TUGAS AKHIR – MN 184802

ANALISIS KEKUATAN PELAT *SANDWICH* PADA GELADAK DAN SISI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Ervan Panangian
NRP 04111640000050

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

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

TUGAS AKHIR – MN 184802

ANALISIS KEKUATAN PELAT *SANDWICH* PADA GELADAK DAN SISI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Ervan Panangian
NRP 04111640000050

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

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

FINAL PROJECT – MN 184802

STRENGTH ANALYSIS OF SANDWICH PANEL FOR DECK STRUCTURE AND SIDE STRUCTURE WITH FINITE ELEMENT METHOD

Ervan Panangian
NRP 04111640000050

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

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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEKUATAN PELAT *SANDWICH* PADA GELADAK DAN SISI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

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:

ERVAN PANANGIAN
NRP 04111640000050

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing

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

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

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

SURABAYA, 7 Agustus 2020

LEMBAR REVISI

ANALISIS KEKUATAN PELAT *SANDWICH* PADA GELADAK DAN SISI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR
Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 24 Juli 2020

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

Oleh:

ERVAN PANANGIAN
NRP 04111640000050

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T. ……..……..
2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng. ……..……..
3. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T. ……..……..
4. Wing Hendroprasetiyo A.P., S.T., M.Eng. ……..……..……..

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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

SURABAYA, 7 Agustus 2020

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian penelitian ini, yaitu:

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pelajaran, dan motivasi yang telah diberikan selama pengerjaan dan penyusunan penelitian ini;
2. Ir. Wasis Dwi A., M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
3. M. Nurul Misbach, M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan penelitian ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Kepada seluruh dosen yang telah memberikan pengajaran selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
5. Mas Abdi Ismail, S.T., dan Mas Rizky Chandra Ariesta, S.T. selaku senior sekaligus mentor penulis dalam mengerjakan penelitian ini;
6. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan moral maupun materil dalam pengerjaan penelitian ini;
7. Mas Zircham, Fikri, dan Fathi sebagai teman satu bimbingan dan satu perjuangan dalam mengerjakan penelitian ini;
8. Edwina Simanungkalit yang telah mendukung dan menemani penulis dalam proses pengerjaan penelitian ini;
9. Teman-teman P56 IRONCLAD yang senantiasa membantu penulis dalam suka maupun duka.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan dan akan diterima oleh penulis untuk menunjang penelitian-penelitian selanjutnya.

Surabaya, 5 Agustus 2020

Ervan Panangian

ANALISIS KEKUATAN PELAT SANDWICH PADA GELADAK DAN SISI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa	:	Ervan Panangian
NRP	:	04111640000050
Departemen / Fakultas	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	:	Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Syarat utama sebuah material agar dapat dianggap layak untuk menjadi bahan konstruksi kapal adalah kuat dan ringan sehingga kapal dapat berlayar dengan baik dan mampu mengangkut *payload* yang optimal. Beberapa literatur telah menunjukkan bahwa penerapan pelat *sandwich* mampu mengurangi berat kapal dengan estimasi kasar sektar 5-15%. Pelat *sandwich* ini pun sudah digunakan secara komersial pada dunia industri perkapalan dan sudah distandardisasi oleh beberapa kelas IACS seperti Llyod Register (LR), Bureau Veritas (BV), dan Det Norske Veritas (DNV). Pelat *sandwich* yang paling umum digunakan adalah pelat *sandwich* dengan *core* polyurethane elastomer. Konfigurasi ini telah dipatenkan dengan nama *sandwich plate system* (SPS). Namun, bahan tersebut sulit dicari khususnya di dalam negeri. Polyurethane elastomer yang umum dijumpai dalam negeri adalah polyurethane elastomer tipe casting. Polyurethane jenis ini relatif murah dan mudah diproduksi di dalam negeri. Pelat *sandwich* dengan material tersebut akan diteliti secara numerik menggunakan metode elemen hingga. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bahwa penerapan pelat *sandwich* pada struktur geladak dan sisi memenuhi tegangan izin, dimana penerapan pelat *sandwich* tersebut dapat berpotensi mengurangi berat konstruksi. Penelitian dilakukan dengan membandingkan konfigurasi baja konvensional dengan empat jenis konfigurasi *sandwich* dengan variasi jarak penegar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi memenuhi tegangan izin dan diperoleh nilai pengurangan berat lokal pada struktur geladak yaitu berkisar antara 16-20% sedangkan untuk struktur sisi berkisar antara 4-8%.

Kata kunci: konstruksi kapal, metode elemen hingga, pelat *sandwich*, tegangan, tegangan izin.

STRENGTH ANALYSIS OF SANDWICH PANEL FOR DECK AND SIDE STRUCTURE WITH FINITE ELEMENT METHOD

Author	: Ervan Panangian
Student Number	: 04111640000050
Department / Faculty	: Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor	: Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

The fundamental requirement for a material to be considered feasible to be used in a ship production is strong and lightweight so that the ship can operate well with optimal payload. Some literature has shown that the application of sandwich plates can reduce the weight of the ship with a rough estimation of about 5-15%. The configuration of sandwich panel has also been used commercially in the shipping industry and has been standardized by some of IACS members such as Llyod Register (LR), Bureau Veritas (BV), and Det Norske Veritas (DNV). The most commonly used configuration of sandwich is sandwich panel with polyurethane elastomer as the core material. This configuration has been patented by name *Sandwich Plate System* (SPS). However, these materials are difficult to find, especially in Indonesia. Polyurethane elastomers that are commonly found domestically are the casting type of polyurethane elastomers. This type of polyurethane is relatively inexpensive and is easily produced domestically. Sandwich plates with these materials will be examined numerically using the finite element method. The purpose of this study is to determine whether the application of *sandwich* plating on the deck and side structure meets the permissible yield stress, where this application could potentially reduce the weight of the structures. The study was conducted by comparing conventional steel configurations with four types of sandwich configurations with different stiffener distance variations. The results showed that all variation meet the permissible yield stress and the local weight reduction in the deck structure ranged from 16-20% while for side structure ranged from 4-8%.

Keywords: finite element method, sandwich panel, ship construction, stress, yield stress.

DAFTAR ISI

LEMBAR REVISI vii
KATA PENGANTAR xi
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xv
DAFTAR ISI xvii
DAFTAR GAMBAR xix
DAFTAR TABEL xxi
DAFTAR SIMBOL xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang Masalah 1
1.2. Perumusan Masalah 2
1.3. Tujuan 2
1.4. Batasan Masalah 3
1.5. Manfaat 3
1.6. Hipotesis 3
BAB 2 STUDI LITERATUR 5
2.1. Dasar Teori 5
2.1.1. Konstruksi Kapal 5
2.1.2. Pelat *Sandwich* 5
2.1.3. Metode Elemen Hingga 6
2.2. Tinjauan Pustaka 7
2.2.1. Standardisasi Pelat *Sandwich* untuk Konstruksi Kapal 8
2.2.2. Aplikasi dan Pengembangan Pelat *Sandwich* 9
2.2.3. Penelitian Mengenai Penerapan Pelat *Sandwich* pada Konstruksi Kapal 10
BAB 3 METODOLOGI 13
3.1. Diagram Alir 13
3.2. Tahap Pengerjaan 14
3.2.1. Tahap Identifikasi Masalah dan Studi Literatur 14
3.2.2. Tahap Pengumpulan Data 14
3.2.3. Tahap Perhitungan Modulus Penampang Kapal *Existing* 14
3.2.4. Tahap Perhitungan Konfigurasi Ketebalan *Sandwich* 14
3.2.5. Tahap Perhitungan Pembebanan 14
3.2.6. Tahap Permodelan 15
3.2.7. Tahap Analisis Metode Hingga 15
3.2.8. Tahap Perhitungan Pengurangan Berat 15
3.2.9. Tahap Pengambilan Kesimpulan dan Saran 15
BAB 4 Perhitungan dan permodelan 17
4.1. Perhitungan dan Permodelan 17
4.1.1. Perhitungan Konversi Pembujur 17
4.1.2. Perhitungan Modulus Penampang 18
4.1.3. Perhitungan Konfigurasi Pelat *Sandwich* 19
4.2. Permodelan 21
4.2.1. Permodelan Struktur Geladak (*Deck Structure*) 21

4.2.2. Permodelan Struktur Sisi (*Side Structure*) 23
4.2.3. Sambungan (*Constraint*) 25
4.2.4. Pembebanan 25
4.2.5. Kondisi Batas (*Boundary Condition*).....27
4.2.6. *Meshing* 28
4.3. Analisis Numerik 30
4.3.1. Studi Konvergensi (*Convergence Study*) 30
4.3.2. Pengaturan Job 32
BAB 5 hasil dan pembahasan 35
5.1. Analisis Penerapan Sandwich pada Geladak 35
5.1.1. Deformasi 35
5.1.2. Tegangan 37
5.1.3. Pengurangan Berat Struktur 39
5.2. Analisis Penerapan Sandwich pada Sisi.....40
5.2.1. Deformasi 41
5.2.2. Tegangan 42
5.2.3. Pengurangan Berat Struktur 44
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 47
6.1. Kesimpulan 47
6.2. Saran.....47
DAFTAR PUSTAKA 49
LAMPIRAN
LAMPIRAN A *GENERAL ARRANGEMENT* KAPAL CRUDE OIL TANKER 17500 DWT
LAMPIRAN B *MIDSHIP SECTION* KAPAL CRUDE OIL TANKER 17500 DWT
LAMPIRAN C PERHITUNGAN MODULUS PENAMPANG
LAMPIRAN D PERHITUNGAN BERAT
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Faceplate* dan *Core* pada Sebuah Pelat *Sandwich* 6
Gambar 2.2 Penerapan Pelat *Insulated Sandwich Panel* pada Dinding Gudang 9
Gambar 2.3 Pelat Sandwich dengan *Alumunium Corrigated Core* 9
Gambar 2.4 Pelat Sandwich dengan *Core Corrugated Steel* 9
Gambar 2.5 Kapal Cepat Rudal Trimaran KRI Klewang 625 10
Gambar 2.6 Aplikasi SPS pada Struktur Geladak (Mula, 2017) 12
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian 13
Gambar 4.1 Notasi ukuran profil 17
Gambar 4.2 Diagram alir perhitungan *strength index* R (sumber: Rules for The Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure LR) 20
Gambar 4.3 Pelat geladak 21
Gambar 4.4 Balok geladak 22
Gambar 4.5 Pembujur geladak 22
Gambar 4.6 Model *assembly* geladak 23
Gambar 4.7 Pelat sisi 23
Gambar 4.8 Gading besar 24
Gambar 4.9 Pembujur sisi 24
Gambar 4.10 Model *assembly* sisi 24
Gambar 4.11 Contoh aplikasi *tie constraint* pada model 25
Gambar 4.12 Konfigurasi pembebanan geladak 26
Gambar 4.13 Konfigurasi pembebanan pada model sisi 27
Gambar 4.14 Kondisi batas pada model geladak 27
Gambar 4.15 Kondisi batas pada model sisi 28
Gambar 4.16 Fitur *create partition* pada *software* elemen hingga 29
Gambar 4.17 Hasil *partitioning* pada *strong beam* 29
Gambar 4.18 Pengaturan ukuran *global seeds* 29
Gambar 4.19 Contoh model yang telah di-*mesh* 30
Gambar 4.20 Konvergensi model geladak konvensional 30
Gambar 4.21 Pada model geladak *sandwich* 31
Gambar 4.22 Konvergensi model sisi konvensional 31
Gambar 4.23 Konvergensi model sisi *sandwich* 32
Gambar 4.24 Interface dari Job pada Elemen hingga 32
Gambar 4.25 Pengaturan *work directory* 33
Gambar 4.26 (a) Pekerjaan yang telah diajukan (*submitted*); (b) Pekerjaan yang telah Berjalan (*running*); (c) Pekerjaan yang telah Selesai (*completed*) 33
Gambar 5.1 Kontur Deformasi pada Model Geladak Konvensional 35
Gambar 5.2 Kontur Deformasi pada Model Geladak *Sandwich* 36
Gambar 5.3 Lokasi Konsentrasi Tegangan Maksimum pada Geladak Konvensional 37
Gambar 5.4 Lokasi Konsentrasi Tegangan pada Geladak *Sandwich* 38
Gambar 5.5 Kontur Deformasi pada Model Sisi Konvensional 41
Gambar 5.6 Kontur Deformasi pada Model Sisi *Sandwich* 41
Gambar 5.7 Lokasi Konsentrasi Tegangan pada Model Sisi Konvensional 43
Gambar 5.8 Lokasi Konsentrasi Tegangan pada Model Sisi *Sandwich* 43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standardisasi Pengujian Sifat Mekanik Material Core Pelat Sandwich (LR 2019) ... 8
Tabel 4.1 Perhitungan konversi pembujur ... 18
Tabel 4.2 Contoh perhitungan modulus ... 19
Tabel 4.3 Ketebalan minimum untuk *faceplate* ... 20
Tabel 4.4 Perhitungan *strength index* R ... 21
Tabel 4.5 Koefisien tekanan pada geladak ... 26
Tabel 4.6 Rumus pembebanan air tenang ... 26
Tabel 4.7 Tabel pembebanan sisi ... 27
Tabel 5.1 Deformasi maksimum pada model geladak *sandwich* ... 36
Tabel 5.2 Komparasi nilai deformasi maksimum pada model geladak ... 37
Tabel 5.3 Tegangan maksimum pada model geladak *sandwich* ... 38
Tabel 5.4 Komparasi nilai tegangan maksimum pada model geladak ... 39
Tabel 5.5 Perhitungan berat struktur geladak pada model konvensional ... 40
Tabel 5.6 Pengurangan berat model geladak *sandwich* ... 40
Tabel 5.7 Deformasi maksimum pada model sisi *sandwich* ... 42
Tabel 5.8 Komparasi nilai deformasi maksimum pada model sisi ... 42
Tabel 5.9 Tegangan maksimum pada model sisi *sandwich* ... 44
Tabel 5.10 Komparasi nilai tegangan maksimum pada model sisi ... 44
Tabel 5.11 Perhitungan berat struktur sisi konvensional ... 45
Tabel 5.12 Analisis pengurangan berat model sisi ... 45

DAFTAR SIMBOL

h_w	=	Tinggi *web* profil L (mm)
t_w	=	Tebal *web* profil L (mm)
b_f	=	Lebar *face* profil L (mm)
t_f	=	Tebal *face* profil L (mm)
h'_w	=	Tinggi *web* profil *bulb* (mm)
t'_w	=	Tebal *web* profil *bulb* (mm)
α	=	Koefisien konversi
ρ	=	Massa jenis (kg/m^3)
m	=	Massa (kg)
V	=	Volume (m^3)
t	=	Tebal material (mm)
I_x	=	Momen inersia sumbu x (cm^4)
I_y	=	Momen inersia sumbu y (cm^4)
I_o	=	Momen inersia individual (cm^4)
Z	=	Titik berat (mm)
Z_1	=	Titik berat terhadap alas (cm)
Z_2	=	Titik berat terhadap geladak (cm)
W_{alas}	=	Modulus penampang terhadap alas (cm^3)
$W_{geladak}$	=	Modulus penampang terhadap alas (cm^3)
I_{NA}	=	Momen inersia *midship section* pada *neutral axis* (cm^4)
I_{xx}	=	Momen inersia *baseline* pada *midship section* (cm^4)
σ_y	=	Tegangan *yield* (MPa)
φ_1	=	Koefisien tekanan pada geladak
φ_2	=	Koefisien ukuran kapal
n	=	Koefisien navigasi

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam sejarah, banyak material yang telah digunakan dalam proses membangun kapal, mulai dari bahan-bahan konvensional seperti kayu, semen, besi cor, hingga bahan yang umum digunakan sekarang seperti baja, alumunium, dan *carbon fibre*. Seiring perkembangan teknologi, material kapal dituntut untuk memiliki kekuatan yang baik namun dengan massa yang seringan mungkin. Secara umum, tentu hal tersebut sulit diraih karena material yang kuat cenderung berat dan material yang ringan cenderung memiliki nilai kekuatan yang kecil. Pelat *sandwich* (atau juga biasa disebut *sandwich panel*) adalah salah satu solusi dari permasalahan yang telah disebutkan sebelumnya.

Pelat *sandwich* merupakan sebuah konfigurasi gabungan dua material atau lebih yang terdiri dari lapisan kulit muka (*faceplate*) dan lapisan inti (*core*). Konfigurasi tersebut dapat dilihat pada gambar 1.1, dimana *core* diapit oleh dua lapisan *faceplate*. Lapisan *faceplate* dibuat dari material dengan kekuatan dan kekakuan yang tinggi, sedangkan lapisan *core* dibuat dari material dengan kekuatan, kekakuan, dan kerapatan yang lebih rendah (Borsellino et al., 2004). Tiga lapisan tersebut akan membentuk satu kesatuan pelat *sandwich* yang memiliki nilai kekuatan dan kekakuan yang cukup dengan berat yang efisien.

Keuntungan utama dari penerapan pelat *sandwich* dibandingkan dengan menggunakan pelat baja konvensional adalah sebagai berikut: (1) mengurangi kebutuhan penegar, (2) manufaktur struktur lebih sederhana dan tidak memakan waktu, (3) rasio kekuatan dan berat yang baik (4), menyederhanakan proses konstruksi, (5) dapat berintegrasi dengan fungsi yang berbeda, (6) meningkatkan nilai crashworthiness pada struktur, dan (7) mengurangi berat struktur (Zubaydi et al., 2018). Pengurangan berat pada kapal tentunya sangat menguntungkan bagi pemilik atau penyewa kapal dimana pengurangan berat akibat penerapan pelat *sandwich* bervariasi antara 5-8% (Momcilovic & Motok, 2009). Pengurangan berat dan pengurangan jumlah penegar tersebut dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan payload kapal.

Beberapa penelitian terkini juga mendukung pernyataan bahwa penerapan pelat *sandwich* dapat mengurangi berat konstruksi dengan nilai kekuatan yang sama bahkan lebih. Pada penelitian yang dilakukan oleh Tuswan dan kawan-kawan tahun 2018 tentang penerapan pelat *sandwich* pada struktur sisi (*side shell*) menunjukkan bahwa pengurangan berat dapat mencapai 17% dengan

menghilangkan seluruh pembujur sisi. Nilai tegangan pada struktur tersebut pun masih memenuhi standar DNV-GL sehingga pada praktiknya, penerapan pelat *sandwich* pada sisi kapal sangat mungkin untuk dilakukan.

Penelitian terkait juga telah dilakukan oleh Achmad Zubaydi pada tahun 2015 mengenai penerapan pelat *sandwich* pada struktur geladak kapal. Pada penelitian tersebut dilakukan analisis numerik terhadap empat variasi *core* dimana variasi tersebut terletak pada kandungan talc pada *core* dari pelat *sandwich*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan pelat *sandwich* dengan kandungan talc yang lebih tinggi memperlihatkan nilai kekuatan yang meningkat juga. Hal ini dapat dijadikan sebagai patokan dalam penelitian mengenai penerapan pelat *sandwich* pada struktur kapal.

Penelitian yang telah disebutkan tersebut akan dijadikan sebagai basis utama dalam melakukan analisis kekuatan pelat *sandwich* pada geladak dan sisi pada penelitian ini. Tujuan utama penelitian ini dilakukan adalah untuk mencari nilai kekuatan dari struktur geladak dan sisi dengan penerapan pelat *sandwich* dan mencari nilai pengurangan berat yang paling optimum dari beberapa variasi jarak penegar.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat rumusan masalah diantaranya:

1. Bagaimana mengetahui ketebalan *faceplate* dan *core* menggunakan standar Llyod Register (LR)?
2. Bagaimana konfigurasi penegar struktur sisi dan geladak yang menggunakan pelat *sandwich*?
3. Bagaimana komparasi deformasi antara struktur pelat *sandwich* dan pelat baja konvensional?
4. Bagaimana komparasi tegangan antara struktur pelat *sandwich* dan pelat baja konvensional?
5. Bagaimana mengetahui bahwa konfigurasi konstruksi pelat *sandwich* memenuhi tegangan izin?
6. Bagaimana mengetahui pengurangan berat hasil dari penerapan pelat *sandwich* jika dibandingkan dengan struktur baja konvensional?

1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui ketebalan *faceplate* dan *core* menggunakan standar Llyod Register (LR).
2. Mengetahui konfigurasi penegar struktur sisi dan geladak yang menggunakan pelat *sandwich*.
3. Mengetahui nilai komparasi deformasi maksimum antara struktur dengan pelat *sandwich* dan struktur dengan pelat baja konvensional.
4. Mengetahui nilai komparasi tegangan maksimum antara struktur dengan pelat *sandwich* dan struktur dengan pelat baja konvensional.
5. Mengetahui bahwa konfigurasi konstruksi dari pelat *sandwich* memenuhi tegangan izin.
6. Mengetahui nilai pengurangan berat hasil dari penerapan pelat *sandwich* jika dibandingkan dengan struktur baja konvensional.

1.4. Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah yang diterapkan dalam pengerjaan penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Penentuan ketebalan *faceplate* dan *core* menggunakan standard Llyod Register (LR);
2. Material *faceplate* menggunakan baja ASTM A36 dan *core* menggunakan bahan Polyurethane Elastomer tipe casting berpenguat *fiberglass;*
3. Analisis yang dilakukan secara isotropik dan elastik;
4. Analisis penerapan pelat *sandwich* dilakukan pada satu kompartemen ruang muat kapal *crude oil tanker* 17500 DWT;
5. Perhitungan pembebanan geladak dan sisi menggunakan *rules* Bureau Veritas (BV)
6. Tidak mempertimbangkan aspek produksi dan ekonomis.

1.5. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Secara akademis, penelitian ini diharapkan dapat menunjang proses belajar dan mengajar, khususnya pada bidang konstruksi dan kekuatan kapal.
2. Secara praktis, diharapkan hasil dari penelitian ini dapat berguna sebagai referensi dalam pengembangan tekonologi pelat *sandwich* pada konstruksi kapal sebagai alternatif dari pelat baja konvensional.

1.6. Hipotesis

Penerapan pelat *sandwich* untuk menggantikan pelat baja konvensional pada struktur geladak dan sisi dapat menciptakan sebuah struktur konstruksi yang nilai kekuatannya memenuhi tegangan izin, dimana penerapan pelat sandwich tersebut berpotensi untuk mengurangi berat konstruksi kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2
STUDI LITERATUR

2.1. Dasar Teori

Dalam pengerjaan penelitian ini, terdapat dasar teori yang berkaitan langsung dan digunakan dalam penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut

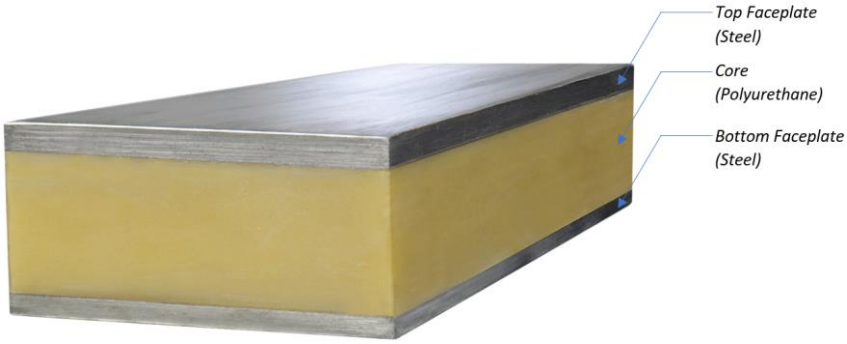
2.1.1. Konstruksi Kapal

Secara umum, konstruksi kapal terbagi atas tiga jenis yaitu konstruksi melintang, konstruksi memanjang, dan konstruksi campuran. Konstruksi melintang merupakan konstruksi dimana penguat utama kapal adalah penguat melintang seperti frame, *web frame*, *deck beam*, dan *strong beam*. Konstruksi jenis ini tidak memiliki penguat memanjang sehingga konstruksi jenis ini hanya cocok digunakan pada kapal yang berukuran pendek (dibawah 90 meter). Konstruksi melintang merupakan konstruksi yang menggunakan konstruksi memanjang di bagian lambung dan konstruksi melintang di bagian alas dan geladak. Konstruksi jenis ini tepat digunakan pada kapal dengan panjang kapal 90<x<100 meter. Konstruksi memanjang adalah konstruksi yang menggunakan penguat memanjang pada seluruh bagian kapal (kecuali kamar mesin) dimana konstruksi jenis ini digunakan pada kapal dengan panjang lebih dari 100 meter (BKI Volume 2 *Rules for Hull*).

