*c*a*I^2*p*cr*k$$

$$ARO = (1-0,817*ma)*0,04*a*I*p*k$$

$$ARU = (1-0,817*ma)*0,07*a*I*p*k$$

$$n = 0,69$$

$$c = 1-(IKu/l+0,4*IKo/l)$$

$$IKu = 0 \text{ m}$$

$$IKo = 0 \text{ m}$$

$$l = 3 \text{ m}$$

$$c = 1$$

$$a = 0,6 \text{ m}$$

$$p = 36,605 \text{ kN/m}^2$$

$$cr = 1-2*s/l$$

$$s = 0 \text{ m}$$

$$cr = 1$$

$$ma = 0,204*a/l*(4-(a/l)^2) = 0,204*0,6/3*(4-(0,6/3)^2) = 0,1616$$

$$= 9,58857199 \text{ mm} \text{ -----> } 10 \text{ mm}$$

$$WR = 0.69*1*0.6^3*36.605*1*1 = 136,39023 \text{ cm}^3$$

$$ARO = (1-0,817*0.1616)*0,04*0.6^3*36.605*1 = 2,287594393 \text{ cm}^2$$

$$ARU = (1-0,817*0.1616)*0,07*0.6^3*36.605*1 = 4,003290187 \text{ cm}^2$$

$$L = 100x100x12$$

bottom frame

$$WR = n*c*a*I^2*p*k$$

$$ARO = (1-0,817*ma)*0,04*a*I*p*k$$

$$ARU = (1-0,817*ma)*0,07*a*I*p*k$$

$$n = 0,7$$

$$c = 1-(IKu/l+0,4*IKo/l)$$

$$IKu = 0 \text{ m}$$

$$IKo = 0 \text{ m}$$

$$l = 2,2 \text{ m}$$

$$c = 1$$

$$a = 0,6 \text{ m}$$

$$p = 43,7655 \text{ kN/m}^2$$

$$cr = 1-2*s/l$$

$$s = 0 \text{ m}$$

$$cr = 1$$

$$ma = 0,204*a/l*(4-(a/l)^2) = 0,204*0,6/2.2*(4-(0,6/2.2)^2) = 0,2184$$

$$WR = 0.7*1*0.6^3*2.2^2*43.7655*1*1 = 88,9665084 \text{ cm}^3$$

$$ARO = (1-0,817*0.2184)*0,04*0.6^3*2.2^2*43.7655*1 = 1,898492603 \text{ cm}^2$$

$$ARU = (1-0,817*0.2184)*0,07*0.6^3*2.2^2*43.7655*1 = 3,322362055 \text{ cm}^2$$

$$L = 100x100x10$$

Web frame

$$W = 0,55*e*I^2*ps*nc*k$$

$$AW = 0,05*e*I*ps*k$$

$$e = 3 \text{ m}$$

$$a_o = 0,15 \text{ m} \quad a_u = 0,3 \text{ m}$$

$$b_o = 0,3 \text{ m} \quad b_u = 0,3 \text{ m}$$

$$c_o = (a_o+b_o)/4 \quad c_u = (a_u+b_u)/4 = 0,1125 \text{ m} = 0,15 \text{ m}$$

$$l_o = 2,7 \text{ m}$$

$$l = 2.7-0.1125-0.15 = 2,4375 \text{ m}$$

$$ps = 36,32401852 \text{ kN/m}^2$$

$$nc = 1$$

$$W = 0,55*3^2*2.4375^2*36.3240185185185*1*1 = 356,0959886 \text{ cm}^3$$

$$AW = 0,05*3^2*2.4375*36.3240185185185*1$$

= 13,28096927 cm²
 dan lebar pelat efektif adalah
 l/e = 0,8125
 interpolasi ditabel
 l/e = 2 --> em1/e = 0,64
 l/e = 3 --> em1/e = 0,82
 jadi,
 l/e = 0,8125 --> em1/e = 0,42625
 em1 = 1,27875 m
 T 200x100x12
 Deck girder
 W = $c \cdot e \cdot l^2 \cdot p \cdot k$
 AW = $0,05 \cdot e \cdot l \cdot p \cdot k$
 c = 0,75
 e = 6 m
 ao = 0 m au = 0 m
 bo = 0 m bu = 0 m
 co = (ao+bo)/4 cu = (au+bu)/4
 = 0 m = 0 m
 l0 = 3 m
 l = 3-0-0
 = 3 m
 pD = 9,706619469 kN/m²
 W = $0,75 \cdot 6^3 \cdot 3^2 \cdot 9,706619469 \cdot 0,2655 \cdot 1$
 = 393,1180885 cm³
 AW = $0,05 \cdot 6^3 \cdot 3 \cdot 9,706619469 \cdot 0,2655 \cdot 1$

= 8,735957522 cm²
 dan lebar pelat efektif adalah
 l/e = 0,5
 interpolasi ditabel
 l/e = 1 --> em1/e = 0,36
 l/e = 2 --> em1/e = 0,64
 jadi,
 l/e = 0,5 --> em1/e = 0,22
 em1 = 1,32 m
 T 300x100x12

Penegar Sekat

W = $cs \cdot a \cdot l^2 \cdot p$
 cs = 0,53
 a = 1 m
 l = 3,216 m
 p = 25,585461 kN/m²
 W = $0,53 \cdot 1^3 \cdot 3,216^2 \cdot 25,585461$
 = 140,2494595 cm³
 L 100x100x12

Penumpu sekat

W = $cs \cdot a \cdot l^2 \cdot p$
 cs = 0,36
 e = 3 m
 l = 3,216 m
 p = 25,585461 kN/m²
 W = $0,36 \cdot 3^3 \cdot 3,216^2 \cdot 25,585461$
 = 285,7913515 cm³

T 350x150x10

Daerah $0,7 \leq x/L < 1,0$ [F]

ordinary frame

dibawah 2nd deck

WR = $n \cdot c \cdot a \cdot l^2 \cdot p \cdot cr \cdot k$

ARO = $(1 - 0,817 \cdot ma) \cdot 0,04 \cdot a \cdot l \cdot p \cdot k$

ARU = $(1 - 0,817 \cdot ma) \cdot 0,07 \cdot a \cdot l \cdot p \cdot k$

n = $0,9 - 0,0035 \cdot L$

= $0,9 - 0,0035 \cdot 60$

= 0,69

c = $1 - (l_{Ku}/l + 0,4 \cdot l_{Ko}/l)$

l_{Ku} = 0 m

l_{Ko} = 0 m

l = 3 m

c = 1

a = 0,6 m

p = 53,39703342 kN/m²

cr = $1 - 2 \cdot s/l$

s = 0 m

cr = 1

ma = $0,204 \cdot a/l \cdot (4 - (a/l)^2)$

= $0,204 \cdot 0,6/3 \cdot (4 - (0,6/3)^2)$

= 0,1616

WR = $0,69 \cdot 1 \cdot 0,6^3 \cdot 3^2 \cdot 53,39703342 \cdot 222222 \cdot 1 \cdot 1$

= 198,9573465 cm³

ARO = (1-

$0,817 \cdot 0,1616) \cdot 0,04 \cdot 0,6^3 \cdot 53,39703342 \cdot 222222 \cdot 1$

= 3,336996428 cm²

ARU = (1-

$0,817 \cdot 0,1616) \cdot 0,07 \cdot 0,6^3 \cdot 53,39703342 \cdot 222222 \cdot 1$

= 5,839743749 cm²

L 120x120x12

Web frame

W = $0,55 \cdot e \cdot l^2 \cdot ps \cdot nc \cdot k$

AW = $0,05 \cdot e \cdot l \cdot ps \cdot k$

e = 3 m

ao = 0 m au = 0 m

bo = 0 m bu = 0 m

co = (ao+bo)/4 cu = (au+bu)/4

= 0 m = 0 m

l0 = 3 m

l = 3-0-0

= 3 m

ps = 43,11762674 kN/m²

nc = 0,5

W = $0,55 \cdot 3^3 \cdot 3^2 \cdot 43,1176267377778 \cdot 0,5 \cdot 1$

= 320,1483785 cm³

AW = $0,05 \cdot 3^3 \cdot 3 \cdot 43,1176267377778 \cdot 1$

= 19,40293203 cm²

dan lebar pelat efektif adalah

l/e = 1

interpolasi ditabel

l/e = 4 --> em1/e = 0,91

l/e = 5 --> em1/e = 0,96

T 700x150x14

Senta sisi

senta 1

$$\begin{aligned}W &= 0,55 \cdot e \cdot l^2 \cdot ps \cdot nc \cdot k \\AW &= 0,05 \cdot e \cdot l \cdot ps \cdot k \\e &= 2,4 \text{ m} \\ao &= 0 \text{ m} \quad au = 0 \text{ m} \\bo &= 0 \text{ m} \quad bu = 0 \text{ m} \\co &= (ao+bo)/4 \quad cu = (au+bu)/4 \\&= 0 \text{ m} \quad = 0 \text{ m} \\l_0 &= 2,1 \text{ m} \\l &= 2,1 - 0 - 0 \\&= 2,1 \text{ m} \\ps &= 36,60502779 \text{ kN/m}^2 \\nc &= 1 \\W &= 0,55 \cdot 2,4 \cdot 2,1^2 \cdot 36,60502779 \cdot 25926 \cdot 1 \cdot 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= 213,0851878 \text{ cm}^3 \\AW &= 0,05 \cdot 2,4 \cdot 2,1 \cdot 36,60502779 \cdot 25926 \cdot 1 \\&= 9,224467004 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

