



TUGAS AKHIR - MN 091382

PERHITUNGAN FATIGUE LIFE KAPAL TANKER SINGLE HULL DIATAS 20.000 DWT YANG BEROPERASI DI INDONESIA USIA LEBIH DARI 15 TAHUN PADA TAHUN 2012

ARGO YOGIARTO
NRP. 4109 100 055

Ir. Asjhar Imron, M.Sc, MSE., PED.
Ir. Soewefy, M.Eng.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014



FINAL PROJECT - MN 091382

**FATIGUE LIFE CALCULATION OF SINGLE-HULL OIL
TANKER ABOVE 20.000 DWT WHICH OVER THAN 15
YEARS OPERATION IN INDONESIA ON 2012**

ARGO YOGIARTO
NRP. 4109 100 055

Ir. Asjhar Imron, M.Sc, MSE., PED.
Ir. Soewefy, M.Eng.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2014

PERHITUNGAN FATIGUE LIFE KAPAL TANKER SINGLE HULL DIATAS 20.000 DWT YANG BEROPERASI DI INDONESIA USIA LEBIH DARI 15 TAHUN PADA TAHUN 2012

Nama Mahasiswa : Argo Yogiarto
NRP : 4109 100 055
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE., PED.
2. Ir. Soeweify, M.Eng.

ABSTRAK

Peristiwa kegagalan struktur yang mengakibatkan karamnya kapal tanker *single-hull* “ERIKA” (tahun 1999) dan “PRESTIGE” (tahun 2002) menimbulkan banyak perubahan dalam peraturan klasifikasi, statutori, dan perdagangan yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas pengoperasian kapal tanker. Insiden kegagalan struktur yang disebabkan oleh *fatigue*, menunjukkan bahwa perlu adanya pengawasan yang lebih, khususnya terhadap bagian - bagian yang potensial mengalami *fatigue* tersebut. Peraturan mengenai *fatigue* diakomodasi oleh IACS melalui *Common Structural Rules (CSR) for Oil Tankers*. Objek studi yang digunakan adalah kapal tanker *single-hull* 37.087 DWT yang berusia 19 tahun pada tahun 2012. Acuan kondisi struktur terkini berdasarkan hasil survei kondisi (*Condition Assessment Scheme*) pada tahun 2008. Dalam perhitungan *fatigue*, ketentuan dari CSR mewajibkan pemodelan struktur kapal yang mencakup 3 ruang muat dibagian *midship* menggunakan *software finite element package* dengan 2 kondisi pembebanan, *full load* dan *normal ballast*. *Output* berupa tegangan yang digunakan sebagai *input* untuk menghitung *cumulative fatigue damage*. *Cumulative fatigue damage* digunakan untuk menghitung umur kelelahan (*fatigue life*) menggunakan pendekatan dari *Palmgren-Miner’s rule* dengan meninjau tegangan pada 5 lokasi *bracket* di tiap ruang muat yang dianggap kritis. Analisis umur kelelahan dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Simplified Fatigue Analysis*. Dari penelitian ini, didapatkan bahwa umur konstruksi *bottom* kapal Tanker 37.087 DWT tidak memenuhi umur konstruksi yang disyaratkan oleh CSR yaitu 25 tahun. Rekomendasi diberikan agar kapal tanker bisa memenuhi regulasi.

Kata kunci: analisa *fatigue*., CSR., kapal tanker., *single hull*.,

FATIGUE LIFE CALCULATION OF SINGLE-HULL OIL TANKER ABOVE 20.000 DWT WHICH OVER THAN 15 YEARS OPERATION IN INDONESIA ON 2012

Author : Argo Yogiarto
ID No. : 4109 100 055
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : 1. Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE., PED.
2. Ir. Soeweify, M.Eng

ABSTRACT

Incident structure failure was inflicted single hull oil tankers “ERIKA” and “PRESTIGE”, both of them sink in 1999 and in 2002. After this, a lot of things was changed on classifications regulations, statutory, and trading in order to increased oil tanker operations safer. Structure failure that caused by fatigue indicates that need more attentions especially for critical locations that potentially experiencing fatigue. Regulations concerning fatigue accommodated by IACS through Common Structural Rule for Oil Tankers. Object reference that used is single hull oil tanker 37.087 DWT that have been operating for 19 years in 2012. The latest assuming structural conditions based on conditional survey (Condition Assessment Scheme) in 2008. In the calculation of fatigue, the provisions of CSR requires modeling the structure of the vessel that includes 3 cargo hold at midship section using the finite element software package with 2 loading conditions, full load and normal ballast. The output of the process is structural stress that is used as input to calculate cumulative fatigue damage. Cumulative fatigue damage that is used to calculate the fatigue life is close equations from Palmgren-Miner's rule by reviewing the structural stress at 5 locations in each bracket considered critical locations at cargo hold. Fatigue life analysis performed using Simplified Fatigue Analysis. From this study, it was found that the lifetime of the ship's bottom construction 37 087 DWT Tanker does not meet the age required by the CSR that is 25 years old. Recommendations are given in order to meet the regulation.

Key Words: CSR, Fatigue Analysis., Oil Tanker Ship., Single Hull.

LEMBAR PENGESAHAN
PERHITUNGAN FATIGUE LIFE KAPAL TANKER SINGLE
HULL DIATAS 20.000 DWT YANG BEROPERASI DI
INDONESIA USIA LEBIH DARI 15 TAHUN PADA TAHUN
2012

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ARGO YOGIARTO
NRP. 4109 100 055


Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I



Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE., PED.
NIP : 19510918 197803 1 003

Dosen Pembimbing II



Ir. Soewefy, M.Eng.
NIP : 19460803 197301 1 001

SURABAYA, 16 JANUARI 2014

LEMBAR REVISI

PERHITUNGAN FATIGUE LIFE KAPAL TANKER SINGLE HULL DIATAS 20.000 DWT YANG BEROPERASI DI INDONESIA USIA LEBIH DARI 15 TAHUN PADA TAHUN 2012

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 23 Januari 2014

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ARGO YOGIARTO
NRP. 4109 100 055

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Ir. Triwilaswandio W.P., M.Sc.

2. Ir. Budie Santosa, M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE., PED.

2. Ir. Soeweify, M.Eng.



SURABAYA, 28 JANUARI 2014

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr, Wb.

Alhamdulillah, puji syukur penulis haturkan kehadirat 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 dan Ibu tercinta yang telah membesarkan penulis atas do'a, kasih sayang, dukungan dan bimbingannya yang tidak pernah berhenti.
2. Bapak Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE., PED. Selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Soeweify, M.Eng. Selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D., CEng, FRINA, Selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS
5. Bapak Ir. Murdijanto, M.Eng. Selaku dosen wali penulis, atas bimbingannya selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS.
6. Bapak Ir. Triwilaswandio W.P, M.Sc. yang telah memberikan arahan serta memberikan data-data yang diperlukan oleh penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
7. Teguh Putranto, S.T., M.T. yang telah bersedia membimbing, memberikan arahan kepada penulis, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
8. Kepala Laboratorium Komputasi Bapak Solikhan Arief, S.T, atas ijinnya menggunakan fasilitas laboratorium untuk mengerjakan tugas akhir.
9. Karyawan Tata Usaha Jurusan Teknik Perkapalan – FTK – ITS.
10. Staff NaSDEC-ITS
11. Teman-teman di Teknik Perkapalan angkatan 2009 (P-49 Laksamana), Choi, Jombang, Mbah Sona, Rezha, Jamal, Nogo, Doel, Habibi, Kampang, Phatkur, Iephan, Halida, Angky, Fikram, Wahyu, Sob, Pewa, Didon, Pakdhe Dahlan, Mbah Jiwo, Tebe, Saddam, Komug, Raga, Rahmat, Brian, Juanda, Libra, dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
12. Sahabat seperjuangan Tugas Akhir, Kharis, Cino, Hendy, Tholib, Tege, Koh Ibel, Tatum, Yoni, dan lainnya.
13. Pacar saya Nur Rizqi Amelina yang sabar dan terus memberi support saat mencapai titik terendah.
14. Para senior P-45 yang membantu memberikan arahan Tugas Akhir Mas Dio (Cecex), Mas Zulfadli, Mas Bogang, Mas Zakky P-42.
15. Teman-teman SMAN 10 Surabaya khususnya kelas XII IPA 3 yang telah memberikan *support* serta menjadi motivasi bagi penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
16. 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. Maka saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamualaikum, Wr, Wb.

Surabaya, 10 Januari 2014

Argo Yogiarto

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
1.6 Hipotesis.....	5
1.7 Sistematika Penulisan Laporan.....	5
BAB 2 DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan pustaka.....	7
2.2 <i>Common Structural Rule</i>	7
2.3 Pembebanan.....	9
2.3.1 <i>Hull girder load</i>	9
2.3.2 Beban dinamis	16
2.4 Kekuatan kelelahan (<i>Fatigue Strength</i>)	24
2.4.1 Definisi.....	24
2.4.2 Kondisi pembebanan.....	25
2.4.3 Pemodelan <i>Finite Element</i>	27
2.4.4 Prosedur Perhitungan Kelelahan	40
2.5 Rentang tegangan.....	44
2.5.1 <i>Total stress range</i>	45
2.5.2 <i>Total combined stress range</i>	45
2.1.1 Korespondensi <i>stress range</i> akibat dari <i>vertical bending moment</i>	47
2.1.2 Korespondensi <i>stress range</i> akibat dari <i>horizontal bending moment</i>	47
2.1.3 Korespondensi <i>stress amplitude</i> akibat momen bending lokal	48
BAB 3 METODOLOGI.....	51
3.1 Spesifikasi komputer yang digunakan	51
3.2 Kapal tanker <i>single-hull</i> 37.087 DWT.....	52
3.3 Alur pengerjaan	53
3.4 Titik tinjauan <i>fatigue</i>	54
3.5 Pemodelan struktur menggunakan <i>software</i> elemen hingga.....	55
3.5.1 <i>Pre processing</i>	55
3.5.2 <i>Solving</i>	60
3.5.3 <i>Post processing</i>	60
3.6 Perhitungan beban.....	64
3.6.1 Beban dinamis eksternal kondisi <i>full load</i>	64
3.6.2 Beban dinamis eksternal kondisi <i>ballast</i>	68
3.6.3 Beban dinamis Internal kondisi <i>full load</i> dan <i>ballast</i>	72
BAB 4 ANALISA HASIL	75

4.1	Perhitungan kekuatan memanjang kondisi struktur 85% pada tahun 2008	75
4.2	Perhitungan <i>total combined stress range</i>	80
4.2.1	Kondisi struktur 95% pada tahun 2008.....	80
4.2.2	Kondisi struktur 90% pada tahun 2008.....	83
4.2.3	Kondisi struktur 85% pada tahun 2008.....	86
4.3	Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i>	88
4.3.1	<i>Stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> kondisi struktur 95% pada 2008.....	90
4.3.2	<i>Stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> kondisi struktur 90% pada 2008.....	95
4.3.3	<i>Stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> kondisi struktur 85% pada 2008.....	100
4.4	Rekapitulasi <i>fatigue life</i>	105
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		107
5.1	Kesimpulan.....	107
5.2	Saran	107
5.3	Penutup.....	109

DAFTAR PUSTAKA

UCAPAN TERIMA KASIH

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perhitungan momen inersia penampang	13
Tabel 2.2 Gambar Tabel 7.6.2/ Section 7 CSR-OT	20
Tabel 2.3 <i>Rigid link</i> pada kedua ujung model	31
Tabel 2.4 Tipe Sambungan (<i>CSR for Double Hull Oil Tanker, 2010</i>).....	36
Tabel 2.5 Detil sambungan dan faktor konsentrasi tegangan untuk sambungan pada akhir <i>stiffeners</i>	38
Tabel 2.6 Distribusi $f_{weibull}$	42
Tabel 2.7 <i>Stress Range Combination Factors for Zone M</i>	46
Tabel 3.1 Laju korosi (mm/year) struktur kapal tanker	52
Tabel 3.2 <i>Principal dimension</i> kapal	53
Tabel 3.3 Deskripsi sambungan dan lokasi tinjauan.....	55
Tabel 3.4 Detail sambungan	55
Tabel 3.5 Perhitungan beban eksternal kondisi <i>full load</i>	64
Tabel 3.6 Perhitungan beban eksternal kondisi <i>ballast</i>	68
Tabel 3.7 Perhitungan beban internal tangki kondisi <i>full load</i>	73
Tabel 3.8 Perhitungan beban internal kondisi <i>ballast</i>	73
Tabel 4.1 Rekapitulasi <i>longitudinal member</i>	75
Tabel 4.2 Rekapitulasi hasil perhitungan <i>longitudinal strength</i>	80
Tabel 4.3 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M1 kondisi struktur 95% pada tahun 2008	80
Tabel 4.4 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M2 kondisi struktur 95% pada tahun 2008	81
Tabel 4.5 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M3 kondisi struktur 95% pada tahun 2008	81
Tabel 4.6 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M4 kondisi struktur 95% pada tahun 2008	82
Tabel 4.7 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M5 kondisi struktur 95% pada tahun 2008	82
Tabel 4.8 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M1 kondisi struktur 90% pada tahun 2008	83
Tabel 4.9 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M2 kondisi struktur 90% pada tahun 2008	83
Tabel 4.10 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M3 kondisi struktur 90% pada tahun 2008	84
Tabel 4.11 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M4 kondisi struktur 90% pada tahun 2008	84
Tabel 4.12 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M5 kondisi struktur 90% pada tahun 2008	85
Tabel 4.13 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M1 kondisi struktur 85% pada tahun 2008	86
Tabel 4.14 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M2 kondisi struktur 85% pada tahun 2008	86
Tabel 4.15 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M3 kondisi struktur 85% pada tahun 2008	87
Tabel 4.16 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M4 kondisi struktur 85% pada tahun 2008	87

Tabel 4.17 Tabel perhitungan <i>total combined stress range</i> pada <i>local connection</i> M4 kondisi struktur 85% pada tahun 2008	88
Tabel 4.18 kondisi deformasi pada lokasi tinjauan <i>fatigue</i> kondisi pembebanan <i>full load</i>	89
Tabel 4.19 kondisi deformasi pada lokasi tinjauan <i>fatigue</i> kondisi pembebanan <i>ballast</i>	89
Tabel 4.20 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M1 frame 65, kondisi struktur 95% pada 2008	90
Tabel 4.21 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M1 frame 58, kondisi struktur 95% pada 2008	90
Tabel 4.22 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M1 frame 51, kondisi struktur 95% pada 2008	90
Tabel 4.23 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M2 frame 65, kondisi struktur 95% pada 2008	91
Tabel 4.24 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M2 frame 58, kondisi struktur 95% pada 2008	91
Tabel 4.25 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M2 frame 51, kondisi struktur 95% pada 2008	91
Tabel 4.26 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M3 frame 65, kondisi struktur 95% pada 2008	92
Tabel 4.27 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M3 frame 58, kondisi struktur 95% pada 2008	92
Tabel 4.28 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M3 frame 51, kondisi struktur 95% pada 2008	92
Tabel 4.29 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M4 frame 68, kondisi struktur 95% pada 2008	93
Tabel 4.30 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M4 frame 62, kondisi struktur 95% pada 2008	93
Tabel 4.31 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M4 frame 54, kondisi struktur 95% pada 2008	93
Tabel 4.32 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M5 frame 51, kondisi struktur 95% pada 2008	94
Tabel 4.33 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M5 frame 58, kondisi struktur 95% pada 2008	94
Tabel 4.34 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M5 frame 51, kondisi struktur 95% pada 2008	94
Tabel 4.35 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M1 frame 65, kondisi struktur 90% pada 2008	95
Tabel 4.36 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M1 frame 58, kondisi struktur 90% pada 2008	95
Tabel 4.37 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M1 frame 51, kondisi struktur 90% pada 2008	95
Tabel 4.38 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M2 frame 65, kondisi struktur 90% pada 2008	96
Tabel 4.39 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M2 frame 58, kondisi struktur 90% pada 2008	96
Tabel 4.40 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M2 frame 51, kondisi struktur 90% pada 2008	96
Tabel 4.41 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M3 frame 65, kondisi struktur 90% pada 2008	97
Tabel 4.42 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M3 frame 58, kondisi struktur 90% pada 2008	97

Tabel 4.43 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M3 frame 51, kondisi struktur 90% pada 2008	97
Tabel 4.44 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M4 frame 68, kondisi struktur 90% pada 2008	98
Tabel 4.45 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M4 frame 62, kondisi struktur 90% pada 2008	98
Tabel 4.46 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M4 frame 54, kondisi struktur 90% pada 2008	98
Tabel 4.47 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M5 frame 65, kondisi struktur 90% pada 2008	99
Tabel 4.48 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M5 frame 58, kondisi struktur 90% pada 2008	99
Tabel 4.49 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M5 frame 51, kondisi struktur 90% pada 2008	99
Tabel 4.50 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M1 frame 65, kondisi struktur 85% pada 2008	100
Tabel 4.51 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M1 frame 58, kondisi struktur 85% pada 2008	100
Tabel 4.52 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M1 frame 51, kondisi struktur 85% pada 2008	100
Tabel 4.53 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M2 frame 65, kondisi struktur 85% pada 2008	101
Tabel 4.54 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M2 frame 58, kondisi struktur 85% pada 2008	101
Tabel 4.55 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M2 frame 51, kondisi struktur 85% pada 2008	101
Tabel 4.56 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M3 frame 65, kondisi struktur 85% pada 2008	102
Tabel 4.57 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M3 frame 58, kondisi struktur 85% pada 2008	102
Tabel 4.58 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M3 frame 51, kondisi struktur 85% pada 2008	102
Tabel 4.59 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M4 frame 68, kondisi struktur 85% pada 2008	103
Tabel 4.60 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M4 frame 62, kondisi struktur 85% pada 2008	103
Tabel 4.61 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M4 frame 54, kondisi struktur 85% pada 2008	103
Tabel 4.62 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M5 frame 65, kondisi struktur 85% pada 2008	104
Tabel 4.63 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M5 frame 58, kondisi struktur 85% pada 2008	104
Tabel 4.64 Rekapitulasi <i>stress range</i> dan <i>fatigue damage</i> pada <i>local connection</i> M5 frame 51, kondisi struktur 85% pada 2008	104
Tabel 4.65 Perkiraan umur konstruksi kondisi 95% pada tahun 2008.....	105
Tabel 4.66 Perkiraan umur konstruksi kondisi 90% pada tahun 2008.....	105
Tabel 4.67 Perkiraan umur konstruksi kondisi 85% pada tahun 2008.....	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jadwal <i>phase out</i> Uni Eropa terhadap kapal tanker single hull.....	3
Gambar 2.1 Struktur kapal diasumsikan sebagai <i>single beam</i> untuk menganalisa kekuatan memanjang kapal, diunggah dari http://www.slideshare.net/ismelkov/dnv-hull-structure-course	9
Gambar 2.2 Kondisi <i>Hogging</i> (Barrass, 1999).....	10
Gambar 2.3 Kondisi <i>Sagging</i> (Barrass, 1999).....	10
Gambar 2.4 Distribusi <i>factor</i> f_{wv-v}	11
Gambar 2.5 Penampang simetris.....	14
Gambar 2.6 Momen inersia dengan perputaran sumbu.....	15
Gambar 2.7 Penentuan koordinat perhitungan beban gelombang.....	19
Gambar 2.8 Visualisasi kondisi pemuatan utama.....	26
Gambar 2.9 Arah orientasi pembebanan.....	26
Gambar 2.10 Contoh pola pembebanan pada kapal tanker dengan 2 sekat memanjang pada kondisi <i>head sea-full load</i>	27
Gambar 2.11 Contoh model elemen hingga kapal tanker setengah lebar.....	27
Gambar 2.12 Elemen properties <i>Shell 93</i>	28
Gambar 2.13 Elemen properties <i>Beam 189</i>	28
Gambar 2.14 Penampang horizontal girder.....	29
Gambar 2.15 <i>Meshing</i> pada <i>transverse bracket web frame</i>	29
Gambar 2.16 Sistem koordinat global model FE.....	30
Gambar 2.17 <i>Rigid link</i> pada kedua ujung model pandangan melintang.....	31
Gambar 2.18 Luasan <i>shear area</i> untuk <i>vertical springs</i>	32
Gambar 2.19 Luasan <i>shear area</i> untuk <i>horizontal springs</i>	32
Gambar 2.20 Harga faktor <i>corrothion wastage</i> (t_w).....	34
Gambar 2.21 Kurva S-N untuk sambungan las (<i>CSR for Double Hull Oil Tanker</i> , 2010).....	37
Gambar 2.22 Penampang horizontal end connection transverse bulkhead dengan side longitudinal.....	39
Gambar 2.23 Prosedur perhitungan <i>fatigue</i> yang ditampilkan <i>Dr. John Kokarakis</i> pada seminar di Athens mengenai <i>Harmonized Common Structural Rules</i> , Februari 2013.....	40
Gambar 2.24 Retak pada daerah <i>end connection</i> , diambil dari http://www.slideshare.net/ismelkov/dnv-hull-structure-course	43
Gambar 2.25 Grafik <i>stress range</i>	44
Gambar 2.26 <i>Bulb profile and equivalent built-up flange</i>	49
Gambar 2.27 <i>Unsupported span</i>	49
Gambar 3.1 Contoh problem over kapasitas data.....	51
Gambar 3.2 Pandangan melintang lokasi tinjauan <i>fatigue</i>	54
Gambar 3.3 Penggunaan element <i>Beam 189</i> pada model.....	56
Gambar 3.4 Ketebalan pelat ditunjukkan dengan warna yang berbeda.....	57
Gambar 3.5 Kompartemen ruang muat.....	58
Gambar 3.6 <i>Model full breadth meshing</i>	58
Gambar 3.7 Model <i>meshing frame</i> 68, 67, dan 66.....	59
Gambar 3.8 <i>Boundary condition</i> pada kedua ujung model.....	59
Gambar 3.9 Resultan gaya <i>eksternal</i> dan <i>internal dynamic load</i> pada frame no. 59.....	60
Gambar 3.10 Beban yaang bekerja pada model (<i>internal dan eksternal dynamic pressure</i>)... 60	60
Gambar 3.11 Hasil komputasi <i>finite element</i> LC1 kondisi 95% <i>full load</i>	61
Gambar 3.12 Hasil komputasi <i>finite element</i> LC2 kondisi 95% <i>full load</i>	61

Gambar 3.13 Hasil komputasi <i>finite element</i> LC3 kondisi 95% <i>full load</i>	62
Gambar 3.14 Hasil komputasi <i>finite element</i> LC4 kondisi 95% <i>full load</i>	62
Gambar 3.15 Hasil komputasi <i>finite element</i> LC 5a + 5b kondisi 95% <i>full load</i>	63
Gambar 3.16 Hasil komputasi <i>finite element</i> LC 6a + 6b kondisi 95% <i>full load</i>	63
Gambar 3.17 <i>Loading pattern</i> LC 1 dan LC 2 <i>full load</i>	65
Gambar 3.18 <i>Loading pattern</i> LC 3 dan LC 4 <i>full load</i>	66
Gambar 3.19 <i>Loading pattern</i> LC 5a+5b <i>full load</i>	66
Gambar 3.20 <i>Loading pattern</i> LC 6a+6b <i>full load</i>	67
Gambar 3.21 <i>Loading pattern</i> LC 1 dan LC 2 <i>ballast</i>	69
Gambar 3.22 <i>Loading pattern</i> LC 3 dan LC 4 <i>ballast</i>	70
Gambar 3.23 <i>Loading pattern</i> LC 5a+5b <i>ballast</i>	70
Gambar 3.24 <i>Loading pattern</i> LC 6a+6b <i>ballast</i>	71
Gambar 3.25 Penentuan nomor tangki untuk perhitungan beban internal.....	72
Gambar 4.1 Penampang melintang struktur beserta <i>longitudinal member</i>	75
Gambar 5.1 <i>Detail bracket</i> M5.....	108
Gambar 5.2 <i>Detail bracket</i> M2.....	108

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sejak tenggelamnya tanker (*single hull*) ERIKA dilepas pantai Perancis (Desember 1999) yang menyebabkan polusi (*oil spill*) perairan sekitarnya, maka banyak terjadi perubahan dalam peraturan klasifikasi, statutori, dan perdagangan yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas pengoperasian kapal tanker.

IMO melalui peraturan MARPOL 73/78-Annex 1, Regulation 13G, Amandemen 2001 membagi kapal tanker minyak dalam 3 kategori, yaitu kategori 1, 2, dan 3. Dengan rincian sebagai berikut:

“Oil Tanker kategori 1”

- Kapal tanker 20.000 dwt atau lebih yang memuat *crude oil, fuel oil, heavy diesel oil, or lubricating oil, and*
- Kapal tanker 30.000 dwt atau lebih yang memuat jenis minyak selain yang disebutkan diatas. (Tanker pra-MARPOL, yaitu tanker *single hull* yang tidak mempunyai *segregated ballast tanks* pada *protective locations*).

“Oil Tanker kategori 2”

- Kapal tanker 20.000 dwt atau lebih, *single hull*, yang memuat *crude oil, fuel oil, heavy diesel oil, or lubricating oil, and*
- Tanker MARPOL 30.000 dwt atau lebih, *single hull*, yang memuat jenis minyak selain yang disebut diatas, yang dilengkapi *segregated ballast tanks* pada *protective locations*

“Oil Tanker kategori 3”

- Tanker 5.000 dwt atau lebih, *single hull* yang ukurannya dibawah tanker kategori 1 dan 2 diatas.

Selanjutnya ditentukan bahwa tanker dengan kategori 1, 2, dan 3 diatas harus memenuhi regulation 13 F, yang menyebutkan tentang adanya *wingtanks* dan *double bottom tanks*, alias “*double hull*” dalam batas-batas yang ditentukan menurut kategori diatas dan tanggal penyerahan kapal . sebagai contoh : Tanker kategori 2 yang tanggal penyerahannya dilakukan tahun 1984 harus memenuhi persyaratan “*double hull*” ditahun 2010. Apabila persyaratan tersebut tidak dipenuhi maka tanker akan mengalami “*phase-out*” (diberhentikan).

Kemudian ada peraturan lain yang menyebutkan bahwa tanker kategori 2 masih dapat terus beroperasi hingga melewati tahun 2010 apabila berhasil memenuhi Condition Assesment Scheme (CAS). CAS merupakan suatu penilaian terhadap keadaan kapal tanker meliputi:

- Kondisi struktur tanker
- Pemeriksaan dokumen dan records mengenai hal-hal yang dialami tanker dimasa lalunya.
- Kemungkinan diadakannya peningkatan survey dan cara-cara pemeriksaan.

Perlu kita ingat bahwa sejak 1998, pada *bulk carrier* dan *oil tanker*, telah dikenal adanya *Enhance Survey Programme* (ESP) yang diadakan oleh IACS dan dilaksanakan oleh badan klasifikasi sebagai tambahan pemeriksaan struktur kapal (*bulk carrier* dan *oil tanker*) secara mendetail pada *Special Survey*, *Intermediate Survey*, maupun *Annual Survey*. Jadi pada hakikatnya CAS merupakan suatu kompromi agar supaya tanker-tanker single hull usia belasan taun (*teenage*), masih dapat beroperasi secara internasional, sampai tanker berusia 20, 23, atau 25 tahun (batas maksimum), asal tidak melewati tahun 2015.

Dengan adanya CAS ini seperti penjelasan diatas, kalangan Uni Eropa merasa tidak puas terhadap ketentuan CAS, karena dianggap tidak cukup keras dan bermaksud untuk memberlakukan salah satu paragraf regulasi 13G yang menyebutkan bahwa suatu pemerintah berhak menolak masuknya tanker kategori 2 dan 3 ke pelabuhan negerinya setelah melewati tanggal *phase-out* mereka.

Hal-hal tersebut sangat merisaukan kalangan industri maritim yang berpendapat bahwa ketentuan-ketentuan yang bersifat internasional tidak dapat begitu saja ditentukan sepihak, melainkan harus diputuskan melalui forum internasional melalui perdebatan dalam IMO. Lalu pada bulan Nopember 2002, terjadi malapetaka yang menimpa kapal tanker "PRESTIGE", yang usianya saat itu mencapai 26 tahun, dan dengan kondisi yang sama seperti "ERIKA", yang menyebabkan polusi di lepas pantai Galicia, Spanyol. Secara sepihak, dibulan Desember 2002, negara-negara yang tergabung dalam Uni Eropa mengeluarkan peraturan yang mempercepat masa *phase-out tanker single hull*. Tindakan sepihak ini tentu saja membuat IMO, badan PBB yang menangani masalah-masalah kemaritiman secara internasional merasa wewenangnya dilampaui. IMO bersikeras bahwa tindakan sepihak negara-negara Uni Eropa tersebut, tidak mencerminkan kepentingan masyarakat maritim internasional.

Akhirnya melalui perundingan-perundingan yang alot, tercapai persetujuan untuk memperbaiki amandemen regulasi 13 G, antara lain:

Jadwal "Phase Out" tanker minyak single hull	
Kategori Tanker	Tanggal / Tahun
Kategori 1	5 April 2005 utk kapal yang diserahkan-terimakan tgl 5 April 1982. 2005 utk kapal yang diserahkan-terimakan setelah 5 April 1982.
Kategori 2 dan Kategori 3	5 April 2005 untuk kapal yang diserahkan-terimakan pada 5 April 1977 atau sebelumnya. 2005 untuk kapal yang diserahkan-terimakan setelah 5 April 1977 tetapi sebelum Januari 1978. 2006 utk kapal yang diserahkan-terimakan tahun 1978 dan 1979. 2007 utk kapal yang diserahkan-terimakan tahun 1980 dan 1981. 2006 untuk kapal yang diserahkan-terimakan tahun 1982. 2006 untuk kapal yang diserahkan-terimakan tahun 1983. 2006 untuk kapal yang diserahkan-terimakan tahun 1984 dan yang lebih baru.

Gambar 1.1 Jadwal *phase out* Uni Eropa terhadap kapal tanker single hull

Peraturan mengenai CAS juga mengalami perubahan, antara lain bahwa tanker kategori 1 dan 2 harus menjalani CAS apabila kapal mencapai usia 15 tahun. Sedangkan pengangkutan minyak berat hanya dapat dilakukan dengan tanker-tanker *double hull*.

Berbeda kondisi dengan Indonesia, berdasarkan peraturan menteri perhubungan no KM.66 tahun 2005 menyebutkan:

- Kapal tanker *single hull* berusia kurang dari 20 tahun, berbendera Indonesia dan hanya berlayar di perairan Indonesia saja tidak wajib melaksanakan CAS (*Condition Assesment Scheme*, sesuai dengan MEPC 111(50) dan (112(50)) sedangkan untuk kapal tanker berusia diatas 20 tahun wajib melaksanakan CAS.
- Untuk kapal tanker *single hull* berbendera asing yang berlayar diperairan Indonesia wajib memenuhi ketentuan MARPOL Annex 1 (13F, 13G, dan 13H).
- Kapal tanker *single hull* berbendera asing yang akan berganti bendera, disewa, dibeli, atau *dicharter* untuk pengoperasian dalam negeri tidak boleh berusia diatas 25 tahun dan dalam waktu 5 tahun harus diganti ke bendera Indonesia.
- Kapal tanker *single hull* yang digunakan sebagai *floating storage* (FPSO, FSO, FSU) tidak perlu memenuhi ketentuan MARPOL Annex 1 (13F, 13G, dan 13H) dengan catatan poros dan propeller dicabut.

Dari berbagai kajian diatas mengenai pelaksanaan CAS di Indonesia yang menyebutkan bahwa "Kapal tanker *single hull* berusia kurang dari 20 tahun, berbendera Indonesia dan hanya berlayar di perairan Indonesia saja tidak wajib melaksanakan CAS". Hal ini berbeda dengan ketetapan pemberlakuan CAS didalamnya menyebut bahwa "Kapal tanker *single hull* kategori 1 dan 2 harus menjalani CAS apabila kapal mencapai usia 15 tahun".

Berdasar pada perbedaan diatas, maka penulis melakukan pengkajian dengan mengambil *sample* terhadap salah satu kapal tanker *single hull* ukuran 20.000 DWT keatas yang berlayar di Indonesia dan telah mencapai usia 15 tahun atau lebih pada 2012. Sample yang didapat adalah kapal tanker *single hull* 36.000 DWT milik perusahaan multinasional, usianya mencapai 19 tahun pada tahun 2012. Untuk selanjutnya penulis akan menghitung *fatigue life* struktur kapal tersebut hingga mendapatkan sisa *fatigue life* struktur kapal tersebut berapa tahun lagi hingga dikatakan tidak laik melaut. Hasil dari pengerjaan tugas akhir ini diharapkan bisa menjadi pandangan bagi kalangan industri maritim, pelajar, pembaca, pemerhati, dan bagi pemerintah yang menangani masalah kebijakan apakah penetapan pemberlakuan CAS harus menunggu mencapai 20 tahun, mengingat Uni Eropa memberlakukan 5 tahun lebih cepat bagi kapal *tanker single hull*. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini diambil judul **“Perhitungan fatigue life kapal tanker single hull dibawah 20.000 DWT yang beroperasi di Indonesia usia lebih dari 15 tahun pada tahun 2012”**.

1.2 Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang tersebut di atas permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana menghitung *fatigue life* kapal berdasarkan peraturan *Common Structural Rules (CSR) for Oil Tankers*?
2. Berapa tahun *fatigue life* bracket kapal tanker tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah:

1. Input ketebalan pelat diasumsikan merupakan hasil dari survei kondisi CAS (*Condition Assesment Scheme*) pada tahun 2008. Tebal pelat dan penegar digolongkan menjadi 3 bagian, yaitu: 95%, 90%, dan 85% dari tebal pelat desain.
2. Laju korosi pada struktur kapal mengacu pada jurnal *“Risk assesment of aging ship hull structures in the presence of corrotion and fatigue”*, (Unyime O. Akpan, T.S. Koko, B. Ayyub, T.E. Dunbar ; 2001).
3. Pemodelan *finite element* menggunakan software.
4. Metode perhitungan fatigue menggunakan metode *Simplified Fatigue Analysis*.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui dan menerapkan peraturan *Common Structural Rules (CSR) for Oil Tankers* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Mengetahui *fatigue life* dari bracket kapal yang dikaji dan yang dijadikan sebagai pedoman dalam perhitungan.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat bagi penulis dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Memahami penerapan peraturan *Common Structural Rules (CSR) for Oil Tankers* untuk menghitung *fatigue life*.
2. Dari hasil *fatigue life*, akan diperoleh data-data dan info yang diperlukan untuk strategi perencanaan pemeriksaan berkala.

1.6 Hipotesis

Hasil penelitian struktur kapal khususnya pada bracket tidak memenuhi persyaratan *fatigue life* minimum 25 tahun yang ditentukan oleh *Common Structural Rules for Oil Tankers*.

1.7 Sistematika Penulisan 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 penulisan 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, dan codes yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir ini diuraikan dalam bab ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menjelaskan bagaimana langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian tugas akhir ini, serta metode-metode yang digunakan.

BAB IV ANALISA HASIL

Membahas hasil dari analisis-analisis yang telah dilakukan pada penelitian, meliputi analisis hasil serta pembahasan hasil.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Menjelaskan tentang kesimpulan penting yang diperoleh dari hasil analisis umur kelelahan pada struktur lambung kapal tanker untuk menjawab permasalahan yang diajukan atau dirumuskan. Selain itu saran juga diperlukan dalam bab ini, dengan tujuan sebagai masukan agar struktur kapal tanker bisa memenuhi regulasi *Common Structural Rules for Oil Tankers*.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan pustaka

Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk mendapatkan acuan dari pengalaman yang sudah dikerjakan oleh peneliti sebelumnya. Selain itu, studi literatur ini bertujuan untuk mendapatkan informasi atau data yang berlaku serta variabel maupun konstanta yang diperlukan. Beberapa literatur yang menjadi acuan antara lain :

1. Zakky, Ahmad (2012) telah melakukan studi kasus pada kapal FSO 109.00 DWT mengenai analisa *fatigue* pada *floating storage* dengan metode *S-N curve*. *Cummulative fatigue damage* dihitung dengan menggunakan metode *simplified fatigue analysis* berdasarkan *Palmgren-miner rules*. Rentang tegangan yang merupakan fungsi dari *Miners rule* didapat dari analisa elemen hingga. Hasil akhir berupa estimasi umur konstruksi FSO selama masa operasi 25 tahun.
2. Septiana, Dita (2012) telah melakukan analisa *fatigue* pada *bracket* kapal tanker berdasarkan *Common Structural Rules Oil Tanker*. Beliau menyebutkan bahwa *bracket* merupakan konstruksi penopang penegar. Penggunaan *bracket* dapat memperkecil modulus dari penegar sehingga kapal menjadi lebih ringan. *Bracket* juga memiliki *fatigue life* yang berpengaruh terhadap umur kapal.
3. Kurnadianto, Pradetya (2012) telah melakukan penelitian tentang perkiraan umur konstruksi FPSO konversi dari tanker dengan analisis *fatigue* dua metode yaitu *simplified* dan *deterministic*. Hasilnya metode *simplified* lebih akurat, metode *simplified* merupakan metode perhitungan *fatigue* dengan mempertimbangkan probabilitas dari kejadian gelombang yang terdistribusi secara acak, dengan adanya faktor *weibull shape parameter*. Faktor *weibull* digunakan dalam perhitungan *fatigue* menurut CSR.

2.2 Common Structural Rule

The Common Structural Rules (CSR) untuk *Double Hull Oil Tankers* telah dikembangkan oleh *IACS member classification society* dalam menanggapi keluhan yang konsisten dan terus menerus dari industri untuk peningkatan standar keselamatan struktur kapal tanker. Statistik menunjukkan jumlah cacat yang signifikan pada struktur kapal tanker berusia kurang dari 10 tahun. Hal ini menjadi perhatian yang utama dari aturan CSR untuk mengurangi kemungkinan begitu banyak cacat (ABS, DnV, LR: 2005). Aturan baru CSR ini

menerapkan metode komputasi canggih struktural dan hidrodinamika untuk menetapkan kriteria baru yang diterapkan secara konsisten, yang akan menghasilkan struktur kapal yang lebih kuat, aman, tetapi juga mereduksi kemungkinan menggunakan *scantlings* dan berat baja sebagai unsur kompetitif pihak klasifikasi ketika melakukan *approval* terhadap suatu desain struktur.

Persyaratan aturan CSR yang paling penting dan baru adalah persyaratan mengenai kapasitas momen lentur vertikal pada lambung-girder, yang tidak diatur dalam versi sebelumnya oleh pihak klasifikasi kapal (dengan pengecualian dari Peraturan Bureau Veritas yang mengadopsi kriteria ultimate strength pada tahun 2000). Pendekatan "*net*" *thickness* juga merupakan fitur baru yang penting dari CSR, dimana kapasitas struktural untuk mode kegagalan yang berbeda harus dihitung dengan asumsi bahwa ketebalan struktur elemen berkurang karena efek korosi. CSR mengusulkan pengurangan ketebalan karena pengaruh korosi struktur dari unsur-unsur yang berbeda dan berbagai tingkat perhitungan. *Scantlings* desain struktural elemen tersebut kemudian diperoleh dengan menambahkan pengurangan ketebalan pelat akibat dari korosi.

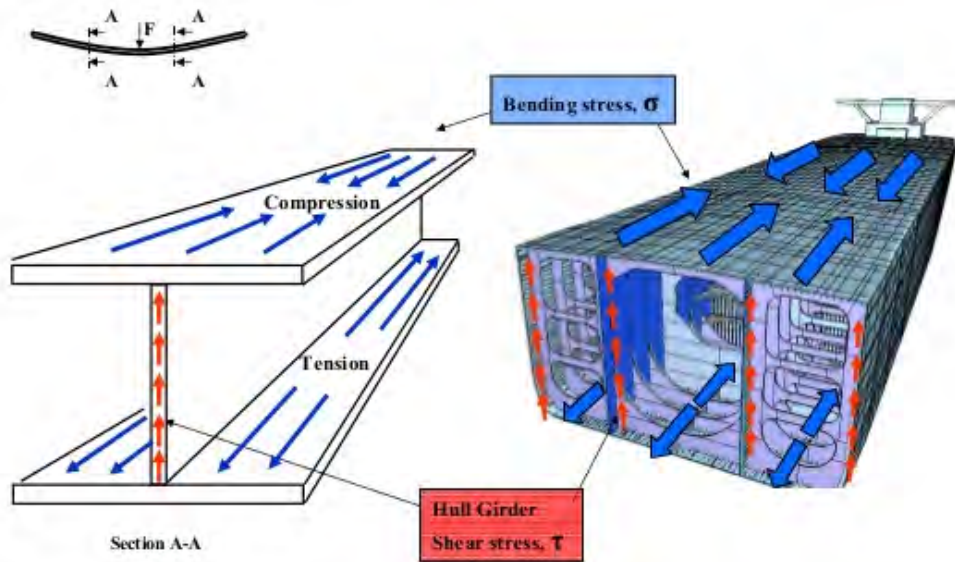
Fatigue dan korosi diidentifikasi sebagai faktor dominan yang berkontribusi pada kegagalan struktur kapal. Kelelahan didefinisikan sebagai proses siklus dengan siklus terakumulasi kerusakan dalam struktur mengalami fluktuasi tegangan. Sampai saat ini, kelelahan itu dianggap sebagai sebuah masalah *serviceability* bukan masalah *hull girder strength* (Bach-Gansmo, Carlesen: 1989) . Namun, penelitian terbaru yang dilakukan untuk pengembangan CSR baru menunjukkan bahwa mayoritas retak disebabkan tidak hanya dengan beban dinamis lokal tetapi juga oleh beban yang dinamis global seperti *wave bending moment*. Dengan kata lain, *fatigue strength hull girder* menjadi salah satu kriteria yang mengatur keandalan struktur kapal tanker, khususnya jika mengimplementasikan material baja *high tensile* (Tomasevic, Parunov, Senjanovic: 2000). Struktur kapal tanker harus memiliki *life time* sampai 25 tahun dan penerapan *Finite Element Analysis* sebagai persyaratan dalam menganalisa kekuatan konstruksi kapal.

Dalam penelitian ini akan disimulasikan perhitungan tegangan konstruksi kapal dengan menggunakan *Finite Element Analysis (Direct Methode)* dan rumus pendekatan yang sesuai dengan aturan CSR dan dilanjutkan dengan perhitungan *fatigue damage* sehingga kita bisa mengetahui perkiraan umur kapal.

2.3 Pembebanan

2.3.1 Hull girder load

2.3.1.1 Definisi

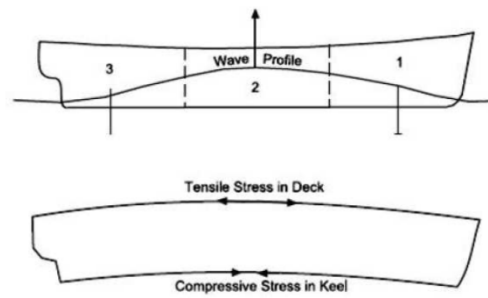


Gambar 2.1 Struktur kapal diasumsikan sebagai *single beam* untuk menganalisa kekuatan memanjang kapal, diunggah dari <http://www.slideshare.net/ismelkov/dnv-hull-structure-course>.

Efek deformasi *ship shaped structure* akibat beban gelombang yang ditinjau pada tugas akhir ini bisa dijelaskan dengan baik dengan mengibaratkan sebuah kapal bergerak pada gelombang regular dimana panjang gelombangnya sama dengan panjang kapal. Hal ini menyebabkan *vertical bending moment*. Jika *hull* diibaratkan sebagai *beam*, maka kondisi yang terjadi adalah:

1. Kondisi *hogging*

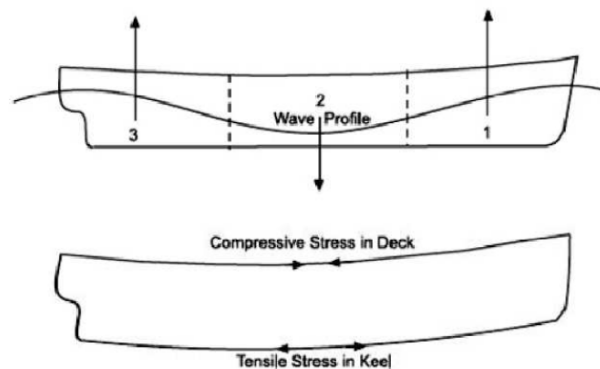
Deformasinya berbentuk cembung. *Hull girder* disupport pada *midship* dengan puncak gelombang. Pada kondisi ini, meskipun berat total seimbang dengan *buoyancy*, terdapat kelebihan *buoyancy* pada *midship* dan kelebihan berat pada *bow* dan *stern*. Situasi ini menyebabkan kecenderungan ujung kapal bergerak ke arah bawah dan pada bagian *midship* bergerak ke atas. Kondisi *hogging* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kondisi *Hogging* (Barrass, 1999)

2. Kondisi *sagging*

Deformasinya berbentuk cekung. *Hull girder* disupport pada *stern* dan *bow* dengan dua puncak gelombang. Terdapat kelebihan berat pada *midship* dan kelebihan *bouyancy* pada *bow* dan *stern*. Situasi ini menyebabkan kecenderungan ujung kapal bergerak ke arah atas dan pada bagian *midship* bergerak ke bawah. Kondisi *sagging* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kondisi *Sagging* (Barrass, 1999)

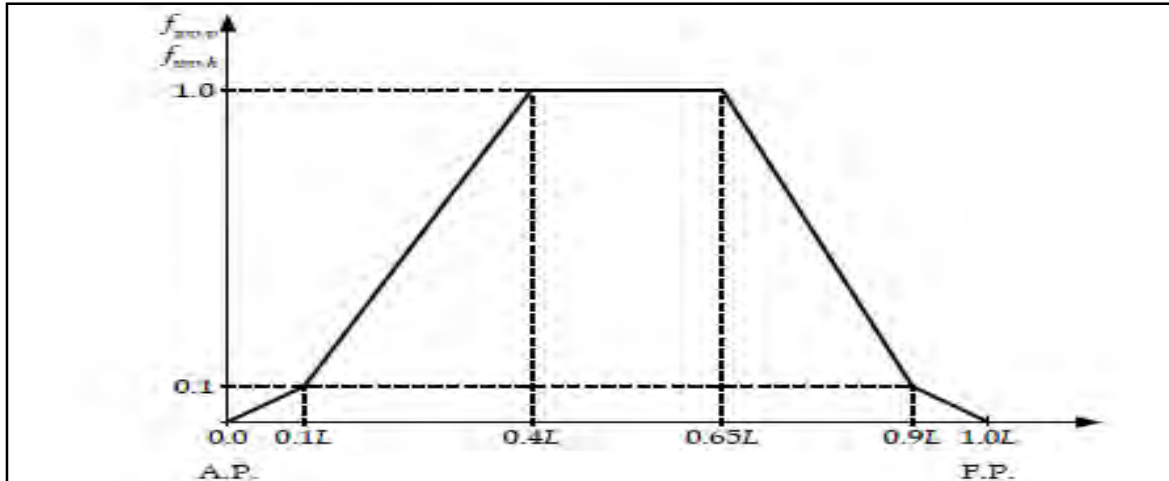
Vertical bending moment merupakan penyebab beban akibat gelombang yang paling dominan terhadap struktur terapung. Berdasarkan *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*, 2010, Section 7/3.4.1. Perhitungan beban gelombang vertikal dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_{wv-hog} = f_{prob} \cdot 0.19 \cdot f_{wv-v} \cdot C_{wv} \cdot L^2 \cdot B \cdot C_b \quad (\text{kNm})$$

$$M_{wv-sag} = -f_{prob} \cdot 0.11 \cdot f_{wv-v} \cdot C_{wv} \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_b + 0.7) \quad (\text{kNm})$$

Dimana:

f_{wv-v} = faktor distribusi *vertikal wave bending moment* terhadap fungsi panjang kapal, seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.4 Distribusi factor f_{wv-v}

Nilai koefisien:

- 0 Untuk daerah A.P
- 0.1 Untuk daerah 0.1 L dari A.P
- 1 Untuk daerah 0.4 L hingga 0.6L dari A.P
- 0.1 Untuk daerah 0.9 L dari A.P
- 0 Untuk daerah F.P

$$f_{prob} = 0.5$$

C_{wv} = koefisien gelombang, nilainya diambil dari:

$$= 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^2 \quad \text{untuk } 150 \leq L \leq 300$$

$$= 10.75 \quad \text{untuk } 300 \leq L \leq 350$$

$$= 10.75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^2 \quad \text{untuk } 350 \leq L \leq 500$$

L = L konstruksi

B = lebar kapal

C_b = koefisien blok

Setelah menghitung M_{wv-hog} dan M_{wv-sag} , kita perlu mengetahui apakah nilai diatas lebih besar dari nilai berikut:

Untuk hogging:

$$M_{sw-min-sea-mid} = 0.01 \cdot C_{wv} \cdot L^2 \cdot B \cdot (11.97 - 1.9C_b) \quad (\text{kNm})$$

Untuk sagging:

$$M_{sw-min-sea-mid} = -0.0518 \cdot C_{wv} \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_b + 0.7) \quad (\text{kNm})$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
C_{wv} &= \text{koefisien gelombang, nilainya diambil dari:} \\
&= 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{\frac{3}{2}} && \text{untuk } 150 \leq L \leq 300 \\
&= 10.75 && \text{untuk } 300 \leq L \leq 350 \\
&= 10.75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^{\frac{3}{2}} && \text{untuk } 350 \leq L \leq 500 \\
L &= L \text{ konstruksi} \\
B &= \text{lebar kapal} \\
Cb &= \text{koefisien blok}
\end{aligned}$$

Selanjutnya, diambil nilai yang terbesar antara nilai M_{wv-hog} dan M_{wv-sag} dibandingkan dengan nilai $M_{sw-min-sea-mid}$ dan $M_{sw-min-sea-mid}$, untuk menentukan besar *vertical wave bending moment* pada kondisi *hogging* dan *sagging*.

Nilai *vertical wave bending moment* ini sejatinya digunakan untuk mengecek kekuatan memanjang dari struktur kapal. Terdapat syarat dimana sebuah struktur kapal dikatakan kekuatan memanjangnya memenuhi, yaitu:

- Nilai tegangannya lebih kecil dari pada tegangan ijin.
- Nilai modulus penampang struktur lebih besar dari modulus penampang minimum.
- Nilai momen inersia struktur lebih besar dari momen inersia minimum.

Untuk mendapatkan ke-3 nilai diatas, maka diperlukan peninjauan terhadap penampang melintang struktur kapal untuk memulai pengecekan dan perhitungan.

2.2.2.2 Perhitungan momen inersia

Untuk menghitung tegangan kita memakai persamaan berikut :

$$\sigma_{BE}(x, y) = \frac{M(x) \cdot y}{I_{NA}}$$

Jadi kita harus menentukan y yang merupakan jarak “titik berat bagian yang dihitung tegangannya” terhadap sumbu netral (garis mendatar yang melalui titik berat penampang dan menghitung momen inersia penampang $I_{(x)}$).

Seperti telah dijelaskan didepan bahwa; akibat beban momen lengkung yang bekerja pada badan kapal ,maka bagian penampang kapal yang mengalami tekanan dan posisinya mendatar (*horizontal*) sebelum dimasukkan kedalam tabel perhitungan momen inersia harus sudah diperhitungkan lebar efektifnya, dengan cara seperti pada uraian didepan.

Karena penampang lintang kapal mempunyai banyak bagian, maka menghitung momen inersianya tak dapat dihitung dengan memakai rumus dasar ($I = \frac{1}{12} b.h^3$) dan sebaiknya dilakukan dalam bentuk tabulasi seperti diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perhitungan momen inersia penampang

No.	Nama Bagian	Lebar l	Tinggi t	Luas = A = l x t	Lengan a	a.A	a ² .A	I ₀ = $\frac{1}{12} b.h^3$
1	Lunas							
2	Penump. 1							
3	Penump. 2							
4	Plt. Dasar 1							
5	Plt. Dasar 2							
							
							
i	l _i	t _i	A _i	a _i	a _i .A _i	a _i ² .A _i	I _{0 i}
				ΣA_i		$\Sigma a_i.A_i$	$\Sigma a_i^2.A_i$	ΣI_0

Keterangan:

$$a_{NA} = (\Sigma a_i.A_i) / (\Sigma A_i)$$

$$I_{NA} = \Sigma a_i^2.A_i + \Sigma I_0 - a_{NA}^2 . \Sigma A_i$$

a = Jarak tegak titik berat bagian kegaris dasar.

a_{NA} = titik berat gabungan diatas garis dasar.

