



**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI *WING TANK* KAPAL  
TANKER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Dedi Dwi Sanjaya  
NRP 4113100028**

**Dosen Pembimbing  
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.  
Totok Yulianto, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



---

**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI *WING TANK* KAPAL  
TANKER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Dedi Dwi Sanjaya  
NRP 4113100028**

**Dosen Pembimbing  
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.  
Totok Yulianto, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



---

**FINAL PROJECT - MN 141581**

**CONSTRUCTION STRENGTH ANALYSIS OF WING TANK  
ON TANKER SHIP USING FINITE ELEMENT METHOD**

**Dedi Dwi Sanjaya  
NRP 4113100028**

**Supervisors  
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.  
Totok Yulianto, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2017**

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI *WING TANK* KAPAL TANKER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DEDI DWI SANJAYA**  
NRP 4113100028

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II



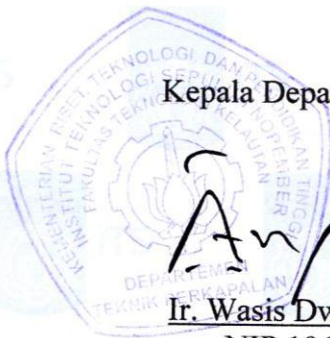
Totok Yulianto, S.T., M.T.  
NIP 19700731 199512 1 001


Dosen Pembimbing I



Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.  
NIP 19840921 201212 2 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



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

SURABAYA, 21 JULI 2017

## LEMBAR REVISI

# ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI WING TANK KAPAL TANKER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 7 Juli 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

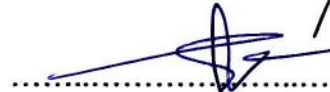
**DEDI DWI SANJAYA**  
NRP 4113100028

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

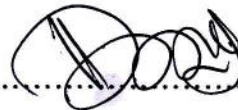
1. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.



2. M. Nurul Misbah, S.T., M.T.



3. Dony Setyawan., S.T., M.Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.



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



SURABAYA, 21 JULI 2017

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. Kedua orang tua, kakak, dan adik saya yang telah memberikan dukungan, kepercayaan, dan doa kepada saya, serta menjadi sumber motivasi terbesar saya hingga terselesaikannya penelitian ini;
2. Ibu Septia Hardy Sujiatanti, ST., M.T dan Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan, ilmu, nasihat, dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan penelitian ini;
3. Bapak Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T., selaku Dosen Wali dan Kepala Departemen Teknik Perkapalan yang telah memberikan dukungan secara moril;
4. Bapak Hasanudin, S.T., M.T selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan penelitian ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Bapak Teguh Putranto, S.T., M.T., selaku dosen perkapalan dan Rizky selaku senior yang sudah memberikan pelatihan Ansys dalam pemodelan penelitian ini.
6. Zaki Rabbani, Ardianus, dan Shakina Azizul Haque yang merupakan teman seperjuangan dalam mengerjakan penelitian bersama dan senantiasa memberikan bantuan dan motivasi;
7. Mayangkara, Kukuh, Dina, Ridho, Seta dan teman-teman Submarine lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu yang sudah memberikan bantuan dalam penulisan, menemani dalam proses pengerjaan, dan memberikan dukungan moral kepada saya selama pengerjaan penelitian ini;
8. Sahabat Kos Muslim Ceria yang selalu memberikan semangat dan bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini;

9. Venora Elisa Launa Rifsanjani yang sudah memberi motivasi, semangat dan saran-saran mulai dari awal menyusun proposal sampai akhir penulisan laporan ini;
10. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak bisa saya untuk disebutkan satu persatu.

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

Surabaya, 10 Juli 2017

Dedi Dwi Sanjaya



# ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI WING TANK KAPAL TANKER MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Dedi Dwi Sanjaya  
NRP : 4113100028  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.  
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.

## ABSTRAK

Setiap kapal yang akan dibangun harus memenuhi standart (*rules*) yang telah ditetapkan oleh masing-masing biro klasifikasi. *Rules* dibuat dengan tujuan terpenuhinya kekuatan konstruksi, proporsional, dan yang paling penting adalah terjaminnya keselamatan pemakai kapal tersebut. Salah satu prinsip dalam merancang suatu konstruksi adalah menciptakan jenis konstruksi yang sesuai dengan standar regulasi. Dalam pembangunan sebuah kapal, tidak akan terlepas dari pemakaian penegar. Dengan nilai modulus yang sama, jenis penegar yang dapat digunakan bisa berupa *L-profile*, *I-profile*, ataupun *bulb plate*. Penentuan jenis profil penegar pada pelat berdasarkan regulasi klasifikasi tidak ditentukan secara pasti, asalkan modulusnya memenuhi batas yang diijinkan, maka konstruksi tersebut disetujui oleh klasifikasi.

Oleh karena itu penelitian ini dibuat untuk mengetahui profil mana yang paling efektif digunakan sebagai penegar pelat ditinjau dari besarnya tegangan yang terjadi dan berat konstruksinya. Variasi penegar yang digunakan pada penelitian ini adalah *bulb plate*, *unequal leg angles*, dan *equal leg angles*. Setiap variasi penegar ditentukan berdasarkan nilai modulus yang sama. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan studi kasus konstruksi pelat berpenegar *wing tank* kapal tanker 17500 LTDW. Pemodelan dilakukan dengan *software* FEM. Hasil yang didapatkan berupa nilai tegangan *von mises*, deformasi, dan berat konstruksi pada setiap variasi.

Dari hasil analisis, maka didapatkan besar tegangan maksimum pada *bulb plate* yaitu 49.5 MPa dengan berat konstruksi 39.323 ton, besar tegangan maksimum pada *unequal leg angles* yaitu 55 MPa dengan berat konstruksi 41.003 ton, dan besar tegangan *equal leg angles* yaitu 51.5 MPa dengan berat konstruksi 42.625 ton. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *bulb plate* merupakan profil yang paling efektif dengan tegangan kecil dan berat konstruksi kecil. Hasil dari penelitian ini dapat diaplikasikan pada dunia industri sebagai acuan dalam memilih profil penegar yang paling efektif.

Kata kunci: *wing tank*, pelat berpenegar, analisa tegangan, metode elemen hingga.

# **CONSTRUCTION STRENGTH ANALYSIS OF WING TANK ON TANKER SHIP USING FINITE ELEMENT METHOD**

Author : Dedi Dwi Sanjaya  
ID No. : 4113100028  
Dept. / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisors : 1. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.  
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Every ship that going to be built has to meet the standard applied by the clasification. Rules are made in order to meet construction strength, proportion, and ensure the safety of the ship's operator. One of the main principal in designing a construction is creating a type of construction that fits the regulation. The usage of stiffener is a significant thing in shipbuilding. Any type of stiffener, such as L-profile, I-profile, or bulb plate, can be used as long as the modulus value is the same. The regulation doesn't specify the type of stiffener used in shipbuilding as long as the modulus of the stiffener doesn't exceed the limit according to regulation.

This research were made to determine the most effective profile that can be used as stiffener with the stress occurs on the stiffener and the construction weight as variables. Bulb plate, unequal leg angles, and equal leg angles are used in this research as variations. Every stiffener variation determined according to the same modulus value. The analysis was done with finite element method with construction of stiffened wing tank plate of tanker 17500 LTDW as the case study. Model was made with FEM software. The result obtained are von mises stress value, deformation, and construction weight of each variation.

The results of the analysis are maximum stress on bulb plate is 49.5 MPa with 39.323 ton of construction weight, maximum stress of unequal leg angles is 55 MPa with 41.003 ton of construction weight, and maximum stress of equal leg angles is 51.5 MPa with 42.625 ton of construction weight. Thus, bulb plate is the most effective profile with small stress and light construction weight. The result of this research can be applied in shipbuilding industry as a reference in choosing the most effective profile as stiffener.