Pada penelitian ini, penerapan pelat *sandwich* dilakukan pada kapal *crude oil tanker* 17500 DWT sebagai objek yang akan diteliti. Kapal tersebut menggunakan sistem konstruksi memanjang sebagai penguatnya sehingga pengurangan jumlah penegar akan dilakukan pada pembujur geladak dan pembujur sisi.

2.1.2. Pelat *Sandwich*

Seperti yang telah dijelaskan pada latar belakang masalah, pelat *sandwich* merupakan suatu konfigurasi pelat yang terdiri dari lapisan kulit muka (*faceplate*) dan lapisan inti (*core*). Lapisan *faceplate* dibuat dari material yang memiliki kekuatan dan kekakuan bahan yang tinggi. Sedangkan lapisan *core* dibuat dari material yang memiliki kekuatan, kekakuan dan kerapatan bahan yang lebih rendah (Borsellino, Calabrese, & Valenza, 2004). Gambar 2.1 merupakan contoh bentuk tipikal sebuah potongan pelat *sandwich*.



Gambar 2.1 *Faceplate* dan *Core* pada Sebuah Pelat *Sandwich*
(sumber: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SPS-Sandwich_Plate_System-_Sample.jpg)

Secara sederhana, pelat *sandwich* adalah struktur pelat dengan permukaan kaku yang dipisahkan oleh inti yang berbahan ringan. Kombinasi dari kedua material ini akan memberikan rasio kekuatan dan kekakuan terhadap berat yang sangat efisien, hal ini disebut dengan efek *sandwich*. Pelat *sandwich* dapat dibuat dengan variasi lapisan material yang berbeda-beda. Namun, sistem pelat *sandwich* yang paling sering digunakan pada industri perkapalan adalah *sandwich plate system* (SPS), dimana material *faceplate* terbuat dari baja dan *core* terbuat dari material polyurethane elastomer. Akan tetapi, jenis polyurethane elastomer tipe *room temperature cured* yang digunakan pada SPS memiliki harga yang relatif mahal dan sulit didapatkan (Sujiatanti, et al 2018) sehingga diperlukan alternatif *core* material untuk menggantikan *core* tersebut.

Polyurethane yang banyak terdapat di dalam negeri adalah polyurethane elastomer tipe *casting*. Material ini memiliki harga yang relatif murah dan harganya masih dapat diturunkan dengan cara menambahkan polimer *glass fiber*. Tujuan penambahan polimer ini adalah untuk menciptakan material polyurethane elastomer yang lebih murah namun nilai kekuatannya tetap mencukupi. Tipe *glass fiber* yang digunakan adalah *glass fiber reinforced polymeric* (GFRP) dimana tipe ini adalah tipe *glass fiber* yang paling umum digunakan, termasuk pada industri perkapalan.

Penggantian pelat baja konvensional menjadi pelat *sandwich* tentunya memerlukan pertimbangan, termasuk pertimbangan tegangan izin. Analisis tegangan dilakukan menggunakan analisis metode elemen hingga, kemudian akan dilakukan perbandingan pengurangan berat antara penerapan pelat baja berpenegar dengan pelat *sandwich core* polyurethane elastomer tipe *casting* berpenguat *fiberglass*.

2.1.3. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah adalah salah satu metode numerik untuk menyelesaikan permasalahan Teknik dan matematika fisik. Permasalahan teknik yang dapat diselesaikan menggunakan metode ini beberapa diantaranya adalah analisis struktur, transfer panas, aliran fluida, perpindahan massa, dan potensial elektromagnetik. Analisis metode elemen hingga didasarkan pada

representasi sistem struktur yang tersusun atas elemen-elemen kecil. Elemen-elemen ini membentuk sistem jaringan elemen melalui hubungan/sambungan di titik-titik nodal elemen.

Finite element analysis adalah analisis yang menggunakan metode elemen hingga sebagai basis perhitungannya. *Finite element analysis* dapat digunakan untuk menganalisis masalah stuktural dan non-struktural. Contoh analisis struktural antara lain:

1. Analisis tegangan (*stress*) dan deformasi (*magnitude*)
2. *Buckling*
3. Analisis getaran.

dan contoh analisis non-struktural mencakup antara lain:

1. Perpindahan panas
2. Aliran fluida
3. Distribusi magnetik dan elektrikal.

Selain metode elemen hingga, terdapat beberapa metode dalam melakukan analisis numerik seperti *finite difference method* (FDM), *finite volume method* (FVM), dan lain-lain. Setiap metode memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing sehingga perlu dikaji metode apa yang paling cocok untuk menyelesaikan suatu masalah. Dalam penelitian ini, analisis struktur dan tegangan seluruhnya menggunakan metode elemen hingga karena memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Lebih presisi dalam menganalisis bentuk-bentuk *irregular*
2. Mudah dalam pembuatan analisis dengan kondisi beban umum
3. Model dapat dianalisis sebagai material yang berbeda-beda karena persamaan elemen dievaluasi secara individu
4. Dapat dengan mudah dianalisis dengan bermacam-macam kondisi dan jumlah Batasan
5. Ukuran elemen bervariasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan elemen yang lebih kecil.

Namun, dalam melakukan analisis metode elemen hingga, perhitungan manual sangat sulit dilakukan untuk benda-benda yang kompleks. Oleh karena itu, diperlukan alat bantu berupa perangkat lunak dan dalam penelitian ini analisis elemen hingga dilakukan menggunakan *software* Elemen hingga CAE.

2.2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka berisi referensi atau hasil penelitian terdahulu yang memiliki relevansi terhadap penelitian yang akan dilakukan. Tinjauan pustaka dapat dijadikan sumber yang digunakan untuk menyusun konsep kerangka berpikir dalam melakukan penelitian terkait. Berikut adalah tinjauan pustaka yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini

2.2.1. Standardisasi Pelat *Sandwich* untuk Konstruksi Kapal

Pelat *sandwich* merupakan sebuah konfigurasi pelat yang cenderung jarang digunakan dalam konstruksi kapal, oleh karena itu hanya terdapat beberapa badan klasifikasi yang membuat *rules* untuk mengatur penggunaan pelat *sandwich* tersebut. Llyod Register (LR) dan Bureau Veritas (BV) merupakan contoh biro klasifikasi yang mempunyai peraturan tentang pelat *sandwich*. Pada penelitian ini, standardisasi pelat *sandwich* mengacu pada Llyord Register.

Llyod Register pada (sitasi) menetapkan standardisasi sifat mekanik untuk material *core* pada sebuah konfigurasi pelat *sandwich*. Nilai sifat mekanik tersebut harus tercapai agar suatu bahan dapat digunakan sebagai *core* pada sebuah konfigurasi pelat *sandwich*. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa material aman untuk diaplikasikan pada konstruksi kapal. Pada **Tabel 2.1** dijelaskan mengenai standard pengujian dan kriteria sifat mekanik yang harus dipenuhi.

Tabel 2.1 Standardisasi Pengujian Sifat Mekanik Material Core Pelat Sandwich (LR 2019)

Test	Standard	Criteria
Density	ISO 845	≥ 1000 kg/m^3 at RT
Hardness	DIN 53505	Shore D≥65 at RT
Shear modulus	Torsion pendulum test –20°C to +80°C DIN EN ISO 6721-2	G≥312-2.4T (°C)
Tensile stress	ISO 527 or ASTM D412	≥20MPa at RT ≥5MPa at +80°C
Elongation	ISO 527 or ASTM D412	Min. 10% at –20°C Min. 20% at RT
Bond shear strength	ASTM D429-81	≥2.7MPa (shot strength blasted) ≥4MPa (grit blasted)
RT = Room temperature in °C		

Uji material *core* yang pertama adalah uji massa jenis. Volume spesimen uji pada penelitian ini diukur menggunakan prinsip achimedes untuk mendapatkan akurasi nilai volume yang cukup baik. Air dengan volume tertentu disiapkan dalam gelas ukur. Lalu, spesimen akan dimasukkan ke dalam gelas ukur. Pertambahan volume air dalam gelas ukur menunjukkan volume spesimen. Sedangkan berat spesimen diukur menggunakan timbangan digital. Jumlah spesimen uji dibuat minimal lima buah. Spesimen setidaknya menunggu 72 jam setelah pembuatan dan sebelum pemotongan spesimen dilakukan.

Massa jenis, ρ dari benda uji diberikan dalam satuan kg/m^3, yang diperoleh dari persamaan berikut. Nilai dari massa jenis tersebut dihitung dengan merata-ratakan setiap nilai massa jenis yang dihasilkan pada spesimen.

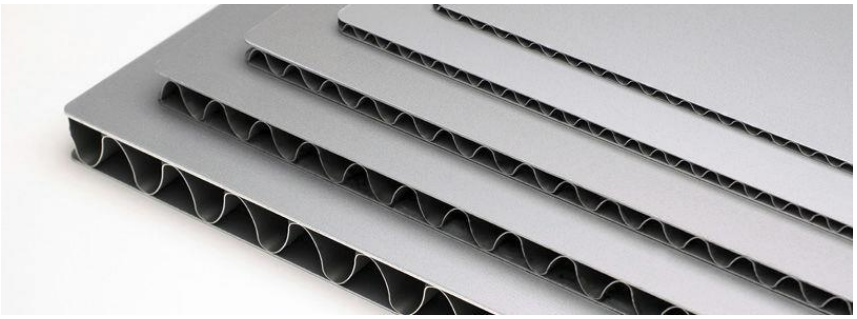
$$\rho = m/V.10^6 \tag{2.1}$$

2.2.2. Aplikasi dan Pengembangan Pelat *Sandwich*

Pelat *sandwich* merupakan jenis pelat yang memiliki konfigurasi yang bermacam-macam. Hal ini membuat pelat *sandwich* menjadi bahan yang fleksibel dan dapat digunakan pada berbagai keperluan. Dalam prakteknya, pelat *sandwich* sudah umum digunakan dalam beberapa kasus di kehidupan sehari-hari seperti contoh pada Gambar 2.2 dapat dilihat penerapan pelat *sandwich* sebagai dinding dari sebuah gudang, menggantikan peran tembok konvensional yang terbuat dari baja/beton.

Gambar 2.2 Penerapan Pelat *Insulated Sandwich Panel* pada Dinding Gudang
(sumber: https://easybuildings.ca/wp-content/uploads/2018/12/s-l1600.jpg)

Konfigurasi *sandwich* lainnya yang sering kita temukan dalam kehidupan sehari-hari adalah pelat *sandwich* dengan *corrugated core*. *Core* itu sendiri dapat terbuat dari bahan alumunium (Gambar 2.3), maupun bahan baja seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Pelat Sandwich dengan *Alumunium Corrigated Core*
(sumber: https://img.directindustry.com/images_di/photo-g/193280-12494161.jpg)

Gambar 2.4 Pelat Sandwich dengan *Core Corrugated Steel*
(sumber: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/253342/253342.pdf)

Pelat *sandwich* dengan konfigurasi tersebut umumnya digunakan dalam konstruksi jembatan penyebarangan dan/atau sebagai sebagai bahan dasar tangga pada kapal-kapal penumpang. Penggunaan *sandwich* jenis ini memiliki produktifitas tinggi karena penyambungan tidak dilakukan dengan cara pengelasan.

Sifat pelat *sandwich* yang ringan dan kuat menjadi alasan utama mengapa pelat ini cocok digunakan pada industri perkapalan (Ramakrishnan & Kumar, 2016). Meskipun demikian, hanya sebagian kecil kapal yang menggunakan pelat *sandwich* sebagai bahan dasar konstruksi lambungnya. Hal ini disebabkan oleh tingginya biaya *raw material* dan biaya produksi untuk membuat sebuah pelat *sandwich*. Oleh karena hal tersebut, hingga saat ini pelat *sandwich* hanya umum digunakan pada kapal cepat seperti kapal patroli dan/atau kapal militer. Kapal-kapal tersebut diharapkan mempunyai kecepatan yang tinggi sehingga diperlukan bahan yang ringan tanpa memperhatikan aspek biaya produksi. Salah satu kapal patroli yang menggunakan pelat *sandwich* sebagai bahan dasar lambungnya adalah kapal cepat rudal trimaran KRI Klewang 625 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Gambar 2.5 Kapal Cepat Rudal Trimaran KRI Klewang 625
(sumber: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/id/d/d9/Klewang_solopos.jpg)

Kapal tersebut menggunakan bahan *carbon fibre foam sandwich*, dimana *faceplate*-nya terbuat dari bahan karbon fiber dan *core*-nya terbuat dari bahan resin. Kapal ini diproduksi oleh PT Lundin di Kota Banyuwangi. Lambung dari kapal tersebut telah dikelaskan oleh DNV-GL dan sudah diproduksi massal dan telah dijual baik di dalam negeri hingga ke luar negeri.

2.2.3. Penelitian Mengenai Penerapan Pelat *Sandwich* pada Konstruksi Kapal

Seperti yang telah diketahui, pelat *sandwich* merupakan konfigurasi pelat yang sangat fleksibel karena dapat terdiri dari berbagai macam material sebagai bahan *faceplate* maupun *core*-nya. Konfigurasi pelat *sandwich* yang sudah dipatenkan bernama *sandwich plate system* (SPS) yang

umum digunakan pada konstruksi kapal. SPS menggunakan baja sebagai bahan dasar baja A36 sebagai *faceplate*-nya dan polyurethane sebagai bahan dasar *core*. (Ramakrishnan & Kumar, 2016).

Pelat *sandwich* khususnya SPS telah digunakan pada banyak hal dikehidupan sehari hari. Namun, meskipun SPS telah umum digunakan pada cakupan industri yang luas seperti bangunan sipil, bangunan lepas pantai, dan militer (Brooking & Kennedy, 2004), aplikasi pelat *sandwich* pada bidang perkapalan lebih dominan digunakan sebagai metode dalam reparasi kapal. Metode ini digunakan sebagai salah satu alternatif dari proses reparasi tradisional dengan metode ”*crop and replace*” (Momčilović & Motok, 2009).

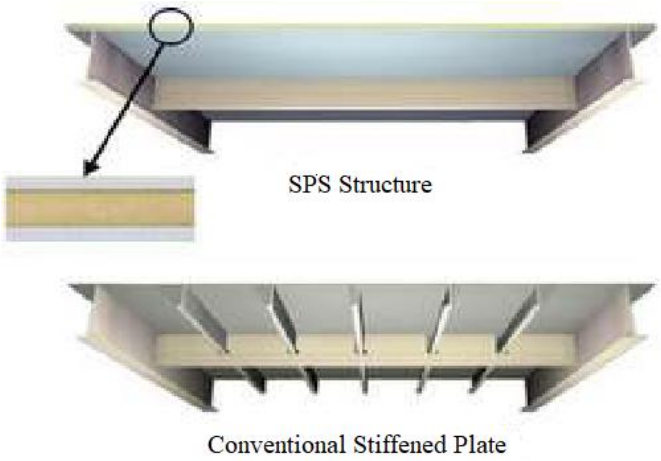
Seperti yang telah diketahui, pelat *sandwich* merupakan konfigurasi pelat yang sangat fleksibel karena dapat terdiri dari berbagai macam material sebagai bahan *faceplate* maupun *core*-nya. Konfigurasi pelat *sandwich* yang sudah dipatenkan bernama *sandwich plate system* (SPS) yang umum digunakan pada konstruksi kapal. SPS menggunakan baja sebagai bahan dasar *faceplate*-nya dan polyurethane sebagai bahan dasar *core*. (Ramakrishnan & Kumar, 2016).

Dikarenakan sulitnya proses produksi *core* polyurethane pada pelat *sandwich*, penerapan pelat *sandwich* hanya dapat digunakan pada pelat-pelat datar saja seperti pelat sisi (*side shell*), pelat geladak (*deck plating*), dan pelat alas dalam (*inner bottom plating*). Penelitian penerapan pelat *sandwich* pada pelat alas dalam telah dilakukan oleh Achmad Baidowi dan kawan-kawan pada tahun 2017. Penelitian tersebut menggunakan SPS sebagai pengganti pelat baja dan menghilangkan seluruh penegar alas dalam (*inner bottom longitudinal*). Kemudian dilakukan analisis numerik pada model alas dalam konvensional dan pada model alas dalam dengan SPS. Dari hasil simulasi didapatkan besar tegangan maksimal untuk material baja AH36 sebesar 226 MPa dengan menggunakan penegar, sedangkan konstruksi dengan material SPS tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 221 MPa tanpa penggunaan penegar, dengan deformasi maksimal untuk AH36 dan SPS yaitu 77 mm yang terjadi pada bagian tengah blok konstruksi inner bottom. Dengan hilangnya penegar berat konstruksi berkurang sebesar 13,05% dari penggunaan material baja AH36 sehingga memberikan peningkatan payload sebesar 13,05%. Simulasi penelitian dilakukan pada *Bulk Carrier* (Baidowi et al, 2015).

Penelitian penerapan pelat *sandwich* pada aplikasi geladak kapal juga telah dilakukan oleh Achmad Zubaydi dan kawan-kawan pada tahun 2017. Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap konfigurasi *sandwich* dengan empat jenis *core* berbahan sintetik resin dan talc dengan variasi komposisi talc yang berbeda-beda yaitu 10%, 20%, 30%, dan 40%. Pengujian laboratorium dilakukan pada *core* menggunakan standard LR dan DNV. Aplikasi pelat tersebut dilakukan pada geladak kendaraan pada kapal Ro-Ro. Analisis dilakukan secara numerik menggunakan metode elemen hingga untuk mencari nilai kekuatan yang terbaik dari keempat jenis variasi tersebut. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa *core* dengan komposisi talc 40% merupakan variasi terbaik dibandingkan tiga variasi lainnya (Zubaydi et al, 2017).

Konfigurasi *sandwich plate system* mampu mengurangi kebutuhan penegar pada struktur kapal (Sujiatanti et al, 2018). Studi numerik mengenai pengurangan penegar sudah dilakukan oleh Mula pada tahun 2017. Studi tersebut menunjukkan bahwa penerapan pelat *sandwich* mampu mengurangi jumlah penegar dengan nilai tegangan maksimum yang cenderung sama, dimana tegangan maksimum struktur dengan pelat baja konvensional adalah 80.28 MPa, sedangkan tegangan maksimum struktur dengan penerapan pelat *sandwich* adalah 80.13 MPa. Dari analisis tersebut, ditemukan bahwa penerapan pelat *sandwich* mampu menurunkan berat struktur sebesar kurang lebih 6.6% (Mula, 2017). Gambaran mengenai pengurangan struktur tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6.



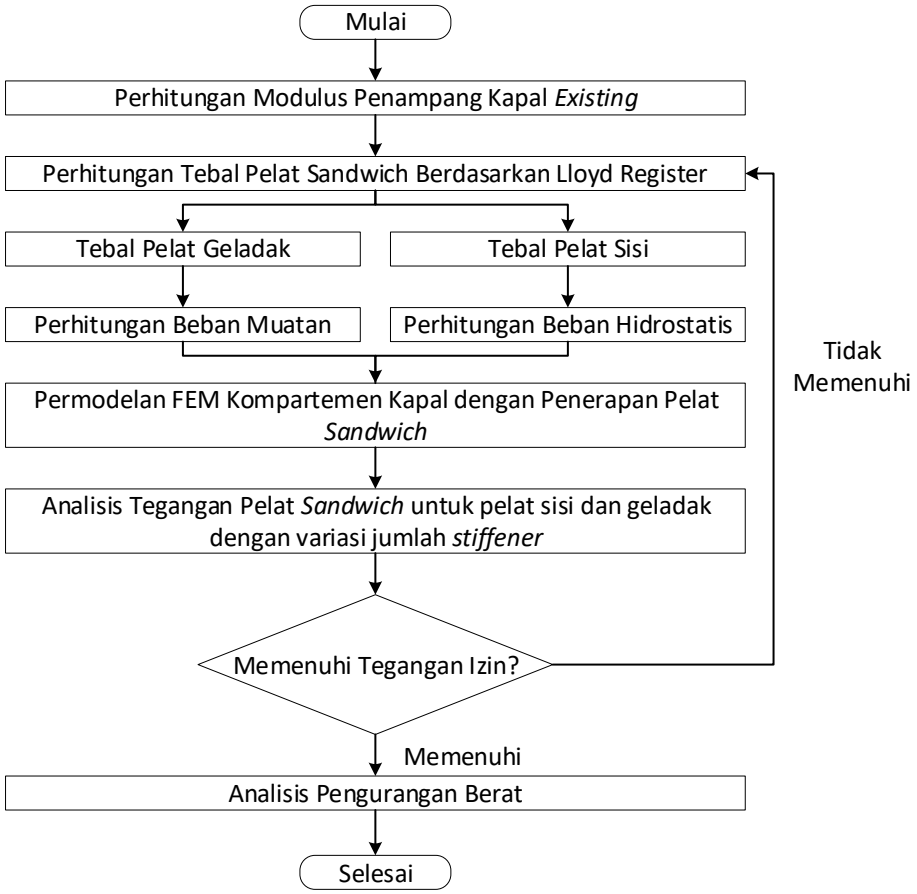
Gambar 2.6 Aplikasi SPS pada Struktur Geladak (Mula, 2017)
(sumber: http://www.leomaritime.com/sps-technology)

Meskipun demikian, biaya produksi SPS tergolong mahal dan material *core* polyurethane elastomer tipe *room temperature cured* merupakan bahan yang sulit didapatkan khususnya di Indonesia (Sujiatanti, Zubaydi, & Budipriyanto, 2018). Material yang murah dan mudah diperoleh menjadi kriteria penting dalam pemilihan bahan *core* dari pelat *sandwich* (Utomo, Zubaydi, & Pratisna, 2016). Bahan polyurethane yang cenderung mudah diperoleh adalah polyurethane elastomer tipe *casting*. Sebagai bahan penguatnya, *fiberglass* lebih murah dan nilai kegetasannya lebih rendah dibandingkan dengan *graphite* (Rathnam & Peel, 2004).

BAB 3
METODOLOGI

3.1. Diagram Alir

Secara garis besar, proses pengerjaan penelitian berjudul Analisis Tegangan Pelat *Sandwich* pada Geladak dan Sisi dengan Metode Elemen Hingga ini memiliki alur seperti yang digambarkan pada diagram alur di Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian

Pekerjaan dimulai dengan melakukan perhitungan modulus penampang kapal *existing* tanker 17500 DWT berdasarkan *drawing* yang telah diperoleh sebelumnya. Kemudian, hasil perhitungan modulus penampang tersebut digunakan untuk menghitung nilai tebal pelat *sandwich* berdasarkan Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure yang dikeluarkan oleh Llyord Register. Setelah nilai ketebalan pelat *sandwich* diperoleh, maka dilanjutkan dengan perhitungan tebal pelat dan perhitungan beban yang berpengaruh pada model. Kemudian, permodelan FEM dapat dilakukan untuk menguji apakah konfigurasi ketebalan yang telah diperoleh sebelumnya

memenuhi syarat tegangan izin atau tidak. Setelah diperoleh perhitungan tegangannya, maka dapat dihitung pengurangan berat pada permodelan kompartemen tersebut. Nilai pengurangan berat yang optimum namun nilai tegangannnya masih memenuhi tegangan izin adalah hasil akhir yang diharapkan dari pengerjaan penelitian ini.

3.2. Tahap Pengerjaan

3.2.1. Tahap Identifikasi Masalah dan Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan identifikasi masalah yang akan digunakan sebagai latar belakang penelitian dilakukan. Latar belakang tersebut akan menjadi basis utama untuk dapat melakukan studi literatur. Studi literatur yang digunakan pada penelitian ini antara lain mekanika teknik, konstruksi dan kekuatan kapal, serta metode elemen hingga.

3.2.2. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan setelah identifikasi masalah diperoleh. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah data berupa *drawing* yaitu rancang umum (*general arrangement*), gambar potongan melintang (*midhsip section*), dan profil konstruksi (*construction profile*) dimana gambar yang telah diperoleh merupakan gambar kapal *crude oil tanker* 17500 DWT. Gambar tersebut tercantum pada lampiran A.

3.2.3. Tahap Perhitungan Modulus Penampang Kapal *Existing*

Pada tahap ini akan dilakukan pengolahan data dari *drawing* yang telah diperoleh sebelumnya. Pengolahan data tersebut berupa perhitungan modulus kapal *crude oil tanker* 17500 DWT yang dijadikan sebagai model penerapan pelat *sandwich*. Modulus penampang tersebut nantinya akan digunakan dalam perhitungan konfigurasi ketebalan *sandwich*.