I_{dsr} = momen inersia seluruh penampang terhadap garis dasar.

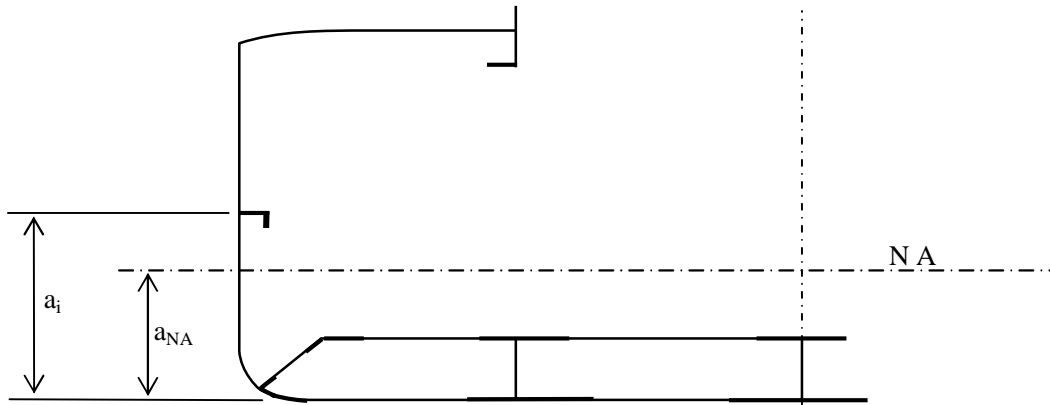
I_{NA} = momen inersia seluruh penampang terhadap garis sumbu netral.

I₀ = momen inersia bagian terhadap sumbu yang sejajar sumbu netral dan melalui titik berat bagian itu sendiri.

Tabel di atas disusun untuk bentuk penampang yang simetris terhadap bidang tengah bujur kapal. Untuk pemasukan data dari “bagian yang berimpit dengan bidang tengah bujur kapal” kedalam tabel, ukuran tebalnya hanya dimasukkan setengah dari harga sebenarnya, (misalnya ; penumpu tengah, sekat memanjang pada bidang tengah bujur kapal, dsb.), sedang

data bagian yang dipotong oleh bidang tengah bujur kapal ukuran lebarnya hanya dimasukkan setengah dari harga sebenarnya, (misal : lebar lunas datar).

Bagian yang lainnya hanya dimasukkan satu sisi saja, bagian kiri dari bidang tengah atau bagian kanan.



Gambar 2.5 Penampang simetris CL

Jika penampang kapal tidak simetris terhadap bidang tengah bujur kapal, maka seluruh data ukuran dari bagian penampang kapal yang akan dihitung momen inersianya harus dimasukkan kedalam tabel perhitungan.

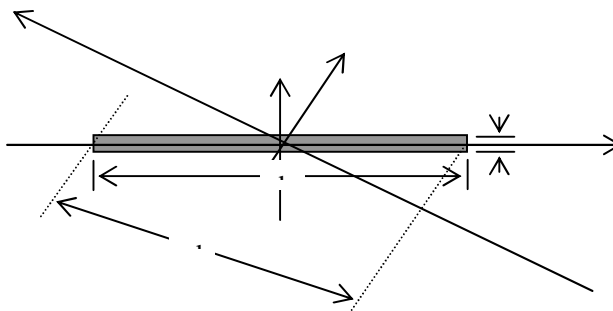
Selanjutnya perhitungan dilaksanakan dengan rumus berikut :

$$\sigma_{NA} = \frac{\sum a_i \cdot A_i}{\sum a_i}$$

dan

$$I_{NA} = \sum I_0 + \sum a_i^2 \cdot A_i - a_{NA}^2 \cdot \sum A_i$$

Karena pada umumnya keseluruhan bagian penampang mempunyai tebal yang jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan ukuran lebarnya, maka dalam perhitungan momen inersia penampang bagian dapat dilakukan beberapa penyederhanaan sebagai berikut .



Gambar 2.6 Momen inersia dengan perputaran sumbu

Marilah kita perhatikan Gambar 2.6 diatas , I_0 hanya dapat dihitung terhadap sumbu yang sejajar atau tegak lurus pada tebalnya. Jika bagian yang dihitung tidak sejajar dengan sumbu manapun (misalnya; pelat tepi pada konstruksi alas ganda) , maka sebagai pendekatan harga momen inersia penampangnya terhadap sumbu x' adalah :

$$I_{x'} = (A \cdot d^2) / 12$$

dimana : A = luas penampang bagian d = proyeksi b pada sumbu y'

Untuk bagian yang melengkung, misalnya pelat bilga, maka bagian ini dipotong-potong menjadi beberapa bagian yang mendekati lurus, kemudian perhitungan masing-masing bagian dilakukan dengan mempergunakan persamaan seperti yang telah dijelaskan diatas. Cara lain untuk menghitung pelat melengkung yang merupakan bagian dari lingkaran, dapat dihitung berdasarkan persamaan momen inersia lingkaran.

2.2.2.3 Perhitungan tegangan

Selanjutnya tegangan lengkung σ_{BE} pada penampang x dapat kita hitung dengan mempergunakan persamaan berikut :

$$\sigma_{BE}(x, y) = \frac{M(x) \cdot y}{I_{NA}}$$

Dari persamaan diatas dapat kita lihat bahwa, makin besar harga y akan mengakibatkan semakin besarnya harga tegangan lengkung σ_{BE} . Untuk suatu penampang kapal, titik yang terletak di geladak dan di dasar akan memiliki harga y yang terbesar, dengan kata lain σ_{BE} di geladak dan di dasar merupakan tegangan lengkung yang maksimum.

Apabila tegangan lengkung yang terjadi di geladak dan di dasar tidak melampaui tegangan ijin yang telah ditentukan oleh *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*, yaitu sebesar 190 N/mm. Maka hal ini berarti bahwa konstruksi kapal yang direncanakan memenuhi syarat kekuatan atau dapat dikatakan bahwa kapal tersebut mampu menerima beban yang akan mengenainya dalam pelayarannya. Selain syarat diatas, *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker* juga memberikan persyaratan untuk modulus penampang minimum dan momen inersia penampang minimum.

Jika setelah dihitung ternyata harga tegangan lengkung hasil perhitungan lebih besar dari pada tegangan ijin, maka untuk mengurangi harga tegangan lengkung dapat dilakukan dengan memperkecil momen lengkung yang terjadi (kalau mungkin), atau memperbesar momen inersia terhadap sumbu netral I_{NA} .

Cara yang paling efektif untuk menaikkan harga momen inersia adalah menambah luas penampang pada bagian yang jauh dari sumbu netral atau mempunyai harga y besar (biasanya di geladak). Hal ini disebabkan karena pada posisi yang mempunyai harga y besar akan selalu menghasilkan harga koreksi perpindahan momen inersia ($a_i^2 \cdot A_i$) yang besar pula.

2.3.2 Beban dinamis

2.3.2.1 Beban dinamis gelombang

Beban gelombang dinamis merupakan representasi beban saat kapal berlayar yang dipengaruhi oleh *ship motion*. Kondisi pembebanan secara general pada perhitungan *fatigue* yaitu pada saat kapal dengan muatan penuh dan normal ballast. Kondisi pembebanan secara spesifik pada perhitungan *fatigue* yaitu pada saat *Load Case* 1, 2, 3, 4, 5a & 5b, 6a & 6b. *Load Case* 1 dan 2 merupakan kondisi pembebanan minimum dan maksimum saat kondisi *sagging* dan *hogging* yang berpengaruh pada *vertical wave bending moment*. *Load Case* 3 dan 4 merupakan kondisi pembebanan maksimal positif dan negatif saat kondisi *sagging* dan *hogging* yang berpengaruh pada *vertical wave shear force*. *Load Case* 5a dan 5b merupakan kondisi pembebanan dari samping (*beam sea*) dengan pengaruh nilai *transverse acceleration* yang positif pada kedua sisi.

Beban gelombang dinamis untuk perhitungan *fatigue* dengan index P_{ex-amp} didapat dengan kriteria sebagai berikut:

$$P_{ex-amp} = 0 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \text{untuk } z \geq TLC + \frac{P_{wl}}{10}$$

$$P_{ex-amp} = 0.5 \cdot P_{WL} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \text{untuk } z \text{ pada sarat kapal (TLC)}$$

$$P_{ex-amp} = P_{ex-dyn} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \text{untuk } z \leq TLC - \frac{P_{wl}}{10}$$

Dimana “z” adalah koordinat beban secara vertikal diukur dari *baseline*.

P_{ex-max} adalah index nilai beban yang diambil lebih besar antara P_1 dan P_2 . Harga P_1 dan P_2 diambil dari rumus yang tertera di CSR Section 7/3.5.2.1 sebagai berikut:

$$P_1 = 2 \cdot f_{prob} \cdot f_{n1-p1} \left[\left(P_{11} + \frac{135 \cdot B_{local}}{4(B+75)} - 1.2(T_{LC} - z) \right) f_1 + \frac{135 \cdot B_{local}}{4(B+75)} f_2 \right] \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$P_2 = 26 \cdot f_{prob} \cdot f_{n1-p2} \left[\left(\frac{B_{local}}{8} \cdot \theta + f_T \cdot C_b \cdot \frac{0.25 \cdot B_{local} + 0.8 \cdot C_{wv}}{14} \left(0.7 + \frac{2z}{T_{LC}} \right) \right) f_1 + \left(\frac{B_{local}}{8} \cdot \theta + f_T \cdot C_b \cdot \frac{0.25 \cdot B_{local} + 0.8 \cdot C_{wv}}{14} \left(0.7 + \frac{2z}{T_{LC}} \right) \right) f_2 \right] \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Dimana:

Blocal = lebar lokal suatu titik pada garis air, tidak kurang dari 0.5 B (m)

θ = sudut rolling (rads), Section 7/3.2.2.2

$$= \frac{50}{B+75} (1.25 - 0.025 \cdot U_{roll}) f_{bk}$$

Dimana:

$f_{bk} = 1.2$ untuk kapal tanpa *bilge keels*

$= 1$ untuk kapal dengan *bilge keels*

$$U_{roll} = \frac{2.30 r_{roll-gyr}}{\sqrt{GM}}$$

Dimana:

GM = titik metacenter (m)

$r_{roll-gyr}$ = roll radius girasi (m)

	T_{LC}	GM	$r_{roll-gyr}$
<i>Loaded at deep draught</i>	$0.9T_{sc} \leq T_{LC} \leq T_{sc}$	0.12B	0.35B
<i>Loaded on reduce draught</i>	$0.6 T_{sc}$	0.24B	0.4B
<i>In ballast</i>	T_{bal}	0.33B	0.45B

$$P_{11} = (3f_s + 0.8)C_{wv}$$

C_{wv} = koefisien gelombang, nilainya diambil dari:

$$= 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^2 \quad \text{untuk } 150 \leq L \leq 300$$

$$= 10.75 \quad \text{untuk } 300 \leq L \leq 350$$

$$= 10.75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^2 \quad \text{untuk } 350 \leq L \leq 500$$

L = L konstruksi (m)

B = lebar kapal (m)

C_b = koefisien blok (m)

T_{LC} = Sarat muat kapal (m)

T_{sc} = *Scantling draught* (m)

$$f_1 = f_{lng} - \frac{f_{lng}}{f_v} \cdot f_2 + f_2$$

$$f_2 = 0.25 \cdot f_v \cdot \left(\frac{4|y|}{B_{local}} - 1\right) \quad \text{untuk } |y| < 0.25B_{local}$$

$$= f_v \cdot \left(\frac{4|y|}{B_{local}} - 1 \right) \quad \text{untuk } |y| \geq 0.25B_{local}$$

$$f_T = \frac{T_{LC}}{T_{SC}}$$

$$f_s = C_b + \frac{1.33}{\sqrt{C_b}} \quad \text{pada ujung A.P}$$

$$= C_b \quad \text{pada daerah 0.2L hingga 0.7L dari A.P}$$

$$= C_b + \frac{1.33}{C_b} \quad \text{pada ujung F.P}$$

$$f_{Ing} = 1 \quad \text{pada ujung A.P}$$

$$= 0.7 \quad \text{pada daerah 0.2L hingga 0.7L dari A.P}$$

$$= 1 \quad \text{pada ujung F.P}$$

y = koordinat melintang (m)

z = koordinat vertikal (m)

$$f_{prob} = 0.5$$

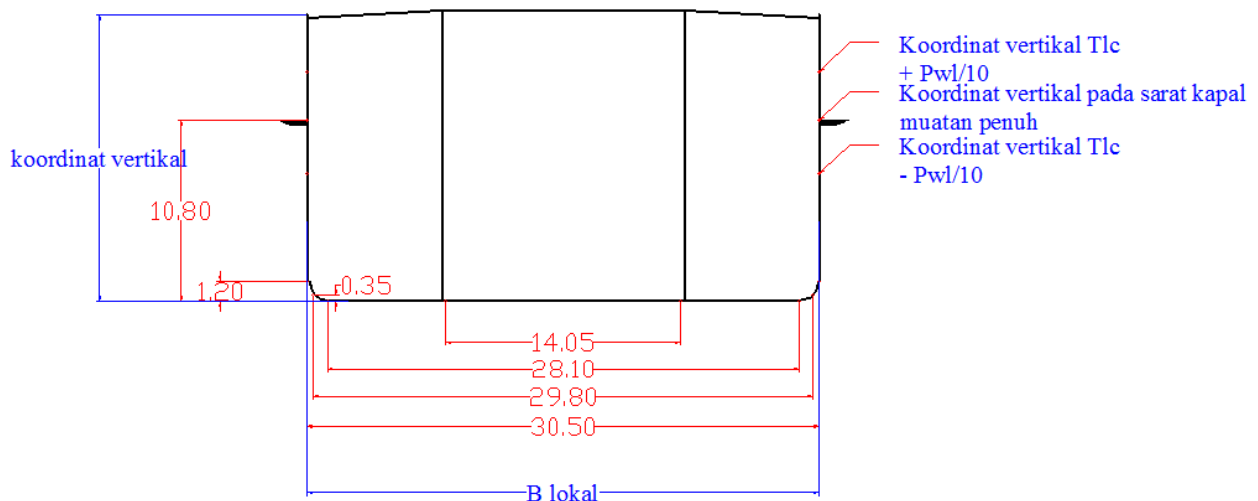
$$f_{n1-P1} = 1$$

$$f_v = 1 \quad \text{untuk daerah 0.7L kebelakang}$$

$$= 1.5 \quad \text{untuk daerah F.P}$$

$$f_{n1-P2} = 1$$

Penentuan koordinat perhitungan beban gelombang seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.7 Penentuan koordinat perhitungan beban gelombang.

Pada Gambar 2.7, koordinat B lokal 14.05 tidak dianggap dikarenakan lebih kecil dari 0.5 B, sehingga diabaikan dan nilai pada koordinat tersebut adalah 28.1 (koordinat selanjutnya). P_{ctr} , P_{bilge} , P_{WL} merupakan hasil kali P_{ex-max} dengan koefisien beban dinamis tiap kondisi pembebanan pada *portside* maupun *starboard side* (CSR Section 7/6.3.5), yaitu f_{ctr} , f_{bilge} , f_{WL} . Hasil kali P_{ex-max} dengan f_{ctr} , f_{bilge} , f_{WL} merupakan representasi dari besar beban pada tiap koordinat titik akibat dari ship motion. Pembahasannya dijabarkan sebagai berikut:

$$P_{ctr} = f_{ctr} \cdot P_{ex-max} \quad (\text{kN/m}^2) \quad \text{Beban gelombang dinamis pada } \textit{bottom centerline}$$

$$P_{bilge} = f_{bilge} \cdot P_{ex-max} \quad (\text{kN/m}^2) \quad \text{Beban gelombang dinamis pada } z=0 \text{ dan } y=B_{lokal}/2$$

$$P_{WL} = f_{WL} \cdot P_{ex-max} \quad (\text{kN/m}^2) \quad \text{Beban gelombang dinamis pada garis air}$$

Dimana:

f_{ctr} = faktor kombinasi beban dinamis terhadap beban gelombang dinamis pada *bottom center*.

f_{bilge} = faktor kombinasi beban dinamis terhadap beban gelombang dinamis pada daerah bilga.

f_{WL} = faktor kombinasi beban dinamis terhadap beban gelombang dinamis pada garis air/ sarat kapal.

Besar nilai f_{ctr} , f_{bilge} , f_{WL} , didapat dari Section 7/Tabel 7.6.2 (Tabel 2.2)

Tabel 2.2 Gambar Tabel 7.6.2/ Section 7 CSR-OT

Table 7.6.2 Dynamic Load Cases for Strength Assessment (by FEM)										
Wave direction		Head sea				Beam sea		Oblique sea		
Max response		M_{wp} (Sagging)	M_{wp} (Hogging)	Q_{wp} (Sagging)	Q_{wp} (Hogging)	a_v		M_{wp-h} (Hogging)		
Dynamic Load Case		1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	
Global loads	M_{wp}	f_{mv}	-1.0	1.0	-1.0	1.0	0.0	0.0	0.4	0.4
	Q_{wp}	f_{qv}	1.0	-1.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M_{wp-h}	f_{mh}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	-1.0
Accelerations	a_v	f_v	0.5	-0.5	0.3	-0.3	1.0	1.0	-0.1	-0.1
	a_t	f_t	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.6	0.6	0.0	0.0
	a_{lng}	f_{lng}	-0.6	0.6	-0.6	0.6	-0.5	-0.5	0.5	0.5
Dynamic wave pressure for port side	P_{wl}	f_{wl}	-0.3	0.3	0.1	-0.1	1.0	0.4	0.6	0.0
	P_{bilge}	f_{bilge}	-0.3	0.3	0.1	-0.1	1.0	0.4	0.4	0.0
	P_{ctr}	f_{ctr}	-0.7	0.7	0.3	-0.3	0.9	0.9	0.5	0.5
Dynamic wave pressure for starboard side	P_{wl}	f_{wl}	-0.3	0.3	0.1	-0.1	0.4	1.0	0.0	0.6
	P_{bilge}	f_{bilge}	-0.3	0.3	0.1	-0.1	0.4	1.0	0.0	0.4
	P_{ctr}	f_{ctr}	-0.7	0.7	0.3	-0.3	0.9	0.9	0.5	0.5

Where:
 Symbols are as defined in 3.3, 6.3.5.1, Table 7.6.1 and below:
 f_{v-mid} dynamic load combination factor associated with the vertical acceleration of a centre cargo and ballast tank
 f_{v-pt} dynamic load combination factor associated with the vertical acceleration of a port cargo and side ballast tank
 f_{v-stb} dynamic load combination factor associated with the vertical acceleration of a starboard cargo and side ballast tank

Note:
 1. Load parameters and locations to be used for the calculations are to be taken as specified in Appendix E/2.4.1

Setelah didapatkan nilai P_{ctr} , P_{bilge} , P_{WL} , untuk selanjutnya kita dapat menghitung P_{ex-dyn} atau P_{wv-dyn} , P_{ex-dyn} sejatinya sama dengan P_{wv-dyn} hanya saja P_{ex-dyn} merupakan index perhitungan *fatigue*.

$$P_{wv-dyn} = P_{ctr} + \frac{|y|}{0.5 \cdot B_{local}} \cdot (P_{bilge} - P_{ctr})$$

untuk daerah antara *bottom centerline* hingga dimulainya bilga.

$$P_{wv-dyn} = P_{bilge} + \frac{z}{T_{LC}} \cdot (P_{WL} - P_{bilge})$$

untuk daerah antara sarat kapal hingga berakhirnya bilga.

$$P_{wv-dyn} = P_{WL} - 10(z - T_{LC})$$

untuk daerah diatas sarat kapal.

Hasil akhir beban gelombang dinamis ini merupakan modifikasi P_{wv-dyn} , pada perhitungan *fatigue strength assesment*, pola beban yang diberikan kepada struktur pada sisi kapal porsinya setengah dari beban gelombang dinamis pada perhitungan *strength assesment (half peressure range pseudo amplitude of dynamic wave pressure)*.

2.3.2.2 Beban dinamis tangki

Beban tangki dinamis akibat gerakan kapal pada tangki yang berisi dijelaskan pada CSR Section 7/3.5.4.6 sebagai berikut:

$$P_{in-amp} = f_v \cdot |P_{in-v-tk1} - P_{in-v-tk2}| + f_t |f_{full-t-tk1} \cdot P_{in-t-tk1} - f_{full-t-tk2} \cdot P_{in-t-tk2}| + f_{lng} \cdot |f_{full-lng-t-tk1} \cdot P_{in-lng-tk1} - f_{full-lng-t-tk2} \cdot P_{in-lng-tk2}| \quad (\text{kN/m}^2)$$

Dimana:

$$P_{in-v-tk1} = \text{Beban tangki dinamis akibat dari } \textit{vertical acceleration} \text{ tangki1} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P_{in-v-tk2} = \text{Beban tangki dinamis akibat dari } \textit{vertical acceleration} \text{ tangki2} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P_{in-t-tk1} = \text{Beban tangki dinamis akibat dari } \textit{transverse acceleration} \text{ tangki1} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P_{in-v-tk2} = \text{Beban tangki dinamis akibat dari } \textit{transverse acceleration} \text{ tangki 2} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P_{in-lng-tk1} = \text{Beban tangki dinamis akibat dari } \textit{longitudinal acceleration} \text{ tangki 1} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P_{in-lng-tk2} = \text{Beban tangki dinamis akibat dari } \textit{longitudinal acceleration} \text{ tangki 2} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$f_{full-t-tk1} = \text{faktor ullage untuk tangki 1}$$

- $f_{full-t-tk2}$ = faktor ullage untuk tangki 2
 $f_{full-lng-t-tk1}$ = faktor ullage untuk tangki 1
 $f_{full-lng-t-tk2}$ = faktor ullage untuk tangki 2
 f_v = faktor kombinasi beban
 f_t = faktor kombinasi beban
 f_{lng} = faktor kombinasi beban

	Cargo tank	Ballast tank
f_v	0.9	0.9
f_t	0.9	0.6
f_{lng}	0.4	0.4

Nilai *vertical acceleration* didapat dari rumus berikut:

$$P_{in-v} = \rho \cdot a_v \cdot (z_0 - z) \quad (\text{kN/m}^2)$$

Dimana:

$$a_v = f_{prob} \cdot \sqrt{a_{heave}^2 + a_{pitch-z}^2 + a_{roll-z}^2}$$

Dimana:

$$a_{heave} = \text{vertical acceleration terhadap heave (m/s}^2\text{)}$$

$$= f_v \cdot a_0 \cdot g$$

$$a_{pitch-z} = \text{vertical acceleration terhadap pitch (m/s}^2\text{)}$$

$$= \left(0.3 + \frac{L}{325}\right) \cdot \varphi \cdot \left(\frac{2\pi}{U_{pitch}}\right)^2 \cdot |x - 0.45L|$$

$$a_{roll-z} = \text{vertical acceleration terhadap roll (m/s}^2\text{)}$$

$$= 1.2 \cdot \theta \cdot \left(\frac{2\pi}{U_{roll}}\right)^2 \cdot |y|$$

$$a_0 = \text{acceleration parameter (m/s}^2\text{)}$$

$$= (1.58 - 0.47 \cdot C_b) \left(\frac{2.4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} + \frac{600}{L^2}\right)$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\varphi = \text{sudut pitch (rads)}$$

$$U_{pitch} = \text{pitch periode (secs)}$$

$$L = \text{L konstruksi (m)}$$

$$\theta = \text{sudut roll (rads)}$$

U_{roll} = roll periode (secs)

f_{prob} = 0.45

$$f_v = \left(\frac{C_b - LC}{C_b}\right)^2 \cdot \left(1.2 - \frac{L}{1000}\right)$$

Nilai *transverse acceleration* didapat dari rumus berikut:

$$P_{in-t} = f_{ull-t} \cdot \rho \cdot a_t \cdot (y_0 - y) \quad (\text{kN/m}^2)$$

Dimana:

$$a_t = f_{prob} \cdot \sqrt{a_{sway}^2 + (g \cdot \sin\theta + a_{roll-y})^2}$$

Dimana:

a_{sway} = *transverse acceleration* terhadap *sway* dan *yaw*

$$= 0.3 \cdot a_0 \cdot g \quad (\text{m/s}^2)$$

a_{roll-y} = *transverse acceleration* terhadap roll (m/s^2)

$$= \theta \cdot \left(\frac{2\pi}{U_{roll}}\right)^2 \cdot r_{roll}$$

θ = sudut roll (rads)

U_{roll} = periode roll (secs)

R_{roll} = $z - \left(\frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2}\right)$ atau $z - \left(\frac{D}{2}\right)$, diambil terbesar (m)

a_0 = *acceleration parameter* (m/s^2)

$$= (1.58 - 0.47 \cdot C_b) \left(\frac{2.4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} + \frac{600}{L^2}\right)$$

g = 9.81 m/s^2

T_{LC} = Sarat muat kapal (m)

D = Lebar moulded (m)

z = koordinat vertikal (m)

f_{prob} = 0.5

Nilai *longitudinal acceleration* didapat dari rumus berikut:

$$P_{in-lng} = f_{ull-lng} \cdot \rho \cdot a_{lng} \cdot (x_0 - x) \quad (\text{kN/m}^2)$$

Dimana:

$$a_{lng} = 0.7 \cdot f_{prob} \cdot \sqrt{a_{surge}^2 + \left(\frac{L}{325} \cdot (g \cdot \sin\phi + a_{pitch-x})\right)^2} \quad (\text{m/s}^2)$$

Dimana:

a_{surge} = longitudinal acceleration terhadap surge

$$= 0.2 \cdot a_0 \cdot g \quad (\text{m/s}^2)$$

$a_{pitch-x}$ = longitudinal acceleration terhadap pitch (m/s²)

$$= f_v \cdot \phi \cdot \left(\frac{2\pi}{U_{pitch}} \right)^2 \cdot R_{pitch}$$

ϕ = sudut pitch (rads)

U_{pitch} = periode pitch (secs)

R_{pitch} = $z - \left(\frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2} \right)$ atau $z - \left(\frac{D}{2} \right)$, diambil terbesar (m)

a_0 = acceleration parameter (m/s²)

$$= (1.58 - 0.47 \cdot C_b) \left(\frac{2.4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} + \frac{600}{L^2} \right)$$

g = 9.81 m/s²

T_{LC} = Sarat muat kapal (m)

D = Lebar moulded (m)

L = L konstruksi (m)

z = koordinat vertikal (m)

f_{prob} = 0.5

f_v = 1.7

2.4 Kekuatan kelelahan (*Fatigue Strength*)

2.4.1 Definisi

Kelelahan (*fatigue*) adalah akumulasi kerusakan material yang disebabkan oleh beban siklik. Banyak bagian dari struktur yang harus bertahan dari tegangan yang menyimpannya selama masa operasinya. Contoh dari beban jenis ini pada *marine structure* adalah tegangan yang berhubungan dengan beban akibat gelombang. Biasanya, amplitudo beban pada tiap *cycle* tidak cukup besar untuk membuat suatu struktur mengalami kegagalan. Namun kegagalan dapat terjadi ketika akumulasi kerusakan yang dialami oleh struktur mencapai suatu level yang kritis. Umur kelelahan suatu detil struktur berhubungan secara langsung dengan proses kelelahan, yang dikelompokkan menjadi 3 tahap sebagai berikut :

- *Initial Crack*

Hal ini bergantung pada karakteristik material. Untuk kondisi tertentu cacat las selalu muncul internal (di dalam *base metal* atau *filler metal*) maupun di permukaan las. Cacat las ini dapat memicu retak untuk merambat, dan kebanyakan muncul dari permukaan las.

- *Crack propagation* (perambatan retak)

Dibandingkan dengan *initial crack*, tahap perambatan retak ini lebih mudah dipahami dan ada teori yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk memodelkan penambahan retak (*crack growth*) ini yaitu *fracture mechanics* (mekanika kepecahan). Parameter utama yang mengatur perambatan retak ini adalah rentang tegangan pada detil struktur yang dianalisis. Di samping itu, bentuk geometry dari las-lasan serta ukuran dari *initial crack* berdampak besar pada umur kelelahan dari detil struktur. Pada struktur las-lasan, *fatigue cracks* hamper selalu berawal dari cacat las dan periode perambatan retaknya dihitung untuk lebih dari 90% dari umur kelelahan.

- *Final fracture failure*

Kegagalan karena kepecahan suatu detil struktur akan terjadi ketika ukuran retak merambat hingga ke ukuran yang kritis. Kepecahan final bergantung pada beberapa parameter seperti tingkat tegangan, ukuran retak dan juga kekerasan material.

Fatigue dapat dibagi menjadi :

- *High-cycle (low stress) fatigue*
- *Low-cycle (high stress) fatigue*

Suatu kegagalan kelelahan (*fatigue failure*) disebut sebagai "*low-cycle fatigue*" jika jumlah kejadian untuk menuju ke kegagalan struktur adalah kurang dari 10^4 . Sedangkan jumlah kejadian dari "*high-cycle fatigue*" biasanya mencapai jutaan kali kejadian, bahkan lebih. Untuk struktur bangunan laut, hal ini telah menjadi perhatian khusus.

2.4.2 Kondisi pembebanan

2.4.2.1 Kondisi *Internal pressure*

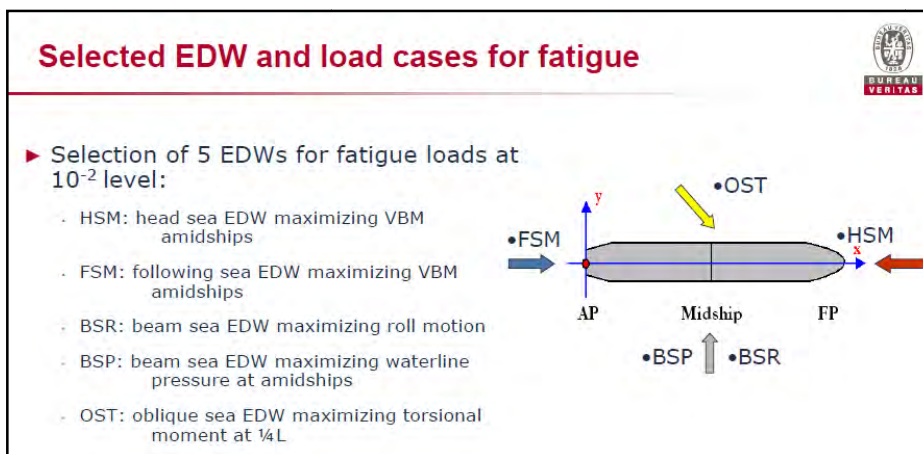
Seperti yang dijelaskan oleh CSR-OT Appendix C/1.3.2, mengenai kondisi pembebanan yang dialami oleh struktur kapal tanker. Terdapat 2 kondisi *internal pressure* yang utama, yaitu disaat tanker memuat muatan penuh dan saat kondisi muatan ballast. Pada kondisi muatan penuh, sarat kapal tepat pada garis muat. Sedangkan untuk kondisi ballast memungkinkan kapal tidak dalam berada posisi even keel, pada umumnya kapal berada dalam kondisi trim buritan. Oleh sebab itu kita perlu mengetahui sarat kapal pada bagian depan dan belakang untuk menentukan sarat pada midship. Visualisasi kondisi muatan utama dapat dilihat seperti gambar dibawah ini (Gambar 2.9) sebagai berikut :

No	Description	Draught ¹⁾	Loading pattern	Load case (Design Wave) ²⁾					Still water vertical bending moment ³⁾
1	Full Load (Homogeneous)	T_{FL}		HSM-1	FSM-1	BSR-1	BSP-1	OST-1	$M_{S,1j}$
				HSM-2	FSM-2	BSR-2	BSP-2	OST-2	
2	Normal Ballast	T_{BALL-N}		HSM-1	FSM-1	BSR-1	BSP-1	OST-1	$M_{S,2j}$
				HSM-2	FSM-2	BSR-2	BSP-2	OST-2	

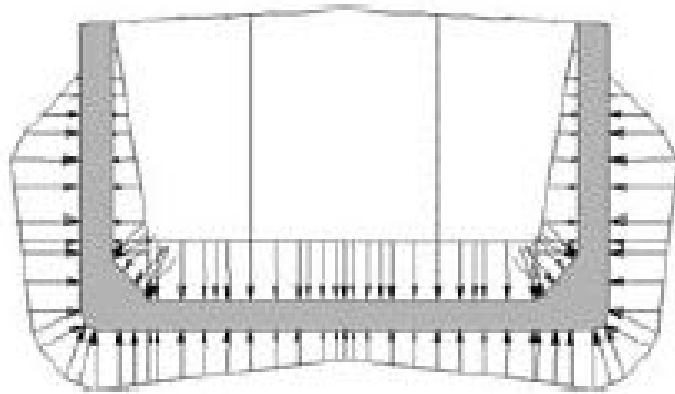
Gambar 2.8 Visualisasi kondisi pemuatan utama

2.4.2.2 Kondisi eksternal pressure (beban gelombang)

Seperti yang dijelaskan pada sub bab 2.3.2.2 mengenai beban dinamis, beban gelombang dinamis merupakan representasi beban saat kapal berlayar yang dipengaruhi oleh *ship motion*. Kondisi pembebanan secara general pada perhitungan *fatigue* yaitu pada saat kapal dengan muatan penuh dan normal ballast. Kondisi pembebanan secara spesifik pada perhitungan *fatigue* yaitu pada saat *Load Case* 1, 2, 3, 4, 5a & 5b, 6a & 6b. *Load Case* 1 dan 2 merupakan kondisi pembebanan minimum dan maksimum saat kondisi *sagging* dan *hogging* yang berpengaruh pada *vertical wave bending moment*. *Load Case* 3 dan 4 merupakan kondisi pembebanan maksimal positif dan negatif saat kondisi *sagging* dan *hogging* yang berpengaruh pada *vertical wave shear force*. *Load Case* 5a dan 5b merupakan kondisi pembebanan dari samping (*beam sea*) dengan pengaruh nilai *transverse acceleration* yang positif pada kedua sisi. Arah dan pola gelombang yang ditimbulkan terlihat seperti gambar berikut:



Gambar 2.9 Arah orientasi pembebanan



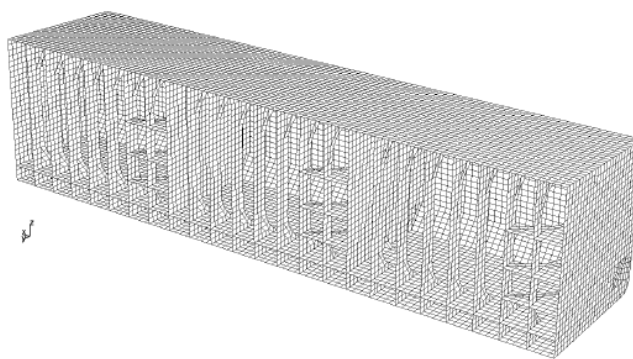
Gambar 2.10 Contoh pola pembebanan pada kapal tanker dengan 2 sekat memanjang pada kondisi *head sea-full load*

2.4.3 Pemodelan *Finite Element*

Model elemen hingga yang baik secara umum dapat memberikan hasil untuk evaluasi kekuatan dari konstruksi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan model 3 dimensi pada daerah tengah kapal (*midship section*). Langkah-langkah permodelan perhitungan metode elemen hingga untuk konstruksi pada tengah kapal (*midship section*) dari kapal tanker sesuai dengan CSR-OT Appendix B/2.2.

2.4.3.1 Ruang lingkup model

Permodelan secara umum tergantung pada konstruksi dan kondisi pembebanan (*loading condition*), dan kondisi simetris pada arah longitudinal maupun transversal. Rekomendasi permodelan divisualisasikan dalam gambar berikut.



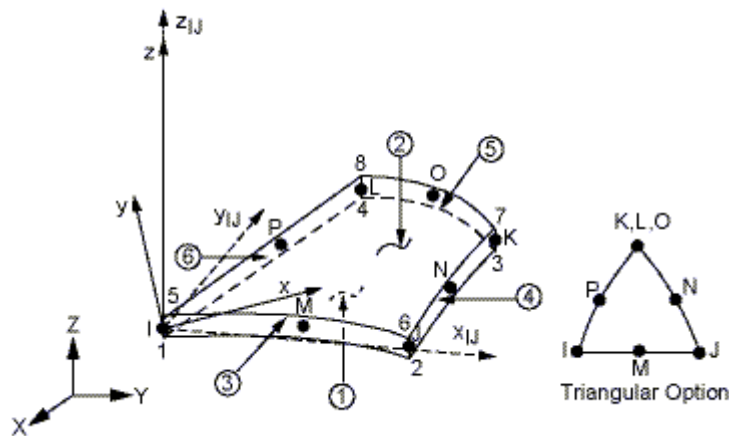
Gambar 2.11 Contoh model elemen hingga kapal tanker setengah lebar

Lingkup model melintang : Secara umum konstruksi melintang adalah simetris pada arah melintang, apabila terdapat kondisi oleng harus dimodelkan selebar badan kapal. Pada kapal yang tidak simetris untuk konstruksi dan pembebanannya harus dimodelkan selebar kapal.

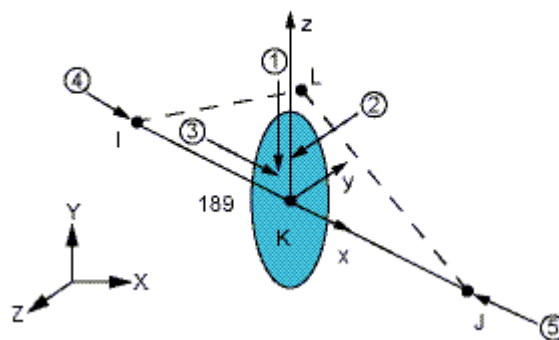
Lingkup model memanjang : Apabila sekat melintang dengan upper dan lower stool tidak simetris pada arah memanjang, maka agar didapat hasil analisa model dibuat sepanjang ruang muat.

2.4.3.1.1 Element dan ukurannya

Elemen yang digunakan dalam analisa ini adalah *Shell 93* dan *Beam 196*. *Shell 93* digunakan pada pelat. *Shell 93* pada khususnya baik digunakan untuk pemodelan pelat bending. Elemen ini memiliki delapan node (I,K,L,M,N,O,P) dan enam derajat kebebasan di tiap node (UX,UY,UZ,ROTX,ROTY,ROTZ). *Shell 93* dipakai dalam pemodelan pelat kapal terutama karena kemampuannya dalam pemodelan pelat kapal yang umumnya lengkung. memiliki plastisitas, *thoughness*, tingkat defleksi yang tinggi, dan kemampuan *strain* yang besar. Serta bentuk terdeformasi yang kuadratik memungkinkan perhitungan ditengah elemen lebih akurat.



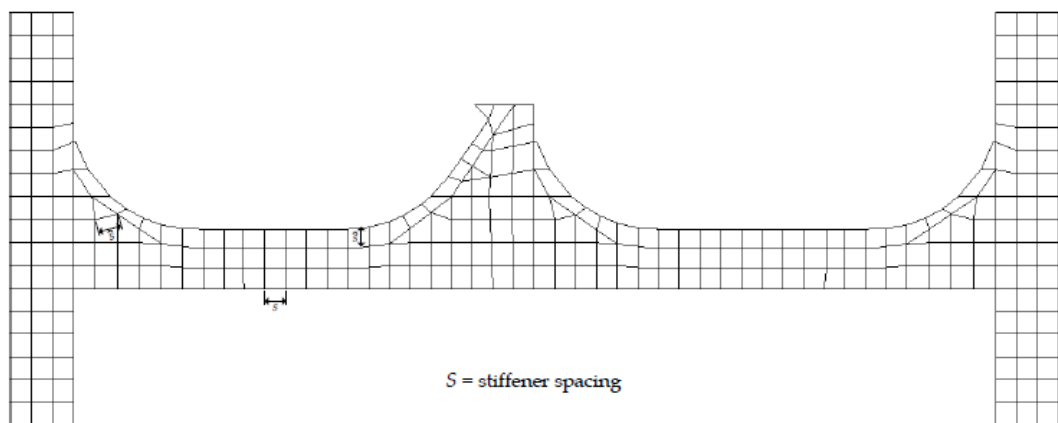
Gambar 2.12 Elemen properties *Shell 93*



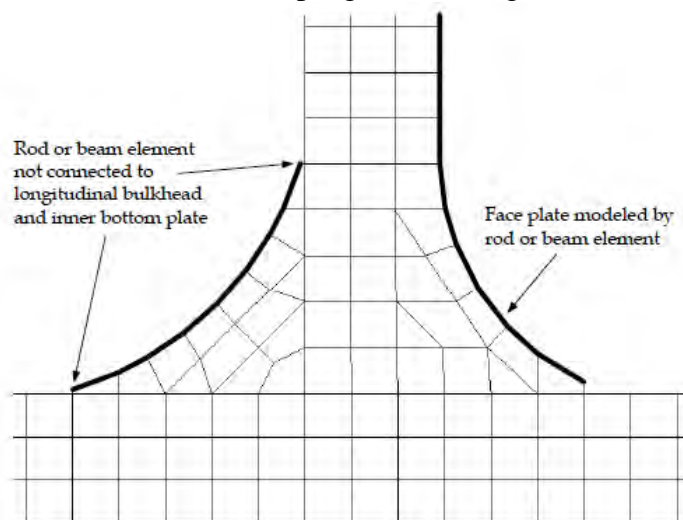
Gambar 2.13 Elemen properties *Beam 189*

Elemen *Beam 189* digunakan pada profil termasuk gading biasa, gading besar, dan senta sisi. *Beam 189* adalah elemen yang cocok digunakan dalam analisa struktur ramping sampai struktur yang agak tebal dari balok. Efek deformasi geser juga diikuti, memiliki tiga simpul node sehingga lebih elastis dibanding elemen beam lainnya yang hanya memiliki dua node. dan enam derajat kebebasan di tiap node (UX,UY,UZ,ROTX,ROTY,ROTZ)

Pemodelan semua bagian dari struktur konstruksi kapal harus dimodelkan secara detail, baik bagian yang berbentuk pelat maupun stiffner. Bagian konstruksi kapal yang berupa stiffner dapat dimodelkan dengan *beam* atau *bar element*. *Beam element* digunakan untuk memodelkan stiffner yang berfungsi sebagai penguat langsung pada struktur konstruksi seperti *web frame* dan *longitudinal stiffner*. Beam element memiliki nilai *axial* (A), *moment inertia* (I), *torsional* (J) dan arah orientasi dari pembebanan. Sedangkan rod element digunakan untuk memodelkan web stiffner dan face plate pada penguat utama konstruksi yang hanya memiliki nilai *axial* (A) dan *constant cross section area* sepanjang stiffner.



Gambar 2.14 Penampang horizontal girder



Gambar 2.15 Meshing pada transverse bracket web frame

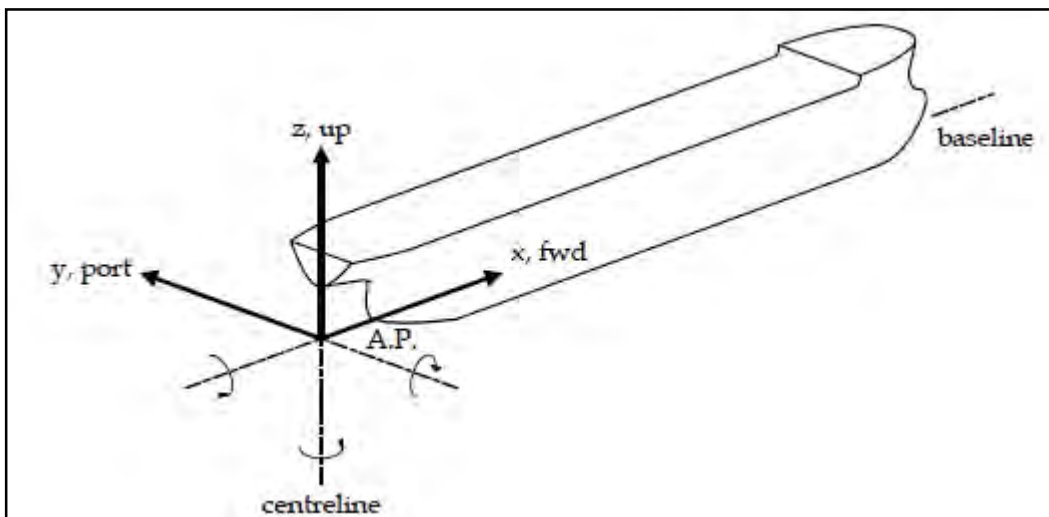
Pada bagian struktur konstruksi kapal yang berupa pelat akan dimodelkan dengan *shell element* yang memiliki harga ketebalan pelat dan arah orientasi pembebanan. *Shell element* yang dimodelkan hanya berupa elemen segi empat (*quad*) atau elemen segi tiga (*triangle*) dimana elemen segitiga harus dibatasi penggunaannya kecuali jika dibutuhkan. Bahkan pada bagian tertentu penggunaan elemen segitiga tidak diizinkan pemakaiannya seperti pada daerah dengan stress dan tegangan yang tinggi, terdapat pada sekeliling daerah *opening*, *bracket connection* dan *hopper connection* dimana pada daerah tersebut akan diprediksi harga tegangan yang tinggi.

Pada kondisi tertentu stiffner akan dimodelkan dengan menggunakan shell element tergantung dengan ukuran dari stiffner tersebut.

Ukuran untuk meshing dari elemen adalah sama atau tidak boleh lebih besar dari jarak antara frame baik secara memanjang atau melintang. Pada kapal tanker 37.087 DWT ukuran rata-rata jarak antar frame adalah 800mm sehingga ukuran meshing element rata-rata adalah 800 x 800 (mm²).

2.4.3.1.2 Kondisi batas

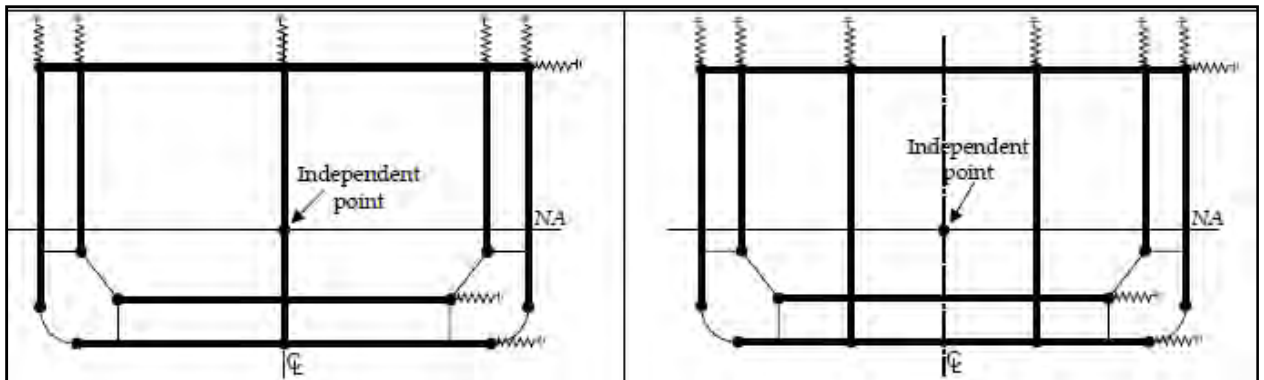
Sesuai dengan regulasi CSR-OT Appendix B/2.6 untuk kondisi batas diberikan pada independent point di kedua ujung model sesuai dengan Tabel 2.2 dan Gambar 2.15. *Independent point* adalah titik pusat gravitasi dari model pada daerah tersebut. Untuk node yang berada disekeliling *independent point* didefinisikan sebagai *rigid link*. Untuk menjelaskan sistem koordinatnya dapat dilihat sesuai Gambar 2.15 sebagai berikut:



Gambar 2.16 Sistem koordinat global model FE

Location	Translation			Rotation		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
Aft End						
Aft end (all longitudinal elements)	RL	-	-	-	RL	RL
Independent Point aft end, see <i>Figure B.2.13</i>	Fix	-	-	-	M_{T-end}	M_{H-end}
Deck, inner bottom and outer shell	-	Springs	-	-	-	-
Side, inner skin and longitudinal bulkheads	-	-	Springs	-	-	-
Fore End						
Fore end (all longitudinal elements)	RL	-	-	-	RL	RL
Independent point fore end, see <i>Figure B.2.13</i>	-	-	-	-	M_{S-end}	M_{H-end}
Deck, inner bottom and outer shell	-	Springs	-	-	-	-
Side, inner skin and longitudinal bulkheads	-	-	Springs	-	-	-

Tabel 2.3 *Rigid link* pada kedua ujung model



Gambar 2.17 *Rigid link* pada kedua ujung model pandangan melintang

2.4.3.1.3 Koefisien spring element

Sesuai dengan regulasi CSR-OT Appendix B/2.6 seperti yang dijelaskan diatas kondisi batas ditunjang pula dengan spring element yang fungsinya sebagai peredam. *Spring element* dalam software elemen hingga didefinisikan sebagai *spring-damper* yang fungsinya meredam beban. Harga koefisien dari spring element (*spring stiffness*) dihitung sesuai dengan rumus yang tertera dibawah ini CSR-OT Appendix B/2.6.2 satuan (N/mm)

$$c = \left(\frac{E}{1 + \nu} \right) \cdot \frac{A_{s-net}}{l_{tk} \cdot n} = 0.77 \cdot \frac{A_{s-net} \cdot E}{l_{tk} \cdot n}$$

Dimana:

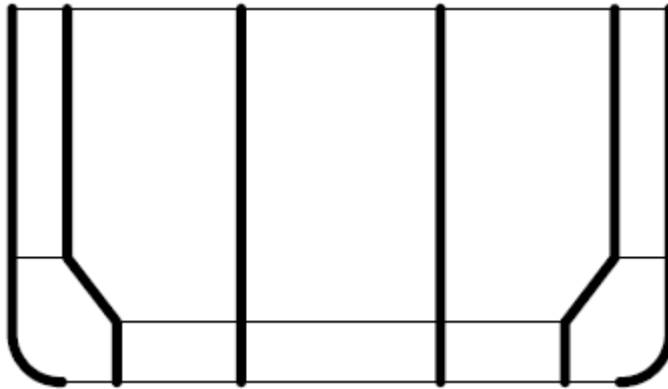
A_{s-net} = luasan penampang melintang (*shear area*) yang ditunjang *spring element*. Arah vertikal (Gambar 2.17) maupun horizontal (Gambar 2.18) dihitung sendiri-sendiri

c = *poisson's ratio material*

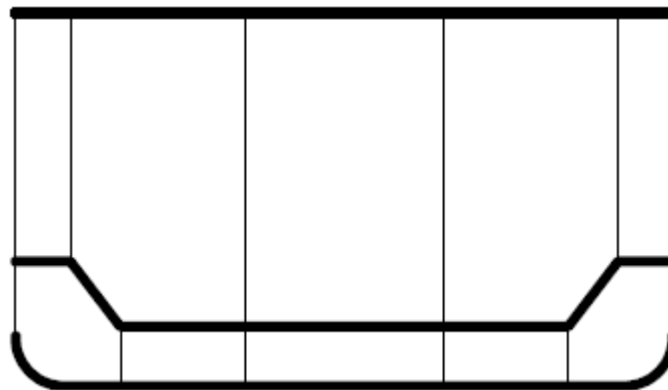
l_{tk} = panjang ruang muat

E = modulus elastisitas material

n = jumlah node yang dijadikan sebagai *spring element*



Gambar 2.18 Luasan *shear area* untuk *vertical springs*



Gambar 2.19 Luasan *shear area* untuk *horizontal springs*

2.4.3.1.4 Faktor korosi

Harga propertis dari material tersebut akan dipengaruhi oleh ketebalan pelat dan ukuran profil yang dipakai. Menurut regulasi *CSR for Double Hull Oil Tankers, section 6, 3.3* bahwa untuk perhitungan *fatigue* semua ketebalan dari bagian konstruksi kapal harus dikurangi dengan faktor korosi sebesar $0.5t_C$.

$$t_{net-offered} = t_{as-buit-up} - 0.5t_C$$

$t_{net-offered}$: tebal pelat yang akan di-inputkan dalam perhtungan (mm)

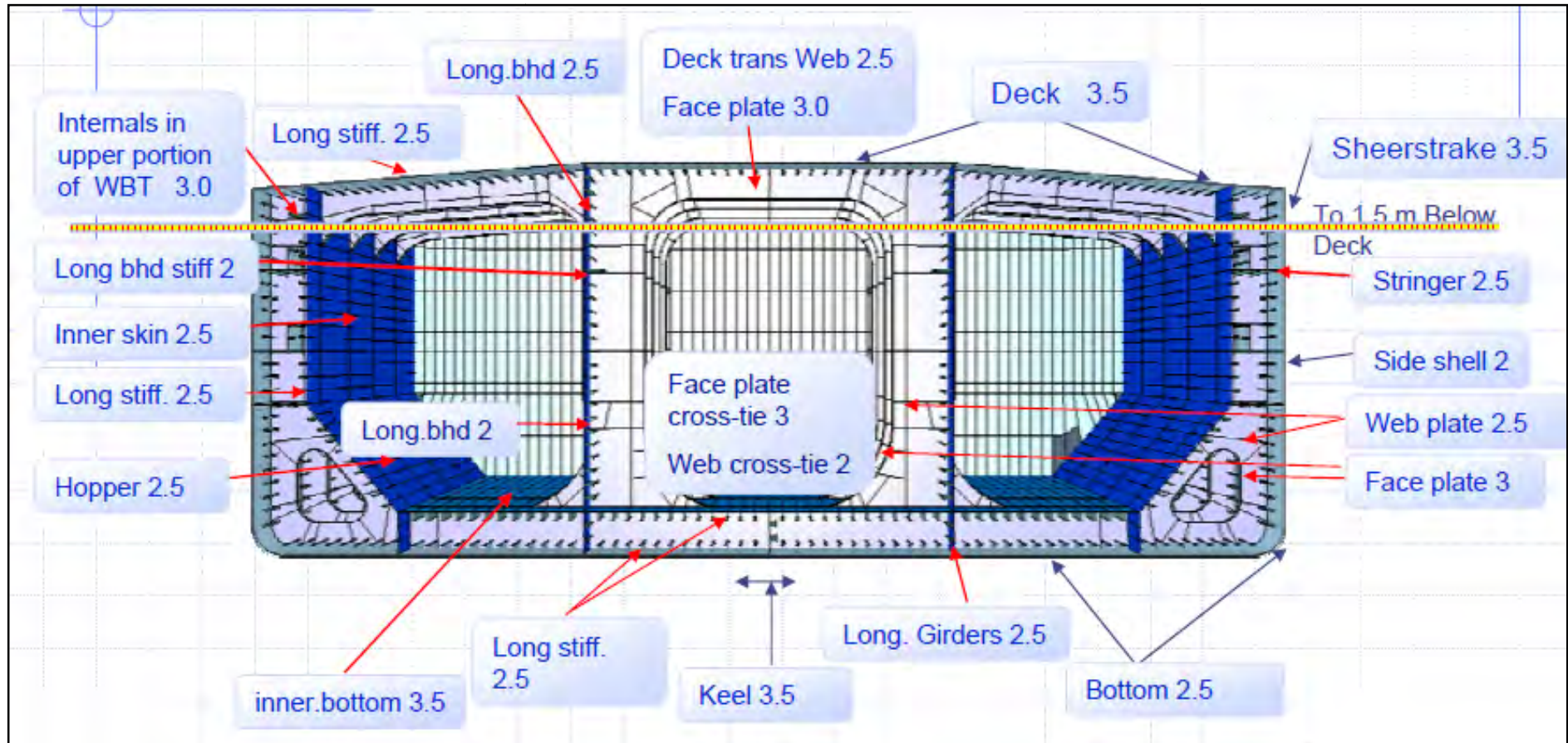
$t_{as-buit-up}$: tebal pelat yang terpasang pada kapal (mm)

t_C : faktor korosi, yang besarnya didapat dari $t_{wastage} + 0.5$ (mm)

Faktor korosi $t_{wastage}$ ditentukan sesuai dengan posisi bagian konstruksi. Besarnya harga faktor korosi dapat dilihat pada gambar (*CSR for Double Hull Oil Tankers, section 6, 3.2*).

