



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL
MOTOR PENYEBERANGAN (KMP) TIPE RO-RO HASIL
DARI KONVERSI *LANDING CRAFT TANK* (LCT)**

**Vivi Kristiana
NRP 0411154000062**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T**

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



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL
MOTOR PENYEBERANGAN (KMP) TIPE RO-RO HASIL
DARI KONVERSI *LANDING CRAFT TANK* (LCT)**

**Vivi Kristiana
NRP 0411154000062**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.**

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



FINAL PROJECT - MN 184802

**RORO TYPE FERRIAGE SHIP MOTORCYCLE (KMP)
STRENGTH CONSTRUCTION ANALYSIS FROM
CONVERSION RESULT OF LANDING CRAFT TANK (LCT)**

**Vivi Kristiana
NRP 0411154000062**

**Supervisor
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.**

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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL MOTOR PENYEBERANGAN (KMP) TIPE RO-RO HASIL DARI KONVERSI *LANDING CRAFT TANK* (LCT)

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

VIVI KRISTIANA
NRP 0411154000062

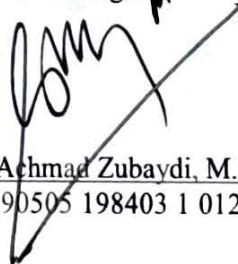
Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing II



Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.
NIP 19730404 199702 1 001

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP 19590505 198403 1 012

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



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

SURABAYA, 9 JANUARI 2020

LEMBAR REVISI

ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL MOTOR PENYEBERANGAN (KMP) TIPE RO-RO HASIL DARI KONVERSI *LANDING CRAFT TANK* (LCT)

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 9 Januari 2019

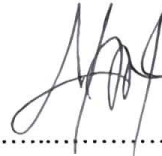
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

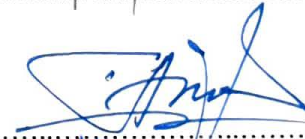
VIVI KRISTIANA
NRP 0411154000062

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

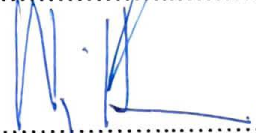
1. Danu Utama, S.T., M.T.



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



3. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.



2. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.



SURABAYA, JANUARI 2020

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. dan Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Danu Utama, S.T., M.T., Totok Yulianto, S.T., M.T. dan Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS yang telah membantu memfasilitasi baik secara akademik maupun non-akademik penulis selama perkuliahan;
5. Kedua orang tua, Alm. Purwanto dan Martiana, dan kakak laki-laki saya Oky Purnanda yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan doa selama perkuliahan saya di ITS;
6. Reza Pahlawan Nasution yang selalu ada dalam memberikan motivasi dan semangat penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir;
7. Mas Chandra, Raja Andhika Rizki, Roni, Aryo Pangestu selaku senior P54 yang telah membantu memberikan kepedulian kepada penulis;
8. Fia, Ainun, Audi, Berliana, Mia, Arum, Feima, Namira, Jasmine, Fajar, Dafa, Rias dan teman-teman angkatan P55 Samudraraksa yang memberikan dukungan dan hiburan pada masa perkuliahan hingga Tugas Akhir ini selesai.

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

Surabaya, 9 Januari 2019

Vivi Kristiana

ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL MOTOR PENYEBERANGAN (KMP) TIPE RO-RO HASIL DARI KONVERSI *LANDING CRAFT TANK (LCT)*

Nama Mahasiswa : Vivi Kristiana
NRP : 04111540000062
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
2. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.

ABSTRAK

Kapal Ro-ro berfungsi sebagai sarana penyebrangan yang mengangkut penumpang dan kendaraan. Konversi kapal LCT menjadi kapal Ro-ro menyebabkan adanya beberapa aspek yang berubah, salah satunya adalah perubahan sarat yang mempengaruhi beban konstruksi lambung sisi yang dikarenakan adanya penambahan beban dari bangunan atas. Untuk meningkatkan faktor keselamatan dari konversi kapal LCT menjadi kapal Ro-ro, maka perlu diperhitungkan pengaruh tegangan setelah dilakukan modifikasi. Penelitian ini dilakukan dengan bantuan *Finite Element Method (FEM)*. Hasil yang didapatkan berupa nilai tegangan *von mises* dan deformasi. Besar tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi lambung sisi kapal Ro-ro adalah 180.34 MPa, dimana nilai tegangan pada kapal LCT sebelumnya adalah 218.83 MPa. Sehingga dari segi kekuatan konstruksi lambung sisi akibat pengaruh penambahan bangunan atas, kapal ini layak untuk beroperasi karena nilai tegangan maksimum yang dihasilkan tidak melebihi tegangan ijin Badan Klasifikasi.

Kata kunci: FEM, Lambung sisi, Ro-ro dan Tegangan.

RORO TYPE FERRIAGE SHIP MOTORCYCLE (KMP) STRENGTH CONSTRUCTION ANALYSIS FROM CONVERSION RESULT OF LANDING CRAFT TANK (LCT)

Author : Vivi Kristiana
Student Number : 04111540000062
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
2. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.

ABSTRACT

The Ro-ro ship functions is a ferriage facility that transports passengers and vehicles. The conversion of LCT vessels into Ro-ro vessels caused several aspects to change, one of which was a draught change that affected the side hull construction load due to the added load of the superstructure. To increase the safety factor of the conversion of LCT vessels into Ro-ro vessels, it is necessary to consider the effect of stress after modification. This research was carried out with the help of Finite Element Method (FEM). The results obtained are von mises stress and deformation values. The maximum stress that occurs in the side hull construction of Ro-ro ships is 180.34 MPa, where the voltage value on the previous LCT vessels is 218.83 MPa. So in terms of side hull construction strength due to the addition of the superstructure, this ship is feasible to operate because the maximum stress value generated does not exceed the permitted stress of the Classification Society.

Keywords: FEM, Ro-ro, Side Hull and Stress.

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| LEMBAR PENGESAHAN..... | v |
| LEMBAR REVISI..... | vii |
| HALAMAN PERUNTUKAN..... | ix |
| KATA PENGANTAR..... | xi |
| ABSTRAK..... | xiii |
| ABSTRACT..... | xv |
| DAFTAR ISI..... | xvii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xxi |
| DAFTAR TABEL..... | xxiii |
| DAFTAR SIMBOL..... | xxv |
| BAB 1 PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah..... | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3. Tujuan..... | 2 |
| 1.4. Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.5. Manfaat..... | 2 |
| 1.6. Hipotesis..... | 3 |
| BAB 2 STUDI LITERATUR..... | 5 |
| 2.1. Dasar Teori..... | 5 |
| 2.1.1. Kapal Ro-ro..... | 5 |
| 2.1.2. Kapal LCT..... | 6 |
| 2.1.3. Struktur..... | 6 |
| 2.1.4. Pembebanan..... | 7 |
| 2.1.5. Tegangan..... | 7 |
| 2.1.6. Tegangan Ijin..... | 9 |
| 2.1.7. Tegangan <i>Von Mises</i> | 9 |
| 2.1.8. Finite Element Method..... | 9 |
| 2.1.9. <i>Meshing</i> | 12 |
| 2.1.10. <i>Safety Factor</i> | 12 |
| 2.2. Tinjauan Pustaka..... | 13 |
| 2.2.1. Perbandingan antara Hasil Perhitungan dengan <i>Hasil Finite Element Software</i> | 13 |
| 2.2.2. Konversi..... | 18 |
| BAB 3 METODOLOGI..... | 17 |
| 3.1. Diagram Alir..... | 17 |
| 3.2. Studi Literatur..... | 18 |
| 3.3. Pengumpulan Data..... | 18 |
| 3.3.1. Ukuran Utama..... | 18 |
| 3.3.2. <i>Construction Profile</i> | 19 |
| 3.3.3. <i>Midship Section</i> | 20 |
| 3.3.4. <i>Mechanical Properties</i> | 20 |
| 3.4. Proses Pengerjaan untuk Memperoleh Nilai Tegangan..... | 21 |
| 3.4.1. Metode..... | 21 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.2. Pemodelan <i>Midship Section Area</i> | 21 |
| 3.4.3. <i>Mechanical Properties</i> pada <i>Software</i> | 22 |
| 3.4.4. <i>Meshing</i> | 23 |
| 3.4.5. <i>Boundary Condition</i> | 23 |
| 3.5. Konvergensi..... | 26 |
| 3.6. Validasi | 28 |
| 3.7. Analisis Tegangan | 30 |
| BAB 4 ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN | 31 |
| 4.1. Perhitungan..... | 31 |
| 4.1.1. Perhitungan Pembebanan | 31 |
| 4.1.2. Perhitungan Berat Bangunan Atas | 33 |
| 4.1.3. Tegangan yang Dihasilkan berdasarkan Hasil <i>Running</i> | 33 |
| 4.1.4. Tegangan yang Diijinkan..... | 35 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | 37 |
| 5.1. Kesimpulan..... | 37 |
| 5.2. Saran | 37 |
| DAFTAR PUSTAKA | 39 |
| LAMPIRAN | |
| LAMPIRAN A Perhitungan Beban | |
| LAMPIRAN B Perhitungan Berat | |
| LAMPIRAN C Ukuran Konstruksi Sebelum dan Setelah Dikonversi | |
| LAMPIRAN D Hasil <i>Running</i> Setiap <i>Element Size</i> | |
| BIODATA PENULIS | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir..... | 17 |
| Gambar 3.2 <i>Side Profile</i> Kapal Ro-ro..... | 19 |
| Gambar 3.3 <i>Passanger and Navigation deck</i> | 20 |
| Gambar 3.4 <i>Midship Section</i> | 20 |
| Gambar 3.5 Model 3D | 22 |
| Gambar 3.6 <i>Material properties</i> | 22 |
| Gambar 3.7 <i>Meshing</i> dengan <i>tetrahedrone body sizing</i> | 23 |
| Gambar 3.8 <i>Fixed support</i> pada bagian geladak | 24 |
| Gambar 3.9 <i>Fixed support</i> pada bagian <i>bottom</i> | 24 |
| Gambar 3.10 <i>Pressure</i> di geladak..... | 24 |
| Gambar 3.11 <i>Pressure</i> dari berat bangunan atas | 25 |
| Gambar 3.12 <i>Pressure</i> di atas garis air | 25 |
| Gambar 3.13 <i>Pressure</i> di bawah garis air | 25 |
| Gambar 3.14 <i>Pressure</i> di bilga | 26 |
| Gambar 3.15 <i>Pressure</i> di <i>bottom</i> | 26 |
| Gambar 3.16 Kurva Konvergensi Element Ro-ro | 27 |
| Gambar 3.17 Kurva Konvergensi Element LCT | 28 |
| Gambar 3.18 Hasil <i>running</i> dengan <i>automatic</i> | 29 |
| Gambar 3.19 Hasil <i>running</i> dengan tetrahedrone..... | 29 |
| Gambar 4.1 <i>Sketch</i> pusat beban..... | 32 |
| Gambar 4.2 Hasil <i>running</i> tegangan lambung sisi Ro-ro..... | 34 |
| Gambar 4.3 Hasil <i>running</i> tegangan lambung sisi LCT | 34 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1 Data Ukuran Kapal LCT..... | 18 |
| Tabel 3.2 Data Ukuran Kapal Ro-ro..... | 19 |
| Tabel 3.3 <i>Mechanical Properties</i> Baja A36..... | 21 |
| Tabel 3.4 Hasil Konvergensi Element Ro-ro..... | 27 |
| Tabel 3.5 Hasil Konvergensi Elemen LCT..... | 28 |
| Tabel 4.1 Hasil perhitungan beban..... | 33 |
| Tabel 4.2 Hasil perhitungan berat..... | 33 |
| Tabel 4.3 Perbandingan nilai tegangan kapal Ro-ro..... | 35 |

DAFTAR SIMBOL

| | | |
|----------------------|---|--|
| p_D | = | Beban geladak (kN/m^2) |
| p_S | = | Beban sisi (kN/m^2) |
| p_b | = | Beban dasar (kN/m^2) |
| p_{DA} | = | Beban bangunan atas dan rumah geladak (kN/m^2) |
| T | = | Sarat (m) |
| z | = | Jarak vertikal dari pusat beban struktur di atas garis dasar (m) |
| B | = | Lebar kapal (m) |
| p_0 | = | beban dinamis eksternal dasar (kN/m^2) |
| c_f | = | Faktor distribusi |
| F | = | Gaya (N) |
| A | = | Luas penampang (m^2) |
| σ | = | Tegangan (MPa) |
| σ_{vm} | = | Tegangan <i>von mises</i> (N/m^2) |
| σ_x, σ_y | = | Tegangan normal elemen (N/m^2) |
| τ_{xy} | = | Tegangan geser elemen (N/m^2) |
| k | = | <i>Material factor</i> |
| T_0 | = | Suhu mula material las ($^{\circ}\text{C}$) |
| t | = | Tebal material las (mm) |
| ε | = | Regangan |
| E | = | Modulus Young |
| σ^I | = | Tegangan dalam orde 1 |
| σ^{II} | = | Tegangan dalam orde 2 |
| σ^{III} | = | Tegangan dalam orde 3 |
| σ | = | Tegangan sisa yang terjadi |
| σ_x | = | Tegangan tegak lurus garis las |
| σ_y | = | Tegangan searah garis las |
| ε_x | = | Regangan tegak lurus garis las |
| ε_y | = | Regangan searah garis las |
| τ | = | Tegangan geser |
| σ_y | = | Tegangan yield |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Terdapat berbagai macam jenis kapal yang beroperasi di perairan Indonesia. Salah satunya adalah kapal LCT (*Landing Craft Tank*). Kapal LCT adalah jenis kapal yang memiliki sarat rendah dan mampu melakukan *beaching* atau mendarat di pantai tanpa menggunakan dermaga. Kapal LCT dipergunakan untuk mengangkut muatan (*cargo*) berupa alat-alat berat dan bahan-bahan konstruksi. Seiring berjalannya waktu, banyak kapal LCT yang dikonversi menjadi kapal angkutan penyebrangan. Di Indonesia, kapal tersebut beroperasi di daerah selat Bali. Kapal dirancang sedemikian rupa agar memiliki kekuatan untuk menahan adanya gaya-gaya yang terjadi dari luar. Selain itu, konstruksi bangunan pada kapal dituntut untuk mampu memenuhi tujuan keselamatan. Tidak hanya muatan dan barang yang ada di atas kapal, tetapi hal yang paling penting dan harus diperhatikan adalah keselamatan orang yang berada di atas kapal tersebut. Semakin berkembangnya di dunia transportasi laut akan menuntut pemilik kapal untuk memenuhi segala ketentuan yang berlaku.

Dengan adanya perubahan dari kapal LCT menjadi kapal angkutan penyebrangan terdapat beberapa aspek yang berubah, salah satunya adalah perubahan sarat yang mempengaruhi konstruksi lambung pada bagian sisi yang dikarenakan adanya penambahan beban dari bangunan atas. Dari perubahan inilah yang melatarbelakangi penulis untuk melakukan analisis secara teknis pengaruh konversi dari kapal LCT menjadi kapal penumpang terhadap kekuatan konstruksi lambung.

Oleh karena itu, untuk meningkatkan faktor keselamatan dari konversi kapal LCT menjadi kapal penumpang, penulis melakukan analisis kekuatan konstruksi lambung untuk mengetahui apakah konstruksi lambung dalam kondisi aman yang diijinkan sesuai dengan *rules* badan klasifikasi setelah dilakukan modifikasi.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perubahan sarat terhadap tegangan yang terjadi pada struktur lambung bagian sisi dari kapal LCT menjadi kapal penumpang?
2. Bagaimana kekuatan konstruksi lambung kapal sesudah dilakukan modifikasi?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh perubahan sarat terhadap tegangan yang terjadi pada struktur lambung bagian sisi dari kapal LCT menjadi kapal penumpang.
2. Untuk mengetahui faktor keselamatan pada konstruksi lambung bagian sisi yang mengalami perubahan.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Kapal yang dijadikan studi kasus adalah kapal motor penumpang dengan daerah operasional Ketapang – Gilimanuk.
2. Analisa ini sebatas menganalisa konstruksi lambung bagian sisi pada kapal.
3. Tidak memperhatikan beban gelombang.
4. Analisa dilakukan pada daerah di area tengah kapal.
5. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *Finite Element Methode*.
6. Rekomendasi dari konstruksi yang sudah ada, tanpa merubahnya.
7. Faktor korosi diabaikan.

1.5. Manfaat

Manfaat dari dibuatnya Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai informasi apakah perubahan sarat mempengaruhi kekuatan struktur lambung.
2. Untuk meningkatkan pengetahuan di bidang perkapalan.
3. Berguna untuk memperkaya ilmu pengetahuan terutama dalam bidang konstruksi kapal.

1.6. Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini yaitu:

1. Besarnya tegangan yang terjadi pada struktur lambung kapal akan memenuhi tegangan ijin dari badan klasifikasi.
2. Nilai tegangan yang dihasilkan akan memenuhi faktor keamanan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1. Dasar Teori

Pada tugas akhir ini dibutuhkan dasar teori yang menjelaskan pengertian dan teori-teori yang berkaitan dengan tujuan yang telah disusun sehingga terjadi kesinambungan antara tujuan, proses dan hasil.

2.1.1. Kapal Ro-ro

Kapal Ro-ro (*roll-on/roll-off*) merupakan kapal yang bisa memuat penumpang dan kendaraan dimana kendaraan dapat berjalan masuk ke dalam kapal dengan penggerakannya sendiri dan bisa keluar kapal dengan penggerakannya sendiri pula, sehingga disebut sebagai kapal *roll on - roll off* atau disingkat Ro-ro. Kapal ini dilengkapi dengan pintu rampa yang dihubungkan dengan dermaga yang berfungsi untuk memfasilitasi bongkar muat. Jangkauan penyeberangan kapal tipe KMP adalah dalam tujuan jarak dekat sehingga sering disebut sebagai transportasi pantai, sungai, dan danau (Lamb, 2003).

Kapal Ro-ro adalah salah satu jenis yang paling sukses yang beroperasi saat ini. Fleksibilitas, kemampuan untuk berintegrasi dengan sistem transportasi lain dan kecepatan operasi telah membuatnya sangat populer di banyak rute pengiriman. Kapal *roll-on/roll-off* didefinisikan dalam (IMO, 1974) sebagai "Kapal penumpang dengan ruang kargo Ro-ro atau ruang kategori khusus". Kapal Ro-ro ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kapal Ro-ro
(Sumber: cargonesia.com)

2.1.2. Kapal LCT

Landing Craft Tank (LCT) adalah salah satu jenis kapal yang dirancang khusus untuk keperluan militer, dimana kapal ini digunakan untuk mengangkut alat tempur pada masa perang dunia II. Kapal LCT tidak membutuhkan pelabuhan yang besar untuk mendaratkan barang yang diangkut dan dapat melakukan bongkar muat dimana saja, misalnya langsung di tepi pantai (Kurniawati, H.A., 2016). Kapal jenis *Landing Craft* memiliki dek yang luas dan rata sehingga cocok untuk mengangkut kendaraan maupun bahan logistik ke daerah-daerah pertambangan terutama yang terletak di pulau atau daerah terpencil. Kapal LCT ditunjukkan seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kapal LCT
(Sumber: *vesselfinder.com*)

2.1.3. Struktur

Struktur adalah gabungan dari komponen-komponen sedemikian rupa agar struktur dapat menahan gaya yang diterima. Gaya ini dapat berupa gravitasi, angin, guncangan tanah, benturan, suhu atau sumber lingkungan lainnya. Contoh struktur benda yang diterapkan pada kehidupan sehari-hari adalah infrastruktur sipil, jembatan, bendungan, terowongan, tangki penyimpanan, tower pembangkit listrik. Sedangkan bangunan non sipil diterapkan pada pesawat, kapal, *offshore platform*, dan struktur transportasi mobil atau truk (Connor, 2012).