3.2.4. Tahap Perhitungan Konfigurasi Ketebalan *Sandwich*

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan untuk menentukan konfigurasi tebal pelat *sandwich* yang sesuai. Perhitungan konfigurasi tebal menggunakan standar Lloyd Register (LR). Pada tahap ini, nilai ketebalan yang dihitung adalah nilai yang memenuhi standar ketebalan yang telah dibuat oleh LR, namun nilai tersebut belum tentu memenuhi syarat tegangan izin yang nantinya akan dianalisis pada tahap selanjutnya.

3.2.5. Tahap Perhitungan Pembebanan

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan nilai pembebanan pada geladak dan sisi kapal. Pembebanan yang diberikan pada geladak adalah beban muatan statis yang dhitung berdasarkan *rules* dari Bureau Veritas (BV) sedangkan pembebanan yang diberikan pada sisi adalah beban hidrostatis

dari air laut yang dihitung berdasarkan IACS Common Structural Rules for Bulk Carrier and Oil Tanker.

3.2.6. Tahap Permodelan

Pada tahap ini dilakukan permodelan untuk digunakan sebagai model analisis metode hingga menggunakan *software*. Permodelan dilakukan terpisah antara model geladak dan model sisi. Permodelab yang dibuat adalah satu kompartemen ruang muat pada kapal *crude oil tanker* 17500 DWT. Model 3D akan dibuat menggunakan software modelling dan analisis metode hingga akan dilakukan menggunakan software Elemen hingga CAE.

3.2.7. Tahap Analisis Metode Hingga

Pada tahap ini dilakukan analisis metode hingga untuk mencari nilai tegangan pada struktur sisi dan struktur geladak. Hasil dari analisis ini akan digunakan untuk memvalidasi apakah nilai tegangan memenuhi tegangan izin atau tidak. Apabila nilai tegangan tidak memenuhi tegangan izin maka perlu dilakukan perhitungan ulang untuk mendapat konfigurasi ketebalan pelat yang memenuhi tegangan izin.

3.2.8. Tahap Perhitungan Pengurangan Berat

Pada tahap akhir ini dilakukan analisis pengurangan berat akibat penerapan pelat *sandwich* menggantikan pelat baja berpenegar konvensional. Pengurangan berat ini adalah akibat dari adanya variasi konfigurasi penegar (*stiffener*) pada sisi dan geladak. Jarak antar *stiffener* dapat dibuat lebih jarang sehingga akan ada pengurangan jumlah *stiffener* yang diharapkan dapat mengurangi berat kapal tersebut.

3.2.9. Tahap Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Setelah seluruh tahapan telah selesai dilakukan, maka tahap terakhir yang perlu dilakukan adalah pengambilang kesimpulan dan saran. Pada tahap ini dilakukan evaluasi terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan dimana hasil tersebut masih ada kemungkinan terjadi kesalahan pada proses analisis ataupun kesalahan pada proses mengolah data.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4
PERHITUNGAN DAN PERMODELAN

4.1. Perhitungan dan Permodelan

Dalam melakukan analisis metode hingga menggunakan *software* elemen hingga, perlu dilakukan pembuatan model yang akan dianalisis. Permodelan yang dilakukan pada perangkat lunak adalah permodelan partisi geladak dan sisi. Sebelum permodelan dilakukan, terdapat perhitungan yang perlu dilakukan diantaranya adalah sebagai berikut

4.1.1. Perhitungan Konversi Pembujur

Pada gambar *midship section* ditunjukkan bahwa seluruh pembujur pada kapal ini menggunakan profil *bulb* sedangkan dalam melakukan analisis metode elemen hingga dengan menggunakan software Elemen hingga CAE, bagian-bagian kelengkungan pada profil *bulb* tersebut cenderung memperumit analisis dan meningkatkan resiko terjadinya error pada hasil analisis. Oleh karena itu perlu dilakukan konversi pembujur dengan mengubah *bulb profile* menjadi L-*profile*.

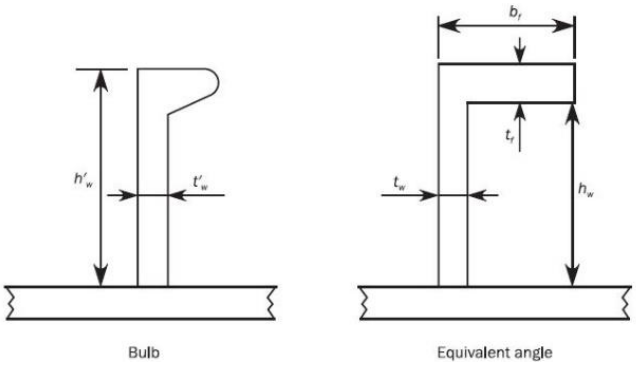
Tinggi *web L-profile* dapat diperoleh menggunakan rumus 4.1 dan ketebalan *web L-profile* adalah sama dengan ketebalan *web* pada *bulb profile*. Kemudian lebar *face* pada *L-profile* dapat dihitung menggunakan rumus 4.2 dan nilai ketebalannya dapat dihitung menggunakan rumus 4.3. (IACS Common Structural Rules for Bulk Carrier and Oil Tanker 2015)

$$h_w = h'_w - \frac{h'_w}{9.2} + 2 \tag{4.1}$$

$$b_f = \alpha + \left(t'_w + \frac{h'_w}{6.7} - 2 \right) \tag{4.2}$$

$$t_f = \frac{h'_w}{9.2} - 2 \tag{4.3}$$

Pada gambar 4.1 dapat dilihat gambaran penjelasan dari notasi-notasi tersebut.



Gambar 4.1 Notasi ukuran profil

Dengan menggunakan persamaan 4.1, 4.2, dan 4.3 maka dapat diperoleh ukuran profil L yang baru dengan nilai kekuatan yan serupa dengan *bulb profile* yang digunakan pada kapal *existing*. Ukuran profil-L ini akan digunakan dalam perhitungan berat, perhitungan modulus, dan analisis metode hingga menggunakan perangkat lunak Elemen hingga CAE. Tabel 4.1 merupakan hasil dari perhitungan konversi pembujur.

Tabel 4.1 Perhitungan konversi pembujur

Name	Profil Bulb		α	Hasil Perhitungan				Profil L			
	h'_w (mm)	t'_w (mm)		t_w (mm)	h_w (mm)	b_f (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	h_w (mm)	b_f (mm)	t_f (mm)
Pembujur *Side Girder*	180	10	1	10	162.43	35.87	17.57	10	163	36	18
Pembujur Sisi 1-3	220	10	1	10	198.09	41.84	21.91	10	199	42	22
Pembujur Geladak 1-22; Pembujur Sisi 4	220	11	1	11	198.09	42.84	21.91	11	199	43	22
Pem. Sisi 6-9; Pem. Sekat Memanjang 1-11	240	11	1	11	215.91	45.82	24.09	11	216	46	25
Pembujur Sisi Vertikal	260	10	1	10	233.74	47.81	26.26	10	234	48	27
Pembujur Sekat Memanjang 12-15	280	11	1	11	251.57	51.79	28.43	11	252	52	29
Pembujur Alas dan Pembujur Alas Dalam	320	12	1	12	287.22	58.76	32.78	12	288	59	33

Ukuran pembujur tersebut akan digunakan dalam perhitungan modulus dan analisis numerik.

4.1.2. Perhitungan Modulus Penampang

Perhitungan modulus perlu dilakukan karena nilai modulus kapal diperlukan dalam perhitungan ketebalan *faceplate* dan *core*. Dalam menghitung modulus penampang, diperlukan data berupa lebar dan tinggi tiap bagian pada kapal sehingga diperoleh nilai luasan totalnya (A_{total}) tiap bagiannya, lalu nilai momen luas dengan menggunakan rumus (4.4).

$$Momen\ Luas = A_{total}\ x\ Z \tag{4.4}$$

momen luasan tersebut akan dikalikan dengan nilai Z untuk memperoleh nilai momen inersia. Kemudian dicari nilai inersia pada sumbu x (I_x) dan inersia sumbu y (I_y) dengan menggunakan rumus (4.5) dan (4.6).

$$I_x = \frac{1}{12}.b.h^3 \tag{4.5}$$

$$I_y = \frac{1}{12}.h.b^3 \tag{4.6}$$

kemudian diperoleh nilai momen inersia individu I_o dengan menggunakan rumus (4.7).

$$I_o = I_x cos^2\alpha\ +\ I_y sin^2\alpha \tag{4.7}$$

Penjumlahan total dari nilai luasan diberi notasi Σ_1, penjumlahan momen luasan diberi notasi Σ_2, penjumlahan momen inersia diberi notasi Σ_3, dan penjumlahan dari momen inersia individu diberi notasi Σ_4. Kemudian dapat diperoleh nilai titik berat terhadap alas (Z_1) dan titik berat terhadap geladak (Z_2) dengan menggunakan rumus (4.8) dan (4.9).

$$Z_1 = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} \tag{4.8}$$

$$Z_2 = H - Z_1 \tag{4.9}$$

Kemudian dapat diperoleh nilai modulus penampang terhadap alas (W_{alas}) dan modulus penampang terhadap geladak ($W_{geladak}$) dengan menggunakan rumus (4.10) dan (4.11). Kedua nilai modulus ini akan dibandingkan nilainya untuk memperoleh nilai yang tertinggi. Nilai modulus tertinggi tersebut akan digunakan sebagai nilai modulus kapal *existing* dan akan digunakan dalam perhitungan konfigurasi *sandwich*.

$$W_{alas} = \frac{I_{NA}}{Z_1} \tag{4.10}$$

$$W_{geladak} = \frac{I_{NA}}{Z_2} \tag{4.11}$$

dimana nilai I_{NA} dapat dihitung menggunakan rumus (4.12).

$$I_{NA} = I_{xx} - (Z_1)^2 . \Sigma_1 \tag{4.12}$$

dan nilai dari I_{xx} diperoleh menggunakan rumus (4.13).

$$I_{xx} = \Sigma_3 + \Sigma_4 \tag{4.13}$$

Sebagai contoh, dapat dilihat pada Tabel 4.2 dimana dihitung modulus untuk tiap-tiap pelat yang ada pada kompartemen tersebut. Perhitungan detail modulus penampang dapat dilihat pada Lampiran C.

Tabel 4.2 Contoh perhitungan modulus

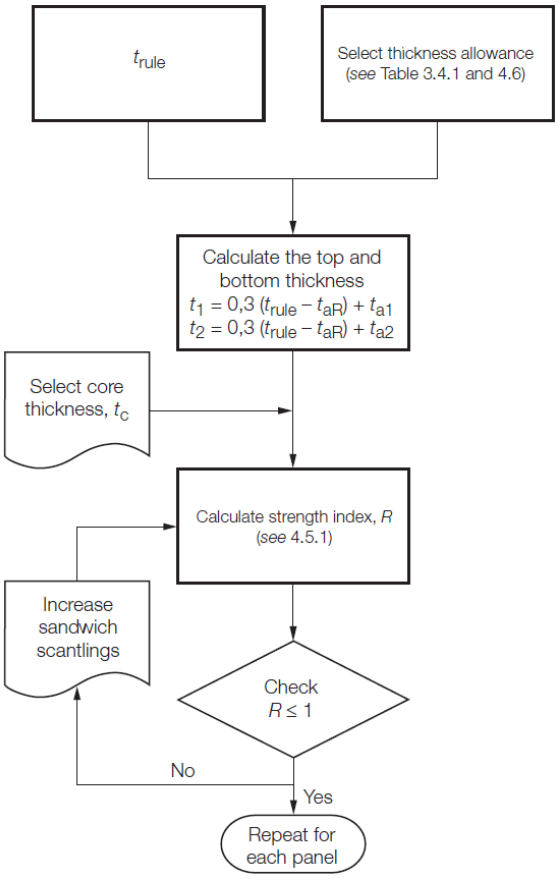
No.	Nama Bagian	Jumlah [n]	Lebar (cm) [b]	Tinggi (cm) [h]	Sudut Terhadap Bidang Horizontal (derajat) [α]	Luas Total (cm^2) [A_T]	Jarak Titik Berat Thdp Alas (cm) [Z]	Momen Luas (cm^3) [AT] x [Z]	Momen Inersia (cm^4) [AT] x $[Z]^2$	$Ix.cos^2a$ [$Ix = 1/12 \times b \times h^3$]	$Iy.sin^2a$ [$Iy = 1/12 \times h \times b^3$]	M. Inersia Individu Io [$Ix.cos^2a + Iy.sin^2a$]
1	**Pelat Keel (lunas)**	1	220	1.5	0	330	0.75	247.50	185.63	61.88	0.00	61.88
2	**Pelat Alas**	2	1050	1.2	0	2520	0.60	1512.00	907.20	151.20	0.00	151.20
3	**Pelat Alas Dalam**	2	1075	1.2	0	2580	185.60	478848.00	88874188.80	154.80	0.00	154.80
4	**Pelat Bilga**	2	3215	1.5	0	9645	65.95	636121.62	41954454.2	904.22	0.00	904.22
5	**Pelat Sisi**											
	Pelat Sisi 1	2	1.5	143	90	429	256.50	110038.50	28224875.3	32791.13	36.61	32827.74
	Pelat Sisi 2	2	1.4	253.4	90	709.52	454.70	322618.74	146694742.9	170296.19	52.75	170348.93
	Pelat Sisi 3	2	1.2	387.6	90	930.24	775.20	721122.05	559013811.6	522383.68	50.81	522434.49
	Pelat Sisi 4	2	1.3	239	90	621.4	1088.5	676393.90	736254760.2	132676.53	39.83	132716.36
6	**Pelat Sekat**											
	Pelat sekat 1	1	1.2	240	90	288	305.00	87840.00	26791200.00	124014.37	31.46	124045.83
	Pelat sekat 2	1	1.1	675	90	742.5	762.50	566156.25	431694140.63	2529071.20	68.15	2529139.36
	Pelat sekat 3	1	1.5	150	90	225	1175.00	264375.00	310640625.00	37846.18	38.40	37884.59
7	**Pelat Geladak**											
	Pelat Geladak 1	2	330	1.5	0	990	1250.75	1238242.50	1548731806.88	92.81	0.00	92.81
	Pelat Geladak 2 (PS)	1	1056.2	1.5	177	1584.3	1227.75	1945124.33	2388126390.02	272.46	12195850.30	12196122.76
	Pelat Geladak 2 (SB)	1	1056.2	1.5	183	1584.3	1227.75	1945124.33	2388126390.02	1.15	146713085.08	146713086.23

Menggunakan persamaan yang telah dijelaskan diatas tersebut, maka nilai dari modulus penampang kapal *existing* adalah sebesar **18808332.18 cm³.**

4.1.3. Perhitungan Konfigurasi Pelat *Sandwich*

Pehitungan *faceplate* dan *core* pada konfigurasi pelat *sandwich* menggunakan standard Llyod Register yang terdapat pada *Rules for The Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure* tahun 2019. Perhitungan *faceplate* dan *core* berpatokan pada nilai *strength index* (R)

dimana nilai R harus kurang dari 1. Perhitungan nilai *strength index* (R) dilakukan sesuai dengan alur yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Diagram alir perhitungan *strength index* R
(sumber: Rules for The Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure LR)

dimana tebal minimum dari *faceplate* atas dan *faceplate* bawah dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Ketebalan minimum untuk *faceplate*

Item	Minimum thickness in mm	
	New construction	Overlay construction
t_{1MIN}	3,0	3,0
t_{2MIN}	3,0	50% of the as-built thickness

Pada penelitian ini, perhitungan dilakukan menggunakan asumsi konstruksi bangunan baru, oleh karena itu ketebalan minimum untuk *faceplate* adalah 3.0 mm (chapter 3, section 6.2) dan untuk *core* adalah 15 mm (chapter 3, section 6.3).

Perhitungan nilai *strength index* dijelaskan pada chapter 3 section 5.2 dapat dilakukan menggunakan rumus 4.14 sebagai berikut:

$$R = 0{,}01\ A_R \left[0{,}1\ \frac{b^2}{d\ (t_1 + t_2)} + 11{,}7\ \left(\frac{bt_c}{d^2}\right)^{1,3}\right] kP_{eq,R} \qquad (4.14)$$

hasil perhitungan nilai *strength index* tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perhitungan *strength index* R

Bagian	***tc*** (mm)	***a*** (mm)	***b*** (mm)	A_R	Z_{rule}	***l***	P_{eqR} (Mpa)	**Face Plate** *t1*	*t2*	*k*	***d*** (mm)	**R**	$R \leq 1$
Deck	20	6000	750	3.86	18808332.18	750	0.0568430	3	3	1	23	1.006	No
	20	6000	750	3.86	18808332.18	750	0.0568430	4	4	1	24	0.743	OK
	20	6000	750	3.86	18808332.18	750	0.0568430	5	5	1	25	0.584	OK
	20	6000	750	3.86	18808332.18	750	0.0568430	6	6	1	26	0.477	OK
Bagian	***tc*** (mm)	***a*** (mm)	***b*** (mm)	A_R	Z_{rule}	***l***	P_{eqR} (Mpa)	**Face Plate** *t1*	*t2*	*k*	***d*** (mm)	**R**	$R \leq 1$
Side Shell	20	6000	800	3.71	18808332.18	750	0.05684296	3	3	1	23	1.090	No
	20	6000	800	3.71	18808332.18	750	0.05684296	4	4	1	24	0.804	OK
	20	6000	800	3.71	18808332.18	750	0.05684296	5	5	1	25	0.631	OK
	20	6000	800	3.71	18808332.18	750	0.05684296	6	6	1	26	0.515	OK

Input ketebalan *faceplate* dimulai dengan memasukkan angka minimum yaitu 3 mm dimana pada konfigurasi tersebut nilai *strength index* tidak memenuhi syarat R ≤ 1. Oleh karena itu, penelitian numerik akan dilakukan pada konfigurasi pelat *sandwich* ketebalan *faceplate* 4 mm dan *core* 20 mm. Apabila analisis numerik menunjukkan bahwa tegangan pada konfigurasi tersebut tidak memenuhi tengangan izin, maka penelitian akan dilakukan ulang menggunakan konfigurasi yang lebih besar yaitu pada ukuran *faceplate* 5 mm.

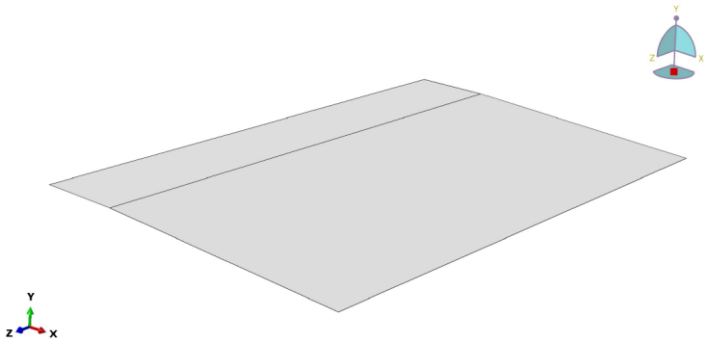
4.2. Permodelan

4.2.1. Permodelan Struktur Geladak (*Deck Structure*)

Pada model strukturgeladak, permodelan dilakukan dengan cara memodelkan bagian-bagian geladak menggunakan *software* modelling. Bagian-bagian tersebut adalah pelat geladak, pembujur geladak, dan balok geladak. Kemudian, setelah seluruh bagian telah dimodelkan maka *assembly* geladak dapat dilakukan. Berikut adalah penjabaran proses permodelan struktur geladak:

1. Permodelan pelat geladak (*deck plating*)

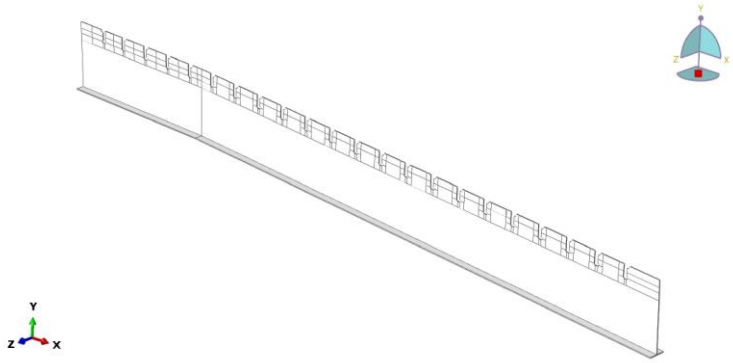
Seluruh pelat geladak pada kompartemen *midship* memiliki ketebalan 15 mm, oleh karena itu permodelan dilakukan secara menyeluruh tanpa membagi menjadi per-lajur pelat dengan ukuran setengah lebar kapal (dari *centerline* hingga *side shell*). Hal ini juga membantu memudahkan proses *assembly* karena jumlah partisi akan lebih sedikit. Model pelat geldak dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pelat geladak

2. Permodelan balok geladak atau *strong beam*

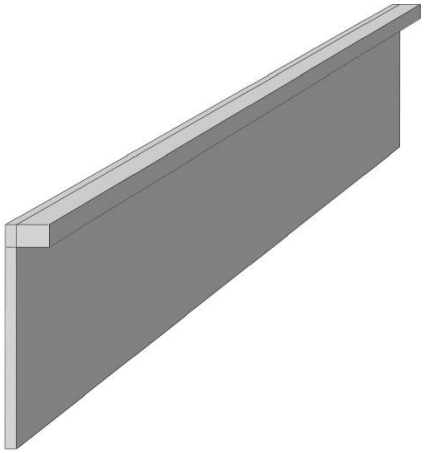
Balok geladak yang dimodelkan merupakan profil T dengan ukuran web 1250x12 mm dan *face* 300x16 mm dimana panjang permodelan adalah 21.75 meter. Model balok geladak dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Balok geladak

3. Permodelan pembujur geladak (*deck longitudinal*)

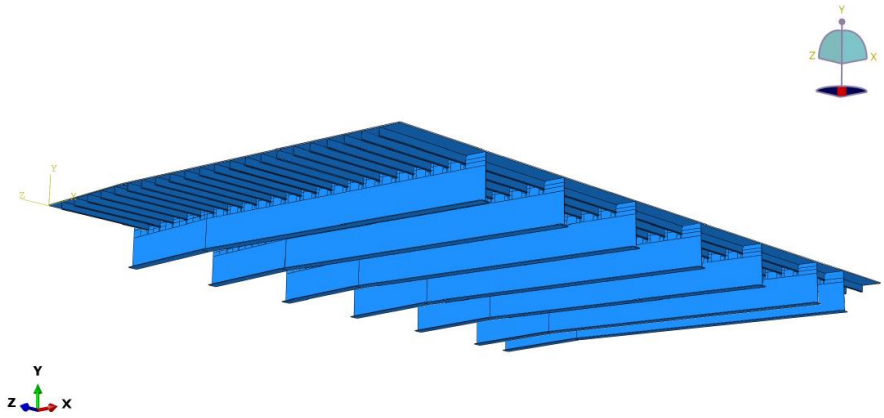
Pembujur geladak atau *deck longitudinal* yang dimodelkan adalah profil L dengan ukuran web 199x11 mm dan ukuran face 43x22 mm dimana permodelan dilakukan dengan panjang profil 21.75 meter, mengikuti panjang satu kompartemen kapal. Model profil L yang telah dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pembujur geladak

4. Penggabungan model geladak

Proses penggabungan model geladak dilakukan menggunakan fitur *assembly* pada *software* Elemen hingga CAE. Permodelan dilakukan dengan cara mengimpor seluruh bagian partisi geladak yang telah dimodelkan dan disambungkan satu persatu. Model geladak dapat dilihat pada Gambar 4.6.