Maka sesuai dengan regulasi tersebut seluruh material yang ada pada kapal tanker 37.087 DWT akan kita kurangi ketebalannya. Setelah mengurangi tebal pelat dan profil sebesar $0.5t_C$ sehingga mendapatkan tebal pelat dan ukuran profil yang baru, maka sesuai dengan ukuran tersebut akan diperoleh besarnya propertis net. Harga dari ukuran dan ketebalan pelat tersebut yang akan di-inputkan kedalam *finite element analysis*.

Gambar 2.20 Harga faktor *corroion wastage* (t_w)



2.4.3.2 Desain kurva S-N

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa hubungan antara rentang tegangan dan jumlah kejadian (*cycle*) untuk mengalami kegagalan struktur adalah fungsi dari tipe sambungan, lingkungan dan ketebalan pelat.

Untuk analisis kelelahan berdasarkan pendekatan tegangan nominal (*nominal stress approach*), sambungan lasan dibagi menjadi beberapa klas. Tiap klas memiliki desain kurva S-N masing-masing. Klasifikasi kurva S-N bergantung pada geometri detil sambungan las, arah dari fluktuasi tegangan yang bersifat relative bergantung pada detil, dan metode fabrikasi dan inspeksi dari detil sambungan tersebut. Tipe sambungan termasuk pelat dengan pelat, pipa dengan pelat, dan sambungan pipa dengan pipa memiliki klasifikasi tipe alphabet, dimana tiap tipe berhubungan dengan kurva S-N yang dibuat berdasarkan uji coba kelelahan. Kurva S-N didesain berdasar pada kurva rata-rata-minus-dua-standart-deviasi untuk data uji coba yang relevan.

Sebagai contoh, aturan Norwegia dan British mereferensikan kurva D untuk sambungan pelat sederhana dengan *transverse load* ke arah sambungan dan kurva T untuk penguat pipa ke pangkal sambungan. Di aturan Amerika, kelelahan kurang diperhatikan, sehingga jumlah klas sambungan lebih sedikit dibanding dengan yang direkomendasikan oleh aturan Eropa.

Tiap detil konstruksi, dimana berpotensi terjadi *fatigue crack*, harus ditempatkan pada klas sambungan yang tepat berdasarkan criteria yang telah disebutkan dalam *codes*. *Fatigue cracks* dapat terjadi pada beberapa lokasi seperti pada kaki las di tiap sambungan las, di akhir lasan, dan pada las-lasan itu sendiri. Tiap lokasi harus diklaskan secara terpisah.

Basic design dari kurva S-N dinyatakan sebagai berikut :

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

dimana :

S = Rentang tegangan

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

m = Slope inverse negative dari kurva S-N

$\log K$ = intersep dari log N-axis pada kurva S-N = $\log a - 2\text{std}$

a dan std adalah konstan berhubungan dengan rata-rata kurva S-N dan standart deviasi dari log N.

Menurut *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker (2010)*, kekuatan sambungan baja lasan sehubungan dengan kekuatan kelelahan dicirikan dengan kurva S-N, yang memberikan hubungan antara rentang tegangan yang terjadi pada suatu detil struktur dan jumlah siklus beban amplitudo konstan untuk kegagalan.

Untuk detil struktur kapal, kurva S-N digambarkan dengan :

$$S^m \cdot N = K_2$$

dimana :

S = Rentang tegangan, [N/mm²]

N = Perkiraan jumlah siklus untuk kegagalan dibawah rentang tegangan S

m = Konstanta yg bergantung pada jenis material dan las-lasan,
jenis pembebanan, konfigurasi geometris dan kondisi lingkungan
(udara atau air laut)

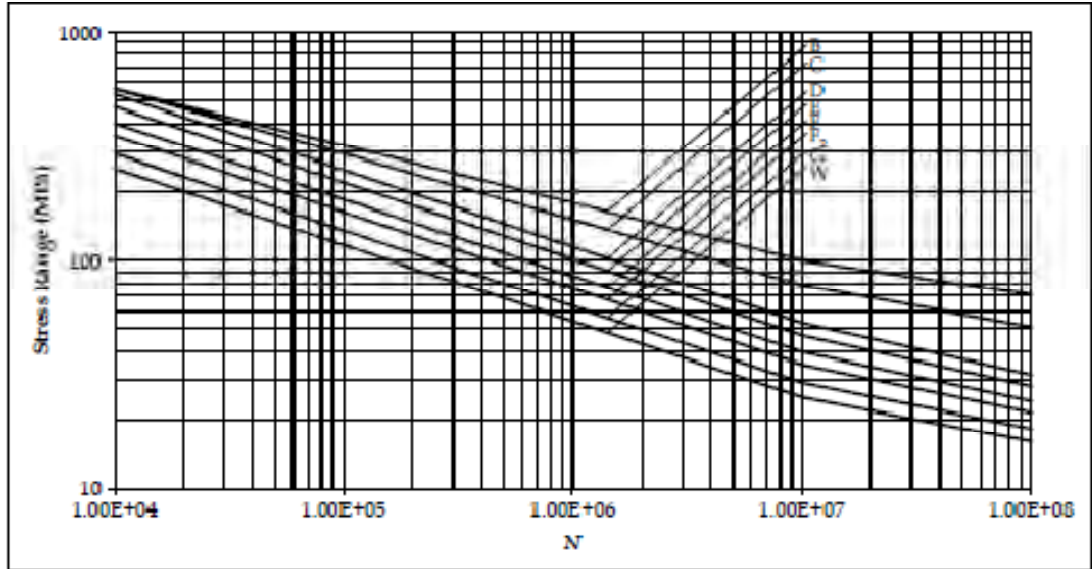
K_2 = Konstanta yg bergantung pada jenis material dan las-lasan,
jenis pembebanan, konfigurasi geometris dan kondisi lingkungan
(udara atau air laut)

Nilai K_2 dan m dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini. Nilai K_2 dan m berbeda untuk tiap-tiap jenis tipe sambungan.

Tabel 2.4 Tipe Sambungan (*CSR for Double Hull Oil Tanker, 2010*)

Class	K_1			m	Standard Deviation		K_2	S_q N/mm ²
		\log_{10}	\log_e		\log_{10}	\log_e		
B	2.343 E15	15.3697	35.3900	4.0	0.1821	0.4194	1.01E15	100.2
C	1.082 E14	14.0342	32.3153	3.5	0.2041	0.4700	4.23E13	78.2
D	3.988 E12	12.6007	29.0144	3.0	0.2095	0.4824	1.52E12	53.4
E	3.289 E12	12.5169	28.8216	3.0	0.2509	0.5777	1.04E12	47.0
F	1.726 E12	12.2370	28.1770	3.0	0.2183	0.5027	0.63E12	39.8
F ₂	1.231 E12	12.0900	27.8387	3.0	0.2279	0.5248	0.43E12	35.0
G	0.566E12	11.7525	27.0614	3.0	0.1793	0.4129	0.25E12	29.2
W	0.368 E12	11.5662	26.6324	3.0	0.1846	0.4251	0.16E12	25.2

Bentuk kurva S-N pada gambar 2.8. adalah untuk sambungn las. Kurva S-N merepresentasikan batas bawah dari sebaran data sebesar 95% dari semua hasil uji yang dilakukan.



Gambar 2.21 Kurva S-N untuk sambungan las (*CSR for Double Hull Oil Tanker*, 2010)

Klas untuk sambungan las yang cocok dengan detil sambungan dari struktur kapal kebanyakan adalah klas F dan F2. Sambungan las *fillet* termasuk ke dalam klas F, F2, atau G tergantung dari ukuran orientasi dan lokasi las-lasan. Saat ini sudah tersedia *electrodes* yang dibuat secara spesifik untuk akar las agar mendapatkan hasil dengan kualitas las satu sisi yang lebih baik (tanpa *backing*). Menurut Bai (2003) dengan meningkatnya kualitas hasil lasan ini, sambungan tersebut dapat dikategorikan ke dalam klas F2 jika dilakukan dengan penetrasi penuh.

Hal ini diperkuat dengan klasifikasi sambungan las yang ditetapkan oleh *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker* (2010) seperti pada tabel dalam bab Lampiran.

2.4.3.3 Faktor konsentrasi tegangan (*Stress Concentration Factor*)

Diskontinuitas (cacat las) merupakan faktor yang menimbulkan berkumpulnya tegangan di daerah diskontinuitas hingga konsentrasi tegangan didaerah tersebut tinggi dan bisa menimbulkan initial crack.

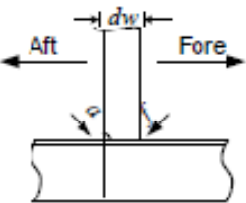
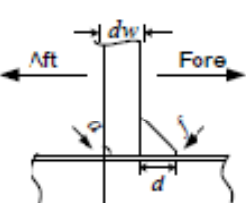
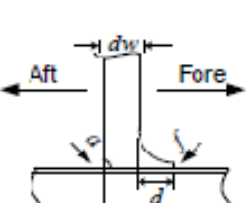
Tujuan dari analisis tegangan adalah untuk menghitung tegangan pada kaki las (*hot spot*), $\sigma_{hotspot}$. *Stress concentration factor* karena efek geometri dinyatakan sebagai berikut :

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

Dari penjelasan di atas dapat dinyatakan bahwa *stress concentration factor* adalah rasio perbandingan antara rentang tegangan *hotspot* dengan rentang tegangan nominal. Semua tegangan yang naik harus diperhatikan saat mengevaluasi *stress concentration factor* (SCF).

Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker (2010) telah membuat tabulasi untuk menentukan dan mengelompokkan jenis detil sambungan las dan faktor konsentrasi tegangan pada sambungan *stiffeners*, seperti tampak pada tabel 2.4 :

Tabel 2.5 Detil sambungan dan faktor konsentrasi tegangan untuk sambungan pada akhir *stiffeners*

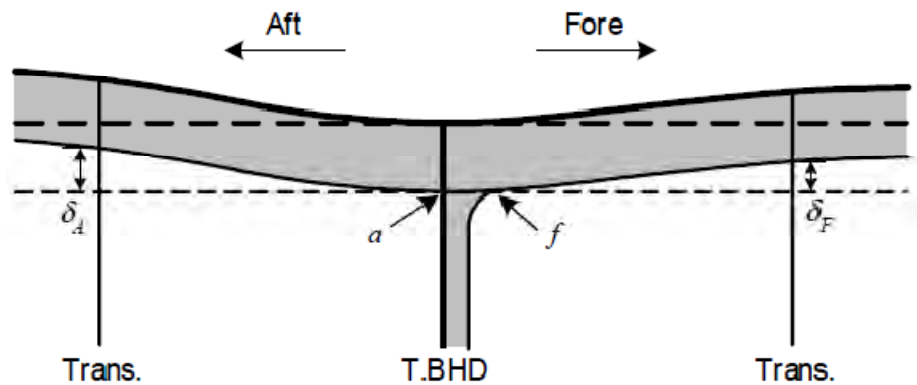
Structural type*	Assessed point	Collar plate	Bracket size	Stress concentration factors			
				K_g	K_{gt}	K_{dF}	K_{dt}
	a	watertight	----	1.5	1.1	1.15	1.5
		non-watertight	----	1.65	1.1	----	----
	f	watertight	----	1.1	1.05	1.55	1.05
	a	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.45	1.1	1.15	1.4
			$1.5dw \leq d$	1.4	1.05	1.15	1.35
		non-watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.55	1.1	----	----
			$1.5dw \leq d$	1.5	1.05	----	----
	f	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.1	1.05	1.15	1.1
			$1.5dw \leq d$	1.05	1.05	1.1	1.05
	a	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.4	1.1	1.1	1.35
			$1.5dw \leq d$	1.35	1.05	1.05	1.3
		non-watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.5	1.1	----	----
			$1.5dw \leq d$	1.45	1.05	----	----
	f	watertight	$dw \leq d < 1.5dw$	1.05	1.05	1.1	1.05
			$1.5dw \leq d$	1.05	1.05	1.05	1.05

dimana :

K_{gl} = Faktor konsentrasi tegangan karena tekanan dari samping tergantung dari detil struktur di akhir sambungan.

K_{gh} = Faktor konsentrasi tegangan untuk tegangan nominal pada *hull girder* tergantung dari detil struktur di akhir sambungan.

K_{gl} = Faktor konsentrasi tegangan pada akhir sambungan penegar pada titik “a” dan “f” yang mengacu pada jarak *displacement* antara sekat melintang dengan gading besar di daerah *forward (F)* dan *afterward (A)* seperti tampak pada gambar di bawah ini.

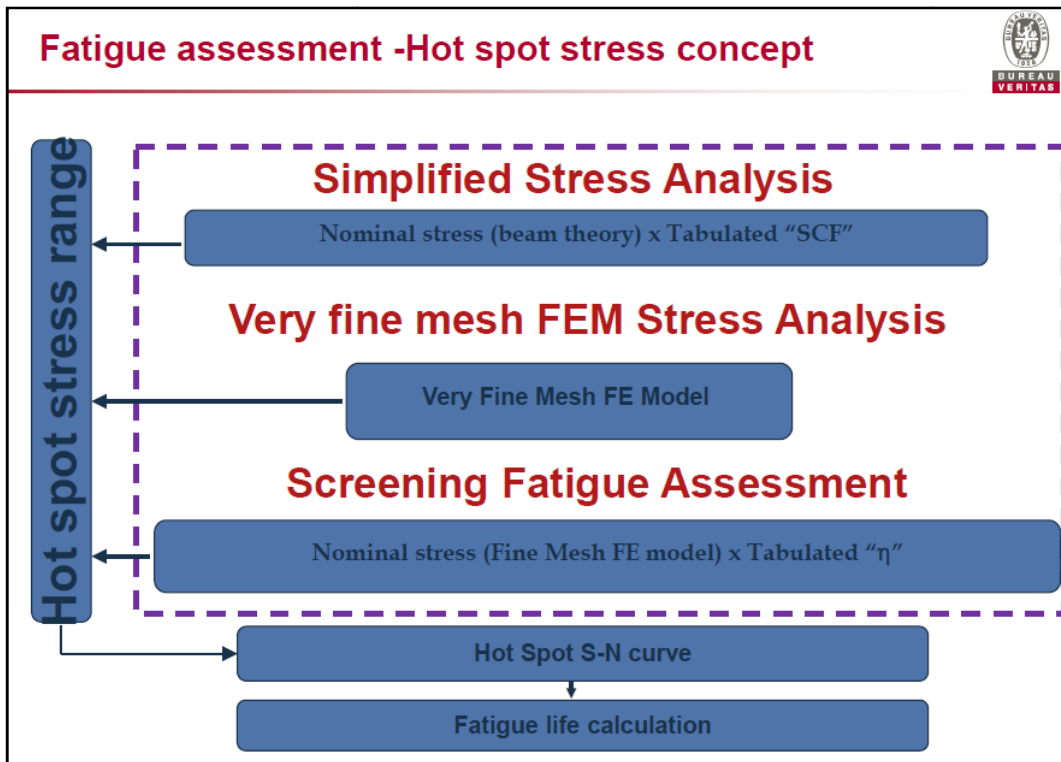


Gambar 2.22 Penampang horizontal end connection transverse bulkhead dengan side longitudinal

Hasil akhir dari persamaan SCF adalah :

$$SCF = K_{gl} \cdot K_{gh}$$

2.4.4 Prosedur Perhitungan Kelelahan



Gambar 2.23 Prosedur perhitungan *fatigue* yang ditampilkan *Dr. John Kokarakis* pada seminar di Athens mengenai *Harmonized Common Structural Rules*, Februari 2013.

Perhitungan kelelahan harus dilakukan pada setiap lokasi yang berpotensi terjadi keretakan. Perhitungan kelelahan dilakukan melalui perhitungan *cummulative fatigue damage* pada setiap spot yang memiliki tegangan yang kritis. Rasio *cummulative fatigue damage* atau *DM*, nilainya harus lebih kecil dari 1 untuk bangunan baru diatas tahun 2006 agar *fatigue life* dari *end connection* tersebut memiliki umur lebih dari 25 tahun. Berdasarkan CSR-OT Appendix C/1.4.1.3, nilai *cummulative fatigue damage* didapat dari:

$$DM = \sum_{i=1}^2 DM_i$$

Dimana:

DM_i = Rasio *cummulative fatigue damage* untuk aplikasi kondisi pembebanan

i = 1 untuk kondisi *full load*

2 untuk kondisi *ballast*

Besar nilai fatigue life merupakan hasil bagi antara *design life* yang sesuai ketentuan CSR yaitu 25 tahun, dengan nilai perhitungan *cummulative fatigue damage* pada tiap lokasi yang ditinjau.

$$\text{Fatigue life} = \frac{\text{Design life}}{DM} \quad \text{years}$$

Asumsi *cummulative fatigue damage long term distrinution* dari *stress range* menurut weibull pada tiap kondisi pembebanan dijabarkan sebagai berikut:

$$DM_i = \frac{\alpha_i \cdot N_L}{K_2} \cdot \frac{S_{R_i}^m}{(\ln N_R)^{\frac{m}{\xi}}} \cdot \mu_i \cdot \Gamma \cdot \left(1 + \frac{m}{\xi}\right)$$

Dimana: N_L = Jumlah cycle yang diharapkan dari desain, dihitung sebagai berikut:

$$= \frac{f_0 \cdot U}{4 \cdot \log L} \quad , \text{ nilainya berkisar } 0.6-0.8 \times 10^8 \text{ Cycle untuk } \textit{design life} \text{ 25 tahun}$$

f_0 = 0.85, faktor kapal tersebut saat tidak berlayar seperti: repair, loading dan unloading,

U = Umur desain untuk 25 tahun, 0.788×10^9 (Second)

L = L konstruksi (m)

m = Parameter S-N curve (Table C.16)

K_2 = Parameter S-N curve (Table C.16)

Class	K_1			m	Standard Deviation		K_2	S_q N/mm ²
		\log_{10}	\log_e		\log_{10}	\log_e		
B	2.343 E15	15.3697	35.3900	4.0	0.1821	0.4194	1.01E15	100.2
C	1.082 E14	14.0342	32.3153	3.5	0.2041	0.4700	4.23E13	78.2
D	3.988 E12	12.6007	29.0144	3.0	0.2095	0.4824	1.52E12	53.4
E	3.289 E12	12.5169	28.8216	3.0	0.2509	0.5777	1.04E12	47.0
F	1.726 E12	12.2370	28.1770	3.0	0.2183	0.5027	0.63E12	39.8
F ₂	1.231 E12	12.0900	27.8387	3.0	0.2279	0.5248	0.43E12	35.0
G	0.566E12	11.7525	27.0614	3.0	0.1793	0.4129	0.25E12	29.2
W	0.368 E12	11.5662	26.6324	3.0	0.1846	0.4251	0.16E12	25.2

α_1 = Proporsi umur kapal
 = $\alpha_1 = 0.5$ *full load condition*
 = $\alpha_2 = 0.5$ *ballast condition*

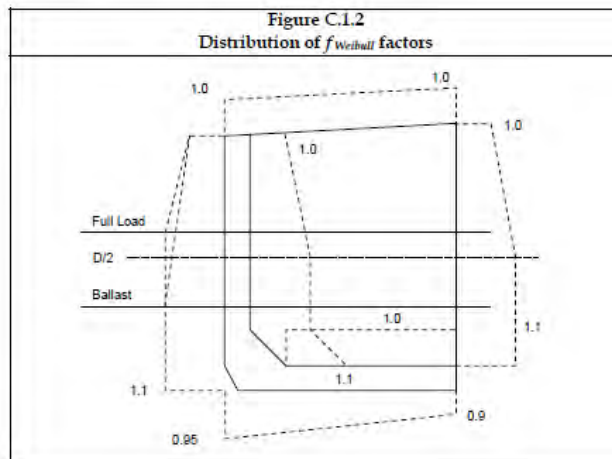
S_{ri} = *Stress range*

$$\begin{aligned}
 N_R &= 10000 \\
 \xi &= \text{parameter distribusi probabilitas menurut weibull} \\
 &= f_{weibull} \cdot \left(1.1 - 0.35 \cdot \frac{L-100}{300} \right)
 \end{aligned}$$

Tabel 2.6 Distribusi $f_{weibull}$

Table C.1.1 Distribution of $f_{Weibull}$ factors	
Plating Area	$f_{Weibull}$ (see note)
Bottom	0.9 at centreline and 0.95 at side
Side and bilge	1.1 at up to draught T_{IC} and 1.0 at deck
Deck	1.0
Inner bottom	1.0
Inner Hull Longitudinal Bulkhead	1.1 up to D/2 and 1.0 at deck
Inner Longitudinal Bulkhead	1.1 up to D/2 and 1.0 at deck
Centreline Longitudinal Bulkhead	1.1 up to D/2 and 1.0 at deck

Note: Intermediate values to be linearly interpolated



$$\begin{aligned}
 \Gamma &= \text{fungsi gamma} \\
 \mu_i &= \text{koefisien perubahan slope pada kurva S-N} \\
 &= 1 - \frac{\left\{ \gamma \cdot \left(1 + \frac{m}{\xi} \cdot v_i \right) - v_1 - \frac{\Delta m}{\xi} \cdot \gamma \cdot \left(1 + \frac{m + \Delta m}{\xi} \cdot v_i \right) \right\}}{\Gamma \cdot \left(1 + \frac{m}{\xi} \right)} \\
 v_i &= \left(\frac{S_q}{S_{Ri}} \right)^\xi \ln N_R \\
 S_q &= \text{Intersection antara 2 segmen pada S-N Curve} \\
 \Delta m &= 2
 \end{aligned}$$

γ = *Incomplete gamma function*, nilai *incomplete gamma function* dan *gamma function* bisa didapat dengan menggunakan bantuan kalkulator *online* dan dapat diakses di www.keisan.casio.com

Secara singkat prosedur perhitungan kelelahan (CSR-OT Appendix C/1.4.1.2, 2010) adalah:

1. Perhitungan *stress range*
2. Pemilihan *design S-N curve*
3. Perhitungan *cumulative damage*

Perhitungan kelelahan harus dilakukan pada setiap lokasi yang berpotensi terjadi keretakan. Menurut (CSR-OT Section 9/3.3, 2010), lokasi yang harus ditinjau untuk dilakukan analisis kelelahan dapat dikelompokkan menjadi dua bagian :

- *Longitudinal structure*

Penaksiran kekuatan kelelahan harus dilakukan pada akhir sambungan antara penegar memanjang / pembujur (*longitudinal stiffeners*) dengan sekat melintang, termasuk *wash bulkhead* dan gading besar pada daerah ruang muat, yang terletak pada alas, *inner bottom*, sisi, sekat memanjang dan geladak kekuatan.

- *Transverse structure*

Penaksiran kekuatan kelelahan juga harus dilakukan pada akhir sambungan antara *inner bottom plate* dengan *hopper plate* paling tidak pada satu gading di daerah *midship*. Total rentang tegangan untuk *fatigue assessment* ditentukan dari analisis *fine mesh finite element*.



Gambar 2.24 Retak pada daerah *end connection*, diambil dari <http://www.slideshare.net/ismelkov/dnv-hull-structure-course>

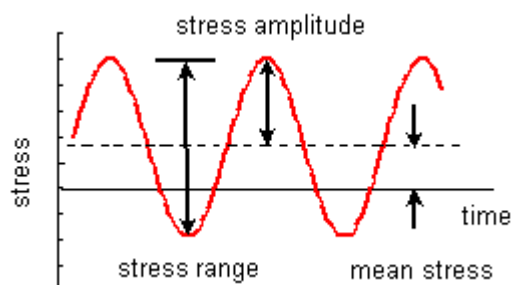
2.5 Rentang tegangan

Selama beroperasi struktur kelautan termasuk wahana apung seperti kapal dipengaruhi oleh beban berulang lingkungan yang berulang dengan nilai yang bervariasi. Pembebanan berulang (siklis) tersebut dapat terjadi hingga berjuta kejadian sehingga struktur konstruksi mengalami kegagalan lelah (fatigue failure). Berdasarkan penelitian Widodo (2010) terdapat berbagai macam beban siklis yaitu:

- Beban siklis frekuensi rendah yang ditimbulkan oleh eksitasi gelombang dengan jumlah sekitar 107 hingga 108 kali selama umur operasi struktur (25 tahun).
- Beban siklis frekuensi tinggi, yang dapat diklasifikasikan menjadi beban transient (slamming, wave slapping, hull whipping) dan steady (mesin, baling-baling, hull springing) dengan jumlah sekitar 106 kali selama umur operasi struktur (25 tahun).
- Beban siklis frekuensi sangat rendah (statis) akibat perubahan beban muatan di atas struktur dan hidrostatik dengan jumlah 4000-8000 kali selama umur operasi struktur (25 tahun).
- Beban siklis karena gradien panas tak beraturan akibat cuaca dan temperatur muatan dengan jumlah sekitar 7000 kali selama umur operasi struktur (25 tahun).

Beban siklis bersifat tidak pasti (irregular) dan tidak bisa diprediksi (Chou dan Yoon 2008). Selain itu beban lingkungan mempunyai karakteristik yang sangat spesifik pada setiap wilayah perairan yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca lokal seperti gelombang dan angin.

Dalam analisa kerusakan fatigue pada struktur konstruksi yang menjadi perhatian utama adalah rentang tegangan siklis (tegangan maksimum dan minimum) yang diakibatkan oleh beban siklis. Dimana tegangan maksimum dan minimum adalah σ_{max} dan σ_{min} , dengan rata-rata $(\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$ dan rasio $R = \sigma_{max}/\sigma_{min}$, sedangkan rentang tegangan didefinisikan sebagai $\sigma_{max} - \sigma_{min}$.



Gambar 2.25 Grafik *stress range*

Dengan menggunakan metode finite elemen hingga analisa tentang tegangan dapat dilakukan dengan mendefinisikan interaksi pembebanan siklis gelombang dengan struktur

terhadap arah gelombang dan frekuensi. Hasil dari analisa rentang tegangan dapat berupa akumulasi dari distribusi rentang tegangan pada setiap kombinasi pembebanan pada struktur.

2.5.1 Total stress range

Total stress range didapatkan berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$S_{Ri} = \sigma_{tensile} - \sigma_{compressive} \text{ jika } \sigma_{compressive} < 0 \text{ dan } \sigma_{tensile} > 0$$

$$S_{Ri} = S \text{ jika } \sigma_{compressive} \geq 0$$

$$S_{Ri} = 0.6 S \text{ jika } \sigma_{tensile} \leq 0$$

Dimana:

$$\sigma_{tensile} = \sigma_{mean} + S/2$$

$$\sigma_{compressive} = \sigma_{mean} - S/2$$

$$\sigma_{mean} = \text{mean stress akibat dari kondisi load case (sagging dan hogging)}$$

$$S = \text{total combined stress range (2.5.2)}$$

2.5.2 Total combined stress range

Total combined stress range didapatkan berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$S = f_{SN} \cdot [f_1 \cdot S_v + f_2 S_h + f_3 S_e + f_4 S_i] \text{ N/mm}^2$$

Dimana:

$$f_{SN} = \text{faktor join combined protect dan unprotect environment}$$

$$f_1, f_2, f_3, f_4 = \text{stress range combination factors, merupakan representasi stress ratio -1}$$

$$S_v = \text{korespondensi stress range akibat dari vertical bending moment}$$

$$S_h = \text{korespondensi stress range akibat dari horizontal bending moment}$$

$$S_e = \text{korespondensi stress range akibat dari beban dinamis gelombang}$$

$$S_i = \text{korespondensi stress range akibat dari beban dinamis muatan}$$

$$f_1, f_2, f_3, f_4 = \text{faktor koefisien yang didapat dari Tabel 2.7}$$

Tabel 2.7 Stress Range Combination Factors for Zone M

	Stiffener location		f_1	f_2	f_3	f_4	f_i
Ballast	Bottom shell	a_i	-0.49	0.49	-1.04	-0.13	$a_i (y/B) + b_i$
		b_i	0.97	0.17	0.87	0.56	
	Side shell and bilge below $D/2$	a_i	-1.48	0.50	-0.64	0.72	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.94	0.40	0.72	0.04	
	Side shell above $D/2$	a_i	1.70	-1.00	-1.10	-0.60	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.65	1.15	0.95	0.70	
	Inner bottom and Lower stool	a_i	-0.18	0.34	0.00	-0.30	$a_i (y/B) + b_i$
		b_i	0.90	0.22	0.00	0.74	
	Inner hull below $D/2$ (including hopper plate)	a_i	-1.70	-0.90	0.00	1.04	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.15	0.70	0.00	0.45	
	Inner hull above $D/2$	a_i	1.40	0.50	0.00	-1.94	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.40	0.00	0.00	1.94	
	Deck and Upper stool	a_i	-0.15	1.05	0.00	0.00	$a_i (y/B) + b_i$
		b_i	1.02	-0.27	0.00	0.00	
	Centreline longitudinal bulkhead Below $D/2$	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	Centreline longitudinal bulkhead Above $D/2$	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
Longitudinal bulkhead below $D/2$	a_i	-0.20	1.30	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$	
	b_i	1.00	0.10	0.00	0.00		
Longitudinal bulkhead above $D/2$	a_i	0.20	-1.30	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$	
	b_i	0.80	1.40	0.00	0.00		
Loaded	Bottom shell	a_i	-0.43	0.78	-0.77	0.00	$a_i (y/B) + b_i$
		b_i	0.98	0.13	0.75	0.00	
	Side shell and bilge below $D/2$	a_i	-0.29	-0.47	0.14	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.19	0.78	0.92	0.00	
	Side shell above $D/2$	a_i	1.77	-0.05	-1.20	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.84	0.57	1.59	0.00	
	Inner bottom and Lower stool	a_i	-0.71	1.13	0.00	0.55	$a_i (y/B) + b_i$
		b_i	1.03	0.18	0.00	-0.18	
	Inner hull below $D/2$ (including hopper plate)	a_i	-0.80	-1.70	0.00	2.60	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.55	1.20	0.00	-0.35	
	Inner hull above $D/2$	a_i	1.90	0.30	0.00	-1.70	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.80	0.20	0.00	1.80	
	Deck and Upper stool	a_i	-0.26	1.40	0.00	0.00	$a_i (y/B) + b_i$
		b_i	1.02	-0.16	0.00	0.00	
	Centreline longitudinal bulkhead below $D/2$	a_i	-1.40	0.00	0.00	1.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.75	0.00	0.00	0.60	
	Centreline longitudinal bulkhead above $D/2$	a_i	1.70	0.00	0.00	-1.20	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.80	0.00	0.00	1.70	

2.1.1 Korespondensi *stress range* akibat dari *vertical bending moment*

Untuk kalkulasi *stress component* pada beban *fatigue*, *vertical wave hull girder stress* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma_v = \frac{M_{wv-v-amp}}{Z_{v-net75}} \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

Dimana:

$M_{wv-v-amp}$ = *pseudo amplitude (half range)*, dalam kNm

$$Z_{v-net75} = \frac{I_{v-net75}}{|Z - Z_{NA-net75}|} \text{ m}^3$$

z = jarak dari *baseline* ke titik kritis (m)

$I_{v-net75}$ = momen inersia *vertical hull girder* pada netral axis, m^4 . $I_{v-net75}$ dihitung berdasarkan ketebalan pelat dengan pengurangan penambahan korosi sebesar 0.25 t_{cor}

$Z_{NA-net75}$ = jarak dari *baseline* ke netral axis (m)

2.1.2 Korespondensi *stress range* akibat dari *horizontal bending moment*

Selain *vertikal bending moment* pada kalkulasi *stress component* pada beban *fatigue*, *hull girder stress* juga dipengaruhi oleh *horizontal bending moment* yang nilainya dapat didapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma_h = \frac{M_{wv-h-amp}}{Z_{h-net75}} \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

Dimana:

$M_{wv-h-amp}$ = *pseudo amplitude horizontal bending moment (half range)*, dalam kNm

$$Z_{h-net75} = \frac{I_{h-net75}}{|y|} \text{ m}^3$$

y = jarak dari vertikal netral axis ke titik kritis (m)

$I_{h-net75}$ = momen inersia *horizontal hull girder* pada netral axis, m^4 . $I_{h-net75}$ dihitung berdasarkan ketebalan pelat dengan pengurangan penambahan korosi sebesar 0.25 t_{cor}

2.1.3 Korespondensi *stress amplitude* akibat momen bending lokal

Stress amplitude yang dihasilkan oleh momen lentur pada stiffner, σ_{2A} , nilainya diambil sebagai berikut:

$$\sigma_{2A} = K_n K_d \frac{M}{Z_{net50}} 10^3 \quad \text{N/mm}^2$$

S_e = $2\sigma_{2Ae}$ (N/mm²), *stress amplitude* pada pengaruh P_{ex-amp}

S_i = $2\sigma_{2Ai}$ (N/mm²), *stress amplitude* pada pengaruh P_{in-amp}

Dimana:

K_n = *stress factor* untuk profil yang tidak simetris

$$= \frac{1 + \lambda\beta^2}{1 + \lambda\beta^2\Psi}$$

Dimana:

$$\lambda = \frac{3\left(1 + \frac{\eta}{280}\right)}{1 + \frac{\eta}{40}}$$

$$\eta = \frac{l_{bdg}^4 \cdot 10^{12}}{b_f^3 \cdot t \cdot f_{net50} \cdot h_{stf}^2 \left(\frac{4 \cdot h_{stf}}{t_{w-net50}^3} + \frac{s}{t_{p-net50}^3} \right)}$$

b_f = lebar *flens*, mm

$t_{f-net50}$ = tebal *net flens*, mm

h_{stf} = tinggi *stiffner*, termasuk *face plate*, mm

$t_{w-net50}$ = *net web thickness*, mm

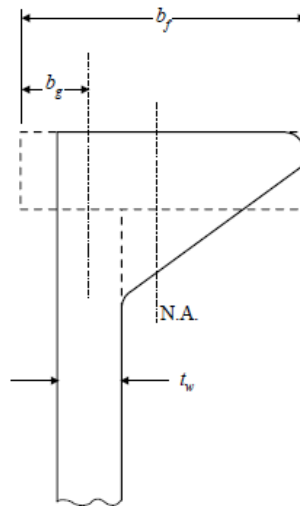
$t_{p-net50}$ = *net plate thickness*, mm

s = lebar pelat pengikut profil, mm

$$\beta = 1 - \frac{2 \cdot b_g}{b_f}$$

Dimana:

b_g = lebar *flens* dari *centerline web profile*, mm



Gambar 2.26 Bulb profile and equivalent built-up flange

$$\Psi = \frac{d_w^2 \cdot t_w - net50}{4 \cdot Z_{net-50} \cdot 10^3}$$

Z_{net50} = section modulus, cm^3 . Menggunakan penambahan faktor korosi -0.5 tcor

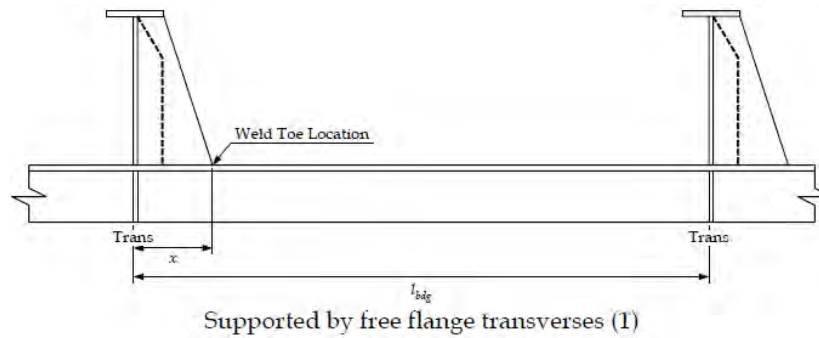
K_d = stress factor untuk bending stress pada longitudinal stiffner

M = momen pada penegar local

$$= \frac{P \cdot S \cdot l_{bdg}^2 \cdot 10^{-3}}{12} \cdot r_p$$

s = stiffner spacing

l_{bdg} = panjang yang tidak ditumpu



Gambar 2.27 Unsupported span

Z_{net-50} = modulus penampang longitudinal stiffner

r_p = factor interpolasi momen

$$= \left| 6 \cdot \left(\frac{x}{l_{bdg}} \right)^2 - 6 \cdot \left(\frac{x}{l_{bdg}} \right) + 1 \right|$$

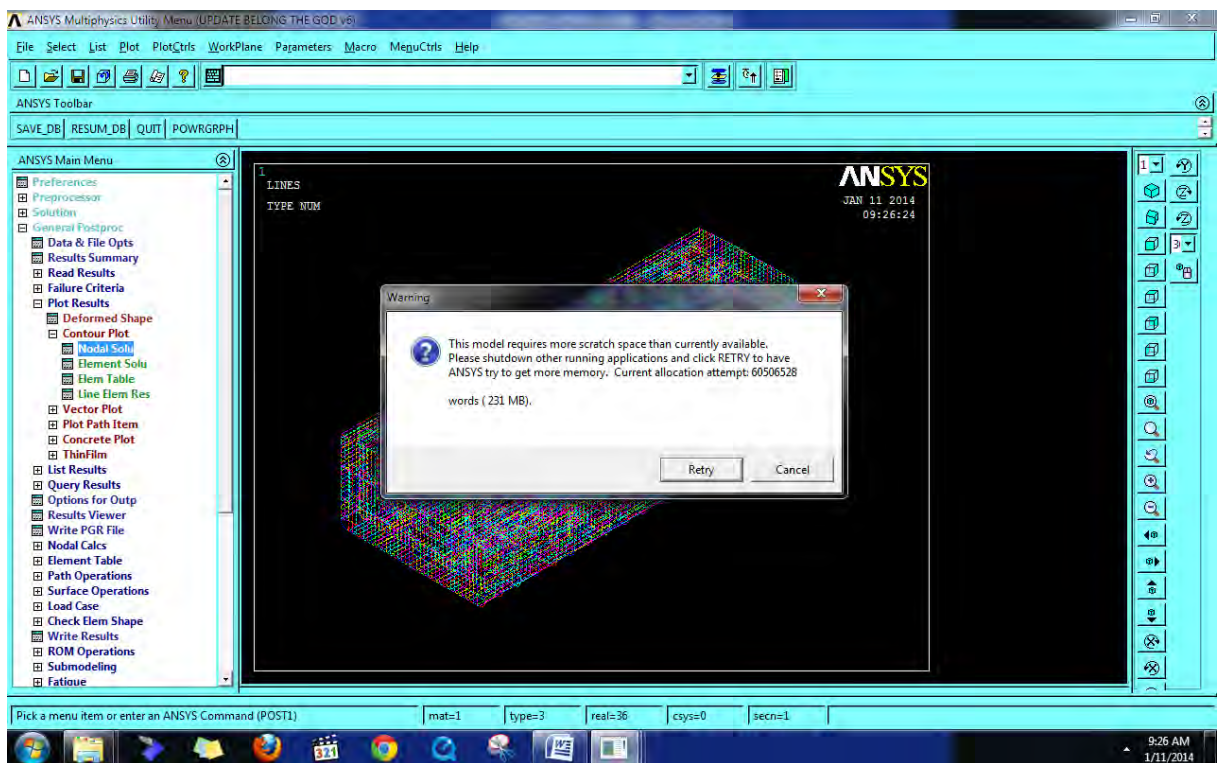
P = beban lateral dinamis
= P_{in-amp} , beban dinamis internal (muatan), kN/m²
= P_{ex-amp} , beban dinamis eksternal (gelombang), kN/m²

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Spesifikasi komputer yang digunakan

Pemodelan struktur kapal tanker *single-hull* ini menggunakan komputer dengan spesifikasi sebagai berikut: *Windows 32 bit, RAM 2 GB, Space memory 153 GB, Intel Core 2 Duo 2.96 GHz*, sedangkan *minimum requirement* dari program ini adalah komputer dengan spesifikasi sebagai berikut: *Windows 32 bit, Duo Core or Quad Core Processor 2.0 Ghz, free space memory 100 GB, RAM 2-3 GB, 256 MB graphic card*. Untuk mengerjakan *finite element modeller* ini membutuhkan spesifikasi komputer yang *high-end* yaitu komputer dengan teknologi paling baru dengan performa terhandal memiliki kemampuan superior dalam hal olah data, *gaming* maupun *modelling*. Oleh karena itu pemodelan pada komputer yang dipakai untuk penelitian ini terbatas, terbatas hanya pada jumlah *meshing*, tipe elemen yang digunakan dan jumlah pembebanan. Jika ketiga hal diatas terlampaui, maka program tidak bisa melakukan proses *solver* dikarenakan kapasitas komputer yang kurang. Problem over kapasitas ini seperti yang ditunjukkan gambar berikut ini



Gambar 3.1 Contoh problem over kapasitas data

Untuk mencegah hal-hal sedemikian rupa, maka perlu melakukan reduksi kapasitas olah data seperti: menambah ukuran *meshing* menjadi lebih besar, menyembunikan hal-hal

yang mengganggu proses *display* seperti *hidden bar element properties*, sehingga dalam tampilan desktop cukup diwakili dengan garis saja

3.2 Kapal tanker *single-hull* 37.087 DWT

Kapal yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah kapal tanker *single-hull* berbendera Singapura dengan dua sekat memanjang, *delivery* pada tahun 1993 sehingga kapal ini berusia 19 tahun pada tahun 2012. Kapal ini dibangun oleh galangan kapal Ishikawajima-Harima Heavy Industries (IHI). Berdasarkan tahun pembuatannya, struktur kapal ini dibangun mengacu regulasi lama dibawah pengawasan badan klasifikasi Jepang (Class NK) yang pada saat itu belum ada regulasi *Common Structural Rules (CSR) Oil Tankers*, CSR baru dipublish pada tahun 2006.

Mengacu pada tahun operasinya, kapal ini telah menjalani survey pembaruan kelas selama 4 kali, terakhir tahun 2008. Sejatinya kapal ini akan menjalani *survey* pembaruan kelas pada tahun 2013, akan tetapi dengan adanya peraturan 13 F dan 13 G mengenai *double bottom* dan *double side* membuat kapal ini tidak beroperasi dan perusahaan yang menaunginya terpaksa harus menjual kapal ini. Sehingga terakhir kali kapal ini menjalani *docking* pada saat menjalani *intermediate survey* pada tahun 2010.

Untuk mendeskripsikan kondisi struktur terkini menggunakan hasil survei kondisi CAS (*Condition Assesment Scheme*) pada tahun 2008. Dikarenakan data hasil *survey* kondisi yang didapat tidak lengkap, maka ketebalan pelat pada struktur diasumsikan dengan variasi 95%, 90%, dan 85%. Untuk mendapatkan nilai *net thickness* pelat dan profil dikalkulasi berdasar laju korosi pelat selama 4 tahun (2008 hingga 2012) dengan catatan dalam rentang waktu 4 tahun tersebut kerusakan struktur hanya dipengaruhi oleh laju korosi. Acuan nilai laju korosi pelat kapal tanker mengacu jurnal Internasional mengenai “*Risk assesment of aging ship hull structures in the presence of corrotion and fatigue*”, (Unyime O. Akpan, T.S. Koko, B. Ayyub, T.E. Dunbar ; 2001). Dengan tabulasi laju korosi sebgai berikut:

Tabel 3.1 Laju korosi (mm/year) struktur kapal tanker

Typical corrosion rates for tanker members			
Corrosion rates			
Location	Mean (mm/yr)	Min (mm/yr)	Max (mm/yr)
Deck plating	0.065	0.03	0.10
Deck longitudinals (web)	0.065	0.03	0.10
Side shell plating	0.030	0.03	0.03
Side shell plating longitudinals (web)	0.030	0.03	0.03
Bottom shell plating	0.170	0.03	0.30
Bottom shell longitudinals (web)	0.065	0.03	0.10
Longitudinal bulkhead plating	0.065	0.03	0.10
Longitudinal bulkhead longs. (web)	0.065	0.03	0.10

Selain itu, dibutuhkan data-data kapal tanker 36.000 DWT antara lain ukuran utama Tanker diperlukan untuk pemodelan dengan *software* meliputi panjang antara sumbu tegak (Lpp), lebar (B), sarat air (T), tinggi (H), koefisien blok (Cb), kecepatan yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.2 *Principal dimension* kapal

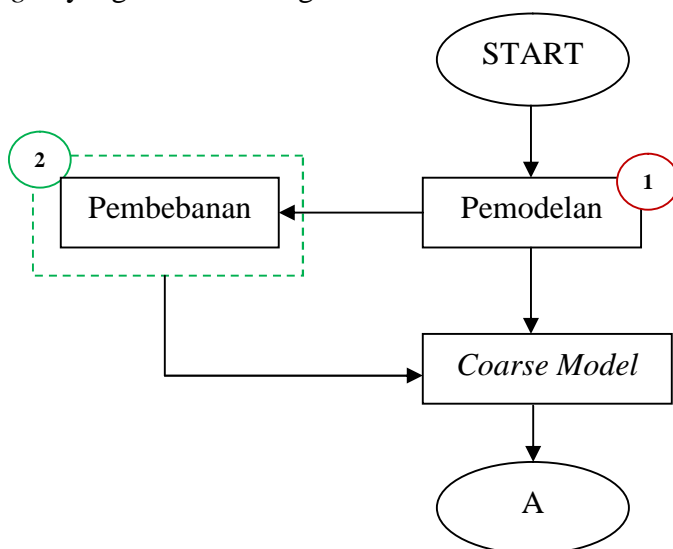
Description	Symbol	Unit	Quantity
Displacement	Δ	DWT	44.502
Length Overall	LOA	m	176.8
Length Between Perpendicular	LBP	m	166
Breadth (Moulded)	B	m	30.5
Depth (Moulded)	D	m	16.9
Draft (Moulded)	T	m	10.8
Block Coefficient	CB		0.78

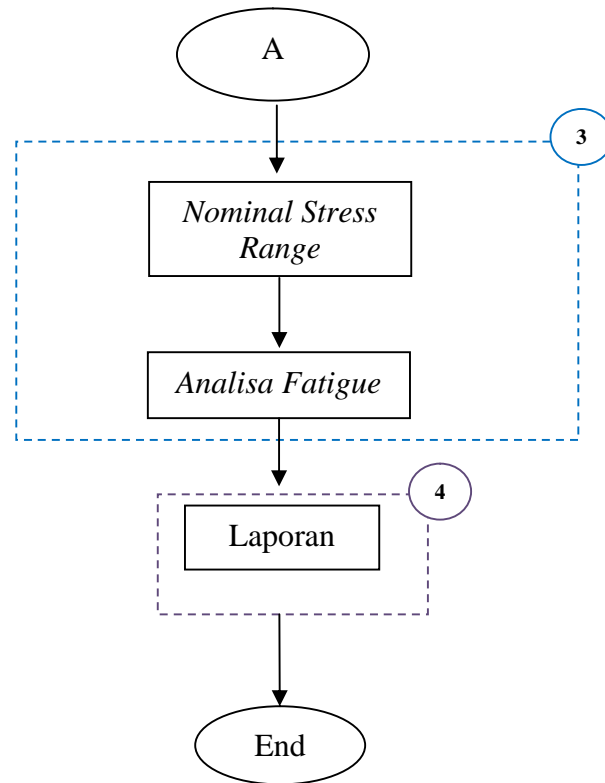
Selain data utama tanker, data gambar yang diperoleh dan digunakan untuk pemodelan adalah:

- *Midship Section*
- *Construction Profile*
- *General Arrangement*

3.3 Alur pengerjaan

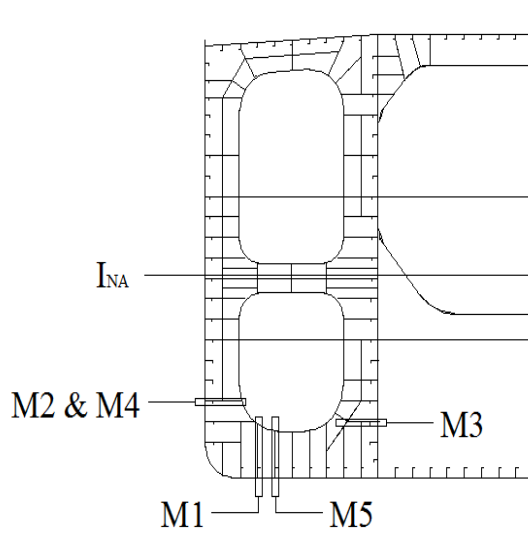
Alur kerja perhitungan dibuat sesuai urutan yang terdapat di CSR-OT Section 9/3 dan Appendix C dimulai dari pemodelan, pembebanan, Perhitungan tegangan, dan analisa *fatigue* yang disusun sebagai berikut:





3.4 Titik tinjauan *fatigue*

Perhitungan *fatigue* yang menggunakan metode *nominal stress approach* ini meninjau titik-titik yang dianggap kritis, yaitu pada pada akhir sambungan antara penegar memanjang / pembujur (*longitudinal stiffeners*) dengan sekat melintang, termasuk *wash bulkhead* dan gading besar pada daerah ruang muat, yang terletak pada alas, *inner bottom*, sisi, sekat memanjang dan geladak kekuatan. Lokasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini serta tabel berikut:

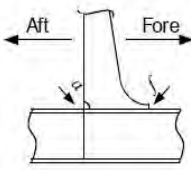
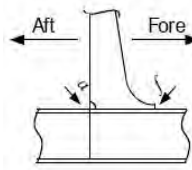
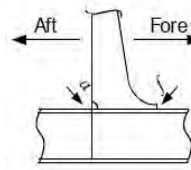
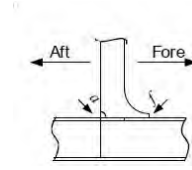
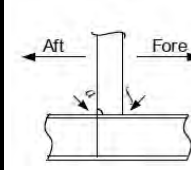


Gambar 3.2 Pandangan melintang lokasi tinjauan *fatigue*

Tabel 3.3 Deskripsi sambungan dan lokasi tinjauan

Index	Lokasi	Frame
M1	Sambungan antara bottom longitudinal dengan web frame	Frame 65
		Frame 58
		Frame 51
M2	Sambungan antara side longitudinal dengan web frame	Frame 65
		Frame 58
		Frame 51
M3	Sambungan antara longitudinal bulkhead stiffner dengan web frame	Frame 65
		Frame 58
		Frame 51
M4	Sambungan antara side longitudinal dengan transverse bulkhead	Frame 68
		Frame 62
		Frame 54
M5	Sambungan antara bottom longitudinal dengan web frame	Frame 65
		Frame 58
		Frame 51

Tabel 3.4 Detail sambungan

M1	M2	M3	M4	M5
				

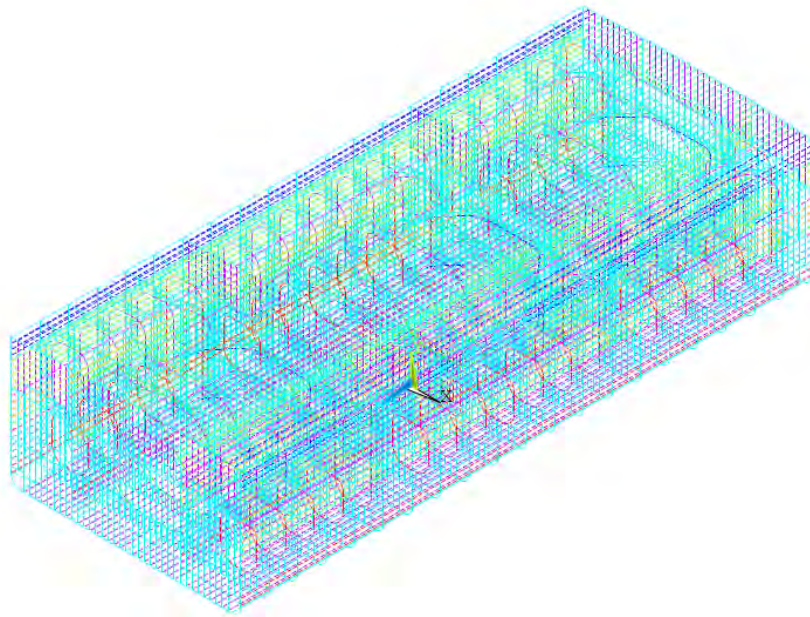
3.5 Pemodelan struktur menggunakan *software* elemen hingga

3.5.1 *Pre processing*

Preprocessing adalah menu untuk membuat geometri model, mendefinisikan sifat material model, dan proses pembuatan elemen dan node pada model.