Keywords: wing tank, stiffened plate, stress analysis, finite element method

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
I.1.    Latar Belakang Masalah.....	1
I.2.    Perumusan Masalah.....	2
I.3.    Tujuan.....	2
I.4.    Batasan Masalah.....	2
I.5.    Manfaat.....	3
I.6.    Hipotesis.....	3
BAB II STUDI LITERATUR .....	5
II.1.    Dasar Teori.....	5
II.1.1.  Perhitungan Pembebanan .....	5
II.1.2.  Perhitungan Modulus Penampang Profil Penegar .....	6
II.2.    Tinjauan Pustaka .....	7
II.2.1.  Struktur .....	7
II.2.2.  Sekat Kedap Membujur ( <i>Longitudinal Watertight Bulkhead</i> ).....	8
II.2.3.  Penegar ( <i>Stiffener</i> ) .....	9
II.2.4.  Konstruksi Profil Umum .....	9
II.2.5.  Tekanan Hidrostatik .....	11
II.2.6.  Kekuatan Material .....	12
II.2.7.  Tegangan Batas, Tegangan Ijin, Faktor Keamanan.....	15
II.2.8. <i>Bending Stress</i> .....	16
II.2.9.  Deformasi .....	17
II.2.10.  Tumpuan .....	19
II.2.11.  Metode Elemen Hingga .....	20
BAB III METODOLOGI .....	27
III.1.    Pengumpulan Data .....	27
III.2.    Proses Pemodelan Konstruksi <i>Wing Tank</i> .....	31
III.3.    Konvergensi .....	31
III.4.    Diagram Alir .....	36
BAB IV PEMODELAN .....	39
IV.1.    Tipe Analisis .....	39
IV.2.    Pemilihan dan Penentuan Tipe Elemen.....	39
IV.3.    Penentuan Material Properties .....	40
IV.4.    Pemodelan Konstruksi <i>Wing Tank</i> .....	42
IV.4.1.  Pembuatan Variasi Model.....	44

IV.5.	Pembagian Model Menjadi Elemen ( <i>Meshing</i> ).....	46
IV.6.	Pemberian Kondisi Batas ( <i>Constraint</i> ) .....	48
IV.7.	Pemberian Pembebanan ( <i>Define Loads</i> ) .....	49
IV.8.	Penyelesaian Model ( <i>Solving</i> ).....	52
IV.9.	Menampilkan Hasil Solving.....	53
IV.9.1.	Kriteria <i>Von Mises</i> Untuk tegangan Gabungan ( <i>Equivalent Stress</i> ).....	53
IV.9.2.	Deformasi.....	54
IV.9.3.	Berat Konstruksi .....	55
BAB V PEMBAHASAN .....		57
V.1.	Hasil Analisis .....	57
V.1.1.	Variasi Model 1 – <i>Bulb Plate</i> .....	57
V.1.2.	Variasi Model 2 – <i>Unequal Leg Profile</i> .....	59
V.1.3.	Variasi Model 3 – <i>Equal Leg Angles</i> .....	60
V.2.	Pembahasan Hasil .....	62
V.2.1.	Tegangan Maksimum .....	62
V.2.2.	Deformasi Maksimum .....	63
V.2.3.	Berat Konstruksi .....	65
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		67
VI.1.	Kesimpulan.....	67
VI.2.	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....		69
LAMPIRAN		
LAMPIRAN A Katalog <i>Profil Bulb</i>		
LAMPIRAN B Hasil Perhitungan Profil Penegar		
LAMPIRAN C Hasil Perhitungan Pembebanan		
LAMPIRAN D Hasil Konvergensi		
BIODATA PENULIS		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Penampang Profil.....	6
Gambar II. 2 Kapal Tanker dengan Sekat Memanjang <i>Wing Tank</i> .....	8
Gambar II. 3 Ilustrasi Stiffener pada Pelat .....	9
Gambar II. 4 Profil-Profil Umum Konstruksi Kapal Baja.....	11
Gambar II. 5 Pengirisan Sebuah Benda.....	13
Gambar II. 6 Komponen-Komponen Tegangan Normal dan Tegangan Geser.....	13
Gambar II. 7 Batang Prismatic yang Dibebeani Gaya Aksial.....	14
Gambar II. 8 Gaya Tarik Aksial .....	14
Gambar II. 9 Gaya Tekan Aksial.....	15
Gambar II. 10 Respon Deformasi Akibat Beban pada Kapal .....	17
Gambar II. 11 Kurva Tegangan Regangan.....	18
Gambar II. 12 Tumpuan Roll .....	19
Gambar II. 13 Tumpuan Jepit.....	20
Gambar II. 14 Tumpuan Sendi .....	20
Gambar II. 15 Elemen Solid 186.....	24
Gambar III. 1 Gambar Rencana Umum Tanker 17500 LTDW.....	28
Gambar III. 2 Gambar Penampang Melintang Kapal Tanker 17500 LTDW .....	29
Gambar III. 3 Detail Konstruksi <i>Wing Tank</i> dari Tampak Samping.....	30
Gambar III. 4 Detail <i>Bulb Plate</i> .....	30
Gambar III. 5 Aspek Rasio Elemen.....	32
Gambar III. 6 Grafik Konvergensi Model 1 .....	33
Gambar III. 7 Grafik Konvergensi Model 2 .....	34
Gambar III. 8 Grafik Konvergensi Model 3 .....	36
Gambar III. 9 Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir.....	37
Gambar IV. 1 Pemilihan Tipe Analisis .....	39
Gambar IV. 2 Kolom Pemilihan Tipe Elemen .....	40
Gambar IV. 3 Material Properties Model.....	41
Gambar IV. 4 Pendefinisian <i>Density</i> .....	41
Gambar IV. 5 Plot <i>Keypoint</i> pada Model .....	43
Gambar IV. 6 Hasil Pembuatan Model Konstruksi <i>Wing Tank</i> .....	43
Gambar IV. 7 Variasi 1 - <i>Bulb Plate</i> .....	45
Gambar IV. 8 Variasi 2 - <i>Unequal Leg Angles</i> .....	45
Gambar IV. 9 Variasi 3 - <i>Equal Leg Angles</i> .....	46
Gambar IV. 10 Hasil Meshing Model Konstruksi <i>Wing Tank</i> .....	47
Gambar IV. 11 Proses <i>Meshing</i> .....	47
Gambar IV. 12 Model Setelah Diberi Kondisi Batas .....	48
Gambar IV. 13 Grafik Pembebanan Testing Pressure pada Tangki Ruang Muat.....	50
Gambar IV. 14 Pendefinisian Pembebanan dalam Bentuk Persamaan .....	51
Gambar IV. 15 Model Setelah Diberikan Pembebanan .....	52
Gambar IV. 16 Proses <i>Solving</i> pada <i>Software</i> FEA .....	52
Gambar IV. 17 Pemilihan Kriteria <i>Von Mises Stress</i> .....	53
Gambar IV. 18 Hasil dari Proses <i>Solving</i> – <i>Von Mises Stress</i> .....	54
Gambar IV. 19 Proses Pemilihan Kriteria Deformasi .....	54

Gambar IV. 20 Persebaran Deformasi Konstruksi <i>Wing Tank</i> .....	55
Gambar IV. 21 Tampilan <i>Window Command</i> .....	56
Gambar V. 1 Tegangan Maksimum pada Model 1 .....	57
Gambar V. 2 Berat Konstruksi pada Model 1 .....	58
Gambar V. 3 Deformasi pada Model 1.....	58
Gambar V. 4 Tegangan Maksimum pada Model 2 .....	59
Gambar V. 5 Berat Konstruksi pada Model 2 .....	59
Gambar V. 6 Deformasi pada Model 2.....	60
Gambar V. 7 Tegangan Maksimum pada Model 3 .....	60
Gambar V. 8 Berat Konstruksi pada Model 3 .....	61
Gambar V. 9 Deformasi pada Model 3.....	61
Gambar V. 10 Grafik Tegangan pada Model .....	63
Gambar V. 11 Grafik Deformasi Maksimum pada Model.....	64
Gambar V. 12 Grafik Berat Konstruksi pada Model.....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Tabulasi Perhitungan Momen Inersia .....	6
Tabel III. 1 Ukuran Utama Kapal Tanker 17500 LTDW .....	27
Tabel III. 2 Profil Bulb pada Konstruksi <i>Wing Tank</i> .....	31
Tabel III. 3 Hasil Konvergensi Model 1 .....	33
Tabel III. 4 Hasil Konvergensi Model 2.....	34
Tabel III. 5 Hasil Konvergensi Model 3.....	35
Tabel IV. 1 Variasi Profil Penegar .....	44
Tabel IV. 2 Penentuan Kondisi Batas pada Model.....	48
Tabel IV. 3 Cargo Tank Pressure Akibat Muatan Minyak.....	49
Tabel IV. 4 Cargo Tank Pressure Akibat Muatan Minyak.....	49
Tabel IV. 5 <i>Testing Pressure</i> 1 .....	49
Tabel IV. 6 <i>Testing Pressure</i> 2.....	50
Tabel V. 1 Tabulasi Tegangan pada Model.....	62
Tabel V. 2 Deformasi Maksimal pada Model .....	64
Tabel V. 3 Berat Konstruksi pada Model .....	65

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

Dalam hal menciptakan suatu produk, merancang merupakan sebuah langkah awal sebagai acuan dalam pembuatan produk tersebut. Sama halnya dengan membangun kapal, merancang merupakan kunci utama yang harus dilakukan sebelum masuk pada proses pembangunan, termasuk merancang sistem konstruksi pada kapal tersebut. Setiap kapal yang akan dibangun harus memenuhi standar (*rules*) yang telah ditetapkan oleh masing-masing biro klasifikasi. *Rules* dibuat dengan tujuan terpenuhinya kekuatan konstruksi, proporsional, dan yang paling penting adalah terjaminnya keselamatan pemakai kapal tersebut,

Konstruksi kapal baja merupakan hal yang paling primary dalam menopang bentuk aspek dan pembangunan kapal. Salah satu prinsip dalam merancang suatu konstruksi adalah menciptakan jenis konstruksi yang sesuai dengan standar regulasi. Konstruksi bisa dikatakan sesuai standar regulasi apabila konstruksi mampu bertahan pada semua beban yang bekerja pada konstruksi tersebut sesuai dengan peraturan klasifikasi yang terkait. Selain dapat mampu bertahan pada semua beban yang bekerja, konstruksi juga akan dibangun seringan mungkin tanpa mengurangi batasan kekuatan yang telah ditentukan klasifikasi, sehingga akan lebih menguntungkan dalam segi finansial.