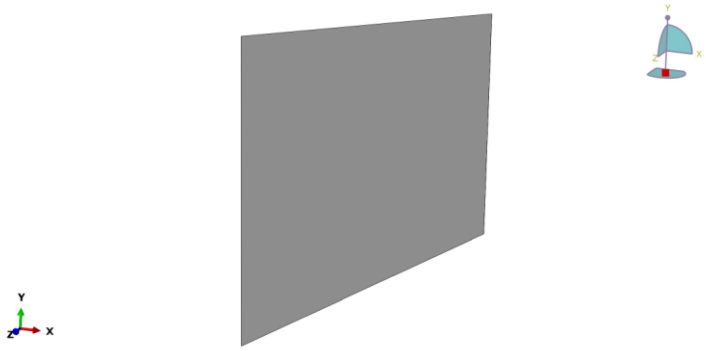
Gambar 4.6 Model *assembly* geladak

4.2.2. Permodelan Struktur Sisi (*Side Structure*)

Pada permodelan sisi, terdapat bagian-bagian yang lebih kompleks dibandingkan dengan struktur geladak. Hal ini disebabkan karena pada model sisi, gading besar atau *web frame* dipisahkan oleh senta sehingga permodelan harus dilakukan secara terpisah. Pada struktur sisi juga terdapat tiga buah ukuran pembujur sisi yang berbeda. Berikut adalah permodelan struktur sisi yang telah dibuat

1. Pelat sisi (*side plate*)

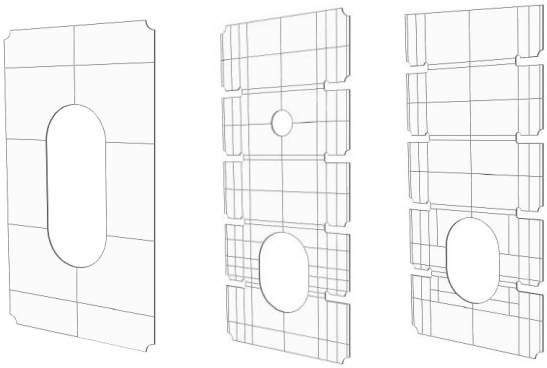
Pelat sisi memiliki tiga jenis ketebalan yang berbeda yaitu 15 mm, 12 mm, dan 13 mm. Oleh karena itu, permodelan perlu dilakukan perlu dilakukan secara terpisah antara ketebalan satu dan lainnya. Permodelan pelat sisi dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pelat sisi

2. Gading besar (*web frame*)

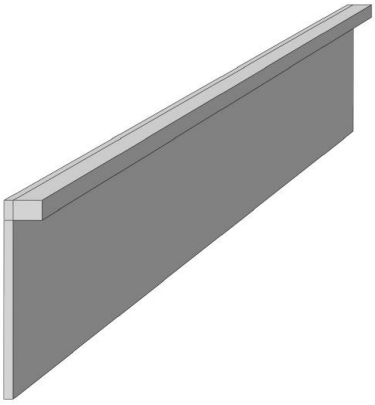
Gading besar atau *web frame* yang dimodelkan merupakan profil T dengan ukuran web 1250x12 mm dan *face* 300x16 mm dimana *web frame* terpotong oleh senta sehingga permodelan dilakukan menjadi tiga bagian yang terpisah. Model gading besar dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Gading besar

3. Pembujur sisi (*side longitudinal*)

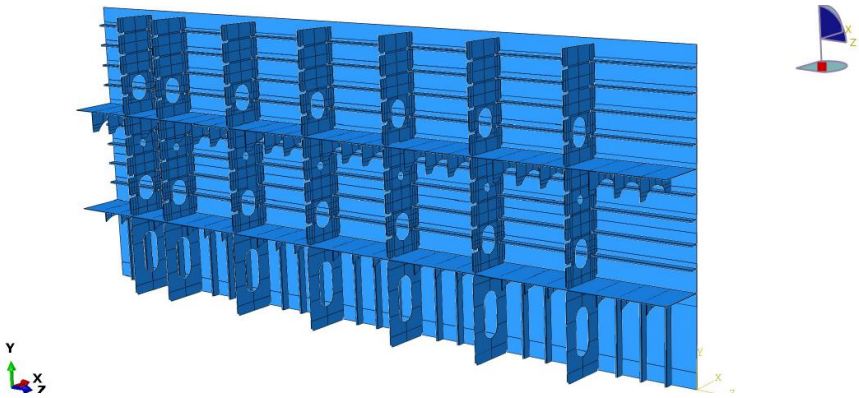
Pembujur sisi atau *side longitudinal* yang dimodelkan adalah profil L dengan tiga ukuran yaitu 199x42x10x22, 199x43x11x22, dan 216x46x11x25 dimana permodelan dilakukan dengan panjang profil 21.75 meter, mengikuti panjang satu kompartemen kapal. Model profil L yang telah dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Pembujur sisi

4. Penggabungan model sisi

Proses penggabungan model sisi dilakukan menggunakan fitur *assembly* pada *software* Elemen hingga CAE. Permodelan dilakukan dengan cara mengimpor seluruh bagian partisi geladak yang telah dimodelkan dan disambungkan satu persatu. Model sisi dapat dilihat pada Gambar 4.10.

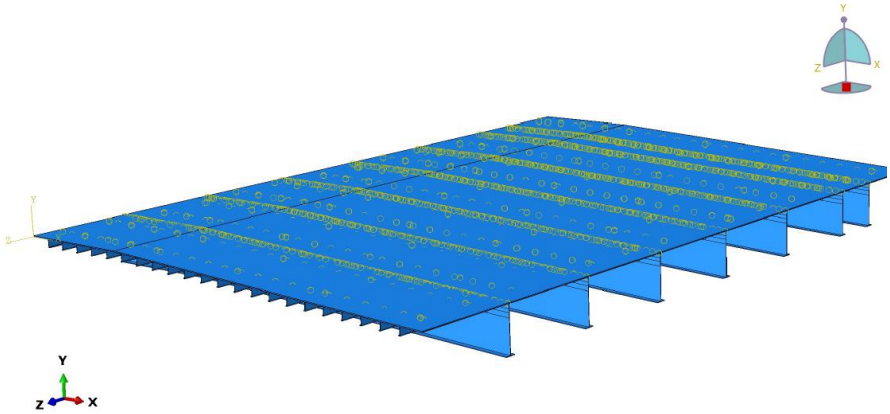


Gambar 4.10 Model *assembly* sisi

4.2.3. Sambungan (*Constraint*)

Setelah permodelan telah dilakukan sampai tahap *assembly*, maka hal selanjutnya yang akan dilakukan adalah konfigurasi sambungan atau *constraint*. Pada tahap permodelan, model sudah berbentuk suatu kesatuan model utuh namun sambungan pada setiap bagian pada model belum di definisikan. Pada *software* Elemen hingga itu sendiri tedapat banyak definisi sambungan yang dapat digunakan, namun pada tahap ini dilakukan pendefinisian sambungan model menggunakan fitur *tie constraint*.

Tie constraint mendefinisikan permukaan benda menjadi dua jenis, yaitu *master* dan *slave*. Pendefinisian *tie constraint* akan membuat seluruh *nodes* pada permukaan *slaves* tidak dapat menembus *nodes* daripada permukaan *master*. Permukaan dengan luas area yang lebih besar dipilih menjadi permukaan *master*, dan permukaan dengan area yang lebih kecil dipilih menjadi *slave*. Oleh karena itu, pendefinisian *slaves* dan *master* tidak boleh tertukar karena hasil numerik akan berpotensi mengalami *error*. Hasil konfigurasi *tie constraint* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Contoh aplikasi *tie constraint* pada model

4.2.4. Pembebanan

Pembebanan dilakukan pada geladak dan sisi. Untuk pembebanan geladak, perhitungan pembebanan dilakukan menggunakan *rules* dari klas Bureau Veritas (BV). Pembebanan geladak menggunakan dua perhitungan yaitu *still water pressure* dan *green sea* loads. Kedua perhitungan ini perlu dianalisis dan akan diambil nilai beban tertinggi. *Still water pressure* dapat dihitung menggunakan rumus 4.15.

$$P_s = 10.\varphi_1.\varphi_2 \tag{4.15}$$

dimana nilai dari φ_1 adalah 1 seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan nilai φ_2 juga adalah 1 dimana panjang kapal lebih besar 120 meter.

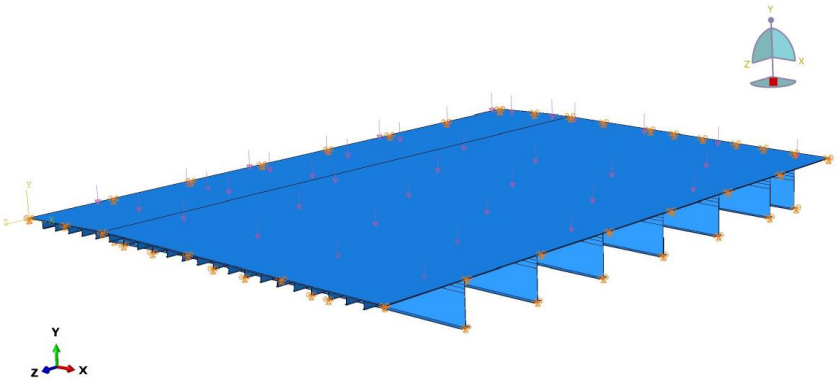
Tabel 4.5 Koefisien tekanan pada geladak

Exposed deck location	φ_1
Freeboard deck and below	1,00
Top of lowest tier	0,75
Top of second tier	0,56
Top of third tier	0,42
Top of fourth tier	0,32
Top of fifth tier	0,25
Top of sixth tier	0,20
Top of seventh tier	0,15
Top of eighth tier and above	0,10

Kapal diasumsikan dapat berlayar pada perairan samudera sehingga nilai koefisien navigasi (n) adalah 1. Dari rumus 4.15 maka dapat diperoleh bahwa nilai Ps adalah sebagai berikut

$$P_s = 10\ kN/m^2$$

Nilai tersebut kemudian digunakan pada model geladak sehingga konfigurasi pembebanan pada geladak dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Konfigurasi pembebanan geladak

Perhitungan pembebanan pada struktur sisi menggunakan *rules* dari Bureau Veritas (BV). Nilai pembebanan pada sisi menggunakan rumus *still water pressure* yang dapat dihitung menggunakan rumus yang terdapat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Rumus pembebanan air tenang

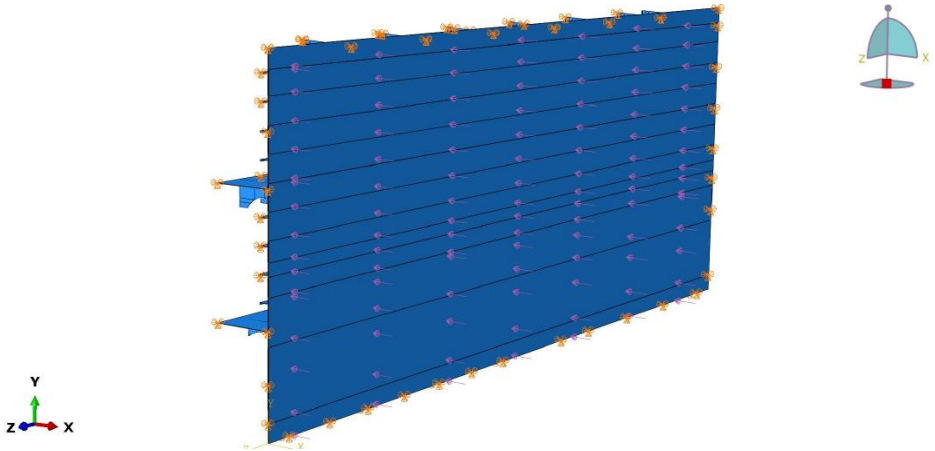
Location	Still water pressure p_S, in kN/m²
Points at and below the waterline ($z \leq T_1$)	$\rho\ g\ (T_1 - z)$
Points above the waterline ($z > T_1$)	0

Rumus pembebanan air tenang atau *still water pressure* diperoleh dari penurunan Hukum Archimedes dimana gaya tekan air sama dengan massa jenis air dikali gravitasi dan dikali kedalaman benda. Semakin dalam titik berat pelat (z) maka semakin tinggi beban yang dikenakan. Kemudian nilai pembebanan sisi yang telah dihitung menggunakan rumus tersebut dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tabel pembebanan sisi

No.	Nama Bagian	z	ρ	g	T_1	Ps
		(m)	(ton/m^3)	(kN/ton)	(m)	(kN/m^2)
1	Sisi 1	3.000	1.025	9.81	7.000	40.221
2	Sisi 2	4.000	1.025	9.81	7.000	30.166
3	Sisi 3	5.000	1.025	9.81	7.000	20.111
4	Sisi 4	6.000	1.025	9.81	7.000	10.055
5	Sisi 5	7.000	1.025	9.81	7.000	0.000

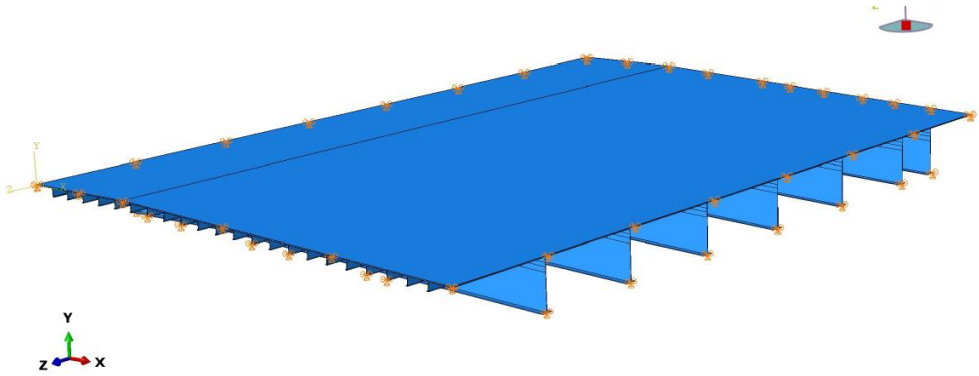
Pengambilan nilai titik z dilakukan setiap jarak 1 meter sehingga nilai pembebanan lebih presisi. Nilai pembebanan tersebut di-*input* ke *software* elemen hingga dan aplikasi dari pembebanan tersebut divisualisasikan dalam bentuk panah-panah seperti pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Konfigurasi pembebanan pada model sisi

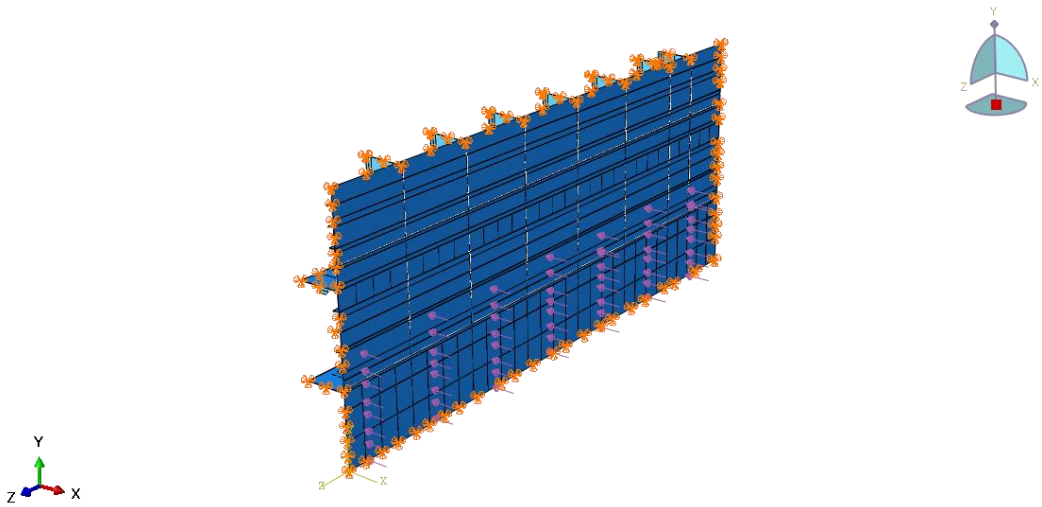
4.2.5. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Kondisi batas merupakan suatu batasan yang harus dipenuhi dalam sebuah permodelan. Kondisi batas akan berpengaruh pada derajat kebebasan yang diikat. Pada *software* Elemen hingga pengaturan kondisi batas dapat dilakukan pada transalasi dan rotasi terhadap seluruh sumbu. Kondisi batas yang diaplikasikan pada penelitian ini adalah *encastre* dimana seluruh nodes pada permukaan yang dipilih akan di-*fix* sehingga tidak dapat terjadi translasi dan rotasi terhadap seluruh sumbu. Kondisi batas yang digunakan pada model geladak dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Kondisi batas pada model geladak

Seluruh *surface* pada model geladak geladak yang menempel dengan struktur lain diikat dengan *encastre* dimana bagian depan dan belakang pelat geladak dilas dengan sekat melintang dan bagian sisi luar geladak dilas pada pelat sisi. Pada model sisi, kondisi batas yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.15.



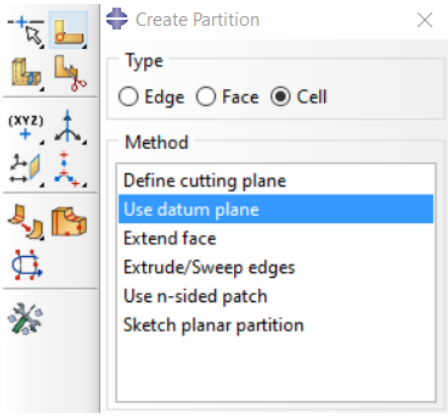
Gambar 4.15 Kondisi batas pada model sisi

Serupa dengan kondisi batas pada geladak, seluruh permukaan pada model sisi yang menempel pada struktur lain diikat dengan *encastre* termasuk pelat sisi, senta, dan pembujur sisi.

4.2.6. *Meshing*

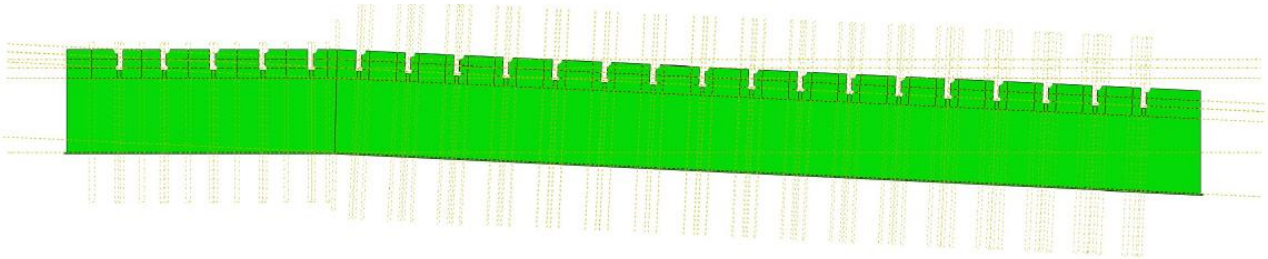
Meshing merupakan proses partisi suatu model menjadi beberapa elemen yang lebih kecil. Semakin kecil area *mesh* maka semakin banyak jumlah elemen yang tercipta. Terdapat beberapa metode dalam pembuatan elemen *mesh* pada *software* Elemen hingga, diantaranya adalah *hexahedral*, *tetrahedral*, ataupun campuran antara keduanya. Teknik dalam pembentukan *mesh* dengan bentuk *hexahedral* pun terdapat beberapa jenis seperti *structured*, *sweep*, dan *bottom-up*. Pada penelitian ini digunakan *hexahedral structured mesh* sebagai teknik dalam pembentukan elemen *mesh*. Metode *meshing* ini baik digunakan dalam analisis numerik karena hasil *mesh* akan lebih rapih dan terstruktur sehingga *output* yang dihasilkan lebih mudah konvergen dan lebih presisi.

Tidak semua model dapat langsung di-*mesh* menggunakan metode *hexahedral structural mesh* dikarenakan metode ini kurang cocok untuk model yang rumit. Oleh karena itu, model yang memiliki kerumitan yang cukup kompleks perlu dilakukan *partitioning* terlebih dahulu agar *mesh* dapat dilakukan dengan baik. Pada intinya, *partitioning* ini berfungsi untuk memisahkan bagian model yang sederhana dan bagian model yang kompleks sehingga kualitas *mesh* yang diproduksi dapat terjaga. *Partitioning* dilakukan menggunakan fitur yang dapat dilihat pada Gambar 4.16.



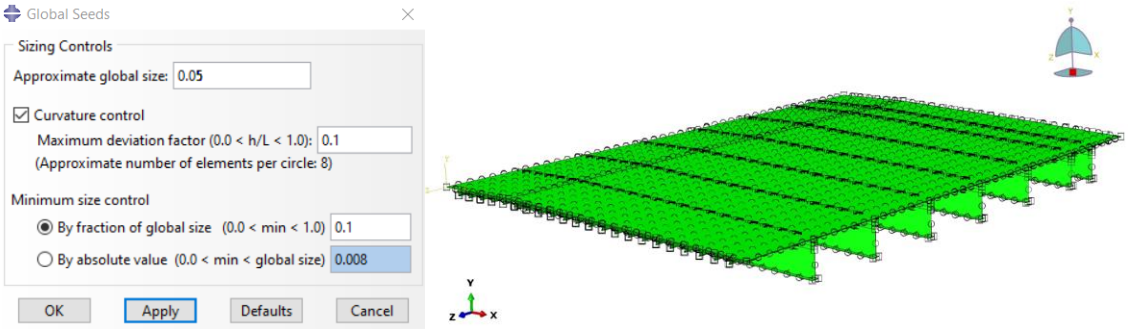
Gambar 4.16 Fitur *create partition* pada *software* elemen hingga

Pada prinsipnya, model akan diberikan sebuah *plane* yang imajiner dan model tersebut akan dipotong pada bagian *plane* tersebut. Pemotongan perlu difokuskan pada bagian-bagian model yang mempunyai kelengkungan atau *rounded* seperti *manhole*, *lightening hole*, dan *scallop*. Bagian lengkung memiliki jumlah sudut yang tak terhingga sehingga *software* perlu melakukan pendekatan bentuk dengan membuat lengkung tersebut menjadi beberapa titik yang *definite*. Titik-titik inilah yang menyebabkan model *rounded* menjadi rumit untuk di-*mesh*. Contoh hasil partitioning dapat dilihat pada Gambar 4.17 dimana model *strong beam* memiliki cukup banyak sisi *rounded* sehingga perlu dilakukan banyak *partitioning*.



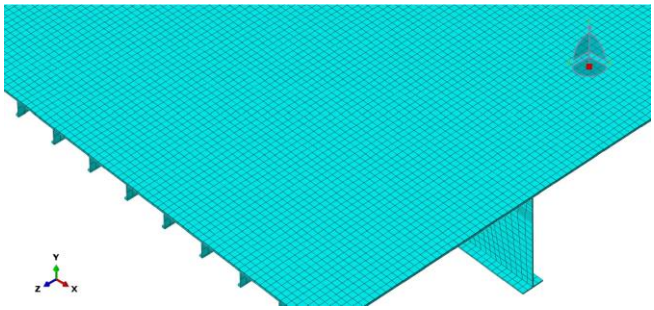
Gambar 4.17 Hasil *partitioning* pada *strong beam*

Setelah tahap *partitioning* ini selesai, *meshing* dilakukan secara global dengan mengatur ukuran global *seeds*. Semakin kecil ukuran global *seeds* tersebut maka jumlah elemen yang tercipta akan semakin banyak. Pengaturan ukuran *global seeds* dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Pengaturan ukuran *global seeds*

Setelah ukuran dari *global seeds* telah diatur, maka selanjutnya *mesh* dapat dilakukan menggunakan fitur *mesh part instance*. Contoh hasil dari *mesh* yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.19.



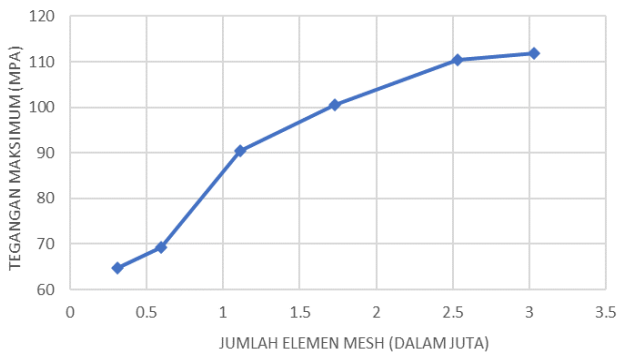
Gambar 4.19 Contoh model yang telah di-*mesh*

4.3. Analisis Numerik

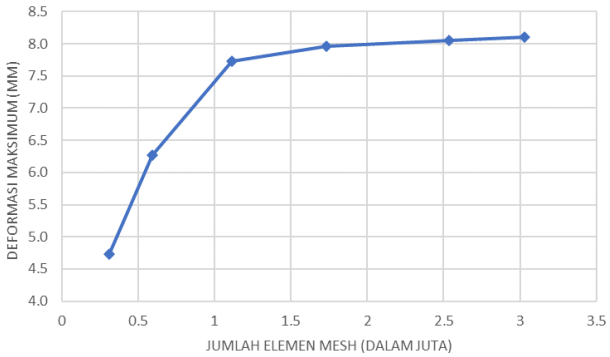
4.3.1. Studi Konvergensi (*Convergence Study*)

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab 4.2.6 mengenai *Meshing*, semakin kecil ukuran elemen *mesh* maka jumlah elemen *mesh* akan semakin banyak. Jumlah elemen yang banyak akan membuat analisis numerik semakin presisi. Akan tetapi, tingginya jumlah elemen *mesh* akan menambah beban kerja dari *hardware* dan meningkatkan durasi proses *running* dari sebuah analisis. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi konvergensi (sering juga disebut sebagai analisis *grid independence*) untuk mencari jumlah elemen mesh yang optimal dimana hasil yang diperoleh mendekati hasil sebenarnya dengan jumlah *mesh* yang sesedikit mungkin. Selisih antara *output* percobaan kedua harus kurang dari 2% jika dibandingkan dengan percobaan yang pertama.