dan lebar pelat efektif adalah

$$l/e = 0,875$$

interpolasi ditabel

$$l/e = 1 \quad \rightarrow \quad em1/e = 0,36$$

$$l/e = 2 \quad \rightarrow \quad em1/e = 0,64$$

jadi,

$$l/e = 0,875 \quad \rightarrow \quad em1/e = 0,325$$

$$em1 = 0,78 \text{ m}$$

$$T = 200 \times 100 \times 8$$

Pillar

$$As \text{ req} = 10 \cdot Ps / sp$$

$$sp = K / S \cdot ReH$$

$$K = 1 / (f + (f^2 - ls^2))$$

$$f = 0,5 \cdot (1 + np \cdot (ls - 0,2) + ls^2)$$

$$ls = ls / (is \cdot p) \cdot (ReH/E)^{0,5} \cdot 0,2$$

$$ls = 300 \text{ cm}$$

$$ls = \text{Circular}$$

$$= 4,96235831$$

$$da = 15 \text{ cm}$$

$$di = 13 \text{ cm}$$

$$ls = 4,96235831 \text{ cm}^4$$

$$As = 44 \text{ cm}^2$$

$$is = (ls/As)^{0,5}$$

$$is = (4,96235831 \cdot 103198 / 44)^{0,5}$$

$$= 4,96235831 \text{ cm}$$

$$E = 206000 \text{ N/mm}^2$$

$$ls = 300$$

$$/ (4,96235831 \cdot 103198 \cdot (22/7)) \cdot (235 / 206000)^{0,5}$$

$$= 0,6497$$

$$np = 0,34$$

$$f = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,6497 - 0,2) + 0,6497^2)$$

$$= 0,7875$$

$$K = 1 / (0,7875 + (0,7875^2 - 0,6497^2))$$

$$= 1,0147$$

$$S = 1,66$$

$$sp = 1,0147 / 1,66 \cdot 235$$

$$= 143,6472892$$

$$Ps = PD \cdot A + P$$

$$PD = 16,17777876 \text{ kN/m}^2$$

$$A = 36 \text{ m}^2$$

$$Ps = 16,17777876 \cdot 10619 \cdot 36 + 12,96$$

$$= 582,4000354 \text{ kN}$$

$$As \text{ req} = 10 \cdot 582,40003539823 / 143,647289156626$$

$$= 40,543754 \text{ cm}^2$$

$$Ap = (\text{luas pillar})$$

$$= 44 \text{ cm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{accepted}$$

Lampiran 8. Perhitungan Slamming pressure rule-LR SSC 8 knots

Bottom Impact pressure menurut Rule LR Special Service Craft												
$P_{dh} = \Phi_{dh} \left(19 - 2720 \left(\frac{T_x}{L_{WL}} \right)^2 \right) \sqrt{L_{WL} V} \text{ kN/m}$						4.4.2 The distribution of hydrodynamic pressure up to the operating waterline, P_m , is to be taken as: $P_m = 10f_z H_{rm} \text{ kN/m}^2$ where f_z = the vertical distribution factor $= k_z + (1 - k_z) \left(\frac{z - z_k}{T_x} \right)$ $k_z = e^{-u}$ $u = \left(\frac{2\pi T_x}{L_{WL}} \right)$ H_{rm} is defined in 3.1.1 z, z_k, T_x and L_{WL} are defined in 2.2.						
$P_{dh} \geq P_m$ $\Phi_{dh} = 0,09$ at L_{WL} from aft end of L_{WL} $= 0,18$ at $0,9L_{WL}$ from aft end of L_{WL} $= 0,18$ at $0,8L_{WL}$ from aft end of L_{WL} $= 0,0$ between aft end of L_{WL} and $0,5L_{WL}$ from aft end of L_{WL} L_{WL} = waterline length, in metres, see 2.1.19 V = allowable speed in knots, see 2.1.2.												
$V = 8$ Knots $LWL = 61$ m $T_x = 2,7$ m $C_b = 0,6$												
3.1 Relative vertical motion 3.1.1 The relative vertical motion is to be taken as: $H_{rm} = C_{w,min} \left(1 + \frac{k_r}{(C_b + 0,2)} \left(\frac{x_{wl}}{L_{WL}} - x_m \right)^2 \right)$ where k_r = see Table 2.3.1 $C_{w,min} = \frac{C_w}{k_m}$ $k_m = 1 + \frac{k_r (0,5 - x_m)^2}{(C_b + 0,2)}$ $x_m = 0,45 - 0,6F_n$ but not less than 0,2 C_w = wave head, in metres $= 0,0771L_{WL} (C_b + 0,2)^{0,3} e^{(-0,0044L_{WL})}$ x_{wl} = distance from aft end of L_{WL} , in metres, see 2.2.1 L_{WL} = waterline length, in metres, see 2.1.19 C_b = block coefficient, see 2.2 F_n = Froude Number, see 2.1.7, where $V_m = \sqrt[2]{gV}$ V as defined in 2.1.2.						$z = 0$ m $z_k = 0$ m $u = 0,27822$ $kz = 0,75713$ $fz = 0,75713$ $C_w = 3,363153$ $F_n = \frac{0,515V_m}{\sqrt{gL_{WL}}}$ where g is the acceleration due to gravity and is taken to be 9,81 m/s ² . L_{WL} is defined in 2.1.19. V_m is the appropriate speed in knots. $V_m = 5,333333$ Knots $F_n = 0,112281$ $x_m = 0,382631$ $k_r = 1,95$ (for displacement mode) $k_m = 1,033578$ $C_{w,min} = 3,253895$						
Fig. 2.2.4 Definition of Symbols												
ST	x/L	Φ_{DH}	P_{dh} (kN/m ²)	x_{WL} (m)	H_{rm}	P_m (kN/m ²)	$P_{dh} \geq P_m$ (kN/m ²)	P_f	H_{rm}	P_m (kN/m ²)	P_{dh} (kN/m ²)	P_f (kN/m ²)
0	0,5	0	0	30	3,348425	25,35193	25,35193	0	3,348425	22,33997	0	0
3	0,55	0,03	9,060141	33	3,452777	26,14202	26,14202	0	3,452777	23,03618	9,060141	0
6	0,6	0,06	18,12028	36	3,595497	27,22259	27,22259	0	3,595497	23,98838	18,12028	0
9	0,65	0,09	27,18042	39	3,776584	28,59366	28,59366	0	3,776584	25,19655	27,18042	0
12	0,7	0,12	36,24056	42	3,996038	30,25521	36,24056	0	3,996038	26,6607	36,24056	0
15	0,75	0,15	45,3007	45	4,25386	32,20725	45,3007	Pm	4,25386	28,38083	45,3007	28,38083
18	0,8	0,18	54,36084	48	4,550049	34,44979	54,36084	Pm	4,550049	30,35694	54,36084	30,35694
21	0,85	0,18	54,36084	51	4,884605	36,98281	54,36084	Pm	4,884605	32,58902	54,36084	32,58902
24	0,9	0,18	54,36084	54	5,257528	39,80633	54,36084	Pdh	5,257528	35,07709	54,36084	54,36084
27	0,95	0,135	40,77063	57	5,668819	42,92033	42,92033	Pdh	5,668819	37,82113	40,77063	40,77063
30	1	0,09	27,18042	60	6,118477	46,32483	46,32483	49,37335	6,118477	40,82115	27,18042	49,37335

Lampiran 9. Perhitungan Slamming pressure rule-LR SSC 12 knots

Bottom Impact pressure menurut Rule LR Special Service Craft

$$P_{dh} = \Phi_{dh} \left(19 - 2720 \left(\frac{T_x}{L_{WL}} \right)^2 \right) \sqrt{L_{WL} V} \quad \text{kN/}$$

$$P_{dh} \geq P_m$$

$$\Phi_{dh} = 0,09 \text{ at } L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL}$$

$$= 0,18 \text{ at } 0,9L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL}$$

$$= 0,18 \text{ at } 0,8L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL}$$

$$= 0,0 \text{ between aft end of } L_{WL} \text{ and } 0,5L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL}$$

L_{WL} = waterline length, in metres, see 2.1.19
 V = allowable speed in knots, see 2.1.2.

V = 12 Knots
 LWL = 61 m
 Tx = 2,7 m
 Cb = 0,6

3.1 Relative vertical motion

3.1.1 The relative vertical motion is to be taken as:

$$H_{rm} = C_{w,min} \left(1 + \frac{k_r}{(C_b + 0,2)} \left(\frac{x_{wl}}{L_{WL}} - x_m \right)^2 \right)$$

where

k_r = see Table 2.3.1

$$C_{w,min} = \frac{C_w}{k_m}$$

$$k_m = 1 + \frac{k_r (0,5 - x_m)^2}{(C_b + 0,2)}$$

x_m = 0,45 - 0,6 F_n but not less than 0,2

C_w = wave head, in metres
 = 0,0771 $L_{WL} (C_b + 0,2)^{0,3} e^{(-0,0044L_{WL})}$

x_{wl} = distance from aft end of L_{WL} , in metres, see 2.2.1

L_{WL} = waterline length, in metres, see 2.1.19

C_b = block coefficient, see 2.2

F_n = Froude Number, see 2.1.7, where $V_m = 2/3V$ as defined in 2.1.2.

4.4.2 The distribution of hydrodynamic pressure up to the operating waterline, P_m , is to be taken as:

$$P_m = 10f_z H_{rm} \quad \text{kN/m}^2$$

where

f_z = the vertical distribution factor

$$= k_z + (1 - k_z) \left(\frac{z - z_k}{T_x} \right)$$

$$k_z = e^{-u}$$

$$u = \left(\frac{2\pi T_x}{L_{WL}} \right)$$

H_{rm} is defined in 3.1.1

z, z_k, T_x and L_{WL} are defined in 2.2.

z = 0 m
 zk = 0 m
 u = 0,27822
 kz = 0,75713
 fz = 0,75713

$$C_w = 3,363153$$

$$F_n = \frac{0,515V_m}{\sqrt{g L_{WL}}}$$

where

g is the acceleration due to gravity and is taken to be 9,81 m/s².

L_{WL} is defined in 2.1.19.