Pada umumnya, kapal-kapal besar dibangun dengan material baja, termasuk pada sistem konstruksinya. Pemakaian lembaran-lembaran pelat baja tidak akan lepas dari penggunaan penegar yang berfungsi sebagai penguatan pelat. Dengan nilai modulus yang sama, jenis penegar yang dapat dipakaipun bisa bermacam-macam, bisa berupa *L-profile*, *I-profile* dan *bulb plate* sesuai dengan desainer kapal tersebut. Penentuan jenis profil penegar pada pelat berdasarkan peraturan klasifikasi tidak ditentukan secara pasti, asalkan perhitungan beban dan modulusnya memenuhi batas yang diijinkan, maka konstruksi tersebut disetujui oleh klasifikasi. Sehingga pemilihan jenis profilnya bisa dilakukan sesuai pilihan desainer tanpa mempertimbangkan kekuatan konstruksinya.

Oleh karena itu, untuk mengetahui hasil analisis kekuatan konstruksi pelat berpenegar pada setiap variasi profil penegar, penulis melakukan penelitian dengan judul “Analisa Kekuatan Konstruksi *Wing Tank* Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga”,



sehingga akan diketahui kekuatan konstruksi untuk masing–masing profil penegar dengan nilai modulus yang sama. Konstruksi yang ditinjau pada penelitian ini adalah konstruksi wing tank pada kapal Tanker di bagian ruang muat midship. Hasil dari penentuan profil yang paling menguntungkan dilihat dari segi nilai kekuatan dan total berat konstruksinya.

## **I.2. Perumusan Masalah**

Sehubungan dengan latar belakang yang sudah dijelaskan, maka permasalahan yang akan dicari penyelesaiannya dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana menentukan nilai modulus penampang profil pada konstruksi *wing tank*?
2. Bagaimana desain dimensi penegar pada tiap variasi profil penegar yang digunakan?
3. Bagaimana hasil analisis kekuatan konstruksi *wing tank* dengan menggunakan metode elemen hingga pada setiap variasi jenis profil penegar?

## **I.3. Tujuan**

Tujuan dari penulisan penelitian ini adalah

1. Mengetahui nilai modulus penampang profil pada konstruksi wing tank.
2. Mengetahui desain dimensi penegar pada tiap variasi profil penegar yang digunakan.
3. Mengetahui besar tegangan yang terjadi pada konstruksi *wing tank* dengan variasi jenis profil penegar.

## **I.4. Batasan Masalah**

Dalam pengerjaan penelitian ini permasalahan difokuskan pada:

1. Analisis dilakukan pada konstruksi *wing tank* ruang muat midship.
2. Jenis profil penegar yang digunakan adalah *bulb*, *unequal leg angles*, dan *equal leg angles*.
3. Analisis kekuatan konstruksi dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* FEM.
4. Perhitungan dikhususkan pada pelat *inner shell*.
5. Peraturan yang digunakan adalah standar *Common Structural Rules (CSR)* 2012.
6. Perhitungan dilakukan pada kondisi kapal saat muatan penuh.
7. Jarak antar penegar sama untuk setiap variasi tipe penegar.

### **I.5. Manfaat**

Dari penelitian ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

- a. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan penelitian ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan di Indonesia, khususnya dibidang perkapalan.
- b. Secara praktek, diharapkan hasil dari penelitian ini dapat berguna sebagai referensi analisis perbandingan kekuatan antara penggunaan jenis profil penegar pelat dan dapat dijadikan rekomendasi dalam mendesain kapal baru.

### **I.6. Hipotesis**

Hipotesis dari penelitian ini adalah:

Hasil perhitungan kekuatan menggunakan metode elemen hingga pada konstruksi *wing tank* dengan variasi profil *bulb*, *unequal leg angles*, dan *equal leg angles*, nilai tegangan yang terjadi pada sekat menggunakan penegar *bulb Plate* lebih kecil sehingga dari segi kekuatan akan lebih baik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB II STUDI LITERATUR

### II.1. Dasar Teori

Pada penelitian ini menggunakan dasar teori perhitungan pembebanan berdasarkan peraturan *Common Structural Rule (CSR) for Double Hull Oil Tanker 2012*. Penelitian ini juga memerlukan perhitungan modulus penampang profil penegar untuk menentukan variasi profil yang akan digunakan dengan modulus yang sama.

#### II.1.1. Perhitungan Pembebanan

Berdasarkan CSR, pembebanan yang terjadi pada *inner shell* menerima dua gaya dari tangki muat dan tangki ballast (*wing tank*), yang kemudian diambil beban kritis yang terbesar. Kemudian juga perlu dibandingkan dengan perhitungan beban pengujian tangki yang sudah diatur dalam CSR. Beban dipilih berdasarkan nilai perhitungan yang terbesar.

Berikut adalah beberapa persamaan yang digunakan dalam perhitungan beban.

- Tekanan statis yang terjadi pada tangki

$$P_{in-tk} = \rho \cdot g \cdot z_{tk} \text{ kN/m}^2 \quad \text{II. 1}$$

Dimana:

$z_{tk}$  = jarak vertikal paling atas tangki ke pusat beban, dalam meter

$\rho$  = massa jenis fluida pada tangki, tidak boleh kurang dari

0.91 untuk tangki muatan minyak ( $\text{ton/m}^3$ )

1.025 untuk tangki ballast air laut ( $\text{ton/m}^3$ )

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

- Tekanan akibat pengujian tangki, diambil nilai terbesar dari dua rumus berikut:

$$P_{in-test} = \rho_{sw} \cdot g \cdot z_{test} \text{ kN/m}^2 \quad \text{II. 2}$$

$$P_{in-test} = \rho_{sw} \cdot g \cdot z_{test} + P_{valve} \text{ kN/m}^2 \quad \text{II. 3}$$

Dimana:

$z_{test}$  = jarak vertikal ke pusat beban, dipilih jarak yang paling besar dari (dalam meter)

a) Tinggi overflow

b) 2.4 diatas atap tangki

$\rho$  = massa jenis air laut,  $1.025 \text{ ton/m}^3$

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

$P_{\text{valve}}$  = Pengaturan katup pelepas tekanan (desain kapal  $14 \text{ kN/m}^2$ )

### II.1.2. Perhitungan Modulus Penampang Profil Penegar

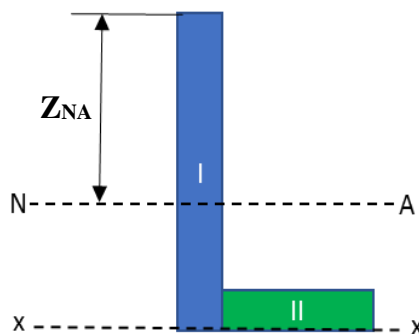
Pada data kondisi kapal sebenarnya menggunakan profil penegar tipe *Bulb Plate*. Dalam penelitian ini digunakan variasi *L-Profile equal leg angle* dan *L-Profile unequal leg angle*, sehingga untuk mendapatkan variasinya dengan modulus yang sama diperlukan perhitungan modulus. Rumus modulus adalah

$$\text{Modulus (W)} = \frac{\text{Momen Inersia (I}_{NA})}{Z_{NA}} \quad \text{II. 4}$$

Dalam kasus ini, perhitungan momen Inersia tidak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dasar

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad \text{II. 5}$$

Namun perhitungan momen inersia dilakukan dalam bentuk tabulasi seperti diperlihatkan pada Tabel II. 1.