Studi konvergensi dilakukan menggunakan dua variabel yaitu tegangan dan deformasi. Kedua variabel harus memenuhi syarat konvergen agar hasil dapat dianggap valid. Pada model geladak konvensional, konvergensi terjadi pada jumlah elemen *mesh* sekitar satu juta delapan ratus ribu elemen. Grafik dari konvergensi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.20.



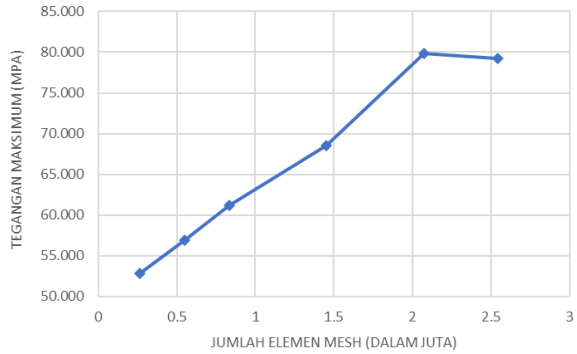
(a) Tegangan



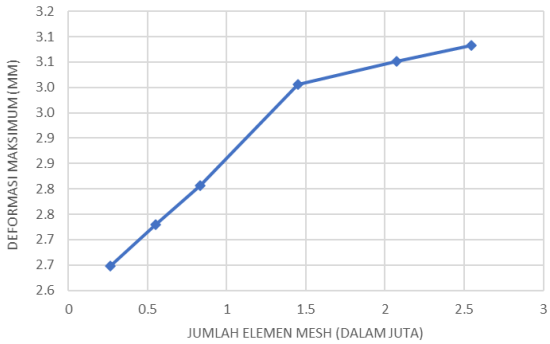
(b) Deformasi

Gambar 4.20 Konvergensi model geladak konvensional

Pada model geladak *sandwich*, model konvergen pada jumlah elemen *mesh* sekitar dua juta elemen. Hal ini terjadi karena model mendapat tambahan *core* dan *faceplate* sehingga jumlah elemen *mesh* yang dibutuhkan agar model konvergen bertambah. Grafik studi konvergensi pada model geladak *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 4.21.



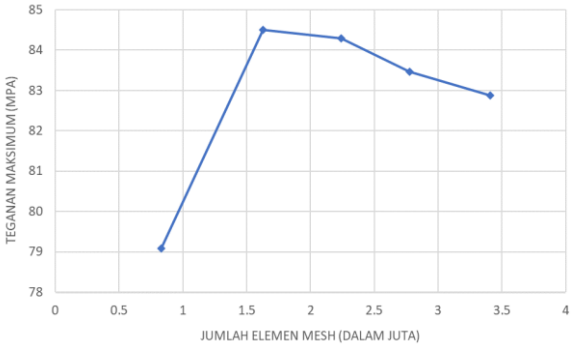
(a) Tegangan



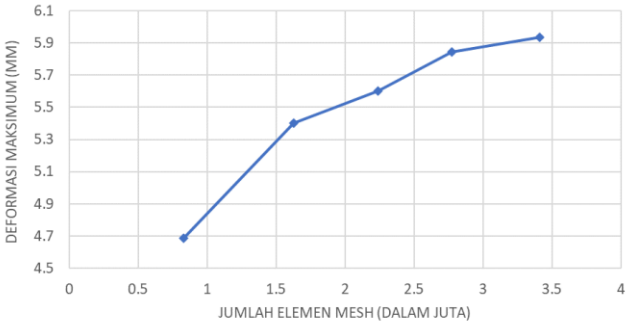
(b) Deformasi

Gambar 4.21 Pada model geladak *sandwich*

Pada model sisi konvensional, konvergensi model terjadi pada jumlah elemen mesh sekitar dua juta tujuh ratus ribu. Konvergensi model sisi terjadi pada jumlah elemen yang lebih tinggi dikarenakan model sisi memiliki konfigurasi struktur yang lebih rumit dan memiliki jumlah partisi model yang lebih banyak. Grafik studi konvergensi model sisi dapat dilihat pada Gambar 4.22.



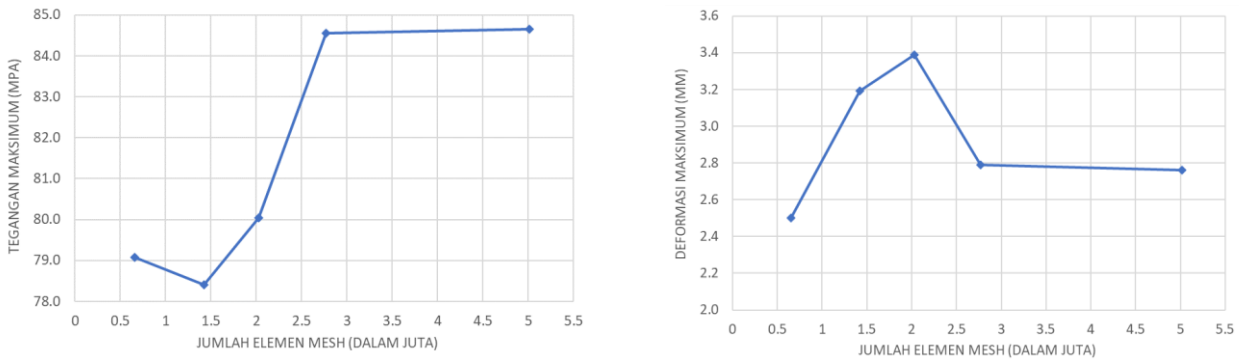
(a) Tegangan



(b) Deformasi

Gambar 4.22 Konvergensi model sisi konvensional

Pada model sisi *sandwich*, model konvergen pada jumlah mesh sekitar empat juta tiga ratus ribu elemen. Model ini memiliki jumlah konvergensi *mesh* tertinggi dibandingkan tiga model lainnya. Struktur yang kompleks dan tebanya konfigurasi pelat *sandwich* membuat model ini memiliki kesulitan dalam mendapatkan nilai konvergensinya. Pada Gambar 4.23 dapat dilihat grafik konvergensi model sisi *sandwich*.



(a) Tegangan (b) Deformasi

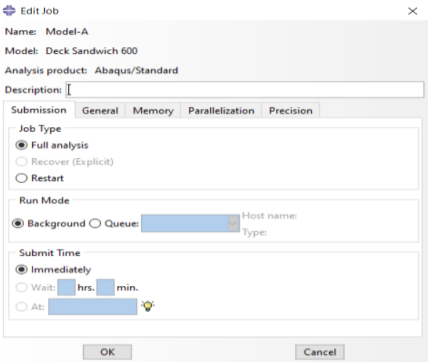
Gambar 4.23 Konvergensi model sisi *sandwich*

Jumlah elemen *mesh* yang telah diperoleh tersebut akan dijadikan patokan dalam melakukan analisis numerik pada model dengan variasi jarak penegar.

4.3.2. Pengaturan Job

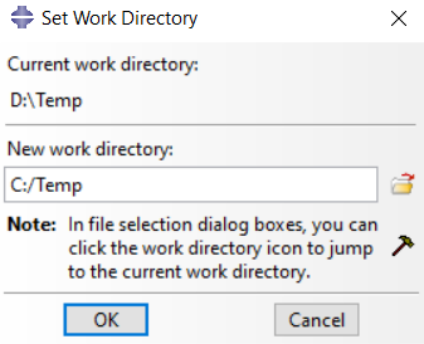
Setelah diperoleh jumlah elemen *mesh* yang konvergen untuk model konvensional dan model *sandwich*, maka analisis elemen hingga dapat dilakukan. Pada variasi model jarak penegar terdapat beberapa partisi yang berbeda satu dengan yang lainnya, oleh karena itu jumlah elemen *mesh* yang digunakan akan memiliki sedikit perbedaan jumlah satu dengan yang lainnya.

Analisis dilakukan dengan membuat Job pada *software* elemen hingga, dalam hal ini adalah Elemen hingga. Pada job tersebut diatur agar jenis job yang akan dijalankan adalah *full analysis*, kemudian diatur *scratch directory* dan format hasil *running* yang akan dibuat. Pada penelitian ini digunakan format .odb sebagai format hasil. Pada job ini juga diatur mengenai alokasi memori, prosesor, dan GPU *acceleration* dimana seluruh konfigurasi tersebut dibiarkan secara *default*. Gambar 4.24 merupakan contoh *interface* dari job.



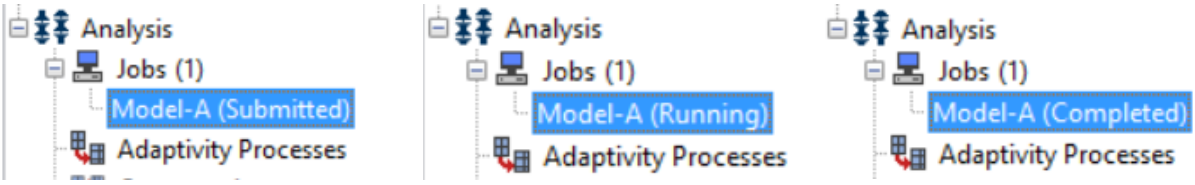
Gambar 4.24 Interface dari Job pada Elemen hingga

Selain job, *work directory* juga dapat diatur sesuai dengan kebutuhan kita. *Work directory* merupakan tempat hasil *running* akan disimpan sehingga pengaturan *work directory* yang tepat akan membantu dalam proses pengolahan hasil nanti. Gambar 4.25 merupakan contoh interface dari pengaturan *work directory*.



Gambar 4.25 Pengaturan *work directory*

Setelah seluruh rangkaian pekerjaan tersebut telah dilaksanakan, maka proses analisis numerik dapat dijalankan dengan cara men-*submit* job yang telah dibuat sebelumnya. *Software* akan menjalankan rangkaian *input* dan proses akan berjalan dalam waktu yang berbeda-beda bergantung pada kerumitan model dan ketelitian *mesh*. Gambar 4.26 merupakan contoh job yang telah di-*submit*, telah berjalan (*running*), dan telah selesai (*completed*). Hasil analisis akan dipaparkan pada Bab 5.



(a) (b) (c)

Gambar 4.26 (a) Pekerjaan yang telah diajukan (*submitted*); (b) Pekerjaan yang telah Berjalan (*running*); (c) Pekerjaan yang telah Selesai (*completed*)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5
HASIL DAN PEMBAHASAN

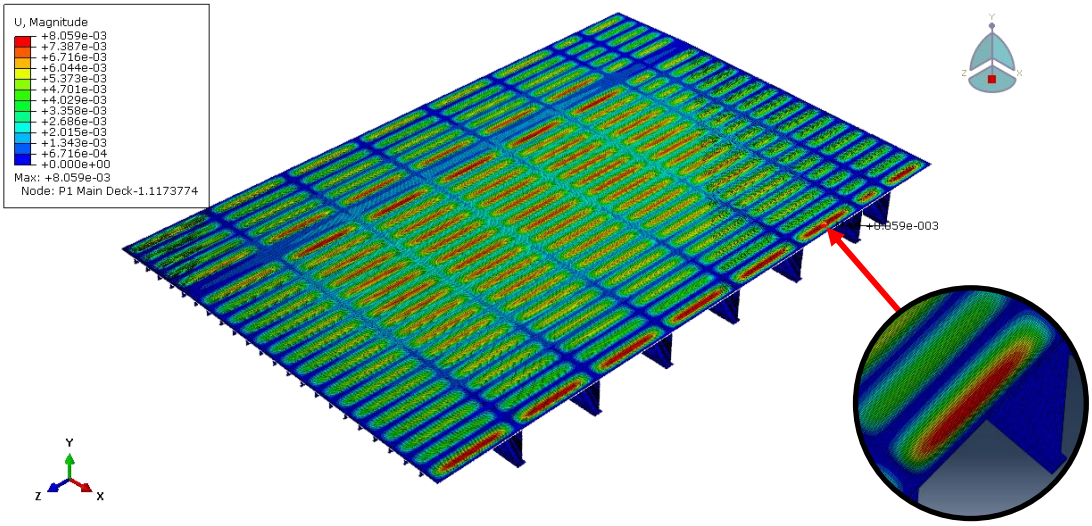
5.1. Analisis Penerapan Sandwich pada Geladak

Setelah seluruh rangkaian analisis numerik telah selesai dilakukan, maka perlu dilakukan pembahasan mengenai hasil penelitian yang telah didapatkan. Pada Bab 5 ini, pembahasan antara penerapan *sandwich* pada geladak dilakukan secara terpisah dengan penerapan *sandwich* pada sisi. Pembahasan akan dilakukan terhadap tiga faktor yaitu deformasi, tegangan, dan pengurangan berat struktur dan ketiga faktor tersebut akan dibandingkan dengan nilai yang diperoleh pada struktur dengan pelat baja konvensional.

5.1.1. Deformasi

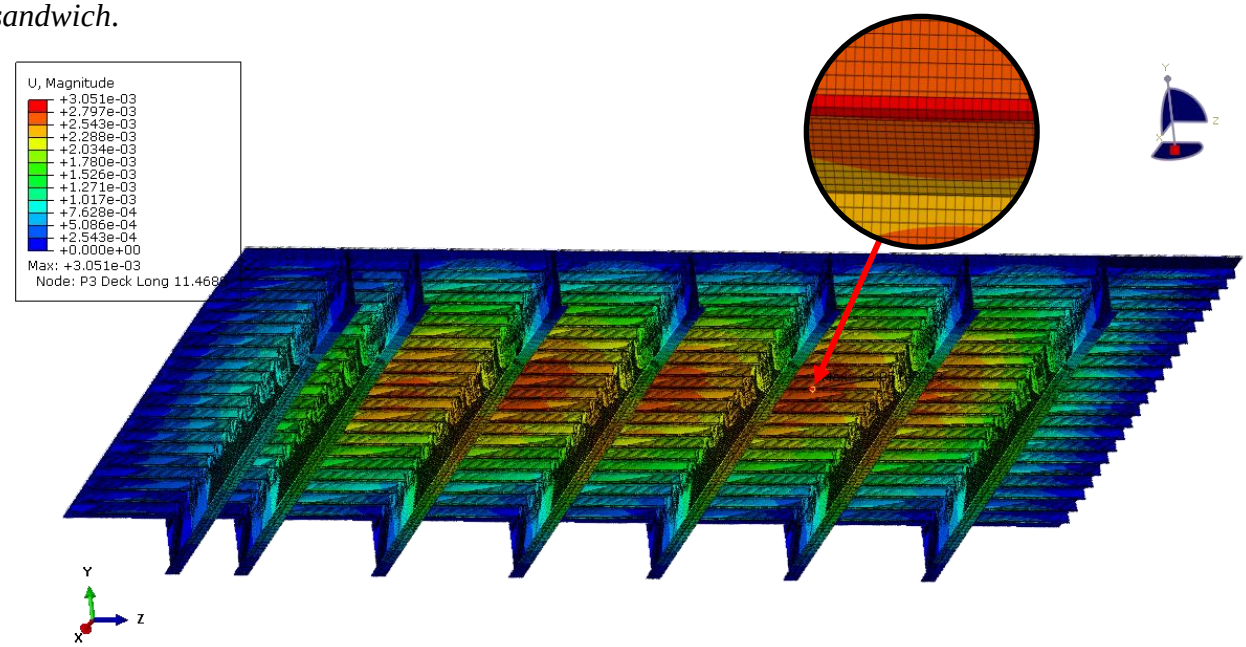
Deformasi atau *displacement* merupakan pergeseran suatu titik pada model dari posisi awal (saat model belum dikenakan beban) hingga posisi akhir setelah model dikenakan beban statis. Pada *software* Elemen hingga, pergeseran ini disebut sebagai *magnitude*. Deformasi merupakan salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam mencari nilai kekuatan saat melakukan studi numerik. Material yang ulet cenderung mampu menerima tegangan yang tinggi namun deformasi yang terjadi juga akan tinggi. Oleh karena itu, pengurangan nilai deformasi merupakan hal yang penting untuk diamati.

Pada model konvensional, nilai deformasi maksimum yang terjadi adalah 8.059 mm dimana deformasi tersebut terjadi pada pelat geladak. Lokasi deformasi maksimum pada model konvensional dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Kontur deformasi pada model geladak konvensional

Kontur deformasi pada model *sandwich* cenderung terpusat pada tengah geladak. Berbeda dengan model geladak konvensional, pada model *sandwich* deformasi maksimum terjadi pada pembujur geladak bukan pada pelat geladak. Nilai deformasi juga terlihat jika dibandingkan dengan model konvensional. Pada Gambar 5.2 dapat dilihat gambar kontur deformasi model geladak *sandwich*.



Gambar 5.2 Kontur deformasi pada model geladak *sandwich*

Pada model *sandwich*, nilai deformasi maksimum yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.1 untuk setiap variasi jarak penegar.

Tabel 5.1 Deformasi maksimum pada model geladak *sandwich*

Model	Jarak Penegar (mm)	Deformasi Maksimum (mm)
A	600	3.051
B	650	3.095
C	700	3.128
D	750	3.177

Dapat dilihat pada tabel tersebut bahwa deformasi maksimum terbesar terjadi pada model D dengan jarak penegar 750 mm sedangkan deformasi maksimum terkecil terjadi pada model A dengan jarak penegar 600 mm. Hal ini tepat karena semakin besar area yang tidak disangga oleh penegar maka semakin tinggi deformasi yang terjadi. Meskipun demikian, selisih antara kedua nilai deformasi tersebut tidak signifikan yaitu sekitar 0.126 mm.

Selanjutnya, nilai deformasi maksimum pada model *sandwich* tersebut akan dibandingkan dengan nilai deformasi maksimum pada model konvensional. Hal ini dilakukan untuk memperoleh

nilai pengurangan deformasi dan presentase pengurangannya. Pengurangan deformasi dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Komparasi nilai deformasi maksimum pada model geladak

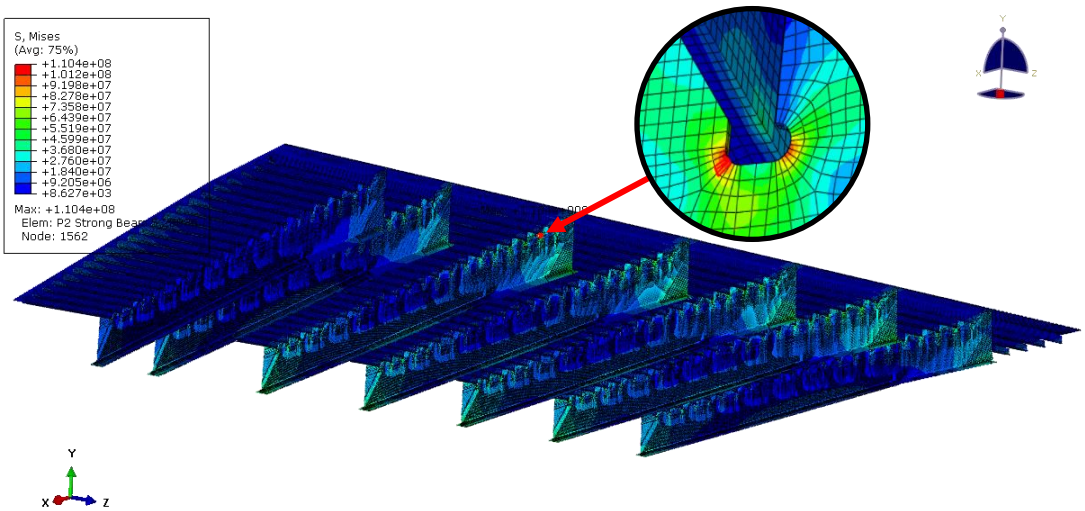
Model	Jenis	Jarak Penegar (mm)	Deformasi Maksimum (mm)	**Pengurangan Deformasi (mm)**	**Pengurangan Deformasi (%)**
Existing	Baja Konvensional	600	8.059	-	-
A	Sandwich	600	3.051	5.007	62.137%
B	Sandwich	650	3.095	4.964	61.596%
C	Sandwich	700	3.128	4.931	61.182%
D	Sandwich	750	3.177	4.881	60.574%

Dari Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa pengurangan nilai deformasi terkecil terjadi pada model D dengan pengurangan sebesar 3.177 mm atau sekitar 60.574% dari nilai deformasi maksimum pada model konvensional, sedangkan pengurangan deformasi terbesar terjadi pada model A dengan pengurangan sebesar 5.007 mm atau sekitar 62.137% dari nilai deformasi maksimum pada model konvensional. Pengurangan nilai deformasi maksimum ini akan menjadi salah satu pertimbangan dalam pemilihan variasi jarak penegar yang baik.

5.1.2. Tegangan

Tegangan merupakan gaya yang bekerja pada suatu permukaan dengan suatu satuan luas. Nilai tegangan digunakan sebagai patokan kekuatan sebuah material dimana semakin tinggi tegangan yang mampu dikenakan pada sebuah material maka semakin tinggi juga nilai kekuatannya. Pada penelitian ini, tegangan yang dianalisis adalah tegangan von Mises.

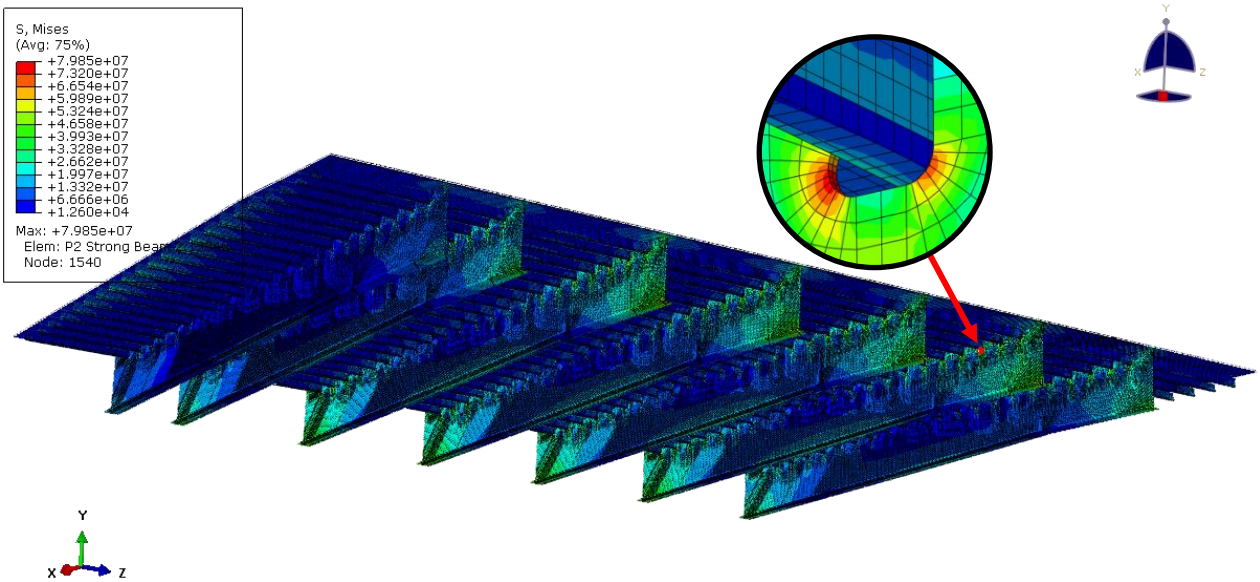
Pada model konvensional, tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 110.371 MPa dan konsentrasi tegangan maksimum pada model terjadi di *scallop* pada *strong beam* yang dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Lokasi konsentrasi tegangan maksimum pada geladak konvensional

Hal ini terjadi karena pada suatu struktur konstruksi, tegangan yang tinggi cenderung terjadi pada bukaan/lubang berukuran kecil (*minor opening*). Hal ini memang tidak dapat dihindari karena bukaan perlu dibuat agar konstruksi memanjang kapal dapat menembus konstruksi melintangnya. Oleh karena itu, untuk mengurangi nilai konsentrasi tegangan tersebut maka pada *scallop* umumnya diberi kelengkungan (rounded) pada sudut-sudut lubang agar konsentrasi tegangan bisa dikurangi dan pada beberapa kasus diberi *collar plate* agar kekuatan pelat yang dilubangi tetap terjaga.