Sistem konstruksi adalah gabungan dari berbagai konstruksi yang saling terhubung satu sama lain yang membentuk satu kesatuan untuk menahan gaya yang diterima sesuai dengan tujuan pembangunan sistem tersebut. Terdapat beberapa konstruksi yang saling terhubung pada sistem konstruksi yang didesain untuk menerima beban sesuai dengan kebutuhan (Suryoatmono, 1991). Sistem konstruksi yang menjadi objek dari Tugas Akhir ini adalah sistem konstruksi pada lambung kapal Ro-ro. Pada konstruksi lambung kapal tersebut tersusun dari pelat dan profil baja. Pemasangan struktur diperhatikan karena mempengaruhi fungsi dari

pembebenannya. Misalnya pada pemasangan *beam* dijepit dengan *bracket* memiliki fungsi menahan beban dari banyak arah.

2.1.4. Pembebanan

Perhitungan pembebanan dilakukan sesuai dengan peraturan dari (Biro Klasifikasi Indonesia, 2019) *Sec. 4 Design Load*. Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan nilai beban pada konstruksi elemen lambung. Bagian dinamis dari beban ini hanya dapat digunakan dalam konsep rancang dari peraturan konstruksi lambung ini. Berikut (2.1) merupakan beberapa rumus untuk mendapatkan nilai beban:

1. Beban pada geladak cuaca ditentukan sesuai rumus berikut:

$$p_D = p_0 \frac{20 \cdot T}{(10+z-T)H} c_D \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.1)$$

2. Beban pada sisi kapal ditentukan menurut:

- a. Untuk elemen yang pusat bebannya terletak dibawah garis muat:

$$p_S = 10 \cdot (T - z) + p_0 + c_f \left(1 + \frac{z}{T}\right) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.2)$$

Untuk arah gelombang yang searah atau berlawanan dengan arah maju kapal

$$p_{S1} = 10 \cdot (T - z) + p_{01} \left[1 + \frac{z}{T} \left(2 - \frac{z}{T}\right)\right] \cdot 2 \frac{|y|}{B} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.3)$$

- b. Untuk elemen yang pusat bebannya terletak dibawah garis muat:

$$p_S = p_0 \cdot c_f \cdot \frac{20}{5 + z - T} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.4)$$

Untuk arah gelombang yang searah atau berlawanan dengan arah maju kapal

$$p_{S1} = p_{01} \frac{20}{5 + z - T} \cdot \frac{|y|}{B} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.5)$$

3. Beban luar p_B dari alas kapal ditentukan menurut rumus berikut :

$$p_B = 10 \cdot T + p_0 \cdot c_f \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.6)$$

Untuk arah gelombang yang searah atau berlawanan dengan arah maju kapal

$$p_{B1} = 10 \cdot T + p_{01} \cdot 2 \frac{|y|}{B} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.7)$$

4. Beban pada geladak terbuka dan pada bagian geladak bangunan atas dan rumah geladak, yang tidak diperlakukan sebagai geladak kekuatan, harus ditentukan sebagai berikut:

$$p_{DA} = p_0 \cdot n \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.8)$$

2.1.5. Tegangan

Tegangan memiliki dua pengertian dimana gaya per satuan luas atau intensitas tegangan, yang umumnya ditunjukkan sebagai tegangan satuan dan gaya dalam total suatu batang tunggal yang umumnya dikatakan sebagai tegangan total. Tegangan secara umum diasumsikan bahwa

tegangan terbagi rata di seluruh potongan atau penampang. Dengan begitu diperoleh persamaan (2.9) untuk menyatakan besarnya tegangan berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.9)$$

Persamaan tersebut memberikan pengertian bahwa tegangan dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada satu satuan luas permukaan benda yang dikenakan oleh gaya. Tegangan dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*). Tegangan dapat diketahui dengan melakukan pengujian, dan besarnya kekuatan sangat tergantung pada jenis material yang diuji. Bahan yang sering dan umum digunakan adalah baja (Timoshenko, 1878).

Pada suatu bidang yang dikenal suatu gaya akan terdapat dua jenis tegangan yang mempengaruhi bidang tersebut, yaitu:

1. Tegangan Normal

Adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang ditimbulkan oleh gaya aksial dan momen lentur. Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang yang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan batang penampang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar pada sumbu-sumbu tersebut.

2. Tegangan Geser

Adalah tegangan yang bekerja sejajar dengan bidang pembebanan. Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi.

Berdasarkan (Biro Klasifikasi Indonesia, 2014) tegangan ijin akibat beban yang diberikan adalah sbb :

1. Untuk penilaian tegangan dengan teori balok atau *grillage analysis* adalah :

$$\text{Normal stress} \quad : \sigma_N \leq R_{eH}$$

$$\text{Sheer stress} \quad : \tau \leq 0.6 R_{eH}$$

2. Untuk penilaian tegangan dengan *finite element analysis* adalah :

$$\text{Equivalent stress} \quad : \sigma_V \leq R_{eH}$$

$$R_{eH} \quad : \text{nominal upper yield stress}$$

2.1.6. Tegangan Ijin

Berdasarkan peraturan (Biro Klasifikasi Indonesia, 2019) tegangan yang diijinkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2.10):

$$\sigma_{pr} = \sigma_{perm} - |\sigma| \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.10)$$

$$\sigma_{pr} = \frac{150}{k} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.11)$$

$$\sigma_{prem} = \left(0.8 + \frac{L}{450}\right) \cdot \frac{230}{k} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.12)$$

$$\sigma_{prem \max} \leq \frac{230}{k} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.13)$$

2.1.7. Tegangan Von Mises

Tegangan *von mises* merupakan kombinasi dari tegangan normal pada tiga arah dan juga tegangan geser yang bereaksi pada tempat tertentu. Jika tegangan *von mises* yang dihasilkan melebihi *yield strength*, maka material akan memberikan kekuatan sebesar *yield strength*, dan jika tegangan *von mises* yang dihasilkan melebihi *ultimate strength* maka material akan pecah. Tegangan *von mises* menurut (IACS, 2014) dirumuskan dengan persamaan (2.14) berikut:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_x)^2 - (\sigma_x \sigma_y)^2 + (\sigma_y)^2 + 3(\tau_{xy})^2} \quad (2.14)$$

dengan

σ_{vm} = tegangan *von mises* (N/m²)

σ_x dan σ_y = tegangan normal elemen (N/m²)

τ_{xy} = tegangan geser elemen (N/m²)

2.1.8. Finite Element Method

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik dan fisika matematika. Permasalahan khusus dalam bidang teknik dan matematika fisika yang dapat dipecahkan dengan menggunakan metode elemen hingga yaitu meliputi struktur analisis, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massa, dan potensi elektromagnetik (Logan, 2007).

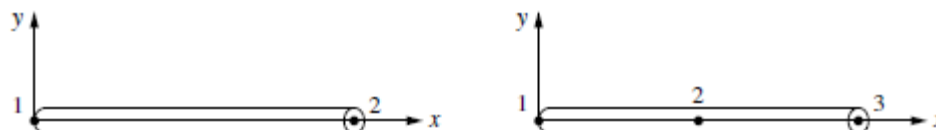
Metode-metode klasik menunjukkan bahwa masalah ini berupa persamaan diferensial parsial, akan tetapi jawabannya tidak ada karena geometri dan pernbeganannya terlalu kompleks. Secara praktis, banyak sekali masalah yang terlalu kornpleks untuk diperoleh jawaban tertutupnya (*closed form solution*). Untuk itu diperlukan solusi numerik, dan salah satu yang cukup memadai adalah metode elemen hingga yang dijelaskan oleh (Cook, 1990). Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga dan umumnya mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibandingkan kontinunya (Weaver, 1989).

Permasalahan *engineering* dan *mathematical physic* yang diselesaikan menggunakan metode elemen hingga seperti halnya adalah analisis struktural, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massa, potensial elektromagnetik. Metode numerik menghasilkan nilai perkiraan yang tidak diketahui jumlah titik di kontinum. Karena itu, proses pemodelan *body* dibagi dengan sistem benda atau unit yang lebih kecil (elemen hingga) yang saling berhubungan di titik-titik umum ke dua atau lebih elemen (titik atau node nodal), garis batas dan permukaan yang disebut dengan diskritisasi. Solusi untuk masalah struktural biasanya mengacu pada penentuan perpindahan pada setiap node dan tekanan dalam setiap elemen yang membentuk struktur yang dikenakan pada beban yang diberikan (Logan, 2007).

Terdapat beberapa jenis elemen pada elemen hingga yaitu elemen garis (elemen linear), elemen dasar dua dimensi (bidang), elemen tiga dimensi dan elemen aksimetris. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing jenis elemen:

a. Elemen garis

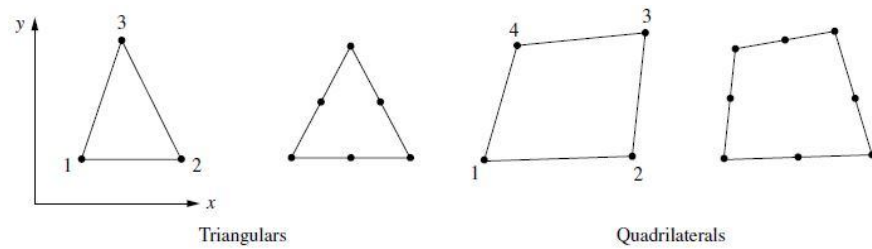
Elemen garis terdiri dari elemen batang (rangka) dan balok. Elemen ini sering digunakan pada model batang dan struktur gading. Biasanya luas penampang elemen ini diwakili oleh segmen garis. Elemen garis memiliki dua *node* dimana 1 node di setiap ujungnya. Elemen ini sering digunakan untuk memodelkan rangka dan struktur rangka. Berikut merupakan elemen garis yang ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Elemen Garis
(Sumber: Logan, 2007)

b. Elemen dua dimensi

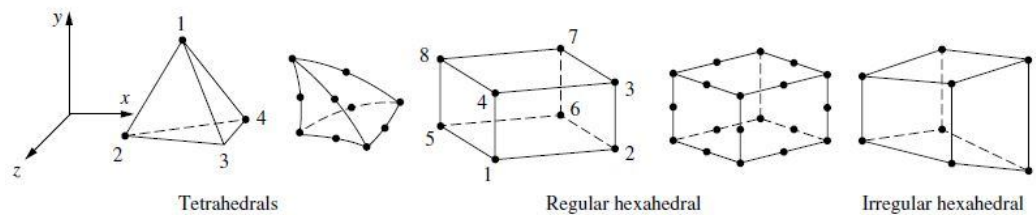
Elemen dua dimensi biasa berbentuk segitiga (*triangular*) atau segiempat (*quadrilateral*). Elemen ini memiliki *node* di setiap ujung sisinya yang lurus. Elemen dua dimensi memiliki variabel ketebalan dan seluruh nilainya konstan. Elemen ini sering digunakan untuk permasalahan teknik yang memiliki jangkauan yang lebar. Gambar 2.4 adalah elemen dua dimensi.



Gambar 2.4 Elemen Dua Dimensi
(Sumber: Logan, 2007)

c. Elemen tiga dimensi

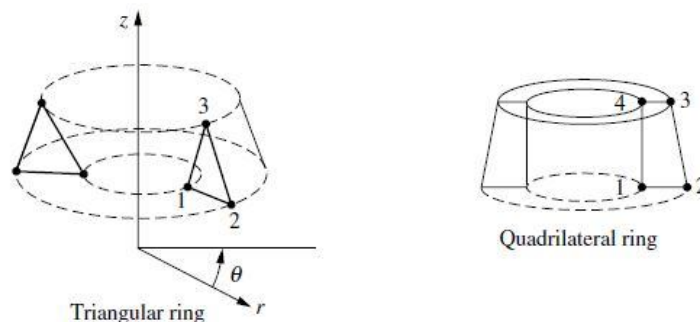
Bentuk elemen paling umum dari elemen tiga dimensi yaitu *tetrahedral* dan *hexahedral*. Elemen ini digunakan ketika melakukan analisis tegangan tiga dimensi. Elemen ini memiliki *node* pada setiap ujung dan sisi tegaknya dimana elemen-elemen yang lebih besar dengan *node* yang berada di tengah tepinya mempunyai permukaan berbentuk kurva pada setiap sisinya. Bentuk elemen tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Elemen Tiga Dimensi
(Sumber: Logan, 2007)

d. Elemen aksimetris

Adalah pengembangan dari pergantian elemen *triangular* atau *quadrilateral*. Elemen ini digunakan pada geometri yang memiliki permasalahan aksimetris aksimetris (Logan, 2007). Bentuk elemen aksimetris dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Elemen Aksimetris
(Sumber: Logan, 2007)

Analisis kekuatan dengan metode elemen hingga digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan *von mises*. Suatu konstruksi dinyatakan memenuhi apabila besarnya nilai *von mises* stress kurang dari *yield stress* material (Hoque, 2016).

2.1.9. Meshing

Kunci dari metode elemen hingga untuk perhitungan numerik adalah pembuatan *mesh*. *Meshing* merupakan proses pembuatan elemen dengan membagi model menjadi beberapa elemen dengan ukuran yang lebih kecil. *Meshing* merupakan tahap penting pada analisis menggunakan metode elemen hingga untuk perhitungan (Hoque, 2016). Tipe *meshing* dibagi berdasarkan pertemuan antar elemen yaitu sebagai berikut:

1. *Structured Mesh*

Tipe *mesh* ini memiliki jumlah elemen sama pada setiap titik pertemuannya. *Meshing* ini memiliki ciri-ciri bentuk yang teratur, contohnya berbentuk *quad* atau *hexagonal*.

2. *Unstructured Mesh*

Jenis *meshing* ini digunakan untuk model yang akan dianalisis memiliki bentuk tidak teratur. Jenis dari *meshing* ini biasanya berbentuk *tetrahedral* atau *triangle*.

Pada daerah yang memiliki tegangan tinggi, harus menggunakan *fine mesh zone* yaitu pemilihan dari ukuran *mesh* pada daerah tersebut tidak boleh kurang dari 50 mm. Hal tersebut dilakukan agar hasil solusi yang dihasilkan dengan menggunakan perhitungan elemen hingga dapat dikatakan mendekati dari penyelesaian yang sebenarnya (IACS, 2014).

2.1.10. Safety Factor

Safety factor adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Jika kegagalan struktural harus dihindari, maka beban yang dapat dipikul suatu struktur harus lebih besar daripada beban yang akan dialaminya pada masa pakai. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan di dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan *ultimate load*. Dengan membagi *ultimate load* dengan luas penampang, akan diperoleh *ultimate strength* atau *ultimate stress* dari suatu bahan. *Safety factor* merupakan perbandingan dari *ultimate stress* dengan *permissible stress* (Popov, 1984).

Jika ingin menghindari suatu kegagalan struktur, maka *safety factor* harus lebih besar daripada 1,0. Bergantung pada situasinya, digunakan *safety factor* dengan harga sedikit di atas 1,0 hingga 10 (Timoshenko, 1878). *Permissible stress* harus lebih rendah daripada *ultimate*

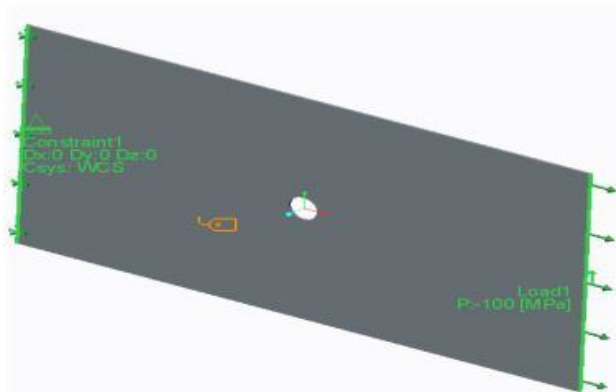
stress. Dalam Tugas Akhir ini acuan yang dipakai untuk *safety factor* adalah sesuai dengan peraturan (Biro Klasifikasi Indonesia, 2019).

2.2. Tinjauan Pustaka

Dalam proses untuk analisa tegangan struktur lambung kapal Ro-ro, maka dibutuhkan data-data pendukung dan kajian-kajina sebelumnya yang dapat dijadikan referensi yang terkait dengan tujuan Tugas Akhir ini sebagai tinjauan pustaka.

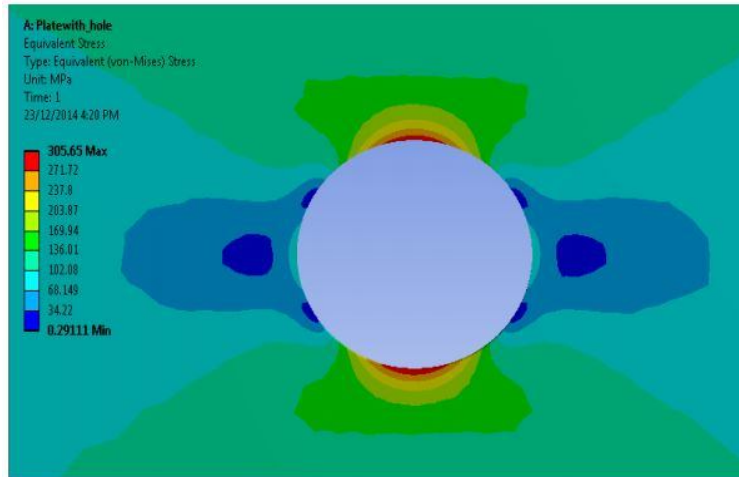
2.2.1. Perbandingan antara Hasil Perhitungan dengan Hasil Finite Element Software

Menurut jurnal yang ditulis oleh (Neupane, 2014) mengenai “*Comparison of Some Fem Codes In Static Analysis*” yaitu membandingkan beberapa *finite element method codes* dan teorinya dalam analisis statis dengan beberapa contoh berbeda. Bebarapa *finite element method codes* yang dianalisa adalah *software* Ansys, Greo simulate, Calculix, Z88 Aurora dan Gmsh. Geometri 3D dibuat dengan progam CAD dan diekspor ke format *file* sesuai dengan masing-masing *software*. Berikut Gambar 2.7 merupakan pemodelan plat kotak dengan lubang di tengahnya dengan hasil *running software*.

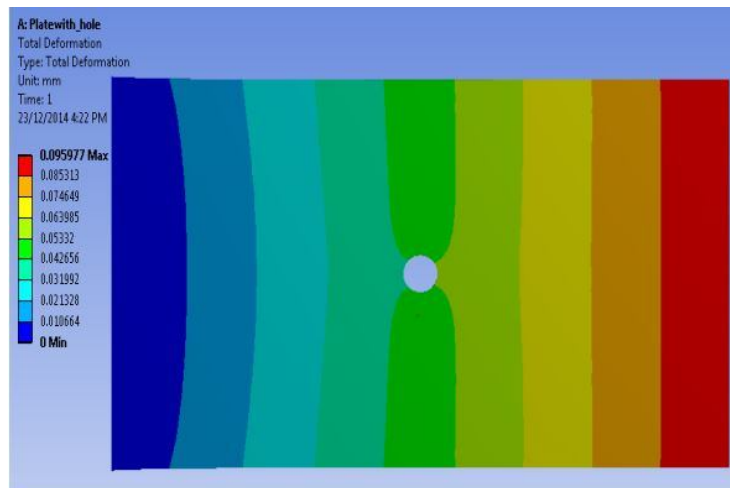


Gambar 2.7 Geometri 3D

Analisa pertama dilakukan pada Ansys *software*. Nilai yang diperoleh dari hasil *output* tegangan *von mises* adalah 305.65 MPa dengan total deformasi sebesar 0.095977 mm. Tegangan *von mises* dan total deformasi dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9.