Gambar II. 1 Penampang Profil

Tabel II. 1 Tabulasi Perhitungan Momen Inersia

Part of Profile	Horizontal (h)	Vertical (v)	Area of Cross Section (F)	Distance of Center Gravity (d)	Momen of Area (F.d)	Momen of Inertia (F.d <sup>2</sup> )	Individual Moment of Inertia ( $\frac{1}{12} \cdot h \cdot v^3$ )
Web							
Face							
$\Sigma =$			$\Sigma_1$		$\Sigma_2$	$\Sigma_3$	$\Sigma_4$

$$\begin{aligned} Z_{NA} &= \text{Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)} \\ &= \Sigma_2 / \Sigma_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{XX} &= \text{Momen Inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)} \\ &= \Sigma_3 + \Sigma_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{NA} &= \text{Momen Inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)} \\ &= I_{XX} - \Sigma_1 * Z_{NA}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= \text{Modulus Penampang Profil} \\ &= I_{NA} / Z_{NA} \end{aligned}$$

(Santosa, 2013)

Dari tabulasi di atas maka akan didapatkan modulus yang sama dengan bentuk profil penegar yang berbeda. Kemudian profil tersebut digunakan sebagai variasi dalam penelitian ini.

## II.2. Tinjauan Pustaka

Pada Sub-bab ini berisikan penjabaran dari beberapa teori yang berkaitan dengan penelitian ini, sehingga dapat mempermudah pembaca untuk lebih memahami penelitian ini. Selain itu juga digunakan sebagai landasan teori dalam tercapainya tujuan dari penelitian ini.

### II.2.1. Struktur

Sistem konstruksi adalah gabungan dari berbagai konstruksi yang saling terhubung satu sama lain yang membentuk satu kesatuan untuk menahan gaya yang diterima sesuai dengan tujuan pembangunan sistem tersebut. Sistem konstruksi pada *wing tank* kapal tanker yang menjadi objek dalam penelitian ini meliputi sistem konstruksi memanjang dimana sebagian besar sistem konstruksi dibentuk oleh pelat dan profil penegar memanjang.

Kekuatan komponen struktur dikatakan tidak memadai atau kegagalan struktur dikatakan telah terjadi apabila material struktur telah kehilangan kemampuan menopang beban melalui kepecahan, luluh, tekuk (*buckling*) atau mekanisme kegagalan lainnya dalam menghadapi beban-beban eksternal. Untuk melakukan analisis atas respon struktur pada suatu bagian kapal, diperlukan tiga jenis informasi yang menyangkut komponen struktur tersebut.

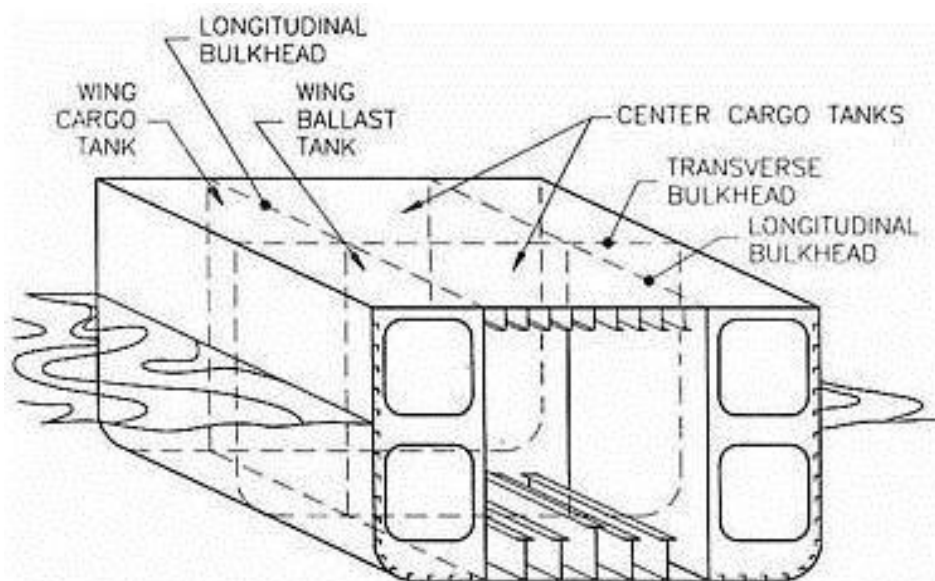
1. Ukuran, tata letak, dan sifat-sifat mekanik bahan komponen tersebut
2. Kondisi batas komponen, yaitu derajat kekakuan sambungan komponen ke komponen yang bersebelahan.
3. Beban yang bekerja.

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

### II.2.2. Sekat Kedap Membujur (*Longitudinal Watertight Bulkhead*)

Telah dijelaskan bahwa dinding sekat memanjang hanya dipasang pada jenis kapal-kapal tertentu saja, misalnya kapal tangki minyak, kapal muatan curah, dan kapal pengangkut biji-bijian. Sekat memanjang pada kapal tangki dan muatan curah selain untuk mengurangi luas permukaan bebas juga berfungsi untuk menambah kekuatan memanjang kapal. Luas permukaan bebas muatan cair dan muatan curah perlu diperkecil dengan pemasangan sekat memanjang karena permukaan zat cair atau muatan curah akan berubah dengan kemiringan kapal. Perubahan luas permukaan bebas yang cukup besar akan mengurangi stabilitas kapal tersebut, terutama pada kapal- kapal tanpa sekat memanjang.

Susunan konstruksi pada sekat rata sama dengan susunan konstruksi pada lambung kapal. Jika lambung menggunakan gading-gading tegak, pada sekat memanjang dipasang penegar-penegar tegak. Pada sistem konstruksi memanjang diperlukan diperlukan pelintang sisi pada sekat yang dihubungkan dengan pelintang pada geladak dan pelintang sisi pada lambung kapal. Palang pengikat menghubungkan antara pelintang sisi pada lambung dan pelintang sisi pada sekat (Djaya, 2008).

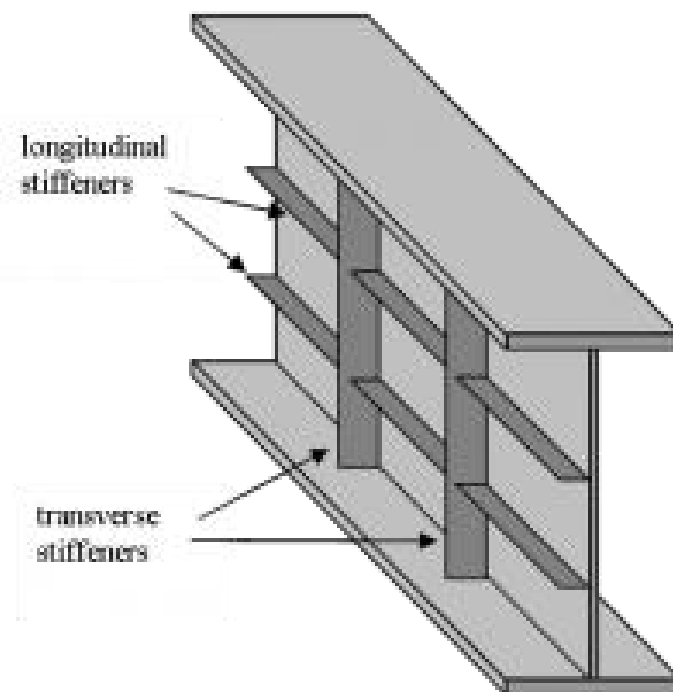


Gambar II. 2 Kapal Tanker dengan Sekat Memanjang *Wing Tank*  
Sumber: Djaya, 2008

### II.2.3. Penegar (*Stiffener*)

*Stiffener* adalah bantalan pengaku atau pelat yang digunakan pada titik tumpuan suatu balok ketika balok tidak memiliki kemampuan pada badan profil untuk mendukung reaksi akhir atau beban terpusat. Batas untuk kondisi ini antara lain leleh lokal pada *web* (*web local yielding*), *web crippling* dan tekuk lokal *web*.

Tekuk lokal *web* dapat terjadi bila balok diberi gaya tekan terpusat dan pergerakan lateral antara flange tekan dan flange tarik yang terbebani, tetap sejajar saat terjadi tekuk pada *web* (Aghayere & Jason, 2009).



**Gambar II. 3 Ilustrasi *Stiffener* pada Pelat**  
Sumber: Salmon & Johnson, 1983

*Stiffener* dibuat untuk membantu badan balok menciptakan garis-garis nodal selama tekuk pelat badan dan untuk menerima gaya-gaya tekan yang ditransmisikan dari badan balok. Pada *flens* tekan, pengelasan pengaku memberikan stabilitas kepada pengaku dan menjaganya agar tetap tegak lurus terhadap badan balok (Salmon & Johnson, 1983).