Sub-menu yang ada pada preprocessor yang digunakan antara lain:

- *Element type*, untuk menentukan tipe elemen yang sesuai untuk jenis analisa yang akan dilakukan.
 - a. Untuk pelat kulit menggunakan tipe element *Shell 93*, untuk elemen beam menggunakan tipe elemen *Beam 189*, untuk elemen *spring* menggunakan *Spring-damper 14*.



Gambar 3.3 Penggunaan element *Beam 189* pada model

b. Perhitungan koefisien *spring*

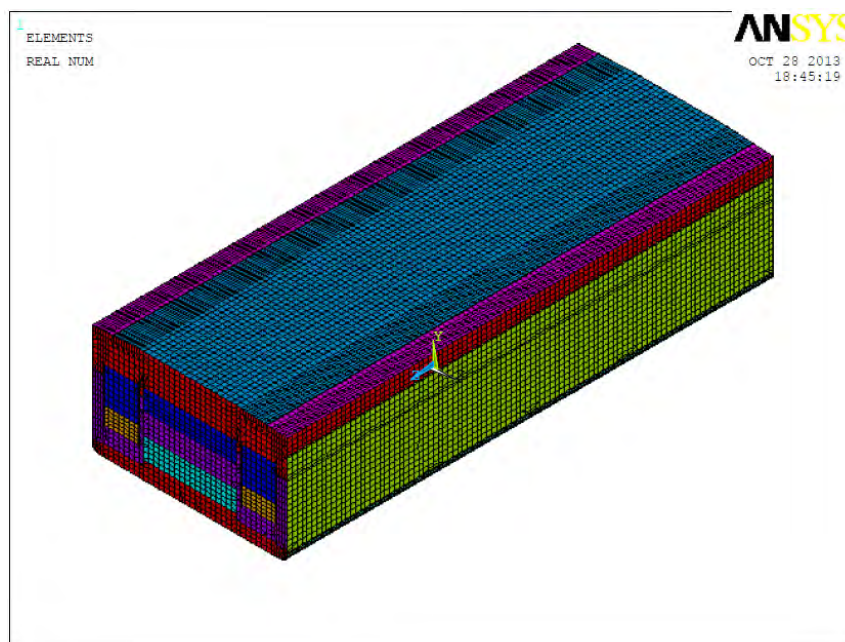
		1/2 B	B	t [mm]	t [m]	A	A [mm ²]
Vertical spring	side shell	17.1	34.2	14	0.014	0.4788	478800
	side longitudinal	17.34	34.68	14	0.014	0.48552	485520

		1/2 B	B	t [mm]	t [m]	A	A [mm ²]
Horizontall spring	bottom shell	15.9349	31.8698	14	0.014	0.446177	446177.2
	deck	15.262	30.524	11	0.011	0.335764	335764

SPRING VERTIKAL			
As-net50	=	964320 mm ²	
ltk	=	76000 mm	76 m
E	=	200000	2E+11 N/m ²
n	=	6	
As-net*E		<u>1.9286E+11</u>	
Ltk*n		456000	
c	=	3.26E+05 N/mm	
		325.669474 N/m	

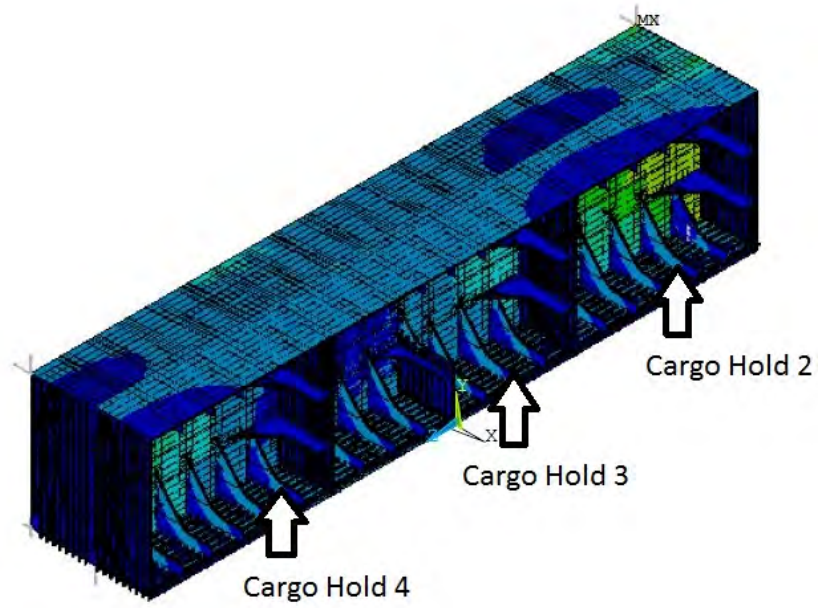
SPRING HORIZONTAL			
As-net50	=	781941.2 mm ²	
ltk	=	76000 mm	76 m
E	=	200000	2E+11 N/m ²
n	=	6	
As-net*E		<u>1.5639E+11</u>	
Ltk*n		456000	
c	=	2.64E+05 N/mm	
		264.076633 N/m	

3. *Real constant*, untuk mendefinisikan konfigurasi dari tipe-tipe elemen yang dipilih. Salah satunya penentuan ketebalan pelat pada elemen *Shell 93*. Dalam pemodelan ini input ketebal pelat menggunakan pengurangan *0.5tcor* yang mengacu aturan CSR-OT.



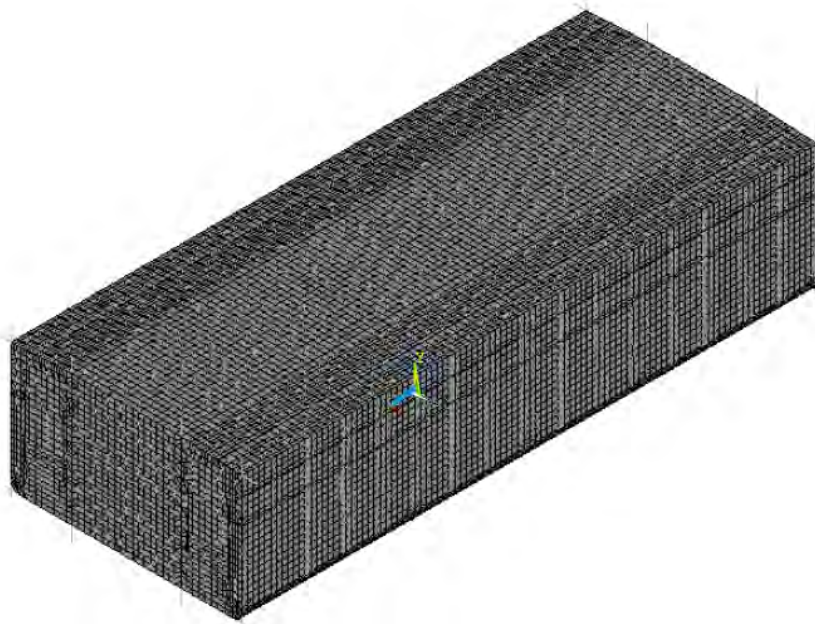
Gambar 3.4 Ketebalan pelat ditunjukkan dengan warna yang berbeda

4. *Material props*, untuk mendefinisikan sifat-sifat mekanis dan fisika pada model yang akan dianalisa. Menentukan perilaku linear material elastis isotropik dengan menetapkan modulus young dan poisson ratio.
5. *Modelling*, merupakan sub-menu yang berisikan perintah-perintah untuk membangun suatu model geometri sesuai pendekatan yang dilakukan.

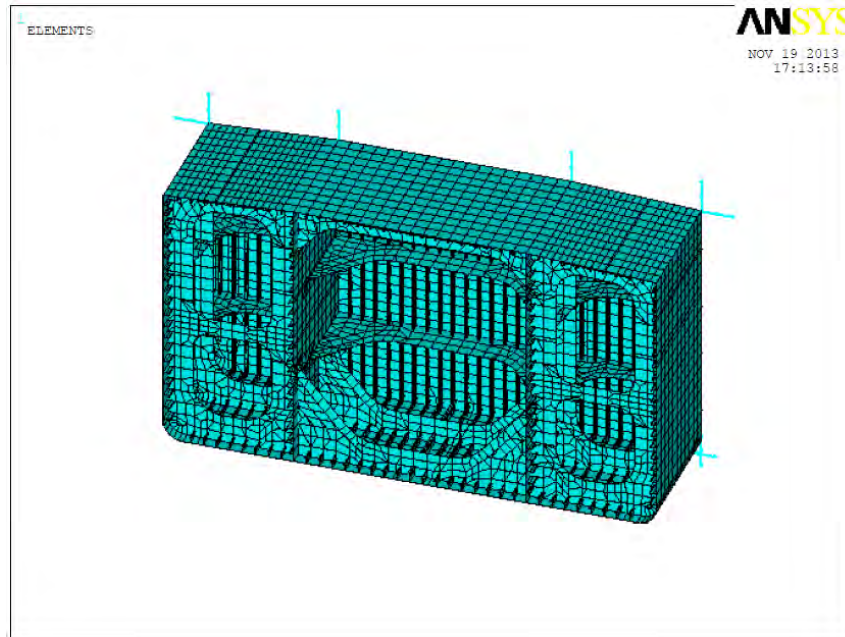


Gambar 3.5 Kompartemen ruang muat

- *Meshing*, merupakan fasilitas untuk mendiskretkan model geometri menjadi elemen-elemen hingga dan titik-titik nodal yang akan dianalisa.



Gambar 3.6 Model full breadth meshing

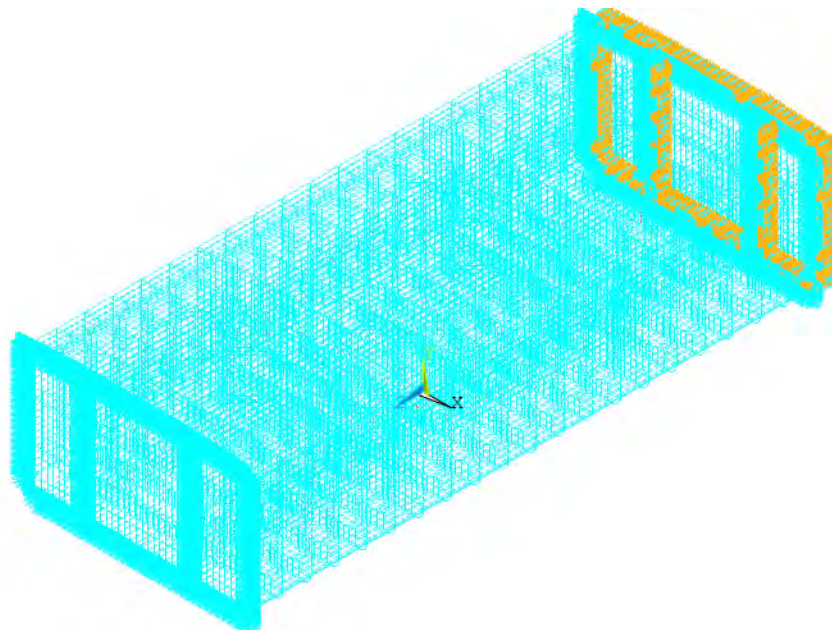


Gambar 3.7 Model *meshing frame* 68, 67, dan 66

6. Pembebanan, Pembebanan yang dimaksudkan disini tidak hanya beban-beban yang bekerja pada model. Akan tetapi semua beban maupun constrain yang menjadi kondisi batas, agar pemodelan sesuai dengan rule yang digunakan diaplikasikan pada bagian ini.

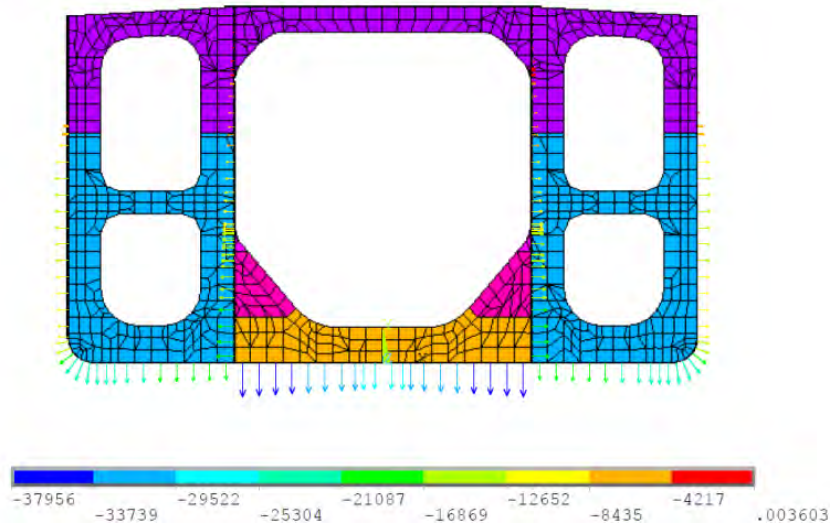
Beban-beban untuk analisa statik terdiri dari:

- a. *DOF Constrain*: memberikan batasan derajat kebebasan
- b. *Forces*: beban terpusat yang bekerja pada node
- c. *Surface load* : beban uniform pada permukaan
- d. *Body load* : beban yang bekerja pada daerah tertentu

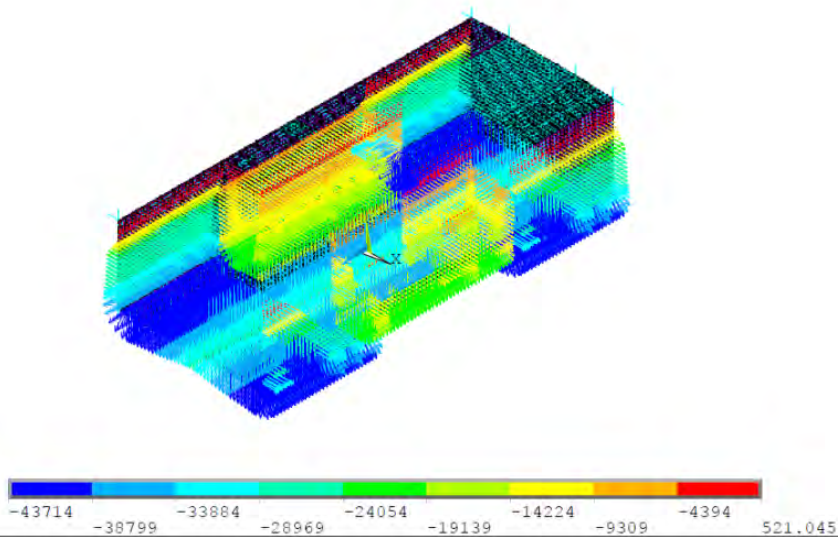


Gambar 3.8 *Boundary condition* pada kedua ujung model

e. *Inertia load* : digunakan pada mass matrix



Gambar 3.9 Resultan gaya *ekternal* dan *internal dynamic load* pada frame no. 59



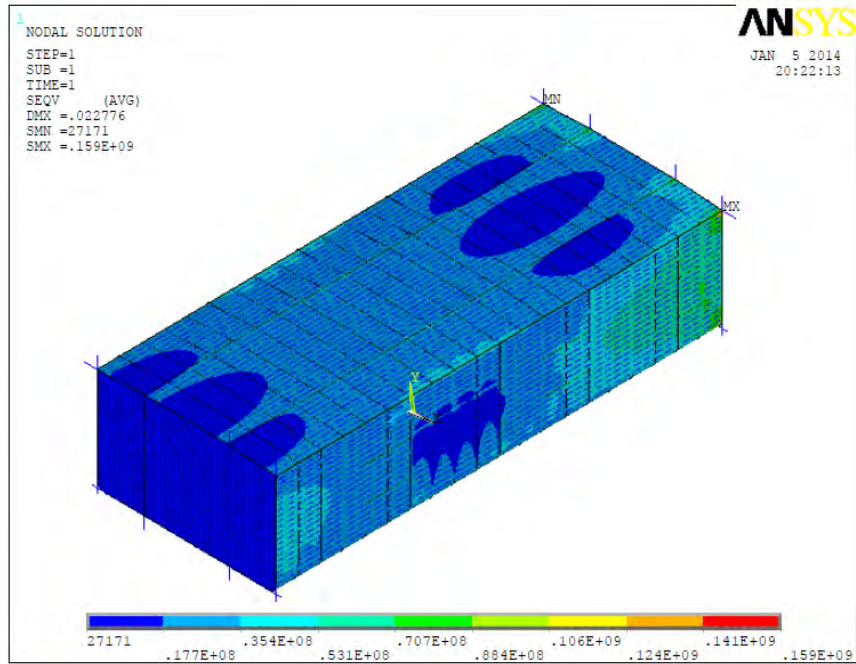
Gambar 3.10 Beban yang bekerja pada model (*internal dan eksternal dynamic pressure*)

3.5.2 *Solving*

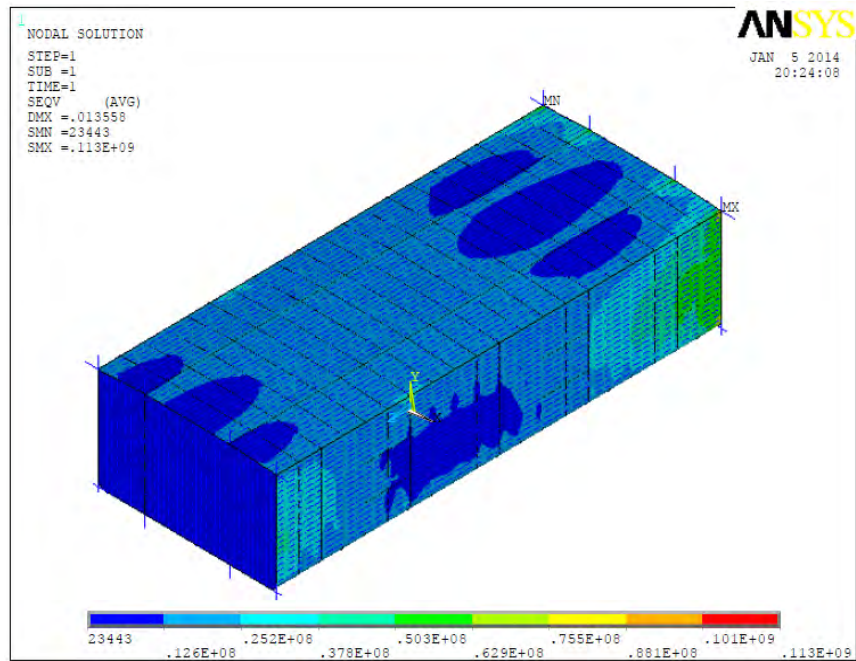
Bagian ini digunakan untuk menentukan tipe penyelesaian terhadap analisa yang akan dilakukan, apakah statik atau dinamis. Penyelesaian dilakukan terhadap model dalam bentuk elemen sesuai dengan pembebanan dan kondisi batas yang diberikan pada model.

3.5.3 *Post processing*

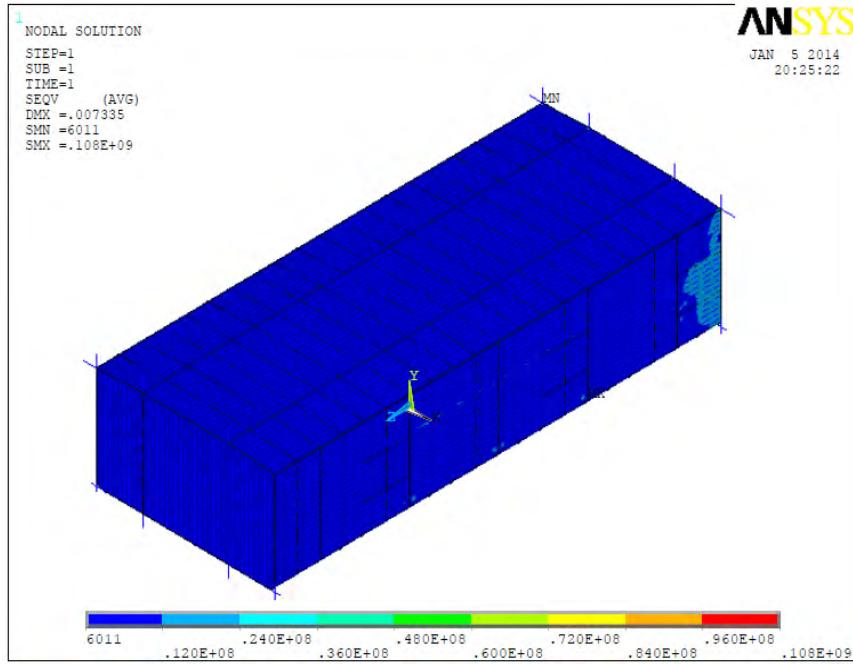
Bagian ini digunakan untuk menampilkan hasil iterasi analisa komputer terhadap model



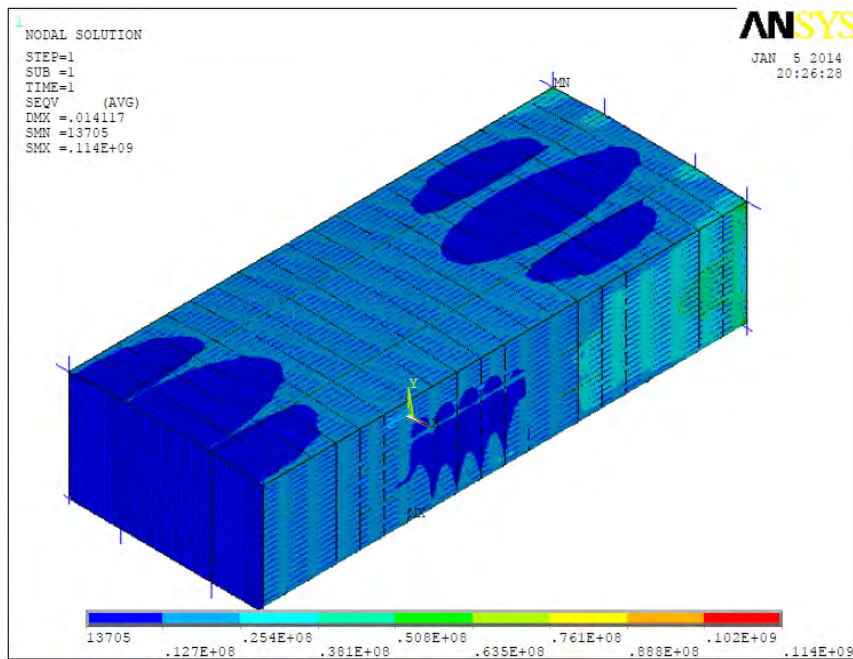
Gambar 3.11 Hasil komputasi *finite element* LC1 kondisi 95% *full load*



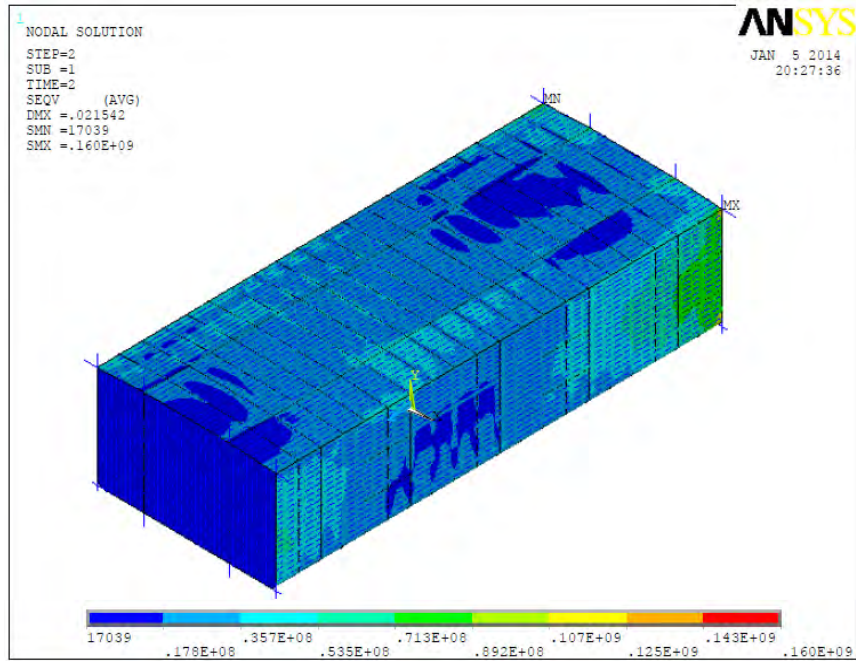
Gambar 3.12 Hasil komputasi *finite element* LC2 kondisi 95% *full load*



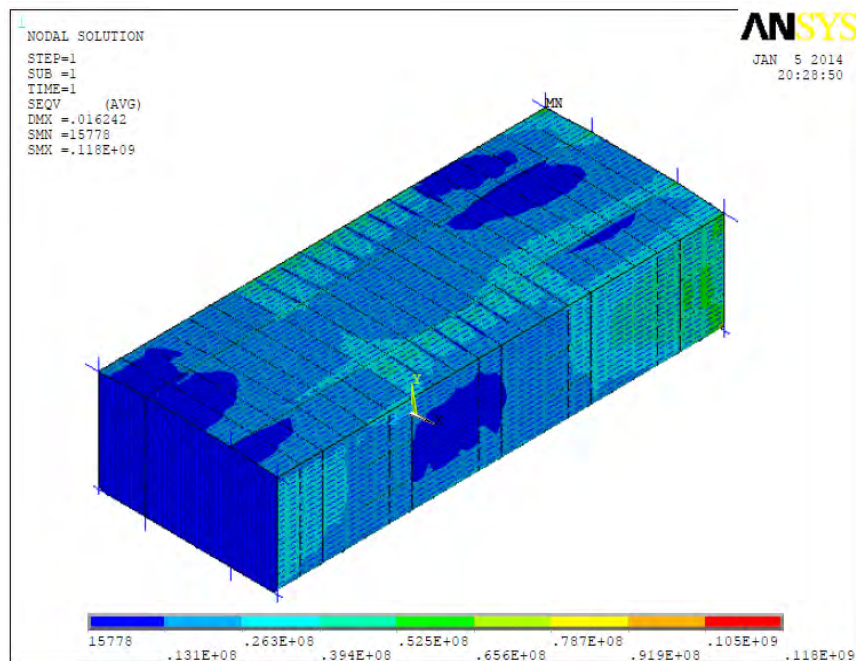
Gambar 3.13 Hasil komputasi *finite element* LC3 kondisi 95% full load



Gambar 3.14 Hasil komputasi *finite element* LC4 kondisi 95% full load



Gambar 3.15 Hasil komputasi *finite element* LC 5a + 5b kondisi 95% *full load*



Gambar 3.16 Hasil komputasi *finite element* LC 6a + 6b kondisi 95% *full load*

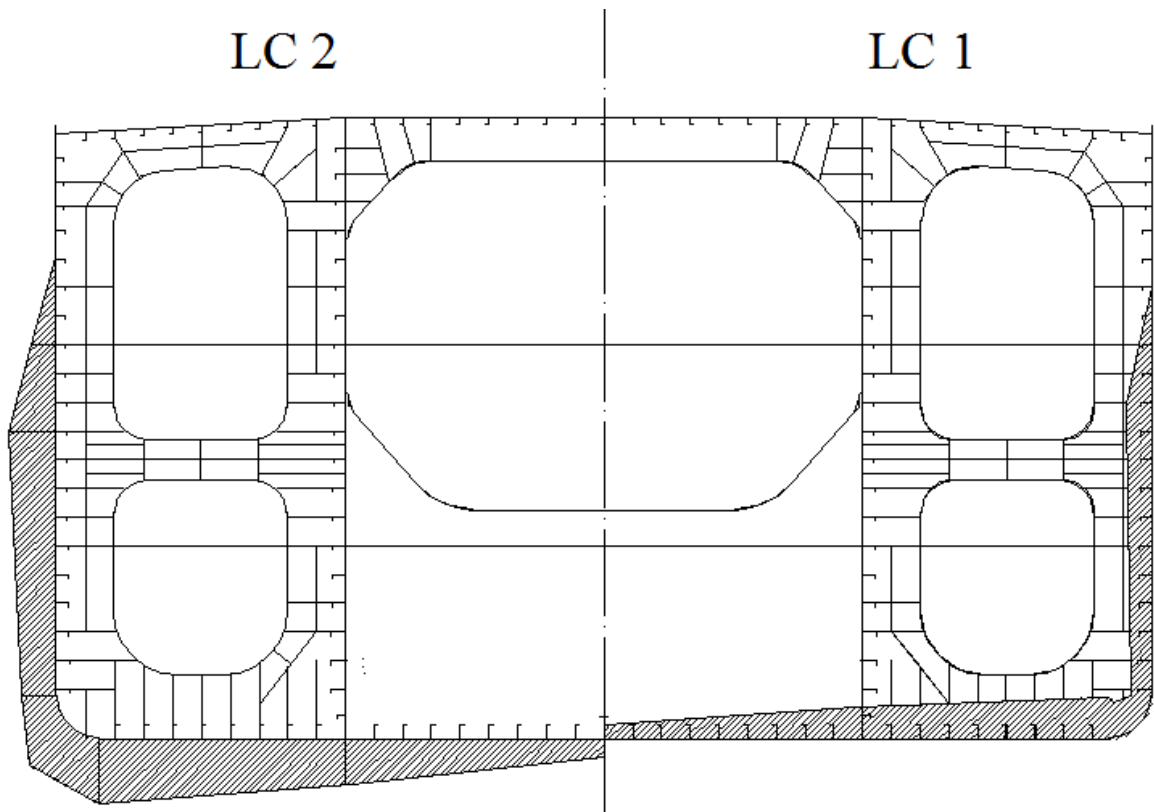
3.6 Perhitungan beban

3.6.1 Beban dinamis eksternal kondisi *full load*

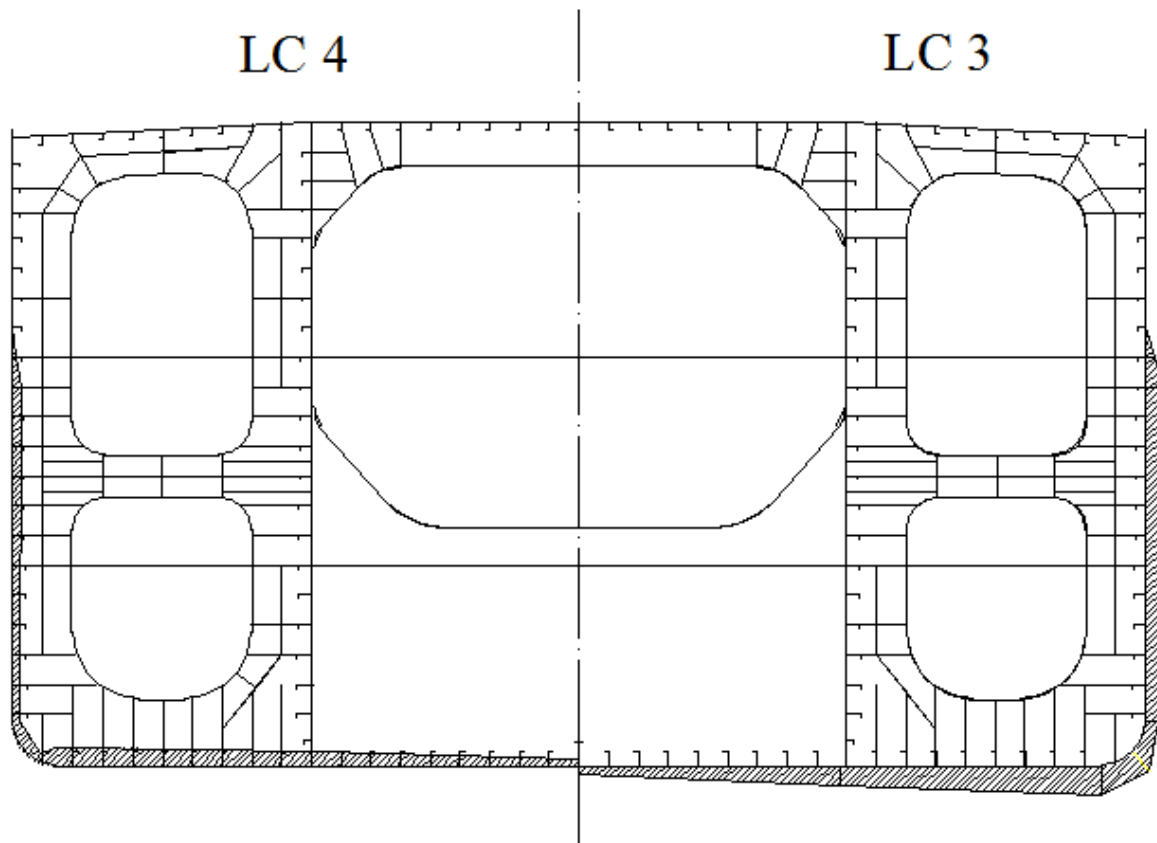
Tabel 3.5 Perhitungan beban eksternal kondisi *full load*

Load case	Index	Koordinat		Pressure		Total
		x	y	Static	Dynamic	Pressure
H e a d s e a	1	0	0		-7.84	-7.84
		7.025	0		-17.94	-17.94
		14.05	0		-23.70	-23.70
		14.8985	0.3515		-20.00	-20.00
		15.25	1.2		-11.43	-11.43
		15.25	9.34937443		-14.44	-14.44
		15.25	10.8		-7.25	-7.25
		15.25	12.25062557		0.00	0.00
	2	0	0		9.31	9.31
		7.025	0		24.58	24.58
		14.05	0		35.74	35.74
		14.8985	0.3515		30.44	30.44
		15.25	1.2		18.59	18.59
		15.25	8.16499725		25.77	25.77
		15.25	10.8		13.18	13.18
		15.25	13.43500275		0.00	0.00
	3	0	0		3.99	3.99
		7.025	0		10.54	10.54
		14.05	0		15.32	15.32
		14.8985	0.3515		12.55	12.55
		15.25	1.2		6.20	6.20
		15.25	9.92166575		8.76	8.76
		15.25	10.8		4.39	4.39
		15.25	11.67833425		0.00	0.00
	4	0	0		-3.36	-3.36
		7.025	0		-7.69	-7.69
		14.05	0		-10.16	-10.16
		14.8985	0.3515		-8.26	-8.26
15.25		1.2		-3.81	-3.81	
15.25		10.31645814		-4.83	-4.83	
15.25		10.8		-2.42	-2.42	
15.25		11.28354186		0.00	0.00	
B e a m s e a	5a	0	0		11.97	11.97
		7.025	0		31.61	31.61
		14.05	0		45.96	45.96
		14.8985	0.3515		39.38	39.38
		15.25	1.2		24.79	24.79
		15.25	7.286663001		33.75	33.75
		15.25	10.8		17.57	17.57
		15.25	14.313337		0.00	0.00
	5b	0	0		11.97	11.97
		-7.025	0		31.61	31.61
		-14.05	0		45.96	45.96
		-14.8985	0.3515		49.70	49.70
		-15.25	1.2		61.97	61.97
		-15.25	2.016657502		66.19	66.19
-15.25	10.8		43.92	43.92		
-15.25	16.90		19.58	19.58		

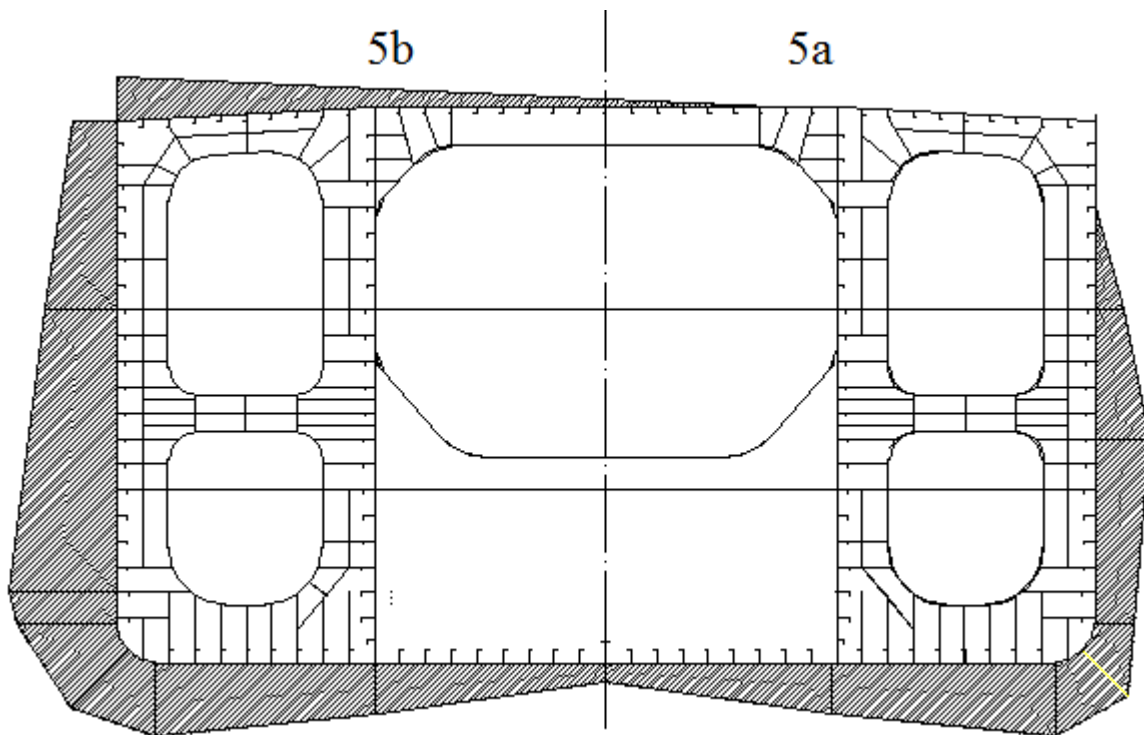
O b l i q u e s e a	6a	0	0		6.65	6.65
		7.025	0		17.56	17.56
		14.05	0		25.53	25.53
		14.8985	0.3515		18.05	18.05
		15.25	1.2		0.00	0.00
		15.25	10.8		0.00	0.00
		15.25	10.8		0.00	0.00
		15.25	10.8		0.00	0.00
	6b	0	0		6.65	6.65
		-7.025	0		17.56	17.56
		-14.05	0		25.53	25.53
		-14.8985	0.3515		24.94	24.94
		-15.25	1.2		26.74	26.74
		-15.25	5.529994501		48.02	48.02
		-15.25	10.8		26.35	26.35
-15.25		16.0700055		0.00	0.00	



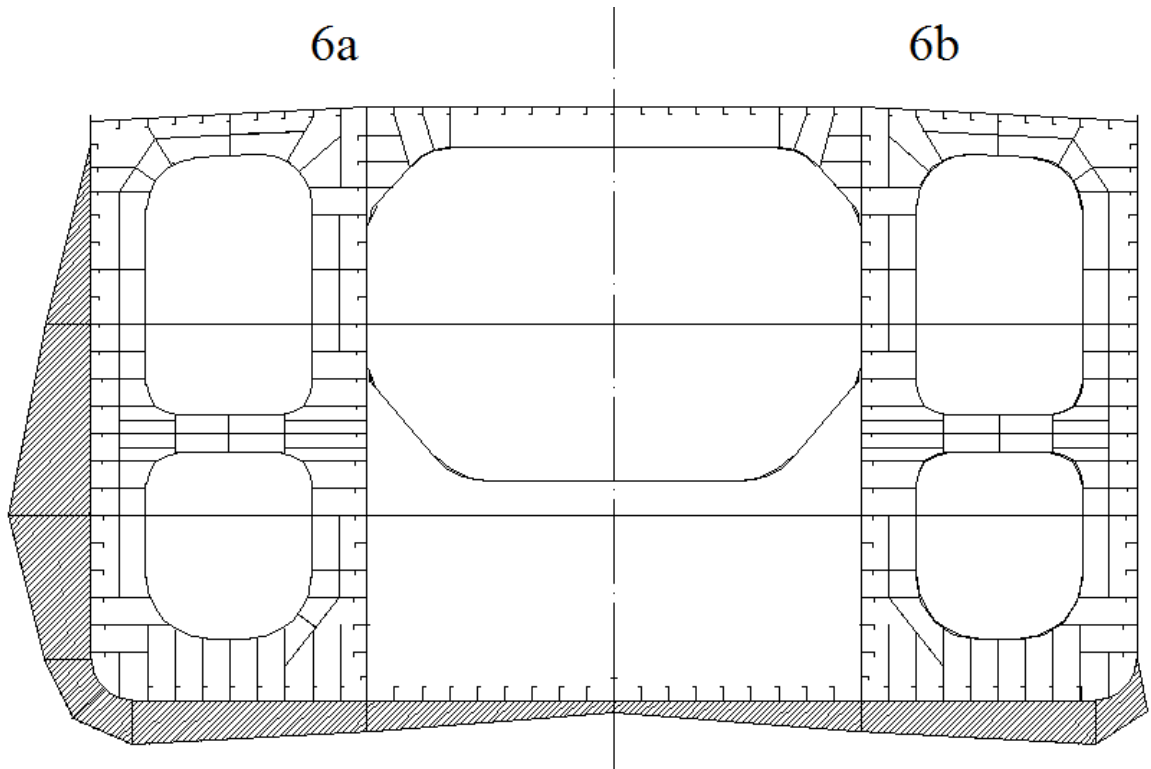
Gambar 3.17 Loading pattern LC 1 dan LC 2 full load



Gambar 3.18 Loading pattern LC 3 dan LC 4 full load



Gambar 3.19 Loading pattern LC 5a+5b full load



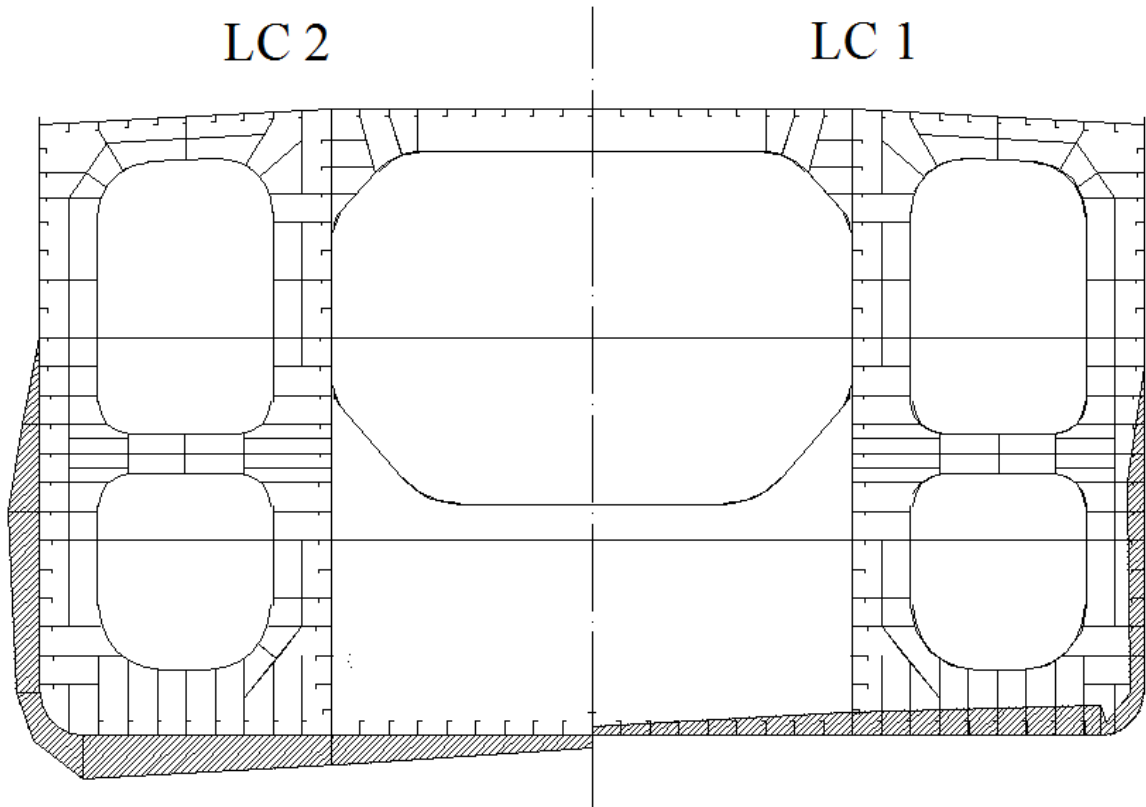
Gambar 3.20 Loading pattern LC 6a+6b full load

3.6.2 Beban dinamis eksternal kondisi *ballast*

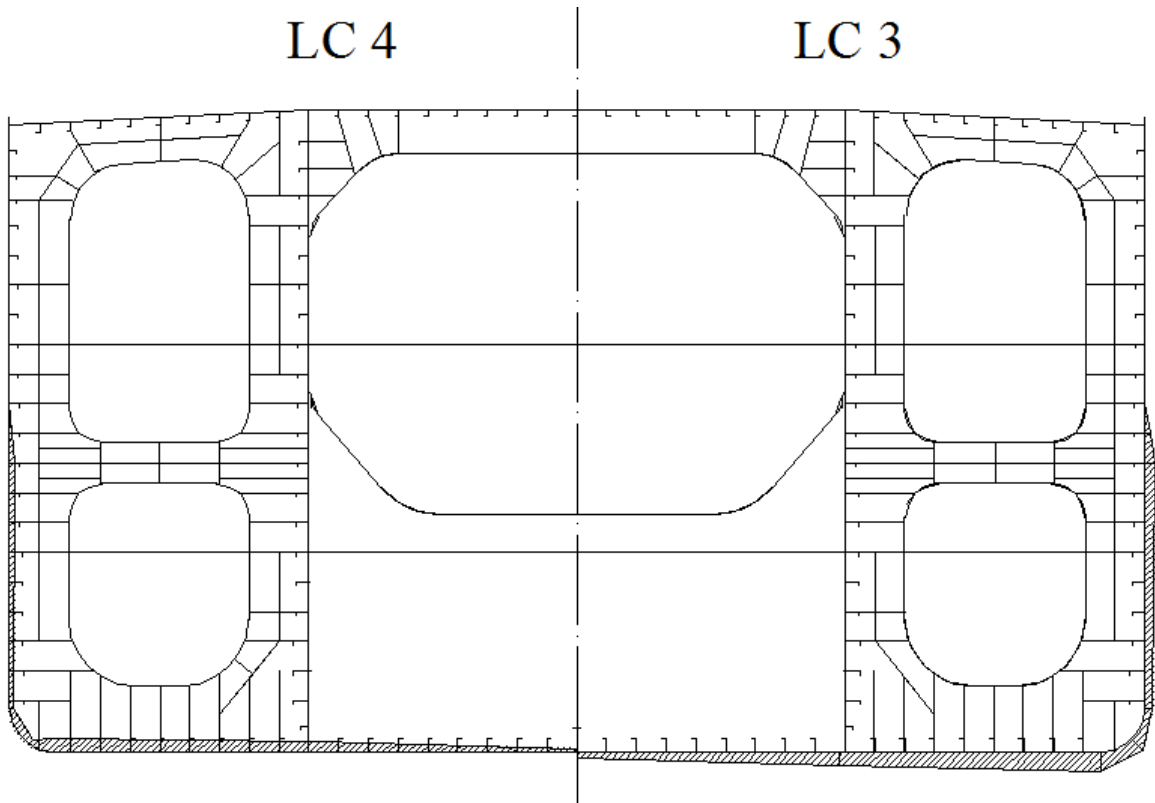
Tabel 3.6 Perhitungan beban eksternal kondisi *ballast*