V_m is the appropriate speed in knots.

$$V_m = 8 \text{ Knots}$$

$$F_n = 0,168422$$

$$x_m = 0,348947$$

$$k_r = 1,95 \text{ (for displacement mode)}$$

$$k_m = 1,055616$$

$$C_{w,min} = 3,185961$$

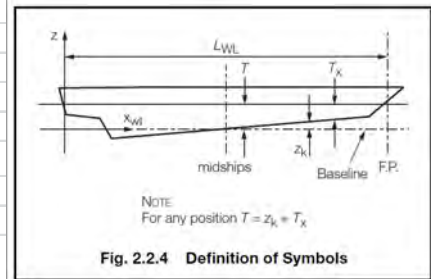


Fig. 2.2.4 Definition of Symbols

ST	x/L	Φ_{DH}	P_{dh}	x_{WL}	H_{rm}	P_m	$P_{dh} \geq P_m$	P_f	H_{rm}	P_m	P_{dh}	P_f
			(kN/m ²)	(m)		(kN/m ²)	(kN/m ²)			(kN/m ²)	(kN/m ²)	
0	0,5	0	0	30	3,344444	25,32179	25,32179	0	3,344444	22,31341	0	0
3	0,55	0,03	11,09636	33	3,472348	26,29019	26,29019	0	3,472348	23,16675	11,09636	0
6	0,6	0,06	22,19272	36	3,637817	27,54301	27,54301	0	3,637817	24,27073	22,19272	0
9	0,65	0,09	33,28908	39	3,840853	29,08026	33,28908	0	3,840853	25,62534	33,28908	0
12	0,7	0,12	44,38544	42	4,081455	30,90193	44,38544	0	4,081455	27,23059	44,38544	0
15	0,75	0,15	55,4818	45	4,359624	33,00803	55,4818	Pm	4,359624	29,08647	55,4818	29,08647
18	0,8	0,18	66,57816	48	4,675359	35,39855	66,57816	Pm	4,675359	31,19298	66,57816	31,19298
21	0,85	0,18	66,57816	51	5,02866	38,0735	66,57816	Pm	5,02866	33,55013	66,57816	33,55013
24	0,9	0,18	66,57816	54	5,419527	41,03287	66,57816	Pdh	5,419527	36,15791	66,57816	66,57816
27	0,95	0,135	49,93362	57	5,84796	44,27667	49,93362	Pdh	5,84796	39,01632	49,93362	49,93362
30	1	0,09	33,28908	60	6,31396	47,80489	47,80489	57,64843	6,31396	42,12537	33,28908	57,64843

Lampiran 10. Perhitungan Slamming pressure rule-LR SSC 16 knots

Bottom Impact pressure menurut Rule LR Special Service Craft

$$P_{dh} = \Phi_{dh} \left(19 - 2720 \left(\frac{T_x}{L_{WL}} \right)^2 \right) \sqrt{L_{WL} V} \quad \text{kt}$$

$$P_{dh} \geq P_m$$

$$\Phi_{dh} = 0,09 \text{ at } L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL}$$

$$= 0,18 \text{ at } 0,9L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL}$$

$$= 0,18 \text{ at } 0,8L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL}$$

$$= 0,0 \text{ between aft end of } L_{WL} \text{ and } 0,5L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL}$$

L_{WL} = waterline length, in metres, see 2.1.19
 V = allowable speed in knots, see 2.1.2.

V = 18 Knots
 LWL = 61 m
 Tx = 2,7 m
 Cb = 0,6

3.1 Relative vertical motion

3.1.1 The relative vertical motion is to be taken as:

$$H_{rm} = C_{w,min} \left(1 + \frac{k_r}{(C_b + 0,2)} \left(\frac{x_{wl}}{L_{WL}} - x_m \right)^2 \right)$$

where

k_r = see Table 2.3.1

$$C_{w,min} = \frac{C_w}{k_m}$$

$$k_m = 1 + \frac{k_r (0,5 - x_m)^2}{(C_b + 0,2)}$$

$x_m = 0,45 - 0,6F_n$ but not less than 0,2

C_w = wave head, in metres

$$= 0,0771L_{WL} (C_b + 0,2)^{0,3} e^{(-0,0044L_{WL})}$$

x_{wl} = distance from aft end of L_{WL} , in metres, see 2.2.1

L_{WL} = waterline length, in metres, see 2.1.19

C_b = block coefficient, see 2.2

F_n = Froude Number, see 2.1.7, where $V_m = \sqrt[3]{gV}$

V as defined in 2.1.2.

4.4.2 The distribution of hydrodynamic pressure up to the operating waterline, P_m , is to be taken as:

$$P_m = 10f_z H_{rm} \quad \text{kN/m}^2$$

where

f_z = the vertical distribution factor

$$= k_z + (1 - k_z) \left(\frac{z - z_k}{T_x} \right)$$

$$k_z = e^{-u}$$

$$u = \left(\frac{2\pi T_x}{L_{WL}} \right)$$

H_{rm} is defined in 3.1.1

z, z_k, T_x and L_{WL} are defined in 2.2.

z = 0 m
 zk = 0 m
 u = 0,27822
 kz = 0,75713
 fz = 0,75713

$$C_w = 3,363153$$

$$F_n = \frac{0,515V_m}{\sqrt{g L_{WL}}}$$

where

g is the acceleration due to gravity and is taken to be 9,81 m/s².

L_{WL} is defined in 2.1.19.

V_m is the appropriate speed in knots.

$$V_m = 12 \text{ Knots}$$

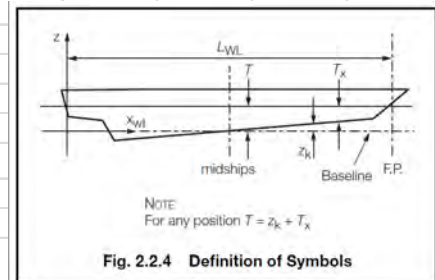
$$F_n = 0,252632$$

$$x_m = 0,298421$$

$$k_r = 1,95 \text{ (for displacement mode)}$$

$$k_m = 1,099046$$

$$C_{w,min} = 3,060065$$



ST	x/L	Φ_{DH}	P_{dh}	x_{WL}	H_{rm}	P_m	$P_{dh} \geq P_m$	P_f	H_{rm}	P_m	P_{dh}	P_f
			(kN/m ²)			(kN/m ²)	(kN/m ²)			(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)
0	0,5	0	0	30	3,339005	25,28061	25,28061	0	3,339005	22,27712	0	0
3	0,55	0,03	13,59021	33	3,498924	26,49141	26,49141	0	3,498924	23,34406	13,59021	0
6	0,6	0,06	27,18042	36	3,694924	27,97539	27,97539	0	3,694924	24,65173	27,18042	0
9	0,65	0,09	40,77063	39	3,927007	29,73255	40,77063	0	3,927007	26,20014	40,77063	0
12	0,7	0,12	54,36084	42	4,195171	31,7629	54,36084	0	4,195171	27,98927	54,36084	0
15	0,75	0,15	67,95106	45	4,499417	34,06644	67,95106	Pm	4,499417	30,01913	67,95106	30,01913
18	0,8	0,18	81,54127	48	4,839744	36,64316	81,54127	Pm	4,839744	32,28972	81,54127	32,28972
21	0,85	0,18	81,54127	51	5,216154	39,49307	81,54127	Pm	5,216154	34,80105	81,54127	34,80105
24	0,9	0,18	81,54127	54	5,628645	42,61617	81,54127	Pdh	5,628645	37,5531	81,54127	81,54127
27	0,95	0,135	61,15595	57	6,077218	46,01245	61,15595	Pdh	6,077218	40,54588	61,15595	61,15595
30	1	0,09	40,77063	60	6,561873	49,68192	49,68192	71,26255	6,561873	43,77939	40,77063	71,26255

Lampiran 11. List result tegangan von mises U-8

**** POST1 NODAL STRESS LISTING ****

LOAD STEP= 2 SUBSTEP= 1
 TIME= 2.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
113289	0.34782E+07	0.21921E-02	-0.88323E+08	0.91801E+08	0.90112E+08
99982	0.50775E+08	-0.22862E+07	-0.45922E+08	0.96697E+08	0.83875E+08
100634	0.44676E+08	-6675.8	-0.52008E+08	0.96684E+08	0.83811E+08
100640	0.47929E+08	-3902.8	-0.47226E+08	0.95155E+08	0.82408E+08
100628	0.40532E+08	-10017.	-0.54270E+08	0.94803E+08	0.82388E+08
100627	0.37405E+08	-10155.	-0.53100E+08	0.90505E+08	0.78770E+08
5305	-0.59967E-03	-0.18609E+08	-0.86151E+08	0.86151E+08	0.78518E+08
100646	0.49611E+08	-1904.2	-0.40811E+08	0.90422E+08	0.78431E+08
107048	0.57301E+08	383.83	-0.31774E+08	0.89074E+08	0.78189E+08
92460	0.56934E+08	-0.14155E+07	-0.31858E+08	0.88792E+08	0.78152E+08
92459	0.57937E+08	-0.15062E+07	-0.30233E+08	0.88170E+08	0.77887E+08
5304	-0.64388E-03	-0.13938E+08	-0.83647E+08	0.83647E+08	0.77622E+08
93955	0.50527E+08	-263.17	-0.38243E+08	0.88770E+08	0.77122E+08
107236	0.36707E+08	-8005.0	-0.51880E+08	0.88586E+08	0.77091E+08
93961	0.52266E+08	-155.91	-0.36129E+08	0.88395E+08	0.76977E+08
92461	0.54051E+08	-0.12034E+07	-0.32922E+08	0.86973E+08	0.76234E+08
92458	0.57542E+08	-0.14973E+07	-0.28385E+08	0.85927E+08	0.76132E+08
107042	0.48000E+08	-287.99	-0.39476E+08	0.87476E+08	0.75876E+08
93967	0.52960E+08	-61.133	-0.33707E+08	0.86667E+08	0.75671E+08
93949	0.47716E+08	-373.89	-0.39424E+08	0.87140E+08	0.75580E+08
100183	0.48839E+08	-307.97	-0.36707E+08	0.85546E+08	0.74333E+08
107043	0.36746E+08	-463.61	-0.48727E+08	0.85473E+08	0.74264E+08
100189	0.50876E+08	-164.98	-0.34340E+08	0.85217E+08	0.74262E+08
99983	0.43792E+08	-0.19316E+07	-0.41794E+08	0.85585E+08	0.74177E+08
100863	0.35729E+08	-7201.3	-0.49416E+08	0.85145E+08	0.74054E+08
107037	0.26621E+08	-399.10	-0.56871E+08	0.83493E+08	0.73872E+08
5490	0.46498E+07	0.10201E-02	-0.71278E+08	0.75927E+08	0.73713E+08
93973	0.52877E+08	12.624	-0.30944E+08	0.83821E+08	0.73415E+08
92457	0.56324E+08	-0.13917E+07	-0.26158E+08	0.82483E+08	0.73307E+08
107026	0.11606E+08	-50.132	-0.66388E+08	0.77994E+08	0.72887E+08
100195	0.51637E+08	-75.649	-0.31697E+08	0.83334E+08	0.72855E+08
107020	0.91987E+07	19.833	-0.67753E+08	0.76952E+08	0.72789E+08
100177	0.45562E+08	-497.44	-0.38275E+08	0.83836E+08	0.72696E+08
107047	0.64627E+08	691.09	-0.13969E+08	0.78596E+08	0.72626E+08
107049	0.53733E+08	436.50	-0.28783E+08	0.82515E+08	0.72541E+08
100652	0.50104E+08	-661.37	-0.32630E+08	0.82734E+08	0.72180E+08
107031	0.19560E+08	-186.65	-0.60274E+08	0.79834E+08	0.72073E+08
93948	0.44239E+08	-547.94	-0.38877E+08	0.83116E+08	0.72030E+08
92423	0.49343E+08	-0.81724E+06	-0.33179E+08	0.82522E+08	0.72018E+08
107014	0.69121E+07	5.0846	-0.68021E+08	0.74933E+08	0.71727E+08
107032	0.14339E+08	-209.12	-0.63249E+08	0.77588E+08	0.71505E+08
4749	-0.18197E-02	-0.30445E+07	-0.72769E+08	0.72769E+08	0.71296E+08
107025	0.15356E+08	-35.390	-0.62113E+08	0.77469E+08	0.71047E+08
4750	-0.56709E-03	-0.28988E+08	-0.80908E+08	0.80908E+08	0.71000E+08
108622	-3099.2	-0.42567E+08	-0.81957E+08	0.81954E+08	0.70992E+08
93979	0.52237E+08	72.890	-0.27948E+08	0.80186E+08	0.70497E+08
108628	-3010.4	-0.44722E+08	-0.81203E+08	0.81200E+08	0.70442E+08
100201	0.51471E+08	-19.206	-0.28774E+08	0.80246E+08	0.70416E+08