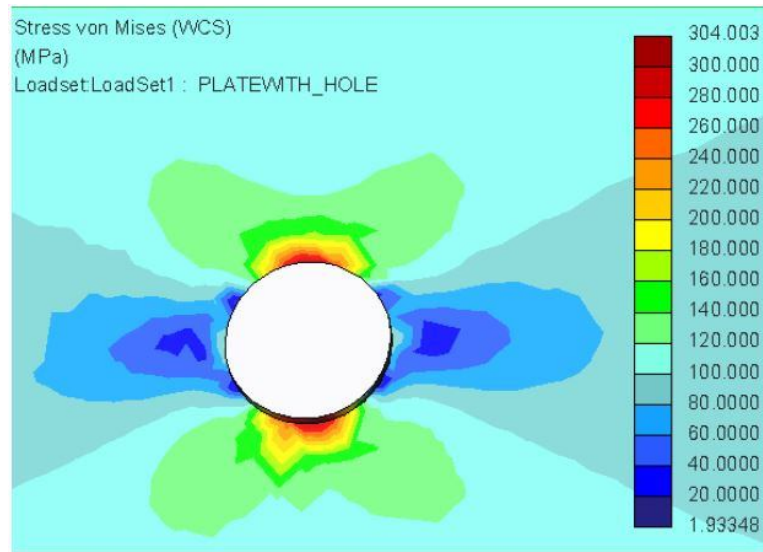
Gambar 2.8 Tegangan von mises dari Ansys



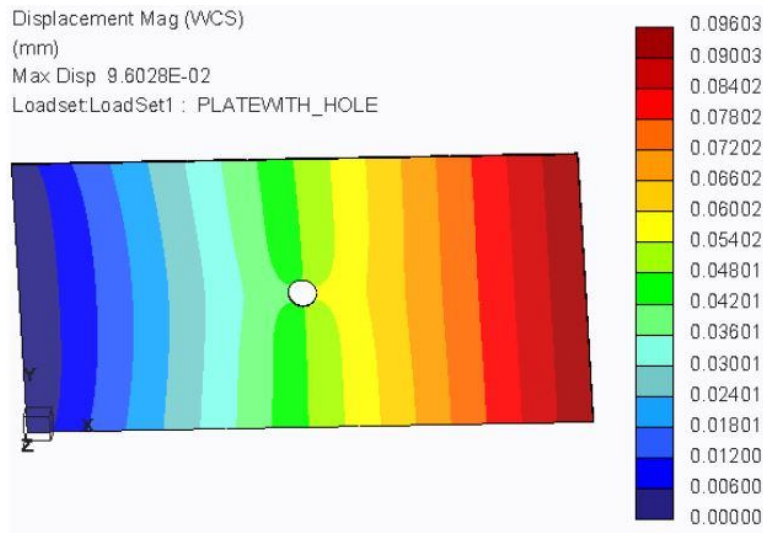
Gambar 2.9 Total deformation dari Ansys

Analisa kedua dilakukan pada *Creo Simulate*. Nilai yang diperoleh dari hasil output tegangan *von mises* adalah 304.003 MPa dengan total deformasi sebesar 0.09603 mm.

Tegangan *von mises* dan total deformasi yang dihasilkan oleh *Creo Simulate* dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11.

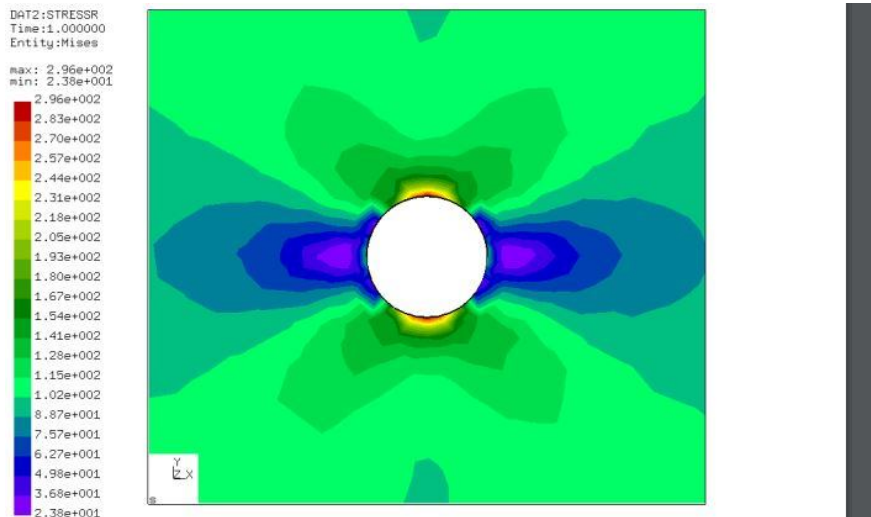


Gambar 2.10 Tegangan *von mises* dari *Creo Simulate*

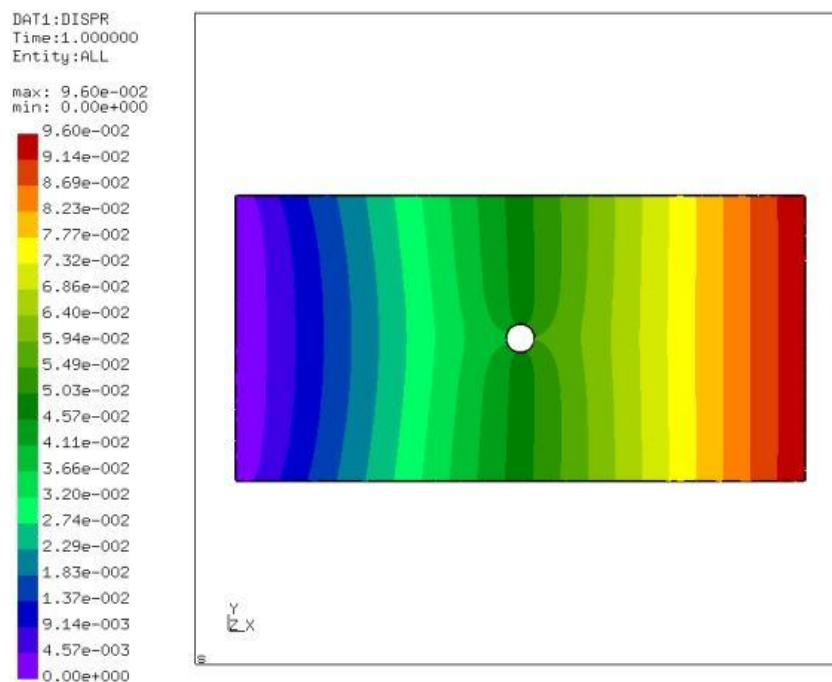


Gambar 2.11 *Displacement plots* dari *Creo Simulate*

Analisa ketiga dilakukan pada Calculix . Nilai yang diperoleh dari hasil output tegangan *von mises* adalah 296 MPa dengan total deformasi sebesar 0.096 mm. Tegangan *von mises* dan total deformasi yang dihasilkan oleh Calculix dapat dilihat pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13.

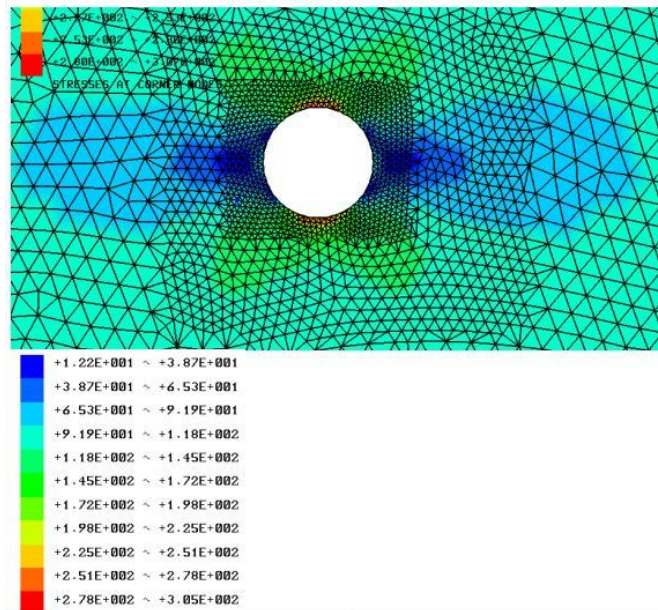


Gambar 2.12 Tegangan *von mises* dari *Calculix*

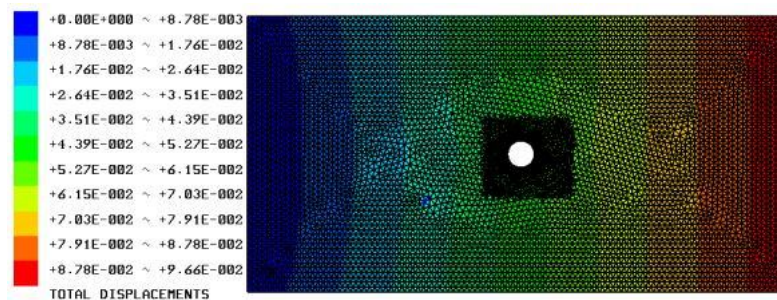


Gambar 2.13 *Displacement plots* dari *Calculix*

Analisa terakhir dilakukan pada Z88 Aurora. Nilai yang diperoleh dari hasil output tegangan *von mises* adalah 278 MPa dengan total deformasi sebesar 0.0966 mm. Tegangan *von mises* dan total deformasi yang dihasilkan oleh Z88 Aurora dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan Gambar 2.15.



Gambar 2.14 Tegangan *von mises* dari Z88 Aurora



Gambar 2.15 *Displacement plots* dari Z88 Aurora

Hasil dari setiap kode FEM adalah mendekati dengan hasil yang diperoleh dari hasil perhitungan rumus dengan kesalahan persentase kecil. Kesalahan persentase relatif telah dihitung berdasarkan nilai-nilai teoritis. Tabel 2. 1 menunjukkan perbandingan hasil yang diperoleh dari hasil perhitungan sesuai rumus dan FEM *codes*.

Tabel 2. 1 Komparasi hasil rumus dengan FEM codes

| Results (quantities) | Theoretical Results | FEM Codes | FEM Results | Relative Error in Percentage (%) |
|-----------------------------|---------------------|---------------|-------------|----------------------------------|
| Maximum Displacement (mm) | 0.09524 | Ansys | 0.096022 | 0.82% |
| | | Creo simulate | 0.09603 | 0.83% |
| | | Calculix | 0.096 | 0.80% |
| | | Z88Aurora | 0.0966 | 1.43% |
| Max. Von Mises stress (MPa) | 302.349 | Ansys | 305.65 | 1.09% |
| | | Creo Simulate | 304.003 | 0.55% |
| | | Calculix | 296 | 2.10% |
| | | Z88Aurora | 305 | 0.88% |

2.2.2. Konversi

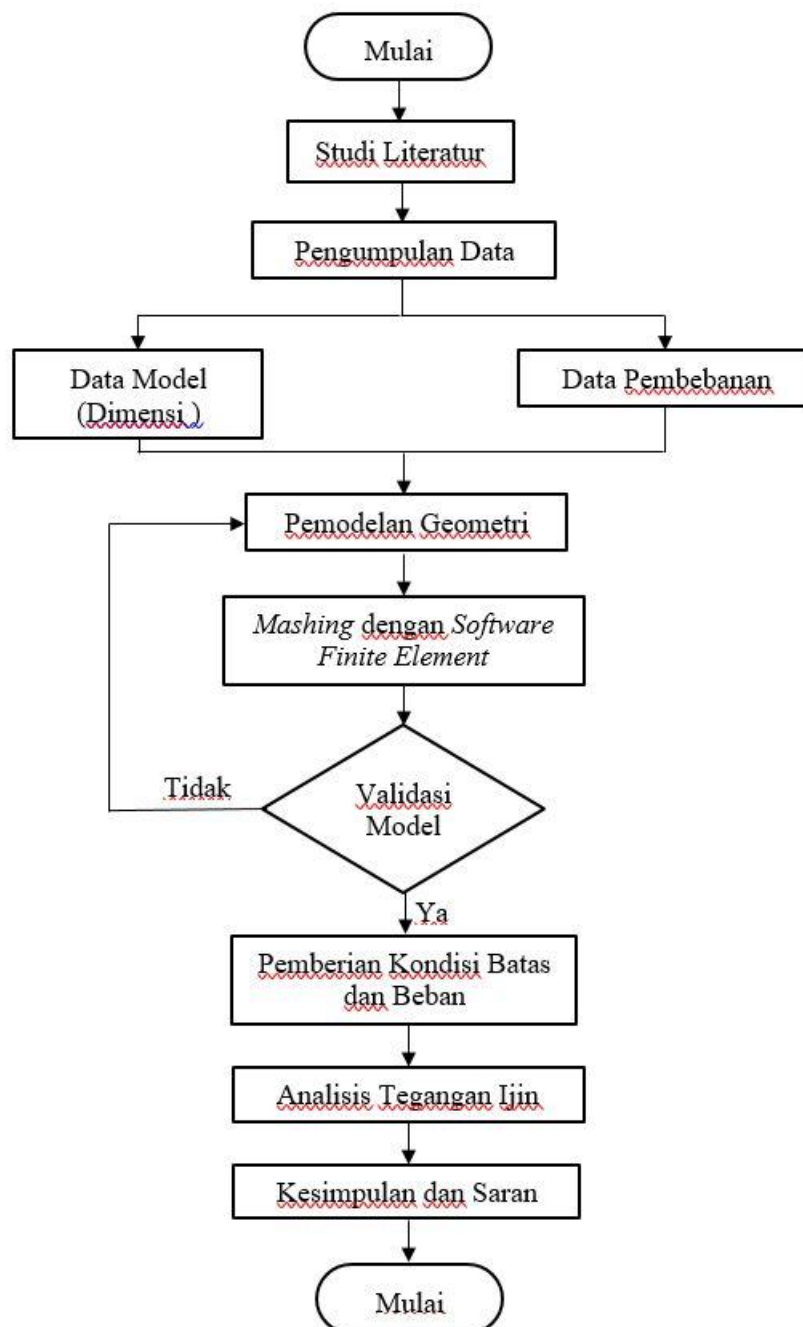
Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi *Landing Craft Tank* (LCT) Menjadi Kapal Motor Penyeberangan (KMP) Tipe Ro-ro untuk Rute Ketapang (Kabupaten Banyuwangi) Gilimanuk (Kabupaten Jembrana).

Penelitian (Kurniawati, H.A., 2016) dilakukan dengan melihat peraturan pemerintah yang melarang beroperasinya kembali LCT sehingga harus diadakan konversi. Konversi tersebut menitik beratkan pada kekuatan konstruksi kapal, freeboard, tonase dan stabilitas kapal. Didapatkan bahwa setelah dikonversi kapal dapat mengangkut 96 penumpang, 12 truk, dan, 8 mobil. Tegangan konstruksi maksimal yaitu 1.248,957 kg/cm², sarat maksimum 2.193 m, tonase sebesar 551 GT dan kondisi Intact Stability Code Reg. III/3.1I memenuhi. Biaya yang diperlukan untuk konversi yaitu Rp. 2.000.640.524.

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Diagram Alir

Pada penyusunan Tugas Akhir ini, metodologi yang digunakan disajikan dalam diagram alir seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Studi Literatur

Studi literatur yang akan digunakan bersumber dari jurnal lokal maupun internasional, dan juga bersumber dari Tugas Akhir yang pernah dikaji sebelumnya serta buku-buku yang berkaitan dengan pengerjaan Tugas Akhir ini khususnya pada bagian konstruksi lambung kapal. Studi literatur ini diperlukan untuk mendapatkan pemahaman mengenai pengaruh tegangan yang terjadi pada struktur lambung kapal khususnya pada bagian sisi, untuk mengetahui kekuatan konstruksi lambung saat sarat kapal mengalami perubahan dan untuk mengetahui faktor keselamatan. Perhitungan tegangan dilakukan dengan menggunakan *software*, serta cara melakukan permodelan dengan menggunakan *finite element*.

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mengambil data yang diperlukan dalam mengerjakan Tugas Akhir. Data yang dibutuhkan penulis berkaitan permasalahan dalam penelitian ini berupa data kapal LCT (*Landing Craft Tank*) yang sebelum dikonversi dan data kapal setelah dikonversi menjadi kapal penumpang. Data tersebut berupa *Construction Profile*, *Midship Section* dan *General Arrangement*.