Load case	Index	Koordinat		Pressure		Total
		x	y	Static	Dynamic	Pressure
H e a d s e a	1	0	0		-7.84	-7.84
		7.025	0		-19.40	-19.40
		14.05	0		-25.41	-25.41
		14.8985	0.3515		-21.42	-21.42
		15.25	1.2		-12.16	-12.16
		15.25	7.31037443		-14.42	-14.42
		15.25	8.761		-7.25	-7.25
		15.25	10.21162557		0.00	0.00
	2	0	0		10.38	10.38
		7.025	0		24.58	24.58
		14.05	0		35.74	35.74
		14.8985	0.3515		30.51	30.51
		15.25	1.2		19.04	19.04
		15.25	6.12599725		25.46	25.46
		15.25	8.761		13.18	13.18
		15.25	11.39600275		0.00	0.00
	3	0	0		4.45	4.45
		7.025	0		10.54	10.54
		14.05	0		15.32	15.32
		14.8985	0.3515		12.58	12.58
		15.25	1.2		6.35	6.35
		15.25	7.88266575		8.75	8.75
		15.25	8.761		4.39	4.39
		15.25	9.63933425		0.00	0.00
	4	0	0		-3.36	-3.36
		7.025	0		-8.31	-8.31
		14.05	0		-10.89	-10.89
		14.8985	0.3515		-8.85	-8.85
15.25		1.2		-4.05	-4.05	
15.25		8.277458143		-4.83	-4.83	
15.25		8.761		-2.42	-2.42	
15.25		9.244541857		0.00	0.00	
B e a m s e a	5a	0	0		13.34	13.34
		7.025	0		31.61	31.61
		14.05	0		45.96	45.96
		14.8985	0.3515		39.48	39.48
		15.25	1.2		25.38	25.38
		15.25	5.247663001		33.03	33.03
		15.25	8.761		17.57	17.57
		15.25	12.274337		0.00	0.00
	5b	0	0		13.34	13.34
		-7.025	0		31.61	31.61
		-14.05	0		45.96	45.96
		-14.8985	0.3515		49.95	49.95
		-15.25	1.2		63.46	63.46
		-15.25	-0.022342498		54.94	54.94
-15.25	8.761		43.92	43.92		
-15.25	16.9		17.54	17.54		

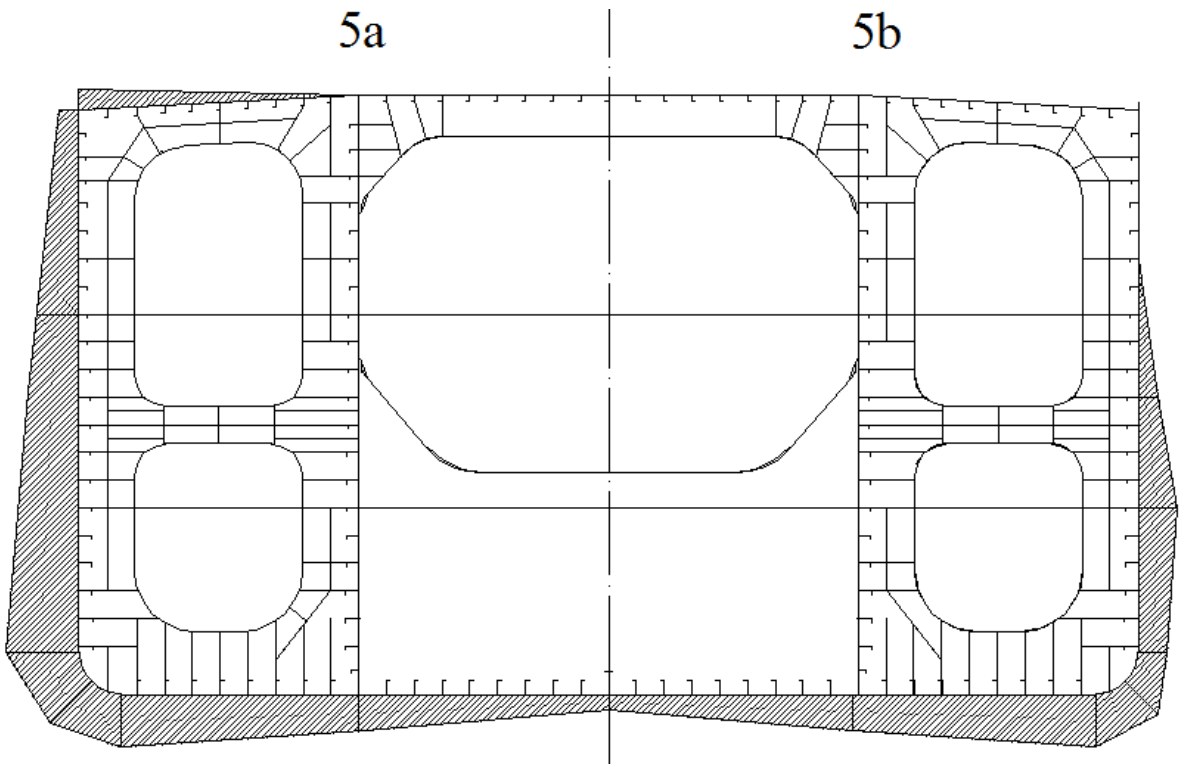
O b l i q u e s e a	6a	0	0		7.41	7.41
		7.025	0		17.56	17.56
		14.05	0		25.53	25.53
		14.8985	0.3515		18.05	18.05
		15.25	1.2		0.00	0.00
		15.25	8.761		0.00	0.00
		15.25	8.761		0.00	0.00
		15.25	8.761		0.00	0.00
	6b	0	0		7.41	7.41
		-7.025	0		17.56	17.56
		-14.05	0		25.53	25.53
		-14.8985	0.3515		25.03	25.03
		-15.25	1.2		27.79	27.79
		-15.25	3.490994501		45.59	45.59
		-15.25	8.761		26.35	26.35
-15.25	14.0310055		0.00	0.00		



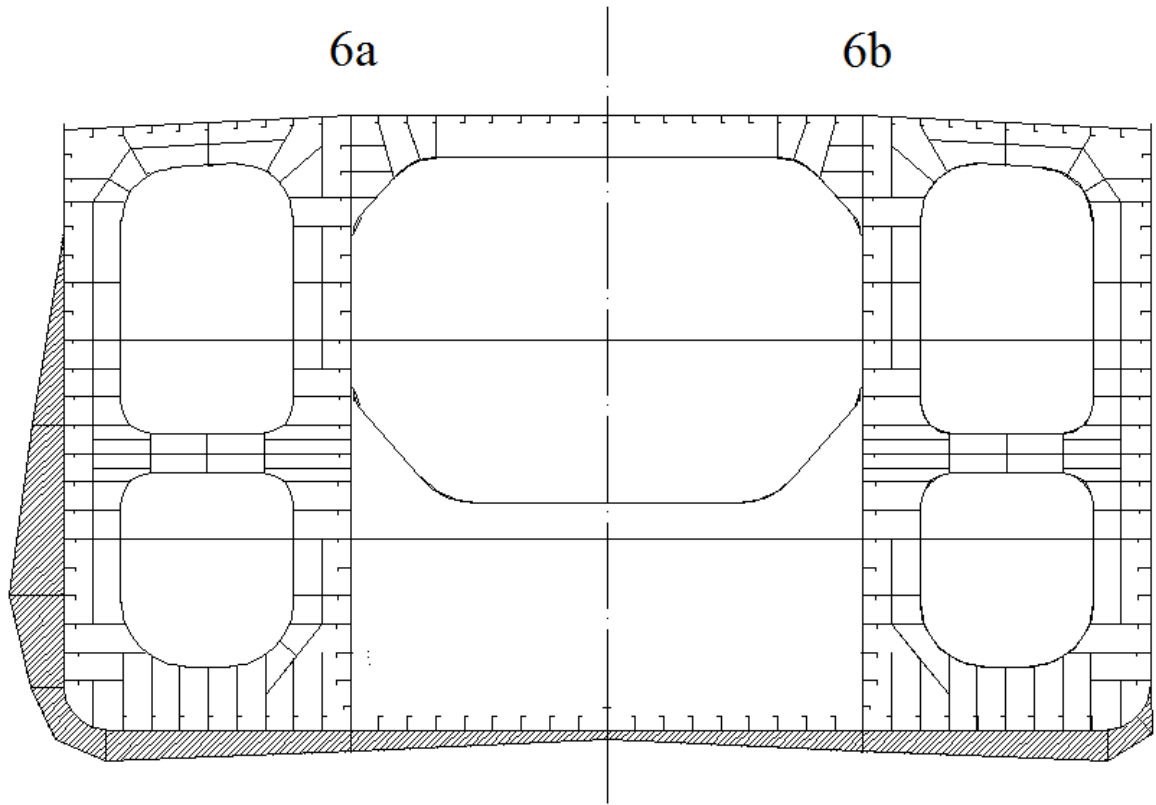
Gambar 3.21 Loading pattern LC 1 dan LC 2 ballast



Gambar 3.22 Loading pattern LC 3 dan LC 4 ballast



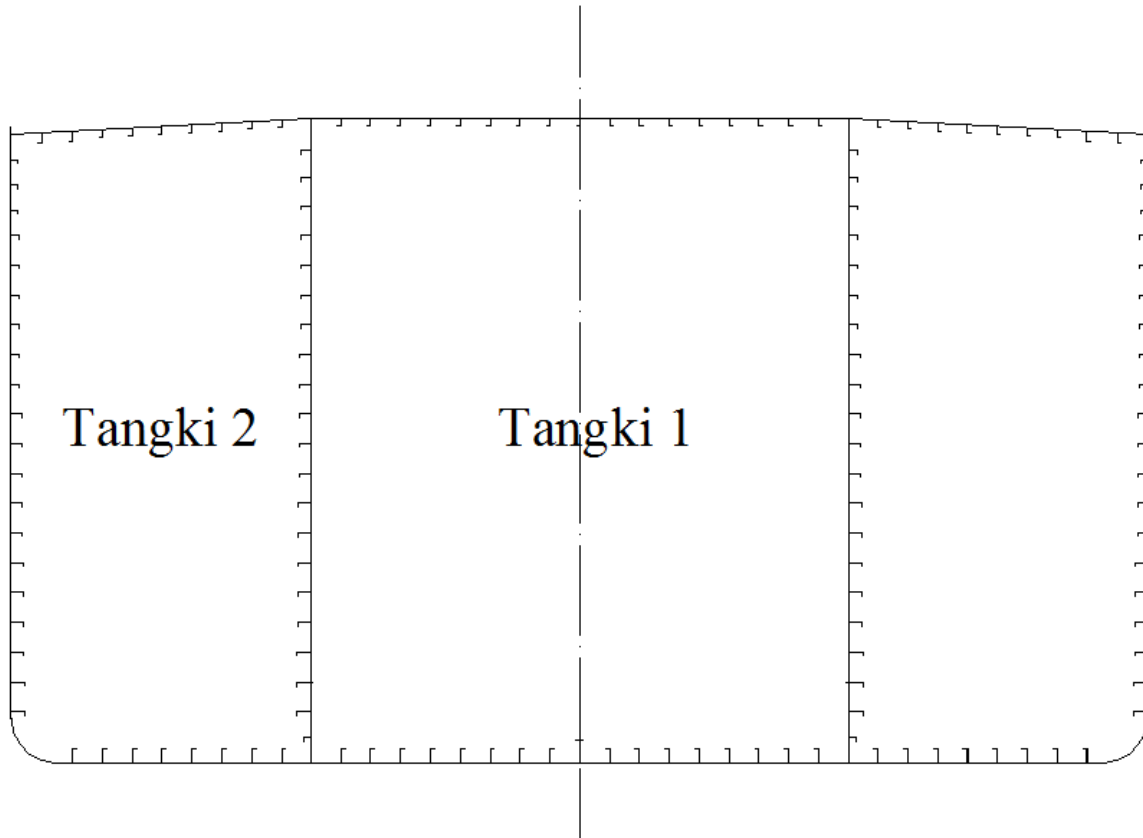
Gambar 3.23 Loading pattern LC 5a+5b ballast



Gambar 3.24 *Loading pattern LC 6a+6b ballast*

3.6.3 Beban dinamis Internal kondisi *full load* dan *ballast*

Pada perhitungan beban dinamis internal kondisi *full load* dan *ballast*, hal yang perlu dilakukan adalah membagi tangki berdasarkan kapasitas muat secara melintang sebagai acuan perhitungan seperti yang ditunjukkan Gambar 3.20.



Gambar 3.25 Penentuan nomor tangki untuk perhitungan beban internal

Pressure Combination Factors for Fatigue Strength

	Cargo Tank	Ballast Tank
fv	0.9	0.9
ft	0.9	0.6
flng	0.4	0.4

av	4.90	m/s ²
at	2.20	m/s ²
alng	0.81	m/s ²

ρ 1.025 ballast

ρ 0.9 oil

Tank 1		
Location	z0-z	P in-v
Bottom	17.34	76.48
Bottom	17.34	87.10

oil
ballast

Tank 2		
Location	z0-z	P in-v
Bottom	17.12	75.51
Bottom	17.12	86.00

oil
ballast

Tank 1		
bfs	=	14.40
fprob	=	0.50
e	=	0.44
hroll	=	1.59
full-t	=	5.97
full-t	=	1.00
y0-y	=	7.20
P in-t		14.28
P in-t		16.27

oil
ballast

Tank 2		
bfs	=	8.05
fprob	=	0.50
e	=	0.44
hroll	=	0.89
full-t	=	10.16
full-t	=	1.00
y0-y	=	4.03
P in-t		7.98
P in-t		9.09

oil
ballast

Tank 1		
lfs	=	76.00
fprob	=	0.50
φ	=	0.20
h pitch	=	3.85
full-lng	=	2.75
full-lng	=	1.00
x0-x	=	38.00
P in-lng		27.57
P in-lng		31.40

Tank 2		
lfs	=	76.00
fprob	=	0.50
φ	=	0.20
h pitch	=	3.85
full-lng	=	2.72
full-lng	=	1.00
x0-x	=	38.00
P in-lng		27.57
P in-lng		31.40

Tabel 3.7 Perhitungan beban internal tangki kondisi *full load*

P _{in-v}		P _{in-t}		P _{in-lng}		Pressure Combination		Pin-amp (kN/m ²)
Tank 1	Tank 2	Tank 1	Tank 2	Tank 1	Tank 2	f _v		
76.48	75.51	14.28	7.98	27.57	27.57		0.9	20.0127
						f _t	0.9	
						f _{lng}	0.4	

Tabel 3.8 Perhitungan beban internal kondisi *ballast*

P _{in-v}		P _{in-t}		P _{in-lng}		Pressure Combination		Pin-amp (kN/m ²)
Tank 1	Tank 2	Tank 1	Tank 2	Tank 1	Tank 2	f _v		
87.10	86.00	16.27	9.09	31.40	31.40		0.9	23.0773
						f _t	0.6	
						f _{lng}	0.4	

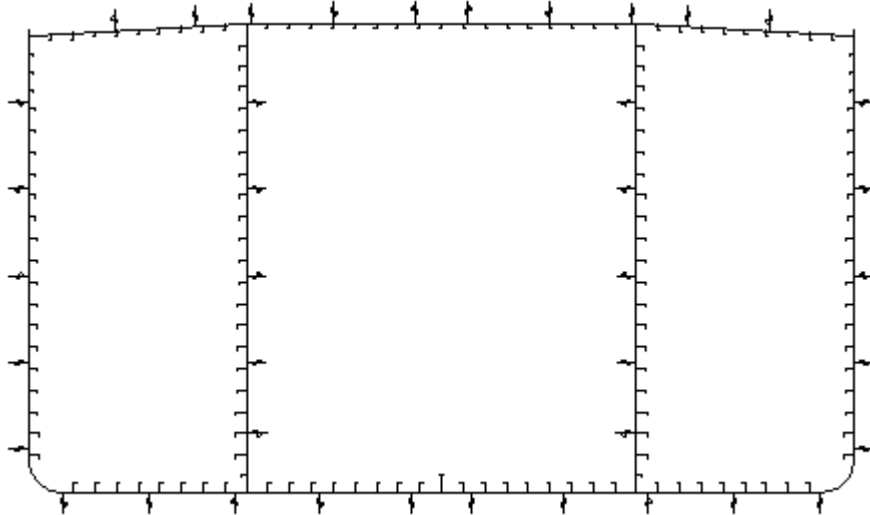
(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB 4

ANALISA HASIL

4.1 Perhitungan kekuatan memanjang kondisi struktur 85% pada tahun 2008

Tabulasi pelat dan profil yang termasuk *longitudinal member*.



Gambar 4.1 Penampang melintang struktur beserta *longitudinal member*

Setelah proses tabulasi selesai, setiap *member* diukur lebar dan tingginya dengan mengacu posisi masing-masing *member*. Sebagai contoh untuk pelat lunas, lebar *member* merupakan lebar pelat lunas, dan tinggi *member* adalah setengah ketebalan pelat diukur dari base line. Begitu seterusnya hingga semua member telah terekap dengan baik seperti ditunjukkan tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Rekapitulasi *longitudinal member*

No	Nama bagian	Jml [n]	Lebar (mm) [b]	Tinggi (mm) [h]	Luas Total (mm ²) [A _T]	Titik berat thd Base (mm) [Z]	Momen (mm ³) [A _T x z]	A _T x Z ² (mm ⁴)	M.Inersia Individu (mm ⁴) [1/12 x b x h ³]
1	Pelat keel (lunas)	1	2.19E+03	1.59E+01	3.48E+04	7.95E+00	2.77E+05	2.20E+06	7.34E+05
2	Pelat alas	2	1.29E+04	1.39E+01	3.57E+05	6.95E+00	2.48E+06	1.73E+07	5.75E+06
3	Pelat bilga	2	1.20E+03	1.54E+01	3.70E+04	3.52E+02	1.30E+07	4.57E+09	7.30E+05
4	Pelat sisi								
	Pelat sisi 1	2	1.18E+01	3.19E+03	7.52E+04	3.25E+03	2.44E+08	7.91E+11	6.37E+10
	Pelat sisi 2	2	1.18E+01	3.19E+03	7.52E+04	6.44E+03	4.84E+08	3.11E+12	6.37E+10
	Pelat sisi 3	2	1.18E+01	3.19E+03	7.52E+04	9.63E+03	7.23E+08	6.96E+12	6.37E+10
	Pelat sisi 4	2	1.18E+01	3.19E+03	7.52E+04	1.28E+04	9.63E+08	1.23E+13	6.37E+10
	Pelat lajur sisi atas	2	1.18E+01	2.69E+03	6.34E+04	1.58E+04	1.00E+09	1.58E+13	3.82E+10
5	Pelat Geladak								
		2	1.21E+04	1.15E+01	2.78E+05	1.73E+04	4.81E+09	8.31E+13	3.07E+06
		2	3.17E+03	1.19E+01	7.56E+04	1.70E+04	1.28E+09	2.18E+13	8.96E+05

6	Pelat Sekat memanjang									
	Pelat sekat memanjang 1	2	1.15E+01	2.20E+03	5.06E+04	1.10E+03	5.57E+07	6.12E+10	2.04E+10	
	Pelat sekat memanjang 2	2	1.11E+01	2.64E+03	5.85E+04	3.52E+03	2.06E+08	7.25E+11	3.40E+10	
	Pelat sekat memanjang 3	2	1.02E+01	3.19E+03	6.52E+04	6.44E+03	4.20E+08	2.70E+12	5.53E+10	
	Pelat sekat memanjang 4	2	9.38E+00	3.19E+03	5.98E+04	9.63E+03	5.76E+08	5.54E+12	5.07E+10	
	Pelat sekat memanjang 5	2	1.07E+01	3.19E+03	6.79E+04	1.28E+04	8.71E+08	1.12E+13	5.76E+10	
	Pelat sekat memanjang 6	2	1.18E+01	2.93E+03	6.90E+04	1.59E+04	1.10E+09	1.74E+13	4.94E+10	
7	Pembujur Alas									
	T 650x14/200x22									
	- Web	1	1.18E+01	6.50E+02	7.66E+03	3.25E+02	2.49E+06	8.09E+08	2.70E+08	
	- Face	1	2.00E+02	1.83E+01	3.66E+03	6.59E+02	2.41E+06	1.59E+09	1.02E+05	
	L 400x11.5/100x16									
- Web	32	9.38E+00	4.00E+02	1.20E+05	2.00E+02	2.40E+07	4.80E+09	1.60E+09		
- Face	32	1.00E+02	1.32E+01	4.22E+04	4.07E+02	1.72E+07	6.98E+09	6.13E+05		
8	Pembujur Sisi									
	L 400x11.5/100x16									
	- Web	4	4.00E+02	9.66E+00	1.54E+04	1.80E+03	2.78E+07	5.01E+10	1.20E+05	
	- Face	4	1.35E+01	1.00E+02	5.39E+03	1.75E+03	9.44E+06	1.65E+10	4.49E+06	
		L 350x11/100x17								
	- Web	8	3.50E+02	9.23E+00	2.58E+04	4.20E+03	1.09E+08	4.56E+11	1.83E+05	
	- Face	8	1.43E+01	1.00E+02	1.15E+04	4.15E+03	4.76E+07	1.97E+11	9.55E+06	
		L 300X13/90X17								
	- Web	2	3.00E+02	1.09E+01	6.56E+03	6.20E+03	4.07E+07	2.52E+11	6.53E+04	
	- Face	2	1.43E+01	9.00E+01	2.58E+03	6.16E+03	1.59E+07	9.77E+10	1.74E+06	
		L 300X11/90X16								
	- Web	2	3.00E+02	9.23E+00	5.54E+03	7.00E+03	3.88E+07	2.71E+11	3.93E+04	
	- Face	2	1.35E+01	9.00E+01	2.43E+03	6.96E+03	1.69E+07	1.17E+11	1.64E+06	
		L 300X10/90X16								
	- Web	6	3.00E+02	8.38E+00	1.51E+04	8.60E+03	1.30E+08	1.12E+12	8.83E+04	
	- Face	6	1.35E+01	9.00E+01	7.28E+03	8.56E+03	6.23E+07	5.33E+11	4.91E+06	
		L 250X11/90X16								
	- Web	2	2.50E+02	9.66E+00	4.83E+03	1.02E+04	4.92E+07	5.02E+11	3.75E+04	
	- Face	2	1.52E+01	9.00E+01	2.73E+03	1.02E+04	2.77E+07	2.82E+11	1.84E+06	
		L 250X9/90X15								
- Web	10	2.50E+02	7.53E+00	1.88E+04	1.26E+04	2.37E+08	2.99E+12	8.89E+04		
- Face	10	1.26E+01	9.00E+01	1.14E+04	1.26E+04	1.43E+08	1.79E+12	7.67E+06		
	L 200X9/90X14									
- Web	6	2.00E+02	7.53E+00	9.04E+03	1.56E+04	1.41E+08	2.19E+12	4.27E+04		
- Face	6	1.18E+01	9.00E+01	6.36E+03	1.55E+04	9.86E+07	1.53E+12	4.29E+06		
9	Pembujur Sekat memanjang									
	L 200X9/90X14									
	- Web	2	2.00E+02	7.25E+00	2.90E+03	7.00E+02	2.03E+06	1.42E+09	1.27E+04	
	- Face	2	1.15E+01	9.00E+01	2.07E+03	6.55E+02	1.36E+06	8.88E+08	1.40E+06	
		L 400X11.5/100X16								
	- Web	2	4.00E+02	9.38E+00	7.50E+03	1.40E+03	1.05E+07	1.47E+10	5.49E+04	
	- Face	2	1.32E+01	1.25E+02	3.30E+03	1.35E+03	4.46E+06	6.01E+09	4.30E+06	
		L 450X14/125X16								
	- Web	2	4.50E+02	1.15E+01	1.04E+04	2.20E+03	2.28E+07	5.01E+10	1.14E+05	
	- Face	2	1.32E+01	1.25E+02	3.30E+03	2.14E+03	7.05E+06	1.51E+10	4.30E+06	
		L 400x11.5/100x16								
	- Web	2	4.00E+02	9.38E+00	7.50E+03	3.00E+03	2.25E+07	6.75E+10	5.49E+04	
	- Face	2	1.32E+01	1.00E+02	2.64E+03	2.95E+03	7.79E+06	2.30E+10	2.20E+06	
		L 350x11/100x17								
	- Web	10	3.50E+02	8.95E-01	3.13E+03	5.40E+03	1.69E+07	9.13E+10	2.09E+02	
	- Face	10	1.41E+00	1.00E+02	1.41E+03	5.35E+03	7.52E+06	4.02E+10	1.17E+06	
		L 300X12/90X17								
	- Web	2	3.00E+02	9.80E-01	5.88E+02	7.80E+03	4.59E+06	3.58E+10	4.71E+01	
	- Face	2	1.41E+00	9.00E+01	2.53E+02	7.76E+03	1.96E+06	1.52E+10	1.71E+05	
		L300X11/90X16								
- Web	2	3.00E+02	8.95E-01	5.37E+02	8.60E+03	4.62E+06	3.97E+10	3.58E+01		
- Face	2	1.32E+00	9.00E+01	2.38E+02	8.56E+03	2.03E+06	1.74E+10	1.60E+05		
	L 300X10/90X16									
- Web	6	3.00E+02	8.10E-01	1.46E+03	1.02E+04	1.49E+07	1.52E+11	7.97E+01		
- Face	6	1.32E+00	9.00E+01	7.13E+02	1.02E+04	7.24E+06	7.35E+10	4.81E+05		
	L 250X10/90X15									
- Web	2	2.50E+02	8.10E-01	4.05E+02	1.18E+04	4.78E+06	5.64E+10	2.21E+01		
- Face	2	1.24E+00	9.00E+01	2.22E+02	1.18E+04	2.61E+06	3.07E+10	1.50E+05		
	L 250X9/90X15									
- Web	12	2.50E+02	7.25E-01	2.18E+03	1.45E+04	3.16E+07	4.60E+11	9.53E+01		
- Face	12	1.24E+00	9.00E+01	1.33E+03	1.45E+04	1.93E+07	2.80E+11	9.00E+05		
10	Pembujur Geladak									
	L 200X9/90X14									
	- Web	31	7.25E+00	2.00E+02	4.50E+04	1.72E+04	7.72E+08	1.32E+13	1.50E+08	
	- Face	31	9.00E+01	1.15E+01	3.21E+04	1.71E+04	5.47E+08	9.34E+12	3.54E+05	
	L 250X9/90X15									
- Web	4	7.25E+00	2.50E+02	7.25E+03	1.68E+04	1.22E+08	2.06E+12	3.78E+07		
- Face	4	9.00E+01	1.24E+01	4.45E+03	1.67E+04	7.43E+07	1.24E+12	5.65E+04		
					1.98E+06		15696621480	2.21242E+14	5.62695E+11	
					S ₁		S ₂	S ₃	S ₄	

1. Pada kolom “Luas Total” dijumlahkan secara kumulatif kebawah, lalu didefinisikan sebagai Σ_1 . Dengan cara yang sama kolom “Momen” didefinisikan sebagai Σ_2 , kolom “ $A_T \times Z^2$ ” sebagai Σ_3 , dan kolom “Momen inersia individu” sebagai Σ_4 .

2. Menentukan letak titik berat struktur,

- Titik berat terhadap base line = Σ_2/Σ_1 (mm)

- Titik berat terhadap geladak = $H - (\Sigma_2/\Sigma_1)$ (mm)

$$\begin{aligned} \text{Titik Berat terhadap dasar (Z}_1) &= S_2 / S_1 \\ &= 15696621479.871 / 1983047.15 \\ &= 7915.405 \text{ mm} \quad 7.915405 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Titik Berat terhadap deck (Z}_2) &= H - Z_1 \\ &= 9424.59 \text{ mm} \quad 9.424595 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Menentukan besar inersia, $I_{xx} = \Sigma_3 + \Sigma_4$ (mm⁴)

$$\begin{aligned} I_{xx} = S_3 + S_4 &= 221241926480917.000 + 562694812702.01 \\ &= 2.22E+14 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

4. Menentukan besar inersia pada netral axis,

$$I_{NA} = I_{xx} - ((\Sigma_2 - \Sigma_1)^2 \cdot \Sigma_1) \quad (\text{mm}^4)$$

$$\begin{aligned} I_{NA} = I_{xx} - (Z_1)^2 \cdot S_1 &= 221804621293619.000 - [(7915.41^2) \times 1983047.148] \\ &= 9.76E+13 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

5. Didapat modulus penampang terhadap bottom,

$$W_{\text{bottom}} = I_{NA} / (\Sigma_2/\Sigma_1) (\text{mm}^4)$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus penampang thd bottom (W}_{\text{bot}}) &= I_{NA} / Z_1 \\ &= 97559503814491.700 / 7915.41 \\ &= 1.23E+10 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

6. Didapat modulus penampang terhadap geladak,

$$W_{\text{deck}} = I_{NA} / (H - (\Sigma_2/\Sigma_1)) \quad (\text{mm}^4)$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus penampang thd deck (W}_{\text{deck}}) &= I_{NA} / Z_2 \\ &= 97559503814491.700 / 9424.59 \\ &= 1.04E+10 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

7. Pengecekan tegangan pada kondisi momen total,

$$\sigma_{\text{deck}} = \frac{M \text{ total}}{W_{\text{deck}}} \quad (\text{N/mm})$$

$$\sigma_{\text{bottom}} = \frac{M \text{ total}}{W_{\text{bottom}}} \quad (\text{N/mm})$$

$$\begin{aligned} M \text{ still water} &= 514,740.09 \text{ kNm} \\ M \text{ Shagging} &= 802,858.51 \text{ kNm} \\ M \text{ hogging} &= 623,011.86 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen Total

(dianggap momen maximum di midship)

$$\begin{aligned} M'(x)_{\text{swmax}} &= M \text{ still water} + M \text{ shagging/hogging} \\ &= 1,317,598.61 \text{ kNm} \\ &= 1,317,598,609,267.59 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

(Geladak mengalami beban tarik, bottom mengalami beban tekan)

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{deck}} &= M'_{\text{max}}/W_{\text{deck}} \\ &= 1317598609267.59 / 10351585897.792 \\ &= 127.285 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{bottom}} &= M'_{\text{max}}/W_{\text{bottom}} \\ &= 1317598609267.59 / 12325269871.448 \\ &= 106.902 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

8. Tegangan ijin yang ditetapkan CSR untuk kekuatan memanjang adalah 190/k (N/mm), dimana “k” adalah faktor bahan. Jadi agar diterima sebagai salah satu syarat kekuatan memanjang, hasil dari σ_{deck} dan σ_{bottom} harus lebih kecil dari 190 N/mm.

9. Modulus penampang struktur nilainya harus diatas atau sama dengan modulus minimum yang ditetapkan oleh CSR Section 8/1.2.2.2 sebagai berikut:

$$Z_{v-\text{min}} = 0.9 \cdot k \cdot C_{\text{wv}} \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_b + 0.7) \cdot 10^{-6} \quad (\text{m}^3)$$

Dimana:

k = faktor bahan

C_{wv} = koefisien gelombang, nilainya diambil dari:

$$= 10.75 - \left(\frac{300-L}{100} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \text{untuk } 150 \leq L \leq 300$$

$$= 10.75 \quad \text{untuk } 300 \leq L \leq 350$$

$$= 10.75 - \left(\frac{L-350}{150} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \text{untuk } 350 \leq L \leq 500$$

L = L konstruksi (m)

B = lebar kapal (m)

C_b = koefisien block, tidak boleh kurang dari 0.7

Dari CSR-OT Section 8/1.2.2.2

$$Z_{v-min} = 0.9kC_{wv}L^2B(C_b + 0.7) \cdot 10^{-6} \quad m^3$$

Where:

- k higher strength steel factor, as defined in Section 6/1.1.4
 C_{wv} wave coefficient as defined in Table 8.1.2
 L rule length, in m, as defined in Section 4/1.1.1.1
 B moulded breadth, in m, as defined in Section 4/1.1.3.1
 C_b block coefficient, as defined in Section 4/1.1.11.1 but is not to be taken as less than 0.70

$$\begin{aligned} Z_{v-min} &= 10.19 \quad m^3 \\ &= 1.02E+10 \quad mm^3 \end{aligned}$$

Dari perhitungan Konstruksi design kapal diperoleh:

$$\begin{aligned} W_{bottom} &= 1.23E+10 \quad mm^3 \\ W_{deck} &= 1.04E+10 \quad mm^3 \end{aligned}$$

10. Momen Inersia struktur nilainya harus diatas atau sama dengan momen inersia struktur yang ditetapkan oleh CSR Section 8/1.2.2.1 sebagai berikut:

$$I_{v-min} = 2.7 \cdot k \cdot C_{wv} \cdot L^3 \cdot B \cdot (C_b + 0.7) \cdot 10^{-8} \quad (m^4)$$

Dimana:

- k = faktor bahan
 C_{wv} = koefisien gelombang:
 L = L konstruksi (m)
 B = lebar kapal (m)
 C_b = koefisien block, tidak boleh kurang dari 0.7

Momen Inersia Minimum pada Daerah midship (CSR-OT Section 8/1.2.2)

$$I_{v-min} = 2.7C_{wv}L^3B(C_b + 0.7) \cdot 10^{-8} \quad m^4$$

Dimana,

$$\begin{aligned} C_{wv} &= 9.18645845 \quad m^3 \\ L &= 165.29 \quad m \\ C_b &= 0.7798 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} I_{v-min} &= 50.55204347 \quad m^4 \\ &= 5.06E+13 \quad mm^4 \end{aligned}$$

Dimana, Momen Inersia hasil dari Perhitungan adalah:

$$I_{NA} = 9.76E+13 \quad mm^4$$

11. Rekapitulasi ketiga kriteria yang disebutkan diatas

Tabel 4.2 Rekapitulasi hasil perhitungan *longitudinal strength* kondisi struktur 85% pada tahun 2008.

Pengecekan Tegangan	S_{deck}	S_{bottom}	sp max	Ket.	Kesimpulan
Kondisi Air Tenang	127.285	106.902	190	< Teg. Max	Accepted
Pengecekan Modulus	W_{bottom}	W_{deck}	W_{min}	Ket.	Kesimpulan
	1.23E+10	1.04E+10	1.02E+10	> Wmin	Accepted
Pengecekan Momen Inersia	I_{NA}	I v-min		Ket.	Kesimpulan
	9.76E+13	5.06E+13		> I v-min	Accepted
Total Conclusion			Accepted		

12. Dari perhitungan Tegangan, Modulus, dan Momen Inersia pada konstruksi design kapal memenuhi persyaratan yang di tetapkan CSR

4.2 Perhitungan total combined stress range

4.2.1 Kondisi struktur 95% pada tahun 2008

4.2.1.1 Local connection M1

Tabel 4.3 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection* M1 kondisi struktur 95% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.71	1.13	0	0.55
bi	1.03	0.8	0	-0.18
ai	-0.18	0.34	0	0.7
bi	0.9	0.22	0	-0.3

y/B	0.419	0.732	1.274	0	0.051
z/D	0.024	0.896	0.228	0	-0.283

z	0.40	y	12.8
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	9.19E+13	Ina	2.98E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	400.00		
Zv-net 75	1.21E+10	Zh - net75	2.33E+10
sigma	57.46	sigma	17.4
vertical stress range	114.92	horizontal stress range	34.7

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Si 2 sigma Ai	f*Si	Si 2 sigma Ai	f*Si	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	84.16	28.72	42.71	2.16	42.71	2.16	121.94
	3 & 4	84.16	28.72	42.71	2.16	42.71	2.16	121.94
	5A & 5B	84.16	28.72	42.71	2.16	42.71	2.16	121.94
	6A & 6B	84.16	28.72	42.71	2.16	42.71	2.16	121.94
BC	1 & 2	94.76	18.01	42.71	-12.52	42.71	-12.52	106.26
	3 & 4	94.76	18.01	42.71	-12.52	42.71	-12.52	106.26
	5A & 5B	94.76	18.01	42.71	-12.52	42.71	-12.52	106.26
	6A & 6B	94.76	18.01	42.71	-12.52	42.71	-12.52	106.26

4.2.1.2 Local connection M2

Tabel 4.4 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection* M2 kondisi struktur 95% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.29	-0.47	0.14	0
bi	0.19	0.78	0.92	0
ai	-1.48	0.5	-0.64	0.72
bi	0.94	0.4	0.72	0.04

y/B	0.489	0.139	0.697	0.94485	0.000
z/D	0.178	0.677	0.489	0.60639	0.168

z	3.00	y	14.9
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	9.19E+13	Ina	2.98E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	3000.00		
Zv-net 75	1.84E+10	Zh - net75	2.00E+10
sigma	37.80	sigma	20.2
vertical stress range	75.60	horizontal stress range	40.5

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	10.47	28.19	27.27	0.00	27.27	0.00	68.15
	3 & 4	10.47	28.19	27.27	0.00	27.27	0.00	67.74
	5A & 5B	10.47	28.19	27.24	0.00	27.24	0.00	68.39
	6A & 6B	10.47	28.19	27.24	0.00	27.24	0.00	68.30
BC	1 & 2	51.20	16.28	27.28	1.22	27.28	1.22	93.33
	3 & 4	51.20	16.28	27.28	1.22	27.28	1.22	92.88
	5A & 5B	51.20	16.28	27.25	1.22	27.25	1.22	93.48
	6A & 6B	51.20	16.28	27.25	1.22	27.25	1.22	93.50

4.2.1.3 Local connection M3

Tabel 4.5 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection* M3 kondisi struktur 95% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.6	0.4	0	1.1
bi	1	0.4	0	0.05
ai	-0.2	1.3	0	0
bi	1	0.1	0	0

y/B	0.249	0.922	0.452	0	0.193
z/D	0.130	0.974	0.269	0	0.000

z	2.20	y	7.6
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	9.19E+13	Ina	2.98E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	2200.00		
Zv-net 75	1.59E+10	Zh - net75	3.92E+10
sigma	43.85	sigma	10.3
vertical stress range	87.70	horizontal stress range	20.6

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	80.85	9.33	27.27	5.27	27.27	5.27	101.17
	3 & 4	80.85	9.33	27.27	5.27	27.27	5.27	101.17
	5A & 5B	80.85	9.33	27.24	5.26	27.24	5.26	101.17
	6A & 6B	80.85	9.33	27.24	5.26	27.24	5.26	101.17
BC	1 & 2	85.41	2.23	27.28	0.00	27.28	0.00	92.90
	3 & 4	85.41	2.23	27.28	0.00	27.28	0.00	92.90
	5A & 5B	85.41	2.23	27.25	0.00	27.25	0.00	92.90
	6A & 6B	85.41	2.23	27.25	0.00	27.25	0.00	92.90

4.2.1.4 Local connection M4

Tabel 4.6 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M4* kondisi struktur 95% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.29	-0.47	0.14	0
bi	0.19	0.78	0.92	0
ai	-1.48	0.5	-0.64	0.72
bi	0.94	0.4	0.72	0.04

y/B	0.489	0.139	0.697	0.94485	0.000
z/D	0.178	0.677	0.489	0.60639	0.168

z	3.00	y	14.9
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	9.19E+13	Ina	2.98E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	3000.00		
Zv-net 75	1.84E+10	Zh - net75	2.00E+10
sigma	37.80	sigma	20.2
vertical stress range	75.60	horizontal stress range	40.5

	f1*Sv	f1*Sh	Se	f*Se	Se	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
Load Case	N/mm2	N/mm2	2 sigma Ai		2 sigma Ai		
FC	1 & 2	10.47	28.19	24.12	0.00	24.12	65.14
	3 & 4	10.47	28.19	24.12	0.00	24.12	65.05
	5A & 5B	10.47	28.19	24.09	0.00	24.09	65.17
	6A & 6B	10.47	28.19	24.09	0.00	24.09	65.15
BC	1 & 2	51.20	16.28	24.13	1.09	24.13	90.96
	3 & 4	51.20	16.28	24.13	1.09	24.13	90.86
	5A & 5B	51.20	16.28	24.10	1.09	24.10	90.99
	6A & 6B	51.20	16.28	24.10	1.09	24.10	90.97

4.2.1.5 Local connection M5

Tabel 4.7 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M5* kondisi struktur 95% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.71	1.13	0	0.55
bi	1.03	0.8	0	-0.18
ai	-0.18	0.34	0	0.7
bi	0.9	0.22	0	-0.3

y/B	0.393	0.751	1.244	0.000	0.036
z/D	0.025	0.896	0.228	0.000	-0.283

z	0.42	y	12.0
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	9.19E+13	Ina	2.98E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	420.19		
Zv-net 75	1.21E+10	Zh - net75	2.48E+10
sigma	57.31	sigma	16.3
vertical stress range	114.61	horizontal stress range	32.6

	f1*Sv	f1*Sh	Se	f*Se	Se	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
Load Case	N/mm2	N/mm2	2 sigma Ai		2 sigma Ai		
FC	1 & 2	86.07	26.97	44.74	1.62	44.74	121.53
	3 & 4	86.07	26.97	44.74	1.62	44.74	121.53
	5A & 5B	86.07	26.97	44.74	1.62	44.74	121.53
	6A & 6B	86.07	26.97	44.74	1.62	44.74	121.53
BC	1 & 2	95.04	17.53	44.74	-13.15	44.74	105.40
	3 & 4	95.04	17.53	44.74	-13.15	44.74	105.40
	5A & 5B	95.04	17.53	44.74	-13.15	44.74	105.40
	6A & 6B	95.04	17.53	44.74	-13.15	44.74	105.40

4.2.2 Kondisi struktur 90% pada tahun 2008

4.2.2.1 Local connection M1

Tabel 4.8 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M1* kondisi struktur 90% pada tahun 2008

Total stress range combination factors							
	f1	f2	f3	f4			
ai	-0.71	1.13	0	0.55			
bi	1.03	0.8	0	-0.18			
ai	-0.18	0.34	0	0.7			
bi	0.9	0.22	0	-0.3			

y/B	0.419	0.732	1.274	0.000	0.051		
z/D	0.024	0.896	0.228	0.000	-0.283		

z	0.40	y	12.8
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	8.65E+13	Ina	2.81E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	400.00		
Zv-net 75	1.14E+10	Zh - net75	2.20E+10
sigma	61.12	sigma	18.4
vertical stress range	122.23	horizontal stress range	36.8

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	89.51	30.46	43.61	2.21	43.61	2.21	129.51
	3 & 4	89.51	30.46	43.61	2.21	43.61	2.21	129.51
	5A & 5B	89.51	30.46	43.61	2.21	43.61	2.21	129.51
	6A & 6B	89.51	30.46	43.61	2.21	43.61	2.21	129.51
BC	1 & 2	100.78	18.47	43.61	-12.79	43.61	-12.79	112.86
	3 & 4	100.78	18.47	43.61	-12.79	43.61	-12.79	112.86
	5A & 5B	100.78	18.47	43.62	-12.79	43.62	-12.79	112.86
	6A & 6B	100.78	18.47	43.62	-12.79	43.62	-12.79	112.86

4.2.2.2 Local connection M2

Tabel 4.9 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M2* kondisi struktur 90% pada tahun 2008

Total stress range combination factors							
	f1	f2	f3	f4			
ai	-0.29	-0.47	0.14	0			
bi	0.19	0.78	0.92	0			
ai	-1.48	0.5	-0.64	0.72			
bi	0.94	0.4	0.72	0.04			

y/B	0.000	0.139	0.697	0.945	0.000		
z/D	0.000	0.677	0.489	0.606	0.168		

z	3.00	y	14.9
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	8.65E+13	Ina	2.81E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	3000.00		
Zv-net 75	1.73E+10	Zh - net75	1.88E+10
sigma	40.22	sigma	21.5
vertical stress range	80.44	horizontal stress range	42.9

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	11.14	29.90	27.78	0.00	27.78	0.00	71.16
	3 & 4	11.14	29.90	27.78	0.00	27.78	0.00	70.73
	5A & 5B	11.14	29.90	27.74	0.00	27.74	0.00	71.43
	6A & 6B	11.14	29.90	27.74	0.00	27.74	0.00	71.33
BC	1 & 2	54.48	17.26	27.78	1.24	27.78	1.24	98.24
	3 & 4	54.48	17.26	27.78	1.24	27.78	1.24	97.76
	5A & 5B	54.48	17.26	27.75	1.24	27.75	1.24	98.41
	6A & 6B	54.48	17.26	27.75	1.24	27.75	1.24	98.42

4.2.2.3 Local connection M3

Tabel 4.10 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M3* kondisi struktur 90% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.6	0.4	0	1.1
bi	1	0.4	0	0.05
ai	-0.2	1.3	0	0
bi	1	0.1	0	0

y/B	0.249	0.922	0.452	0.000	0.193
z/D	0.130	0.974	0.269	0.000	0.000

z	2.20	y	7.6
M	6.95E+11	M	4.04E+11
I _{na}	8.65E+13	I _{na}	2.81E+14
Z _{na-net 50}	8.00E+03		
z critical area	2200.00		
Z _{v-net 75}	1.49E+10	Z _{h-net75}	3.69E+10
sigma	46.65	sigma	10.9
vertical stress range	93.30	horizontal stress range	21.9

	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]	
FC	1 & 2	86.01	9.90	27.78	5.37	27.78	5.37	107.35
	3 & 4	86.01	9.90	27.78	5.37	27.78	5.37	107.35
	5A & 5B	86.01	9.90	27.74	5.36	27.74	5.36	107.34
	6A & 6B	86.01	9.90	27.74	5.36	27.74	5.36	107.34
BC	1 & 2	90.87	2.36	27.78	0.00	27.78	0.00	98.82
	3 & 4	90.87	2.36	27.78	0.00	27.78	0.00	98.82
	5A & 5B	90.87	2.36	27.75	0.00	27.75	0.00	98.82
	6A & 6B	90.87	2.36	27.75	0.00	27.75	0.00	98.82

4.2.2.4 Local connection M4

Tabel 4.11 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M4* kondisi struktur 90% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.29	-0.47	0.14	0
bi	0.19	0.78	0.92	0
ai	-1.48	0.5	-0.64	0.72
bi	0.94	0.4	0.72	0.04

y/B	0.489	0.139	0.697	0.945	0.000
z/D	0.178	0.677	0.489	0.606	0.168

z	3.00	y	14.9
M	6.95E+11	M	4.04E+11
I _{na}	8.65E+13	I _{na}	2.81E+14
Z _{na-net 50}	8.00E+03		
z critical area	3000.00		
Z _{v-net 75}	1.73E+10	Z _{h-net75}	1.88E+10
sigma	40.22	sigma	21.5
vertical stress range	80.44	horizontal stress range	42.9

	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]	
FC	1 & 2	11.14	29.90	24.57	0.00	24.57	0.00	68.11
	3 & 4	11.14	29.90	24.57	0.00	24.57	0.00	68.02
	5A & 5B	11.14	29.90	24.54	0.00	24.54	0.00	68.14
	6A & 6B	11.14	29.90	24.54	0.00	24.54	0.00	68.12
BC	1 & 2	54.48	17.26	24.58	1.11	24.58	1.11	95.84
	3 & 4	54.48	17.26	24.58	1.11	24.58	1.11	95.73
	5A & 5B	54.48	17.26	24.55	1.11	24.55	1.11	95.87
	6A & 6B	54.48	17.26	24.55	1.11	24.55	1.11	95.84

4.2.2.5 Local connection M5

Tabel 4.12 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M5* kondisi struktur 90% pada tahun 2008

Total stress range combination factors							
	f1	f2	f3	f4			
ai	-0.71	1.13	0	0.55			
bi	1.03	0.8	0	-0.18			
ai	-0.18	0.34	0	0.7			
bi	0.9	0.22	0	-0.3			

y/B	0.393	1.030	0.800	0.000	-0.180		
z/D	0.025	0.900	0.220	0.000	-0.300		

z	0.42	y	12.0				
M	6.95E+11	M	4.04E+11				
Ina	8.65E+13	Ina	2.81E+14				
Zna-net 50	8.00E+03						
z critical area	418.96						
Zv-net 75	1.14E+10	Zh - net75	2.34E+10				
sigma	60.96	sigma	17.3				
vertical stress range	121.93	horizontal stress range	34.5				

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	91.56	28.60	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	3 & 4	91.56	28.60	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	5A & 5B	91.56	28.60	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	6A & 6B	91.56	28.60	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
BC	1 & 2	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112.00
	3 & 4	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112.00
	5A & 5B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112.00
	6A & 6B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112.00

4.2.3 Kondisi struktur 85% pada tahun 2008

4.2.3.1 Local connection M1

Tabel 4.13 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M1* kondisi struktur 85% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.71	1.13	0	0.55
bi	1.03	0.8	0	-0.18
ai	-0.18	0.34	0	0.7
bi	0.9	0.22	0	-0.3

y/B	0.419	1.030	0.800	0.000	-0.180
z/D	0.024	0.900	0.220	0.000	-0.300

z	0.42	y	12
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	8.65E+13	Ina	2.81E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	418.96		
Zv-net 75	1.14E+10	Zh - net75	2.34E+10
sigma	60.96	sigma	17.3
vertical stress range	121.93	horizontal stress range	34.5

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	3 & 4	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	5A & 5B	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	6A & 6B	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
BC	1 & 2	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	3 & 4	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	5A & 5B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	6A & 6B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112

4.2.3.2 Local connection M2

Tabel 4.14 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M2* kondisi struktur 85% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.71	1.13	0	0.55
bi	1.03	0.8	0	-0.18
ai	-0.18	0.34	0	0.7
bi	0.9	0.22	0	-0.3

y/B	0.489	1.030	0.800	0.000	-0.180
z/D	0.178	0.900	0.220	0.000	-0.300

z	0.42	y	12
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	8.65E+13	Ina	2.81E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	418.96		
Zv-net 75	1.14E+10	Zh - net75	2.34E+10
sigma	60.96	sigma	17.3
vertical stress range	121.93	horizontal stress range	34.5

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	3 & 4	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	5A & 5B	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	6A & 6B	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
BC	1 & 2	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	3 & 4	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	5A & 5B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	6A & 6B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112

4.2.3.3 Local connection M3

Tabel 4.15 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M3* kondisi struktur 85% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.71	1.13	0	0.55
bi	1.03	0.8	0	-0.18
ai	-0.18	0.34	0	0.7
bi	0.9	0.22	0	-0.3

y/B	0.249	0.922	0.452	0.000	0.193
z/D	0.130	0.974	0.269	0.000	0.000

z	0.42	y	12
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	8.65E+13	Ina	2.81E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	418.96		
Zv-net 75	1.14E+10	Zh - net75	2.34E+10
sigma	60.96	sigma	17.3
vertical stress range	121.93	horizontal stress range	34.5

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	3 & 4	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	5A & 5B	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	6A & 6B	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
BC	1 & 2	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	3 & 4	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	5A & 5B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	6A & 6B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112

4.2.3.4 Local connection M4

Tabel 4.16 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M4* kondisi struktur 85% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.71	1.13	0	0.55
bi	1.03	0.8	0	-0.18
ai	-0.18	0.34	0	0.7
bi	0.9	0.22	0	-0.3

y/B	0.489	0.139	0.697	0.945	0.000
z/D	0.178	0.677	0.489	0.606	0.168

z	0.42	y	12
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	8.65E+13	Ina	2.81E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	418.96		
Zv-net 75	1.14E+10	Zh - net75	2.34E+10
sigma	60.96	sigma	17.3
vertical stress range	121.93	horizontal stress range	34.5

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	3 & 4	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	5A & 5B	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	6A & 6B	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
BC	1 & 2	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	3 & 4	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	5A & 5B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	6A & 6B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112

4.2.3.5 Local connection M5

Tabel 4.17 Tabel perhitungan *total combined stress range* pada *local connection M4* kondisi struktur 85% pada tahun 2008

Total stress range combination factors

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.71	1.13	0	0.55
bi	1.03	0.8	0	-0.18
ai	-0.18	0.34	0	0.7
bi	0.9	0.22	0	-0.3

y/B	0.393	1.030	0.800	0.000	-0.180
z/D	0.025	0.900	0.220	0.000	-0.300

z	0.42	y	12
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	8.65E+13	Ina	2.81E+14
Zna-net 50	8.00E+03		
z critical area	418.96		
Zv-net 75	1.14E+10	Zh - net75	2.34E+10
sigma	60.96	sigma	17.3
vertical stress range	121.93	horizontal stress range	34.5

	Load Case	f1*Sv N/mm2	f1*Sh N/mm2	Se 2 sigma Ai	f*Se	Se 2 sigma Ai	f*Se	Total Stress Range [N/mm2]
FC	1 & 2	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	3 & 4	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	5A & 5B	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
	6A & 6B	91.56	28.6	45.63	1.65	45.63	1.65	129.12
BC	1 & 2	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	3 & 4	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	5A & 5B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112
	6A & 6B	101.11	17.97	45.63	-13.41	45.63	-13.41	112

4.3 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage*

Pada perhitungan *stress range* (Sri), input yang digunakan adalah hasil perhitungan komputasi pada model *finite element* yang berupa tegangan. Nilai tegangan dari tiap lokasi tinjauan tersebut dikalikan dengan tabulasi SCF sesuai dengan tipe dan kelas sambungan. Selanjutnya dimasukkan kedalam tabel perhitungan pada sub bab ini dengan index Shog/S1 untuk hasil kalkulasi load case hogging dan index Ssag/S2 untuk hasil kalkulasi load case sagging. Namun perlu diketahui, nilai tegangan hasil perhitungan komputasi pada model *finite element* yang diambil itu nilainya berdasarkan kondisi deformasi yang ditimbulkan. Kondisi deformasi profil mengakibatkan terjadinya kondisi beban tarik (*tensile*) yang memiliki nilai positif dan beban tekan (*compression*) yang memiliki nilai negatif pada kedua permukaan profil. Kondisi deformasi tersebut direkap seberti tabel 4.18 dan 4.19. Selanjutnya nilai S1 dan S2 dikelompokkan berdasarkan kombinasi *load case* untuk mendapatkan siklus tegangan, sehingga dapat diketahui nilai *stress mean*. *Stress mean* digunakan dalam perhitungan *stress range* untuk mendapatkan nilai *fatigue damage* (DMi). *Fatigue damage* merupakan estimasi nilai kerusakan dalam kurun waktu 25 tahun kapal tersebut beropereasi. Besar nilainya merupakan penjumlahan *damage* dari setiap kombinasi loadcase pada kondisi muatan penuh dan *ballast*.