MINIMUM VALUES

NODE 97718 106518 113289 2103 2103
 VALUE -0.52671E+07 -0.52148E+08 -0.88323E+08 17431. 16337.

MAXIMUM VALUES

NODE 73138 25517 77176 99982 113289
 VALUE 0.77298E+08 0.46651E+08 0.20139E+08 0.96697E+08 0.90112E+08

Lampiran 12. List result tegangan von mises U-12

**** POST1 NODAL STRESS LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
113289	0.54137E+07	0.23056E-02	0.11391E+09	0.11933E+09	0.11671E+09
5305	-0.82486E-03	-0.25393E+08	-0.11831E+09	0.11831E+09	0.10787E+09
5304	-0.89081E-03	-0.18628E+08	-0.11436E+09	0.11436E+09	0.10628E+09
5490	0.57970E+07	0.14210E-02	0.93691E+08	0.99488E+08	0.96720E+08
107048	0.67240E+08	473.76	-0.37461E+08	0.10470E+09	0.91888E+08
110468	0.73243E+08	0.59668E+06	-0.27371E+08	0.10061E+09	0.89952E+08
110469	0.69833E+08	-0.50465E+06	-0.30715E+08	0.10055E+09	0.89358E+08
99982	0.53241E+08	-0.21641E+07	-0.48826E+08	0.10207E+09	0.88500E+08
107042	0.57061E+08	-269.10	-0.44426E+08	0.10149E+09	0.88117E+08
107043	0.44033E+08	-495.19	-0.55962E+08	0.99994E+08	0.86803E+08
5488	0.16243E+08	0.36084E-03	-0.77323E+08	0.93566E+08	0.86595E+08
110470	0.61390E+08	-0.16963E+07	-0.37318E+08	0.98708E+08	0.86580E+08
100634	0.44864E+08	-7043.2	-0.54884E+08	0.99748E+08	0.86529E+08
113310	-0.16062E-01	-0.49795E+06	-0.86578E+08	0.86578E+08	0.86330E+08
110467	0.75400E+08	0.23624E+07	-0.19840E+08	0.95240E+08	0.86308E+08
107047	0.77204E+08	960.28	-0.15444E+08	0.92648E+08	0.85972E+08
107037	0.32880E+08	-432.98	-0.64379E+08	0.97259E+08	0.85688E+08
5491	-0.10544E-02	-0.82115E+07	-0.89358E+08	0.89358E+08	0.85548E+08
100628	0.40842E+08	-10544.	-0.57130E+08	0.97971E+08	0.85235E+08
107049	0.62537E+08	446.44	-0.34467E+08	0.97004E+08	0.85173E+08
100640	0.47962E+08	-4142.9	-0.50164E+08	0.98126E+08	0.84987E+08
107026	0.15467E+08	-56.093	-0.75958E+08	0.91425E+08	0.84757E+08
107020	0.12365E+08	28.490	-0.77597E+08	0.89962E+08	0.84461E+08
108622	-3533.8	-0.48041E+08	-0.97076E+08	0.97072E+08	0.84068E+08
25024	0.74100E+08	14473.	-0.16819E+08	0.90920E+08	0.83781E+08
108616	-3105.5	-0.43980E+08	-0.96479E+08	0.96476E+08	0.83659E+08
107032	0.18815E+08	-235.22	-0.72476E+08	0.91291E+08	0.83489E+08
107014	0.92873E+07	18.602	-0.78121E+08	0.87408E+08	0.83154E+08
107031	0.24805E+08	-204.73	-0.67825E+08	0.92630E+08	0.83054E+08
25026	0.73351E+08	15520.	-0.16827E+08	0.90178E+08	0.83048E+08
108628	-3430.1	-0.50664E+08	-0.95812E+08	0.95809E+08	0.83019E+08
92460	0.59969E+08	-0.14609E+07	-0.34059E+08	0.94029E+08	0.82697E+08
110479	0.40809E+08	-11943.	-0.54054E+08	0.94863E+08	0.82419E+08
92459	0.60900E+08	-0.15558E+07	-0.32388E+08	0.93287E+08	0.82322E+08
78658	0.92577E+08	0.28562E+08	0.76542E-03	0.92577E+08	0.82110E+08
93955	0.53855E+08	-280.42	-0.40612E+08	0.94467E+08	0.82078E+08
110466	0.76282E+08	0.45373E+07	-0.13143E+08	0.89426E+08	0.82027E+08
93961	0.55586E+08	-166.98	-0.38425E+08	0.94011E+08	0.81867E+08
107236	0.38133E+08	-8605.9	-0.55785E+08	0.93918E+08	0.81812E+08
100627	0.37871E+08	-10715.	-0.55962E+08	0.93833E+08	0.81762E+08
110485	0.42867E+08	-8908.2	-0.51266E+08	0.94133E+08	0.81630E+08
107025	0.19812E+08	-38.003	-0.69849E+08	0.89661E+08	0.81580E+08
108610	-1757.6	-0.38490E+08	-0.93445E+08	0.93443E+08	0.81342E+08
5306	0.14742E+07	0.44918E-02	-0.80393E+08	0.81867E+08	0.81140E+08
107008	0.64665E+07	-61.975	-0.77572E+08	0.84038E+08	0.80999E+08
25022	0.71611E+08	11755.	-0.16296E+08	0.87907E+08	0.80994E+08
100646	0.49454E+08	-2042.7	-0.43864E+08	0.93318E+08	0.80864E+08
92461	0.57095E+08	-0.12392E+07	-0.35141E+08	0.92236E+08	0.80807E+08
107038	0.24252E+08	-484.57	-0.65841E+08	0.90093E+08	0.80746E+08

MINIMUM VALUES

NODE	97718	106512	5305	2104	2104
VALUE	-0.53162E+07	-0.52864E+08	-0.11831E+09	17301.	15630.