### II.2.4. Konstruksi Profil Umum

Pada dasarnya berbicara tentang konstruksi kapal baja, tidak lepas dari pembicaraan konstruksi profil, *midship section*, dan general arrangement kapal. Konstruksi profil merupakan konstruksi penguat baik memanjang maupun melintang pada kapal untuk menguatkan



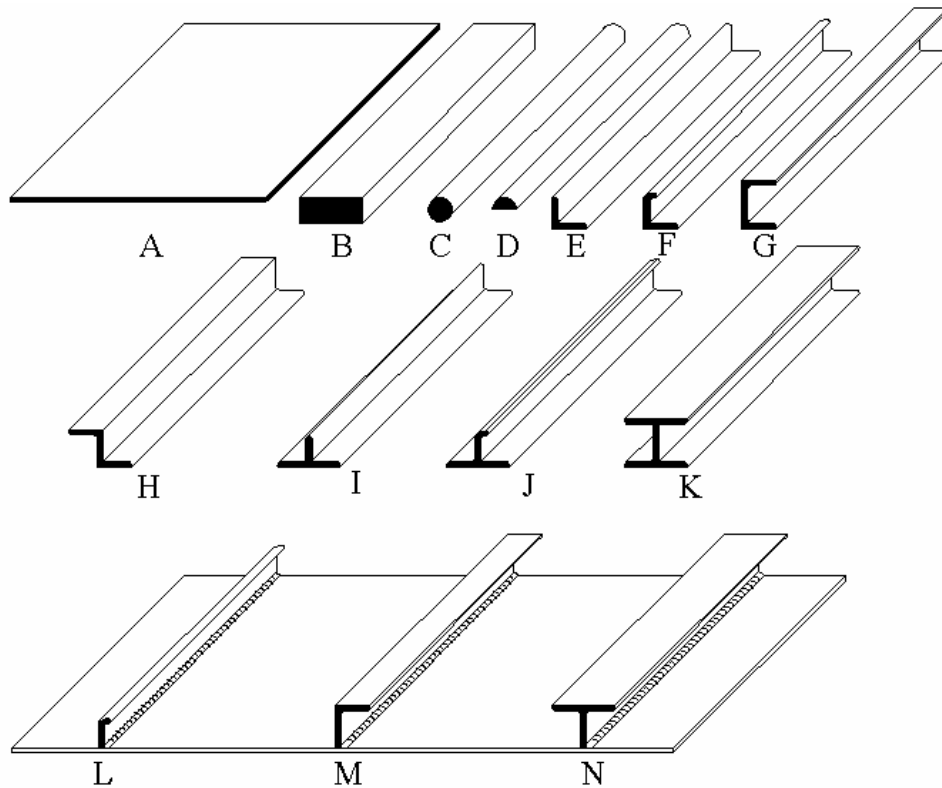
konstruksi kapal. Ada faktor yang sangat berpengaruh dan menentukan kekuatan konstruksi profil tersebut yaitu faktor rasio jarak gading-gading kapal ini dengan *keeling* dan las.

Berdasarkan Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2016 volume 2, tujuan utama pembangunan konstruksi kapal ialah membuat suatu konstruksi kapal yang kokoh dan kuat dengan berat konstruksi yang ringan-ringannya. Karena dengan konstruksi yang kuat tetapi ringan, maka kita akan mendapatkan daya muat yang besar sehingga hal ini akan menguntungkan dari segi finansial. Konstruksi kapal harus menopang kekuatan kapal dan material produksinya memenuhi persyaratan. Profil yang digunakan untuk membangun kapal mempunyai bermacam-macam bentuk dan ukuran.

Penggunaan pelat dan profil-profil tersebut adalah sebagai berikut.

- a. Pelat, sebagai material baja untuk membangun kapal.
- b. Balok berpenampang bujur sangkar biasanya digunakan untuk balok-balok tinggi, lunas, dan lain-lain.
- c. Profil penampang bulat pada umumnya digunakan untuk topang-topang yang kecil, balok untuk pegangan tangan.
- d. Profil setengah bulat pada umumnya dipakai pada tepi-tepi pelat sehingga pelat tersebut tidak tajam ujung tepinya, misalnya pada tepi ambang palkah.
- e. Profil siku sama kaki digunakan penguat pelat atau penguatan-penguatan.
- f. Profil siku gembung (*bulb*) merupakan profil siku yang salah satu sisinya diperkuat dengan pembesaran tepi sampai menggembung.
- g. Profil U adalah profil yang mempunyai kekuatan besar daripada profil siku *bulb*. Profil ini digunakan untuk kekuatan konstruksi yang lebih besar daripada yang disyaratkan.
- h. Profil berbentuk penampang Z sama dengan profil U dalam hal bentuknya, tetapi salah satu sisi dibalik.
- i. Profil H dan I adalah profil yang sangat kuat, tetapi tidak digunakan secara umum, profil ini dipasang pada konstruksi yang memerlukan kekuatan khusus.
- j. Profil T adalah yang digunakan untuk keperluan khusus, misalnya penumpu geladak dan sebagai lunas pada kapal-kapal kecil.
- k. Profil T gembung adalah profil yang mempunyai kekuatan lebih besar daripada profil T

1. Profil gembung adalah profil yang salah satu ujungnya dibuat gembung dan digunakan untuk penguat pelat (Djaya, 2008).



**Gambar II. 4 Profil-Profil Umum Konstruksi Kapal Baja**  
Sumber: Djaya, 2008

### II.2.5. Tekanan Hidrostatik

Menurut Halliday & Resnick (1985) tekanan adalah gaya yang bekerja tegak lurus pada suatu permukaan bidang dan dibagi luas permukaan bidang tersebut. Secara matematis, persamaan tekanan dituliskan sebagai berikut.

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{II. 6}$$

Dimana:

F = Gaya (N),

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

P = Tekanan (N/m<sup>2</sup> = Pascal).

Persamaan diatas menyatakan bahwa tekanan p berbanding terbalik dengan luas permukaan bidang tempat gaya bekerja. Jadi, untuk besar gaya yang sama, luas bidang yang kecil akan mendapatkan tekanan yang lebih besar daripada luas bidang yang besar.

Tekanan Hidrostatik adalah tekanan yang terjadi di bawah air. Tekanan hidrostatik disebabkan oleh fluida tak bergerak. Tekanan hidrostatik yang dialami oleh suatu titik di dalam fluida diakibatkan oleh gaya berat fluida yang berada di atas titik tersebut. Jika besarnya tekanan hidrostatik pada dasar tabung adalah  $p$ , menurut konsep tekanan, besarnya  $p$  dapat dihitung dari perbandingan antara gaya berat fluida ( $F$ ) dan luas permukaan bejana ( $A$ ).

Gaya berat fluida merupakan perkalian antara massa fluida dengan percepatan gravitasi bumi dibagi luas permukaan bejana. Oleh karena  $m = \rho V$ , persamaan tekanan oleh fluida dituliskan sebagai  $p = \rho Vg / A$ . Volume fluida di dalam bejana merupakan hasil perkalian antara luas permukaan bejana ( $A$ ) dan tinggi fluida dalam bejana ( $h$ ). Oleh karena itu, persamaan tekanan di dasar bejana akibat fluida setinggi  $h$  dapat dituliskan menjadi

$$P = \rho (Ah) \frac{g}{A} \quad \text{II. 7}$$

$$P = \rho g h \quad \text{II. 8}$$

Dimana,

$P$  = tekanan hidrostatik (N/m<sup>2</sup>),

$\rho$  = massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>),

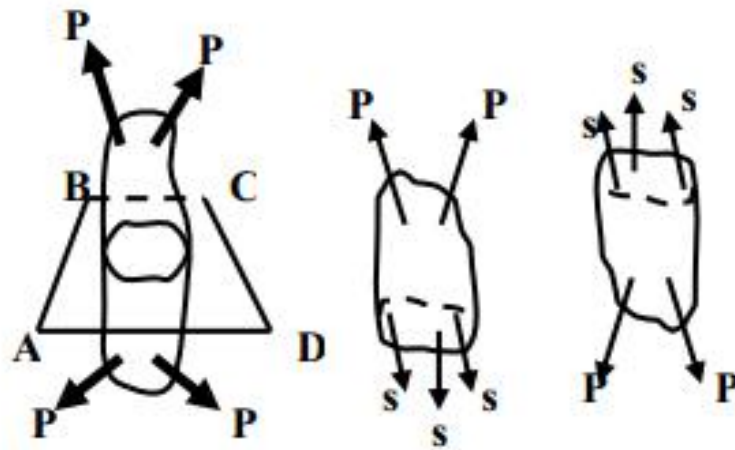
$g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$h$  = kedalaman titik dari permukaan fluida (m)