Tabel 4.18 kondisi deformasi pada lokasi tinjauan *fatigue* kondisi pembebanan *full load*

F U L L O A C	kompartemen 1	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5a+5b		LC 6a+6b	
						KIRI	KANAN	KIRI	KANAN
	BOTTOM	C	T	C	C	T	T	T	T
	BULKHEAD	C	C	C	C	T	C	C	C
	SIDE	C	T	T	C	T	T	T	T
	kompartemen 2	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5a+5b		LC 6a+6b	
						KIRI	KANAN	KIRI	KANAN
	BOTTOM	C	T	T	C	T	T	T	T
	BULKHEAD	T	T	T	C	C	C	T	C
	SIDE	C	T	C	C	T	T	T	C
	kompartemen 3	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5a+5b		LC 6a+6b	
						KIRI	KANAN	KIRI	KANAN
	BOTTOM	C	T	C	C	T	T	T	T
	BULKHEAD	C	C	C	C	T	C	C	C
	SIDE	C	T	T	C	T	T	T	T

Tabel 4.19 kondisi deformasi pada lokasi tinjauan *fatigue* kondisi pembebanan *ballast*

B A L L A S T	kompartemen 1	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5a+5b		LC 6a+6b	
						KIRI	KANAN	KIRI	KANAN
	BOTTOM	C	T	T	C	T	T	T	T
	BULKHEAD	T	C	C	C	C	C	C	T
	SIDE	C	T	C	C	T	T	T	C
	kompartemen 2	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5a+5b		LC 6a+6b	
						KIRI	KANAN	KIRI	KANAN
	BOTTOM	C	T	C	C	T	T	T	T
	BULKHEAD	C	C	C	C	C	C	T	C
	SIDE	C	T	T	C	T	T	T	T
	kompartemen 3	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5a+5b		LC 6a+6b	
						KIRI	KANAN	KIRI	KANAN
	BOTTOM	C	T	T	C	T	T	T	T
	BULKHEAD	T	C	C	C	C	C	C	T
	SIDE	C	T	C	C	T	T	T	C

Keterangan Tabel 4.18 dan 4.19:

C = profil mengalami beban tekan, memiliki nilai negatif (-)

T = profil mengalami beban tarik, memiliki nilai positif (+)

4.3.1 Stress range dan fatigue damage kondisi struktur 95% pada 2008

4.3.1.1 Local connection M1

Tabel 4.20 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M1 frame 65, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	19	-34	122	-8	53	-69	94.493298	0.2397659
	3 & 4	-15	-24	122	-19	42	-80	89.841903	0.1983833
	5A & 5B	22	24	122	23	84	-38	106.66717	0.3732628
	6A & 6B	19	19	122	19	80	-42	105.13732	0.3543836
BC	1 & 2	38	-25	106	7	60	-46	87.711852	0.1810958
	3 & 4	16	-21	106	-2	51	-56	84.027192	0.1535623
	5A & 5B	22	25	106	23	77	-30	94.383699	0.2387321
	6A & 6B	16	19	106	17	71	-36	92.007549	0.217021

Tabel 4.21 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M1 frame 58, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	38	-68	122	-15	46	-76	91.466148	0.2122599
	3 & 4	15	-48	122	-17	44	-78	90.909543	0.2074361
	5A & 5B	43	48	122	46	107	-15	115.78117	0.499077
	6A & 6B	39	37	122	38	99	-23	112.65637	0.4533119
BC	1 & 2	38	-49	106	-6	48	-59	82.796802	0.1450189
	3 & 4	-16	-41	106	-28	25	-81	73.689312	0.0913136
	5A & 5B	44	50	106	47	100	-6	103.72555	0.3375132
	6A & 6B	33	55	106	44	97	-9	102.68395	0.3254016

Tabel 4.22 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M1 frame 51, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	19	-68	122	-25	36	-86	87.690348	0.1809265
	3 & 4	-15	-48	122	-31	30	-92	85.057053	0.160961
	5A & 5B	22	48	122	35	96	-26	111.45202	0.4364152
	6A & 6B	19	37	122	28	89	-33	108.81547	0.4008393
BC	1 & 2	38	-49	106	-6	48	-59	82.796802	0.1450189
	3 & 4	16	-21	106	-2	51	-56	84.027192	0.1535623
	5A & 5B	44	50	106	47	100	-6	103.72555	0.3375132
	6A & 6B	33	37	106	35	88	-18	99.005799	0.2848691

4.3.1.2 Local connection M2

Tabel 4.23 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M2 frame* 65, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	17	-35	68	-9	25	-43	50.936951	0.0301027
	3 & 4	17	-19	68	-1	33	-35	53.77192	0.0386464
	5A & 5B	30	26	68	28	62	-6	65.84595	0.0947472
	6A & 6B	21	19	68	20	54	-14	62.712883	0.0767952
BC	1 & 2	20	-22	93	-1	46	-48	74.238471	0.1563378
	3 & 4	-20	-20	93	-20	27	-66	66.327567	0.097738
	5A & 5B	28	23	93	25	72	-21	84.975432	0.2674293
	6A & 6B	22	-43	93	-11	36	-57	70.568237	0.1268694

Tabel 4.24 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M2 frame* 58, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	41	-70	68	-15	20	-49	48.691001	0.0243797
	3 & 4	-17	-38	68	-27	7	-61	43.35592	0.014023
	5A & 5B	60	52	68	56	90	22	77.04315	0.1816717
	6A & 6B	43	-57	68	-7	27	-41	51.841183	0.0326618
BC	1 & 2	20	-67	93	-24	23	-70	65.254671	0.091161
	3 & 4	20	-41	93	-11	36	-57	70.038267	0.1229472
	5A & 5B	28	47	93	37	84	-10	89.630082	0.3280824
	6A & 6B	22	43	93	32	79	-14	87.754637	0.3026877

Tabel 4.25 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M2 frame* 51, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	17	-70	68	-27	8	-61	43.906151	0.0149012
	3 & 4	17	-19	68	-1	33	-35	53.77192	0.0386464
	5A & 5B	30	52	68	41	75	7	71.0214	0.1302886
	6A & 6B	21	38	68	30	64	-5	66.488683	0.0987527
BC	1 & 2	41	-45	93	-2	45	-49	73.815321	0.1527307
	3 & 4	-20	-20	93	-20	27	-66	66.327567	0.097738
	5A & 5B	55	23	93	39	86	-8	90.476382	0.3399728
	6A & 6B	22	-21	93	0	47	-47	74.864837	0.1617796

4.3.1.3 Local connection M3

Tabel 4.26 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M3 frame* 65, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	-17	-34	101	-25	25	-76	70.78409	0.12849
	3 & 4	-13	-24	101	-19	32	-69	73.50527	0.15012
	5A & 5B	26	-24	101	1	51	-50	81.25931	0.22458
	6A & 6B	-24	19	101	-3	48	-53	79.82711	0.20934
BC	1 & 2	-19	25	93	3	49	-44	75.43032	0.16680
	3 & 4	-16	-21	93	-18	28	-65	67.10403	0.10269
	5A & 5B	-26	-28	93	-27	19	-74	63.48447	0.08098
	6A & 6B	-17	30	93	6	53	-40	76.89507	0.18027

Tabel 4.27 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M3 frame* 58, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	34	68	101	51	101	0	101.21834	0.5152383
	3 & 4	27	-48	101	-11	40	-61	76.675637	0.1782091
	5A & 5B	-51	-48	101	-49	1	-100	61.143406	0.0687485
	6A & 6B	48	38	101	43	94	-8	98.152756	0.4604938
BC	1 & 2	-38	-49	93	-44	3	-90	56.779171	0.0494719
	3 & 4	-16	-41	93	-28	18	-75	63.002731	0.078349
	5A & 5B	-26	-56	93	-41	5	-87	57.918421	0.0540813
	6A & 6B	17	-30	93	-6	40	-53	71.752171	0.1359309

Tabel 4.28 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M3 frame* 51, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	-17	-34	101	-25	25	-76	70.784087	0.1284905
	3 & 4	-13	-48	101	-31	20	-81	68.720417	0.1135476
	5A & 5B	26	-48	101	-11	39	-62	76.474456	0.176332
	6A & 6B	-24	-38	101	-31	20	-82	68.564806	0.1124706
BC	1 & 2	-19	25	93	3	49	-44	75.430321	0.1667983
	3 & 4	-16	-21	93	-18	28	-65	67.104031	0.1026935
	5A & 5B	-26	-28	93	-27	19	-74	63.484471	0.0809789
	6A & 6B	-17	30	93	6	53	-40	76.895071	0.1802713

4.3.1.4 Local connection M4

Tabel 4.29 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M4 frame* 68, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compression	Sri	D
FC	1 & 2	12	-24	65	-6	27	-39	49.69023	0.02682
	3 & 4	11	-13	65	-1	32	-33	51.66807	0.03216
	5A & 5B	19	35	65	27	60	-6	62.94359	0.07803
	6A & 6B	55	26	65	40	73	8	65.14897	0.09053
BC	1 & 2	13	-30	91	-9	37	-54	69.32829	0.11782
	3 & 4	-13	-14	91	-14	32	-59	67.28672	0.10388
	5A & 5B	37	32	91	34	80	-11	86.55018	0.28706
	6A & 6B	29	-15	91	7	53	-38	75.74966	0.16968

Tabel 4.30 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M4 frame* 62, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compression	Sri	D
FC	1 & 2	47	-71	65	-12	20	-45	47.22063	0.02109
	3 & 4	-22	-38	65	-30	2	-63	39.91542	0.00939
	5A & 5B	95	70	65	83	115	50	65.17387	0.09068
	6A & 6B	68	-26	65	21	54	-11	60.69663	0.06657
BC	1 & 2	26	-61	91	-17	28	-63	65.88849	0.09501
	3 & 4	13	-41	91	-14	31	-60	67.04417	0.10231
	5A & 5B	93	63	91	78	124	33	90.98873	0.34730
	6A & 6B	59	15	91	37	82	-9	87.45821	0.29879

Tabel 4.31 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M4 frame* 54, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compression	Sri	D
FC	1 & 2	47	-71	65	-12	20	-45	47.22063	0.02109
	3 & 4	22	-51	65	-14	18	-47	46.37607	0.01936
	5A & 5B	95	70	65	83	115	50	65.17387	0.09068
	6A & 6B	68	26	65	47	80	14	65.14897	0.09053
BC	1 & 2	53	-76	91	-12	34	-57	68.15964	0.10970
	3 & 4	-13	-41	91	-27	18	-73	61.75217	0.07180
	5A & 5B	93	63	91	78	124	33	90.98873	0.34730
	6A & 6B	59	-29	91	15	60	-31	78.72641	0.19809

4.3.1.5 Local connection M5

Tabel 4.32 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M5 frame 51, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	13	-24	122	-5	55	-66	95.05537	0.38999
	3 & 4	-10	-17	122	-14	47	-74	91.75438	0.34352
	5A & 5B	15	17	122	16	77	-45	103.69491	0.53004
	6A & 6B	14	13	122	13	74	-47	102.60921	0.51093
BC	1 & 2	27	-18	105	5	57	-48	86.23594	0.27403
	3 & 4	11	-15	105	-2	51	-54	83.62102	0.24455
	5A & 5B	16	18	105	17	69	-36	90.97042	0.33303
	6A & 6B	12	13	105	12	65	-40	89.28412	0.31117

Tabel 4.33 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M5 frame 58, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	27	-48	122	-11	50	-72	92.90707	0.35932
	3 & 4	10	-34	122	-12	49	-73	92.51206	0.35385
	5A & 5B	31	34	122	32	93	-28	110.16291	0.65336
	6A & 6B	27	26	122	27	88	-34	107.94531	0.60923
BC	1 & 2	27	-35	105	-4	49	-57	82.74784	0.23518
	3 & 4	-11	-29	105	-20	33	-73	76.28446	0.17297
	5A & 5B	31	35	105	33	86	-19	97.60012	0.42842
	6A & 6B	23	39	105	31	84	-21	96.86092	0.41702

Tabel 4.34 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M5 frame 51, kondisi struktur 95% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	13	-48	122	-17	43	-78	90.22747	0.32328
	3 & 4	-10	-34	122	-22	39	-83	88.35868	0.29957
	5A & 5B	31	34	122	32	93	-28	110.16291	0.65336
	6A & 6B	14	26	122	20	81	-41	105.21951	0.55765
BC	1 & 2	27	-35	105	-4	49	-57	82.74784	0.23518
	3 & 4	11	-15	105	-2	51	-54	83.62102	0.24455
	5A & 5B	31	35	105	33	86	-19	97.60012	0.42842
	6A & 6B	23	26	105	25	78	-28	94.25062	0.37831

4.3.2 Stress range dan fatigue damage kondisi struktur 90% pada 2008

4.3.2.1 Local connection M1

Tabel 4.35 Rekapitulasi stress range dan fatigue damage pada local connection M1 frame 65, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	15	-35	130	-10	55	-75	99.56367	0.29080
	3 & 4	-15	-25	130	-20	45	-85	95.70649	0.25140
	5A & 5B	41	25	130	33	98	-32	116.75675	0.51394
	6A & 6B	30	20	130	25	90	-40	113.56685	0.46636
BC	1 & 2	20	-26	113	-3	53	-59	89.11375	0.19236
	3 & 4	8	-25	113	-8	48	-65	86.90035	0.17478
	5A & 5B	22	27	113	24	81	-32	100.08220	0.29637
	6A & 6B	15	32	113	24	80	-33	99.76646	0.29297

Tabel 4.36 Rekapitulasi stress range dan fatigue damage pada local connection M1 frame 58, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	30	-71	130	-20	45	-85	95.53398	0.24973
	3 & 4	15	-50	130	-18	47	-82	96.56581	0.25986
	5A & 5B	41	50	130	45	110	-19	121.80200	0.59531
	6A & 6B	30	40	130	35	100	-30	117.57050	0.52656
BC	1 & 2	40	-52	113	-6	50	-62	87.90940	0.18266
	3 & 4	-8	-49	113	-28	28	-85	78.92560	0.12019
	5A & 5B	44	53	113	49	105	-8	109.78210	0.41366
	6A & 6B	30	48	113	39	96	-17	106.00630	0.36503

Tabel 4.37 Rekapitulasi stress range dan fatigue damage pada local connection M1 frame 51, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	s tensile	s compressi on	Sri	D
FC	1 & 2	15	-71	130	-28	37	-93	92.50032	0.22141
	3 & 4	-15	-50	130	-32	33	-97	90.72634	0.20586
	5A & 5B	41	50	130	45	110	-19	121.80200	0.59531
	6A & 6B	30	40	130	35	100	-30	117.57050	0.52656
BC	1 & 2	40	-52	113	-6	50	-62	87.90940	0.18266
	3 & 4	8	-25	113	-8	48	-65	86.90035	0.17478
	5A & 5B	44	53	113	49	105	-8	109.78210	0.41366
	6A & 6B	30	32	113	31	88	-25	102.78385	0.32655

4.3.2.2 Local connection M2

Tabel 4.38 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M2 frame 65*, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	20	-28	71	-4	31	-40	55.2049	0.04356842
	3 & 4	19	-21	71	-1	35	-36	56.2916	0.04758674
	5A & 5B	32	27	71	29	65	-6	68.8588	0.11451105
	6A & 6B	23	22	71	22	58	-14	65.9156	0.09517607
BC	1 & 2	22	-28	98	-3	46	-52	77.4833	0.18587664
	3 & 4	-22	-23	98	-23	26	-72	69.0587	0.11591284
	5A & 5B	31	27	98	29	78	-20	90.3777	0.33857237
	6A & 6B	25	-25	98	0	49	-49	78.8033	0.28736189

Tabel 4.39 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M2 frame58*, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	40	-57	71	-9	27	-44	53.4798	0.03769402
	3 & 4	-19	-41	71	-30	5	-65	44.6062	0.01607757
	5A & 5B	32	54	71	43	78	7	71.4260	0.13339275
	6A & 6B	45	-43	71	1	37	-35	57.5177	0.05242718
BC	1 & 2	22	-56	98	-17	32	-66	71.8522	0.13671549
	3 & 4	22	-47	98	-12	37	-61	73.3228	0.14860176
	5A & 5B	31	54	98	43	92	-7	95.7810	0.42077179
	6A & 6B	25	49	98	37	86	-12	93.5159	0.3849297

Tabel 4.40 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M2 frame51*, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
1 & 2	1 & 2	20	-57	71	-19	17	-54	49.50866	0.02636165
	3 & 4	19	-41	71	-11	24	-46	52.22289	0.03378796
	5A & 5B	32	54	71	43	78	7	71.42598	0.13339275
	6A & 6B	23	43	71	33	69	-3	70.21224	0.12422569
1 & 2	1 & 2	22	-28	98	-3	46	-52	77.48333	0.18587664
	3 & 4	-22	-23	98	-23	26	-72	69.05872	0.11591284
	5A & 5B	31	27	98	29	78	-20	90.37770	0.33857237
	6A & 6B	25	-25	98	0	49	-49	78.80326	0.19886573

4.3.2.3 Local connection M3

Tabel 4.41 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M3 frame* 65, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compression	Sri	D
FC	1 & 2	-18	-35	107	-27	27	-81	75.1406	0.16421445
	3 & 4	-15	-25	107	-20	34	-73	78.0213	0.19110132
	5A & 5B	22	-25	107	-1	52	-55	85.2899	0.27127869
	6A & 6B	-21	20	107	0	53	-54	85.6805	0.27610949
BC	1 & 2	-20	26	99	3	52	-46	80.2618	0.21389151
	3 & 4	-17	-22	99	-20	30	-69	71.1478	0.13125353
	5A & 5B	-22	-26	99	-24	25	-73	69.4227	0.11849425
	6A & 6B	-17	19	99	1	50	-48	79.4806	0.2057553

Tabel 4.42 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M3 frame* 58, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compression	Sri	D
FC	1 & 2	37	71	107	54	107	0	107.3977	0.63764931
	3 & 4	15	-50	107	-18	36	-71	78.8350	0.19918537
	5A & 5B	-45	-50	107	-48	6	-101	66.8666	0.10116052
	6A & 6B	42	40	107	41	95	-12	102.3786	0.53697924
BC	1 & 2	-40	-52	99	-46	4	-95	60.7644	0.06689644
	3 & 4	-17	-45	99	-31	18	-80	66.6559	0.09981354
	5A & 5B	-44	-52	99	-48	1	-98	59.7879	0.06228465
	6A & 6B	35	-39	99	-2	47	-51	78.2437	0.19328967

Tabel 4.43 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M3 frame* 51, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compression	Sri	D
FC	1 & 2	-18	-35	107	-27	27	-81	75.1406	0.16421445
	3 & 4	-15	-25	107	-20	34	-73	78.0213	0.19110132
	5A & 5B	22	-25	107	-1	52	-55	85.2899	0.27127869
	6A & 6B	-21	-20	107	-21	33	-74	77.6081	0.18707995
BC	1 & 2	-20	26	99	3	52	-46	80.2618	0.21389151
	3 & 4	-17	-22	99	-20	30	-69	71.1478	0.13125353
	5A & 5B	-22	-26	99	-24	25	-73	69.4227	0.11849425
	6A & 6B	-17	19	99	1	50	-48	79.4806	0.2057553

4.3.2.4 Local connection M4

Tabel 4.44 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M4 frame 68, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	13	-39	68	-13	21	-47	49.4628	0.02624758
	3 & 4	13	-28	68	-7	27	-41	51.4574	0.03047536
	5A & 5B	21	18	68	20	54	-14	62.4533	0.0754219
	6A & 6B	15	15	68	15	49	-19	60.3813	0.06505987
BC	1 & 2	15	-18	96	-1	47	-49	76.1174	0.17303237
	3 & 4	-15	-16	96	-15	32	-63	70.3877	0.12552397
	5A & 5B	21	18	96	20	67	-28	84.4989	0.26166303
	6A & 6B	17	-17	96	0	48	-48	76.7179	0.17860495

Tabel 4.45 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M4 frame 62, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	40	-58	68	-9	25	-43	50.9843	0.03023297
	3 & 4	-13	-42	68	-27	7	-61	43.5194	0.01427975
	5A & 5B	86	73	68	79	113	45	68.1441	0.10959356
	6A & 6B	59	-15	68	22	56	-12	63.4242	0.08064653
BC	1 & 2	30	-54	96	-12	36	-60	71.9720	0.13765919
	3 & 4	15	-48	96	-16	32	-64	70.1010	0.12340749
	5A & 5B	81	72	96	77	125	29	95.8665	0.42216409
	6A & 6B	67	17	96	42	90	-6	93.4538	0.38397659

Tabel 4.46 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M4 frame 54, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
1 & 2	1 & 2	54	-77	68	-12	22	-46	49.7936	0.02707924
	3 & 4	13	-55	68	-21	13	-55	45.9229	0.01847726
	5A & 5B	86	73	68	79	113	45	68.1441	0.10959356
	6A & 6B	59	29	68	44	78	10	68.1174	0.10941253
1 & 2	1 & 2	61	-72	96	-6	42	-53	74.4636	0.15827967
	3 & 4	-15	-48	96	-31	17	-79	64.0593	0.08419548
	5A & 5B	81	72	96	77	125	29	95.8665	0.42216409
	6A & 6B	67	-34	96	17	64	-31	83.2888	0.24738239

4.3.2.5 Local connection M5

Tabel 4.47 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M5 frame* 65, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	11	-25	129	-7	57	-72	100.4232	0.47378405
	3 & 4	-10	-18	129	-14	51	-79	97.6858	0.42975619
	5A & 5B	29	18	129	23	88	-41	112.6247	0.70467273
	6A & 6B	21	14	129	18	82	-47	110.3609	0.65740032
BC	1 & 2	14	-18	112	-2	54	-58	88.7708	0.3047035
	3 & 4	5	-17	112	-6	50	-62	87.2000	0.28545159
	5A & 5B	16	19	112	17	73	-39	96.5545	0.41235219
	6A & 6B	11	23	112	17	73	-39	96.3304	0.40895935

Tabel 4.48 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M5 frame* 58, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	22	-50	129	-14	50	-79	97.5634	0.42785057
	3 & 4	10	-35	129	-12	52	-77	98.2956	0.43932885
	5A & 5B	29	36	129	32	97	-32	116.2052	0.78374941
	6A & 6B	21	29	129	25	89	-40	113.2022	0.71706717
BC	1 & 2	28	-37	112	-4	52	-60	87.9161	0.2941283
	3 & 4	-5	-35	112	-20	36	-76	81.5405	0.22261197
	5A & 5B	32	38	112	35	91	-21	103.4383	0.52548643
	6A & 6B	21	34	112	28	84	-28	100.7587	0.47937007

Tabel 4.49 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M5 frame* 51, kondisi struktur 90% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
1 & 2	1 & 2	11	-50	129	-20	45	-84	95.4105	0.39521582
	3 & 4	-10	-35	129	-23	42	-87	94.1515	0.37689109
	5A & 5B	29	36	129	32	97	-32	116.2052	0.78374941
	6A & 6B	21	29	129	25	89	-40	113.2022	0.71706717
1 & 2	1 & 2	28	-37	112	-4	52	-60	87.9161	0.2941283
	3 & 4	5	-17	112	-6	50	-62	87.2000	0.28545159
	5A & 5B	32	38	112	35	91	-21	103.4383	0.52548643
	6A & 6B	21	23	112	22	78	-34	98.4718	0.44211902

4.3.3 Stress range dan fatigue damage kondisi struktur 85% pada 2008

4.3.3.1 Local connection M1

Tabel 4.50 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M1 frame 65, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compression	Sri	D
FC	1 & 2	15	-45	127	-15	48	-78	95.3195	0.2476523
	3 & 4	-7	-16	127	-11	52	-75	96.7550	0.26174721
	5A & 5B	20	22	127	21	85	-42	109.8338	0.41435101
	6A & 6B	26	16	127	21	84	-43	109.6157	0.41143315
BC	1 & 2	17	-24	108	-3	51	-57	85.2434	0.16232385
	3 & 4	8	-16	108	-4	50	-58	84.8658	0.15956967
	5A & 5B	22	43	108	32	86	-22	99.4994	0.29010828
	6A & 6B	14	32	108	23	77	-31	95.7529	0.25185437

Tabel 4.51 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M1 frame 58, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compression	Sri	D
FC	1 & 2	31	-45	127	-7	56	-71	98.3760	0.27827222
	3 & 4	7	-32	127	-13	51	-76	96.2928	0.25715386
	5A & 5B	40	67	127	53	117	-10	122.7236	0.61100327
	6A & 6B	26	32	127	29	92	-35	112.7633	0.45483109
BC	1 & 2	34	-48	108	-7	47	-61	83.9088	0.15272639
	3 & 4	-8	-33	108	-20	34	-74	78.4274	0.11721048
	5A & 5B	22	43	108	32	86	-22	99.4994	0.29010828
	6A & 6B	14	47	108	31	85	-23	98.9102	0.28386148

Tabel 4.52 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection* M1 frame 51, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compression	Sri	D
1 & 2	1 & 2	15	-45	127	-15	48	-78	95.3195	0.2476523
	3 & 4	-7	-32	127	-19	44	-83	93.5586	0.23104129
	5A & 5B	20	44	127	32	96	-31	114.2606	0.47645648
	6A & 6B	26	47	127	36	100	-27	115.9206	0.50118458
1 & 2	1 & 2	34	-48	108	-7	47	-61	83.9088	0.15272639
	3 & 4	8	-33	108	-12	42	-67	81.5782	0.13687062
	5A & 5B	43	43	108	43	97	-11	103.8285	0.33872586
	6A & 6B	28	32	108	30	84	-24	98.5880	0.28048156

4.3.3.2 Local connection M2

Tabel 4.53 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M2 frame* 65, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	22	-25	72	-2	34	-38	57.06	0.05059007
	3 & 4	21	-22	72	-1	35	-37	57.08	0.0506549
	5A & 5B	33	26	72	29	66	-7	69.72	0.12066712
	6A & 6B	24	23	72	24	60	-13	67.30	0.1039435
BC	1 & 2	24	-27	96	-1	46	-49	75.89	0.17092492
	3 & 4	-24	-25	95	-25	23	-72	66.06	0.09609017
	5A & 5B	34	29	96	31	79	-16	89.15	0.32146778
	6A & 6B	27	-26	96	0	48	-48	76.70	0.1784245

Tabel 4.54 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M2 frame* 58, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	22	-50	72	-14	22	-50	52.05	0.03327296
	3 & 4	-21	-44	72	-32	3	-68	44.38	0.01569682
	5A & 5B	33	51	72	42	78	6	72.47	0.14161323
	6A & 6B	24	-46	72	-11	25	-47	53.40	0.03742743
BC	1 & 2	24	-54	96	-15	33	-63	70.45	0.12599542
	3 & 4	24	-51	95	-13	34	-61	70.65	0.12750448
	5A & 5B	34	58	96	46	94	-2	94.94	0.40730251
	6A & 6B	27	53	96	40	88	-8	92.52	0.369777

Tabel 4.55 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M2 frame* 51, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
1 & 2	1 & 2	22	-25	72	-2	34	-38	57.06	0.05059007
	3 & 4	21	-22	72	-1	35	-37	57.08	0.0506549
	5A & 5B	33	26	72	29	66	-7	72.47	0.14161323
	6A & 6B	24	46	72	35	71	-1	71.95	0.13749001
1 & 2	1 & 2	24	-27	96	-1	46	-49	75.89	0.17092492
	3 & 4	-24	-25	95	-25	23	-72	66.06	0.09609017
	5A & 5B	34	29	96	31	79	-16	89.15	0.32146778
	6A & 6B	27	-26	96	0	48	-48	76.70	0.1784245

4.3.3.3 Local connection M3

Tabel 4.56 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M3 frame* 65, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compression	Sri	D
FC	1 & 2	-19	-34	103	-26	25	-78	71.6009	0.13475024
	3 & 4	-15	-24	103	-19	32	-71	74.2863	0.15674916
	5A & 5B	23	-24	103	-1	51	-52	81.7822	0.23031949
	6A & 6B	-21	20	103	-1	51	-52	81.8473	0.23104055
BC	1 & 2	-19	26	93	3	50	-43	76.0670	0.17257013
	3 & 4	-18	-23	93	-21	26	-67	66.4647	0.09860143
	5A & 5B	-21	-25	93	-23	24	-70	65.5208	0.0927634
	6A & 6B	-16	18	93	1	48	-46	75.0905	0.16377016

Tabel 4.57 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M3 frame* 58, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compression	Sri	D
FC	1 & 2	19	67	103	43	94	-8	99.3010	0.48054472
	3 & 4	15	-47	103	-16	35	-67	75.6860	0.1691005
	5A & 5B	-45	-48	103	-47	5	-98	63.3915	0.08046667
	6A & 6B	43	41	103	42	93	-9	98.8384	0.47240258
BC	1 & 2	-38	-52	93	-45	2	-91	56.7648	0.04941573
	3 & 4	-18	-46	93	-32	15	-79	61.8426	0.07225768
	5A & 5B	-42	-49	93	-46	1	-92	56.3742	0.04790249
	6A & 6B	33	-37	93	-2	45	-49	73.8210	0.15277902

Tabel 4.58 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M3 frame* 51, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compression	Sri	D
1 & 2	1 & 2	-19	-34	103	-26	25	-78	71.6009	0.13475024
	3 & 4	-15	-24	103	-19	32	-71	74.2863	0.15674916
	5A & 5B	23	-24	103	-1	51	-52	81.7822	0.23031949
	6A & 6B	-21	-20	103	-21	30	-72	73.7098	0.15184023
1 & 2	1 & 2	-19	26	93	3	50	-43	76.0670	0.17257013
	3 & 4	-18	-23	93	-21	26	-67	66.4647	0.09860143
	5A & 5B	-21	-25	93	-23	24	-70	65.5208	0.0927634
	6A & 6B	-16	18	93	1	48	-46	75.0905	0.16377016

4.3.3.4 Local connection M4

Tabel 4.59 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M4 frame* 68, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	15	-17	69	-1	33	-36	54.7968	0.04607573
	3 & 4	14	-15	69	0	34	-35	54.9767	0.04792833
	5A & 5B	21	35	69	28	63	-6	66.5106	0.104248
	6A & 6B	17	16	69	16	51	-18	61.8128	0.07952761
BC	1 & 2	17	-18	93	-1	46	-47	74.1000	0.15525572
	3 & 4	-16	-17	93	-17	30	-63	67.6354	0.10623786
	5A & 5B	23	20	93	21	68	-25	83.0128	0.26212361
	6A & 6B	18	-18	93	0	47	-46	74.5466	0.15900082

Tabel 4.60 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M4 frame* 62, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	44	-68	69	-12	23	-46	50.4971	0.03366875
	3 & 4	-14	-45	69	-30	5	-64	43.3563	0.02000357
	5A & 5B	85	87	69	86	121	51	69.1089	0.12037743
	6A & 6B	51	-16	69	18	52	-17	62.3861	0.08226947
BC	1 & 2	33	-55	93	-11	36	-58	70.0428	0.12398408
	3 & 4	16	-52	93	-18	29	-64	67.3047	0.1040331
	5A & 5B	92	78	93	85	132	39	93.0993	0.44060458
	6A & 6B	73	18	93	45	92	-1	92.6276	0.39311381

Tabel 4.61 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M4 frame* 54, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	Shog N/mm2	Ssag N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
1 & 2	1 & 2	44	-85	69	-20	14	-55	47.1014	0.02590354
	3 & 4	14	-60	69	-23	11	-58	45.9582	0.02467424
	5A & 5B	85	87	69	86	121	51	69.1089	0.12037743
	6A & 6B	68	16	69	42	77	7	69.0799	0.12022624
1 & 2	1 & 2	50	-73	93	-12	35	-58	69.6900	0.12152716
	3 & 4	-16	-52	93	-34	12	-81	60.7338	0.06738534
	5A & 5B	92	78	93	85	132	39	93.0993	0.44060458
	6A & 6B	73	-18	93	28	74	-19	85.4834	0.27984171

4.3.3.5 Local connection M5

Tabel 4.62 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M5 frame* 65, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	S1 N/mm2	S2 N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	11	-32	126	-11	52	-74	96.5793	0.41272958
	3 & 4	-5	-11	126	-8	55	-71	97.5981	0.42838992
	5A & 5B	14	16	126	15	78	-48	106.8798	0.58872214
	6A & 6B	18	11	126	15	78	-48	106.7250	0.58577984
BC	1 & 2	12	-17	107	-2	51	-56	84.8947	0.25863939
	3 & 4	6	-12	107	-3	51	-57	84.6267	0.25563252
	5A & 5B	15	30	107	23	77	-31	95.0115	0.38934803
	6A & 6B	10	22	107	16	70	-37	92.3526	0.35166306

Tabel 4.63 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M5 frame* 58, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	S1 N/mm2	S2 N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
FC	1 & 2	22	-32	126	-5	58	-68	98.7484	0.4465235
	3 & 4	5	-23	126	-9	54	-72	97.2700	0.42330678
	5A & 5B	29	47	126	38	101	-25	116.0274	0.77969536
	6A & 6B	18	22	126	20	83	-43	108.9588	0.62915887
BC	1 & 2	24	-34	107	-5	49	-58	83.9476	0.24811269
	3 & 4	-6	-23	107	-14	39	-68	80.0575	0.20777902
	5A & 5B	15	30	107	23	77	-31	95.0115	0.38934803
	6A & 6B	10	34	107	22	76	-32	94.5933	0.38325915

Tabel 4.64 Rekapitulasi *stress range* dan *fatigue damage* pada *local connection M5 frame* 51, kondisi struktur 85% pada 2008

Kondisi	Load Case	GH N/mm2	S2 N/mm2	total stress range N/mm2	s mean N/mm2	s tensile	s compressio n	Sri	D
1 & 2	1 & 2	11	-32	126	-11	52	-74	96.5793	0.41272958
	3 & 4	-5	-23	126	-14	49	-77	95.3296	0.39402285
	5A & 5B	14	32	126	23	86	-40	110.0214	0.65048919
	6A & 6B	18	34	126	26	89	-37	111.1995	0.67466837
1 & 2	1 & 2	24	-34	107	-5	49	-58	83.9476	0.24811269
	3 & 4	6	-23	107	-9	45	-63	82.2936	0.23039897
	5A & 5B	31	30	107	31	84	-23	98.0838	0.43598758
	6A & 6B	20	22	107	21	75	-32	94.3647	0.37995464

4.4 Rekapitulasi *fatigue life*

Hasil analisa *fatigue* berdasarkan *Common Structural Rule for Double Hull Oil Tankers* pada beberapa titik konstruksi kapal ditabulasikan seperti tabel dibawah ini:

Tabel 4.65 Perkiraan umur konstruksi kondisi 95% pada tahun 2008

Index	Lokasi	DM	fatigue life [tahun]
M1	Frame 65	1.956	12.8
	Frame 58	2.271	11.0
	Frame 51	2.100	11.9
M2	Frame 65	0.889	28.1
	Frame 58	1.098	22.8
	Frame 51	1.035	24.2
M3	Frame 65	1.243	20.1
	Frame 58	1.541	16.2
	Frame 51	1.062	23.5
M4	Frame 62	0.906	27.6
	Frame 54	1.031	24.2
	Frame 48	0.949	26.4
M5	Frame 65	2.937	8.5
	Frame 58	3.229	7.7
	Frame 51	3.120	8.0

Tabel 4.66 Perkiraan umur konstruksi kondisi 90% pada tahun 2008

Index	Lokasi	DM	fatigue life [tahun]
M1	Frame 65	2.479	10.1
	Frame 58	2.713	9.2
	Frame 51	2.647	9.4
M2	Frame 65	1.229	20.3
	Frame 58	1.331	18.8
	Frame 51	1.157	21.6
M3	Frame 65	1.572	15.9
	Frame 58	1.897	13.2
	Frame 51	1.483	16.9
M4	Frame 62	0.936	26.7
	Frame 54	1.302	19.2
	Frame 48	1.177	21.2
M5	Frame 65	3.677	6.8
	Frame 58	3.890	6.4
	Frame 51	3.820	6.5

Tabel 4.67 Perkiraan umur konstruksi kondisi 85% pada tahun 2008

Index	Lokasi	DM	fatigue life [tahun]
M1	Frame 65	2.199	11.4
	Frame 58	2.445	10.2
	Frame 51	2.365	10.6
M2	Frame 65	1.093	22.9
	Frame 58	1.259	19.9
	Frame 51	1.147	21.8
M3	Frame 65	1.281	19.5
	Frame 58	1.525	16.4
	Frame 51	1.201	20.8
M4	Frame 62	0.960	26.0
	Frame 54	1.318	19.0
	Frame 48	1.201	20.8
M5	Frame 65	3.271	7.6
	Frame 58	3.507	7.1
	Frame 51	3.426	7.3

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa hasil yang telah dilakukan, bisa disimpulkan bahwa:

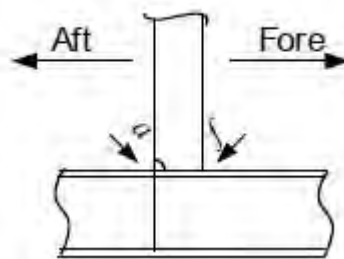
1. Variasi kondisi struktur 90% pada tahun 2008 memiliki nilai *fatigue life* yang paling rendah. Dikarenakan variasi kondisi struktur 85% pada 2008 mengalami replating pada bagian *keel plate*, *bottom plate*, dan *bilge strake* di tahun 2010 dikarenakan tebal pelat yang terkorosi sudah lebih dari 20% dari tebal pelat desain. Sehingga mengakibatkan nilai *total stress range* variasi kondisi 90% lebih besar dari nilai *total stress range* variasi kondisi 85%. Nilai *total stress range* berpengaruh terhadap besarnya nilai *fatigue life* struktur.
2. Pada lokasi tinjauan perhitungan *fatigue life* di tiap kondisi variasi, menunjukkan bahwa sambungan M5 memiliki *fatigue life* paling rendah, yang paling tinggi diantara ke lima titik yang dianalisa yaitu pada sambungan M4. Sambungan M4 terletak pada sambungan *side longitudinal* dengan sekat melintang yang lokasinya dibawah D/2. Selain itu letaknya paling dekat dengan netral axis sumbu horizontal. Meskipun bila ditinjau dari netral axis vertikal paling jauh, berdasarkan perhitungan *stress range* nilai netral axis terhadap sumbu horizontal lebih besar dari pada netral axis vertikal.
3. *Stress range* pada tiap sambungan lokasi dipengaruhi oleh korespondensi stress yang diakibatkan oleh *global* dan *local load*. *Global load* dipengaruhi oleh vertikal bending momen dan horizontal bending momen. Sedangkan *local load* dipengaruhi oleh beban lokal yang diakibatkan *internal* dan *eksternal pressure*.
4. Kapal 37.087 DWT ini dibangun berdasarkan *rule scantling* yang lama, oleh sebab itu hasil penelitian pada struktur kapal ini tidak memenuhi regulasi *fatigue life* CSR 25 tahun.

5.2 Saran

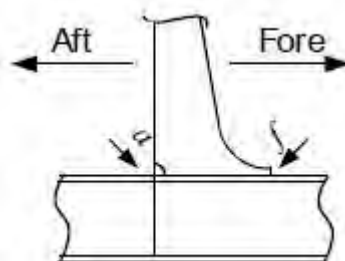
Meskipun kapal ini tidak lagi bisa beroperasi secara Internasional mengingat batas tenggang waktu terakhir *phase-out* kapal tanker *single hull* di tahun 2015, namun dengan adanya peraturan menteri perhubungan no KM.66 tahun 2005 masih boleh beroperasi di

perairan Indonesia (domestik) dengan catatan mengikuti program CAS (*Condition Assesment Scheme*). Selain mengikuti program CAS secara intensive dengan biaya yang mahal, terdapat banyak opsi yang masih melegalkan struktur konstruksi *single hull - single bottom*, salah satunya dijadikan FPSO, FSO, & FSU. Dengan catatan propellernya tidak difungsikan. Namun regulasi yang mengatur mengenai FPSO, FSO & FSU salah satunya adalah *Common Structural Rule* (CSR). Untuk meningkatkan *fatigue life* struktur kapal ini dapat dilakukan dengan cara berikut:

1. Memperkuat struktur dengan teknis melakukan perhitungan ulang konstruksi kapal terlebih dahulu berdasar peraturan terbaru yaitu *Common Structural Rule* (CSR). Dengan melakukan perhitungan ulang, maka nantinya akan diketahui bagian struktur yang harus diganti atau diperkuat. Perhitungan *scantling* lebih baik menggunakan *software* elemen hingga yang dikelola badan klasifikasi yang masuk dalam IACS member, dikarenakan pengembangan *software* dilaksanakan secara *update* dan sudah terintegrasi dengan *rule* sehingga bisa lebih efisien baik dari segi waktu maupun biaya.
2. Disarankan untuk mengganti *detail bracket* tipe M5 dengan tipe M2 (*soft toe bracket*) pada tiap sambungan antara *longitudinal* dengan *web frame*. Hasil pengelasan *bracket* digerinda rapi dan di *peening* untuk menghilangkan tegangan sisa, dikarenakan tegangan sisa mengakibatkan las-lasan memiliki *fatigue life* rendah.



Gambar 5.1 *Detail bracket* M5



Gambar 5.2 *Detail bracket* M2

5.3 Penutup

Penulis mengakui bahwa penulisan tugas ini masih belum sempurna karena batasan masalah yang luas mengakibatkan pembahasannya tidak fokus sehingga hasil akhir dari penulisan tugas akhir kurang optimum, sehingga perlu diadakan penelitian lanjutan mengenai regulasi CSR dengan batasan masalah yang agak sempit sehingga bisa fokus dan optimum.

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Akpan, U.O., Koko, T.S., Ayyub, B., & Dunbar, T.E. (2002). **Risk assesment of aging ship hull structures in the presence of corrotion and fatigue**. Elsevier Science Ltd., 211–231.
- American Bureau of Shipping, Det Norske Veritas, & Lloyd’s Register. (2005). **Structural Defect Experience for Tankers**.
- American Bureau of Shipping, Det Norske Veritas, & Lloyd’s Register. (2006). **Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers**.
- Bach-Gansmo, O., Carlesen, C.A. (1989): **Fatigue assessment of hull girder for ship type floating production vessel, Proceedings of the Mobile Offshore Structures, L.R.** Elsevier Science Ltd., 297-319.
- Det Norske Veritas . (2005). **Basic Hull Strength**. Dipetik Desember 28, 2013, dari <http://www.slideshare.net/ismelkov/dnv-hull-structure-course>
- International Association of Classification Societies. (2006). **Common Structural Rules for Bulk Carriers**. London : IACS Council.
- International Association of Classification Societies. (2010). **Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker**. London : IACS Council.
- Kurnianto, P. (2012). **Perkiraan Umur Konstruksi FPSO Konversi Dari Tanker Dengan Analisis Fatigue**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Septiana, D. (2012). **Perkiraan *Fatigue Life* pada *Bracket* Kapal Tanker Berdasarkan *Common Structural Rules***. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Soegiri, P. (2004). **Peraturan Maritim Internasional CAS, CAP, ESP**. Jakarta: Buletin Marine Engineer., 19-20.
- Tomasevic, S., Parunov, J., & Senjanovic, I. (2000). **Fatigue Strength Assessment of FPSO Deck Longitudinals**, Trans. FAMENA., 35-44.
- Wicaksono, A.K. (2010). **Analisis Keandalan *Scantling Support Structure System Gas Processing Module FPSO Belanak* Terhadap Beban Kelelahan**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Widodo, M.T. (2010). **Kendalan Scantling Struktur Geladak Dan Dasar Pada Konversi Tanker Menjadi FPSO Terhadap Beban Kelelahan**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Zakky, A. (2012). **Analisa Fatigue Pada *Floating Storage* Dengan Metode *Simplified Fatigue Damage Cumulative* Pada Perairan Widuri: Studi Kasus Pada FSO 109.000 DWT**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Magetan, 7 September 1991 sebagai putra sulung dari 4 bersaudara. Riwayat akademis penulis sebagai berikut: SDN. Siwalankerto II/419 Surabaya (kelas 1 hingga kelas 3), SDN Ringinagung II Magetan (kelas 4 hingga kelas 6). SMPN 36 Surabaya, SMAN 10 Surabaya. Kemudian penulis melanjutkan studinya di Program Sarjana Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya angkatan 2009. Selama kuliah, penulis aktif dalam beberapa kegiatan, seminar, pelatihan dan organisasi. Hingga sempat mendapat amanah sebagai Ketua Divisi *Hydromodelling* HIMATEKPAL ITS (2011-2012) dan *Steering Comitte* NASDARC 2012 (*National Ship Design and Race Competition*). Beberapa kegiatan yang pernah diikuti penulis untuk pengembangan diri antara lain : Kerja Praktek selama 6 minggu di PT. Dok dan Perkapalan Kodja Bahari Galangan 1, Tanjung Priok Jakarta pada Juli-Agustus 2012 dan selama satu bulan di NaSDEC-ITS Kemitraan Surabaya pada April 2014. Penulis sangat tertarik dengan bidang konstruksi, sehingga mengambil judul tugas akhir yang berkaitan tentang *fatigue structure*.