3.3.1. Ukuran Utama

Kapal yang digunakan penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah kapal Ro-ro hasil dari konversi kapal LCT (*Landing Craft Tank*). Kapal ini menggunakan kelas BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). Data kapal akan disajikan dengan tidak mencantumkan ukuran DWT kapal dikarenakan oleh keterbatasan data. Sarat kapal setelah dikonversi memiliki ukuran lebih kecil dari ukuran sebelum dikonversi karena kenaikan LWT lebih kecil dari penurunan DWT sehingga sarat kapal menjadi lebih kecil. Berikut merupakan beberapa data kapal yang disajikan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Data Ukuran Kapal LCT

| <i>Main Dimention</i> | |
|-----------------------------------|-------------|
| <i>Length Overall (LOA)</i> | 70.00 meter |
| <i>Length Perpendicular (LPP)</i> | 61.4 meter |
| <i>Breadth (B)</i> | 14.00 meter |
| <i>Depth (H)</i> | 2.70 meter |
| <i>Draft (T)</i> | 1.9 meter |

Tabel 3.2 Data Ukuran Kapal Ro-ro

| <i>Main Dimention</i> | |
|-----------------------------------|-------------|
| <i>Length Overall (LOA)</i> | 70.00 meter |
| <i>Length Perpendicular (LPP)</i> | 63.45 meter |
| <i>Breadth (B)</i> | 14.00 meter |
| <i>Depth (H)</i> | 2.70 meter |
| <i>Draft (T)</i> | 1.784 meter |
| <i>Service Speed (Vs)</i> | 10 knots |

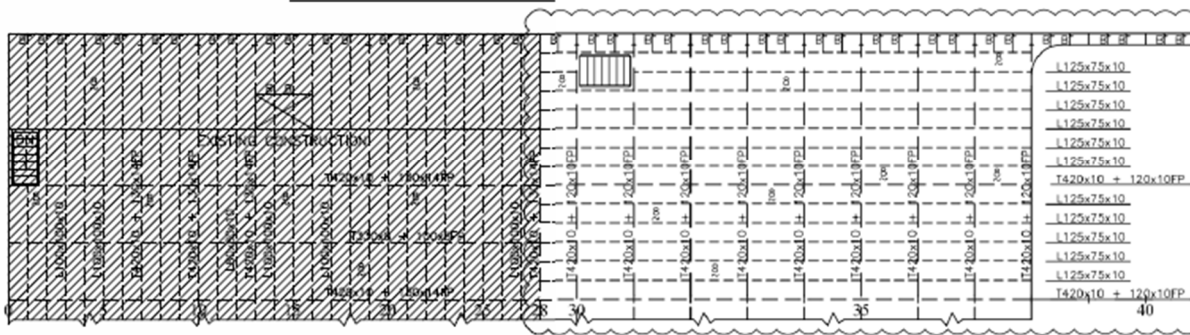
3.3.2. Construction Profile

Konstruksi kapal adalah bagian-bagian struktur dari keseluruhan bangunan kapal. Gambar dari konstruksi kapal memiliki informasi mengenai ukuran pelat, profil dan ukuran konstruksi lainnya yang terdapat pada kapal. Pada Tugas Akhir ini, *construction profile* yang digunakan adalah *frame 30* hingga *frame 35*. Gambar konstruksi kapal yang diperlukan adalah seperti pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Side Profile Kapal Ro-ro

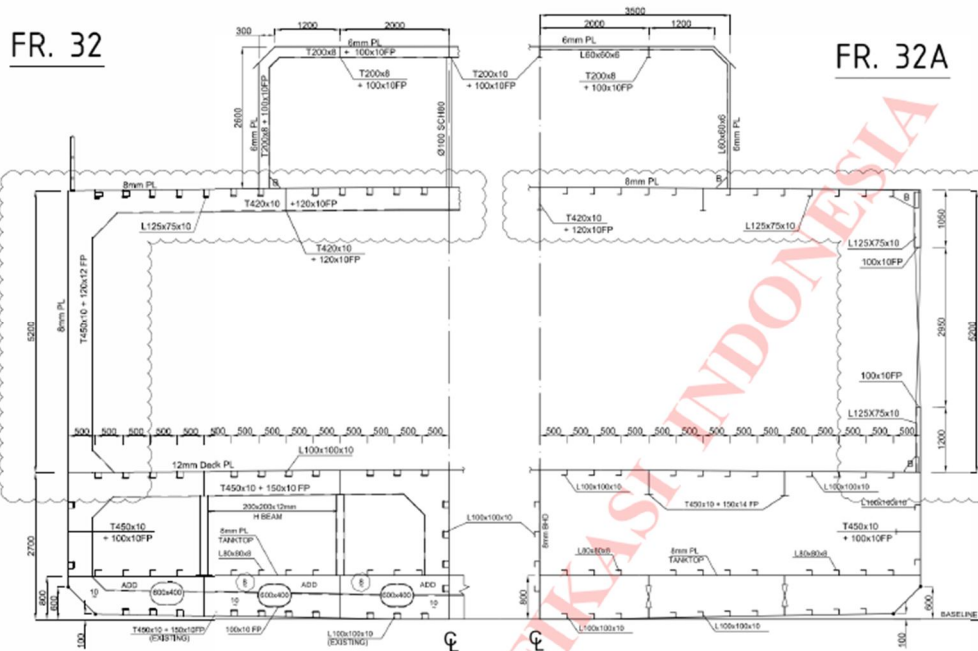
PASS & NAV DECK



Gambar 3.3 *Passanger and Navigation deck*

3.3.3. Midship Section

Midship section menggambarkan penampang melintang sebuah kapal. Bagian ini merupakan bagian terpenting dalam proses pemodelan kapal, karena penulis dapat memodelkan mendekati dengan bentuk aslinya. Berikut adalah gambar dari *midship section* kapal Ro-ro yang ditampilkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Midship Section*

3.3.4. Mechanical Properties

Material yang digunakan pada struktur lambung kapal adalah baja A36. Berdasarkan terdapat beberapa komponen dari *mechanical properties* material. Dari *mechanical properties* tersebut perlu diperhatikan nilai *yield tensile strength*. Nilai dari *yield strength material* baja A36 ini adalah 250 MPa. Karakteristik baja A36 dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 *Mechanical Properties* Baja A36

| <i>Mechanical Properties</i> | |
|-------------------------------------|------------------------|
| Deskripsi | Ukuran |
| Massa jenis | 7850 kg/m ³ |
| Modulus Young | 200 GPa |
| Poisson's ratio | 0.26 |
| Shear Modulus | 79.3 GPa |
| Bulk Modulus | 140 GPa |
| Compressive Yield Strength | 152 GPa |
| Tensile strength, Yield | 250 MPa |
| Tensile Strength, Ultimate | 400-500 MPa |

3.4. Proses Pengerjaan untuk Memperoleh Nilai Tegangan

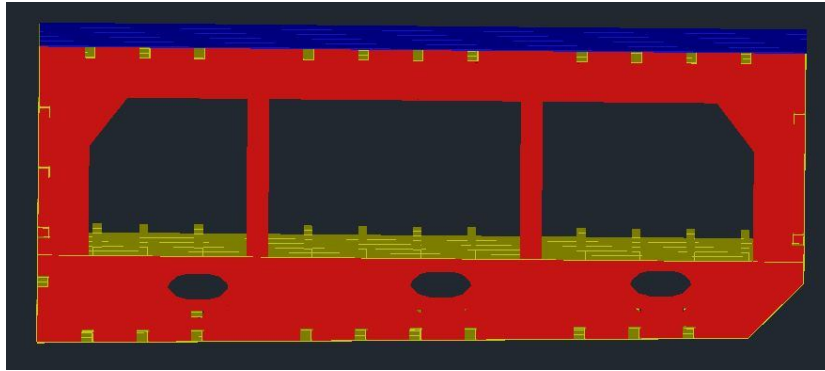
Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini dibutuhkan beberapa tahapan untuk memperoleh nilai tegangan pada struktur lambung sisi kapal. Berikut ini adalah beberapa tahapan penulis untuk mendapatkan nilai tegangan:

3.4.1. Metode

Metode yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah *finite element methode*. Pada metode ini, *software* yang akan dipakai adalah *structural finite element*. Fungsi dari *software* ini adalah untuk merekayasa 3D geometri menjadi objek semirip mungkin dengan aslinya. Selanjutnya objek akan dilakukan *meshing* menjadi beberapa elemen kecil yang dihubungkan dengan *node*.

3.4.2. Pemodelan *Midship Section Area*

Pada penelitian ini, geometri tiga dimensi yang dibuat adalah pada area tengah kapal Ro-ro. Geometri ini dibuat dengan menggunakan *software 3D modelling*. Geometri pada area tengah kapal ini diperoleh dari data gambar konstruksi. Geometri pada area tengah kapal menggunakan data *midship section* bagian *frame 32*. Pada kapal ini tidak terjadi perubahan muatan dari kapal Ro-ro menjadi kapal LCT. Konstruksi lambung yang dimodelkan pada *software 3D modelling* adalah area tengah kapal yang mengalami penambahan bangunan atas yang dimulai dari *frame 30* hingga *frame 35*. Konstruksi yang dimodelkan dimulai dari *frame 30* hingga *frame 35* karena pada bagian tersebut mengalami penambahan beban berat konstruksi bangunan atas, sedangkan pada bagian konstruksi lambung yang lain tidak terjadi penambahan yang terlalu signifikan. Lebar kapal yang dimodelkan adalah 14 meter. Tebal pelat yang digunakan pada lambung sisi adalah 8 milimeter. *Frame 31* hingga *34* merupakan gading besar. *Frame 35* merupakan sekat. Panjang *frame 30* hingga *frame 35* adalah 7.5 meter. Berikut merupakan gambar 3D model yang ditampilkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Model 3D

Jika 3D *modelling* selesai dikerjakan, maka tahap selanjutnya adalah menyimpan file dengan format iges (.igs). Format ini digunakan saat mengimpor *geometri* ke *finite element software*. Perlu dipastikan pula bahwa *geometri* yang di desain telah benar dan *solid*, sehingga tidak ditemukan part yang didefinisikan sebagai *surface*.

3.4.3. Mechanical Properties pada Software

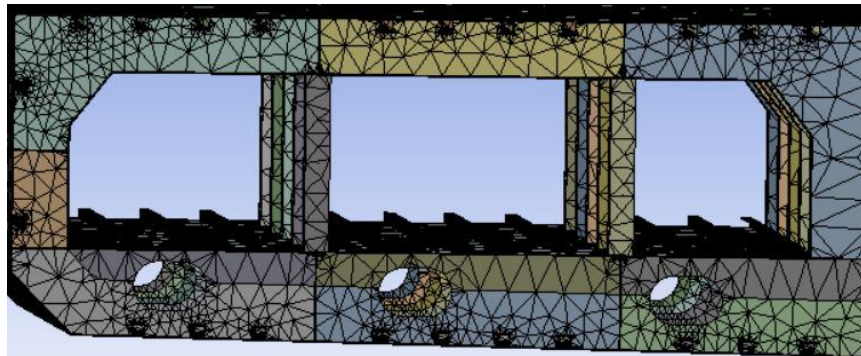
Setelah geometri 3D selesai dibuat, selanjutnya diimpor ke dalam pemodelan *structural finite element software*. Seluruh komponen geometri dipastikan telah *solid*. Kemudian diberikan *material properties* pada geometri sesuai dengan data yang dimiliki. Berikut adalah Gambar 3.6 yang menunjukkan *material properties* yang terdapat pada variabel *engineering data*.

| Outline of Schematic A2: Engineering Data | | | | | |
|---|---|---------|--------------------|--------|---|
| | A | B | C | D | E |
| 1 | Contents of Engineering Data | | | Source | Description |
| 2 | Material | | | | |
| 3 | Structural Steel | | | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |
| Properties of Outline Row 3: Structural Steel | | | | | |
| | A | B | C | D | E |
| 1 | Property | Value | Unit | | |
| 2 | Material Field Variables | Table | | | |
| 3 | Density | 7850 | kg m ⁻³ | | |
| 4 | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion | | | | |
| 6 | Isotropic Elasticity | | | | |
| 12 | Alternating Stress Mean Stress | Tabular | | | |
| 16 | Strain-Life Parameters | | | | |
| 24 | Tensile Yield Strength | 2.5E+08 | Pa | | |
| 25 | Compressive Yield Strength | 2.5E+08 | Pa | | |
| 26 | Tensile Ultimate Strength | 4.6E+08 | Pa | | |
| 27 | Compressive Ultimate Strength | 0 | Pa | | |

Gambar 3.6 Material properties

3.4.4. Meshing

Meshing merupakan proses simulasi membagi komponen geometri menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Proses ini mempengaruhi keakuratan hasil dan kecepatan saat simulasi berlangsung. Semakin besar ukuran *meshing* maka hasil yang diperoleh akan menjadi kurang akurat dan semakin kecil ukuran *meshing* maka hasil yang diperoleh akan semakin akurat. Selain ukuran *meshing*, perlu diperhatikan pula *tools* yang baik agar diperoleh hasil yang akurat. Tipe *meshing* yang dipilih adalah *tetrahedrone*. Tipe ini dipilih karena disesuaikan dengan geometri yang memiliki banyak *part* yang bolong. *Tetrahedrone* ini akan menghasilkan pola hasil *meshing* yang bagus. *Meshing* dilakukan secara global. Ukuran *meshing* yang dipakai adalah sesuai dengan ukuran *frame* pada data. Gambar 3.7 hasil *meshing* dengan menggunakan tipe *tetrahedrone*.

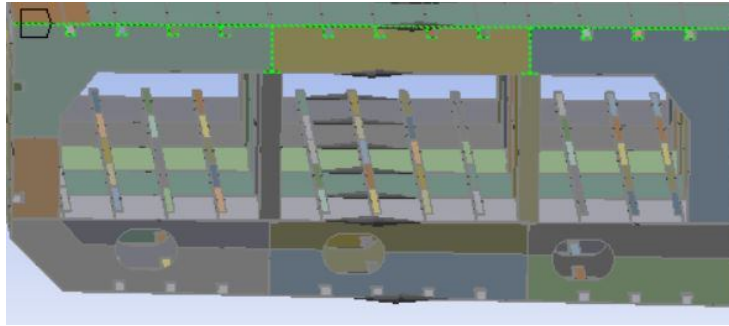


Gambar 3.7 Meshing dengan *tetrahedrone body sizing*

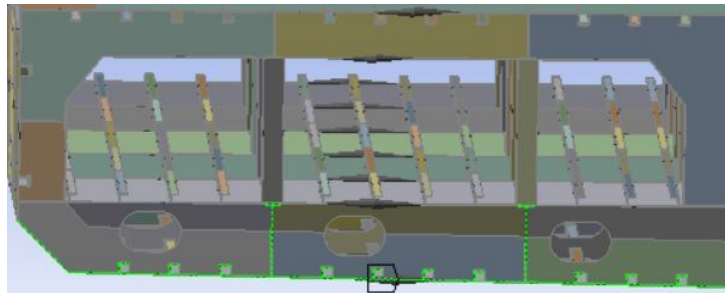
3.4.5. Boundary Condition

Analisa pada *finite element software* memerlukan *boundary condition* untuk proses *running* geometri. Selain itu pemberian *boundary condition* menggambarkan kondisi geometri yang sebenarnya. *Boundary condition* pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Fixed support* (Gambar 3.8 dan Gambar 3.9) adalah suatu bagian permukaan tidak bergerak, tetap kaku atau tanpa mengalami deformasi. Pada analisa ini, *fixed support* diposisikan pada bagian *face* alas dan *face* geladak di *frame* 30 dan *frame* 35 dengan tujuan saat model ini disimulasikan, agar tidak mengalami pergeseran atau deformasi pada ujung sekat.

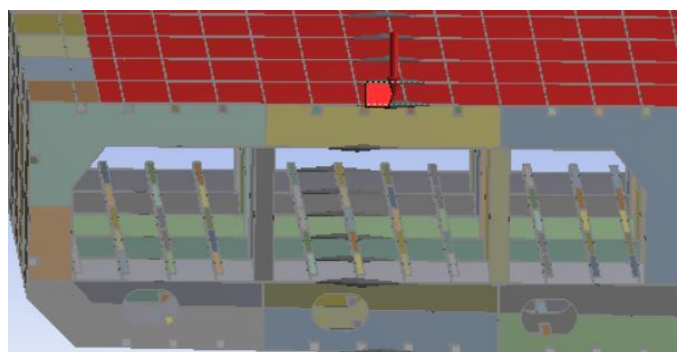


Gambar 3.8 *Fixed support* pada bagian geladak

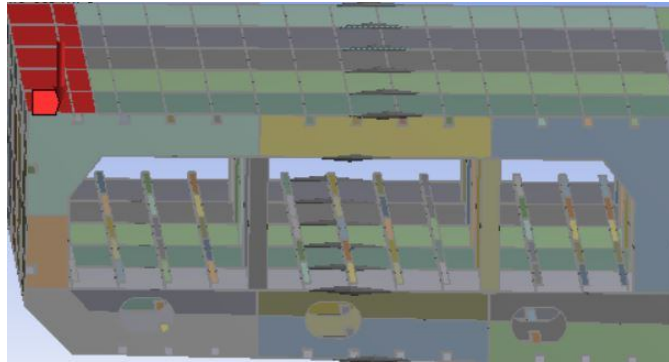


Gambar 3.9 *Fixed support* pada bagian *bottom*

2. *Pressure* pada *software* ini berfungsi untuk memberikan tekanan pada suatu area per satuan luas. Pada menu ini terdapat *command* untuk memilih geometri khususnya pada bagian *surface* yang akan ditinjau dan besaran atau nilai yang harus di-*input* agar geometri dapat dianalisa. *Pressure* diberikan pada tiap *surface* geladak, sisi, bilga dan *bottom* dengan nilai beban yang sudah dihitung sebelumnya. Gambar 3.10 dan Gambar 3.11 merupakan *pressure* yang diterapkan akibat beban geladak dan beban dari berat bangunan atas diterapkan pada struktur lambung.

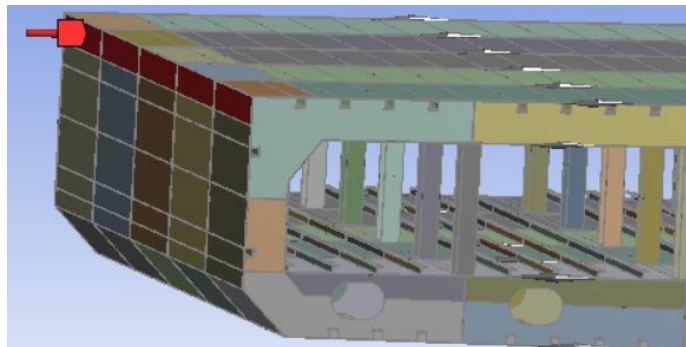


Gambar 3.10 *Pressure* di geladak

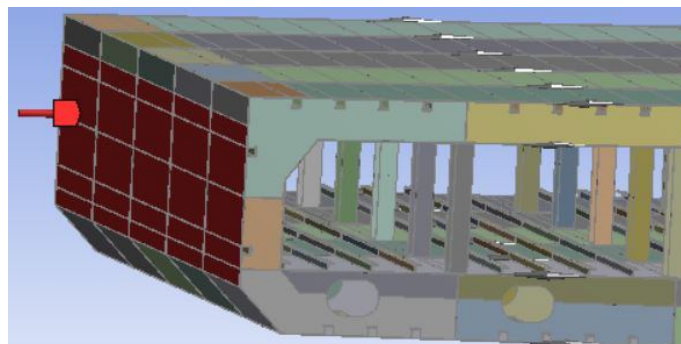


Gambar 3.11 *Pressure* dari berat bangunan atas

Selanjutnya adalah menerapkan *pressure* pada bagian sisi kapal di bagian atas garis air dan di bawah garis air sesuai dengan peraturan BKI. Berikut ini adalah *pressure* di atas garis air dan di bawah garis air yang ditunjukkan pada Gambar 3.12 dan Gambar 3.13.

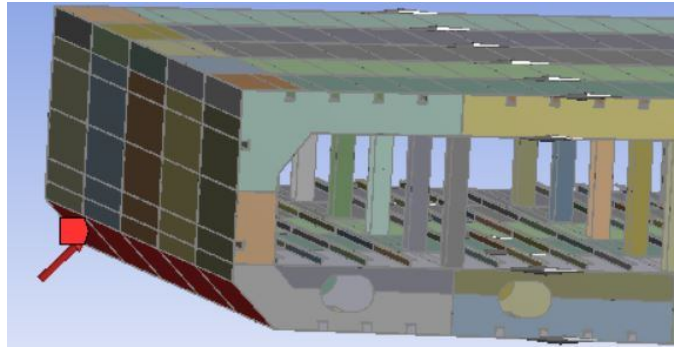


Gambar 3.12 *Pressure* di atas garis air

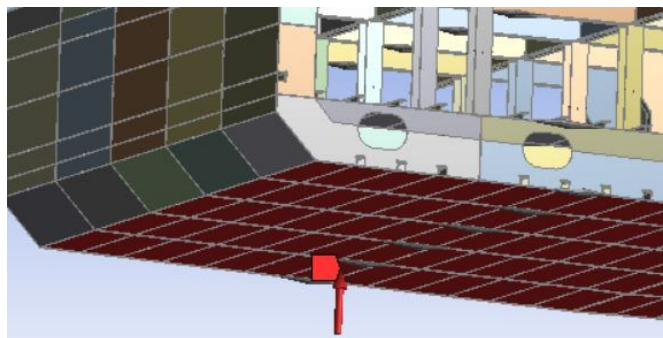


Gambar 3.13 *Pressure* di bawah garis air

Selanjutnya adalah menerapkan *pressure* pada bagian sisi kapal di bagian bilga dan *bottom*. Berikut ini adalah bilga dan *bottom* yang ditunjukkan pada Gambar 3.14 dan Gambar 3.15.