MAXIMUM VALUES

NODE	78658	25517	77176	113289	113289
VALUE	0.92577E+08	0.60926E+08	0.24264E+08	0.11933E+09	0.11671E+09

Lampiran 13. List result tegangan von mises U-16

**** POST1 NODAL STRESS LISTING ****

LOAD STEP= 2 SUBSTEP= 1
 TIME= 2.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
113289	0.51807E+07	0.31572E-02	-0.12945E+09	0.13463E+09	0.13211E+09
107048	0.88619E+08	660.87	-0.48894E+08	0.13751E+09	0.12074E+09
107042	0.73562E+08	-405.51	-0.60675E+08	0.13424E+09	0.11643E+09
5305	-0.88229E-03	-0.27315E+08	-0.12670E+09	0.12670E+09	0.11549E+09
5304	-0.94903E-03	-0.20356E+08	-0.12291E+09	0.12291E+09	0.11410E+09
107047	0.10091E+09	1139.6	-0.22187E+08	0.12310E+09	0.11364E+09
107043	0.55813E+08	-676.17	-0.74372E+08	0.13018E+09	0.11312E+09
107037	0.40431E+08	-591.63	-0.86581E+08	0.12701E+09	0.11239E+09
107049	0.82278E+08	687.82	-0.44187E+08	0.12647E+09	0.11117E+09
107026	0.18425E+08	-75.030	-0.10013E+09	0.11856E+09	0.11050E+09
107020	0.15313E+08	35.008	-0.10165E+09	0.11696E+09	0.11011E+09
107031	0.29971E+08	-277.55	-0.91402E+08	0.12137E+09	0.10951E+09
107032	0.22074E+08	-311.94	-0.95812E+08	0.11789E+09	0.10855E+09
107014	0.12353E+08	28.709	-0.10146E+09	0.11381E+09	0.10816E+09
5490	0.67675E+07	0.15113E-02	-0.10462E+09	0.11139E+09	0.10816E+09
107025	0.24004E+08	-52.930	-0.93678E+08	0.11768E+09	0.10771E+09
99982	0.64328E+08	-0.31013E+07	-0.58474E+08	0.12280E+09	0.10652E+09
100634	0.56159E+08	-8451.7	-0.65994E+08	0.12215E+09	0.10590E+09
107019	0.18970E+08	47.576	-0.94884E+08	0.11385E+09	0.10565E+09
107008	0.97521E+07	-51.115	-0.99728E+08	0.10948E+09	0.10494E+09
107038	0.28914E+08	-646.42	-0.86849E+08	0.11576E+09	0.10435E+09
100628	0.51194E+08	-12629.	-0.68532E+08	0.11973E+09	0.10405E+09
100640	0.59858E+08	-4962.8	-0.60235E+08	0.12009E+09	0.10400E+09
107013	0.13918E+08	20.449	-0.95220E+08	0.10914E+09	0.10289E+09
107036	0.57232E+08	-328.80	-0.61377E+08	0.11861E+09	0.10274E+09
108622	-4321.3	-0.59520E+08	-0.11834E+09	0.11833E+09	0.10248E+09
108616	-3792.6	-0.54789E+08	-0.11756E+09	0.11755E+09	0.10188E+09
108628	-4198.2	-0.62543E+08	-0.11690E+09	0.11690E+09	0.10132E+09
105371	0.75892E+08	2223.4	-0.38714E+08	0.11461E+09	0.10098E+09
107002	0.79670E+07	-164.61	-0.96626E+08	0.10459E+09	0.10085E+09
107050	0.77026E+08	1017.9	-0.36415E+08	0.11344E+09	0.10032E+09
107236	0.47618E+08	-10152.	-0.67020E+08	0.11464E+09	0.99751E+08
107044	0.45446E+08	-713.97	-0.68714E+08	0.11416E+09	0.99547E+08
107007	0.89074E+07	-135.87	-0.94669E+08	0.10358E+09	0.99423E+08
100627	0.47332E+08	-12819.	-0.66908E+08	0.11424E+09	0.99416E+08
108610	-2152.3	-0.48302E+08	-0.11391E+09	0.11391E+09	0.99027E+08
100646	0.61521E+08	-2430.0	-0.52313E+08	0.11383E+09	0.98691E+08
108634	-3644.4	-0.62679E+08	-0.11371E+09	0.11371E+09	0.98648E+08
113310	-0.15625E-01	-0.65097E+06	-0.97685E+08	0.97685E+08	0.97361E+08
5488	0.17888E+08	0.40889E-03	-0.86709E+08	0.10460E+09	0.96899E+08
106996	0.64874E+07	-265.20	-0.93036E+08	0.99523E+08	0.96443E+08
107027	0.24513E+08	-64.609	-0.81072E+08	0.10558E+09	0.95712E+08
5491	-0.13161E-02	-0.79716E+07	-0.99077E+08	0.99077E+08	0.95341E+08
107001	0.42762E+07	-416.56	-0.92832E+08	0.97109E+08	0.95043E+08
99983	0.56080E+08	-0.28029E+07	-0.53505E+08	0.10958E+09	0.94991E+08
107041	0.87920E+08	494.88	-0.12614E+08	0.10053E+09	0.94858E+08
108604	-996.46	-0.40430E+08	-0.10805E+09	0.10805E+09	0.94553E+08
107021	0.21348E+08	42.396	-0.81908E+08	0.10326E+09	0.94410E+08
107033	0.27314E+08	-269.28	-0.77613E+08	0.10493E+09	0.94285E+08

MINIMUM VALUES

NODE	97718	108634	113289	35657	35657
VALUE	-0.69501E+07	-0.62679E+08	-0.12945E+09	9033.7	7861.9

MAXIMUM VALUES

NODE	78658	25517	77176	107048	113289
VALUE	0.10189E+09	0.67601E+08	0.26677E+08	0.13751E+09	0.13211E+09

Lampiran 14. List result tegangan von mises V-8

**** POST1 NODAL STRESS LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
114183	-0.44446E-02	-0.53057E+07	-0.15008E+09	0.15008E+09	0.14750E+09
8063	-0.12003E-02	-0.17134E+08	-0.13308E+09	0.13308E+09	0.12540E+09
8064	-0.10269E-02	-0.21217E+08	-0.13128E+09	0.13128E+09	0.12206E+09
109858	0.10558E+09	0.69609E+07	110.71	0.10558E+09	0.10227E+09
107489	0.10449E+09	0.11232E+08	52.599	0.10449E+09	0.99353E+08
109859	0.10356E+09	0.10466E+08	96.283	0.10356E+09	0.98739E+08
8065	0.32874E+07	0.28089E-02	-0.96653E+08	0.99940E+08	0.98338E+08
113634	-0.10643E-02	-0.11186E+08	-0.10342E+09	0.10342E+09	0.98303E+08
109860	0.10083E+09	0.11165E+08	182.26	0.10083E+09	0.95740E+08
109857	0.98132E+08	0.11816E+08	220.91	0.98132E+08	0.92790E+08
8327	-0.11020E+07	-0.18181E+08	-0.99776E+08	0.98674E+08	0.91340E+08
113632	0.26102E+07	0.30422E-02	-0.89165E+08	0.91775E+08	0.90498E+08
63519	0.0000	-0.50866E+08	-0.10341E+09	0.10341E+09	0.89560E+08
8286	0.92351E+07	0.69096E-03	-0.84431E+08	0.93666E+08	0.89407E+08
63518	0.0000	-0.50642E+08	-0.10311E+09	0.10311E+09	0.89304E+08
63520	0.0000	-0.51296E+08	-0.10249E+09	0.10249E+09	0.88758E+08
8066	-0.55864E-02	-0.15095E+07	-0.89352E+08	0.89352E+08	0.88607E+08
105322	0.96191E+08	0.18185E+08	219.59	0.96190E+08	0.88510E+08
105316	0.96491E+08	0.19105E+08	314.75	0.96491E+08	0.88499E+08
113633	-0.80820E-03	-0.12969E+08	-0.93969E+08	0.93969E+08	0.88203E+08
109856	0.92513E+08	0.94439E+07	241.10	0.92513E+08	0.88171E+08
63517	0.0000	-0.50621E+08	-0.10158E+09	0.10158E+09	0.87968E+08
63521	0.0000	-0.51786E+08	-0.10028E+09	0.10028E+09	0.86858E+08
105328	0.93688E+08	0.16410E+08	158.75	0.93687E+08	0.86656E+08
105310	0.93895E+08	0.19004E+08	451.55	0.93895E+08	0.85983E+08
109863	0.80948E+08	66.350	-0.89208E+07	0.89869E+08	0.85757E+08
8062	0.16186E+08	0.35505E-03	-0.76424E+08	0.92610E+08	0.85672E+08
63516	0.0000	-0.50637E+08	-0.98692E+08	0.98692E+08	0.85480E+08
103417	0.93120E+08	0.18697E+08	245.66	0.93120E+08	0.85322E+08
113557	-0.10773E-01	-0.72288E+06	-0.85550E+08	0.85550E+08	0.85191E+08
114316	0.13773E+07	0.52996E-02	-0.84199E+08	0.85577E+08	0.84896E+08
109838	0.80149E+08	139.46	-0.80832E+07	0.88233E+08	0.84481E+08
107624	0.90473E+08	0.13835E+08	85.107	0.90473E+08	0.84410E+08
109855	0.89273E+08	0.10821E+08	276.68	0.89273E+08	0.84384E+08
103423	0.92509E+08	0.19777E+08	350.43	0.92509E+08	0.84377E+08
103411	0.91490E+08	0.16801E+08	166.58	0.91490E+08	0.84354E+08
63522	0.0000	-0.51974E+08	-0.96658E+08	0.96658E+08	0.83788E+08
113635	0.19914E+08	0.30341E-03	-0.71822E+08	0.91737E+08	0.83578E+08
105334	0.89637E+08	0.14092E+08	122.63	0.89636E+08	0.83487E+08
109854	0.89231E+08	0.14089E+08	325.41	0.89231E+08	0.83087E+08
29561	-0.29097E-02	-0.25618E+07	-0.84320E+08	0.84320E+08	0.83069E+08
103405	0.88216E+08	0.14381E+08	115.62	0.88216E+08	0.81977E+08
63515	0.0000	-0.50295E+08	-0.94314E+08	0.94314E+08	0.81738E+08
8068	-0.10726E-01	-0.65966E+06	-0.81532E+08	0.81532E+08	0.81204E+08
8067	0.28864E+07	0.21664E-02	-0.79721E+08	0.82608E+08	0.81203E+08
109839	0.72702E+08	144.83	-0.14695E+08	0.87397E+08	0.81055E+08
109840	0.70197E+08	161.51	-0.18494E+08	0.88690E+08	0.81042E+08
103429	0.89014E+08	0.19862E+08	470.12	0.89013E+08	0.80932E+08
109853	0.87582E+08	0.15770E+08	357.12	0.87582E+08	0.80858E+08

MINIMUM VALUES

NODE 98679 63522 114183 2104 2104
 VALUE -0.40268E+07 -0.51974E+08 -0.15008E+09 18197. 17150.