Pada model *sandwich*, letak konsentrasi tegangan terjadi juga pada tempat yang sama untuk seluruh variasi jarak penegar. Lokasi konsentrasi tegangan pada struktur *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Lokasi konsentrasi tegangan pada geladak *sandwich*

Dapat dilihat bahwa konsentrasi tegangan pada model *sandwich* memiliki persebaran yang cenderung serupa dengan model konvensional, hanya saja tegangan maksimum pada geladak konvensional terjadi pada *strong beam* nomor 3 sedangkan pada geladak *sandwich* terjadi pada *strong beam* nomor 6. Meskipun demikian, tegangan tertinggi pada kedua model terjadi pada *scallop*. Nilai tegangan pada model *sandwich* juga berkurang secara signifikan dibandingkan dengan model konvensional. Tabel 5.3 merupakan hasil analisis numerik pada model geladak *sandwich*.

Tabel 5.3 Tegangan maksimum pada model geladak *sandwich*

Model	Jarak Penegar (mm)	Tegangan Maksimum (MPa)
A	600	79.849
B	650	81.017
C	700	73.355
D	750	77.213

Pengurangan nilai tegangan menjadi salah satu faktor penting dalam mempertimbangkan cocok atau tidaknya material digunakan sebagai bahan dasar sebuah konstruksi kapal. Pada analisis yang telah dilakukan, nilai tegangan pada struktur geladak dengan pelat baja konvensional adalah 110.371 MPa. Nilai tegangan ini akan menjadi patokan dalam melakukan perhitungan pengurangan tegangan. Tabel 5.4 merupakan perbandingan nilai tegangan maksimum pada geladak *sandwich* dibandingkan dengan geladak konvensional.

Tabel 5.4 Komparasi nilai tegangan maksimum pada model geladak

Model	Jenis	Jarak Penegar (mm)	Tegangan Maksimum (MPa)	**Pengurangan Tegangan (MPa)**	**Pengurangan Tegangan (%)**
Existing	Baja Konvensional	600	110.371	-	-
A	Sandwich	600	79.849	30.522	27.654%
B	Sandwich	650	81.017	29.354	26.596%
C	Sandwich	700	73.355	37.016	33.538%
D	Sandwich	750	77.213	33.158	30.043%

Dapat dilihat bahwa pengurangan nilai tegangan akibat penerapan *sandwich* cukup signifikan apabila dibandingkan dengan nilai tegangan pada konfigurasi struktur geladak dengan pelat baja konvensional. Pengurangan nilai tegangan terendah terjadi pada model B yaitu sebesar 29.354 MPa atau sekitar 26.596% dari tegangan pada model geladak konvensional, sedangkan untuk pengurangan nilai tegangan tertinggi terjadi pada model C dimana pengurangan tegangan yang terjadi adalah sebesar 37.016 MPa atau sekitar 33.538% dari tegangan model geladak konvensional.

Selain pengurangan tegangan, hal penting yang juga harus dipertimbangkan dalam menggunakan sebuah konfigurasi konstruksi baru adalah mengenai tegangan izin. Tegangan maksimum yang terjadi pada sebuah struktur konstruksi harus memenuhi kriteria tegangan izin agar dapat dikatakan layak untuk digunakan, dimana nilai tegangan izin baja menurut BV adalah 0.7 dari *yield strength* (σ_y) dimana nilai σ_y baja adalah 235 Mpa sehingga tegangan izin yang digunakan yaitu **164.5 MPa**. Pada Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa nilai tegangan maksimum pada struktur geladak *sandwich* telah memenuhi syarat tegangan izin untuk seluruh model variasi jarak penegar.

5.1.3. Pengurangan Berat Struktur

Pengurangan berat dihitung secara lokal yaitu hanya pada struktur geladak saja. Berat dihitung untuk setiap bagian yang ada pada struktur tersebut dengan cara mengalikan nilai volume dengan massa jenisnya masing masing. Massa jenis dari baja adalah 7.85 ton/m^3 sedangkan massa jenis dari polyurethane adalah 1.098 ton/m^3. Pada penelitian ini, pengurangan berat yang terjadi diakibatkan oleh dua hal utama, yaitu akibat pengurangan berat pelat dan pengurangan berat pembujur. Konfigurasi pelat *sandwich* cenderung mempunyai selisih berat yang cukup signifikan akibat adanya

selisih ketebalan pelat baja yang cukup jauh dan massa jenis *core* yang rendah. Tabel 5.5 merupakan berat struktur geladak yang menggunakan pelat baja konvensional.

Tabel 5.5 Perhitungan berat struktur geladak pada model konvensional

ITEM		Jml	Panjang (mm)	Luas (mm^2)	Dimensi (mm)						Volume (m^3)	Berat (Ton)
					Lebar Pelat	tebal pelat	web	t_w	face	t_f		
1	Pelat Geladak 1	1	21750		3300	15					1.077	8.452
2	Pelat Geladak 2	1	21750		10562	15					3.446	27.050
3	Strong Beam	5	13500				1250	12	360	16	1.401	11.000
4	Penegar Flat Bar	42		94825		10					0.040	0.313
5	Penegar Flange											
	Web	42		319426		11					0.148	1.158
	Face	42		117789		11					0.054	0.427
6	Pembujur Geladak	22	21750				199	11	43	22	1.500	11.776
					ρ baja = 7.85 ton/m^3					Total=	7.666	60.175

Dapat dilihat bahwa berat dari keseluruhan struktur geladak konvensional untuk satu kompartemen kapal adalah 60.175 ton. Nilai ini akan menjadi patokan dalam perbandingan pengurangan berat akibat penerapan pelat *sandwich*. Kemudian perhitungan berat tersebut dilakukan pada seluruh variasi model geladak *sandwich*. Perhitungan berat masing-masing variasi dapat dilihat pada Lampiran D.

Setelah diperoleh nilai berat setiap variasi model geladak *sandwich*, maka akan dihitung nilai pengurangan beratnya untuk setiap variasi jarak penegar. Tabel 5.6 adalah pengurangan berat pada model geladak *sandwich*.

Tabel 5.6 Pengurangan berat model geladak *sandwich*

Model	Jenis	Jarak Penegar (mm)	Berat Model (ton)	**Pengurangan Berat (ton)**	**Pengurangan Berat (%)**
Existing	Baja Konvensional	600	60.175	-	-
A	Sandwich	600	50.229	9.946	16.528%
B	Sandwich	650	49.694	10.481	17.418%
C	Sandwich	700	48.623	11.552	19.197%
D	Sandwich	750	48.088	12.087	20.086%

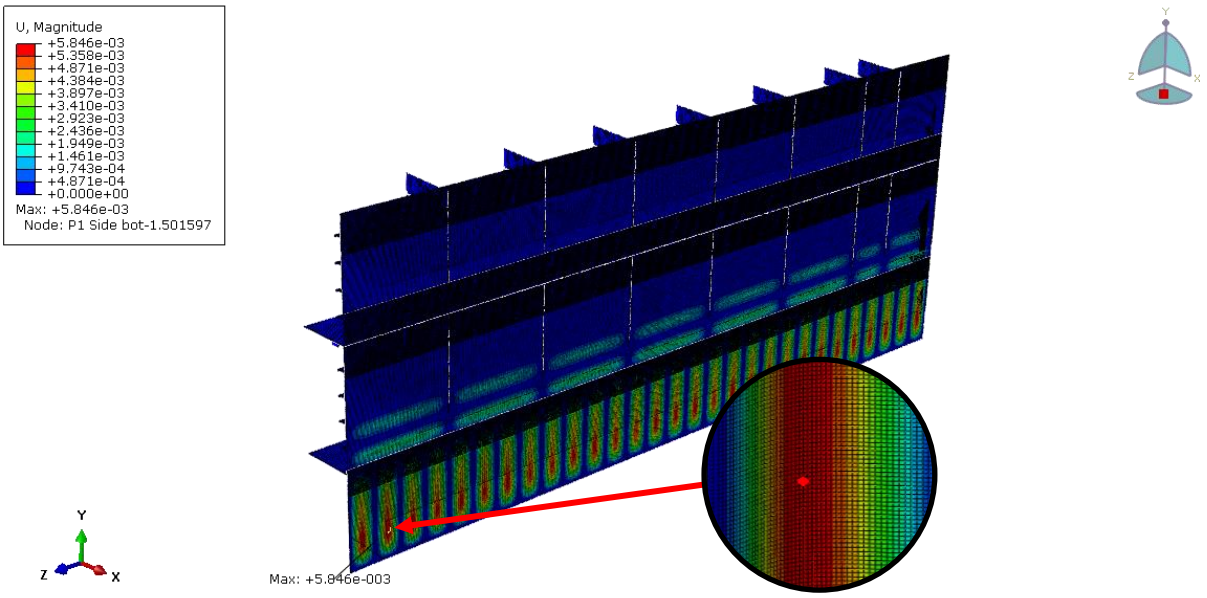
Dapat dilihat pada tabel tersebut bahwa nilai pengurangan berat terkecil terjadi pada model A dengan pengurangan berat sebesar 9.946 ton atau sekitar 16.528% dari berat struktur konvensional, sedangkan nilai pengurangan terbesar terjadi pada model D dengan pengurangan berat sebesar 12.087 ton atau sekitar 20.086%. Perlu diperhatikan bahwa nilai pengurangan berat hanya dilakukan secara lokal pada struktur geladak pada kompartemen ruang muat saja, bukan kapal utuh.

5.2. Analisis Penerapan Sandwich pada Sisi

Analisis serupa juga dilakukan pada model *sandwich* untuk struktur sisi. Nilai deformasi, teganganm, berat kompartemen akan dihitung dan dibandingkan satu dengan lainnya agar dapat terlihat nilai pengurangan terbesar untuk setiap variasi model yang telah dianalisis. Penamaan model dilakukan serupa dengan model struktur geladak yaitu model A, B, C, dan D dengan masing-masing jarak penegar 650 mm, 700 mm, 750 mm, 800 mm.

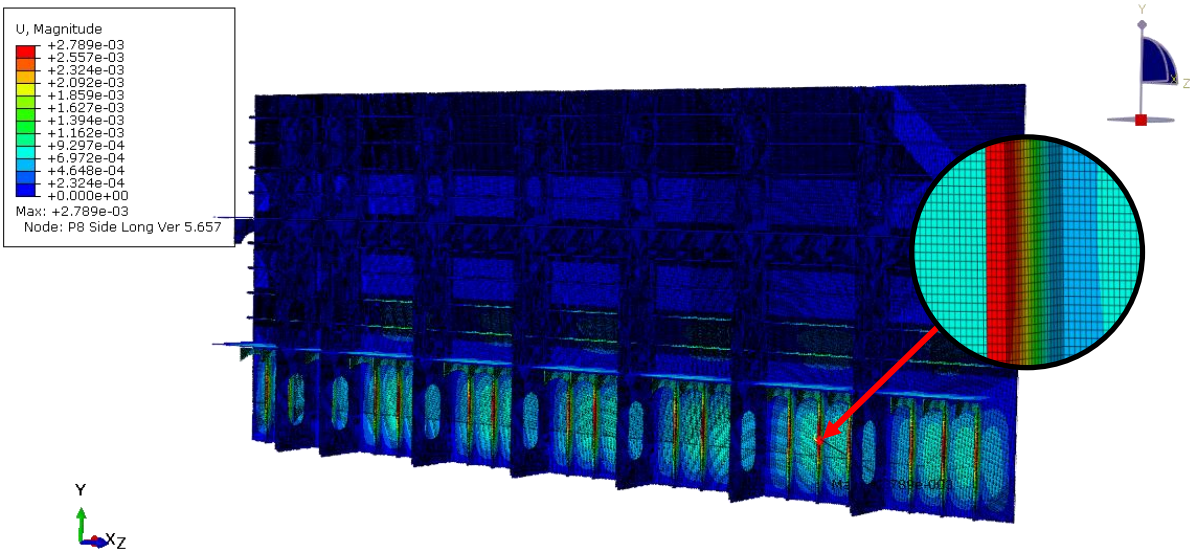
5.2.1. Deformasi

Pada model sisi konvensional, nilai dari deformasi maksimum adalah 5.938 mm. Apabila kita perhatikan, nilai deformasi ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan nilai deformasi pada geladak konvensional dimana deformasi maksimumnya adalah 8.059 mm. Lokasi deformasi maksimum pada model sisi konvensional dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Kontur deformasi pada model sisi konvensional

Dapat dilihat juga pada Gambar 5.6 dimana kontur deformasi pada model sisi *sandwich* cukup berbeda dengan kontur deformasi pada sisi konvensional. Hal ini disebabkan oleh ketebalan pelat *sandwich* yang cukup signifikan dibandingkan dengan pelat baja konvensional sehingga deformasi tertinggi tidak terjadi pada *side shell* melainkan pada pembujur sisi vertikal.



Gambar 5.6 Kontur deformasi pada model sisi *sandwich*

Setelah analisis numerik dilakukan, maka selanjutnya perlu membuat perbandingan/komparasi deformasi maksimum antara model sisi konvensional dengan model sisi *sandwich*. Tabel 5.7 menunjukkan nilai deformasi maksimum pada setiap model *sandwich* dengan variasi jarak penegar.

Tabel 5.7 Deformasi maksimum pada model sisi *sandwich*

Nomor Model	Jarak Penegar (mm)	Deformasi Maksimum (mm)
A	650	2.746
B	650	2.786
C	700	2.783
D	750	2.780

Setelah nilai deformasi maksimum pada seluruh variasi model sisi *sandwich* telah diperoleh, maka selanjutnya dilakukan perbandingan nilai tersebut dengan nilai deformasi maksimum pada model sisi konvensional. Tabel 5.8 menunjukkan nilai pengurangan deformasi pada model sisi *sandwich*.

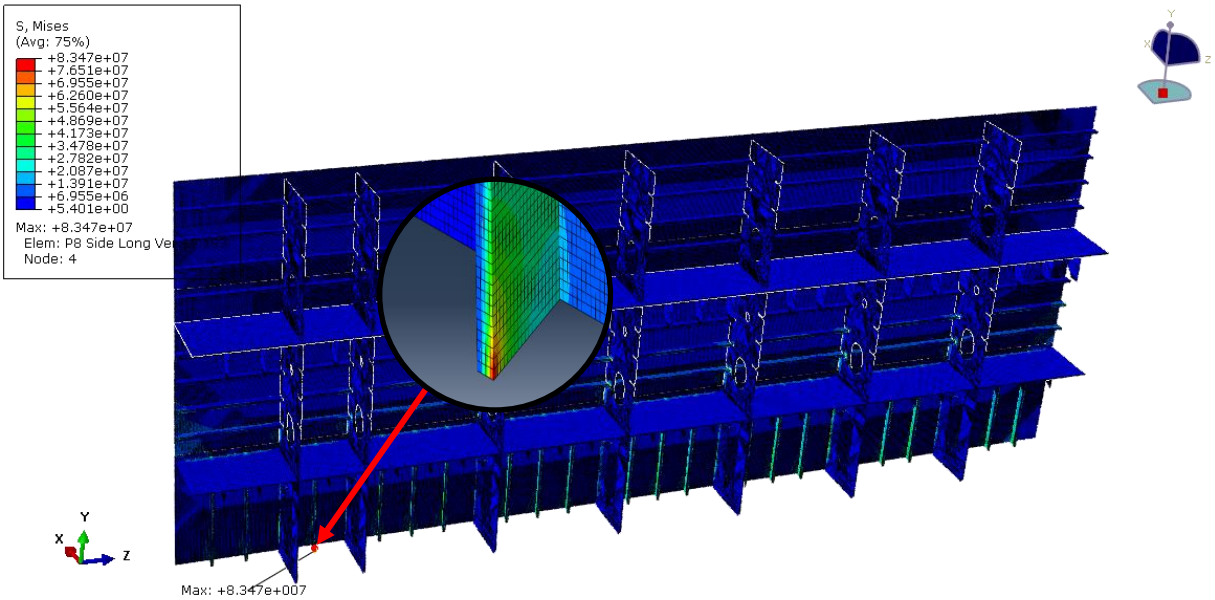
Tabel 5.8 Komparasi nilai deformasi maksimum pada model sisi

Nomor Model	Jenis	Jarak Penegar (mm)	Deformasi Maksimum (mm)	**Pengurangan Deformasi (mm)**	**Pengurangan Deformasi (%)**
Existing	Baja Konvensional	650	5.938	-	-
A	Sandwich	650	2.746	3.191	53.748%
B	Sandwich	700	2.786	3.152	53.078%
C	Sandwich	750	2.783	3.155	53.133%
D	Sandwich	800	2.780	3.158	53.189%

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa pengurangan deformasi pada model sisi berkisar antara 50% atau setengah dari deformasi pada model konvensional. Nilai deformasi maksimum pada model konvensional adalah 5.938 mm sedangkan pada model *sandwich* nilai deformasi maksimum yang terjadi berkisar antara 2.7 mm. Pengurangan nilai deformasi maksimum terkecil terjadi pada model B yaitu sebesar 3.152 mm sedangkan pengurangan terbesar terjadi pada model A dengan nilai pengurangan 3.191 mm.

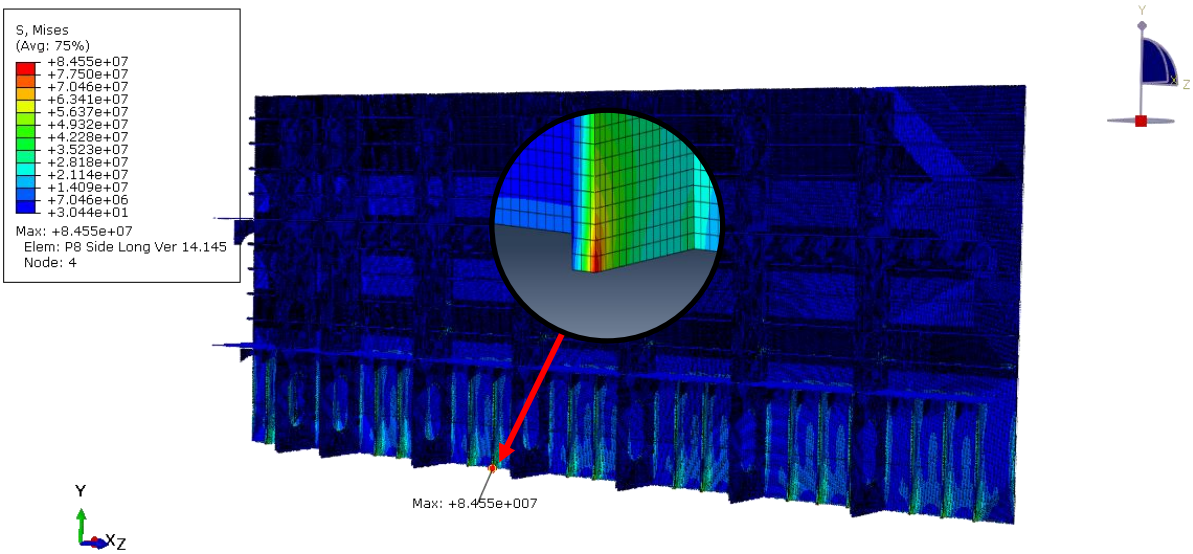
5.2.2. Tegangan

Pada model sisi konvensional tegangan maksimum yang terjadi adalah 83.465 MPa dan lokasi konsentrasi tegangan terjadi di pembujur sisi bagian bawah. Hal ini berbeda dengan kasus yang terjadi pada model geladak dikarenakan pembebanan tertinggi pada model sisi terjadi pada bagian bawah model, sedangkan pada geladak pembebanan yang dilakukan adalah pembebanan merata. Gambar 5.7 merupakan lokasi terjadinya konsentrasi tegangan pada model sisi konvensional.



Gambar 5.7 Lokasi konsentrasi tegangan pada model sisi konvensional

Lokasi konsentrasi tegangan maksimum pada model sisi *sandwich* juga terletak pada pembujur sisi bawah namun terjadi pada pembujur yang berbeda dengan yang terjadi pada model sisi konvensional. Lokasi konsentrasi tegangan maksimum pada model sisi *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Lokasi konsentrasi tegangan pada model sisi *sandwich*

Setelah nilai tegangan pada model konvensional diperoleh, maka selanjutnya adalah mencari nilai tegangan pada seluruh model sisi *sandwich* dengan variasi jarak penegar. Kedua nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai tegangan pada baja konvensional. Nilai tegangan pada variasi model tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Tegangan maksimum pada model sisi *sandwich*

Nomor Model	Jarak Penegar (mm)	Tegangan Maksimum (MPa)
A	650	84.249
B	700	84.504
C	750	84.448
D	800	84.384

Kemudian nilai tegangan tersebut dikomparasi terhadap nilai tegangan pada model sisi konvensional untuk mencari nilai pengurangan tegangannya. Komparasi tegangan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Komparasi nilai tegangan maksimum pada model sisi

Nomor Model	Jenis	Jarak Penegar (mm)	Tegangan Maksimum (MPa)	**Selisih Tegangan (MPa)**	**Selisih Tegangan (%)**
Existing	Baja Konvensional	650	83.465	-	-
A	Sandwich	650	84.249	0.784	0.939%
B	Sandwich	700	84.504	1.039	1.244%
C	Sandwich	750	84.448	0.983	1.178%
D	Sandwich	800	84.384	0.919	1.101%

Dapat dilihat pada tabel tersebut bahwa pada struktur sisi dengan penerapan pelat *sandwich* tidak terjadi pengurangan tegangan. Pada struktur konvensional nilai tegangan maksimumnya adalah 83.465 MPa sedangkan pada struktur sisi *sandwich* nilai tegangan maksimumnya mengalami peningkatan menjadi sekitar 84 MPa. Meskipun demikian, peningkatan tegangan ini tidak terlalu signifikan dimana selisih tegangan terbesar terjadi pada model B yaitu sekitar 1.039 MPa atau sekitar 1.244% sedangkan selisih tegangan terkecil terjadi pada model A dengan selisih tegangan sekitar 0.784 MPa atau sektiar 0.939%. Seluruh nilai tegangan yang telah diperoleh tersebut memenuhi kriteria tegangan izin sehingga meskipun terjadi peningkatan nilai tegangan, struktur tersebut masih layak untuk digunakan karena nilai tegangan maksimumnya masih dibawah tegangan izin.

5.2.3. Pengurangan Berat Struktur

Serupa dengan perhitungan pengurangan berat struktur geladak, pada model sisi perhitungan berat juga dilakukan secara lokal pada struktur tersebut saja. Perhitungan berat struktur sisi konvensional menunjukkan bahwa berat struktur tersebut adalah 60.744 ton. Nilai ini sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan struktur geladak konvensional. Pada

Tabel 5.11 merupakan perhitungan berat struktur sisi konvensional.