Gambar 3.14 *Pressure* di bilga



Gambar 3.15 *Pressure* di *bottom*

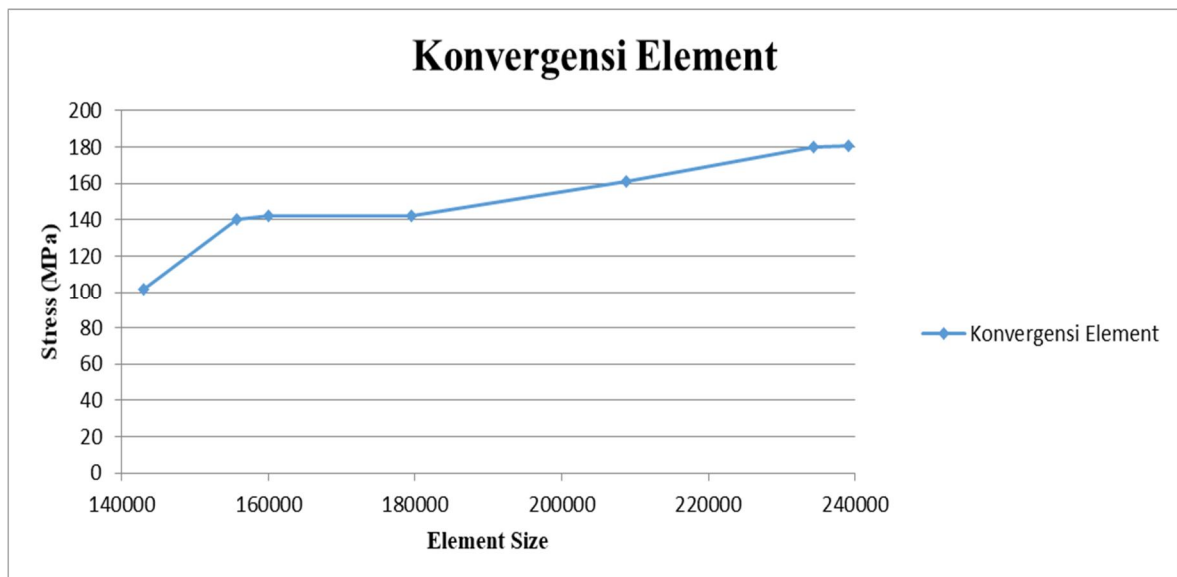
3.5. Konvergensi

Salah satu cara dalam menentukan ukuran elemen yang sesuai untuk pembuatan model sehingga model dapat menghasilkan nilai yang tepat yaitu dengan melakukan konvergensi. Pada Tugas Akhir ini, proses konvergensi dilakukan agar nantinya menghasilkan *output* tegangan yang mendekati nilai sebenarnya. Tujuan dari konvergensi adalah untuk menguji ketelitian dari *software* yang dipakai. Konvergensi dilakukan dengan membandingkan beberapa hasil *running* tegangan dengan ukuran elemen yang berbeda hingga mencapai hasil yang stabil pada tiap ukuran elemen.

Langkah pertama dalam melakukan konvergensi adalah dengan menginput ukuran *frame spacing* pada *command element size* pada menu *meshing*. Ukuran panjang *frame spacing* pada kapal Ro-ro ini adalah 500 mm. Kemudian dilakukan *running* model pada geometri pada *structural finite element software* hingga *solution* didapatkan. Setiap *solution* didapatkan, dilanjutkan dengan ukuran *meshing* yang lebih kecil dari sebelumnya. Ukuran *meshing* terkecil pada konvergensi ini adalah 270 mm. Pada saat ukuran *meshing* tegangan yang dihasilkan oleh hasil *running* ini didapatkan nilai tegangan yang hampir sama. Selanjutnya adalah membuat kurva ukuran *meshing* elemen dengan tegangan (sumbu y) dan jumlah elemen (sumbu x). Dengan diperolehnya ukuran *meshing* yang sesuai, maka nilai tegangan telah diperoleh. Berikut ini adalah konvergensi elemen kapal Ro-ro yang ditunjukkan Tabel 3.4 dan Gambar 3.16.

Tabel 3.4 Hasil Konvergensi Element Ro-ro

| Element Size (m) | Jumlah element | Stress (Mpa) | Margin Error (%) |
|------------------|----------------|--------------|------------------|
| 500 | 142903 | 101.6 | |
| 480 | 155718 | 140.24 | 38.64 |
| 460 | 160006 | 141.92 | 1.68 |
| 380 | 179454 | 141.99 | 0.07 |
| 300 | 208802 | 161.1 | 19.11 |
| 280 | 234292 | 180.34 | 19.24 |
| 270 | 239163 | 180.51 | 0.17 |

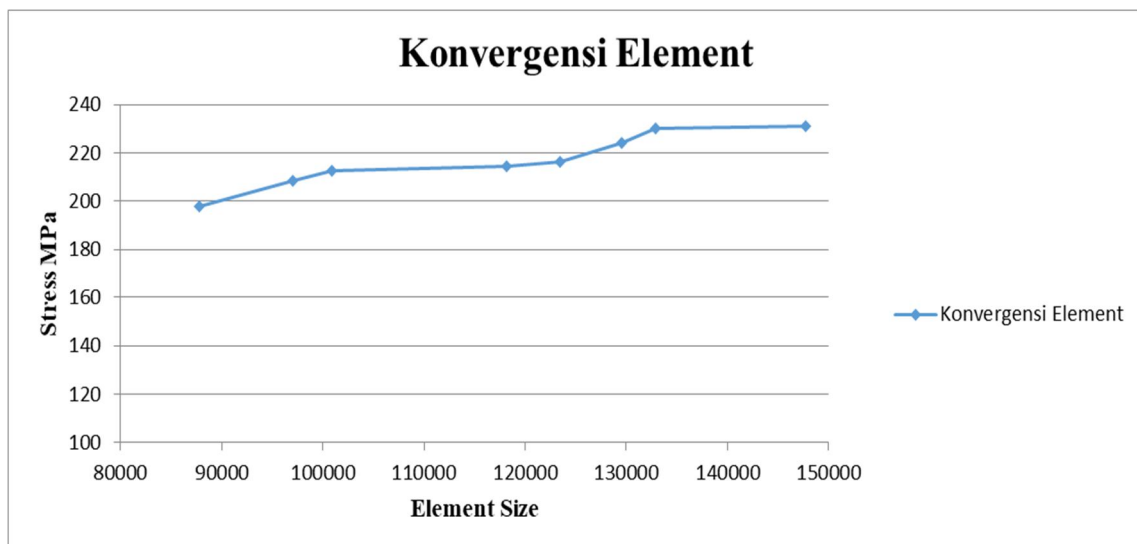


Gambar 3.16 Kurva Konvergensi Element Ro-ro

Berdasarkan Tabel 3.4 diperoleh hasil *margin error* sebesar 0.17% dengan *element size* 270 mm dan tegangan sebesar 180.51 MPa. Dengan diperoleh hasil tersebut, maka *size element* yang digunakan adalah sebesar 270 mm. Selanjutnya adalah melakukan konvergensi elemen pada kapal LCT. Konvergensi elemen dilakukan setelah dilakukan beberapa kali *running* dengan *element size* yang semakin kecil. Berikut ini merupakan konvergensi elemen kapal LCT yang ditunjukkan oleh Tabel 3.5 dan Gambar 3.17.

Tabel 3.5 Hasil Konvergensi Elemen LCT

| Element Size (m) | Jumlah element | Stress (Mpa) | Margin Error (%) |
|------------------|----------------|--------------|------------------|
| 500 | 87802 | 197.88 | |
| 440 | 97011 | 208.36 | 10.48 |
| 400 | 100875 | 212.65 | 4.29 |
| 360 | 118136 | 214.69 | 2.04 |
| 340 | 123482 | 216.32 | 1.63 |
| 320 | 129527 | 223.98 | 7.66 |
| 300 | 132877 | 230.28 | 6.3 |
| 260 | 147756 | 230.87 | 0.59 |



Gambar 3.17 Kurva Konvergensi Element LCT

Berdasarkan Tabel 3.5 diperoleh hasil *margin error* sebesar 0.59% dengan *element size* 260 mm dan tegangan sebesar 230.87 MPa. Dengan diperoleh hasil tersebut, maka *size element* yang digunakan adalah sebesar 260 mm.

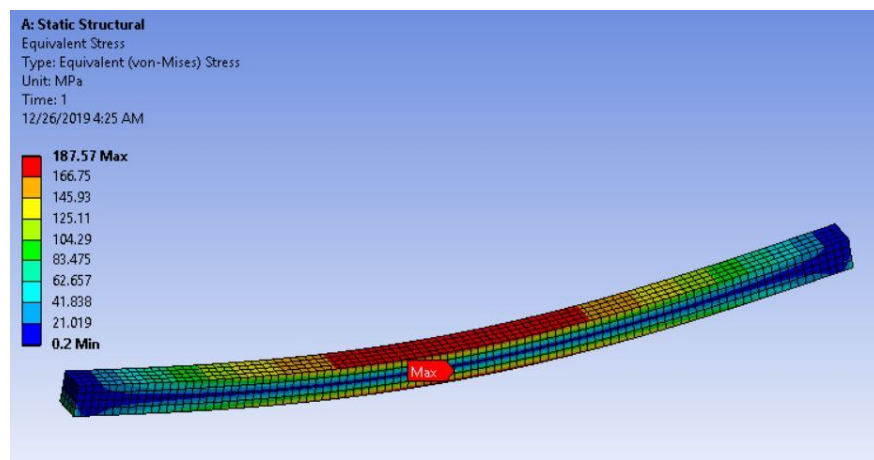
3.6. Validasi

Pada lambung kapal memiliki bentuk model yang kompleks, sehingga diperlukan *finite element software* untuk mencari tegangan maksimum pada lambung sisi kapal. Hasil tegangan pada model tersebut dapat dilakukan pendekatan dengan rumus dalam bentuk persamaan (3.1) dan (3.2) :

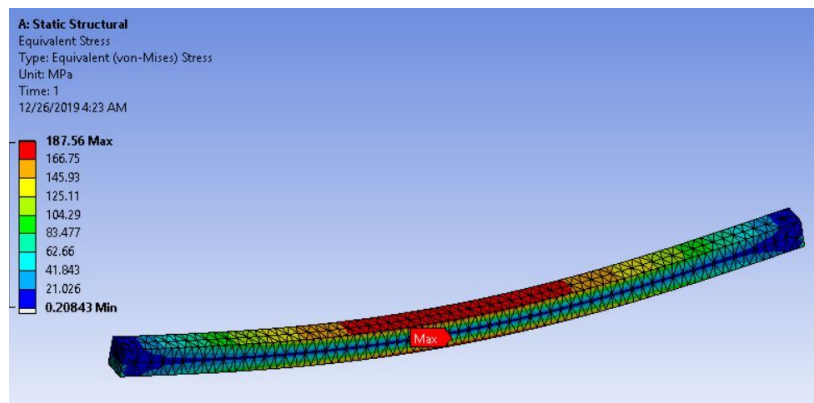
$$\sigma_{\max} = \left| M_{\max} \frac{y}{I} \right| \quad (3.1)$$

$$W_{\max} = \frac{5qL^4}{384EI} \quad (3.2)$$

σ_{\max} = Tegangan maksimum (Mpa); P = *Pressure* pada balok (N/mm^2); Z = Modulus penampang (mm^3); W_{\max} = Deformasi maksimum (mm); q = Hasil perkalian *pressure* dengan lebar penampang (N/mm); L = panjang balok (mm); E = Modulus young (N/mm^2); I = Momen inersia (mm^4). Karena bentuk model struktur lambung kapal yang kompleks, maka model disederhanakan menjadi batang balok yang diberi beban pada area permukaan balok dan ditumpu pada sisi-sisinya. Hasil *running* tegangan ditunjukkan pada Gambar 3.18 dan Gambar 3.19.



Gambar 3.18 Hasil *running* dengan *automatic*



Gambar 3.19 Hasil *running* dengan tetrahedrone

Dari ilustrasi di atas terdapat perbedaan dimana pada Gambar 3.18 menggunakan *meshing* dengan tipe *automatic* dan Gambar 3.19 dengan tipe *meshing tetrahedrone*. Dapat dilihat pula perbedaan dari kedua hasil *running* tegangan dengan nilai 187.57 MPa dan 187.56 MPa. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilainya relatif sama. Validasi dilakukan dengan melakukan perhitungan tegangan maksimum dengan menggunakan rumus pada

persamaan (3.1) berdasarkan tegangan yang terjadi pada hasil *running*. Berikut merupakan hasil perhitungan untuk validasi:

| | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| <i>Pressure</i> pada balok | : 16000 N/m ² |
| Panjang balok | : 1000 mm |
| <i>Section modulus</i> | : 10667 mm ³ |
| Tegangan (hasil rumus) | : 187.48 MPa |
| Tegangan (hasil <i>software</i>) | : 187.57 MPa |

Hasil tegangan antara perhitungan rumus dengan *finite element software* memiliki *margin error* yang kecil, yakni 0.001 %. Sehingga hasil tegangan pada balok hasil *running* model memiliki validasi yang tinggi.

3.7. Analisis Tegangan

Analisis dilakukan terhadap konstruksi lambung sisi kapal yang telah mengalami perubahan sarat dan penambahan bangunan atas akibat konversi kapal LCT menjadi kapal Ro-ro. Objek yang menjadi pengamatan adalah beban lokal dan tegangan yang diperoleh pada konstruksi lambung sisi kapal tersebut. Nilai tegangan didapatkan dari hasil simulasi yang akan dianalisis dengan tegangan ijin menurut peraturan BKI. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, untuk menentukan besarnya tegangan pada struktur lambung sisi kapal diperlukan konvergensi elemen terlebih dahulu. Setelah didapatkan nilai tegangan yang konvergen, maka diambil nilai tegangan paling tinggi.

BAB 4

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan

Pada proses *running* model dibutuhkan perhitungan untuk memperoleh tegangan. Perhitungan yang dibutuhkan adalah perhitungan beban dan perhitungan berat bangunan atas.

4.1.1. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan dilakukan pada kapal sebelum dan setelah dikonversi dengan tujuan untuk memperoleh nilai beban pada geladak, sisi, bilga dan dasar kapal. Formula yang dipakai adalah sesuai dengan peraturan BKI. Berikut ini merupakan pembebanan pada kapal Ro-ro, digunakan rumus sebagai berikut:

- a. Beban pada pelat sisi kapal

Untuk elemen yang pusat bebannya berada di bawah garis air

$$\begin{aligned} P_s &= 10(T - Z) + p_o \times C_f \left[1 + \frac{Z}{T} \right] \\ &= 10(1,784 - 1,492) + 13,5 \times 1 \left[1 + \frac{1,492}{1,784} \right] \\ &= 38,643 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk elemen yang pusat bebannya berada di atas garis air

$$\begin{aligned} P_{S1} &= 10(T - Z) + p_{o1} \left[1 + \frac{Z}{T} \left(2 - \frac{Z}{T} \right) \right] \cdot 2 \frac{|y|}{B} \\ &= 10(1,784 - 2,402) + 16,717 \left[1 + \frac{2,402}{1,784} \left(2 - \frac{2,402}{1,784} \right) \right] \cdot 2 \frac{171}{14} \\ &= 29,757 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan beban pada pelat sisi kapal di atas diperoleh nilai sebesar 38,643 kN/m² dan 29,757 kN/m². Dimana dari nilai-nilai tersebut diambil dengan nilai paling besar yaitu 38,643 kN/m². Rumus diatas juga digunakan untuk perhitungan beban bilga dan diperoleh nilai sebesar 37,181 kN/m².

- b. Beban pada dasar kapal

Untuk arah gelombang dengan atau berlawanan dengan arah kapal

$$\begin{aligned}
 P_B &= 10 \times T + p_0 \times C_f \\
 &= 10 \times 1,784 + 17,307 \times 1 \\
 &= 31,342 \text{ (kN/m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

Untuk arah gelombang dengan atau berlawanan dengan arah kapal termasuk peningkatan tekanan quasi-statis.

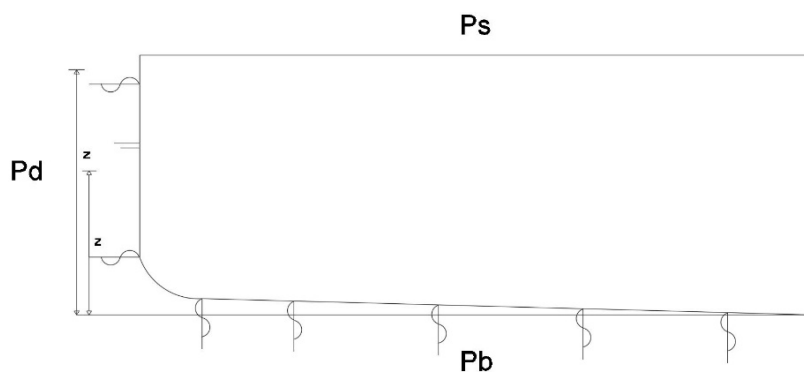
$$\begin{aligned}
 P_{B1} &= 10.T + p_{01} \left(2 \frac{|y|}{B} \right) \\
 &= 10 \times 1,784 + 16,717 \left(2 \frac{13,51}{14} \right) \\
 &= 26,119 \text{ (kN/m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan beban pada dasar kapal di atas diperoleh nilai sebesar 31,342 kN/m² dan 26,199 kN/m². Dari nilai-nilai tersebut diambil nilai yang terbesar yaitu 31,342 kN/m².

c. Beban pada geladak cuaca

$$\begin{aligned}
 P_D &= p_0 \frac{20.T}{(10+Z-T)H} C_D \\
 &= 13,502 \frac{20 \times 1,784}{(10+2,7-1,784)7} 1 \\
 &= 16,346 \text{ (kN/m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan beban pada geladak cuaca kapal di atas diperoleh nilai sebesar 16,346 kN/m². Berikut merupakan gambaran pusat beban dan rekapitulasi nilai beban yang ditunjukkan Gambar 4.1 dan Tabel 4.1.



Gambar 4.1 *Sketch* pusat beban

Tabel 4.1 Hasil perhitungan beban

| No | Beban | Nilai Beban (kN/m ²) |
|----|-------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Beban geladak (p_{DA}) | 16.346 |
| 2 | Beban sisi (p_s) | 38.643 |
| 3 | Beban bilga (p_s) | 37.181 |
| 4 | Beban <i>bottom</i> (p_B) | 31.342 |

Berdasarkan hasil perhitungan beban sesuai dengan Tabel 4.1, maka selanjutnya dapat memasukkan nilai beban ke dalam *finite element software* untuk dianalisis. Pembebanan juga dilakukan pada kapal LCT (sebelum dikonversi) untuk mengkomparasikan nilai tegangan akhir pada kapal LCT dan kapal Ro-ro.