### II.2.6. Kekuatan Material

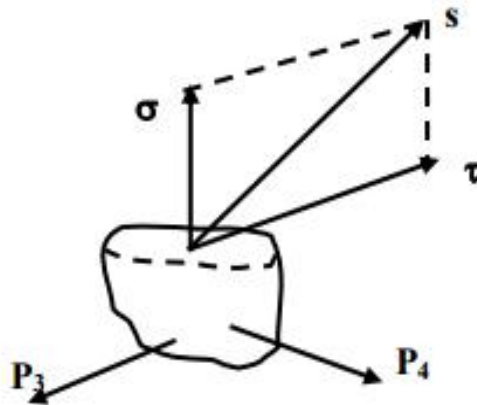
Kekuatan material adalah kemampuan sebuah material untuk dapat menahan tekanan yang diberikan tanpa mengalami kegagalan atau *failure*. Bidang kekuatan bahan berkaitan dengan beban, deformasi dan gaya yang bekerja pada suatu material. Sebuah beban yang diterapkan kepada anggota mekanis akan mendorong kekuatan internal di dalam anggota yang disebut tegangan (*stress*). Tekanan yang bekerja pada material menyebabkan deformasi pada diri material tersebut. Deformasi dari bahan disebut regangan, sedangkan intensitas dari kekuatan-kekuatan internal yang disebut *stress*.

Tegangan adalah gaya yang bekerja pada luasan yang kecil tak berhingga pada sebuah potongan, akan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah, seperti yang diperlihatkan secara diagramatis dalam Gambar II. 5. Gaya-gaya dalam ini merupakan vektor dan bertahan dalam keseimbangan terhadap gaya-gaya luar terpakai.



Gambar II. 5 Pengirisan Sebuah Benda  
 Sumber: Popov, 1978

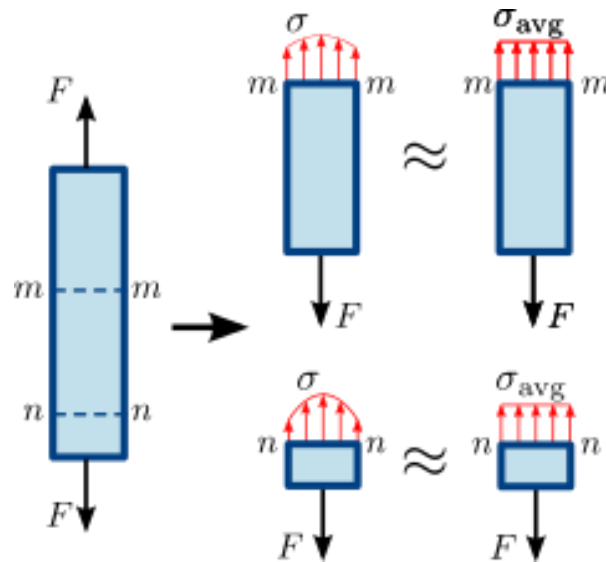
Pada umumnya, intensitas gaya yang bekerja pada luasan kecil tak berhingga pada suatu potongan berubah-ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya intensitas gaya ini berarah miring pada bidang potongan. Penguraian intensitas ini pada luas kecil tak berhingga diperlihatkan pada Gambar II. 6 Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada sebuah titik (Popov, 1978).



Gambar II. 6 Komponen-Komponen Tegangan Normal dan Tegangan Geser  
 Sumber: Popov, 1978

Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal atau tegak lurus terhadap irisan yang mengalami tegangan, dan dilambangkan dengan  $\zeta$  (*sigma*). Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut. Gaya-gaya seperti itu disebut gaya aksial, dan tegangan yang timbul dikenal sebagai tegangan aksial.

Konsep dasar dari tegangan dan regangan dapat diilustrasikan dengan meninjau sebuah batang prismatik yang dibebani gaya-gaya aksial (*axial forces*)  $P$  pada ujung-ujungnya. Sebuah batang prismatik adalah sebuah batang lurus yang memiliki penampang yang sama pada keseluruhan panjangnya (Gere & Timoshenko, 1996).



**Gambar II. 7 Batang Prismatik yang Dibebani Gaya Aksial**  
 Sumber: Gere & Timoshenko, 1996

Tegangan normal dapat berbentuk:

1. Tegangan Tarik (*Tensile Stress*)

Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



**Gambar II. 8 Gaya Tarik Aksial**  
 Sumber: Gere & Timoshenko, 1996

2. Tegangan Tekan (*Compressive Stress*)

Apabila sepasang gaya tekan aksial mendorong suatu batang, akibatnya batang ini cenderung untuk memperpendek atau menekan batang tersebut. Maka gaya tarik aksial

tersebut menghasilkan tegangan tekan pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



**Gambar II. 9 Gaya Tekan Aksial**  
 Sumber: Gere & Timoshenko, 1996

Menurut Gere & Timoshenko (1996) intensitas gaya yaitu gaya per satuan luas disebut tegangan (*stress*) dan lazimnya ditunjukkan dengan huruf Yunani  $\zeta$  (*sigma*). Dengan menganggap bahwa tegangan terdistribusi secara merata pada seluruh penampang batang, maka resultannya sama dengan intensitas  $\zeta$  kali luas penampang  $A$  dari batang. Selanjutnya, dari kesetimbangan benda yang diperlihatkan pada Gambar II. 7, besar resultan gayanya sama dengan beban  $P$  yang dikenakan, tetapi arahnya berlawanan. Sehingga diperoleh persamaan

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{II. 9}$$

Dimana,  $\sigma$  = Tegangan (N/m<sup>2</sup>)  
 $P$  = Gaya aksial (N)  
 $A$  = Luas (m<sup>2</sup>)

### II.2.7. Tegangan Batas, Tegangan Ijin, Faktor Keamanan

Menurut Popov (1978) faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan di dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimate* atau *ultimate load*. Dengan membagi beban *ultimate* ini dengan luas penampang, kita akan memperoleh kekuatan *ultimate* atau *ultimate strength* atau tegangan *ultimate* atau *ultimate stress* dari suatu bahan.

Untuk desain bagian-bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan ijin (*allowable stress*) dibuat benar-benar lebih rendah daripada kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian statis. Hal ini penting untuk berbagai pertimbangan. Besar gaya yang dapat bekerja pada bangunan yang dirancang jarang diketahui secara pasti. Karena tegangan

dikalikan luas sama dengan gaya, maka tegangan ijin dari *ultimate* dapat diubah dalam bentuk gaya atau beban yang diijinkan dan ultimate yang dapat ditahan oleh sebuah batang.

$$\text{Tegangan Ijin } (\sigma_{ijin}) = \frac{\text{tegangan lelah } (\sigma_y)}{\text{faktor keamanan } (n)} \quad \text{II. 10}$$

Faktor keamanan (*faktor of safety*) adalah perbandingan dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang diijinkan.

$$\text{Faktor Keamanan } (n) = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{ijin}} \quad \text{II. 11}$$

### II.2.8. Bending Stress

Dari classic bending theory menurut Eyres (2007) diketahui harga tegangan tekuk (bending stress) ( $\sigma$ ) pada titik manapun pada sebuah balok adalah:

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y \quad \text{II. 12}$$

Di mana:

M : Momen bending yang diaplikasikan

y : Jarak yang diinginkan, dihitung dari neutral axis

I : Momen inersia

Pada saat balok tertekuk terlihat bahwa serat terjauh (*extreme fibres*), misal pada kasus hogging, tarik terjadi pada bagian atas dan tekan pada alas/bawah. Suatu daerah diantara kedua posisi tersebut adalah posisi dimana serat tidak mengalami baik tekan ataupun tarik. Posisi ini dinamakan *neutral axis*, dan pada jarak terjauh dari *neutral axis* adalah dimana tegangan terbesar terjadi untuk plane bending. Harus diketahui bahwa pada *neutral axis* selalu terdapat titik pusat gravitasi daripada penampang melintang. Pada persamaan diatas momen inersia (I) adalah pembagi, maka dari itu semakin besar harga momen inersia semakin kecil harga tegangan tekuk (*bending stress*). Momen inersia bervariasi sepanjang tinggi kuadrat dan oleh karena itu penambahan sedikit/kecil pada ketinggian daripada penampang bisa sangat menguntungkan dalam mengurangi tegangan tekuk (*bending stress*). Lalu referensi dibuat mengenai modulus penampang (Z) dari balok, persamaan ini adalah rasio antara momen inersia dan jarak terjauh yang ingin dihitung dari neutral axis,  $I/y=Z$ .