MAXIMUM VALUES

NODE 109858 114433 108931 114183 114183
 VALUE 0.10558E+09 0.55566E+08 0.18154E+08 0.15008E+09 0.14750E+09

Lampiran 15. List result tegangan von mises V-12

**** POST1 NODAL STRESS LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
114183	-0.53064E-02	-0.62237E+07	-0.17760E+09	0.17760E+09	0.17458E+09
8063	-0.14336E-02	-0.20123E+08	-0.15784E+09	0.15784E+09	0.14880E+09
8064	-0.12224E-02	-0.25127E+08	-0.15600E+09	0.15600E+09	0.14508E+09
109858	0.12308E+09	0.95869E+07	150.32	0.12308E+09	0.11858E+09
8065	0.38578E+07	0.34002E-02	-0.11514E+09	0.11899E+09	0.11711E+09
113634	-0.12858E-02	-0.12979E+08	-0.12270E+09	0.12270E+09	0.11675E+09
107489	0.12190E+09	0.14491E+08	70.451	0.12190E+09	0.11534E+09
109859	0.12092E+09	0.13849E+08	128.32	0.12092E+09	0.11463E+09
109860	0.11792E+09	0.14517E+08	229.08	0.11792E+09	0.11137E+09
109857	0.11496E+09	0.15252E+08	273.94	0.11496E+09	0.10814E+09
8327	-0.13562E+07	-0.21496E+08	-0.11806E+09	0.11670E+09	0.10805E+09
113632	0.30870E+07	0.36505E-02	-0.10620E+09	0.10928E+09	0.10777E+09
109863	0.99802E+08	71.010	-0.13842E+08	0.11364E+09	0.10739E+09
109838	0.99261E+08	152.07	-0.12679E+08	0.11194E+09	0.10617E+09
8066	-0.67334E-02	-0.17818E+07	-0.10657E+09	0.10657E+09	0.10569E+09
8286	0.10894E+08	0.81892E-03	-0.99823E+08	0.11072E+09	0.10569E+09
113633	-0.96344E-03	-0.15319E+08	-0.11161E+09	0.11161E+09	0.10480E+09
109840	0.88876E+08	199.56	-0.24845E+08	0.11372E+09	0.10356E+09
109856	0.10866E+09	0.12500E+08	297.62	0.10866E+09	0.10298E+09
109839	0.91240E+08	174.52	-0.20318E+08	0.11156E+09	0.10291E+09
113557	-0.13321E-01	-0.83162E+06	-0.10202E+09	0.10202E+09	0.10161E+09
8062	0.19469E+08	0.41626E-03	-0.90410E+08	0.10988E+09	0.10155E+09
27140	0.63643E+08	-486.88	-0.52935E+08	0.11658E+09	0.10110E+09
114316	0.16410E+07	0.62047E-02	-0.99463E+08	0.10110E+09	0.10029E+09
105316	0.10781E+09	0.19832E+08	343.58	0.10781E+09	0.99394E+08
113635	0.23986E+08	0.35867E-03	-0.85084E+08	0.10907E+09	0.99275E+08
29561	-0.35795E-02	-0.29657E+07	-0.10061E+09	0.10061E+09	0.99161E+08
105322	0.10717E+09	0.18839E+08	232.16	0.10717E+09	0.99101E+08
109855	0.10515E+09	0.14034E+08	340.76	0.10515E+09	0.98879E+08
109862	0.81112E+08	211.79	-0.28826E+08	0.10994E+09	0.98732E+08
107624	0.10560E+09	0.17524E+08	109.72	0.10560E+09	0.98023E+08
109733	0.10503E+09	0.16223E+08	180.17	0.10503E+09	0.97932E+08
109801	0.61266E+08	7.1768	-0.51608E+08	0.11287E+09	0.97871E+08
109854	0.10535E+09	0.17705E+08	392.55	0.10535E+09	0.97706E+08
105310	0.10534E+09	0.19655E+08	503.43	0.10534E+09	0.97014E+08
8068	-0.12584E-01	-0.80207E+06	-0.97386E+08	0.97386E+08	0.96988E+08
8067	0.34689E+07	0.25692E-02	-0.95199E+08	0.98668E+08	0.96980E+08
105328	0.10416E+09	0.16865E+08	160.93	0.10415E+09	0.96830E+08
8024	-0.73314E-03	-0.22598E+08	-0.10518E+09	0.10518E+09	0.95900E+08
109853	0.10360E+09	0.19522E+08	425.56	0.10360E+09	0.95348E+08
109868	0.50965E+08	-71.559	-0.58809E+08	0.10977E+09	0.95148E+08
63519	0.0000	-0.52987E+08	-0.10968E+09	0.10968E+09	0.95007E+08
103417	0.10380E+09	0.21315E+08	273.09	0.10380E+09	0.94956E+08
63518	0.0000	-0.52749E+08	-0.10938E+09	0.10938E+09	0.94745E+08
109841	0.68228E+08	40.277	-0.39910E+08	0.10814E+09	0.94715E+08
103423	0.10372E+09	0.22473E+08	383.01	0.10372E+09	0.94511E+08
63520	0.0000	-0.53450E+08	-0.10868E+09	0.10868E+09	0.94128E+08
109800	0.56044E+08	-15.173	-0.52025E+08	0.10807E+09	0.93613E+08
63517	0.0000	-0.52731E+08	-0.10775E+09	0.10775E+09	0.93322E+08

MINIMUM VALUES

NODE 47602 63522 114183 2107 2107
 VALUE -0.60357E+07 -0.54207E+08 -0.17760E+09 13008. 11416.

MAXIMUM VALUES

NODE 109858 114433 108931 114183 114183
 VALUE 0.12308E+09 0.65443E+08 0.24364E+08 0.17760E+09 0.17458E+09

Lampiran 16. List result tegangan von mises V-16

**** POST1 NODAL STRESS LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
114183	-0.65821E-02	-0.75409E+07	-0.21772E+09	0.21772E+09	0.21405E+09
8063	-0.17606E-02	-0.24959E+08	-0.19464E+09	0.19464E+09	0.18344E+09
8064	-0.15049E-02	-0.31023E+08	-0.19224E+09	0.19224E+09	0.17876E+09
109858	0.15511E+09	0.10824E+08	171.27	0.15511E+09	0.14999E+09
107489	0.15359E+09	0.17071E+08	81.206	0.15359E+09	0.14581E+09
109859	0.15213E+09	0.16029E+08	147.84	0.15213E+09	0.14478E+09
8065	0.47883E+07	0.41490E-02	-0.14174E+09	0.14653E+09	0.14419E+09
113634	-0.15695E-02	-0.16195E+08	-0.15125E+09	0.15125E+09	0.14384E+09
109860	0.14817E+09	0.16998E+08	274.09	0.14817E+09	0.14045E+09
109857	0.14423E+09	0.17909E+08	330.26	0.14423E+09	0.13616E+09
113632	0.38292E+07	0.44578E-02	-0.13073E+09	0.13456E+09	0.13269E+09
8327	-0.17898E+07	-0.26294E+08	-0.14469E+09	0.14290E+09	0.13236E+09
8066	-0.83534E-02	-0.21743E+07	-0.13112E+09	0.13112E+09	0.13004E+09
8286	0.13371E+08	0.10031E-02	-0.12240E+09	0.13577E+09	0.12960E+09
109856	0.13597E+09	0.14363E+08	358.82	0.13597E+09	0.12939E+09
113633	-0.11845E-02	-0.18946E+08	-0.13754E+09	0.13754E+09	0.12911E+09
109863	0.11740E+09	91.574	-0.14396E+08	0.13180E+09	0.12522E+09
8062	0.23848E+08	0.51581E-03	-0.11158E+09	0.13543E+09	0.12522E+09
113557	-0.16726E-01	-0.10028E+07	-0.12553E+09	0.12553E+09	0.12503E+09
109838	0.11710E+09	195.55	-0.13137E+08	0.13024E+09	0.12419E+09
109855	0.13121E+09	0.16287E+08	410.24	0.13121E+09	0.12388E+09
107624	0.13295E+09	0.20964E+08	129.93	0.13294E+09	0.12380E+09
114316	0.21157E+07	0.71934E-02	-0.12173E+09	0.12385E+09	0.12281E+09
113635	0.29376E+08	0.44262E-03	-0.10491E+09	0.13428E+09	0.12227E+09
109854	0.13114E+09	0.20952E+08	479.13	0.13114E+09	0.12202E+09
29561	-0.50038E-02	-0.31989E+07	-0.12345E+09	0.12345E+09	0.12188E+09
109840	0.10351E+09	235.08	-0.28732E+08	0.13224E+09	0.12047E+09
109839	0.10677E+09	209.25	-0.23078E+08	0.12985E+09	0.11998E+09
8067	0.42951E+07	0.31344E-02	-0.11704E+09	0.12133E+09	0.11924E+09
8068	-0.16823E-01	-0.90591E+06	-0.11963E+09	0.11963E+09	0.11918E+09
109853	0.12867E+09	0.23288E+08	522.86	0.12867E+09	0.11875E+09
8024	-0.90417E-03	-0.27414E+08	-0.12926E+09	0.12926E+09	0.11797E+09
27140	0.72501E+08	-568.86	-0.62429E+08	0.13493E+09	0.11696E+09
109801	0.70543E+08	2.7952	-0.61611E+08	0.13215E+09	0.11454E+09
109862	0.93955E+08	243.64	-0.33568E+08	0.12752E+09	0.11449E+09
114433	0.13062E+09	0.80542E+08	11187.	0.13061E+09	0.11413E+09
109852	0.12436E+09	0.25022E+08	495.12	0.12436E+09	0.11393E+09
113630	0.15203E+07	0.86481E-02	-0.11261E+09	0.11413E+09	0.11337E+09
109733	0.12291E+09	0.22487E+08	231.43	0.12291E+09	0.11335E+09
113600	0.45504E+08	0.45631E-03	-0.83180E+08	0.12868E+09	0.11302E+09
109868	0.58374E+08	-89.372	-0.70615E+08	0.12899E+09	0.11187E+09
8048	0.10862E+09	-0.13419E-02	-0.46945E+07	0.11331E+09	0.11104E+09
109841	0.79220E+08	40.221	-0.47335E+08	0.12656E+09	0.11075E+09
8049	0.10763E+09	-0.10930E-02	-0.51054E+07	0.11273E+09	0.11027E+09
109800	0.64166E+08	-22.322	-0.62102E+08	0.12627E+09	0.10936E+09
109851	0.11941E+09	0.25658E+08	443.29	0.11941E+09	0.10887E+09
8047	0.10660E+09	-0.16567E-02	-0.40822E+07	0.11068E+09	0.10870E+09
109737	0.10023E+09	-0.10799E+07	-0.12836E+08	0.11306E+09	0.10767E+09