4.1.2. Perhitungan Berat Bangunan Atas

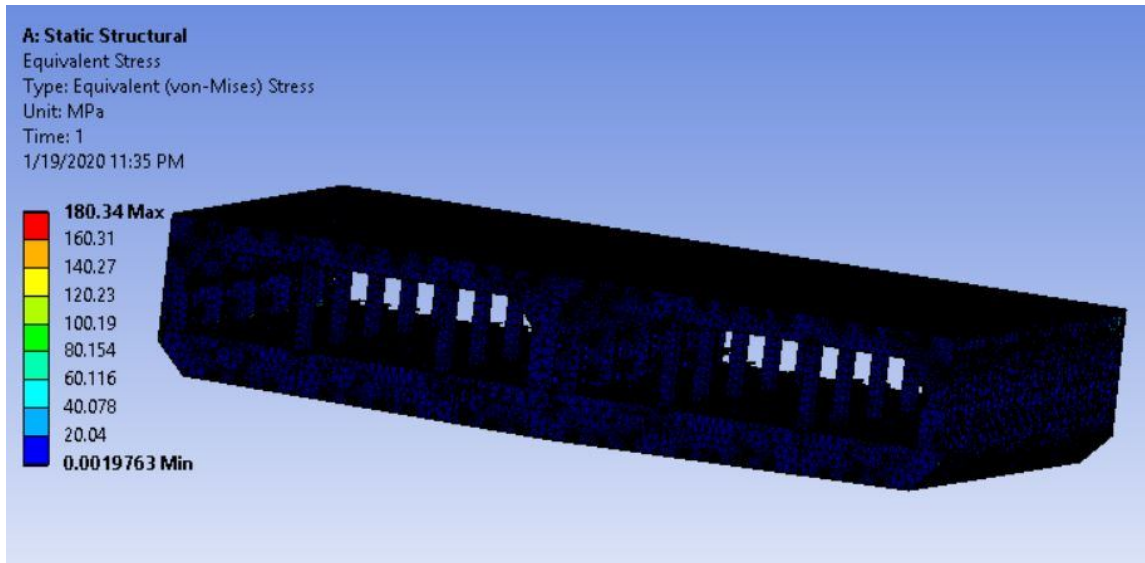
Bangunan atas terdiri dari *passenger* dan *navigation deck* serta *side shell under navigation deck* yang merupakan beban lokal dimana pada tiap bagian memiliki berat yang terdistribusi pada konstruksi lambung sisi kapal. Hasil dari perhitungan berat bangunan atas digunakan untuk *input* beban pada saat proses *running* model. Berat *navigation deck* dan *side shell* diperoleh dari perhitungan volume tiap-tiap profil dan *piece part* dalam satuan ton/m². Tabel 4.2 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan berat bangunan atas.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan berat

| No | <i>Superstructure</i> | Berat (Ton) |
|-------------|---|-------------|
| 1 | <i>Navigation deck</i> | 7.01 |
| 2 | <i>Side shell under navigation deck</i> | 3.02 |
| Total Berat | | 10.03 |

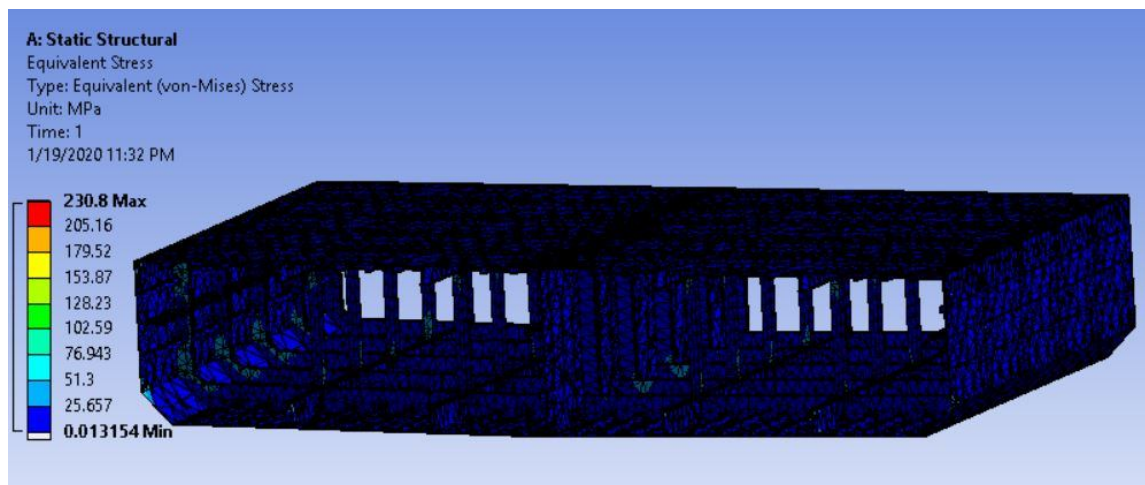
4.1.3. Tegangan yang Dihasilkan berdasarkan Hasil *Running*

Setelah dilakukan *running software* terhadap struktur lambung kapal Ro-ro dengan sarat 1.784 m, maka didapatkan tegangan *von misses*. Nilai tegangan dihasilkan dari *input* beban seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Setelah memperoleh nilai tegangan pada kapal Ro-ro dengan sarat 1.784 m, selanjutnya adalah mendapatkan hasil tegangan dari kapal LCT sebelum dikonversi dengan sarat 1.9 m, sehingga dapat dilihat perbedaan nilai tegangannya. Hasil *running* model yang menghasilkan nilai tegangan kapal Ro-ro dengan sarat 1.784 m ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil *running* tegangan lambung sisi Ro-ro

Berdasarkan Gambar 4.2, dapat diketahui bahwa hasil *running* konstruksi lambung sisi kapal Ro-ro memiliki tegangan *von mises* dengan nilai maksimal 180.34 MPa dan nilai minimal 0.001976 MPa. Kondisi maksimal terdapat pada bagian sisi lambung kapal di atas garis air. Kemudian *running* model yang menghasilkan nilai tegangan pada kapal LCT dengan sarat 1.9 m yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil *running* tegangan lambung sisi LCT

Berdasarkan Gambar 4.3, dapat diketahui bahwa hasil *running* konstruksi lambung sisi kapal Ro-ro memiliki tegangan *von mises* dengan nilai maksimal 230.8 MPa dengan nilai minimal sebesar 0.013154 MPa. Kondisi maksimal terdapat di sisi lambung kapal pada bagian bilga.

4.1.4. Tegangan yang Diijinkan

Nilai tegangan ijin diambil berdasarkan peraturan dari BKI *Rules for Hull 2019 section 9*. Dengan diperolehnya besar tegangan struktur lambung sisi kapal Ro-ro pada *finite element software*, maka selanjutnya adalah mengkomparasikan besar tegangan tersebut apakah sesuai dengan tegangan yang diijinkan dari peraturan BKI. Tabel 4.3 merupakan perbandingan hasil tegangan oleh software dan perhitungan sesuai rumus.

Tabel 4.3 Perbandingan nilai tegangan kapal Ro-ro

| No. | Sarat (m) | Tegangan (<i>Software</i>) (MPa) | Tegangan Ijin (MPa) | Keterangan |
|-----|-----------|------------------------------------|---------------------|------------|
| 1 | 1.784 | 180.34 | 244.68 | Memenuhi |
| 2 | 1.9 | 230.87 | 244.68 | Memenuhi |

Dari perolehan nilai antara tegangan hasil dari *finite element software* dan perhitungan rumus dari peraturan BKI berturut-turut adalah 180.34 MPa dan 230.87 MPa. Dimana dari hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa tegangan yang dialami oleh struktur lambung sisi kapal Ro-ro masih dalam batas yang diijinkan oleh BKI. Dan kapal tersebut dikategorikan aman untuk beroperasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Besarnya tegangan yang terjadi pada struktur lambung sisi kapal penumpang memenuhi tegangan ijin sesuai peraturan Badan Klasifikasi Indonesia, dimana tegangan maksimal struktur lambung sisi kapal penumpang yang diperoleh sebesar 180.34 MPa dengan nilai tegangan lambung sisi kapal LCT sebelum dikonversi adalah 218.83 MPa.
2. Struktur lambung sisi kapal LCT setelah dikonversi memenuhi faktor keamanan sesuai peraturan BKI.

5.2. Saran

1. Perlu adanya tambahan kasus pembebanan oleh pengaruh gelombang.
2. Perlu adanya penambahan kasus dengan beberapa kondisi sarat kapal.
3. Menggunakan *software* FEM lain yang lebih memadai.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Biro Klasifikasi Indonesia. (2014). *Rules for The Classification and Construction Of Seagoing Steel Ships Vol. 2*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2019). *Rules for Hull*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Connor, J. J. (2012). *Fundamental of Structural Engineering*. Cambridge, MA, USA: Department of Civil.
- Cook, R. D. (1990). *Concepts and Applications of Finite Element Analisis*. Bandung: John Wiley & Sons Inc.
- Hoque, K. N. (2016). *Analysis of Struktural Discontinuities In Ship Hull Using Finite Element Method*. DHAKA: Bangladesh University of Engineering and Technology.
- IACS. (2014). *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*. IACS.
- IMO. (1974). International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). *IMO web site: <http://www.imo.org>*.
- Kurniawati, H.A. (2016). Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi Landing Craft Tank (LCT) Menjadi Kapal Motor Penyeberangan (KMP) Tipe Ro-ro untuk Rute Ketapang (Kabupaten Banyuwangi) – Gilimanuk (Kabupaten Jemberana). *Jurnal Teknik ITS Vol. 4*.
- Lamb, T. (2003). *Ship Design and Construction Vol 1 and 2*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Logan, D. L. (2007). *A First Course in the Finite Element Method Fourth Edition*. Canada: University of Wisconsin-Platteville.
- Neupane, D. (2014). *Comparison of Some FEM Codes In Static Analysis*. Riihimaki: Mechanical Engineering and Production Technology.
- Popov, E. P. (1984). *Mechanics of Materials*. Berkeley: University of California.
- Suryoatmono, B. (1991). *Structures*. Bandung: Universitas Teknik Parahyangan.
- Timoshenko, J. M. (1878). *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Weaver, W. J. (1989). *Elemen Hingga Untuk Analisis Struktur*. Bandung: Eresco.

LAMPIRAN

Lampiran A Perhitungan Beban

Lampiran B Perhitungan Berat

Lampiran C Ukuran Konstruksi Sebelum dan Setelah Dikonversi

Lampiran D Hasil Running setiap *Element Size*

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN BEBAN

Beban Pada Sisi Kapal LCT

* Di bawah garis air :

$$P_s = 10 (T - Z) + P_o \times C_f \times (1 + Z / T)$$

$$P_{s1} = 10 (T - Z) + P_{o1} (1 + Z/T (2-Z/T)) * 2I_y I / B$$

* Di atas garis air :

$$P_s = 20 \times P_o \times C_f / (10 + Z - T)$$

$$P_{s2} = P_{o1} * 20 * I_y I / ((5+z-T)*(B))$$

dimana :

Z = jarak vertikal dari pusat beban terhadap base line untuk beban pada pelat diukur di tengah untuk sistem konstruksi memanjang

Z = jarak vertikal pusat beban profil terhadap base line untuk beban penegar diukur dari tengah-tengah profil/penegar

$$P_o = 2,1.(C_b + 0,7). Co . CL . f \quad [kN/m^2]$$

$$C_o = ((61.4/25)+4.1)*CRW$$

$$C_o = 4.917$$

$$f = 1.00 \quad \text{pelat}$$

$$f = 0.75 \quad \text{penegar}$$

$$f = 0.60 \quad \text{penumpu}$$

$$C_L = (L/90)^{1/2} \quad L < 90 \text{ m}$$

$$= 0.825967$$

$$C_L = 1.00 \quad L \geq 90 \text{ m}$$

$$C_{rw} = 0.75 \quad \text{service range L}$$

$$P_{o1} = 2.6(C_b+0.7).Co.Cl \quad [kN/m^2]$$

maka:

$$P_o = 2.1 \times (0.670+0.7) \times 8.021 \times 1.00 \times 0.75 = 13.118 \quad kN/m^2$$

$$P_o = 2.1 \times (0.670+0.7) \times 8.021 \times 0.75 \times 0.75 = 9.839 \quad kN/m^2$$

$$P_o = 2.1 \times (0.670+0.7) \times 8.021 \times 0.6 \times 0.75 = 7.871 \quad kN/m^2$$

$$L = 61.4 \text{ meter}$$

$$H = 2.7 \text{ meter}$$

$$B = 14 \text{ meter}$$

$$T = 1.9 \text{ meter}$$

$$CB = V / LBT$$

$$CB =$$

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L \cdot w l}} = 0.393$$

$$CB = -4,22 + 27,8 \sqrt{F_n} - 39,1 F_n + 46,6 F_n^3 = 0.838$$

$$C_o = 4.917$$

$$C_L = 1.00$$

$$C_{rw} = 0.75$$

Untuk pelat kulit, geladak cuaca

$$P_o = 13.118$$

Untuk gading biasa, balok geladak

$$P_o = 9.839$$

Untuk Gading Besar, Senta, Penumpu

$$P_o = 7.871$$

$$Po1 = 2.6(Cb+0.7).Co.Cl$$

$$= 16.242 \quad kN/m^2$$

$$Po1 = 16.242$$

Harga CF dan CD dapat di cari dari tabel di bawah ini

| Range | Factor c_D | Factor c_F |
|------------------------|---------------|---------------|
| $0,2 \leq x/L < 0,7$ | 1.00 | 1.00 |
| M $x/L = 0.257$ | $C_D = 1.000$ | $C_F = 1.000$ |

Frame ke 41

$$x = 15.75 \text{ m}$$

Beban pada sisi kapal pada pelat dapat dihitung sebagai berikut:

daerah $0 \leq x/L < 0.2$ (pada gading No.41)

$$Po = 13.12 \text{ kN/m}^2$$

(di bawah garis air)

$$Ps = 10 (T - Z) + Po \times Cf \times (1 + Z / T)$$

$$Ps1 = 10 (T - Z) + Po1 (1 + Z/T (2-Z/T)) * 2IyI/B$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps1 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 0.102 | 31.803 | 7.000 | 51.289 |
| 2 | 1.148 | 28.565 | 7.000 | 43.888 |

$$Ps = 51.289 \text{ kN/m}^2$$

$$Ps = 43.888 \text{ kN/m}^2$$

(di atas garis air)

$$Ps = 20 \times Po \times Cf / (10 + Z - T)$$

$$Ps2 = Po1 * 20 * IyI / ((5+z-T) * (B))$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps2 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 2.300 | 25.228 | 7.000 | 30.078 |

$$Ps = 30.078 \text{ kN/m}^2$$

Beban pada bilga sisi kapal pada pelat dapat dihitung sebagai berikut:

$$Po = 13.12 \text{ kN/m}^2$$

(di bawah garis air)

$$Ps = 10 (T - Z) + Po \times Cf \times (1 + Z / T)$$

$$Ps1 = 10 (T - Z) + Po1 (1 + Z/T (2-Z/T)) * 2IyI/B$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps2 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 0.393 | 30.902 | 7.000 | 37.336 |

$$Ps = 37.336$$

Beban pada sisi kapal pada penegar dan penumpu :

daerah $0 \leq x/L < 0.2$ (pada gading No.40 dan No. 41)

#1 untuk pembujur

$$P_o = 9.839 \text{ kN/m}^2$$

(di bawah garis air)

$$P_s = 10 (T - Z) + P_o \times C_f \times (1 + Z / T)$$

$$P_{s1} = 10 (T - Z) + P_{o1} (1 + Z/T (2-Z/T)) * 2I_y I / B$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps1 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 1.305 | 22.547 | 7.000 | 36.841 |

$$P_s = 36.841 \text{ kN/m}^2$$

(di atas garis air)

$$P_s = 20 \times P_o \times C_f / (10 + Z - T)$$

$$P_{s2} = P_{o1} * 20 * I_y I / ((5+z-T) * (B))$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps2 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 2 | 2.135 | 19.226 | 7.000 | 31.026 |

$$P_s = 31.026 \text{ kN/m}^2$$

#2 untuk Side Transverse

$$P_o = 7.871$$

(di bawah garis air)

$$P_s = 10 (T - Z) + P_o \times C_f \times (1 + Z / T)$$

$$P_{s1} = 10 (T - Z) + P_{o1} (1 + Z/T (2-Z/T)) * 2I_y I / B$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps1 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 1.400 | 18.671 | 7.000 | 41.013 |

$$P_s = 41.013$$

(di atas garis air)

$$P_s = 20 \times P_o \times C_f / (10 + Z - T)$$

$$P_{s2} = P_{o1} * 20 * I_y I / ((5+z-T) * (B))$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps2 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 5.300 | 10.289 | 7.000 | 19.336 |

$$P_s = 19.336$$

Beban Pada Dasar Kapal (PB)

$$P_B = 10 \cdot T + P_o \cdot C_F$$

$$P_{B1} = 10 \cdot T + P_{o1} \cdot 2 \cdot |y| / B$$

dimana

$$C_f = 1.000$$

$$P_o = 13.118 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{pelat}$$

$$P_o = 9.839 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{penegar}$$

$$P_o = 7.871 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{penumpu}$$

$$P_{o1} = 16.24191 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Beban pada dasar kapal untuk daerah $0.2 \leq X/L < 0.7$

$$P_B = 10 \times 1.784 + 17.307 \times 1.00$$

$$= 32.118 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 32.118 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Pelat}$$

$$P_B = 10 \times 1.784 + 12.980 \times 1.00$$

$$= 28.839 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 28.839 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penegar}$$

$$P_B = 10 \times 1.784 + 10.384 \times 1.00$$

$$= 26.871 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 27.121 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penumpu}$$

$$y = 3.5$$

$$P_{B1} = 27.121 \text{ kN/m}^2$$

Beban Pada Geladak Cuaca (Pd)

Ditentukan dengan rumus :

$$P_d = (P_o \times 20 \times T \times C_d) / ((10 + Z - T)H)$$

dimana:

$$P_o = 13.118 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{Pelat}$$

$$P_o = 9.839 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{Penegar}$$

$$P_o = 7.871 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{Penumpu}$$

Pd min=

$$= 16.00 \quad \text{Pelat}$$

$$= 12.00 \quad \text{Penegar}$$

$$= 9.60 \quad \text{Penumpu}$$

Pd min= 0.7 x Po

$$= 9.183 \quad \text{Pelat}$$

$$= 6.887 \quad \text{Penegar}$$

$$= 6.72 \quad \text{Penumpu}$$

Maka :

Beban geladak cuaca untuk daerah $0.2 \leq X/L < 0.7$

$$Z=H= 2.7$$

$$C_D = 1.000$$

$$P_D = (17,307 \times 20 \times 1,784 \times 1,00) / ((10 + 2,7 - 1,784) \times 2,7)$$
$$17.095 \quad \text{kN/m}^2$$

$$P_D = (12,980 \times 20 \times 1,784 \times 1,00) / ((10 + 2,7 - 1,784) \times 2,7)$$
$$12.822 \quad \text{kN/m}^2$$

$$P_D = (10,384 \times 20 \times 1,784 \times 1,00) / ((10 + 2,7 - 1,784) \times 2,7)$$
$$10.257 \quad \text{kN/m}^2$$

pelat

penegar

penumpu

$$P_D = 17.095 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Pelat}$$

$$P_D = 12.822 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penegar}$$

$$P_D = 10.257 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penumpu}$$

Beban Pada Sisi Kapal Ro-ro

* Di bawah garis air :

$$P_s = 10 (T - Z) + P_o \times C_f \times (1 + Z / T)$$

$$P_{s1} = 10 (T - Z) + P_{o1} (1 + Z/T (2-Z/T)) * 2I_y / B$$

* Di atas garis air :

$$P_s = 20 \times P_o \times C_f / (10 + Z - T)$$

$$P_{s2} = P_{o1} * 20 * I_y / ((5+z-T)*(B))$$

dimana :

Z = jarak vertikal dari pusat beban terhadap base line untuk beban pada pelat diukur di tengah untuk sistem konstruksi memanjang