Tabel 5.11 Perhitungan berat struktur sisi konvensional

ITEM		Jml	Panjang (mm)	Luas (mm^2)	Dimensi (mm)						Volume (m^3)	Berat (Ton)
					Lebar Pelat	tebal pelat	web	t_w	face	t_f		
1	Pelat Sisi Bawah (t=14)	1	21750		2550	14					0.776	6.095
2	Pelat Sisi Tengah (t=12)	1	21750		3900	12					1.018	7.991
3	Pelat Sisi Atas (t=13)	1	21750		2400	13					0.679	5.327
4	Pelat Sisi Dalam Bawah (t=14)	1	21750		2689	14					0.819	6.428
5	Pelat Sisi Dalam Tengah (t=11)	1	21750		3890	11					0.931	7.306
6	Pelat Sisi Dalam Atas (t=15)	1	21750		2400	15					0.783	6.147
7	Senta	3	21750		1486	10					0.970	7.611
8	Web Frame Bawah (t=12)	5		3092639.203		12					0.186	1.457
9	Web Frame Tengah (t=11)	5		4174248.882		11					0.230	1.802
10	Web Frame Atas (t=11)	5		3958328.916		11					0.218	1.709
11	Pembujur Sisi 1	3	21750				199	10	42	22	0.190	1.493
12	Pembujur Sisi 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
13	Pembujur Sisi 3	4	21750				216	11	46	25	0.307	2.408
14	Pembujur Sisi Dalam 1	3	21750				199	10	42	22	0.190	1.493
15	Pembujur Sisi Dalam 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
16	Pembujur Sisi Dalam 3	4	21750				216	11	46	25	0.307	2.408
				ρ baja = 7.85 ton/m^3	ρ core =		1.098	ton/m^3		Total=	7.738	60.744

Perhitungan berat struktur tersebut dilakukan pada seluruh variasi jarak penegar. Tabel perhitungan dapat dilihat pada Lampiran D. Setelah diperoleh seluruh berat konstruksi pada setiap model sisi, maka selanjutnya dibuat analisis pengurangan berat pada model sisi *sandwich*. Berat struktur pada setiap variasi model sisi *sandwich* akan dibandingkan dengan berat struktur sisi konvensional untuk diperoleh selisih beratnya. Pengurangan berat tersebut akan menjadi *output* dari penelitian ini. Analisis pengurangan berat model sisi dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Analisis pengurangan berat model sisi

Model	Jenis	Jarak Penegar (mm)	Berat Model (ton)	**Pengurangan Berat (ton)**	**Pengurangan Berat (%)**
Existing	Baja Konvensional	650	60.744	-	-
A	Sandwich	650	57.646	2.529	4.202%
B	Sandwich	700	56.442	3.733	6.203%
C	Sandwich	750	56.442	3.733	6.203%
D	Sandwich	800	55.447	5.297	8.802%

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa pengurangan berat pada struktur sisi tidak sesignifikan pengurangan berat pada struktur geladak. Pada struktur sisi pengurangan berat tertinggi terjadi pada model D dengan pengurangan berat sebesar 5.297 ton atau sekitar 8.802%. Hal ini tentunya cukup jauh jika dibandingkan pengurangan berat pada struktur geladak yang dimana pengurangan terbesarnya adalah sekitar 12 ton dengan presentase sekitar 20.086%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian terhadap seluruh variasi jarak penegar pada geladak dan sisi, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ketebalan *faceplate* dan *core* untuk struktur geladak adalah 4 mm dan 20 mm dan untuk struktur sisi adalah 4 mm dan 20 mm.
2. Telah diperoleh empat jenis variasi jarak penegar untuk struktur geladak yaitu 600 mm, 650 mm, 700 mm, dan 750 mm, sedangkan untuk struktur sisi yaitu 650 mm, 700 mm, 750 mm, dan 800 mm.
3. Pengurangan deformasi terbesar pada struktur geladak terjadi pada model A dengan nilai pengurangan sebesar 5.007 mm dan pada struktur sisi terjadi pada model D dengan nilai pengurangan sebesar 83.733 mm.
4. Pengurangan tegangan terbesar pada struktur geladak terjadi pada model C dengan pengurangan sekitar 37.016 MPa sedangkan pada struktur sisi tidak terjadi pengurangan tegangan.
5. Seluruh konfigurasi variasi jarak penegar memenuhi syarat tegangan izin.
6. Pengurangan berat terbesar pada struktur geladak terjadi pada model D yaitu sebesar 12.087 ton dan pada struktur sisi juga terjadi pada model D yaitu sebesar 5.297 ton.

6.2. Saran

Penulis memiliki beberapa saran terhadap penelitian selanjutnya diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Variasi jarak penegar pada geladak dan sisi dapat dibuat lebih jauh karena hasil tegangan maksimum pada model yang diteliti masih jauh dibawah tegangan izin.
2. Ketebalan *faceplate* bawah dan *faceplate* atas dapat divariasikan untuk mencari nilai pengurangan berat yang lebih optimal.

`

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Baidowi, A., Utomo, E., Indria, H., & Fiqih, D. (2015). Penggunaan Sandwich Plate System (SPS) pada Konstruksi Inner Bottom. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan Vol. 12, No. 2*, 60-68.

Biro Klasifikasi Indonesia. (2019). *Rules for Classification and Construction Volume II Rules for Hull.* Jakarta: BKI.

Borsellino, C., Calabrese, L., & Valenza, A. (2004). Experimental and Numerical Evaluation of Sandwich Composite Structures. *Composites Science and Technology*, 1709-1715.

Brooking, M. A., & Kennedy, S. J. (2004). The Performance, Safety and Production Benefits of SPS Structures for Double Hull Tankers. *Proceedings of the RINA Conference on Double Hull Tankers* (pp. 1-2). London: RINA.

Bureau Veritas. (2020). *Rules for The Classification of Steel Ships.* Paris: Bureau Veritas.

IACS. (2020). *Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers.* UK: IACS.

Llyod Register. (2019). *Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure.* UK: LR.

Momčilović, N., & Motok, M. (2009). Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of Application of Sandwich Plate System. *FME Transactions*, 123-128.

Mula, I. A. (2017). *Analisis Statis dan Dinamis Sandwich Panel Berbahan Core Material Limbah Cangkang Telur pada Konstruksi Pelat Datar Kapal.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Ramakrishnan, K. V., & Kumar, P. G. (2016). Applications of Sandwich Plate System for Ship Structures. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 83-90.

Rathnam, K. V., & Peel, L. D. (2004). Impact Resistant Fiber Reinforced Elastomer. *49th International SAMPE Symposium and Exhibition*, 75-85.

Sujiatanti, S. H., Zubaydi, A., & Budipriyanto, A. (2018). Finite Element Analysis of Ship Deck Sandwich Panel. *Applied Mechanics and Materials Vol. 874*, 134-139.

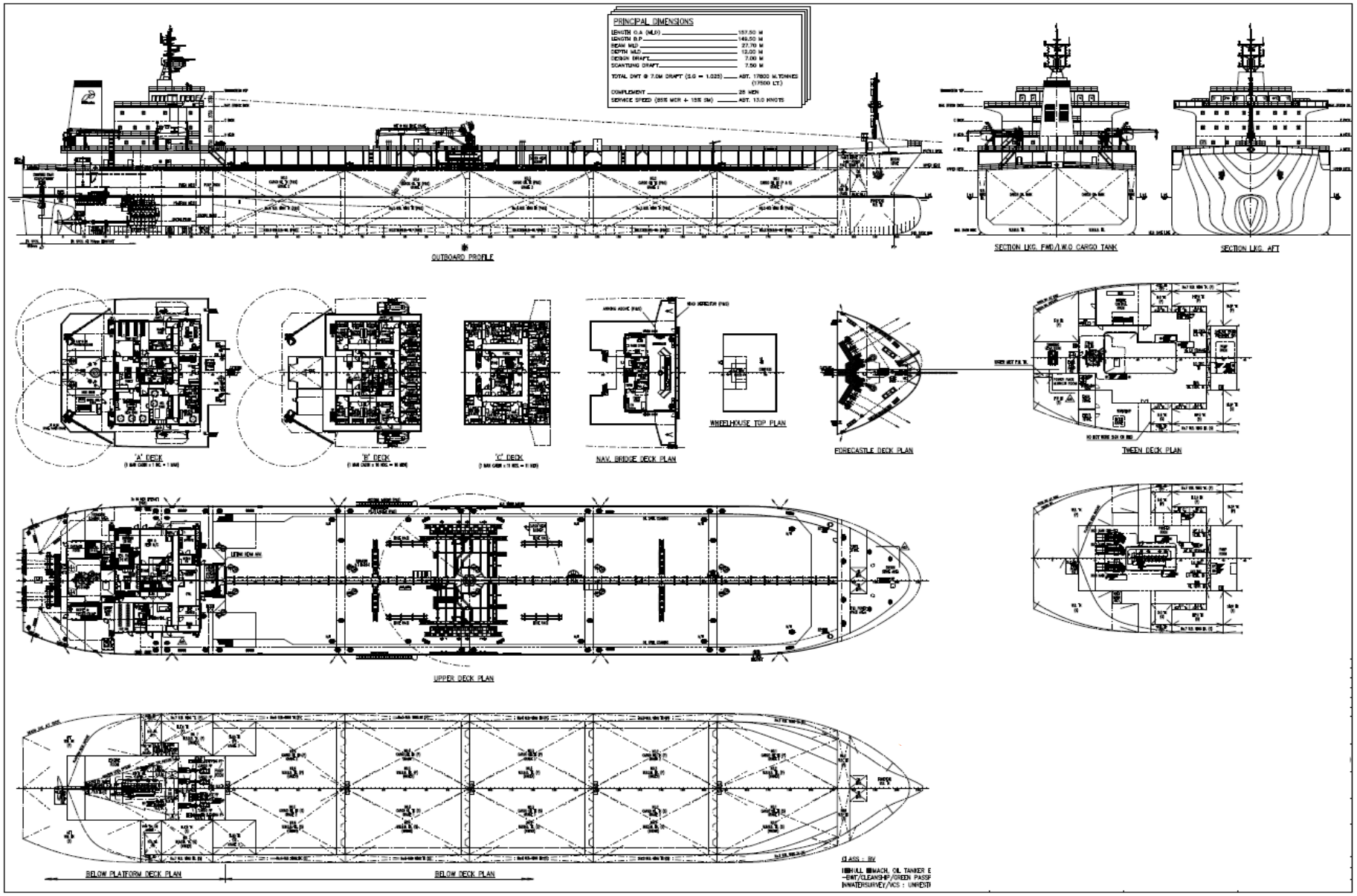
Utomo, E., Zubaydi, A., & Pratisna, P. (2016). Study of Core Material Sandwich Panel In Ship Construction. *The 2nd International Seminar on Science and*, 93-98.

Zubaydi, A., Budipriyanto, A., & Iswidodo, W. (2017). Sandwich Core Material Development for Ship Deck Structure. *The Third International Conference on Civil Engineering Research (ICCER)*, 86-91.

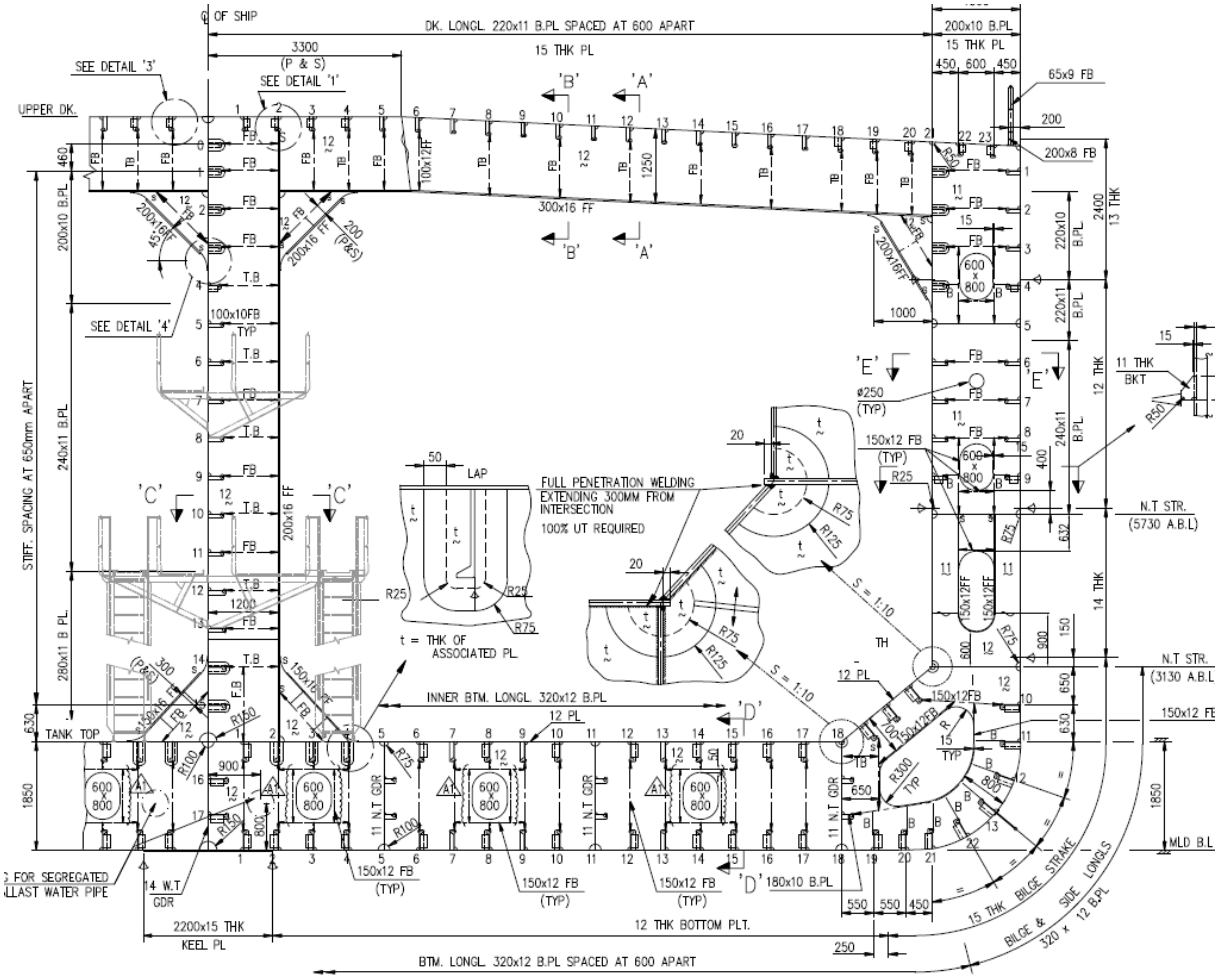
LAMPIRAN

Lampiran A *General Arrangement* Kapal *Crude Oil Tanker* 17500 DWT
Lampiran B *Midship Section* Kapal *Crude Oil Tanker* 17500 DWT
Lampiran C Perhitungan Modulus Penampang
Lampiran D Perhitungan Berat

LAMPIRAN A
GENERAL ARRANGEMENT KAPAL *CRUDE OIL TANKER* 17500 DWT


PRINCIPAL DIMENSIONS
LENGTH O.A (MLD) 157.50 M
LENGTH B.P. 149.50 M
BEAM MLD 27.70 M
DEPTH MLD 12.00 M
DESIGN DRAFT 7.00 M
SCANTLING DRAFT 7.50 M
TOTAL DWT @ 7.0M DRAFT (S.G = 1.025) ABT. 17800 M.TONNES (17500 LT)
COMPLEMENT 26 MEN
SERVICE SPEED (85% MCR + 15% SM) ABT. 13.0 KNOTS
OUTBOARD PROFILE
SECTION LKG. FWD/W.O CARGO TANK
SECTION LKG. AFT
'A' DECK
'B' DECK
'C' DECK
NAV. BRIDGE DECK PLAN
WHEELHOUSE TOP PLAN
FORECASTLE DECK PLAN
TWEEN DECK PLAN
UPPER DECK PLAN
BELOW PLATFORM DECK PLAN
BELOW DECK PLAN
CLASS - BV

LAMPIRAN B
MIDSHIP SECTION KAPAL CRUDE OIL TANKER 17500 DWT



MIDSHIP SECTION
(WEB FRAME SPACING 3000mm APART)

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN MODULUS PENAMPANG

LAMPIRAN

PERHITUNGAN MODULUS MEMANJANG

Nama Kapal:	-	Muatan=	Crude Oil		LPP=	149.5	meter
Tipe Kapal:	Product Oil Tanker	Massa Jenis=	0.715	ton/m3	B=	27.7	meter
Sistem Konstruksi:	Memanjang	DWT=	17500	ton	H=	12	meter
		LOA=	157.5	meter	T=	7	meter

No.	Nama Bagian	Jumlah [n]	Lebar (cm) [b]	Tinggi (cm) [h]	Sudut Terhadap Bidang Horizontal (derajat) [α]	Luas Total (cm^2) [A_T]	Jarak Titik Berat Thdp Alas (cm) [Z]	Momen Luas (cm^3) [AT] x [Z]	Momen Inersia (cm^4) [AT] x $[Z]^2$	$Ix.cos^2a$ [$Ix = 1/12 \times b \times h^3$]	$Iy.sin^2a$ [$Iy = 1/12 \times h \times b^3$]	M. Inersia Individu Io [$Ix.cos^2a + Iy.sin^2a$]
1	**Pelat Keel (lunas)**	1	220	1.5	0	330	0.75	247.50	185.63	61.88	0.00	61.88
2	**Pelat Alas**	2	1050	1.2	0	2520	0.60	1512.00	907.20	151.20	0.00	151.20
3	**Pelat Alas Dalam**	2	1075	1.2	0	2580	185.60	478848.00	88874188.80	154.80	0.00	154.80
4	**Pelat Bilga**	2	3215	1.5	0	9645	65.95	636121.62	41954454.2	904.22	0.00	904.22
5	**Pelat Sisi**											
	Pelat Sisi 1	2	1.5	143	90	429	256.50	110038.50	28224875.3	32791.13	36.61	32827.74
	Pelat Sisi 2	2	1.4	253.4	90	709.52	454.70	322618.74	146694742.9	170296.19	52.75	170348.93
	Pelat Sisi 3	2	1.2	387.6	90	930.24	775.20	721122.05	559013811.6	522383.68	50.81	522434.49
	Pelat Sisi 4	2	1.3	239	90	621.4	1088.5	676393.90	736254760.2	132676.53	39.83	132716.36
6	**Pelat Sekat**											
	Pelat sekat 1	1	1.2	240	90	288	305.00	87840.00	26791200.00	124014.37	31.46	124045.83
	Pelat sekat 2	1	1.1	675	90	742.5	762.50	566156.25	431694140.63	2529071.20	68.15	2529139.36
	Pelat sekat 3	1	1.5	150	90	225	1175.00	264375.00	310640625.00	37846.18	38.40	37884.59
7	**Pelat Geladak**											
	Pelat Geladak 1	2	330	1.5	0	990	1250.75	1238242.50	1548731806.88	92.81	0.00	92.81
	Pelat Geladak 2 (PS)	1	1056.2	1.5	177	1584.3	1227.75	1945124.33	2388126390.02	272.46	12195850.30	12196122.76
	Pelat Geladak 2 (SB)	1	1056.2	1.5	183	1584.3	1227.75	1945124.33	2388126390.02	1.15	146713085.08	146713086.23
8	**Platform Deck**											
	Platform Deck 1	2	150	1.1	0	330	313.55	103471.50	32443488.83	16.64	0.00	16.64
	Platform Deck 2	2	150	1	0	300	573.50	172050.00	98670675.00	12.50	0.00	12.50
	Platform Deck 3	2	150	1	0	300	1200.50	360150.00	432360075.00	12.50	0.00	12.50
9	**Bottom Girder**											
	Center Girder	1	1.4	185	90	259	93.10	24112.90	2244910.99	66267.45	38.51	66305.96
	Side Girder	6	1.1	185	90	1221	93.10	113675.10	10583151.81	52067.28	18.68	52085.96
10	**Pembujur Alas & Bilga**											
	Pembujur Alas (1-4; 6-10; 12-17; 19)											
	Web	32	1.2	28.8	90	1105.92	14.40	15925.25	229323.57	214.30	3.78	218.07
	Face	32	5.9	3.3	0	623.04	30.45	18971.57	577684.25	17.67	0.00	17.67
	Pembujur 1 Center Girder											
	Web	1	28.8	1.2	0	34.56	121.50	4199.04	510183.36	4.15	0.00	4.15
	Face	1	3.3	5.9	90	19.47	121.50	2365.61	287421.01	5.07	16.08	21.15
	Pembujur 2 Center Girder											
	Web	1	28.8	1.2	0	34.56	60.00	2073.60	124416.00	4.15	0.00	4.15
	Face	1	3.3	5.9	90	19.47	60.00	1168.20	70092.00	5.07	16.08	21.15
	Pembujur 1 Side Girder											
	Web	6	16.3	1	0	97.8	121.50	11882.70	1443748.05	1.36	0.00	1.36
	Face	6	1.8	3.6	90	38.88	121.50	4723.92	573956.28	0.63	1.59	2.22
	Pembujur 2 Side Girder											
	Web	6	16.3	1	0	97.8	60.00	5868.00	352080.00	1.36	0.00	1.36
	Face	6	1.8	3.6	90	38.88	60.00	2332.80	139968.00	0.63	1.59	2.22
	Pembujur Bilga 20											
	Web	2	28.8	1.2	0	69.12	14.40	995.33	14332.72	4.15	0.00	4.15
	Face	2	3.3	5.9	90	38.94	30.45	1185.72	36105.27	5.07	16.08	21.15
	Pembujur Bilga 21											
	Web	2	28.8	1.2	0	69.12	18.50	1278.72	23656.32	4.15	0.00	4.15
	Face	2	3.3	5.9	90	38.94	21.45	835.26	17916.39	5.07	16.08	21.15
	Pembujur Bilga 22											
	Web	2	28.8	1.2	120	69.12	37.80	2612.74	98761.42	0.06	2355.67	2355.73
	Face	2	3.3	5.9	30	38.94	48.60	1892.48	91974.72	47.00	2.97	49.96
	Pembujur Bilga 13											
	Web	2	28.8	1.2	140	69.12	75.20	5197.82	390876.36	1.51	1519.16	1520.67
	Face	2	3.3	5.9	51	38.94	82.20	3200.87	263111.35	47.77	2.73	50.49
	Pembujur Bilga 12											
	Web	2	28.8	1.2	161	69.12	124.70	8619.26	1074822.22	1.58	1476.15	1477.74
	Face	2	3.3	5.9	69	38.94	127.20	4953.17	630042.97	4.48	16.27	20.75
	Pembujur Bilga 11											
	Web	2	28.8	1.2	0	69.12	184.50	12752.64	2352862.08	4.15	0.00	4.15
	Face	2	3.3	5.9	90	38.94	182.50	7106.55	1296945.38	5.07	16.08	21.15
11	**Pembujur Alas Dalam**											
	Pembujur Alas Dalam (1-4; 6-10; 12-17)											
	Web	30	1.2	28.8	90	1036.8	170.60	176878.08	30175400.45	214.30	3.78	218.07
	Face	30	5.9	3.3	0	584.1	154.55	90272.66	13951638.83	17.67	0.00	17.67
	Pembujur Alas Dalam 19											
	Web	2	1.2	28.8	120	69.12	205.00	14169.60	2904768.00	33.12	4.09	37.21
	Face	2	5.9	3.3	40	38.94	190.00	7398.60	1405734.00	0.03	56.39	56.42
	Pembujur Alas Dalam 20											
	Web	2	1.2	28.8	120	69.12	236.50	16346.88	3866037.12	33.12	4.09	37.21
	Face	2	5.9	3.3	40	38.94	221.00	8605.74	1901868.54	0.03	56.39	56.42
	Pembujur Alas Dalam 21											
	Web	2	1.2	28.8	120	69.12	295.00	20390.40	6015168.00	33.12	4.09	37.21
	Face	2	5.9	3.3	40	38.94	280.00	10903.20	3052896.00	0.03	56.39	56.42
12	**Pembujur Sisi**											
	Pembujur Sisi 1											
	Web	2	19.9	1	0	39.8	1158.00	46088.40	53370367.20	1.66	0.00	1.66
	Face	2	2.2	4.2	90	18.48	1155.90	21361.03	24691216.89	1.22	3.39	4.61
	Pembujur Sisi 2											
	Web	2	19.9	1	0	39.8	1093.00	43501.40	47547030.20	1.66	0.00	1.66