MINIMUM VALUES

NODE	97463	112020	114183	2805	2805
VALUE	-0.13565E+08	-0.61241E+08	-0.21772E+09	8854.2	8505.8

MAXIMUM VALUES

NODE	109858	114433	108931	114183	114183
VALUE	0.15511E+09	0.80542E+08	0.26758E+08	0.21772E+09	0.21405E+09

Non-Dimensional Sections

U2A

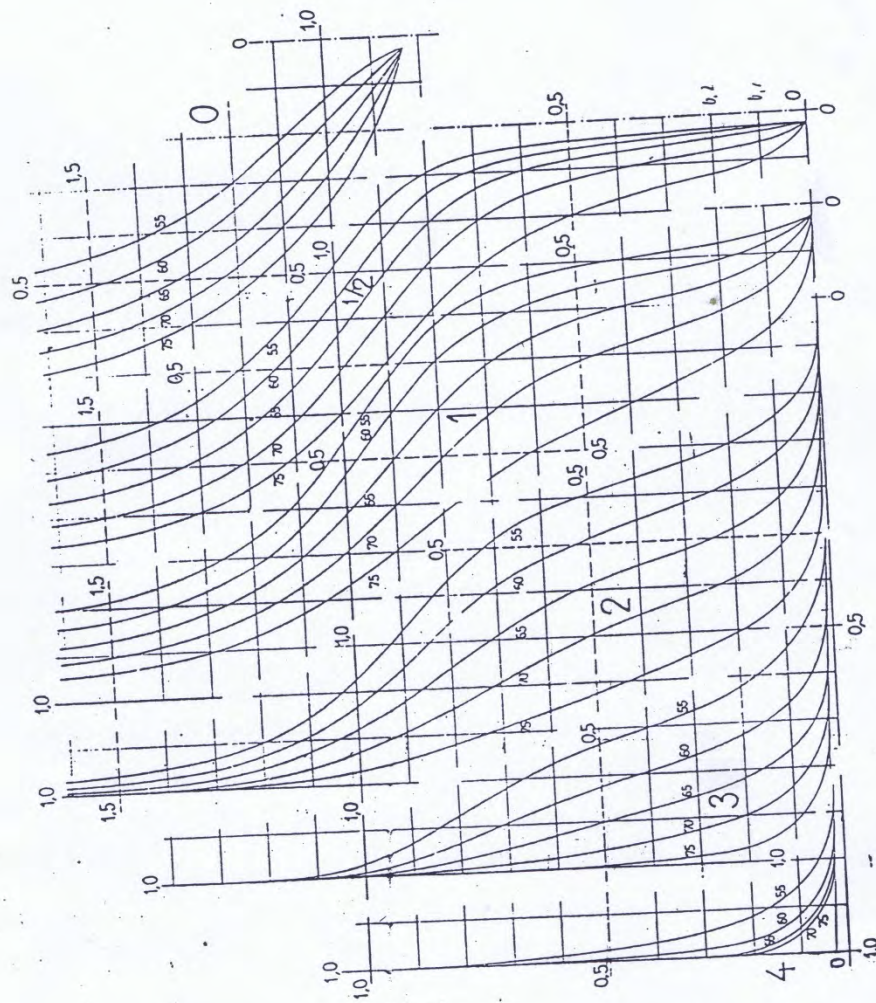


PLATE 1. Non-dimensional sections for U-formed after bodies having $\beta = 0.98$ and $\delta_A = 0.55-0.60-0.65-0.70$ and 0.75 .
 NOTE: The centerlines of the sections are shifted to avoid confusion of the curves.

Non-Dimensional Sections

U2F

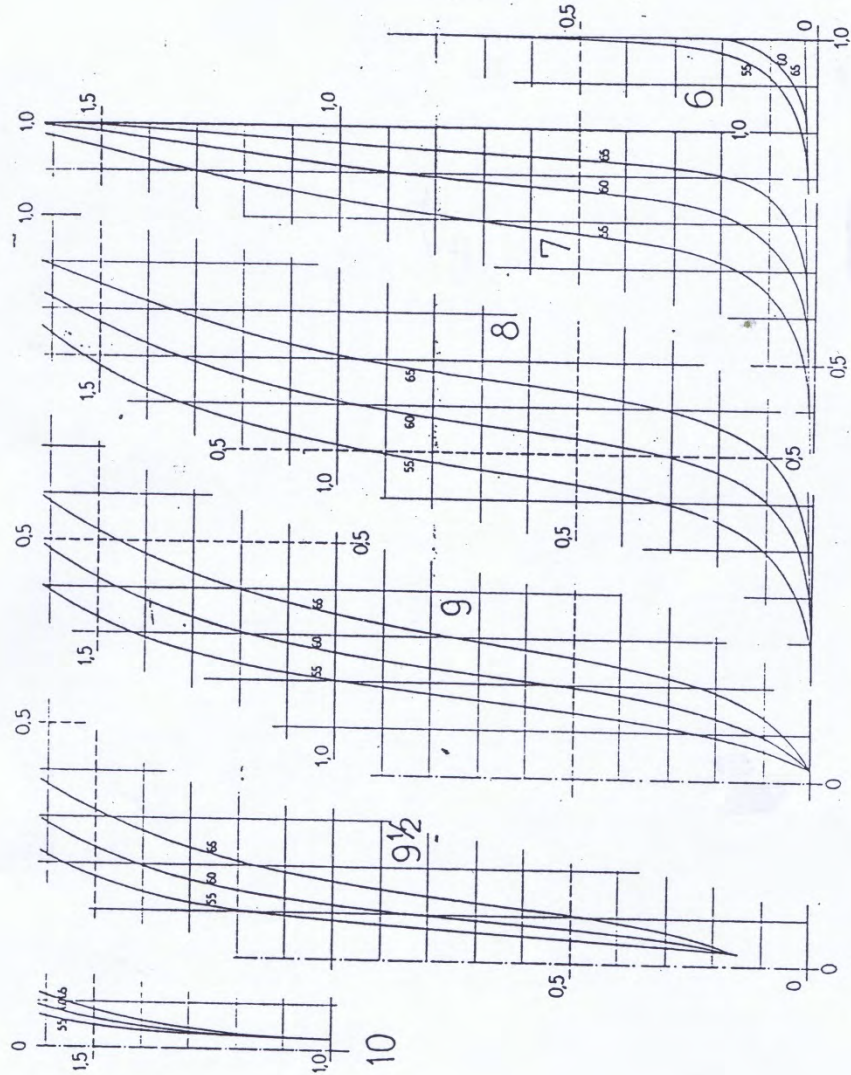


PLATE 4. Non-dimensional sections for U-formed fore bodies, having $\beta = 0.98$ and $\zeta_T = 0.55-0.80$ and 0.85 .
 NOTE! The centerlines of the sections are shifted to avoid confusion of the curves.

Non-Dimensional Sections V2A

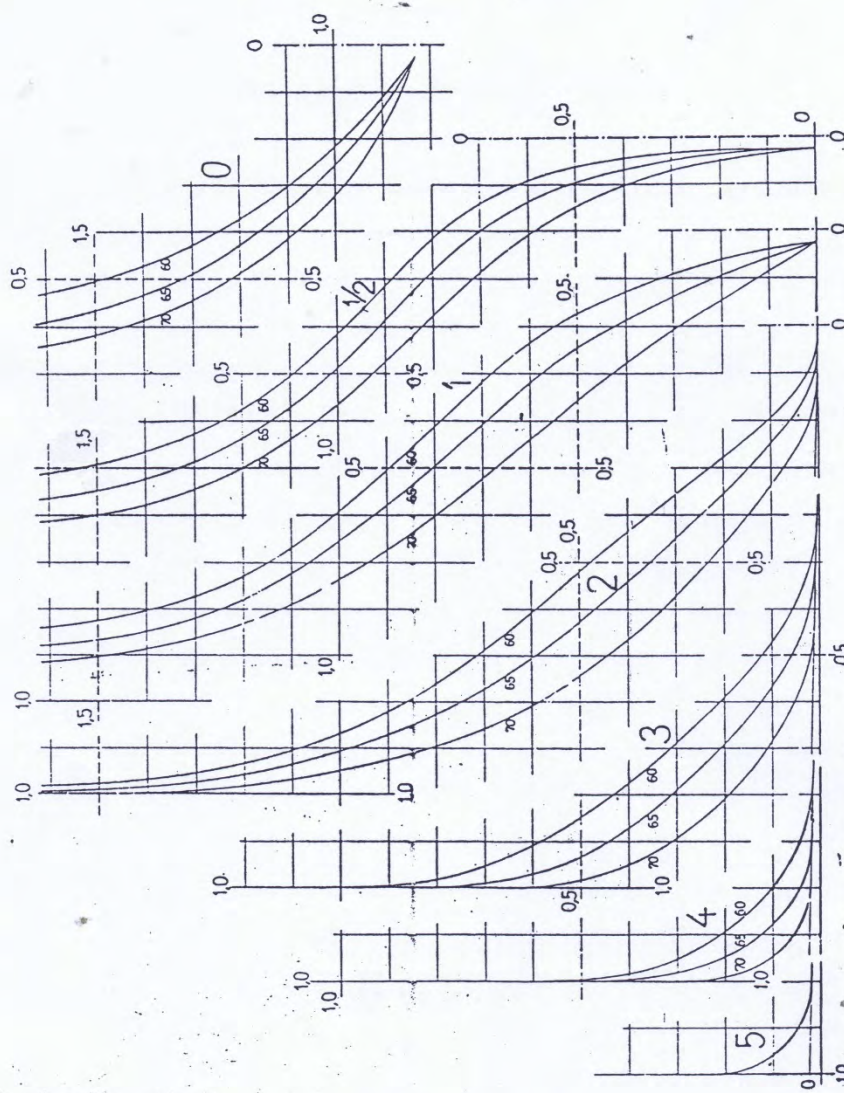


PLATE 3. Non-dimensional sections for V-formed after bodies, having $\beta = 0.98$ and $\delta_A = 0.60, 0.65$ and 0.70
 NOTE: The centerlines of the sections are shifted to avoid confusion of the curves.