Z = jarak vertikal pusat beban profil terhadap base line untuk beban penegar diukur dari tengah-tengah profil/penegar

$$P_o = 2,1 \cdot (C_b + 0,7) \cdot C_o \cdot C_L \cdot f \quad [kN/m^2]$$

$$C_o = ((63.45/25)+4.1) * CRW \quad \text{Untuk } L < 90m$$

$$C_o = 4.979$$

$$f = 1.00 \quad \text{pelat}$$

$$f = 0.75 \quad \text{penegar}$$

$$f = 0.60 \quad \text{penumpu}$$

$$C_L = (L/90)^{1/2} \quad L < 90 \text{ m}$$

$$= 0.839643$$

$$C_L = 1.00 \quad L \geq 90 \text{ m}$$

$$C_{rw} = 0.75 \quad \text{service range L}$$

$$P_{o1} = 2.6(C_b+0.7) \cdot C_o \cdot C_L \quad [kN/m^2]$$

maka:

$$P_o = 2.1 \times (0.670+0.7) \times 4.98 \times 0.84 \times 1$$

$$= 13.502 \quad kN/m^2$$

$$P_o = 2.1 \times (0.670+0.7) \times 8.021 \times 0.75 \times 0.75$$

$$= 10.127 \quad kN/m^2$$

$$P_o = 2.1 \times (0.670+0.7) \times 8.021 \times 0.6 \times 0.75$$

$$= 8.101 \quad kN/m^2$$

$$L = 63.45 \text{ meter}$$

$$H = 2.7 \text{ meter}$$

$$B = 14 \text{ meter}$$

$$T = 1.784 \text{ meter}$$

$$C_b = 0.817714$$

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L \cdot w l}}$$

$$= 0.393$$

$$CB = -4,22 + 27,8 \sqrt{F_n} - 39,1 F_n + 46,6 F_n^3$$

$$= 0.838$$

$$C_o = 4.979$$

$$C_L = 0.84$$

$$C_{rw} = 0.75$$

Untuk pelat kulit,
geladak cuaca

$$P_o = 13.502$$

Untuk gading biasa,
balok geladak

$$P_o = 10.127$$

Untuk Gading Besar,
Senta, Penumpu

$$P_o = 8.101$$

$$Po1 = 2.6(Cb+0.7).Co.Cl$$

$$= 16.717 \quad kN/m^2$$

$$Po1 = 16.717$$

Harga CF dan CD dapat di cari dari tabel di bawah ini

| Range | Factor c_D | Factor c_F |
|------------------------|---------------|---------------|
| $0,2 \leq x/L < 0,7$ | 1.00 | 1.00 |
| M $x/L = 0.248$ | $C_D = 1.000$ | $C_F = 1.000$ |

Frame ke 32

$$x = 15.75 \text{ m}$$

Beban pada sisi kapal pada pelat dapat dihitung sebagai berikut:

daerah $0 \leq x/L < 0.2$ (pada gading No.39)

$$Po = 13.50 \text{ kN/m}^2$$

(di bawah garis air)

$$Ps = 10 (T - Z) + Po \times Cf \times (1 + Z / T)$$

$$Ps1 = 10 (T - Z) + Po1 (1 + Z/T (2-Z/T)) * 2IyI/B$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps1 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 2 | 1.492 | 27.715 | 7.000 | 38.643 |

$$Ps = 38.643 \text{ kN/m}^2$$

(di atas garis air)

$$Ps = 20 \times Po \times Cf / (10 + Z - T)$$

$$Ps2 = Po1 * 20 * IyI / ((5+z-T) * (B))$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps2 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 2.402 | 25.433 | 7.000 | 29.757 |

$$Ps = 29.757 \text{ kN/m}^2$$

Beban pada bilga sisi kapal pada pelat dapat dihitung sebagai berikut:

$$Po = 13.50 \text{ kN/m}^2$$

(di bawah garis air)

$$Ps = 10 (T - Z) + Po \times Cf \times (1 + Z / T)$$

$$Ps1 = 10 (T - Z) + Po1 (1 + Z/T (2-Z/T)) * 2IyI/B$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps2 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 0.393 | 30.387 | 7.000 | 37.181 |

$$Ps = 37.181$$

Beban pada sisi kapal pada penegar dan penumpu :

daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$

#1 untuk pembujur

$$P_o = 10.127 \text{ kN/m}^2$$

(di bawah garis air)

$$P_s = 10 (T - Z) + P_o \times C_f \times (1 + Z / T)$$

$$P_{s1} = 10 (T - Z) + P_{o1} (1 + Z/T (2-Z/T)) * 2I_y I / B$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps1 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 1.045 | 23.449 | 7.000 | 37.956 |

$$P_s = 37.956 \text{ kN/m}^2$$

(di atas garis air)

$$P_s = 20 \times P_o \times C_f / (10 + Z - T)$$

$$P_{s2} = P_{o1} * 20 * I_y I / ((5+z-T)*(B))$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps2 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 2 | 2.145 | 19.548 | 7.000 | 31.183 |

$$P_s = 31.183 \text{ kN/m}^2$$

#2 untuk Side Transverse

$$P_o = 8.101$$

(di bawah garis air)

$$P_s = 10 (T - Z) + P_o \times C_f \times (1 + Z / T)$$

$$P_{s1} = 10 (T - Z) + P_{o1} (1 + Z/T (2-Z/T)) * 2I_y I / B$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps1 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 1.400 | 18.299 | 7.000 | 40.162 |

$$P_s = 40.162$$

(di atas garis air)

$$P_s = 20 \times P_o \times C_f / (10 + Z - T)$$

$$P_{s2} = P_{o1} * 20 * I_y I / ((5+z-T)*(B))$$

| No | Z | Ps | lyl | Ps2 |
|----|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 5.300 | 10.590 | 7.000 | 19.631 |

$$P_s = 19.631$$

Beban Pada Dasar Kapal (PB)

$$P_B = 10 \cdot T + P_o \cdot C_F$$

$$P_{B1} = 10 \cdot T + P_{o1} \cdot 2 \cdot |y| / B$$

dimana

$$C_f = 1.000$$

$$P_o = 13.502 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{pelat}$$

$$P_o = 10.127 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{penegar}$$

$$P_o = 8.101 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{penumpu}$$

$$P_{o1} = 16.71734 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Beban pada dasar kapal untuk daerah $0.2 \leq X/L < 0.7$

$$P_B = 10 \times 1.784 + 17.307 \times 1.00 \\ = 31.342 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 10 \times 1.784 + 12.980 \times 1.00 \\ = 27.967 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 10 \times 1.784 + 10.384 \times 1.00 \\ = 25.941 \text{ kN/m}^2$$

$$y = 3.5$$

$$P_{B1} = 26.199 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 31.342 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Pelat}$$

$$P_B = 27.967 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penegar}$$

$$P_B = 26.199 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penumpu}$$

Beban Pada Geladak Cuaca (Pd)

Ditentukan dengan rumus :

$$P_d = (P_o \times 20 \times T \times C_d) / ((10 + Z - T)H)$$

dimana:

$$P_o = 13.502 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{Pelat}$$

$$P_o = 10.127 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{Penegar}$$

$$P_o = 8.101 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{Penumpu}$$

$$P_d \text{ min} =$$

$$= 16.00 \quad \text{Pelat}$$

$$= 12.00 \quad \text{Penegar}$$

$$= 9.60 \quad \text{Penumpu}$$

$$P_d \text{ min} = 0.7 \times P_o$$

$$= 9.452 \quad \text{Pelat}$$

$$= 7.089 \quad \text{Penegar}$$

$$= 5.67 \quad \text{Penumpu}$$

Maka :

Beban geladak cuaca untuk daerah $0.2 \leq X/L < 0.7$

$$Z=H= 2.7$$

$$C_D = 1.000$$

$$P_D = (17,307 \times 20 \times 1,784 \times 1,00) / ((10 + 2,7 - 1,784) \times 2,7) = 16.346 \text{ kN/m}^2$$

$$P_D = (12,980 \times 20 \times 1,784 \times 1,00) / ((10 + 2,7 - 1,784) \times 2,7) = 12.259 \text{ kN/m}^2$$

$$P_D = (10,384 \times 20 \times 1,784 \times 1,00) / ((10 + 2,7 - 1,784) \times 2,7) = 9.808 \text{ kN/m}^2$$

pelat

penegar

penumpu

$$P_D = 16.346 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Pelat}$$

$$P_D = 12.259 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penegar}$$

$$P_D = 9.808 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penumpu}$$

Beban Pada Geladak Bangunan Atas dan Rumah Geladak

$$P_{DA} = P_D \cdot n \quad \text{kN/m}^2$$

Dari halaman 8 telah diperoleh sebagai berikut:

$$P_D = 16.346 \text{ Pelat}$$

$$P_D = 12.259 \text{ Penegar}$$

$$P_D = 9.808 \text{ Penumpu}$$

$$n = 1 - [(z - H)/10] ; n_{\min} = 0,5$$

$$P_{DA \min} = 4 \text{ kN/m}^2$$

Untuk rumah geladak, nilai yang dihasilkan dikalikan dengan faktor:

$0.7 \cdot b / B' + 0.3$; dimana:

b = lebar rumah geladak

B' = lebar geladak kapal maksimum dimana terdapat rumah geladak

1. Bangunan di atas deck

$$\# \quad z = 2,7 + 5,2$$

$$= 7.9$$

$$n = 1 - ((7.9 - 2.7) / 10)$$

$$n_{\min} = 0.5$$

$$n = 0.48$$

$$b = 7$$

$$B' = 14$$

faktor pengali = $0.7 \times 7/14 + 0.3$

0.65

$$P_{DA} = 20.952 \times 0.5 \times 0.65 \\ = 5.312 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{DA} = 15.714 \times 0.5 \times 0.65 \\ = 3.984 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{DA} = 12.571 \times 0.5 \times 0.65 \\ = 3.187$$

pelat

penegar

penumpu

$$P_{DA} = 5.312 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Pelat}$$

$$P_{DA} = 3.984 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penegar}$$

$$P_{DA} = 3.187 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penumpu}$$

2. Passanger and navigation deck

$$\# \quad z = 2,7 + 5,2 + 2,6$$

$$= 10.5 \text{ m}$$

$$n = 1 - ((10,5 - 2,7) / 10)$$

$$= 0.22$$

$$b = 3.5$$

$$B' = 7$$

$$\text{faktor pengali} = 0.7 \times 7/14 + 0.3$$

$$= 0.65$$

$$n_{\min} = 0.5$$

$$P_{DA} = 20.952 \times 0.5 \times 0.65 \\ = 5.312 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{DA} = 15.714 \times 0.5 \times 0.65 \\ = 3.984 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{DA} = 12.571 \times 0.5 \times 0.65 \\ = 3.187 \text{ kN/m}^2$$

pelat

penegar

penumpu

$$P_{DA} = 5.312 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Pelat}$$

$$P_{DA} = 3.984 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penegar}$$

$$P_{DA} = 3.187 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Penumpu}$$

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN BERAT

| Block | Piece Part | Material | Spek | Dimensi | | | | | Volume (m3) | Density (ton/m3) | Berat (ton) | |
|--------------------|---------------|----------|--------------------|---------|-----|-------|-------|-------|----------------|---------------------|----------------|-----------------|
| | | | | Jumlah | L | b | t | b | | | | t |
| NAVIGATION DECK | Deck Plate | Plate | | 1 | 7.5 | 7 | 0.008 | | | 0.42 | 7.85 | 3.297 |
| | Center Girder | Profil | T420x10 + 120x10FP | 1 | 7.5 | 0.42 | 0.01 | 0.12 | 0.01 | 0.0405 | 7.85 | 0.317925 |
| | Side Girder | Profil | T420x10 + 120x10FP | 1 | 7.5 | 0.42 | 0.01 | 0.12 | 0.01 | 0.0405 | 7.85 | 0.317925 |
| | Deck Long | Profil | L125x75x10 | 11 | 7.5 | 0.125 | 0.01 | 0.075 | 0.01 | 0.165 | 7.85 | 1.29525 |
| | Strong Beam | Profil | T420x10 + 120x10FP | 6 | 7 | 0.42 | 0.01 | 0.12 | 0.01 | 0.2268 | 7.85 | 1.78038 |
| Total Berat | | | | | | | | | | | 7.00848 | |

Area= 11.25 m2
 = 0.622976 ton/m2
 = 6.11 Kn/m2
 = 0.00611 Mpa

| Block | Piece Part | Material | Spek | Dimensi | | | | | Volume (m3) | Density (ton/m3) | Berat (ton) | |
|-------------------------------|------------|----------|--------------------|---------|------|-------|-------|-------|----------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | Jumlah | L | b | t | b | | | | t |
| SIDE SHELL UNDER NAV. DECK | Side Plate | | | | | | | | | | | 1.485848 |
| | Full Plate | Plate | | 1 | 7.5 | 5.2 | 0.008 | | | 0.312 | 7.85 | 2.4492 |
| | Window | Plate | | 4 | 2.95 | 1.3 | 0.008 | | | 0.12272 | 7.85 | 0.963352 |
| | Web Frame | Profil | T450x10 + 120x12FP | 1 | 5.2 | 0.45 | 0.01 | 0.12 | 0.012 | 0.030888 | 7.85 | 0.242471 |
| | Web Frame | Profil | T450x10 + 120x10FP | 4 | 5.2 | 0.45 | 0.01 | 0.12 | 0.01 | 0.11856 | 7.85 | 0.930696 |
| | Frame | Profil | L125x75x10 | 8 | 1.05 | 0.125 | 0.01 | 0.075 | 0.01 | 0.0168 | 7.85 | 0.13188 |
| | Frame | Profil | L125x75x10 | 8 | 1.2 | 0.125 | 0.01 | 0.075 | 0.01 | 0.0192 | 7.85 | 0.15072 |
| | Flat Plate | Plate | 100x10FP | 8 | 1.3 | 0.1 | 0.01 | | | 0.0104 | 7.85 | 0.08164 |
| Total Berat | | | | | | | | | | | 3.023255 | |

Area= 11.25 m2
 = 0.268734 ton/m2
 = 2.63 Kn/m2
 = 0.00263 Mpa

LAMPIRAN C
UKURAN KONSTRUKSI SEBELUM DAN SETELAH
DIKONVERSI

Kapal Ro-ro (Setelah dikonversi)

| MAIN DIMENTION | |
|----------------|---------|
| LOA | 70 m |
| LPP | 63.45 m |
| B | 14 m |
| H | 2.7 m |
| T | 1.784 m |

| | | |
|---|----------------------------|-------------------|
| 1 | Side Profile | |
| | (Below Main Deck) | |
| | Side Longitudinal | L100x100x10 |
| | Side Stringer | T450x10+100x10FP |
| | Web Frame | T450x10+120x10FP |
| | (Above Main Deck) | |
| | Side Transverse | L100x100x10 |
| | Web Frame | T420x10+130x14FP |
| | Plat | 10mm |
| 2 | Pass & Nav Deck | |
| | (Exixting Cons.) | |
| | Strong Beam | T420x10+130x140FP |
| | Deck Beam | L100x100x10 |
| | Center Girder | T420x10+130x140FP |
| | Deck Side Girder | T330x8+100x14FP |
| | | T420x10+130x140FP |
| | (New Cons.) | |
| | Strong Beam | T420x10+120x10FP |
| | Side Longitudinal | L125x75x10 |
| | Center Girder | T420x10+120x10FP |
| | Side Girder | T420x10+120x10FP |
| | Plat | 8mm |
| 3 | Poop Deck | |
| | Deck Beam | L100x100x10 |
| | Deck Transverse | L60x60x6 |
| | Center Girder | T420x10+120x14FP |
| | Side Girder | L125x75x10 |
| | Plat | 8mm |
| 4 | Compass Deck | |
| | Center Girder | T200x10+100x10FP |
| | Side Girder | T200x8+100x10FP |
| | Strong Beam | T200x8+100x10FP |
| | Beam | L60x60x6 |
| | Plat | 6mm |
| 5 | C.L Profile | |
| | Side transverse | L100x100x10 |
| | Web Stiff | T450x10+120x10FP |
| | Plat | 8mm |

| | | |
|---|--------------------------|--|
| 6 | 2000mm of C.L | |
| | Side Deck Girder | T450x10+150x14FP |
| | Pillar | 200x200x12mm H Beam |
| | Side Bottom Girder | T450x10+150x14FP+6mm PL Solid Floor |
| 7 | 2100mm of C.L | |
| | Side Deck Longitudinal | L100x100x10 |
| | Side Bottom Longitudinal | L80x80x8 |
| | | T450x10+150x14FP |
| 8 | Tanktop | |
| | Plat Tanktop | 8mm |
| | Inner Bottom Long | L80x80x8 |
| | Side Bottom Girder | 8mm Solid Floor |
| | Solid Floor | 8mm |
| 9 | Midship Section | |
| | Frame 32 | |
| | Man hole | 600x400 |
| | Plat tanktop | 8mm |
| | Profil L di tanktop | 80x80x8 |
| | Profil L di deck | L100x100x10 |
| | Profil L di sisi | L100x100x10 |
| | Profil L di bottom | L100x100x10 |
| | Profil T di sisi | T450x10+100x10FP |
| | Profil T di bottom | T450x10+100x10FP |
| | Profil T di deck | T450x10+100x10FP |
| | Tebal plat deck | 12mm |
| | Tebal plat tanktop | 8mm |
| | Tebal plat bottom | 10mm |
| | Penegar/Beam | 200x200x12 |
| | Frame 40 | |
| | Tebal plat dinding | 8mm |
| | H dinding | 4m |

Kapal Ro-ro (Setelah dikonversi)

| MAIN DIMENTION | |
|-----------------------|--------|
| LOA | 70 m |
| LPP | 61.4 m |
| B | 14 m |
| H | 2.7 m |
| T | 1.9 m |