	Face	2	2.2	4.2	90	18.48	1090.90	20159.83	21992360.73	1.22	3.39	4.61
	Pembujur Sisi 3											
	Web	2	19.9	1	0	39.8	1028.00	40914.40	42060003.20	1.66	0.00	1.66
	Face	2	2.2	4.2	90	18.48	1025.90	18958.63	19449660.57	1.22	3.39	4.61
	Pembujur Sisi 4											
	Web	2	19.9	1.1	0	43.78	963.00	42160.14	40600214.82	2.21	0.00	2.21
	Face	2	2.2	4.3	90	18.92	960.85	18179.28	17467563.11	1.31	3.47	4.78
	Pembujur Sisi 6											
	Web	2	21.6	1.1	0	47.52	833.00	39584.16	32973605.28	2.40	0.00	2.40
	Face	2	1.1	4.6	90	10.12	830.70	8406.68	6983432.40	0.80	0.46	1.26
	Pembujur Sisi 7											
	Web	2	21.6	1.1	0	47.52	768.00	36495.36	28028436.48	2.40	0.00	2.40
	Face	2	1.1	4.6	90	10.12	765.70	7748.88	5933320.48	0.80	0.46	1.26
	Pembujur Sisi 8											
	Web	2	21.6	1.1	0	47.52	703.00	33406.56	23484811.68	2.40	0.00	2.40
	Face	2	1.1	4.6	90	10.12	700.70	7091.08	4968722.56	0.80	0.46	1.26
	Pembujur Sisi 9											
	Web	2	21.6	1.1	0	47.52	638.00	30317.76	19342730.88	2.40	0.00	2.40
	Face	2	1.1	4.6	90	10.12	635.70	6433.28	4089638.64	0.80	0.46	1.26
	Pembujur Sisi 10											
	Web	2	21.6	1.1	0	47.52	248.00	11784.96	2922670.08	2.40	0.00	2.40
	Face	2	1.1	4.6	90	10.12	245.70	2486.48	610929.12	0.80	0.46	1.26
13	**Pembujur Wing Tank**											
	Pembujur Wing Tank 1											
	Web	2	19.9	1	0	39.8	1158.00	46088.40	53370367.20	1.66	0.00	1.66
	Face	2	2.2	4.2	90	18.48	1155.90	21361.03	24691216.89	1.22	3.39	4.61
	Pembujur Wing Tank 2											
	Web	2	19.9	1	0	39.8	1093.00	43501.40	47547030.20	1.66	0.00	1.66
	Face	2	2.2	4.2	90	18.48	1090.90	20159.83	21992360.73	1.22	3.39	4.61
	Pembujur Wing Tank 3											
	Web	2	19.9	1	0	39.8	1028.00	40914.40	42060003.20	1.66	0.00	1.66
	Face	2	2.2	4.2	90	18.48	1025.90	18958.63	19449660.57	1.22	3.39	4.61
	Pembujur Wing Tank 4											
	Web	2	19.9	1.1	0	43.78	963.00	42160.14	40600214.82	2.21	0.00	2.21
	Face	2	2.2	4.3	90	18.92	960.85	18179.28	17467563.11	1.31	3.47	4.78
	Pembujur Wing Tank 6											
	Web	2	21.6	1.1	0	47.52	833.00	39584.16	32973605.28	2.40	0.00	2.40
	Face	2	1.1	4.6	90	10.12	830.70	8406.68	6983432.40	0.80	0.46	1.26
	Pembujur Wing Tank 7											
	Web	2	21.6	1.1	0	47.52	768.00	36495.36	28028436.48	2.40	0.00	2.40
	Face	2	1.1	4.6	90	10.12	765.70	7748.88	5933320.48	0.80	0.46	1.26
	Pembujur Wing Tank 8											
	Web	2	21.6	1.1	0	47.52	703.00	33406.56	23484811.68	2.40	0.00	2.40
	Face	2	1.1	4.6	90	10.12	700.70	7091.08	4968722.56	0.80	0.46	1.26
	Pembujur Wing Tank 9											
	Web	2	21.6	1.1	0	47.52	638.00	30317.76	19342730.88	2.40	0.00	2.40
	Face	2	1.1	4.6	90	10.12	635.70	6433.28	4089638.64	0.80	0.46	1.26
14	**Pembujur Longitudinal Bulkhead**											
	Pembujur Long. Bhd. 0											
	Web	1	18.1	1	0	18.1	1200	21720.00	26064000.00	1.51	0.00	1.51
	Face	1	2	3.9	90	7.8	1198.05	9344.79	11195525.66	0.89	2.37	3.25
	Pembujur Long. Bhd. 1											
	Web	1	18.1	1	0	18.1	1154	20887.40	24104059.60	1.51	0.00	1.51
	Face	1	2	3.9	90	7.8	1152.05	8985.99	10352309.78	0.89	2.37	3.25
	Pembujur Long. Bhd. 2											
	Web	1	18.1	1	0	18.1	1089	19710.90	21465170.10	1.51	0.00	1.51
	Face	1	2	3.9	90	7.8	1087.05	8478.99	9217086.08	0.89	2.37	3.25
	Pembujur Long. Bhd. 3											
	Web	1	18.1	1	0	18.1	1024	18534.40	18979225.60	1.51	0.00	1.51
	Face	1	2	3.9	90	7.8	1022.05	7971.99	8147772.38	0.89	2.37	3.25
	Pembujur Long. Bhd. 4											
	Web	1	18.1	1	0	18.1	959	17357.90	16646226.10	1.51	0.00	1.51
	Face	1	2	3.9	90	7.8	957.05	7464.99	7144368.68	0.89	2.37	3.25
	Pembujur Long. Bhd. 5											
	Web	1	21.6	1.1	0	23.76	894	21241.44	18989847.36	2.40	0.00	2.40
	Face	1	2.5	4.6	90	11.5	892.05	10258.58	9151161.83	1.82	5.45	7.27
	Pembujur Long. Bhd. 6											
	Web	1	21.6	1.1	0	23.76	829	19697.04	16328846.16	2.40	0.00	2.40
	Face	1	2.5	4.6	90	11.5	827.05	9511.08	7866134.58	1.82	5.45	7.27
	Pembujur Long. Bhd. 7											
	Web	1	21.6	1.1	0	23.76	764	18152.64	13868616.96	2.40	0.00	2.40
	Face	1	2.5	4.6	90	11.5	762.05	8763.58	6678282.33	1.82	5.45	7.27
	Pembujur Long. Bhd. 8											
	Web	1	21.6	1.1	0	23.76	699	16608.24	11609159.76	2.40	0.00	2.40
	Face	1	2.5	4.6	90	11.5	697.05	8016.08	5587605.08	1.82	5.45	7.27
	Pembujur Long. Bhd. 9											
	Web	1	21.6	1.1	0	23.76	634	15063.84	9550474.56	2.40	0.00	2.40
	Face	1	2.5	4.6	90	11.5	632.05	7268.58	4594102.83	1.82	5.45	7.27
	Pembujur Long. Bhd. 10											
	Web	1	21.6	1.1	0	23.76	569	13519.44	7692561.36	2.40	0.00	2.40
	Face	1	2.5	4.6	90	11.5	567.05	6521.08	3697775.58	1.82	5.45	7.27
	Pembujur Long. Bhd. 11											
	Web	1	21.6	1.1	0	23.76	504	11975.04	6035420.16	2.40	0.00	2.40
	Face	1	2.5	4.6	90	11.5	502.05	5773.58	2898623.33	1.82	5.45	7.27
	Pembujur Long. Bhd. 12											
	Web	1	25.2	1.1	0	27.72	439	12169.08	5342226.12	2.80	0.00	2.80
	Face	1	2.9	5.2	90	15.08	437.05	6590.71	2880471.55	3.05	9.62	12.67
	Pembujur Long. Bhd. 13											
	Web	1	25.2	1.1	0	27.72	374	10367.28	3877362.72	2.80	0.00	2.80
	Face	1	2.9	5.2	90	15.08	372.05	5610.51	2087391.73	3.05	9.62	12.67
	Pembujur Long. Bhd. 14											
	Web	1	25.2	1.1	0	27.72	309	8565.48	2646733.32	2.80	0.00	2.80
	Face	1	2.9	5.2	90	15.08	307.05	4630.31	1421737.91	3.05	9.62	12.67
	Pembujur Long. Bhd. 15											
	Web	1	25.2	1.1	0	27.72	244	6763.68	1650337.92	2.80	0.00	2.80

	Face	1	2.9	5.2	90	15.08	242.05	3650.11	883510.09	3.05	9.62	12.67
15	**Pembujur Geladak**											
	Pembujur Geladak 1-5											
	Web	10	1.1	19.9	90	218.9	1240.05	271446.95	336607784.15	64.81	2.01	66.81
	Face	10	4.3	2.2	0	94.6	1229.00	116263.40	142887718.60	3.82	0.00	3.82
	Pembujur Geladak 6											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1238.55	54223.72	67158787.17	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1227.50	23224.30	28507828.25	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 7											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1235.75	54101.14	66855477.58	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1224.70	23171.32	28377920.50	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 8											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1232.75	53969.80	66531264.79	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1221.70	23114.56	28239062.84	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 9											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1229.85	53842.83	66218608.17	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1218.80	23059.70	28105157.48	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 10											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1227.05	53720.25	65917431.54	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1216.00	23006.72	27976171.52	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 11											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1224.15	53593.29	65606222.28	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1213.10	22951.85	27842891.66	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 12											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1221.35	53470.70	65306443.11	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1210.30	22898.88	27714509.62	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 13											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1218.75	53356.88	65028691.41	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1207.70	22849.68	27595563.37	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 14											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1215.65	53221.16	64698299.51	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1204.60	22791.03	27454077.15	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 15											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1213.05	53107.33	64421845.44	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1202.00	22741.84	27335691.68	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 16											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1210.05	52975.99	64103595.49	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1199.00	22685.08	27199410.92	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 17											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1207.35	52857.78	63817844.31	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1196.30	22634.00	27077049.41	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 18											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1204.45	52730.82	63511637.35	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1193.40	22579.13	26945931.36	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 19											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1201.65	52608.24	63216687.99	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1190.60	22526.15	26819636.57	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 20											
	Web	2	1.1	19.9	93	43.78	1198.75	52481.28	62911928.41	629.69	0.28	629.98
	Face	2	4.3	2.2	3	18.92	1187.80	22473.18	26693638.45	1.47	8.95	10.42
	Pembujur Geladak 22											
	Web	2	1	18.1	93	36.2	1194.95	43257.19	51690179.19	430.74	0.19	430.93
	Face	2	3.9	2	3	15.6	1183.90	18468.84	21865259.68	1.00	6.07	7.07
	Pembujur Geladak 23											
	Web	2	1	18.1	93	36.2	1192.05	43152.21	51439591.93	430.74	0.19	430.93
	Face	2	3.9	2	3	15.6	1181.00	18423.60	21758271.60	1.00	6.07	7.07
						33192.040		13113371.368	12448896637.690			162595556.585
						Σ1		Σ2	Σ3			Σ4

Titik Berat terhadap dasar (z1) = Σ2 / Σ1

$= \frac{13113371.37}{33192.04}$

= 395.076 cm

Titik Berat terhadap deck (z2) = H - Z1

= 12 - 395.08

= 804.924 cm

$I_{xx} = \Sigma_3 + \Sigma_4$ = 12448896637.690 + 162595556.585

= 12611492194.275 cm^4

$I_{NA} = I_{XX} - (z_1)^2.\Sigma_i$ = 12611492194.27 - (395.08)^2 . 33192.04

= 7430716664 cm^4

Keterangan

Momen Inersia Individu = $I_{X\ COS}{}^2\alpha + I_y \sin^2\alpha$

Dimana : $I_X = 1/12 * b * h^3$

: $I_y = 1/12 * h * b^3$

: α = Sudut terhadap bidang horisontal

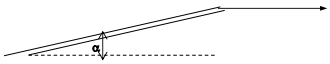
Modulus penampang thd bottom (W_{bot}) = I_{NA} / z_1 = $\frac{7430716664}{395.0757883}$

= 18808332 cm^3

Modulus penampang thd deck (W_{deck}) = I_{NA} / z_2 = $\frac{7430716664}{804.924}$

= 9231573 cm^3

18808332.18 **Modulus yang digunakan**



Bagian konstruksi memanjang

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN BERAT

Perhitungan Berat Kompartemen

Konvensional

ITEM		Jml	Panjang (mm)	Luas (mm^2)	Dimensi (mm)						Volume (m^3)	Berat (Ton)
					Lebar Pelat	tebal pelat	web	t_w	face	t_f		
Geladak Konvensional												
1	Pelat Geladak 1	1	21750		3300	15					1.077	8.452
2	Pelat Geladak 2	1	21750		10562	15					3.446	27.050
3	Strong Beam	5	13500				1250	12	360	16	1.401	11.000
4	Penegar Flat Bar	42		94825		10					0.040	0.313
5	Penegar Flange											
	Web	42		319426		11					0.148	1.158
	Face	42		117789		11					0.054	0.427
6	Pembujur Geladak	22	21750				199	11	43	22	1.500	11.776
				ρ baja =	**7.85 ton/m^3**					**Total=**	7.666	60.175
Sisi Konvensional												
1	Pelat Sisi Bawah (t=14)	1	21750		2550	14					0.776	6.095
2	Pelat Sisi Tengah (t=12)	1	21750		3900	12					1.018	7.991
3	Pelat Sisi Atas (t=13)	1	21750		2400	13					0.679	5.327
4	Pelat Sisi Dalam Bawah (t=14)	1	21750		2689	14					0.819	6.428
5	Pelat Sisi Dalam Tengah (t=11)	1	21750		3890	11					0.931	7.306
6	Pelat Sisi Dalam Atas (t=15)	1	21750		2400	15					0.783	6.147
7	Senta	3	21750		1486	10					0.970	7.611
8	Web Frame Bawah (t=12)	5		3092639.203		12					0.186	1.457
9	Web Frame Tengah (t=11)	5		4174248.882		11					0.230	1.802
10	Web Frame Atas (t=11)	5		3958328.916		11					0.218	1.709
11	Pembujur Sisi 1	3	21750				199	10	42	22	0.190	1.493
12	Pembujur Sisi 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
13	Pembujur Sisi 3	4	21750				216	11	46	25	0.307	2.408
14	Pembujur Sisi Dalam 1	3	21750				199	10	42	22	0.190	1.493
15	Pembujur Sisi Dalam 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
16	Pembujur Sisi Dalam 3	4	21750				216	11	46	25	0.307	2.408
				ρ baja =	**7.85 ton/m^3**	**ρ core =**	**1.098**	**ton/m^3**		**Total=**	7.738	60.744

Perhitungan Berat Kompartemen

Sandwich Variasi A

ITEM		Jml	Panjang (mm)	Luas (mm^2)	Dimensi (mm)						Volume (m^3)	Berat (Ton)
					Lebar Pelat	tebal pelat	web	t_w	face	t_f		
Geladak Sandwich 600mm												
1	Pelat Geladak 1											
	Faceplate	2	21750		3300	4.0					0.574	4.507
	Core	1	21750		3300	20.0					1.436	1.576
2	Pelat Geladak 2											
	Faceplate	2	21750		10562	4.0					1.838	14.427
	Core	1	21750		10562	20.0					4.594	5.045
3	Strong Beam	5	13500				1250	12	360	16	1.401	11.000
4	Penegar Flat Bar	42		94825		10					0.040	0.313
5	Penegar Flange											
	Web	42		319426		11					0.148	1.158
	Face	42		117789		11					0.054	0.427
6	Pembujur Geladak	22	21750				199	11	43	22	1.500	11.776
					ρ baja =	**7.85 ton/m^3**	**ρ core =**	**1.098**	**Ton/m^3**	**Total=**	11.585	50.229
Sisi Sandwich 650mm												
1	Pelat Sisi Bawah											
	Faceplate	2	21750		2550	4.0					0.444	3.483
	Core	1	21750		2550	20					1.109	1.218
2	Pelat Sisi Tengah											
	Faceplate	2	21750		3900	4.0					0.679	5.327
	Core	1	21750		3900	20					1.697	1.863
3	Pelat Sisi Atas											
	Faceplate	2	21750		2400	4.0					0.418	3.278
	Core	1	21750		2400	20					1.044	1.146
4	Pelat Sisi Dalam Bawah (t=14)	1	21750		2689	14					0.819	6.428
5	Pelat Sisi Dalam Tengah (t=11)	1	21750		3890	11					0.931	7.306
6	Pelat Sisi Dalam Atas (t=15)	1	21750		2400	15					0.783	6.147
7	Platform Deck	3	21750		1486	10					0.970	7.611
8	Web Frame Bawah (t=12)	5		3092639.203		12					0.186	1.457
9	Web Frame Tengah (t=11)	5		4174248.882		11					0.230	1.802
10	Web Frame Atas (t=11)	5		3958328.916		11					0.218	1.709
11	Pembujur Sisi 1	3	21750				199	10	42	22	0.190	1.493
12	Pembujur Sisi 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
13	Pembujur Sisi 3	4	21750				216	11	46	25	0.307	2.408
14	Pembujur Sisi Dalam 1	3	21750				199	10	42	22	0.190	1.493
15	Pembujur Sisi Dalam 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
16	Pembujur Sisi Dalam 3	4	21750				216	11	46	25	0.307	2.408
					ρ baja =	**7.85 ton/m^3**	**ρ core =**	**1.098**	**Ton/m^3**	**Total=**	10.655	57.646

Perhitungan Berat Kompartemen

Sandwich Variasi B

ITEM		Jml	Panjang (mm)	Luas (mm^2)	Dimensi (mm)						Volume (m^3)	Berat (Ton)
					Lebar Pelat	tebal pelat	web	t_w	face	t_f		
Geladak Sandwich 650mm												
1	Pelat Geladak 1											
	Faceplate	2	21750		3300	4.0					0.574	4.507
	Core	1	21750		3300	20.0					1.436	1.576
2	Pelat Geladak 2											
	Faceplate	2	21750		10562	4.0					1.838	14.427
	Core	1	21750		10562	20.0					4.594	5.045
3	Strong Beam	5	13500				1250	12	360	16	1.401	11.000
4	Penegar Flat Bar	42		94825		10					0.040	0.313
5	Penegar Flange											
	Web	42		319426		11					0.148	1.158
	Face	42		117789		11					0.054	0.427
6	Pembujur Geladak	21	21750				199	11	43	22	1.432	11.241
				ρ baja =	**7.85 ton/m^3**	**ρ core =**	**1.098**	**Ton/m^3**		**Total=**	11.517	49.694
Sisi Sandwich 700mm												
1	Pelat Sisi Bawah											
	Faceplate	2	21750		2550	4.0					0.444	3.483
	Core	1	21750		2550	20					1.109	1.218
2	Pelat Sisi Tengah											
	Faceplate	2	21750		3900	4.0					0.679	5.327
	Core	1	21750		3900	20					1.697	1.863
3	Pelat Sisi Atas											
	Faceplate	2	21750		2400	4.0					0.418	3.278
	Core	1	21750		2400	20					1.044	1.146
4	Pelat Sisi Dalam Bawah (t=14)	1	21750		2689	14					0.819	6.428
5	Pelat Sisi Dalam Tengah (t=11)	1	21750		3890	11					0.931	7.306
6	Pelat Sisi Dalam Atas (t=15)	1	21750		2400	15					0.783	6.147
7	Platform Deck	3	21750		1486	10					0.970	7.611
8	Web Frame Bawah (t=12)	5		3092639.203		12					0.186	1.457
9	Web Frame Tengah (t=11)	5		4174248.882		11					0.230	1.802
10	Web Frame Atas (t=11)	5		3958328.916		11					0.218	1.709
11	Pembujur Sisi 1	3	21750				199	10	42	22	0.190	1.493
12	Pembujur Sisi 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
13	Pembujur Sisi 3	3	21750				216	11	46	25	0.230	1.806
14	Pembujur Sisi Dalam 1	3	21750				199	10	42	22	0.190	1.493
15	Pembujur Sisi Dalam 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
16	Pembujur Sisi Dalam 3	3	21750				216	11	46	25	0.230	1.806
				ρ baja =	**7.85 ton/m^3**	**ρ core =**	**1.098**	**Ton/m^3**		**Total=**	10.501	56.442

Perhitungan Berat Kompartemen

Sandwich Variasi C

ITEM		Jml	Panjang (mm)	Luas (mm^2)	Dimensi (mm)						Volume (m^3)	Berat (Ton)
					Lebar Pelat	tebal pelat	web	t_w	face	t_f		
Geladak Sandwich 700mm												
1	Pelat Geladak 1											
	Faceplate	2	21750		3300	4.0					0.574	4.507
	Core	1	21750		3300	20.0					1.436	1.576
2	Pelat Geladak 2											
	Faceplate	2	21750		10562	4.0					1.838	14.427
	Core	1	21750		10562	20.0					4.594	5.045
3	Strong Beam	5	13500				1250	12	360	16	1.401	11.000
4	Penegar Flat Bar	42		94825		10					0.040	0.313
5	Penegar Flange											
	Web	42		319426		11					0.148	1.158
	Face	42		117789		11					0.054	0.427
6	Pembujur Geladak	19	21750				199	11	43	22	1.296	10.170
					ρ baja = 7.85 ton/m^3	ρ core =	1.098	Ton/m^3		Total=	11.381	48.623
Sisi Sandwich 750mm												
1	Pelat Sisi Bawah											
	Faceplate	2	21750		2550	4.0					0.444	3.483
	Core	1	21750		2550	20					1.109	1.218
2	Pelat Sisi Tengah											
	Faceplate	2	21750		3900	4.0					0.679	5.327
	Core	1	21750		3900	20					1.697	1.863
3	Pelat Sisi Atas											
	Faceplate	2	21750		2400	4.0					0.418	3.278
	Core	1	21750		2400	20					1.044	1.146
4	Pelat Sisi Dalam Bawah (t=14)	1	21750		2689	14					0.819	6.428
5	Pelat Sisi Dalam Tengah (t=11)	1	21750		3890	11					0.931	7.306
6	Pelat Sisi Dalam Atas (t=15)	1	21750		2400	15					0.783	6.147
7	Platform Deck	3	21750		1486	10					0.970	7.611
8	Web Frame Bawah (t=12)	5		3092639.203		12					0.186	1.457
9	Web Frame Tengah (t=11)	5		4174248.882		11					0.230	1.802
10	Web Frame Atas (t=11)	5		3958328.916		11					0.218	1.709
11	Pembujur Sisi 1	3	21750				199	10	42	22	0.190	1.493
12	Pembujur Sisi 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
13	Pembujur Sisi 3	3	21750				216	11	46	25	0.230	1.806
14	Pembujur Sisi Dalam 1	3	21750				199	10	42	22	0.190	1.493
15	Pembujur Sisi Dalam 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
16	Pembujur Sisi Dalam 3	3	21750				216	11	46	25	0.230	1.806
					ρ baja = 7.85 ton/m^3	ρ core =	1.098	Ton/m^3		Total=	10.501	56.442

Perhitungan Berat Kompartemen

Sandwich Variasi D

ITEM		Jml	Panjang (mm)	Luas (mm^2)	Dimensi (mm)						Volume (m^3)	Berat (Ton)
					Lebar Pelat	tebal pelat	web	t_w	face	t_f		
Geladak Sandwich 750mm												
1	Pelat Geladak 1											
	Faceplate	2	21750		3300	4.0					0.574	4.507
	Core	1	21750		3300	20.0					1.436	1.576
2	Pelat Geladak 2											
	Faceplate	2	21750		10562	4.0					1.838	14.427
	Core	1	21750		10562	20.0					4.594	5.045
3	Strong Beam	5	13500				1250	12	360	16	1.401	11.000
4	Penegar Flat Bar	42		94825		10					0.040	0.313
5	Penegar Flange											
	Web	42		319426		11					0.148	1.158
	Face	42		117789		11					0.054	0.427
6	Pembujur Geladak	18	21750				199	11	43	22	1.227	9.635
					ρ baja = 7.85 ton/m^3	**ρ core =**	**1.098**	**Ton/m^3**		**Total=**	11.312	48.088
Sisi Sandwich 800mm												
1	Pelat Sisi Bawah											
	Faceplate	2	21750		2550	4.0					0.444	3.483
	Core	1	21750		2550	20					1.109	1.218
2	Pelat Sisi Tengah											
	Faceplate	2	21750		3900	4.0					0.679	5.327
	Core	1	21750		3900	20					1.697	1.863
3	Pelat Sisi Atas											
	Faceplate	2	21750		2400	4.0					0.418	3.278
	Core	1	21750		2400	20					1.044	1.146
4	Pelat Sisi Dalam Bawah (t=14)	1	21750		2689	14					0.819	6.428
5	Pelat Sisi Dalam Tengah (t=11)	1	21750		3890	11					0.931	7.306
6	Pelat Sisi Dalam Atas (t=15)	1	21750		2400	15					0.783	6.147
7	Platform Deck	3	21750		1486	10					0.970	7.611
8	Web Frame Bawah (t=12)	5		3092639.203		12					0.186	1.457
9	Web Frame Tengah (t=11)	5		4174248.882		11					0.230	1.802
10	Web Frame Atas (t=11)	5		3958328.916		11					0.218	1.709
11	Pembujur Sisi 1	2	21750				199	10	42	22	0.127	0.995
12	Pembujur Sisi 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
13	Pembujur Sisi 3	3	21750				216	11	46	25	0.230	1.806
14	Pembujur Sisi Dalam 1	2	21750				199	10	42	22	0.127	0.995
15	Pembujur Sisi Dalam 2	1	21750				199	11	43	22	0.068	0.535
16	Pembujur Sisi Dalam 3	3	21750				216	11	46	25	0.230	1.806
					ρ baja = 7.85 ton/m^3	**ρ core =**	**1.098**	**Ton/m^3**		**Total=**	10.375	55.447

BIODATA PENULIS

Ervan Panangian dilahirkan pada tanggal 9 September 1997 dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada SDS Maria Mediatrix Kutabaru, kemudian melanjutkan pendidikan menengah pada SMPN 2 Tangerang dan SMAN 2 Tangerang. Penulis lulus dari SMA pada tahun 2015 dan diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2016 melalui jalur tulis atau SBMPTN.

Selama masa studi di ITS, Penulis pernah menjadi *staff* Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan atau HIMATEKPAL. Selain menjadi *staff* pada himpunan, Penulis juga pernah menjadi *staff* Divisi Event pada Unit Kegiatan Mahasiswa Paduan Suara Mahasiswa ITS (PSM ITS) dan pernah mengikuti lomba hingga ke luar kota.

Email: ervan.panangian@gmail.com