Email : argo.yogiartop49@gmail.com

Kapal dikelaskan tahun :

1993 ; survei pembaruan kelas tiap 5 ta
 1998
 2003
 2008

Tebal saat survey kondisi Tebal saat survey kondisi tahun 2008

Tebal pelat pada tahun 2012

No	ITEM PLATE	T Desain [mm]	LOCATION	T tahun 2008 (95%) [mm]	T tahun 2012, pengurangan akibat korosi selama 4 tahun				80% t mm	kriteria
					Laju korosi [mm/tahun]	T corrosion [mm]	T net [mm]	T net [m]		
1	Keel Plate	16.5	ALL	15.675	0.3	1.2	14.475	0.014475	13.2	accepted
2	Bottom Plate	14.5		13.775	0.3	1.2	12.575	0.012575	11.6	accepted
3	Bilge Plate	16		15.2	0.3	1.2	14	0.014	12.8	accepted
4	Side Plate	14		13.3	0.03	0.12	13.18	0.01318	11.2	accepted
5	Sheer strake	14		13.3	0.03	0.12	13.18	0.01318	11.2	accepted
6	Long. Bulkhead	11.5		10.925	0.1	0.4	10.525	0.010525	9.2	accepted
		12.5		11.875	0.1	0.4	11.475	0.011475	10	accepted
		13		12.35	0.1	0.4	11.95	0.01195	10.4	accepted
		13.5		12.825	0.1	0.4	12.425	0.012425	10.8	accepted
		14		13.3	0.1	0.4	12.9	0.0129	11.2	accepted
7	Main deck plate	14		13.3	0.1	0.4	12.9	0.0129	11.2	accepted
		14.5		13.775	0.1	0.4	13.375	0.013375	11.6	accepted

No	ITEM PLATE	T Desain [mm]	LOCATION	T tahun 2008 (95%) [mm]	T tahun 2012, pengurangan akibat korosi selama 4 tahun				80% t mm	kriteria
					Laju korosi [mm/tahun]	T corrosion [mm]	T net [mm]	T net [m]		
8	Plate 11.5 mm	11.5	TRANS. BULKH	10.925	0.1	0.4	10.525	0.010525	9.2	accepted
9	Plate 13 mm	13		12.35	0.1	0.4	11.95	0.01195	10.4	accepted
10	Plate 13.5 mm	13.5		12.825	0.1	0.4	12.425	0.012425	10.8	accepted
11	Plate 14 mm	14		13.3	0.1	0.4	12.9	0.0129	11.2	accepted
12	Plate 14.5 mm	14.5		13.775	0.1	0.4	13.375	0.013375	11.6	accepted
13	Plate 15 mm	15		14.25	0.1	0.4	13.85	0.01385	12	accepted
14	Plate 15.5 mm	15.5		14.725	0.1	0.4	14.325	0.014325	12.4	accepted

No	T Desain [mm]	LOCATION	T tahun 2008 (95%) [mm]	T tahun 2012, pengurangan akibat korosi selama 4 tahun				80% t mm	kriteria
				Laju korosi [mm/tahun]	T corrosion [mm]	T net [mm]	T net [m]		
1	9	ALL STIFF.	8.55	0.1	0.4	8.15	0.00815	7.2	accepted
2	10		9.5	0.1	0.4	9.1	0.0091	8	accepted
3	10.5		9.975	0.1	0.4	9.575	0.009575	8.4	accepted
4	11		10.45	0.1	0.4	10.05	0.01005	8.8	accepted
5	11.5		10.925	0.1	0.4	10.525	0.010525	9.2	accepted
6	12		11.4	0.1	0.4	11	0.011	9.6	accepted
7	12.5		11.875	0.1	0.4	11.475	0.011475	10	accepted
8	13		12.35	0.1	0.4	11.95	0.01195	10.4	accepted
9	13.5		12.825	0.1	0.4	12.425	0.012425	10.8	accepted
10	14		13.3	0.1	0.4	12.9	0.0129	11.2	accepted
11	14.5		13.775	0.1	0.4	13.375	0.013375	11.6	accepted
12	15		14.25	0.1	0.4	13.85	0.01385	12	accepted
13	15.5		14.725	0.1	0.4	14.325	0.014325	12.4	accepted
14	16		15.2	0.1	0.4	14.8	0.0148	12.8	accepted
15	16.5		15.675	0.1	0.4	15.275	0.015275	13.2	accepted
16	17		16.15	0.1	0.4	15.75	0.01575	13.6	accepted
17	18		17.1	0.1	0.4	16.7	0.0167	14.4	accepted
18	19		18.05	0.1	0.4	17.65	0.01765	15.2	accepted
19	22		20.9	0.1	0.4	20.5	0.0205	17.6	accepted
20	25		23.75	0.1	0.4	23.35	0.02335	20	accepted
21	26		24.7	0.1	0.4	24.3	0.0243	20.8	accepted
22	28		26.6	0.1	0.4	26.2	0.0262	22.4	accepted
23	32		30.4	0.1	0.4	30	0.03	25.6	accepted

No	T Desain [mm]	LOCATION	T tahun 2008 (95%) [mm]	T tahun 2012, pengurangan akibat korosi selama 4 tahun				80% t mm	kriteria
				Laju korosi [mm/tahun]	T corrosion [mm]	T net [mm]	T net [m]		
1	9	BOTTOM	8.55	0.1	0.4	8.15	0.00815	7.2	accepted
2	10		9.5	0.1	0.4	9.1	0.0091	8	accepted
3	10.5		9.975	0.1	0.4	9.575	0.009575	8.4	accepted
4	11		10.45	0.1	0.4	10.05	0.01005	8.8	accepted
5	11.5		10.925	0.1	0.4	10.525	0.010525	9.2	accepted
6	12		11.4	0.1	0.4	11	0.011	9.6	accepted
7	12.5		11.875	0.1	0.4	11.475	0.011475	10	accepted
8	13		12.35	0.1	0.4	11.95	0.01195	10.4	accepted
9	13.5		12.825	0.1	0.4	12.425	0.012425	10.8	accepted
10	14		13.3	0.1	0.4	12.9	0.0129	11.2	accepted
11	14.5		13.775	0.1	0.4	13.375	0.013375	11.6	accepted
12	15		14.25	0.1	0.4	13.85	0.01385	12	accepted
13	15.5		14.725	0.1	0.4	14.325	0.014325	12.4	accepted
14	16		15.2	0.1	0.4	14.8	0.0148	12.8	accepted
15	16.5		15.675	0.1	0.4	15.275	0.015275	13.2	accepted
16	17		16.15	0.1	0.4	15.75	0.01575	13.6	accepted
17	18		17.1	0.1	0.4	16.7	0.0167	14.4	accepted
18	19		18.05	0.1	0.4	17.65	0.01765	15.2	accepted
19	22		20.9	0.1	0.4	20.5	0.0205	17.6	accepted
20	25		23.75	0.1	0.4	23.35	0.02335	20	accepted
21	26		24.7	0.1	0.4	24.3	0.0243	20.8	accepted
22	28		26.6	0.1	0.4	26.2	0.0262	22.4	accepted
23	32		30.4	0.1	0.4	30	0.03	25.6	accepted

No	T Desain [mm]	LOCATION	T tahun 2008 (95%) [mm]	T tahun 2012, pengurangan akibat korosi selama 4 tahun			
				Laju korosi [mm/tahun]	T corrosion [mm]	T net [mm]	T net [m]
1	9	SIDE	8.55	0.03	0.12	8.43	0.00843
2	10		9.5	0.03	0.12	9.38	0.00938
3	10.5		9.975	0.03	0.12	9.855	0.009855
4	11		10.45	0.03	0.12	10.33	0.01033
5	11.5		10.925	0.03	0.12	10.805	0.010805
6	12		11.4	0.03	0.12	11.28	0.01128
7	12.5		11.875	0.03	0.12	11.755	0.011755
8	13		12.35	0.03	0.12	12.23	0.01223
9	13.5		12.825	0.03	0.12	12.705	0.012705
10	14		13.3	0.03	0.12	13.18	0.01318
11	14.5		13.775	0.03	0.12	13.655	0.013655
12	15		14.25	0.03	0.12	14.13	0.01413
13	15.5		14.725	0.03	0.12	14.605	0.014605
14	16		15.2	0.03	0.12	15.08	0.01508
15	16.5		15.675	0.03	0.12	15.555	0.015555
16	17		16.15	0.03	0.12	16.03	0.01603
17	18		17.1	0.03	0.12	16.98	0.01698
18	19		18.05	0.03	0.12	17.93	0.01793
19	22		20.9	0.03	0.12	20.78	0.02078
20	25		23.75	0.03	0.12	23.63	0.02363
21	26		24.7	0.03	0.12	24.58	0.02458
22	28		26.6	0.03	0.12	26.48	0.02648
23	32		30.4	0.03	0.12	30.28	0.03028

No	T Desain [mm]	LOCATION	T tahun 2008 (95%) [mm]	T tahun 2012, pengurangan akibat korosi selama 4 tahun			
				Laju korosi [mm/tahun]	T corrosion [mm]	T net [mm]	T net [m]
1	9	DECK	8.55	0.1	0.4	8.15	0.00815
2	10		9.5	0.1	0.4	9.1	0.0091
3	10.5		9.975	0.1	0.4	9.575	0.009575
4	11		10.45	0.1	0.4	10.05	0.01005
5	11.5		10.925	0.1	0.4	10.525	0.010525
6	12		11.4	0.1	0.4	11	0.011
7	12.5		11.875	0.1	0.4	11.475	0.011475
8	13		12.35	0.1	0.4	11.95	0.01195
9	13.5		12.825	0.1	0.4	12.425	0.012425
10	14		13.3	0.1	0.4	12.9	0.0129
11	14.5		13.775	0.1	0.4	13.375	0.013375
12	15		14.25	0.1	0.4	13.85	0.01385
13	15.5		14.725	0.1	0.4	14.325	0.014325
14	16		15.2	0.1	0.4	14.8	0.0148
15	16.5		15.675	0.1	0.4	15.275	0.015275
16	17		16.15	0.1	0.4	15.75	0.01575
17	18		17.1	0.1	0.4	16.7	0.0167
18	19		18.05	0.1	0.4	17.65	0.01765
19	22		20.9	0.1	0.4	20.5	0.0205
20	25		23.75	0.1	0.4	23.35	0.02335
21	26		24.7	0.1	0.4	24.3	0.0243
22	28		26.6	0.1	0.4	26.2	0.0262
23	32		30.4	0.1	0.4	30	0.03

PENGURANGAN KETEBALAN PELAT AKIBAT KOROSI (CSR-OT Sec 6.3.1)

No	ITEM PLATE	LOCATION	T 2012 [mm]	tcor [mm]	T net [mm]	T net [m]
1	Keel Plate	ALL	14.475	5	11.975	0.011975
2	Bottom Plate		12.575	4	10.575	0.010575
3	Bilge Plate		14	4	12	0.012
4	Side Plate		13.18	2.5	11.93	0.01193
5	Sheer strake		13.18	4	11.18	0.01118
6	Long. Bulkhead	ALL	11.5	2.5	10.25	0.01025
			12.5	2.5	11.25	0.01125
			13	2.5	11.75	0.01175
			13.5	2.5	12.25	0.01225
			14	2.5	12.75	0.01275
7	Main deck plate	ALL	14	4	12	0.012
			14.5	4	12.5	0.0125

No	ITEM PLATE	LOCATION	T 2012 [mm]	tcor [mm]	T net [mm]	T net [m]
1	Plate 11.5 mm	TRANS. BULK. ALL	10.525	2.5	9.275	0.009275
2	Plate 13 mm		11.95	2.5	10.7	0.0107
3	Plate 13.5 mm		12.425	2.5	11.175	0.011175
4	Plate 14 mm		12.9	2.5	11.65	0.01165
5	Plate 14.5 mm		13.375	2.5	12.125	0.012125
6	Plate 15 mm		13.85	2.5	12.6	0.0126
7	Plate 15.5 mm		14.325	2.5	13.075	0.013075

No	ITEM	LOCATION	Sub	T 2012 [mm]	tcor [mm]	T net [mm]	T net [m]
1	T 650x14/200x22	B.C.L	Web	13.375	5	10.875	0.010875
			Face	20.5	5	18	0.018
2	L 400x11.5/100x16	BL	Web	10.525	3	9.025	0.009025
			Face	14.8	3	13.3	0.0133
3	L 400x11.5/100x16	SIDE 1	Face	15.08	3	13.58	0.01358
			Web	10.805	3	9.305	0.009305
4	L 350x11/100x17	SIDE 2	Face	16.03	3	14.53	0.01453
			Web	10.33	3	8.83	0.00883
5	L 300x13/90x17	SIDE 3	Face	16.03	3	14.53	0.01453
			Web	12.23	3	10.73	0.01073
6	L 300x11/90x16	SIDE 4	Face	15.08	3	13.58	0.01358
			Web	10.33	3	8.83	0.00883
7	L 300x10/90x16	SIDE 5	Face	15.08	3	13.58	0.01358
			Web	9.38	3	7.88	0.00788
8	L 250x11/90x16	SIDE 6	Face	15.08	3	13.58	0.01358
			Web	10.33	3	8.83	0.00883
9	L 250x9/90x15	SIDE 7	Face	14.13	3	12.63	0.01263
			Web	8.43	3	6.93	0.00693
10	L 200x9/90x14	SIDE 8	Face	13.18	3	11.68	0.01168
			Web	8.43	3	6.93	0.00693

11	L 200X9/90X14	L.B 1	Face	12.9	2.5	11.65	0.01165
			Web	8.15	2.5	6.9	0.0069
12	L 400X11.5/100X16	L.B 2	Face	14.8	2.5	13.55	0.01355
			Web	10.525	2.5	9.275	0.009275
13	L 450X14/125X16	L.B 3	Face	14.8	2.5	13.55	0.01355
			Web	12.9	2.5	11.65	0.01165
14	L 400x11.5/100x16	L.B 4	Face	14.8	2.5	13.55	0.01355
			Web	10.525	2.5	9.275	0.009275
15	L 350x11/100x17	L.B 5	Face	15.75	2.5	14.5	0.0145
			Web	10.05	2.5	8.8	0.0088
16	L 300X12/90X17	L.B 6	Face	15.75	2.5	14.5	0.0145
			Web	11	2.5	9.75	0.00975
17	L300X11/90X16	L.B 7	Face	14.8	2.5	13.55	0.01355
			Web	10.05	2.5	8.8	0.0088
18	L 300X10/90X16	L.B 8	Face	14.8	2.5	13.55	0.01355
			Web	9.1	2.5	7.85	0.00785
19	L 250X10/90X15	L.B 9	Face	13.85	2.5	12.6	0.0126
			Web	9.1	2.5	7.85	0.00785
20	L 250X9/90X15	L.B 10	Face	13.85	2.5	12.6	0.0126
			Web	8.15	2.5	6.9	0.0069
21	L 250X9/90X15	DECK	Face	13.85	3	12.35	0.01235
			Web	8.15	3	6.65	0.00665
22	L 200X9/90X14	DECK	Face	12.9	3	11.4	0.0114
			Web	8.15	3	6.65	0.00665

23	L 450X10.5/150X19	BLKHD 1	Face	17.65	3	16.15	0.01615
			Web	9.575	3	8.075	0.008075
24	L 450X10.5/100X12	BLKHD 2	Face	11	3	9.5	0.0095
			Web	11	3	9.5	0.0095
25	L 250X9/90X15	BLKHD 2	Face	13.85	3	12.35	0.01235
			Web	8.15	3	6.65	0.00665

No	ITEM	LOCATION	Sub	T 2012 [mm]	tcor [mm]	T net [mm]	T net [m]
25	25 mm	HOR. GIR. NO 1	Face	23.35	3.5	21.6	0.0216
26	32 mm		Face	30	3.5	28.25	0.02825
27	25 mm	BOT. CEN. STR BEAM	Face	23.35	3.5	21.6	0.0216
28	26 mm		Face	24.3	3.5	22.55	0.02255
29	19 mm	WING HOR. GIR. 1 & 2	Face	17.65	3.5	15.9	0.0159
30	22 mm		Face	20.5	3.5	18.75	0.01875
31	28 mm		Face	26.2	3.5	24.45	0.02445

CALCULATION

$$M_{wv-hog} = f_{prob} 0.19 f_{wv-v} C_{wv} L^2 B C_b \quad \text{kNm}$$

$$M_{wv-sag} = -f_{prob} 0.11 f_{wv-v} C_{wv} L^2 B (C_b + 0.7)$$

$$f_{prob} = 0.5$$

$$f_{wv-v} = 1 \quad \text{for } 0.4 L \text{ to } 0.65 L \text{ from AP}$$

C_{wv} wave coefficient to be taken as:

$$= 10.75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \text{for } 150 \leq L \leq 300$$

$$C_{wv} = 9.18645845$$

$$L = 165.29 \quad L^2 = 27320.123$$

$$B = 30.5$$

$$C_b = 0.78$$

$$M_{wv-hog} = 567071.003 \text{ kNm}$$

$$M_{wv-sag} = -623011.863 \text{ kNm}$$

$M_{wv-v-amp}$, for full load and ballast condition are to be taken as:

$$M_{wv-v-amp} = 0.5(M_{wv-hog} - M_{wv-sag}) \quad \text{kNm}$$

Where:

M_{wv-hog} hogging vertical wave bending moment, in kNm

M_{wv-sag} sagging vertical wave bending moment, in kNm

$$M_{wv-v-amp} = 595,041.43 \text{ kNm}$$

Minimum hull girder still water bending moment

$$M_{sw-min-sea-mid} = 0.01 C_{wv} L^2 B (11.97 - 1.9 C_b) \quad \text{kNm} \quad \text{for hogging}$$

$$= 802858.5 \text{ kNm}$$

$$M_{sw-min-sea-mid} = -0.05185 C_{wv} L^2 B (C_b + 0.7) \quad \text{kNm} \quad \text{for sagging}$$

$$= -587330$$

$$M_{sw-min-sea-mid} = 695,094.39 \text{ kNm}$$

PERHITUNGAN MODULUS PENAMPANG KONDISI 0.25 tcor

No	Nama bagian	Jml [n]	Lebar (mm) [b]	Tinggi (mm) [h]	Luas Total (mm ²) [A _T]	Titik berat thd Base (mm) [Z]	Momen (mm ³) [A _T x z]	A _T x Z ² (mm ⁴)	M.Inersia Individu (mm ⁴) [1/12 x b x h ³]
1	Pelat keel (lunas)	1	2190	13.225	28962.75	6.6125	1.92E+05	1.27E+06	4.22E+05
2	Pelat alas	2	12855	11.575	297593.25	5.7875	1.72E+06	9.97E+06	3.32E+06
3	Pelat bilga	2	1200	13	31200	351.50	1.10E+07	3.85E+09	4.39E+05
4	Pelat sisi								
	Pelat sisi 1	2	12.555	3190	80100.9	3245	2.60E+08	8.43464E+11	6.79E+10
	Pelat sisi 2	2	12.555	3190	80100.9	6435	5.15E+08	3.31692E+12	6.79E+10
	Pelat sisi 3	2	12.555	3190	80100.9	9625	7.71E+08	7.4206E+12	6.79E+10
	Pelat sisi 4	2	12.555	3190	80100.9	12815	1.03E+09	1.31545E+13	6.79E+10
	Pelat lajur sisi atas	2	12.555	2690	67545.9	15775	1.07E+09	1.68088E+13	4.07E+10
5	Pelat Geladak								
		2	12092.2	11.9	287794.36	17285.98926	4.97E+09	8.59945E+13	3.40E+06
		2	3169.84	12.375	78453.4905	16986.5	1.33E+09	2.26371E+13	1.00E+06
6	Pelat Sekat memanjang								
	Pelat sekat memanjang 1	2	12.625	2200	55550	1100	6.11E+07	67215500000	2.24E+10
	Pelat sekat memanjang 2	2	12.15	2640	64152	3520	2.26E+08	7.94869E+11	3.73E+10
	Pelat sekat memanjang 3	2	12.15	3190	77517	6435	4.99E+08	3.20992E+12	6.57E+10
	Pelat sekat memanjang 4	2	10.25	3190	65395	9625	6.29E+08	6.05823E+12	5.55E+10
	Pelat sekat memanjang 5	2	11.675	3190	74486.5	12815	9.55E+08	1.22325E+13	6.32E+10
	Pelat sekat memanjang 6	2	12.625	2930	73982.5	15875	1.17E+09	1.86447E+13	5.29E+10
7	Pembujur Alas								
	T 650x14/200x22								
	- Web	1	12.15	650	7897.5	325	2.57E+06	834173437.5	2.78E+08
	-Face	1	200	19.625	3925	659.8125	2.59E+06	1708758700	1.26E+05
	L 400x11.5/100x16								
	- Web	32	9.65	400	123520	200	2.47E+07	4940800000	1.65E+09
	- Face	32	100	13.925	44560	406.9625	1.81E+07	7379959309	7.20E+05

9	Pembujur Sisi								
	L 400x11.5/100x16								
	- Web	4	400	9.93	15888	1800	2.86E+07	51477120000	1.31E+05
	- Face	4	14.205	100	5682	1750	9.94E+06	17401125000	4.74E+06
	L 350x11/100x17								
	- Web	8	350	9.455	26474	4200	1.11E+08	4.67001E+11	1.97E+05
	- Face	8	15.155	100	12124	4150	5.03E+07	2.08806E+11	1.01E+07
	L 300X13/90X17								
	- Web	2	300	11.355	6813	6200	4.22E+07	2.61892E+11	7.32E+04
	- Face	2	15.155	90	2727.9	6155	1.68E+07	1.03344E+11	1.84E+06
	L 300X11/90X16								
	- Web	2	300	9.455	5673	7000	3.97E+07	2.77977E+11	4.23E+04
	- Face	2	14.205	90	2556.9	6955	1.78E+07	1.23682E+11	1.73E+06
	L 300X10/90X16								
	- Web	6	300	8.505	15309	8600	1.32E+08	1.13225E+12	9.23E+04
	- Face	6	14.205	90	7670.7	8555	6.56E+07	5.61403E+11	5.18E+06
	L 250X11/90X16								
	- Web	2	250	9.455	4727.5	10200	4.82E+07	4.91849E+11	3.52E+04
- Face	2	14.205	90	2556.9	10155.5	2.60E+07	2.63704E+11	1.73E+06	
L 250X9/90X15									
- Web	10	250	7.555	18887.5	12600	2.38E+08	2.99858E+12	8.98E+04	
- Face	10	13.255	90	11929.5	12555	1.50E+08	1.88042E+12	8.05E+06	
L 200X9/90X14									
- Web	6	200	7.555	9066	15555	1.41E+08	2.19359E+12	4.31E+04	
- Face	6	12.305	90	6644.7	15505	1.03E+08	1.59742E+12	4.49E+06	
10	Pembujur Sekat memanjang								
	L 200X9/90X14								
	- Web	2	200	7.4	2960	700	2.07E+06	1450400000	1.35E+04
	- Face	2	12.15	90	2187	655	1.43E+06	938277675	1.48E+06
	L 400X11.5/100X16								
	- Web	2	400	9.775	7820	1400	1.09E+07	15327200000	6.23E+04
	- Face	2	14.05	125	3512.5	1350	4.74E+06	6401531250	4.57E+06
	L 450X14/125X16								
	- Web	2	450	12.15	10935	2200	2.41E+07	52925400000	1.35E+05
	- Face	2	14.05	125	3512.5	2137.5	7.51E+06	16048283203	4.57E+06
	L 400x11.5/100x16								
	- Web	2	400	9.775	7820	3000	2.35E+07	70380000000	6.23E+04
- Face	2	14.05	100	2810	2950	8.29E+06	24454025000	2.34E+06	
L 350x11/100x17									
- Web	10	350	9.3	32550	5400	1.76E+08	9.49158E+11	2.35E+05	
- Face	10	15	100	15000	5350	8.03E+07	4.29338E+11	1.25E+07	

11	L 300X12/90X17								
	- Web	2	300	10.25	6150	7800	4.80E+07	3.74166E+11	5.38E+04
	- Face	2	15	90	2700	7755	2.09E+07	1.62378E+11	1.82E+06
	L300X11/90X16								
	- Web	2	300	9.3	5580	8600	4.80E+07	4.12697E+11	4.02E+04
	- Face	2	14.05	90	2529	8555	2.16E+07	1.85093E+11	1.71E+06
	L 300X10/90X16								
	- Web	6	300	8.35	15030	10200	1.53E+08	1.56372E+12	8.73E+04
	- Face	6	14.05	90	7587	10155	7.70E+07	7.82402E+11	5.12E+06
	L 250X10/90X15								
	- Web	2	250	8.35	4175	11800	4.93E+07	5.81327E+11	2.43E+04
	- Face	2	13.1	90	2358	11755	2.77E+07	3.25828E+11	1.59E+06
	L 250X9/90X15								
	- Web	12	250	7.4	22200	14540	3.23E+08	4.69334E+12	1.01E+05
- Face	12	13.1	90	14148	14495	2.05E+08	2.97257E+12	9.55E+06	
Pembujur Geladak									
L 200X9/90X14									
- Web	2	7.025	200	2810	17163.76875	4.82E+07	8.27812E+11	9.37E+06	
- Face	2	90	11.775	2119.5	17063.76875	3.62E+07	6.17139E+11	2.45E+04	
L 250X9/90X15									
- Web	4	7.025	250	7025	16843.25	1.18E+08	1.99296E+12	3.66E+07	
- Face	4	90	12.725	4581	16718.25	7.66E+07	1.28039E+12	6.18E+04	
					2045768.951		16362309963	2.22171E+14	6.11449E+11
					S ₁		S ₂	S ₃	S ₄

Titik Berat terhadap dasar (Z_1) = S_2 / S_1

$$= 16362309962.653 / 2045768.95$$

$$= 7998.122 \quad \text{mm} \quad 7.998122153 \quad \text{m}$$

Titik Berat terhadap deck (Z_2) = $H - Z_1$

$$= 9341.88 \quad \text{mm} \quad 9.341877847 \quad \text{m}$$

$$I_{xx} = S_3 + S_4 = 222171143158537.000 + 611448830604.54$$

$$= 2.23E+14 \quad \text{mm}^4$$

$$I_{NA} = I_{xx} - (Z_1)^2 \cdot S_1 = 222782591989142.000 - [(7998.12^2) \times 2045768.951]$$

$$= 9.19E+13 \quad \text{mm}^4$$

Modulus penampang thd bottom (W_{bot}) = I_{NA} / Z_1

$$= 91914838204684.900 / 7998.12$$

$$= 1.15E+10 \quad \text{mm}^3 \quad 11.5 \quad \text{m3}$$

Modulus penampang thd deck (W_{deck}) = I_{NA} / Z_2

$$= 91914838204684.900 / 9341.88$$

$$= 9.84E+09 \quad \text{mm}^3 \quad 9.8 \quad \text{m3}$$

PERHITUNGAN MODULUS PENAMPANG HORIZONTAL BENDING MOMENT KONDISI 0.25 tcor

No	Nama bagian	Jml [n]	Lebar (mm) [b]	Tinggi (mm) [h]	Luas Total (mm ²) [A _T]	Titik berat tbd (mm) [Z]	Momen (mm ³) [A _T x z]	A _T x Z ² (mm ⁴)	M.Inersia Individu (mm ⁴) [1/12 x h x b ³]
1	Pembujur Sisi								
	L 400x11.5/100x16								
	- Web	2	400	9.93	7944	200	1.59E+06	3.18E+08	5.30E+07
	- Face	2	14.205	100	2841	407.1025	1.16E+06	4.71E+08	2.39E+04
	L 350x11/100x17								
	- Web	4	350	9.455	13237	175	2.32E+06	4.05E+08	3.38E+07
	- Face	4	15.155	100	6062	357.5775	2.17E+06	7.75E+08	2.90E+04
	L 300X13/90X17								
	- Web	1	300	11.355	3406.5	150	5.11E+05	7.66E+07	2.55E+07
	- Face	1	15.155	90	1363.95	307.5775	4.20E+05	1.29E+08	2.61E+04
	L 300X11/90X16								
	- Web	1	300	9.455	2836.5	150	4.25E+05	6.38E+07	2.13E+07
	- Face	1	14.205	90	1278.45	307.1025	3.93E+05	1.21E+08	2.15E+04
	L 300X10/90X16								
	- Web	3	300	8.505	7654.5	150	1.15E+06	1.72E+08	1.91E+07
	- Face	3	14.205	90	3835.35	307.1025	1.18E+06	3.62E+08	2.15E+04
	L 250X11/90X16								
	- Web	1	250	9.455	2363.75	125	2.95E+05	3.69E+07	1.23E+07
	- Face	1	14.205	90	1278.45	257.1025	3.29E+05	8.45E+07	2.15E+04
	L 250X9/90X15								
- Web	5	250	7.555	9443.75	125	1.18E+06	1.48E+08	9.84E+06	
- Face	5	13.255	90	5964.75	256.6275	1.53E+06	3.93E+08	1.75E+04	
L 200X9/90X14									
- Web	3	200	7.555	4533	100	4.53E+05	4.53E+07	5.04E+06	
- Face	3	12.305	90	3322.35	206.1525	6.85E+05	1.41E+08	1.40E+04	
L 400x11.5/100x16									
- Web	2	400	9.93	7944	30300	2.41E+08	7.29E+12	5.30E+07	
- Face	2	14.205	100	2841	30092.9	8.55E+07	2.57E+12	2.39E+04	
L 350x11/100x17									
- Web	4	350	9.455	13237	30325	4.01E+08	1.22E+13	3.38E+07	
- Face	4	15.155	100	6062	30142.42	1.83E+08	5.51E+12	2.90E+04	

2	L 300X13/90X17								
	- Web	1	300	11.355	3406.5	30350	1.03E+08	3.14E+12	2.55E+07
	- Face	1	15.155	90	1363.95	30192.42	4.12E+07	1.24E+12	2.61E+04
	L 300X11/90X16								
	- Web	1	300	9.455	2836.5	30350	8.61E+07	2.61E+12	2.13E+07
	- Face	1	14.205	90	1278.45	30192.9	3.86E+07	1.17E+12	2.15E+04
	L 300X10/90X16								
	- Web	3	300	8.505	7654.5	30350	2.32E+08	7.05E+12	1.91E+07
	- Face	3	14.205	90	3835.35	30192.9	1.16E+08	3.50E+12	2.15E+04
	L 250X11/90X16								
	- Web	1	250	9.455	2363.75	30375	7.18E+07	2.18E+12	1.23E+07
	- Face	1	14.205	90	1278.45	30242.9	3.87E+07	1.17E+12	2.15E+04
	L 250X9/90X15								
	- Web	5	250	7.555	9443.75	30375	2.87E+08	8.71E+12	9.84E+06
	- Face	5	13.255	90	5964.75	30243.37	1.80E+08	5.46E+12	1.75E+04
	L 200X9/90X14								
	- Web	3	200	7.555	4533	30400	1.38E+08	4.19E+12	5.04E+06
	- Face	3	12.305	90	3322.35	30293.85	1.01E+08	3.05E+12	1.40E+04
	Pembujur Sekat memanjang								
	L 200X9/90X14								
- Web	1	200	7.4	1480	22550	3.34E+07	7.53E+11	4.93E+06	
- Face	1	12.15	90	1093.5	22656	2.48E+07	5.61E+11	1.35E+04	
L 400X11.5/100X16									
- Web	1	400	9.775	3910	22650	8.86E+07	2.01E+12	5.21E+07	
- Face	1	14.05	125	1756.25	22857	4.01E+07	9.18E+11	2.89E+04	
L 450X14/125X16									
- Web	1	450	12.15	5467.5	22675	1.24E+08	2.81E+12	9.23E+07	
- Face	1	14.05	125	1756.25	22907	4.02E+07	9.22E+11	2.89E+04	
L 400x11.5/100x16									
- Web	1	400	9.775	3910	22650	8.86E+07	2.01E+12	5.21E+07	
- Face	1	14.05	100	1405	22857	3.21E+07	7.34E+11	2.31E+04	
L 350x11/100x17									
- Web	5	350	9.3	16275	22625	3.68E+08	8.33E+12	3.32E+07	
- Face	5	15	100	7500	22808	1.71E+08	3.90E+12	2.81E+04	

L 300X12/90X17									
- Web	1	300	10.25	3075	22600	6.95E+07	1.57E+12	2.31E+07	
- Face	1	15	90	1350	22758	3.07E+07	6.99E+11	2.53E+04	
L300X11/90X16									
- Web	1	300	9.3	2790	22600	6.31E+07	1.43E+12	2.09E+07	
- Face	1	14.05	90	1264.5	22757	2.88E+07	6.55E+11	2.08E+04	
L 300X10/90X16									
- Web	3	300	8.35	7515	22600	1.70E+08	3.84E+12	1.88E+07	
- Face	3	14.05	90	3793.5	22757	8.63E+07	1.96E+12	2.08E+04	
L 250X10/90X15									
- Web	1	250	8.35	2087.5	22575	4.71E+07	1.06E+12	1.09E+07	
- Face	1	13.1	90	1179	22707	2.68E+07	6.08E+11	1.69E+04	
L 250X9/90X15									
- Web	6	250	7.4	11100	22575	2.51E+08	5.66E+12	9.64E+06	
- Face	6	13.1	90	7074	22707	1.61E+08	3.65E+12	1.69E+04	
L 200X9/90X14									
- Web	1	200	7.4	1480	7950	1.18E+07	9.35E+10	4.93E+06	
- Face	1	12.15	90	1093.5	7844	8.58E+06	6.73E+10	1.35E+04	
L 400X11.5/100X16									
- Web	1	400	9.775	3910	7850	3.07E+07	2.41E+11	5.21E+07	
- Face	1	14.05	125	1756.25	7643	1.34E+07	1.03E+11	2.89E+04	
L 450X14/125X16									
- Web	1	450	12.15	5467.5	7825	4.28E+07	3.35E+11	9.23E+07	
- Face	1	14.05	125	1756.25	7593	1.33E+07	1.01E+11	2.89E+04	
L 400x11.5/100x16									
- Web	1	400	9.775	3910	7850	3.07E+07	2.41E+11	5.21E+07	
- Face	1	14.05	100	1405	7643	1.07E+07	8.21E+10	2.31E+04	
L 350x11/100x17									
- Web	5	350	9.3	16275	7875	1.28E+08	1.01E+12	3.32E+07	
- Face	5	15	100	7500	7693	5.77E+07	4.44E+11	2.81E+04	
L 300X12/90X17									
- Web	1	300	10.25	3075	7900	2.43E+07	1.92E+11	2.31E+07	
- Face	1	15	90	1350	7743	1.05E+07	8.09E+10	2.53E+04	
L300X11/90X16									
- Web	1	300	9.3	2790	7900	2.20E+07	1.74E+11	2.09E+07	
- Face	1	14.05	90	1264.5	7743	9.79E+06	7.58E+10	2.08E+04	

	L 300X10/90X16								
	- Web	3	300	8.35	7515	7900	5.94E+07	4.69E+11	1.88E+07
	- Face	3	14.05	90	3793.5	7743	2.94E+07	2.27E+11	2.08E+04
	L 250X10/90X15								
	- Web	1	250	8.35	2087.5	7925	1.65E+07	1.31E+11	1.09E+07
	- Face	1	13.1	90	1179	7793	9.19E+06	7.16E+10	1.69E+04
	L 250X9/90X15								
	- Web	6	250	7.4	11100	7925	8.80E+07	6.97E+11	9.64E+06
	- Face	6	13.1	90	7074	7793	5.51E+07	4.30E+11	1.69E+04
3	Pelat keel (lunas)								
		1	2190	13.225	28962.75	15250	4.42E+08	6.74E+12	1.16E+10
4	Pelat alas								
		1	12855	11.575	148796.6	7727.5	1.15E+09	8.89E+12	2.05E+12
		1	12855	11.575	148796.6	22772.5	3.39E+09	7.72E+13	2.05E+12
5	Pelat bilga								
		1	1200	13	15600	351.5	5.48E+06	1.93E+09	1.87E+09
		1	1200	13	15600	30148.5	4.70E+08	1.42E+13	1.87E+09
6	Pelat sisi								
	Pelat sisi 1	1	12.555	3190	40050.45	6.2775	2.51E+05	1.58E+06	5.26E+05
	Pelat sisi 2	1	12.555	3190	40050.45	6.2775	2.51E+05	1.58E+06	5.26E+05
	Pelat sisi 3	1	12.555	3190	40050.45	6.2775	2.51E+05	1.58E+06	5.26E+05
	Pelat sisi 4	1	12.555	3190	40050.45	6.2775	2.51E+05	1.58E+06	5.26E+05
	Pelat lajur sisi atas	1	12.555	2690	33772.95	6.2775	2.12E+05	1.33E+06	4.44E+05
	Pelat sisi 1	1	13	3190	40050.45	30493.72	1.22E+09	3.72E+13	5.26E+05
	Pelat sisi 2	1	13	3190	40050.45	30493.72	1.22E+09	3.72E+13	5.26E+05
	Pelat sisi 3	1	13	3190	40050.45	30493.72	1.22E+09	3.72E+13	5.26E+05
	Pelat sisi 4	1	13	3190	40050.45	30493.72	1.22E+09	3.72E+13	5.26E+05
	Pelat lajur sisi atas	1	13	2690	33772.95	30493.72	1.03E+09	3.14E+13	4.44E+05

7	Pelat Sekat memanjang								
	Pelat sekat memanjang 1	1	12.625	2200	27775	6.3125	1.75E+05	1.11E+06	3.69E+05
	Pelat sekat memanjang 2	1	12.15	2640	32076	6.075	1.95E+05	1.18E+06	3.95E+05
	Pelat sekat memanjang 3	1	12.15	3190	38758.5	6.075	2.35E+05	1.43E+06	4.77E+05
	Pelat sekat memanjang 4	1	10.25	3190	32697.5	5.125	1.68E+05	8.59E+05	2.86E+05
	Pelat sekat memanjang 5	1	11.675	3190	37243.25	5.8375	2.17E+05	1.27E+06	4.23E+05
	Pelat sekat memanjang 6	1	12.625	2930	36991.25	6.3125	2.34E+05	1.47E+06	4.91E+05
	Pelat sekat memanjang 1	1	12.625	2200	27775	30493.69	8.47E+08	2.58E+13	3.69E+05
	Pelat sekat memanjang 2	1	12.15	2640	32076	30493.93	9.78E+08	2.98E+13	3.95E+05
	Pelat sekat memanjang 3	1	12.15	3190	38758.5	30493.93	1.18E+09	3.60E+13	4.77E+05
	Pelat sekat memanjang 4	1	10.25	3190	32697.5	30494.88	9.97E+08	3.04E+13	2.86E+05
	Pelat sekat memanjang 5	1	11.675	3190	37243.25	30494.16	1.14E+09	3.46E+13	4.23E+05
	Pelat sekat memanjang 6	1	12.625	2930	36991.25	30493.69	1.13E+09	3.44E+13	4.91E+05
8	Pembujur Alas								
	T 650x14/200x22								
	- Web	1	12.15	650	7897.5	15250	1.20E+08	1.84E+12	9.72E+04
-Face	1	200	19.625	3925	15250	5.99E+07	9.13E+11	1.31E+07	
9	L 400x11.5/100x16								
	- Web	16	9.65	400	61760	8050	4.97E+08	4.00E+12	3.00E+04
	- Face	16	100	13.925	22280	8105.6	1.81E+08	1.46E+12	1.16E+06
	L 400x11.5/100x16								
	- Web	16	9.65	400	61760	22450	1.39E+09	3.11E+13	3.00E+04
- Face	16	100	13.925	22280	22394.4	4.99E+08	1.12E+13	1.16E+06	
10	Pelat Geladak								
		1	24184.3	11.9	287793.2	15250	4.39E+09	6.69E+13	1.40E+13
		1	3169.838	12.375	39226.75	28917.4	1.13E+09	3.28E+13	3.28E+10
	1	3169.838	12.375	39226.75	1582.6	6.21E+07	9.82E+10	3.28E+10	

11	Pembujur Geladak								
	L 200X9/90X14								
	- Web	2	7.025	200	2810	15250	4.29E+07	6.54E+11	5.78E+03
	- Face	2	90	11.775	2119.5	15250	3.23E+07	4.93E+11	7.15E+05
	L 250X9/90X15								
	- Web	2	7.025	250	3512.5	1284	4.51E+06	5.79E+09	7.22E+03
	- Face	2	90	12.725	2290.5	1203	2.76E+06	3.31E+09	7.73E+05
	L 250X9/90X15								
- Web	2	7.025	250	3512.5	29216	1.03E+08	3.00E+12	7.22E+03	
- Face	2	90	12.725	2290.5	29297	6.71E+07	1.97E+12	7.73E+05	

2045768	31197958348	7.55284E+14	1.82072E+13
S ₁	S ₂	S ₃	S ₄

Titik Berat terhadap center line (Y₁) = S₂ / S₁
= 31197958347.625 / 2045767.76
= 15250.000 mm 15.25 m

Titik Berat terhadap sisi (Y₂) = H - Z₁
= 15250.00 mm 15.25 m B 30.5

I_{zz} = S₃ + S₄ = 755283615213192.000 + 18207215279133.20
= 7.73E+14 mm⁴

I_{NA} = I_{xx} - (Z₁)² · S₁ = 773490830492326.000 - [(15250.00²) x 2045767.761]
= 2.98E+14 mm⁴

Modulus penampang thd Y1 = I_{NA} / Z₁
= 297721965691044.000 / 15250.00
= 1.95E+10 mm³ 19.52 m3 tegangan 20.71

Modulus penampang thd Y2 = I_{NA} / Z₂
= 297721965691044.000 / 15250.00
= 1.95E+10 mm³

	0.9 $T_{sc} < T_{Lc} < T_{sc}$	0.6 T_{sc}	
GM	3.66	7.32	
roll-gyr	10.68	12.20	
Uroll	12.83	10.37	
fbk	1.00	1.00	ship with bilge keels
B	30.50	30.50	
ϵ	0.44	0.47	rads
L	165.29	165.29	
T_{sc}	10.80	10.80	
T_{Lc}	10.80	10.80	
V	12.50	12.50	
V_o	9.38	9.38	0.75 V for fatigue strength
ft	0.73	0.73	
fv	1.00	1.00	
U pitch	32.86	32.86	sec
V1	12.50	12.50	
C_b	0.78	0.78	
φ	0.20	0.20	rads

PERHITUNGAN BEBAN DINAMIS EKSTERNAL (FULL LOAD)

Index	B local	Location				P1 [kN/mm ²]	P2 [kN/mm ²]	Dynamic factor		P1*f	P2*f	Pex-dyn [kN/mm ²]		Pww-dyn [kN/mm ²]	Pex-amp [kN/mm ²]
		note	z [m]	note	y [m]										
1	28.1	Base line	0	CL	0	13.29598	11.2039	ftcr	-0.7	-9.30719	-7.84273	P center	-7.84273	-7.84273	-7.84273
	28.1	0	0	B local/4	7.025	17.40851	19.17557		-0.7	-12.186	-13.4229		-12.186	-17.9435	-17.9435
	28.1	0	0	B local/2	14.05	33.85864	51.06228		-0.7	-23.701	-35.7436		-23.701	-23.701	-23.701
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	35.3662	54.96965	fbilge	-0.3	-10.6099	-16.4909	P bilge 1	-10.6099	-19.9954	-19.9954
	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	36.83419	58.74177	fbilge	-0.3	-11.0503	-17.6225	P bilge 2	-11.0503	-11.4343	-11.4343
	30.5	still water line (z=Tlc+(pwl/10))	9.349374	B local/2	15.25	46.61343	83.43748	fwl	-0.3	-13.984	-25.0312		-13.984	-14.4361	-14.4361
	30.5	still water line (z=Tlc)	10.8	B local/2	15.25	48.35419	87.83342	fwl	-0.3	-14.5063	-26.35	Pwl	-14.5063	-14.5063	-7.25313
30.5	still water line (z=Tlc+(pwl/10))	12.25063	B local/2	15.25	50.09494	92.22937	fwl	-0.3	-15.0285	-27.6688		-15.0285	-29.0125	0	
2	28.1	Base line	0	CL	0	13.29598	11.2039	ftcr	0.7	9.307187	7.842727	P center	9.307187	9.307187	9.307187
	28.1	0	0	B local/4	7.025	17.40851	19.17557		0.7	12.18596	13.4229		13.4229	24.58325	24.58325
	28.1	0	0	B local/2	14.05	33.85864	51.06228		0.7	23.70105	35.74359		35.74359	35.74359	35.74359
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	35.3662	54.96965	fbilge	0.3	10.60986	16.4909	P bilge 1	16.4909	30.43563	30.43563
	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	36.83419	58.74177	fbilge	0.3	11.05026	17.62253	P bilge 2	17.62253	18.59225	18.59225
	30.5	still water line (z=Tlc-(pwl/10))	8.164997	B local/2	15.25	45.19218	79.84836	fwl	0.3	13.55765	23.95451		23.95451	25.76556	25.76556
	30.5	still water line (z=Tlc)	10.8	B local/2	15.25	48.35419	87.83342	fwl	0.3	14.50626	26.35003	Pwl	26.35003	26.35003	13.17501
30.5	still water line (z=Tlc+(pwl/10))	13.435	B local/2	15.25	51.51619	95.81849	fwl	0.3	15.45486	28.74555		28.74555	0	0	
3	28.1	Base line	0	CL	0	13.29598	11.2039	ftcr	0.3	3.988794	3.361169	P center	3.988794	3.988794	3.988794
	28.1	0	0	B local/4	7.025	17.40851	19.17557		0.3	5.222554	5.752672		5.752672	10.53568	10.53568
	28.1	0	0	B local/2	14.05	33.85864	51.06228		0.3	10.15759	15.31868		15.31868	15.31868	15.31868
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	35.3662	54.96965	fbilge	0.1	3.53662	5.496965	P bilge 1	5.496965	12.55223	12.55223
	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	36.83419	58.74177	fbilge	0.1	3.683419	5.874177	P bilge 2	5.874177	6.197417	6.197417
	30.5	still water line (z=Tlc-(pwl/10))	9.921666	B local/2	15.25	47.30018	85.17174	fwl	0.1	4.730018	8.517174		8.517174	8.761696	8.761696
	30.5	still water line (z=Tlc)	10.8	B local/2	15.25	48.35419	87.83342	fwl	0.1	4.835419	8.783342	Pwl	8.783342	8.783342	4.391671
30.5	still water line (z=Tlc+(pwl/10))	11.67833	B local/2	15.25	49.40819	90.49511	fwl	0.1	4.940819	9.049511		9.049511	0	0	
4	28.1	Base line	0	CL	0	13.29598	11.2039	ftcr	-0.3	-3.98879	-3.36117	P center	-3.36117	-3.36117	-3.36117
	28.1	0	0	B local/4	7.025	17.40851	19.17557		-0.3	-5.22255	-5.75267		-5.22255	-7.69007	-7.69007
	28.1	0	0	B local/2	14.05	33.85864	51.06228		-0.3	-10.1576	-15.3187		-10.1576	-10.1576	-10.1576
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	35.3662	54.96965	fbilge	-0.1	-3.53662	-5.49697	P bilge 1	-3.53662	-8.2612	-8.2612
	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	36.83419	58.74177	fbilge	-0.1	-3.68342	-5.87418	P bilge 2	-3.68342	-3.81142	-3.81142
	30.5	still water line (z=Tlc-(pwl/10))	10.31646	B local/2	15.25	47.77394	86.36811	fwl	-0.1	-4.77739	-8.63681		-4.77739	-4.83282	-4.83282
	30.5	still water line (z=Tlc)	10.8	B local/2	15.25	48.35419	87.83342	fwl	-0.1	-4.83542	-8.78334	Pwl	-4.83542	-4.83542	-2.41771
30.5	still water line (z=Tlc+(pwl/10))	11.28354	B local/2	15.25	48.93444	89.29874	fwl	-0.1	-4.89344	-8.92987		-4.89344	-9.67084	0	

5a	28.1	Base line	0	CL	0	13.29598	11.2039	ftcr	0.9	11.96638	10.08351	P center	11.96638	11.96638	11.96638
	28.1	0	0	B local/4	7.025	17.40851	19.17557		0.9	15.66766	17.25801		17.25801	31.60703	31.60703
	28.1	0	0	B local/2	14.05	33.85864	51.06228		0.9	30.47278	45.95605		45.95605	45.95605	45.95605
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	35.3662	54.96965	fbilge	0.4	14.14648	21.98786	P bilge 1	21.98786	39.37733	39.37733
	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	36.83419	58.74177	fbilge	0.4	14.73367	23.49671	P bilge 2	23.49671	24.78967	24.78967
	30.5	still water line (z=TLc-(pwl/10))	7.286663	B local/2	15.25	44.13818	77.18668	fwl	0.4	17.65527	30.87467		30.87467	33.74798	33.74798
	30.5	still water line (z=TLc)	10.8	B local/2	15.25	48.35419	87.83342	fwl	0.4	19.34167	35.13337	Pwl	35.13337	35.13337	17.56668
5b	30.5	still water line (z=TLc+(pwl/10))	14.31334	B local/2	15.25	52.57019	98.48017	fwl	0.4	21.02808	39.39207		39.39207	0	0
	28.1	Base line	0	CL	0	13.29598	11.2039	ftcr	0.9	11.96638	10.08351	P center	11.96638	11.96638	11.96638
	28.1	0	0	B local/4	7.025	17.40851	19.17557		0.9	15.66766	17.25801		17.25801	31.60703	31.60703
	28.1	0	0	B local/2	14.05	33.85864	51.06228		0.9	30.47278	45.95605		45.95605	45.95605	45.95605
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	35.3662	54.96965	fbilge	1	35.3662	54.96965	P bilge 1	54.96965	49.7012	49.7012
	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	36.83419	58.74177	fbilge	1	36.83419	58.74177	P bilge 2	58.74177	61.97417	61.97417
	30.5	still water line (z=TLc-(pwl/10))	2.016658	B local/2	15.25	37.81417	61.21655	fwl	1	37.81417	61.21655	0	61.21655	66.18666	66.18666
6a	30.5	still water line (z=TLc)	10.8	B local/2	15.25	48.35419	87.83342	fwl	1	48.35419	87.83342	Pwl	87.83342	87.83342	43.91671
	0	still water line (z=H)	16.9	RPOLASI LI	0	0	0		0	0	0		0	0	19.58334
	30.5	still water line (z=TLc+(pwl/10))	19.58334	B local/2	15.25	58.8942	114.4503	fwl	1	58.8942	114.4503	0	114.4503	0	0
	28.1	Base line	0	CL	0	13.29598	11.2039	ftcr	0.5	6.64799	5.601948	P center	6.64799	6.64799	6.64799
	28.1	0	0	B local/4	7.025	17.40851	19.17557		0.5	8.704256	9.587786		9.587786	17.55946	17.55946
	28.1	0	0	B local/2	14.05	33.85864	51.06228		0.5	16.92932	25.53114		25.53114	25.53114	25.53114
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	35.3662	54.96965	fbilge	0	0	0	P bilge 1	0	18.05264	18.05264
6b	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	36.83419	58.74177	fbilge	0	0	0	P bilge 2	0	0	0
	30.5	still water line (z=TLc-(pwl/10))	10.8	B local/2	15.25	48.35419	87.83342	fwl	0	0	0		0	0	0
	30.5	still water line (z=TLc)	10.8	B local/2	15.25	48.35419	87.83342	fwl	0	0	0	Pwl	0	0	0
	30.5	still water line (z=TLc+(pwl/10))	10.8	B local/2	15.25	48.35419	87.83342	fwl	0	0	0		0	0	0
	28.1	Base line	0	CL	0	13.29598	11.2039	ftcr	0.5	6.64799	5.601948	P center	6.64799	6.64799	6.64799
	28.1	0	0	B local/4	7.025	17.40851	19.17557		0.5	8.704256	9.587786		9.587786	17.55946	17.55946
	28.1	0	0	B local/2	14.05	33.85864	51.06228		0.5	16.92932	25.53114		25.53114	25.53114	25.53114
29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	35.3662	54.96965	fbilge	0.4	14.14648	21.98786	P bilge 1	21.98786	24.93522	24.93522	
30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	36.83419	58.74177	fbilge	0.4	14.73367	23.49671	P bilge 2	23.49671	26.74152	26.74152	
30.5	still water line (z=TLc-(pwl/10))	5.529995	B local/2	15.25	42.03018	71.8633	fwl	0.6	25.21811	43.11798		43.11798	48.02435	48.02435	
30.5	still water line (z=TLc)	10.8	B local/2	15.25	48.35419	87.83342	fwl	0.6	29.01251	52.70005	Pwl	52.70005	52.70005	26.35003	
30.5	still water line (z=TLc+(pwl/10))	16.07001	B local/2	15.25	54.67819	103.8035	fwl	0.6	32.80692	62.28213	0	62.28213	0	0	

5a	28.1	Base line	0	CL	0	0.625	-0.25	28.83997	14.825231	11.2038959	ftcr	0.9	13.34271	10.08351	P center	13.34271	13.34	13.34
	28.1		0	B local/4	7.025	0.7	0	28.83997	19.121273	19.175572		0.9	17.20915	17.25801		17.25801	31.61	31.61
	28.1		0	B local/2	14.05	1	1	28.83997	36.305441	51.0622764		0.9	32.6749	45.95605		45.95605	45.96	45.96
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	1	1	28.83997	37.812999	55.2137003	fbilge	0.4	15.1252	22.08548	P bilge 1	22.08548	39.476496	39.48
	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	1	1	28.83997	39.280986	59.5881031	fbilge	0.4	15.71239	23.83524	P bilge 2	23.83524	25.38	25.38
	30.5	still water line (z=Tlc-(pwl/10))	5.247663	B local/2	15.25	1	1	28.83997	44.138181	74.7087941	fwl	0.4	17.65527	29.88352		29.88352	33.03	33.03
	30.5	still water line (z=Tlc)	8.761	B local/2	15.25	1	1	28.83997	48.354186	87.833425	fwl	0.4	19.34167	35.13337	Pwl	35.13337	35.13	17.57
	30.5	still water line (z=Tlc+(pwl/10))	12.27434	B local/2	15.25	1	1	28.83997	52.57019	100.958056	fwl	0.4	21.02808	40.38322		40.38322	0.00	0
5b	28.1	Base line	0	CL	0	0.625	-0.25	28.83997	14.825231	11.2038959	ftcr	0.9	13.34271	10.08351	P center	13.34271	13.34	13.34
	28.1		0	B local/4	7.025	0.7	0	28.83997	19.121273	19.175572		0.9	17.20915	17.25801		17.25801	31.61	31.61
	28.1		0	B local/2	14.05	1	1	28.83997	36.305441	51.0622764		0.9	32.6749	45.95605		45.95605	45.96	45.96
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	1	1	28.83997	37.812999	55.2137003	fbilge	1	37.813	55.2137	P bilge 1	55.2137	49.949105	49.95
	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	1	1	28.83997	39.280986	59.5881031	fbilge	1	39.28099	59.5881	P bilge 2	59.5881	63.46	63.46
	30.5	still water line (z=Tlc-(pwl/10))	-0.02234	B local/2	15.25	1	1	28.83997	37.814175	55.0218477	fwl	1	37.81417	55.02185		55.02185	54.94	54.94
	30.5	still water line (z=Tlc)	8.761	B local/2	15.25	1	1	28.83997	48.354186	87.833425	fwl	1	48.35419	87.83342	Pwl	87.83342	87.83	43.92
	30.5	still water line (z=H)	16.90	INTERPOLASI LINIER														17.54
30.5	still water line (z=Tlc+(pwl/10))	17.54434	B local/2	15.25	1	1	28.83997	58.894197	120.645002	fwl	1	58.8942	120.645		120.645	0.00	0	
6a	28.1	Base line	0	CL	0	0.625	-0.25	28.83997	14.825231	11.2038959	ftcr	0.5	7.412615	5.601948	P center	7.412615	7.41	7.41
	28.1		0	B local/4	7.025	0.7	0	28.83997	19.121273	19.175572		0.5	9.560636	9.587786		9.587786	17.56	17.56
	28.1		0	B local/2	14.05	1	1	28.83997	36.305441	51.0622764		0.5	18.15272	25.53114		25.53114	25.53	25.53
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	1	1	28.83997	37.812999	55.2137003	fbilge	0	0	0	P bilge 1	0	18.052642	18.05
	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	1	1	28.83997	39.280986	59.5881031	fbilge	0	0	0	P bilge 2	0	0.00	0.00
	30.5	still water line (z=Tlc-(pwl/10))	8.761	B local/2	15.25	1	1	28.83997	48.354186	87.833425	fwl	0	0	0		0	0.00	0.00
	30.5	still water line (z=Tlc)	8.761	B local/2	15.25	1	1	28.83997	48.354186	87.833425	fwl	0	0	0	Pwl	0	0.00	0.00
	30.5	still water line (z=Tlc+(pwl/10))	8.761	B local/2	15.25	1	1	28.83997	48.354186	87.833425	fwl	0	0	0		0	0.00	0
6b	28.1	Base line	0	CL	0	0.625	-0.25	28.83997	14.825231	11.2038959	ftcr	0.5	7.412615	5.601948	P center	7.412615	7.41	7.41
	28.1		0	B local/4	7.025	0.7	0	28.83997	19.121273	19.175572		0.5	9.560636	9.587786		9.587786	17.56	17.56
	28.1		0	B local/2	14.05	1	1	28.83997	36.305441	51.0622764		0.5	18.15272	25.53114		25.53114	25.53	25.53
	29.797	Bilge 1 (z=R/2)	0.3515	B local/2	14.8985	1	1	28.83997	37.812999	55.2137003	fbilge	0.4	15.1252	22.08548	P bilge 1	22.08548	25.034382	25.03
	30.5	Bilge 2 (z=R)	1.2	B local/2	15.25	1	1	28.83997	39.280986	59.5881031	fbilge	0.4	15.71239	23.83524	P bilge 2	23.83524	27.79	27.79
	30.5	still water line (z=Tlc-(pwl/10))	3.490995	B local/2	15.25	1	1	28.83997	42.030179	68.1464786	fwl	0.6	25.21811	40.88789		40.88789	45.59	45.59
	30.5	still water line (z=Tlc)	8.761	B local/2	15.25	1	1	28.83997	48.354186	87.833425	fwl	0.6	29.01251	52.70005	Pwl	52.70005	52.70	26.35
	30.5	still water line (z=Tlc+(pwl/10))	14.03101	B local/2	15.25	1	1	28.83997	54.678192	107.520371	fwl	0.6	32.80692	64.51222		64.51222	0.00	0