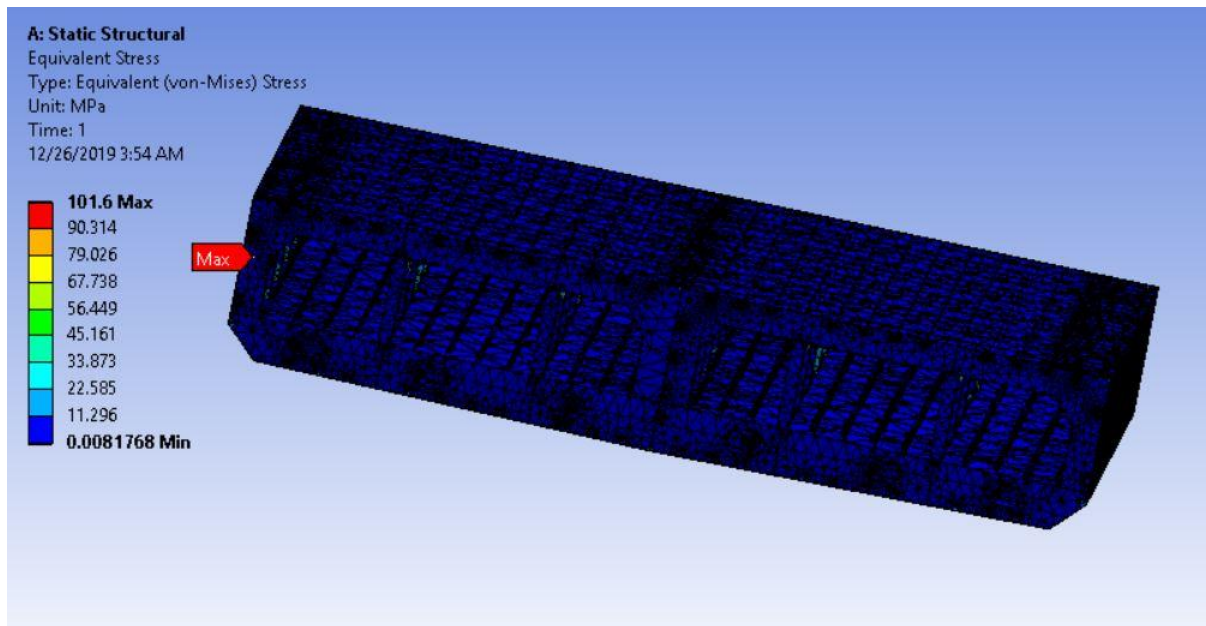
| 1 | FOREPEAK CONS. | |
|---|------------------------|-------------------|
| a | Side Profile | |
| | Plat | 10mm |
| | Deck beam | 100x100x10 |
| b | CL Long. BHD | |
| | Plat | 8mm |
| | Deck Beam | 100x100x10 |
| c | Frame 57 dan 60 | |
| | Main deck plat | 10mm |
| | Deck longitudinal | 100x100x10 |
| | Deck side girder | PL300x10x100x10FF |
| | Web transverse | PL300x10x100x10FF |
| | Side plate | 10mm |
| | Keel plate | 12mm |
| | Deck Plate | 12mm |
| | Forecastle plate | 8mm |
| | Bottom transverse | 400x10+150x10 |
| | Bottom girder | 400x10+150x10 |
| d | Forecastle | |
| | Strong beam | 300x10+100x10 |
| | Deck beam | 100x100x10 |
| | LBHD t | 8mm |
| e | Main deck | |
| | Deck side girder | 300x10+100x10 |
| | Web transverse | 300x10+100x10 |
| | Deck beam | 100x100x10 |
| | Plate | 12mm |
| f | Bottom | |
| | Web transverse | 400x10+100x10 |
| | Bottom side girder | 400x10+100x10 |
| | Bottom girder | 400x10+100x10 |
| | Plate | 12mm |
| 2 | AFTERPEAK CONS. | |
| a | Main deck | |
| | Deck side girder | 300x100+100x10 |
| | Deck beam | 80x80x10 |
| | Plate | 12mm |

| | | |
|---|------------------------|---------------|
| b | Main deck frame 12 | |
| | Deck beam | 100x100x10 |
| | Strong beam | 300x10+150x10 |
| c | Bottom | |
| | Bottom transverse | 400x10+150x10 |
| | Bottom side girder | 400x10+150x10 |
| | Side plate | 10mm |
| | Keel plate | 12mm |
| 3 | Midship section | |
| | Frame 38 | |
| | Profil L deck | 100x100x10 |
| | Profil L sisi | 100x100x10 |
| | Profil L bottom | 100x100x10 |
| | Tebal plat deck | 10mm |
| | Tebal plat bottom | 10mm |
| | Penegar/Beam | 150x150x10 |
| | Profil T deck | 300x10+150x10 |
| | Profil T sisi | 300x10+100x10 |
| | Profil T bottom | 400x10+150x10 |
| | LBHD | 10mm |

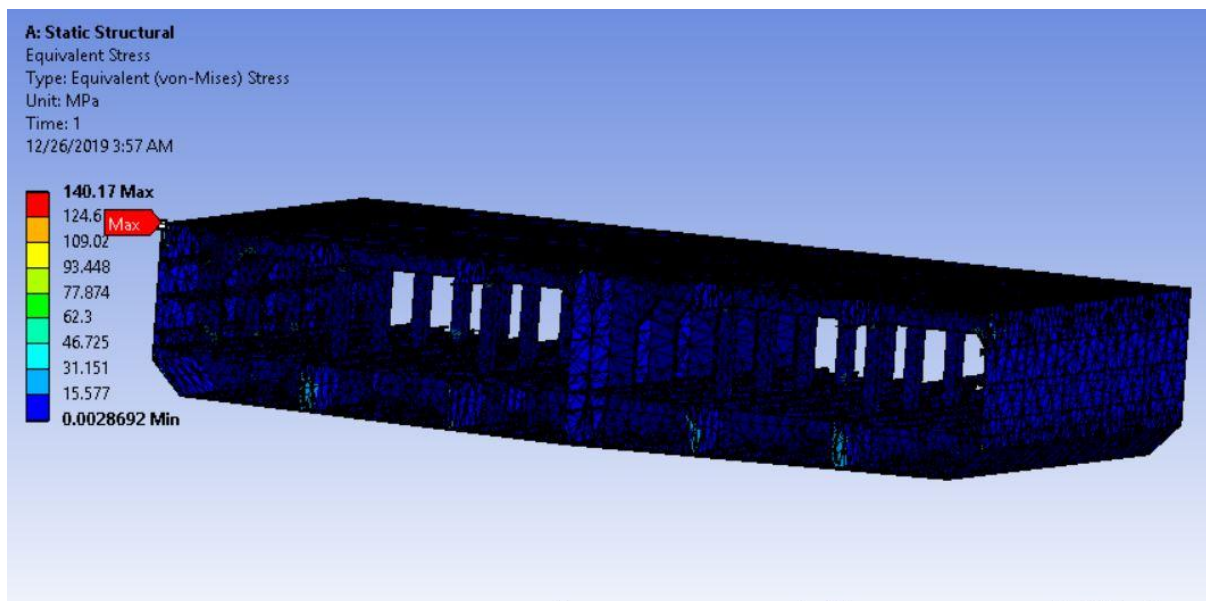
| No | Perubahan | Sebelum | Sesudah |
|----|--------------------|----------------|-------------------------------------|
| 1 | Deck beam | 80x80x10 | 100x100x10 |
| 2 | Plat deck | 12mm | 10mm |
| 3 | Deck side girder | 300x100+100x10 | T450x10+150x14FP |
| 4 | Side Bottom Girder | 400x10+150x10 | T450x10+150x14FP+6mm PL Solid Floor |
| 5 | Pillar | 150x150x10 | 200x200x12mm H Beam |
| 6 | Profil T di sisi | 300x10+100x10 | T450x10+100x10FP |
| 7 | Profil T di bottom | 400x10+150x10 | T450x10+100x10FP |
| 8 | Profil T di deck | 300x10+150x10 | T450x10+100x10FP |
| 9 | Tebal plat tanktop | - | 10mm |
| 10 | Lpp | 61.4 | 63.45 |
| 11 | T | 1.9 | 1.784 |

LAMPIRAN D
HASIL *RUNNING* SETIAP *ELEMENT SIZE*

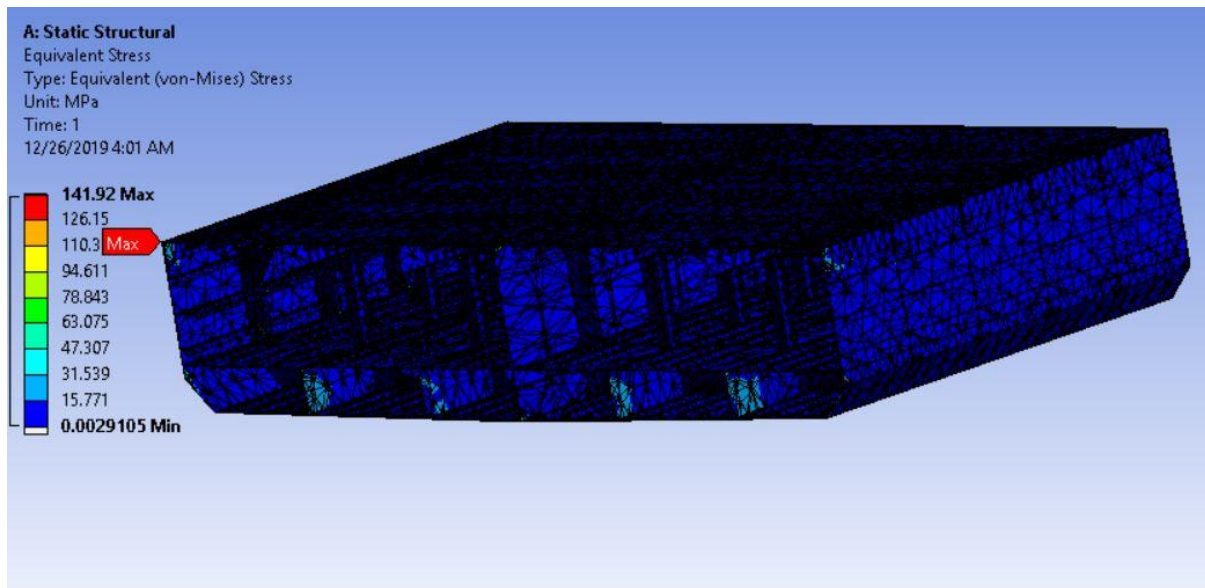
Tegangan hasil running dengan element size 500 mm



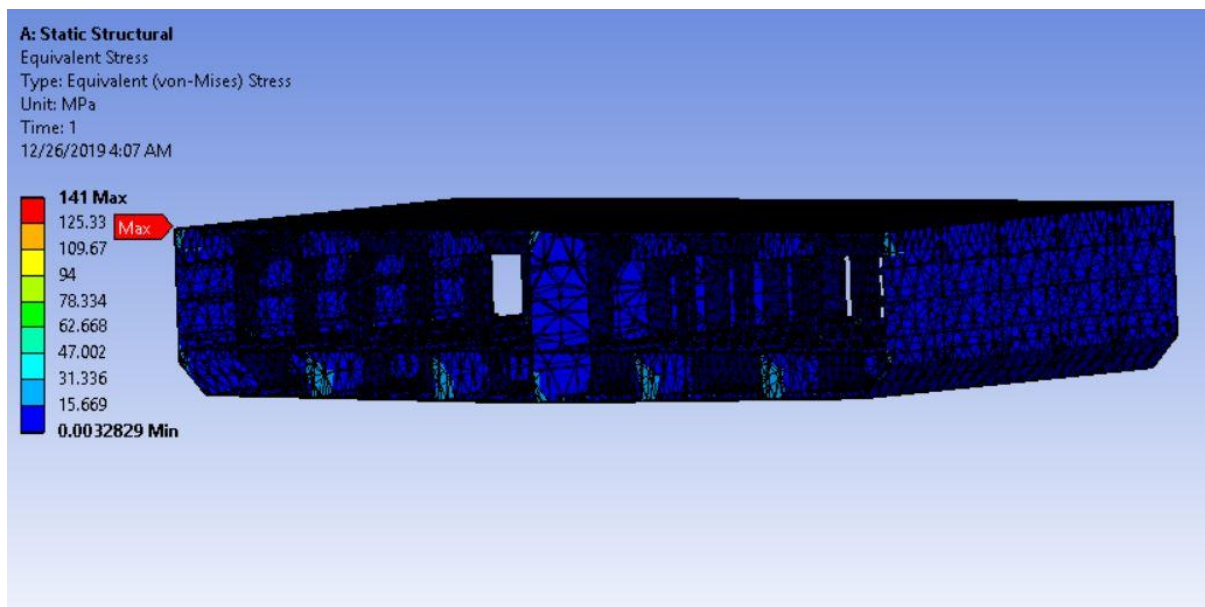
Tegangan hasil running dengan element size 480 mm



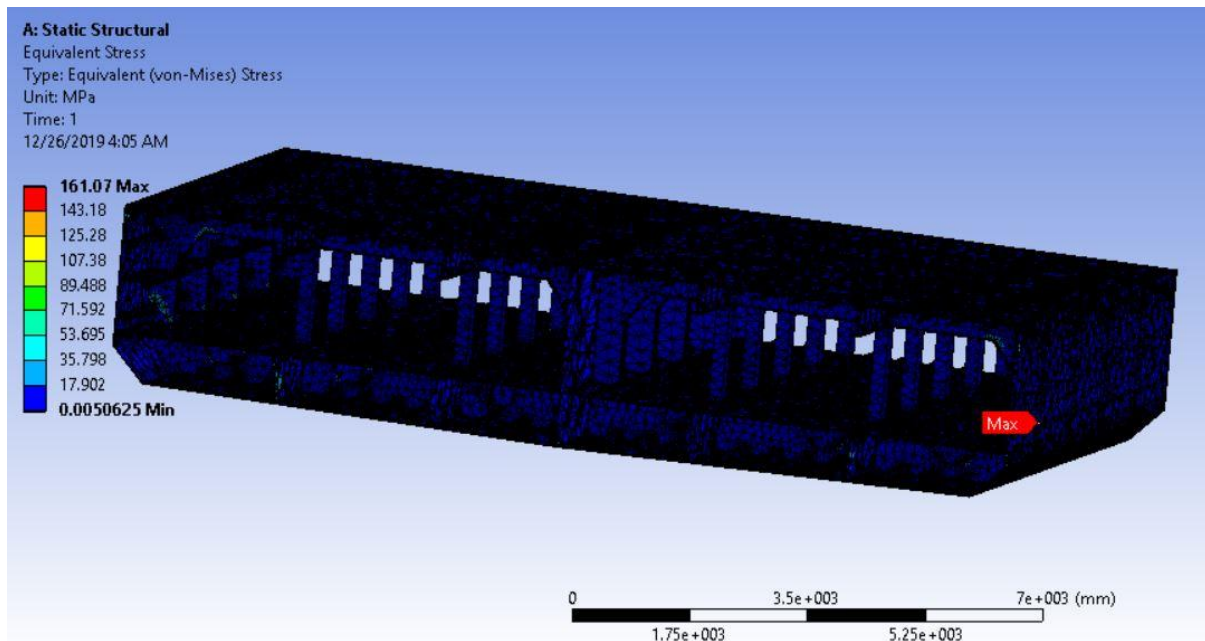
Tegangan hasil running dengan element size 460 mm



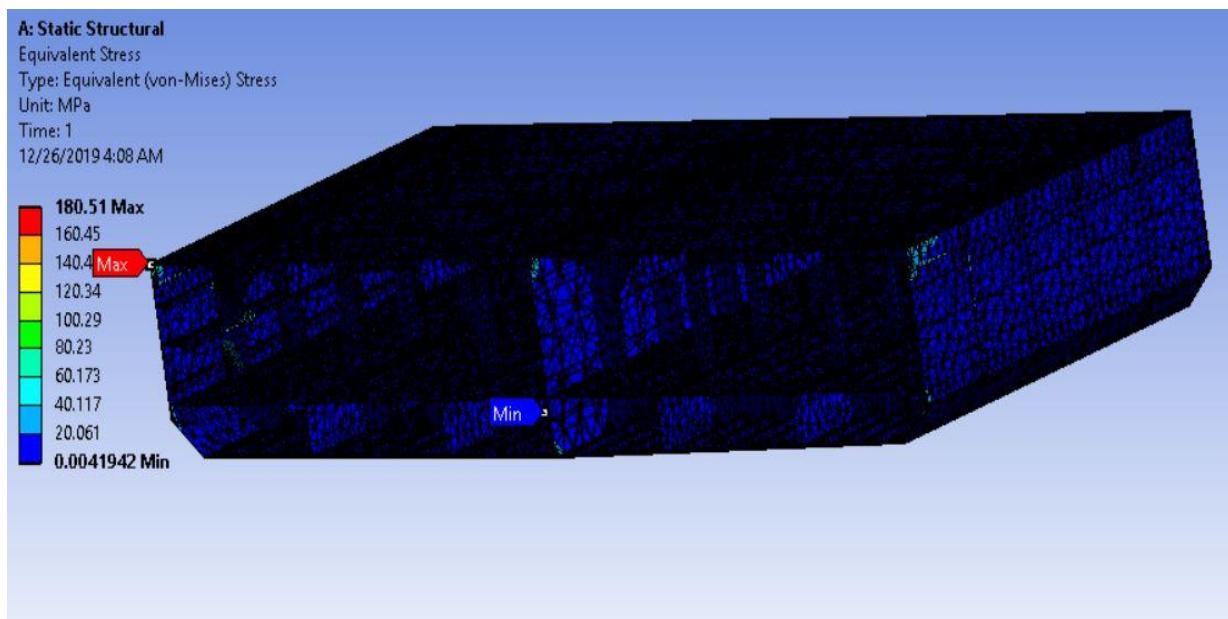
Tegangan hasil running dengan element size 380 mm



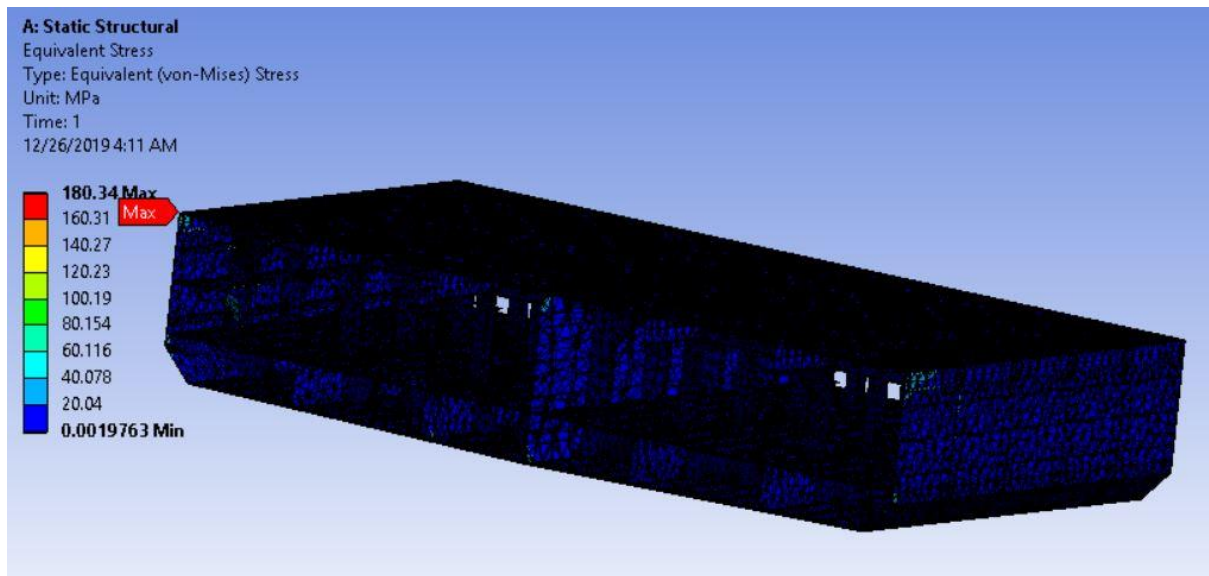
Tegangan hasil running dengan element size 300 mm



Tegangan hasil running dengan element size 280 mm



Tegangan hasil running dengan element size 270 mm



BIODATA PENULIS



Penulis Tugas Akhir ini adalah Vivi Kristiana. Biasa dipanggil dengan nama Vivi. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dan dilahirkan di Blitar pada tanggal 23 Juni 1996. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di TK RA Perwanida, kemudian melanjutkan ke SDN Mronjo II, SMPN 1 Wlingi dan SMAN 1 Talun. Setelah lulus SMA, Penulis melanjutkan studinya di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur SBMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, Penulis aktif di *big event* Departemen Teknik Perkapalan yaitu SAMPAN 10 2016/2017 dan SAMPAN 2018 2017/2018 sebagai sekretaris pusat. Selain itu, di tahun pertama Penulis juga pernah mengikuti lomba basket dalam rangka hari jadi ITS.

Email: kristianavivi@gmail.com