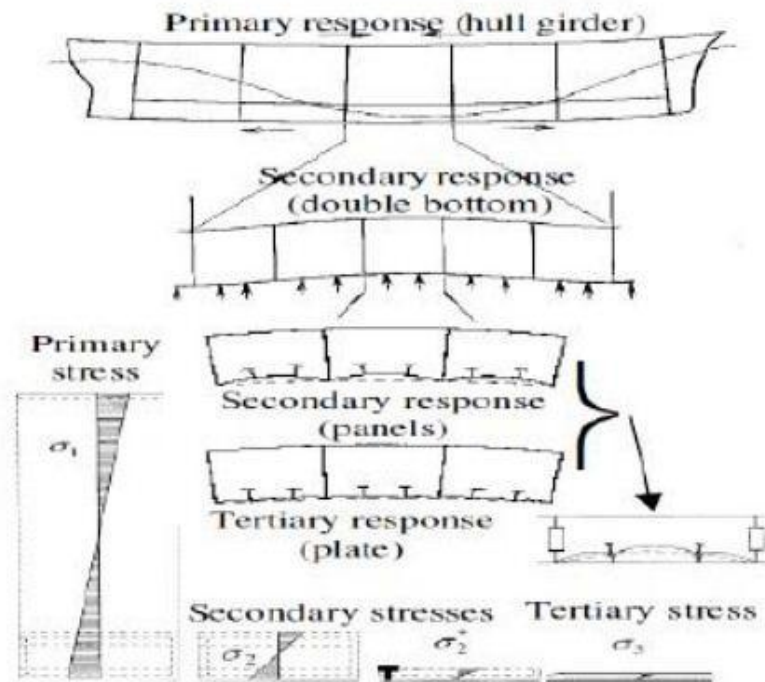
Dengan demikian maka Bending stress ( $\sigma$ ) adalah

$$\sigma = M/Z \quad \text{II. 13}$$

## II.2.9. Deformasi

Deformasi dapat disebabkan baik oleh respon sekunder atau tersier dari *hull girder*. Respon sekunder berhubungan dengan tekukan global (*global bending*) dari panel-panel berpenegar. Respon tersier berhubungan dengan defleksi dan tegangan dari panel pelat yang tidak berpenegar yang terletak diantara dua pembujur dan dua gading besar.

*Hull girder* adalah salah satu jenis defleksi yang berhubungan dengan respon dari lambung secara keseluruhan yang disebut juga dengan respon primer. Kapal secara keseluruhan memiliki respon seperti balok sederhana yang dikenakan beban merata memanjang. Dalam dunia perkapalan tegangan yang terjadi akibat respon primer ini umumnya disebut sebagai longitudinal bending stress (Rizzuto, 2010).

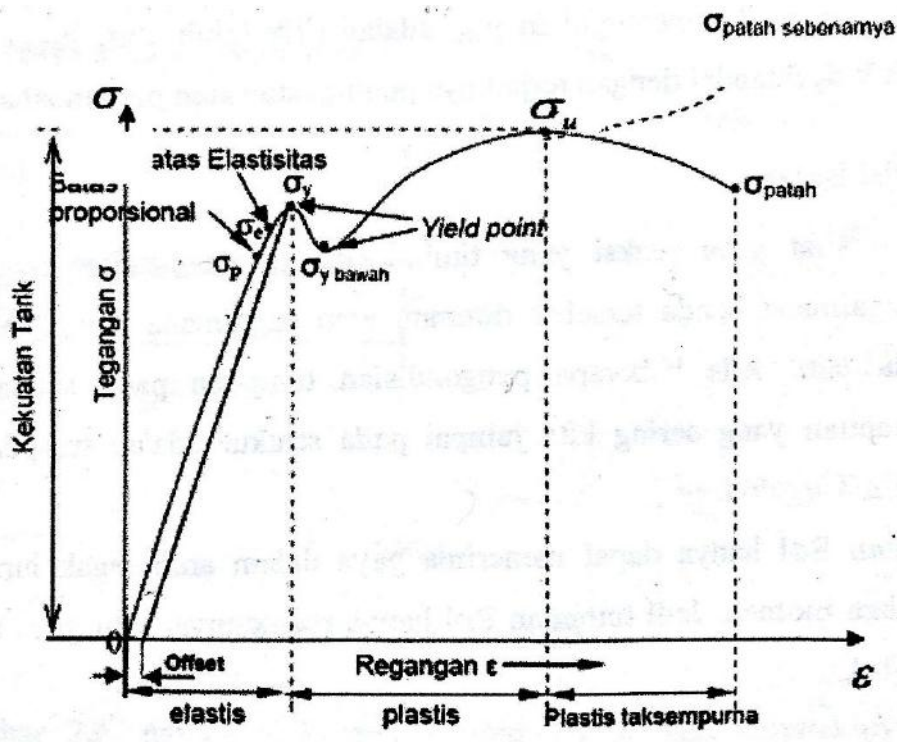


**Gambar II. 10 Respon Deformasi Akibat Beban pada Kapal**  
Sumber: Rizzuto, 2010

Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan ukuran secara fisik ini disebut deformasi. Deformasi ada dua macam, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban diiadakan, maka material akan kembali seperti ukuran dan bentuk semula, sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas (Hibeller, 1997).



Secara umum kekuatan suatu material diuji melalui uji tarik dengan memberi gaya tarik pada bahan hingga bahan tersebut putus. Mesin uji akan mencetak kurva dari besarnya tegangan terhadap regangan yang timbul selama proses penarikan hingga putus. Diagram (kurva) tegangan-regangan seperti pada Gambar II. 11 Kurva Tegangan Regangan memperlihatkan antara 0 ke  $\sigma_y$  disebut daerah elastis, sedangkan titik  $\sigma_y$  adalah batas luluh (*yield*). Titik  $\sigma_u$  merupakan tegangan maksimal dimana bila beban dilepas maka bahan tersebut tidak akan kembali ke bentuk semula. Bila beban diberikan sampai batas maksimal maka bahan akan mengalami putus. Dari titik  $\sigma_y$  ke titik  $\sigma_u$  bahan tersebut mengalami deformasi plastis sempurna. Sedangkan  $\sigma_u$  sampai putus terjadi deformasi plastis tak sempurna dimana batang mulai mengecil dan akhirnya putus.



Gambar II. 11 Kurva Tegangan Regangan  
 Sumber: Hibeller, 1997

**a. Batas Proporsional**

Batas proporsional merupakan garis lurus dari origin 0 (nol) hingga titik batas proporsional seperti yang terlihat pada Gambar II. 11. Hal ini sesuai dengan hukum Hooke bahwa tegangan sebanding dengan regangan. Dalil ini berlaku sampai batas proporsional saja, di luar titik tersebut tegangan akan tidak sebanding dengan regangan. Hal ini bisa sebagai petunjuk pertama bahwa batas bukan kekuatan batas (proporsional) merupakan kekuatan maksimal yang bisa dialami bahan.

**b. Batas Elastisitas**

Beban yang ditingkatkan akan mengakibatkan garis lurus (garis modulus) beralih menjadi melengkung. Titik dimana garis itu mulai disebut batas elastisitas, pada Gambar II. 11 ditandai dengan tanda  $\sigma_e$ .

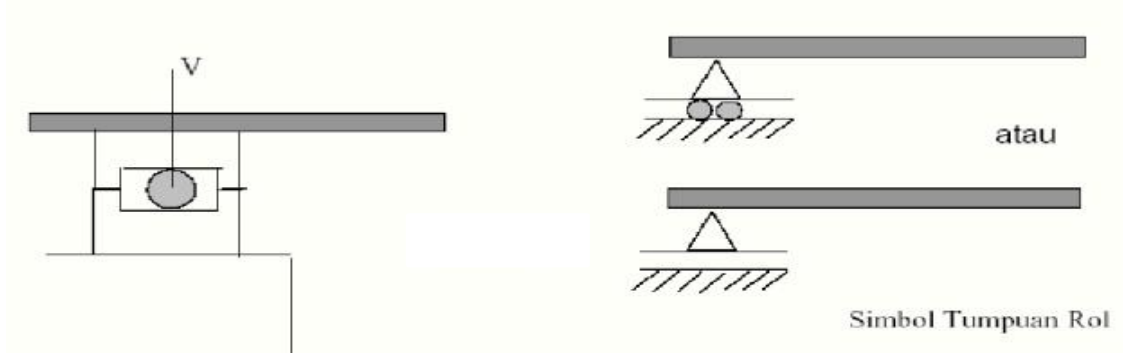
**c. Kekuatan Luluh (Yield Point)**

Sifat elastis pada kenyataannya masih terjadi sedikit di atas batas proporsional, namun hubungan antara tegangan dan regangan tidak linier dan umumnya batas daerah elastis dan daerah plastis sulit ditentukan. Karena itu didefinisikan kekuatan luluh (*yield point*). Kekuatan luluh adalah harga tegangan terendah dimana material mulai mengalami deformasi plastis. Pada Gambar II. 11 menunjukkan  $y_{atas}$  adalah titik luluh atas,  $y_{bawah}$  adalah titik luluh bawah, dan titik  $\sigma_y$  ditandai dengan terjadinya peningkatan atau penambahan regangan.