Tengangam M1 kondisi 95%

Notasi Load Case	FULL LOAD				BALLAST		
	Frame	Index	σ N/mm	σ N/mm	Frame	σ N/mm	σ N/mm
			Hog	Sag		Hog	Sag
1 & 2	68	Bulkhead fore			68		
	67		23	63	67	35	46
	66		12	42	66	24	30
	65		12	21	65	24	15
	64		12	21	64	24	15
	63		12	21	63	24	15
	62	Bulkhead midle 1			62		
	61		23	42	61	24	30
	60		23	42	60	24	30
	59		23	42	59	24	30
	58		23	42	58	24	30
	57		23	42	57	24	46
	56		23	42	56	24	46
	55		23	42	55	24	46
	54	Bulkhead midle 2			54		
	53		12	42	53	24	30
	52		12	42	52	24	30
	51		12	42	51	24	30
	50		12	21	50	24	15
	49		12	21	49	12	15
48	Bulkhead after			48			
3 & 4	68	Bulkhead fore			68		
	67		9	44	67	10	25
	66		9	29	66	10	25
	65		9	15	65	10	13
	64		9	15	64	10	13
	63		9	15	63	10	13
	62	Bulkhead midle 1			62		
	61		9	15	61	10	25
	60		9	29	60	10	25
	59		9	29	59	10	25
	58		9	29	58	10	25
	57		9	29	57	10	25
	56		9	29	56	10	25
	55		9	29	55	10	25
	54	Bulkhead midle 2			54		
	53		9	29	53	10	25
	52		9	29	52	10	13
	51		9	29	51	10	13
	50		9	15	50	10	13
	49		9	15	49	10	13
48	Bulkhead after			48			
5a & 5b	68	Bulkhead fore			68		
	67		27	59	67	40	46
	66		27	29	66	27	31
	65		13	15	65	14	15
	64		13	15	64	14	15
	63		13	15	63	14	15
	62	Bulkhead midle 1			62		
	61		27	29	61	27	31
	60		27	29	60	27	31
	59		27	29	59	27	31
	58		27	29	58	27	31
	57		27	44	57	27	46
	56		27	44	56	27	46
	55		27	44	55	27	31
	54	Bulkhead midle 2			54		
	53		27	29	53	27	31
	52		27	29	52	27	31
	51		13	29	51	27	31
	50		13	29	50	27	31
	49		13	15	49	27	15
48	Bulkhead after			48			
6a & 6b	68	Bulkhead fore			68		
	67		24	45	67	30	45
	66		24	23	66	20	23
	65		12	11	65	10	11
	64		12	11	64	10	11
	63		12	11	63	10	11
	62	Bulkhead midle 1			62		
	61		24	23	61	10	23
	60		24	23	60	10	23
	59		24	23	59	20	34
	58		24	23	58	20	34
	57		24	34	57	20	34
	56		24	34	56	20	34
	55		24	34	55	20	34
	54	Bulkhead midle 2			54		
	53		24	23	53	20	23
	52		12	23	52	20	23
	51		12	23	51	20	23
	50		12	23	50	10	11
	49		12	11	49	10	11
48	Bulkhead after			48			

Tengangam M2 kondisi 95%

Notasi Load Case	Frame	Index	FULL LOAD		Index	BALLAST	
			σ N/mm	σ N/mm		σ N/mm	σ N/mm
			Hog	Sag		Hog	Sag
1 & 2	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67		25	43		25	41
	66		11	22		25	28
	65		11	22		13	14
	64		11	22		13	14
	63		11	22		13	14
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61		25	22		13	28
	60		25	43		13	28
	59		25	43		13	41
	58		25	43		13	41
	57		25	43		25	41
	56		25	43		25	41
	55		25	43		25	28
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53		11	43		25	28
	52		11	43		25	28
	51		11	43		25	28
	50		11	22		13	14
	49		11	22		13	14
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			
3 & 4	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67		10	23		12	25
	66		10	23		12	13
	65		10	12		12	13
	64		10	12		12	13
	63		10	12		12	13
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61		10	23		12	25
	60		10	23		12	25
	59		10	23		12	25
	58		10	23		12	25
	57		10	23		12	25
	56		10	23		12	25
	55		10	23		12	25
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53		10	23		12	13
	52		10	23		12	13
	51		10	12		12	13
	50		10	12		12	13
	49		10	12		12	13
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			
5a & 5b	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67		37	48		34	43
	66		37	32		34	29
	65		18	16		17	14
	64		18	16		17	14
	63		18	16		17	14
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61		37	32		17	14
	60		37	32		17	29
	59		37	32		17	29
	58		37	32		17	29
	57		37	32		17	29
	56		37	32		17	29
	55		37	32		17	29
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53		37	32		34	29
	52		37	32		34	14
	51		18	32		34	14
	50		18	32		17	14
	49		18	16		17	14
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			
6a & 6b	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67		26	35		27	40
	66		13	23		13	26
	65		13	12		13	26
	64		13	12		13	13
	63		13	12		13	13
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61		26	35		13	26
	60		26	35		13	26
	59		26	35		13	26
	58		26	35		13	26
	57		26	35		13	26
	56		26	35		13	26
	55		26	35		13	26
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53		13	35		27	26
	52		13	23		13	13
	51		13	23		13	13
	50		13	23		13	13
	49		13	12		13	13
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			

Tengangam M3 kondisi 95%

Notasi Load Case	Frame	Index	σ N/mm	σ N/mm	Index	σ N/mm	σ N/mm
			Hog	Sag		Hog	Sag
1 & 2	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67		21	42		24	46
	66		10	21		12	30
	65		10	21		12	15
	64		10	21		12	15
	63		10	21		12	15
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61		21	42		12	30
	60		21	42		12	30
	59		21	42		24	30
	58		21	42		24	30
	57		21	42		24	30
	56		21	42		24	30
	55		21	42		24	30
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53		10	42		24	30
	52		10	42		24	30
	51		10	21		12	15
50		10	21		12	15	
49		10	21		12	15	
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			
3 & 4	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67		8	29		10	25
	66		8	15		10	13
	65		8	15		10	13
	64		8	15		10	13
	63		8	15		10	13
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61		16	29		10	25
	60		16	29		10	25
	59		16	29		10	25
	58		16	29		10	25
	57		16	29		10	25
	56		16	29		10	25
	55		16	29		10	25
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53		8	29		10	13
	52		8	29		10	13
	51		8	29		10	13
50		8	15		10	13	
49		8	15		10	13	
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			
5a & 5b	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67		31	44		32	34
	66		31	15		16	17
	65		16	15		16	17
	64		16	15		16	17
	63		16	15		16	17
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61		31	29		16	17
	60		31	29		16	17
	59		31	29		16	34
	58		31	29		16	34
	57		31	29		32	34
	56		31	29		32	34
	55		31	29		32	34
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53		31	29		16	34
	52		16	29		16	17
	51		16	29		16	17
50		16	29		16	17	
49		16	29		16	17	
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			
6a & 6b	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67		30	35		21	37
	66		15	23		11	19
	65		15	12		11	19
	64		15	12		11	19
	63		15	23		11	19
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61		15	23		11	19
	60		15	23		11	19
	59		15	23		11	19
	58		30	23		11	19
	57		30	23		21	19
	56		30	23		21	19
	55		30	23		21	19
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53		15	23		21	19
	52		15	23		21	19
	51		15	23		11	19
50		15	12		11	19	
49		15	12		11	19	
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			

Tengangam M4 kondisi 95%

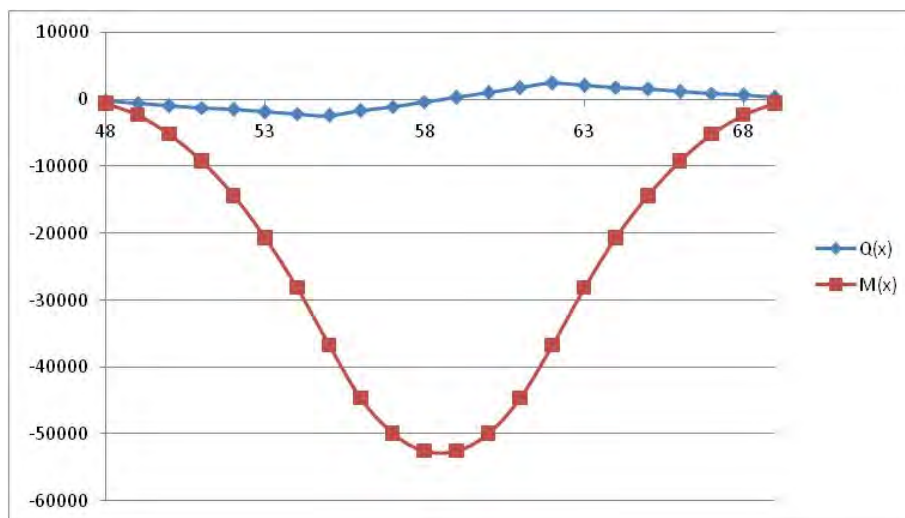
	Notasi Load Case	Frame	Index	σ N/mm	σ N/mm
				Hog	Sag
F U L L L O A D	1 & 2	Frame 68	Bulkhead after	11	22
		Frame 62	Bulkhead midle 2	43	65
		Frame 54	Bulkhead midle 1	43	65
	3 & 4	Frame 68	Bulkhead after	10	12
		Frame 62	Bulkhead midle 2	20	35
		Frame 54	Bulkhead midle 1	20	46
	5a & 5b	Frame 68	Bulkhead after	17	32
		Frame 62	Bulkhead midle 2	87	63
		Frame 54	Bulkhead midle 1	87	63
	6a & 6b	Frame 68	Bulkhead after	50	23
		Frame 62	Bulkhead midle 2	62	23
		Frame 54	Bulkhead midle 1	62	23
B A L L A S T	1 & 2	Frame 68	Bulkhead after	12	28
		Frame 62	Bulkhead midle 2	24	55
		Frame 54	Bulkhead midle 1	48	69
	3 & 4	Frame 68	Bulkhead after	12	13
		Frame 62	Bulkhead midle 2	12	38
		Frame 54	Bulkhead midle 1	12	38
	5a & 5b	Frame 68	Bulkhead after	34	29
		Frame 62	Bulkhead midle 2	85	57
		Frame 54	Bulkhead midle 1	85	57
	6a & 6b	Frame 68	Bulkhead after	27	13
		Frame 62	Bulkhead midle 2	53	13
		Frame 54	Bulkhead midle 1	53	26

Tengangam M5 kondisi 95%

Notasi Load Case	Frame	Index	σ N/mm		Index	σ N/mm	
			Hog	Sag		Hog	Sag
1 & 2	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67						
	66		23	104		59	63
	65		23	84		47	47
	64	23	84	47	47		
	63	23	63	47	47		
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61						
	60		12	63		24	47
	59		12	63		35	47
	58	23	42	24	16		
	57	12	63	35	47		
	56	12	63	35	47		
	55	23	63	35	47		
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53						
	52		23	104		59	63
	51		23	84		47	47
50	23	84	47	47			
49	23	63	35	32			
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			
3 & 4	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67						
	66		45	103		31	28
	65		36	74		21	28
	64	36	59	21	28		
	63	27	59	21	28		
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61						
	60		27	44		10	28
	59		27	44		21	28
	58	27	44	21	14		
	57	27	44	21	28		
	56	27	44	21	28		
	55	27	44	21	28		
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53						
	52		45	103		31	28
	51		36	74		21	28
50	36	59	21	28			
49	27	59	21	14			
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			
5a & 5b	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67						
	66		31	44		81	86
	65		16	44		65	51
	64	31	29	65	51		
	63	31	29	65	34		
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61						
	60		31	29		49	69
	59		31	29		49	34
	58	31	15	32	34		
	57	31	29	49	34		
	56	31	29	49	34		
	55	31	29	49	34		
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53						
	52		31	44		81	69
	51		16	44		49	34
50	31	29	49	34			
49	31	29	49	34			
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			
6a & 6b	68	Bulkhead after			Bulkhead after		
	67						
	66		30	32		53	52
	65		30	32		32	39
	64	30	32	32	39		
	63	30	32	32	39		
	62	Bulkhead midle 2			Bulkhead midle 2		
	61						
	60		15	16		21	39
	59		30	16		21	39
	58	45	32	11	39		
	57	30	16	21	39		
	56	30	16	21	39		
	55	30	16	21	39		
	54	Bulkhead midle 1			Bulkhead midle 1		
	53						
	52		30	16		53	39
	51		30	16		32	26
50	30	16	32	26			
49	30	16	32	26			
48	Bulkhead fore			Bulkhead fore			

	Beban untuk cargohold 4				Beban untuk cargohold 3				Beban untuk cargohold 2			
	Tangki kanan	Tangki tengah	Tangki kiri	total	Tangki kanan	Tangki tengah	Tangki kiri	total	Tangki kanan	Tangki tengah	Tangki kiri	total
BEBAN MUATAN	137.5069	249.6946	137.5069	524.7084		249.6946		249.6946	137.5069	249.6946	137.5069	524.7084
	panjang	22.8 m			panjang	30.4 m			panjang	22.8 m		
	Volume	11963.35152			Volume	7590.71584			Volume	11963.35152		
	Berat	-11365.18 ton			Berat	-7211.18 ton			Berat	-11365.18 ton		
	Jumlah frame	6			Jumlah frame	8			Jumlah frame	6		
	Persebaran	-498.47298 ton/m			Persebaran	-237.20987 ton/m			Persebaran	-498.47298 ton/m		
GAYA ANGKAT	area	328.7814			area	328.7814			area	328.7814		
	panjang	22.8			panjang	30.4			panjang	22.8		
	volume	7496.21592			volume	9994.95456			volume	7496.21592		
	Berat	7683.621318			Berat	10244.82842			Berat	7683.621318		
	persebaran	337.000935 ton/m			persebaran	337.000935 ton/m			persebaran	337.000935 ton/m		

Frame	w(x)	b(x)	f(x)	$\Sigma f(x)$	$\Delta \Sigma f(x) =$	$\Sigma f'(x)$	$\Sigma \Sigma f(x)$	$\Delta \Sigma f(x) =$	$\Sigma \Sigma f'(x)$	Q(x)	M(x)
[1]	[2]	[3]	[2] + [3]	[5]	$-x/l_b \cdot \Sigma f(x)_{FP}$	[7]=[5] + [6]	[8]	$-x^2/l_b \cdot \Sigma \Sigma f(x)_{FP}$	[8] + [9]	[7] * b	[10]*b*b/2
	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
47	337.000935	-498.473	-161.472045	0	0	0	0	0	0	0	0
48	337.000935	-498.473	-161.472045	-161.47	81.96	-79.51486	-80	0	-80	-302.1565	-574.097
49	337.000935	-498.473	-161.472045	-322.94	163.91	-159.0297	-318	0	-318	-604.3129	-2296.39
50	337.000935	-498.473	-161.472045	-484.42	245.87	-238.5446	-716	0	-716	-906.4694	-5166.88
51	337.000935	-498.473	-161.472045	-645.89	327.83	-318.0594	-1272	0	-1272	-1208.626	-9185.56
52	337.000935	-498.473	-161.472045	-807.36	409.79	-397.5743	-1988	0	-1988	-1510.782	-14352.4
53	337.000935	-498.473	-161.472045	-968.83	491.74	-477.0892	-2863	0	-2863	-1812.939	-20667.5
54	337.000935	-498.473	-161.472045	-1130.30	573.70	-556.604	-3896	0	-3896	-2115.095	-28130.8
55	337.000935	-237.2099	99.791065	-1291.78	655.66	-636.1189	-5089	0	-5089	-2417.252	-36742.2
56	337.000935	-237.2099	99.791065	-1191.99	737.61	-454.3706	-6179	0	-6179	-1726.608	-44615.6
57	337.000935	-237.2099	99.791065	-1092.19	819.57	-272.6224	-6906	0	-6906	-1035.965	-49864.4
58	337.000935	-237.2099	99.791065	-992.40	901.53	-90.87413	-7270	0	-7270	-345.3217	-52488.9
59	337.000935	-237.2099	99.791065	-892.61	983.49	90.874125	-7270	0	-7270	345.32168	-52488.9
60	337.000935	-237.2099	99.791065	-792.82	1065.44	272.62238	-6906	0	-6906	1035.965	-49864.4
61	337.000935	-237.2099	99.791065	-693.03	1147.40	454.37063	-6179	0	-6179	1726.6084	-44615.6
62	337.000935	-498.473	-161.472045	-593.24	1229.36	636.11888	-5089	0	-5089	2417.2517	-36742.2
63	337.000935	-498.473	-161.472045	-754.71	1311.31	556.60402	-3896	0	-3896	2115.0953	-28130.8
64	337.000935	-498.473	-161.472045	-916.18	1393.27	477.08916	-2863	0	-2863	1812.9388	-20667.5
65	337.000935	-498.473	-161.472045	-1077.66	1475.23	397.5743	-1988	0	-1988	1510.7823	-14352.4
66	337.000935	-498.473	-161.472045	-1239.13	1557.19	318.05944	-1272	0	-1272	1208.6259	-9185.56
67	337.000935	-498.473	-161.472045	-1400.60	1639.14	238.54458	-716	0	-716	906.4694	-5166.88
68	337.000935	-498.473	-161.472045	-1562.07	1721.10	159.02972	-318	0	-318	604.31293	-2296.39
69	337.000935	-498.473	-161.472045	-1723.54	1803.06	79.51486	-80	0	-80	302.15647	-574.097
				-1885.02	1885.02	0	0	0	0	0	0





l _{blg}	3.8	m
l _g	4.6875	mm
b _f	100	mm
β	0.90625	
l _{fnet-50}	12.325	mm
h _{stf}	412	mm
l _{wnet-50}	8.5	mm
l _{pnet-50}	13.9	mm
s	800	mm
n	33.35	
λ	1.831	
d _w	400	mm
K _d	1.3	
x	1	m
f _p	0.16	

profil L 400x11.5/100x16

Nama bagian	Jml (n)	Lebar (mm) [b]	Tinggi (mm) [h]
L 400x11.5/100x16			
- Web	1	8.5	400
- Face	1	100	12.325

1+m/ξ	4.15
1+(m+Δm)/ξ	6.25

Fatigue Damage (D)
Palmgren - Miner's
Weibull Distribution

$$DM = \frac{\alpha_i \cdot N_L}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_i \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right)$$

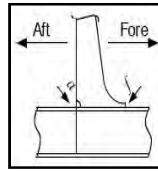
Pin-amp		M		Znet50		ψ	Kn2	α2Ai	Se 2 sigma Ai	f*Se	s tensile	s compression	Sri	θi	γ(1 + m/ξ, νi)	γ(1 + (m+Δm)/ξ, νi)	μi =	D	
		kNm	Nmm	mm3	cm3														
20.013		20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	1.21E-04	2.50	22.30	44.608	2.3	48	-78	95.31953184	4.00978929	3.909293012	34.27031629	0.717147541	0.2476523
20.013		20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	1.21E-04	2.50	22.30	44.608	2.3	52	-75	96.75498684	3.953125744	3.827200739	32.77619338	0.724725967	0.2617472
20.013	20.013	40.025	38531.18	3.85E+10	5.62E+09	5.62E+06	6.05E-05	2.50	22.31	44.612	2.3	85	-42	109.8337509	3.503581473	3.146265016	21.98018086	0.784282991	0.4144351
20.013	20.013	40.025	38531.18	3.85E+10	5.62E+09	5.62E+06	6.05E-05	2.50	22.31	44.612	2.3	84	-43	109.6156659	3.510218229	3.156626859	22.12465034	0.783417446	0.4114331
23.077		23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	1.05E-04	2.50	22.30	44.609	-13.089	51	-57	85.24336204	4.459865319	4.523410768	46.98043809	0.657222564	0.1623238
23.077		23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	1.05E-04	2.50	22.30	44.609	-13.089	50	-58	84.86578204	4.478756671	4.547594499	47.54152155	0.654733169	0.1595697
23.077	23.077	46.155	44431.46	4.44E+10	6.48E+09	6.48E+06	5.24E-05	2.50	22.31	44.613	-13.090	86	-22	99.49936713	3.84923786	3.674254789	30.10909431	0.738602904	0.2901083
23.077	23.077	46.155	44431.46	4.44E+10	6.48E+09	6.48E+06	5.24E-05	2.50	22.31	44.613	-13.090	77	-31	95.75286213	3.992509161	3.884361358	33.81181704	0.719458991	0.2518544
2.19903984																			

Pin-amp		M		Znet50		ψ	Kn2	α2Ai	Se 2 sigma Ai	f*Se	s tensile	s compression	Sri	θi	γ(1 + m/ξ, νi)	γ(1 + (m+Δm)/ξ, νi)	μi =	D	
		kNm	Nmm	mm3	cm3														
20.013		20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	1.21E-04	2.50	22.30	44.608	2.3	56	-71	98.37597684	3.891079555	3.736221832	31.17174295	0.733017798	0.2782722
20.013		20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	1.21E-04	2.50	22.30	44.608	2.3	51	-76	96.29277684	3.971191143	3.853478501	33.24961142	0.72231022	0.2571539
20.013	20.013	40.025	38531.18	3.85E+10	5.62E+09	5.62E+06	6.05E-05	2.50	22.31	44.612	2.3	117	-10	122.7235509	3.152285267	2.590883583	15.03834796	0.829032658	0.6110033
20.013	20.013	40.025	38531.18	3.85E+10	5.62E+09	5.62E+06	6.05E-05	2.50	22.31	44.612	2.3	92	-35	112.7632509	3.416861032	3.010274394	20.13670042	0.79553488	0.4548311
23.077		23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	1.05E-04	2.50	22.30	44.609	-13.089	47	-61	83.90881204	4.527379618	4.609216058	48.99394568	0.648340568	0.1527264
23.077		23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	1.05E-04	2.50	22.30	44.609	-13.089	34	-74	78.42739204	4.828176838	4.970047244	58.20014479	0.609361438	0.1172105
23.077	23.077	46.155	44431.46	4.44E+10	6.48E+09	6.48E+06	5.24E-05	2.50	22.31	44.613	-13.090	86	-22	99.49936713	3.84923786	3.674254789	30.10909431	0.738602904	0.2901083
23.077	23.077	46.155	44431.46	4.44E+10	6.48E+09	6.48E+06	5.24E-05	2.50	22.31	44.613	-13.090	85	-23	98.91021213	3.871065788	3.706641896	30.66147818	0.735690081	0.2838615
2.44516707																			

Pin-amp		M		Znet50		ψ	Kn2	α2Ai	Se 2 sigma Ai	f*Se	s tensile	s compression	Sri	θi	γ(1 + m/ξ, νi)	γ(1 + (m+Δm)/ξ, νi)	μi =	D	
		kNm	Nmm	mm3	cm3														
20.013		20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	1.21E-04	2.50	22.30	44.608	2.3	48	-78	95.31953184	4.00978929	3.909293012	34.27031629	0.717147541	0.2476523
20.013		20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	1.21E-04	2.50	22.30	44.608	2.3	44	-83	93.55857684	4.081618816	4.011927687	36.20216656	0.707539375	0.2310413
20.013	20.013	40.025	38531.18	3.85E+10	5.62E+09	5.62E+06	6.05E-05	2.50	22.31	44.612	2.3	96	-31	114.2605509	3.374214115	2.949042168	19.26073073	0.801025127	0.4764565
20.013	20.013	40.025	38531.18	3.85E+10	5.62E+09	5.62E+06	6.05E-05	2.50	22.31	44.612	2.3	100	-27	115.9206009	3.32818912	2.870271473	18.33840847	0.806914784	0.5011846
23.077		23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	1.05E-04	2.50	22.30	44.609	-13.089	47	-61	83.90881204	4.527379618	4.609216058	48.99394568	0.648340568	0.1527264
23.077		23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	1.05E-04	2.50	22.30	44.609	-13.089	42	-67	81.57823204	4.650450064	4.761125867	52.71896245	0.632265088	0.1368706
23.077	23.077	46.155	44431.46	4.44E+10	6.48E+09	6.48E+06	5.24E-05	2.50	22.31	44.613	-13.090	97	-11	103.8285171	3.696266138	3.443836416	26.36376171	0.758944891	0.3387259
23.077	23.077	46.155	44431.46	4.44E+10	6.48E+09	6.48E+06	5.24E-05	2.50	22.31	44.613	-13.090	84	-24	98.58796713	3.883112541	3.724460118	30.96818708	0.734081736	0.2804816
2.36513907																			

Principle Dimensions

Length (konstruksi)	=	165.29	[m]
Breadth (B)	=	30.50	[m]
Depth (H)	=	16.90	[m]
Draft Designed (t _d)	=	10.80	[m]



NL	75487729.0
f ₀	0.85
U (sec)	7.88E+08
α ₁	0.5
m	3
K ₂	6.30E+11
N _r	10000
Δm =	2
Sq (N/mm ²)	39.8

f _{weibull}	1.1
ξ	1.13
1+ m/ξ	3.66
1+($m+\Delta m$)/ξ	5.44
r (1+m/ξ)	3.9814

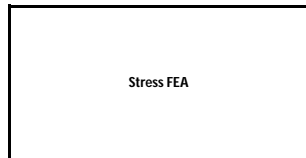
Fatigue life	Frame 65	19.5	tahun
	Frame 58	16.4	tahun
	Frame 51	20.8	tahun

Tipe Sambungan	Assess Point	Class	SCF		
			Kgl	Kgh	K
M3 pada kondisi struktur 85%	f	F	1.55	1.05	1.6275
	a	F2			

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.6	0.4	0	1.1
bi	1	0.4	0	0.05
ai	-0.2	1.3	0	0
bi	1	0.1	0	0

0.9218935	0.452071	0	0.193195
0.9739645	0.2692308	0	0

y/B	0.24918
z/D	0.130178



z	2.20	y	7.6
M	6.95E+11	M	4.04E+11
lna	8.62E+13	lna	2.70E+14
z1	7652.28		
z critical area	2200		
	1.58E+10		3.56E+10
sigma	43.95	sigma	11.37
vertical stress range	87.90	horizontal stress range	22.74

s	0.8	m	800.0	mm
l	3.8	m	14.44	m2
fbdg	0.5		82.25	
cs	0.7			
sigma yield	235			
Kd	1.3			

	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	f1*Sv N/mm ²	f1*Sh N/mm ²	Se									
								Pex-amp			M		Znet50		ψ	Kn2	α2Ae
											kNm	Nmm	mm3	cm3			
F C	1 & 2	-19	-34	103	-26	81.0	10.3	20.340	12.096	32.4	31224.73	3.12E+10	4.56E+09	4.56E+06	3.51E-03	1.59	14.19
	3 & 4	-15	-24	103	-19	81.0	10.3	6.710	4.016	10.7	10325.56	1.03E+10	1.51E+09	1.51E+06	1.06E-02	1.59	14.13
	5A & 5B	23	-24	103	-1	81.0	10.3	27.570	64.162	91.7	88307.34	8.83E+10	1.29E+10	1.29E+07	1.24E-03	1.60	14.21
	6A & 6B	-21	20	103	-1	81.0	10.3	35.864	0.000	35.9	34525.08	3.45E+10	5.04E+09	5.04E+06	3.18E-03	1.59	14.20
B C	1 & 2	-19	26	93	3	85.6	2.443	14.234	8.572	22.8	21954.58	2.20E+10	3.20E+09	3.20E+06	5.00E-03	1.59	14.18
	3 & 4	-18	-23	93	-21	85.6	2.443	4.670	2.842	7.5	7231.21	7.23E+09	1.06E+09	1.06E+06	1.52E-02	1.58	14.10
	5A & 5B	-21	-25	93	-23	85.6	2.443	39.204	19.106	58.3	56133.09	5.61E+10	8.19E+09	8.19E+06	1.95E-03	1.59	14.21
	6A & 6B	-16	18	93	1	85.6	2.443	26.744	0.000	26.7	25745.56	2.57E+10	3.76E+09	3.76E+06	4.26E-03	1.59	14.19

	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	f1*Sv N/mm ²	f1*Sh N/mm ²	Se									
								Pex-amp			M		Znet50		ψ	Kn2	α2Ae
											kNm	Nmm	mm3	cm3			
F C	1 & 2	19	67	103	43	81.0	10.3	20.340	12.096	32.4	31224.73	3.12E+10	4.56E+09	4.56E+06	3.51E-03	1.59	14.19
	3 & 4	15	-47	103	-16	81.0	10.3	6.710	4.016	10.7	10325.56	1.03E+10	1.51E+09	1.51E+06	1.06E-02	1.59	14.13
	5A & 5B	-45	-48	103	-47	81.0	10.3	27.570	64.162	91.7	88307.34	8.83E+10	1.29E+10	1.29E+07	1.24E-03	1.60	14.21
	6A & 6B	43	41	103	42	81.0	10.3	35.864	0.000	35.9	34525.08	3.45E+10	5.04E+09	5.04E+06	3.18E-03	1.59	14.20
B C	1 & 2	-38	-52	93	-45	85.6	2.443	14.234	8.572	22.8	21954.58	2.20E+10	3.20E+09	3.20E+06	5.00E-03	1.59	14.18
	3 & 4	-18	-46	93	-32	85.6	2.443	4.670	2.842	7.5	7231.21	7.23E+09	1.06E+09	1.06E+06	1.52E-02	1.58	14.10
	5A & 5B	-42	-49	93	-46	85.6	2.443	39.204	19.106	58.3	56133.09	5.61E+10	8.19E+09	8.19E+06	1.95E-03	1.59	14.21
	6A & 6B	33	-37	93	-2	85.6	2.443	26.744	0.000	26.7	25745.56	2.57E+10	3.76E+09	3.76E+06	4.26E-03	1.59	14.19

	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	f1*Sv N/mm ²	f1*Sh N/mm ²	Se									
								Pex-amp			M		Znet50		ψ	Kn2	α2Ae
											kNm	Nmm	mm3	cm3			
F C	1 & 2	-19	-34	103	-26	81.0	10.3	20.340	12.096	32.4	31224.73	3.12E+10	4.56E+09	4.56E+06	3.51E-03	1.59	14.19
	3 & 4	-15	-24	103	-19	81.0	10.3	6.710	4.016	10.7	10325.56	1.03E+10	1.51E+09	1.51E+06	1.06E-02	1.59	14.13
	5A & 5B	23	-24	103	-1	81.0	10.3	27.570	64.162	91.7	88307.34	8.83E+10	1.29E+10	1.29E+07	1.24E-03	1.60	14.21
	6A & 6B	-21	20	103	-1	81.0	10.3	35.864	0.000	35.9	34525.08	3.45E+10	5.04E+09	5.04E+06	3.18E-03	1.59	14.20
B C	1 & 2	-19	26	93	3	85.6	2.443	14.234	8.572	22.8	21954.58	2.20E+10	3.20E+09	3.20E+06	5.00E-03	1.59	14.18
	3 & 4	-18	-23	93	-21	85.6	2.443	4.670	2.842	7.5	7231.21	7.23E+09	1.06E+09	1.06E+06	1.52E-02	1.58	14.10
	5A & 5B	-21	-25	93	-23	85.6	2.443	39.204	19.106	58.3	56133.09	5.61E+10	8.19E+09	8.19E+06	1.95E-03	1.59	14.21
	6A & 6B	-16	18	93	1	85.6	2.443	26.744	0.000	26.7	25745.56	2.57E+10	3.76E+09	3.76E+06	4.26E-03	1.59	14.19

Principle Dimensions
 Length (konstruksi) = 165.29 [m]
 Breadth (B) = 30.50 [m]
 Depth (H) = 16.90 [m]
 Draft Designed (t_d) = 10.80 [m]

NL	75487729.0
f ₀	0.85
U (sec)	7.88E+08
a ₁	0.5
m	3
K ₂	6.30E+11
N _a	10000
Δm =	2
Sq (N/mm ²)	39.8

f _{yield}	1.1
ξ	1.13
1+m/ξ	3.66
1+(m+Δm)/ξ	5.44
r(1+m/ξ)	3.9814

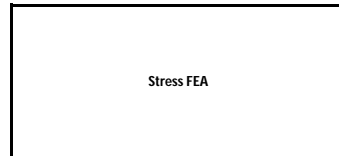
Fatigue life	Frame 65	27.2	tahun
	Frame 58	20.6	tahun
	Frame 51	22.5	tahun

Tipe Sambungan	Assess Point	Class	SCF		
			Kgl	Kgh	K
M4 pada kondisi struktur 85%	f	F	1.05	1.05	1.1025
	a	F2			

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.29	-0.47	0.14	0
bi	0.19	0.78	0.92	0
ai	-1.48	0.5	-0.64	0.72
bi	0.94	0.4	0.72	0.04

0.1385207	0.696568	0.9448521	0
0.6772781	0.4887574	0.6063905	0.167811

y/B	0.488525
z/D	0.177515



z	3.00	y	14.9
M	6.95E+11	M	4.04E+11
I _{na}	8.62E+13	I _{na}	2.70E+14
z1	7652.28		
z critical area	3000		
	1.85E+10		1.81E+10
sigma	37.50	sigma	22.29
vertical stress range	75.00	horizontal stress range	44.57

s	0.8	m	800.0	mm
l	3.8	m	14.44	m
fbdg	0.5		82.25	mm
cs	0.7			
sigma yield	235			
Kd	1.15			

Load Case	Shog N/mm ²	Ssg N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	f1*Sv N/mm ²	f1*Sh N/mm ²	Se												
							Pex-amp				ψ	Kn2	α2Ae	Se 2 sigma Ae	f*Se				
							M kNm	M Nmm	Znet50 mm3	Znet50 cm3									
F C	1 & 2	15	-17	69	-1	10.4	31.0	20.340	12.096	32.4	31224.73	3.12E+10	4.56E+09	4.56E+06	3.51E-03	1.59	12.56	25.113	23.7
	3 & 4	14	-15	69	0	10.4	31.0	6.710	4.016	10.7	10325.56	1.03E+10	1.51E+09	1.51E+06	1.06E-02	1.59	12.50	25.007	23.6
	5A & 5B	21	35	69	28	10.4	31.0	27.570	64.162	91.7	88307.34	8.83E+10	1.29E+10	1.29E+07	1.24E-03	1.60	12.57	25.147	23.8
	6A & 6B	17	16	69	16	10.4	31.0	35.864	0.000	35.9	34525.08	3.45E+10	5.04E+09	5.04E+06	3.18E-03	1.59	12.56	25.118	23.7
B C	1 & 2	17	-18	93	-1	50.8	17.918	14.234	8.572	22.8	21954.58	2.20E+10	3.20E+09	3.20E+06	5.00E-03	1.59	12.55	25.090	17.952
	3 & 4	-16	-17	93	-17	50.8	17.918	4.670	2.842	7.5	7231.21	7.23E+09	1.06E+09	1.06E+06	1.52E-02	1.58	12.47	24.940	17.843
	5A & 5B	23	20	93	21	50.8	17.918	39.204	19.106	58.3	56133.09	5.61E+10	8.19E+09	8.19E+06	1.95E-03	1.59	12.57	25.136	17.984
	6A & 6B	18	-18	93	0	50.8	17.918	26.744	0.000	26.7	25745.56	2.57E+10	3.76E+09	3.76E+06	4.26E-03	1.59	12.55	25.101	17.959

Load Case	Shog N/mm ²	Ssg N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	f1*Sv N/mm ²	f1*Sh N/mm ²	Se												
							Pex-amp				ψ	Kn2	α2Ae	Se 2 sigma Ae	f*Se				
							M kNm	M Nmm	Znet50 mm3	Znet50 cm3									
F C	1 & 2	44	-68	69	-12	10.4	31.0	20.340	12.096	32.4	31224.73	3.12E+10	4.56E+09	4.56E+06	3.51E-03	1.59	12.56	25.113	23.7
	3 & 4	-14	-45	69	-30	10.4	31.0	6.710	4.016	10.7	10325.56	1.03E+10	1.51E+09	1.51E+06	1.06E-02	1.59	12.50	25.007	23.6
	5A & 5B	85	87	69	86	10.4	31.0	27.570	64.162	91.7	88307.34	8.83E+10	1.29E+10	1.29E+07	1.24E-03	1.60	12.57	25.147	23.8
	6A & 6B	51	-16	69	-18	10.4	31.0	35.864	0.000	35.9	34525.08	3.45E+10	5.04E+09	5.04E+06	3.18E-03	1.59	12.56	25.118	23.7
B C	1 & 2	33	-55	93	-11	50.8	17.918	14.234	8.572	22.8	21954.58	2.20E+10	3.20E+09	3.20E+06	5.00E-03	1.59	12.55	25.090	17.952
	3 & 4	16	-52	93	-18	50.8	17.918	4.670	2.842	7.5	7231.21	7.23E+09	1.06E+09	1.06E+06	1.52E-02	1.58	12.47	24.940	17.843
	5A & 5B	92	78	93	85	50.8	17.918	39.204	19.106	58.3	56133.09	5.61E+10	8.19E+09	8.19E+06	1.95E-03	1.59	12.57	25.136	17.984
	6A & 6B	73	18	93	45	50.8	17.918	26.744	0.000	26.7	25745.56	2.57E+10	3.76E+09	3.76E+06	4.26E-03	1.59	12.55	25.101	17.959

Load Case	Shog N/mm ²	Ssg N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	f1*Sv N/mm ²	f1*Sh N/mm ²	Se												
							Pex-amp				ψ	Kn2	α2Ae	Se 2 sigma Ae	f*Se				
							M kNm	M Nmm	Znet50 mm3	Znet50 cm3									
F C	1 & 2	44	-85	69	-20	10.4	31.0	20.340	12.096	32.4	31224.73	3.12E+10	4.56E+09	4.56E+06	3.51E-03	1.59	12.56	25.113	23.7
	3 & 4	14	-60	69	-23	10.4	31.0	6.710	4.016	10.7	10325.56	1.03E+10	1.51E+09	1.51E+06	1.06E-02	1.59	12.50	25.007	23.6
	5A & 5B	85	87	69	86	10.4	31.0	27.570	64.162	91.7	88307.34	8.83E+10	1.29E+10	1.29E+07	1.24E-03	1.60	12.57	25.147	23.8
	6A & 6B	68	16	69	42	10.4	31.0	35.864	0.000	35.9	34525.08	3.45E+10	5.04E+09	5.04E+06	3.18E-03	1.59	12.56	25.118	23.7
B C	1 & 2	50	-73	93	-12	50.8	17.918	14.234	8.572	22.8	21954.58	2.20E+10	3.20E+09	3.20E+06	5.00E-03	1.59	12.55	25.090	17.952
	3 & 4	-16	-52	93	-34	50.8	17.918	4.670	2.842	7.5	7231.21	7.23E+09	1.06E+09	1.06E+06	1.52E-02	1.58	12.47	24.940	17.843
	5A & 5B	92	78	93	85	50.8	17.918	39.204	19.106	58.3	56133.09	5.61E+10	8.19E+09	8.19E+06	1.95E-03	1.59	12.57	25.136	17.984
	6A & 6B	73	-18	93	28	50.8	17.918	26.744	0.000	26.7	25745.56	2.57E+10	3.76E+09	3.76E+06	4.26E-03	1.59	12.55	25.101	17.959

l _{blg}	3.8	m
b _q	4.6875	mm
b _f	100	mm
β	0.90625	
f _{fnet-50}	100	mm
h _{stf}	109	mm
t _{wnet-50}	400	mm
t _{pnet-50}	11.155	mm
s	800	mm
η	305.74	
λ	0.726	
dw	400	mm
K _d	1.15	
x	0.4	m
r _p	0.43	

profil L 400x11.5/100x16

Nama bagian	Jml	Lebar (mm) [b]	Tinggi (mm) [h]
L 400x11.5/100x16 - Web	1	400.00	8.78
- Face	1	12.61	100.00

1+m/ξ	3.66
1+(m+Δm)/ξ	5.44

Fatigue Damage (D)
Palmgren - Miner's
Weibull Distribution

$$DM = \frac{\alpha_i \cdot N_L}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_i \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right)$$

Si																			
Pin-amp			M		Znet50		ψ	Kn2	α2Ai	Se 2 sigma Ai	f*Se	s tensile	s compression	Sri	θi	$\gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}, v_i\right)$	$\gamma\left(1 + \frac{m + \Delta m}{\xi}, v_i\right)$	μi =	D
			kNm	Nmm	mm3	cm3													
17.718	17.718	35.436	34113.06	3.41E+10	4.98E+09	4.98E+06	3.21E-03	1.59	12.56	25.117	0.0	33	-36	54.79684	6.42504	3.631704243	33.54452462	0.39751	0.04212
17.718	17.718	35.436	34113.06	3.41E+10	4.98E+09	4.98E+06	3.21E-03	1.59	12.56	25.117	0.0	34	-35	54.97669	6.40137	3.626262668	33.39582318	0.39953	0.04276
20.013	0.000	20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	5.69E-03	1.59	12.54	25.080	0.0	63	-6	66.51056	5.16561	3.215691239	24.23129437	0.52188	0.09889
20.013	0.000	20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	5.69E-03	1.59	12.54	25.080	0.0	51	-18	61.81276	5.60982	3.395106719	27.81834608	0.47405	0.07211
20.432	20.432	40.864	39338.41	3.93E+10	5.74E+09	5.74E+06	2.79E-03	1.59	12.56	25.123	1.133	46	-47	74.09997	4.57374	2.909005324	19.11782054	0.59209	0.15515
20.432	20.432	40.864	39338.41	3.93E+10	5.74E+09	5.74E+06	2.79E-03	1.59	12.56	25.123	1.133	30	-63	67.63544	5.06896	3.171138368	23.41674342	0.53286	0.10618
23.077	0.000	23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	4.94E-03	1.59	12.55	25.091	1.131	68	-25	83.01278	4.02456	2.548080861	14.29247624	0.66282	0.2442
23.077	0.000	23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	4.94E-03	1.59	12.55	25.091	1.131	47	-46	74.54658	4.54289	2.890724274	18.84575843	0.59594	0.159

0.920405

Si																			
Pin-amp			M		Znet50		ψ	Kn2	α2Ai	Se 2 sigma Ai	f*Se	s tensile	s compression	Sri	θi	$\gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}, v_i\right)$	$\gamma\left(1 + \frac{m + \Delta m}{\xi}, v_i\right)$	μi =	D
			kNm	Nmm	mm3	cm3													
17.718	17.718	35.436	34113.06	3.41E+10	4.98E+09	4.98E+06	3.21E-03	1.59	12.56	25.117	0.0	23	-46	50.49709	7.0444	3.749886331	37.05169093	0.34863	0.02891
17.718	17.718	35.436	34113.06	3.41E+10	4.98E+09	4.98E+06	3.21E-03	1.59	12.56	25.117	0.0	5	-64	43.35634	8.36402	3.889589336	42.23805735	0.26717	0.01402
20.013	0.000	20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	5.69E-03	1.59	12.54	25.080	0.0	121	51	69	4.94741	3.11213114	22.37859046	0.54694	0.11627
20.013	0.000	20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	5.69E-03	1.59	12.54	25.080	0.0	52	-17	62.38606	5.5518	3.37391712	27.36625466	0.48005	0.07507
20.432	20.432	40.864	39338.41	3.93E+10	5.74E+09	5.74E+06	2.79E-03	1.59	12.56	25.123	1.133	36	-58	70.04277	4.87318	3.074425904	21.73805167	0.55569	0.12298
20.432	20.432	40.864	39338.41	3.93E+10	5.74E+09	5.74E+06	2.79E-03	1.59	12.56	25.123	1.133	29	-64	67.30469	5.09702	3.184287389	23.65430773	0.52965	0.104
23.077	0.000	23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	4.94E-03	1.59	12.55	25.091	1.131	132	39	93	3.53697	2.166113504	10.22486934	0.72842	0.37856
23.077	0.000	23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	4.94E-03	1.59	12.55	25.091	1.131	92	-1	92.62758	3.55726	2.183076372	10.38640808	0.72566	0.37142

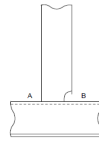
1.211233

Si																			
Pin-amp			M		Znet50		ψ	Kn2	α2Ai	Se 2 sigma Ai	f*Se	s tensile	s compression	Sri	θi	$\gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}, v_i\right)$	$\gamma\left(1 + \frac{m + \Delta m}{\xi}, v_i\right)$	μi =	D
			kNm	Nmm	mm3	cm3													
17.718	17.718	35.436	34113.06	3.41E+10	4.98E+09	4.98E+06	3.21E-03	1.59	12.56	25.117	0.0	14	-55	47.10139	7.6189	3.825527365	39.66460898	0.3097	0.02084
17.718	17.718	35.436	34113.06	3.41E+10	4.98E+09	4.98E+06	3.21E-03	1.59	12.56	25.117	0.0	11	-58	45.95824	7.83266	3.847250012	40.49106526	0.29664	0.01855
20.013	0.000	20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	5.69E-03	1.59	12.54	25.080	0.0	121	51	69	4.94741	3.11213114	22.37859046	0.54694	0.11627
20.013	0.000	20.013	19265.59	1.93E+10	2.81E+09	2.81E+06	5.69E-03	1.59	12.54	25.080	0.0	77	7	69	4.94975	3.11213114	22.39869972	0.54696	0.11612
20.432	20.432	40.864	39338.41	3.93E+10	5.74E+09	5.74E+06	2.79E-03	1.59	12.56	25.123	1.133	35	-58	69.68997	4.90097	3.08869419	21.97841889	0.5524	0.12041
20.432	20.432	40.864	39338.41	3.93E+10	5.74E+09	5.74E+06	2.79E-03	1.59	12.56	25.123	1.133	12	-81	60.73379	5.72219	3.434342278	28.67824345	0.46263	0.06675
23.077	0.000	23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	4.94E-03	1.59	12.55	25.091	1.131	132	39	93	3.53697	2.166113504	10.22486934	0.72842	0.37856
23.077	0.000	23.077	22215.73	2.22E+10	3.24E+09	3.24E+06	4.94E-03	1.59	12.55	25.091	1.131	74	-19	85.48338	3.89381	2.45111457	13.16969562	0.68024	0.27366

1.111164

Principle Dimensions

Length (konstruksi)	=	165.29	[m]
Breadth (B)	=	30.50	[m]
Depth (H)	=	16.90	[m]
Draft Designed (t _d)	=	10.80	[m]



NL	75487729.0
f ₀	0.85
U (sec)	7.88E+08
α ₁	0.5
m	3
K ₂	4.30E+11
N _R	10000
Δm =	2
Sq (N/mm ²)	35

f _{welbut}	0.93
ξ	0.95
1+m/ξ	4.15
1+(m-Δm)/ξ	6.25
r (1+m/ξ)	7.27

Fatigue life	Frame 65	7.6	tahun
	Frame 58	7.1	tahun
	Frame 51	7.3	tahun

Tipe Sambungan	Assess Point	Class	SCF		
			Kgl	Kqh	K
M5 pada kondisi struktur 85%	f	F	1.1	1.05	1.155
	a	F2			

	f1	f2	f3	f4
ai	-0.71	1.13	0	0.55
bi	1.03	0.8	0	-0.18
ai	-0.18	0.34	0	0.7
bi	0.9	0.22	0	-0.3

y/B	0.393033
z/D	0.0249

Stress FEA

z	0.42	y	12.0
M	6.95E+11	M	4.04E+11
Ina	8.62E+13	Ina	2.70E+14
z1	7652.28		
z critical area	420.8125		
	1.19E+10		2.26E+10
sigma	58.29	sigma	17.93
vertical stress range	116.58	horizontal stress range	35.86

s	0.8	m	800.0	mm
l	3.8	m	14.44	m
fdg	0.5		82.25	m ²
cs	0.7			
sigma yield	235			
Kd	1.3			

	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	f1*Sv N/mm ²	f1*Sh N/mm ²	Pex-amp					ψ	Kn2		
								M			Znet50					
								kNm	Nmm	mm3	cm3	mm3			cm3	
F C	1 & 2	11	-32	126	-11	87.5	29.7	-34.998	52.542	17.5	16889.02	1.69E+10	2.46E+09	2.46E+06	1.38E-04	2.61
	3 & 4	-5	-11	126	-8	87.5	29.7	22.509	-15.000	7.5	7228.66	7.23E+09	1.05E+09	1.05E+06	3.22E-04	2.61
	5A & 5B	14	16	126	15	87.5	29.7	67.521	67.521	135.0	130000.43	1.30E+11	1.90E+10	1.90E+07	1.79E-05	2.62
	6A & 6B	18	11	126	15	87.5	29.7	37.512	37.512	75.0	72223.10	7.22E+10	1.05E+10	1.05E+07	3.23E-05	2.62
B C	1 & 2	12	-17	107	-2	96.7	18.259	-25.020	35.013	10.0	9619.93	9.62E+09	1.40E+09	1.40E+06	2.42E-04	2.61
	3 & 4	6	-12	107	-3	96.7	18.259	15.006	-10.722	4.3	4124.06	4.12E+09	6.02E+08	6.02E+05	5.65E-04	2.61
	5A & 5B	15	30	107	23	96.7	18.259	45.015	45.015	90.0	86668.88	8.67E+10	1.26E+10	1.26E+07	2.69E-05	2.62
	6A & 6B	10	22	107	16	96.7	18.259	25.008	25.008	50.0	48148.74	4.81E+10	7.02E+09	7.02E+06	4.84E-05	2.62

	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	f1*Sv N/mm ²	f1*Sh N/mm ²	Pex-amp					ψ	Kn2		
								M			Znet50					
								kNm	Nmm	mm3	cm3	mm3			cm3	
F C	1 & 2	22	-32	126	-5	87.5	29.7	-34.998	52.542	17.5	16889.02	1.69E+10	2.46E+09	2.46E+06	1.38E-04	2.61
	3 & 4	5	-23	126	-9	87.5	29.7	22.509	-15.000	7.5	7228.66	7.23E+09	1.05E+09	1.05E+06	3.22E-04	2.61
	5A & 5B	29	47	126	38	87.5	29.7	67.521	67.521	135.0	130000.43	1.30E+11	1.90E+10	1.90E+07	1.79E-05	2.62
	6A & 6B	18	22	126	20	87.5	29.7	37.512	37.512	75.0	72223.10	7.22E+10	1.05E+10	1.05E+07	3.23E-05	2.62
B C	1 & 2	24	-34	107	-5	96.7	18.259	-25.020	35.013	10.0	9619.93	9.62E+09	1.40E+09	1.40E+06	2.42E-04	2.61
	3 & 4	6	-23	107	-14	96.7	18.259	15.006	-10.722	4.3	4124.06	4.12E+09	6.02E+08	6.02E+05	5.65E-04	2.61
	5A & 5B	15	30	107	23	96.7	18.259	45.015	45.015	90.0	86668.88	8.67E+10	1.26E+10	1.26E+07	2.69E-05	2.62
	6A & 6B	10	34	107	22	96.7	18.259	25.008	25.008	50.0	48148.74	4.81E+10	7.02E+09	7.02E+06	4.84E-05	2.62

	Load Case	Shog N/mm ²	Ssag N/mm ²	total stress range N/mm ²	s mean N/mm ²	f1*Sv N/mm ²	f1*Sh N/mm ²	Pex-amp					ψ	Kn2		
								M			Znet50					
								kNm	Nmm	mm3	cm3	mm3			cm3	
F C	1 & 2	11	-32	126	-11	87.5	29.7	-34.998	52.542	17.5	16889.02	1.69E+10	2.46E+09	2.46E+06	1.38E-04	2.61
	3 & 4	-5	-23	126	-14	87.5	29.7	22.509	-15.000	7.5	7228.66	7.23E+09	1.05E+09	1.05E+06	3.22E-04	2.61
	5A & 5B	14	32	126	23	87.5	29.7	67.521	67.521	135.0	130000.43	1.30E+11	1.90E+10	1.90E+07	1.79E-05	2.62
	6A & 6B	18	34	126	26	87.5	29.7	37.512	37.512	75.0	72223.10	7.22E+10	1.05E+10	1.05E+07	3.23E-05	2.62
B C	1 & 2	24	-34	107	-5	96.7	18.259	-25.020	35.013	10.0	9619.93	9.62E+09	1.40E+09	1.40E+06	2.42E-04	2.61
	3 & 4	6	-23	107	-9	96.7	18.259	15.006	-10.722	4.3	4124.06	4.12E+09	6.02E+08	6.02E+05	5.65E-04	2.61
	5A & 5B	31	30	107	31	96.7	18.259	45.015	45.015	90.0	86668.88	8.67E+10	1.26E+10	1.26E+07	2.69E-05	2.62
	6A & 6B	20	22	107	21	96.7	18.259	25.008	25.008	50.0	48148.74	4.81E+10	7.02E+09	7.02E+06	4.84E-05	2.62