Non-Dimensional Sections V2F

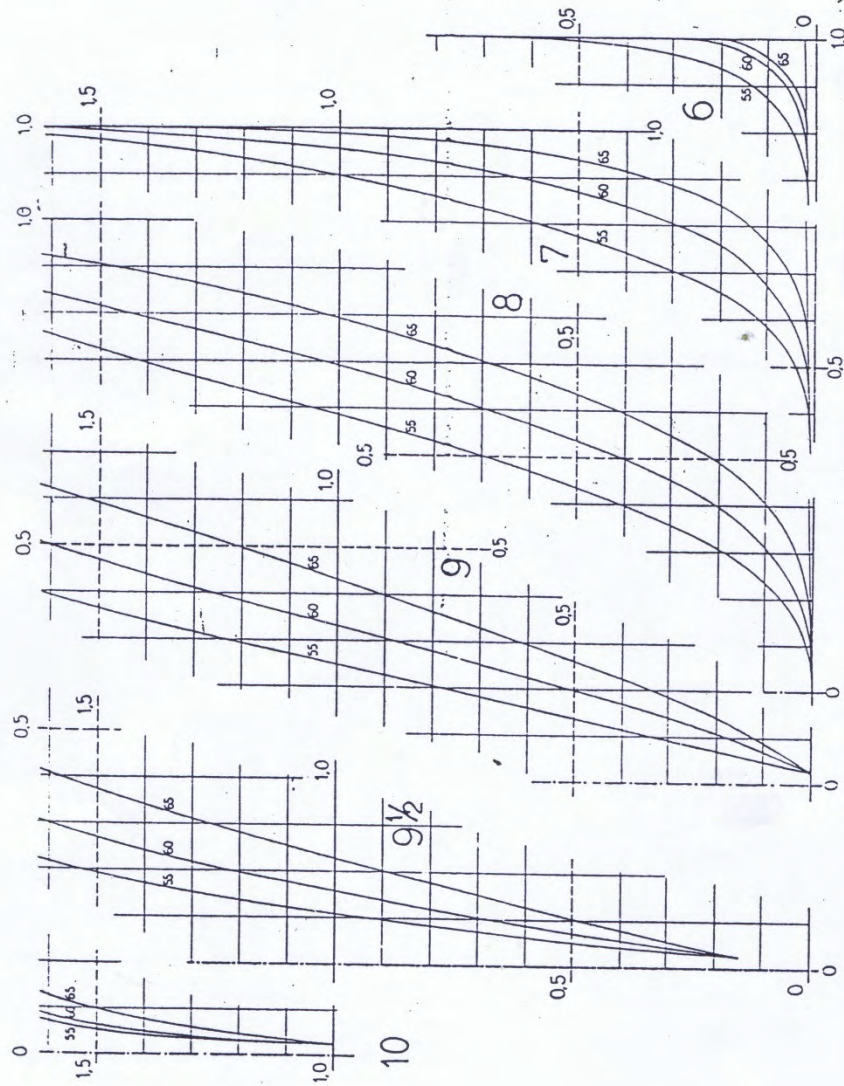


PLATE 6. Non-dimensional sections for V-formed fore bodies, having $\beta=0.98$ and $\delta_F=0.55-0.60$ and 0.65 .
 NOTE: The centerlines of the sections are shifted to avoid confusion of the curves.

Non-Dimensional Sections N2A

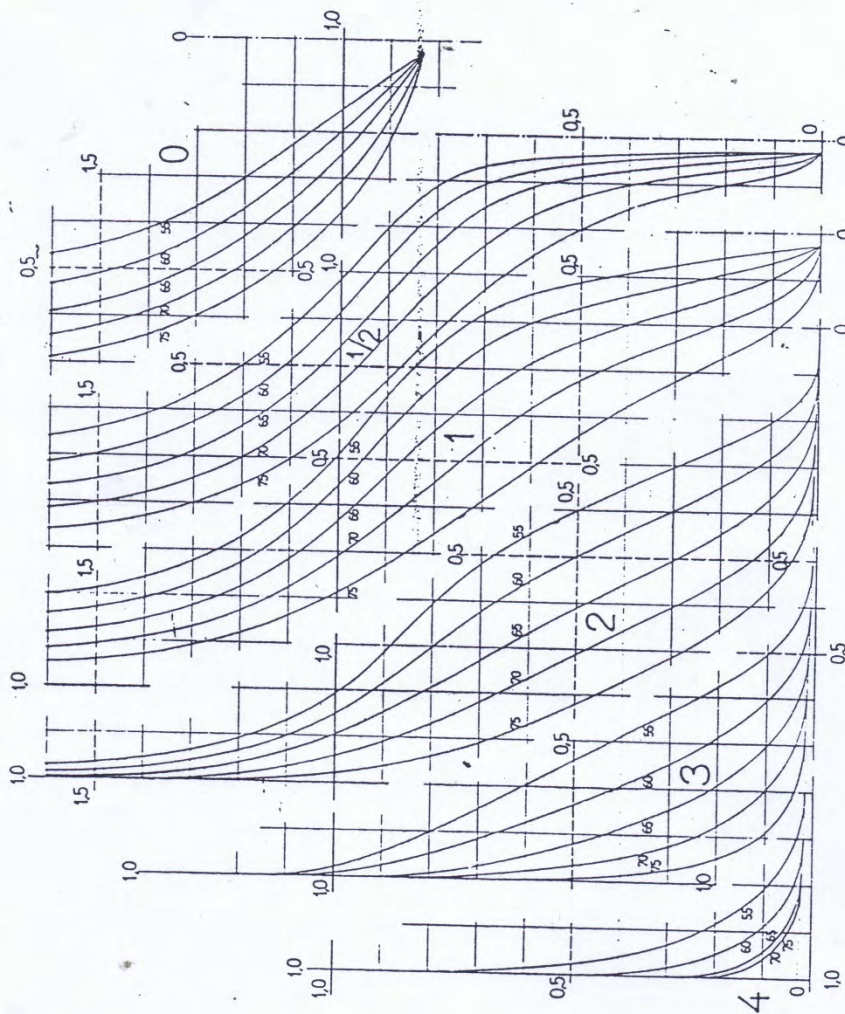


PLATE 2. Non-dimensional sections for N-formed after bodies having $\beta = 0.58$ and $\delta_A = 0.55-0.60-0.65-0.70$ and 0.75 .
 NOTE! The centerlines of the sections are shifted to avoid confusion of the curves.

Non-Dimensional Sections N2A

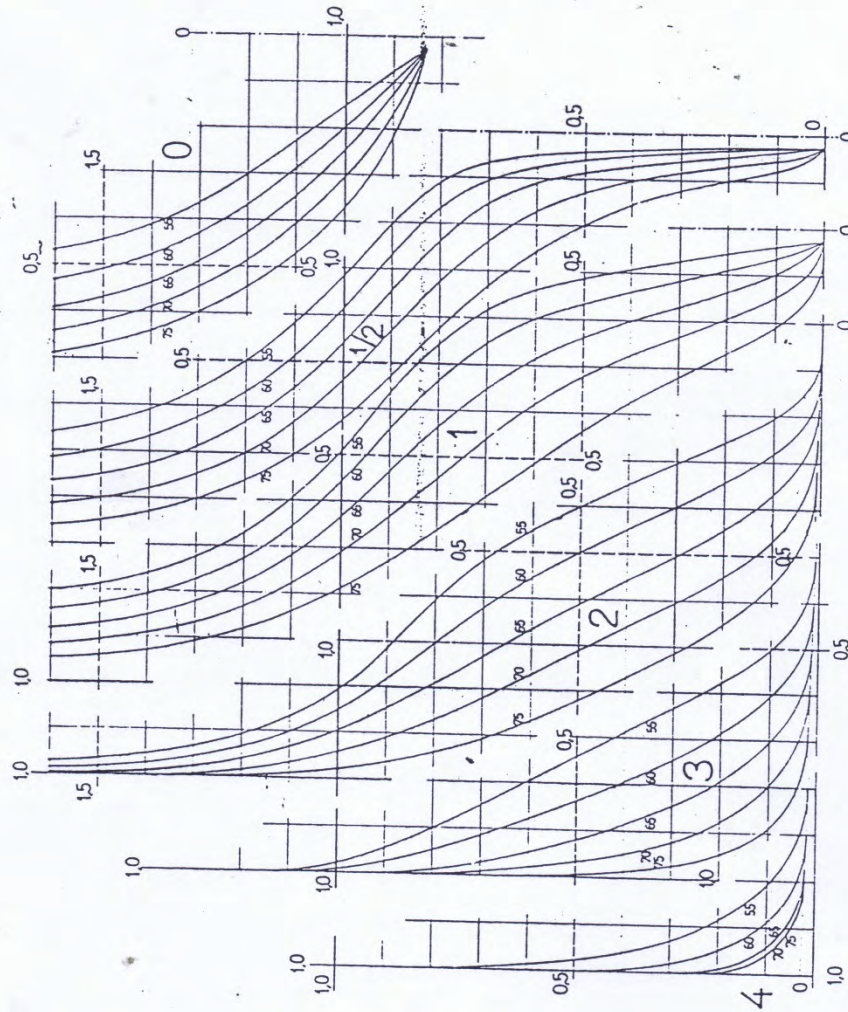


PLATE 2. Non-dimensional sections for N-formed after bodies, having $\beta = 0.58$ and $\delta_A = 0.55-0.60-0.65-0.70$ and 0.75 .
 NOTE! The centerlines of the sections are shifted to avoid confusion of the curves.

BIODATA PENULIS



Muhammad Luqman Hakim, lahir di Probolinggo, 26 September 1992. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Umar dan Siti Murtiatun. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Tunas Bakti, SDN Kademangan IV Kota Probolinggo, SMPN 5 Kota Probolinggo, SMAN 1 Kota Probolinggo dan lulus pada tahun 2011, penulis melanjutkan sekolah tahapan sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Perkapalan. *“mulailah dengan Bermimpi, Berusahalah terus, dan jangan lupa Berdoalah”*, merupakan motto hidup penulis. Bulu tangkis adalah hobi penulis.

Pada tahapan S-1 di Teknik Perkapalan ITS, penulis mengambil bidang studi Rekayasa Perkapalan bidang keahlian Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa kuliah jenjang S-1, penulis pernah menjadi Anggota Ikatan Mahasiswa se ITS PENS dan PPNS (IMPROSES) 2011/2012, Wakil Ketua Ikatan Mahasiswa se ITS PENS dan PPNS (IMPROSES) 2012/2013, dan Anggota Steering Committee Kaderisasi HIMATEKPAL 2013/2014.

Penulis juga menguasai beberapa software sebagai penunjang ilmu perkapalan meliputi AutoCAD, Maxsurf (Design of Hull), ASYS APDL (Multiphysics), dan CFD (CFX dan ICEM).

Email : mluqmanhak@gmail.com