**II.2.10. Tumpuan**

Menurut Hibeller (1997), sifat – sifat gaya reaksi yang timbul pada suatu benda yang mendapat beban tergantung bagaimana benda tersebut ditumpu atau bagaimana benda tersebut disambung dengan benda lain. Ada beberapa pengondisian tumpuan pada sebuah struktur. Pada umumnya tumpuan yang sering kita jumpai pada struktur adalah tumpuan jepit, roll dan tumpuan sendi.

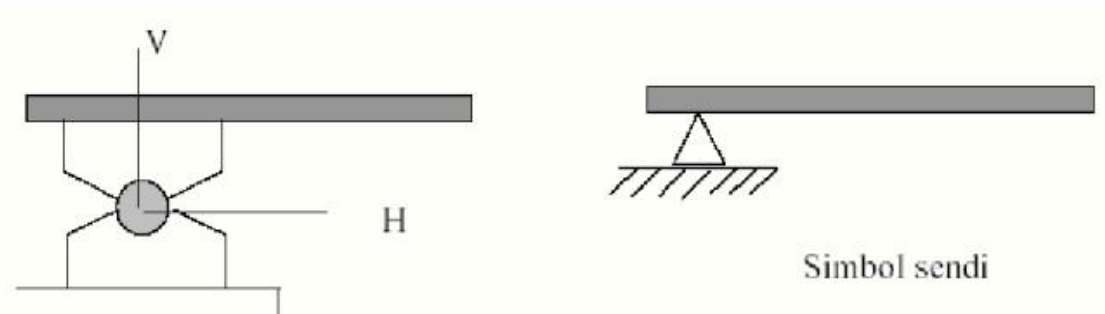
Tumpuan roll hanya dapat menerima gaya dalam arah tegak lurus roll dan tidak mampu menahan momen. Jadi tumpuan roll hanya mempunyai satu gaya reaksi yang tegak lurus dengan roll seperti pada Gambar II. 12.



**Gambar II. 12 Tumpuan Roll**  
Sumber: Hibeller, 1997

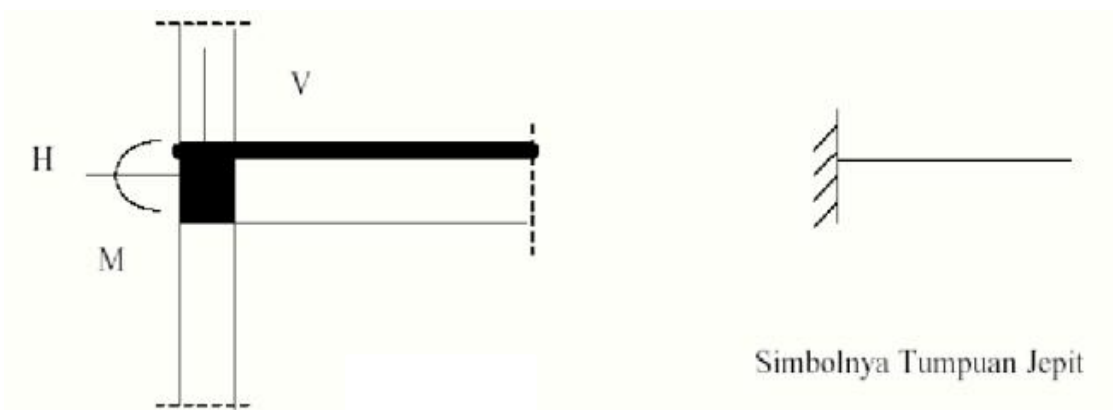
Tumpuan sendi dapat menerima gaya dari segala arah tetapi tidak mampu menahan momen. Dengan demikian tumpuan sendi mempunyai dua gaya reaksi seperti terlihat pada

Gambar II. 14. Dalam istilah mekanika bahan tumpuan ini juga sering disebut dengan tumpuan engsel.



**Gambar II. 14 Tumpuan Sendi**  
Sumber: Hibeller, 1997

Tumpuan jepit dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen. Dengan demikian tumpuan jepit mempunyai tiga gaya reaksi seperti terlihat pada Gambar II. 13.



**Gambar II. 13 Tumpuan Jepit**  
Sumber: Hibeller, 1997

Selain ketiga jenis tumpuan tersebut juga masih ada beberapa jenis seperti tumpuan sederhana dan tumpuan kabel. Semua jenis tumpuan tersebut merupakan suatu idealisasi dengan keadaan aktual yang berada pada struktur (Hibeller, 1997).

### II.2.11. Metode Elemen Hingga

Menurut Popov (1978) metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisis sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu masalah. Pada dasarnya, langkah awal pada setiap simulasi menggunakan elemen hingga adalah membagi (*to discretize*) geometri dari struktur sesungguhnya menggunakan sekumpulan elemen-elemen yang berhingga. Sekumpulan titik nodal dan suatu elemen hingga disebut dengan mesh. Banyaknya elemen per satuan panjang,

area, atau pada suatu mesh disebut dengan mesh density. Pada suatu analisis statik mekanika benda padat (*solid*), perpindahan (*displacements*) dari titik nodal adalah variabel dasar yang akan dikalkulasi oleh analisis (dengan bantuan perangkat lunak). Tegangan, regangan, gaya dalam, serta gaya luar dapat ditentukan setelah perpindahan pada setiap titik nodal diketahui.

Suatu analisis menggunakan elemen hingga merupakan analisis pendekatan sehingga hasil yang didapatkan bukanlah suatu hasil analitis/tepat. Terdapat ketidaksesuaian (*error*) dari hasil yang didapat dengan hasil yang seharusnya. Namun terdapat suatu batasan yang dapat ditoleransi sehingga hasil dari analisis menggunakan elemen hingga dapat dinyatakan valid.

Perumusan suatu kondisi struktur ditentukan oleh penurunan-penurunan dari teori-teori yang ada. Dalam metode elemen hingga, terdapat beberapa cara penurunan rumusan perhitungan, yaitu :

- Metode Kekakuan Langsung (*Direct Stiffness Method*);
- Prinsip Kerja Semu (*Virtual Work Principles*) atau bisa juga disebut dengan Prinsip Energi Potensial Minimum (*Minimum Potential Energy Principles*);
- Prinsip Tegangan Semu (*Virtual Stress Principles*) atau bisa juga disebut dengan Prinsip Energi Komplementer Minimum (*Minimum Complementary Energy*);
- Prinsip Energi Potensial Termodifikasi (*Modified Potential Energy Principles*);
- Prinsip Energi Komplementer Termodifikasi (*Modified Complementary Energy Principles*);
- Prinsip Variasi *Reissner*.

Persamaan metode elemen hingga secara umum adalah sebagai berikut:

$$\{\mathbf{f}\} = [\mathbf{k}] \{\mathbf{d}\} \quad \text{II. 14}$$

Dimana:

{f} = Matrik gaya

[k] = Matrik kekakuan

{d} = Matrik deformasi

Analisis kekuatan dengan metode elemen hingga digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum (*maximum stress*) yang dibandingkan dengan nilai tegangan ijin (*permissible stress*) sesuai dengan standar regulasi.

Menurut Rizzuto (2010), sangatlah memungkinkan untuk menggunakan program komputer untuk melakukan analisis dengan metode elemen hingga yang dikenal dengan FEA (*finite element analysis*). Dengan adanya metode ini dapat dilakukan analisis keseluruhan badan kapal secara utuh. Tujuan dari penggunaan metode elemen hingga ini adalah untuk mendapatkan perhitungan yang akurat terhadap respon tegangan dari kapal. Beberapa tingkatan dalam pemodelan elemen hingga dapat digunakan dalam analisis seperti berikut.

- *Global stiffness model*
- *Cargo hold model*
- *Frame and girder model*
- *Local structure model*
- *Stress concentration model*

Dalam penelitian ini jenis/tingkat model elemen hingga yang digunakan adalah *local structure model*.

Menurut DNV-GL (2015) secara umum tahapan dalam perumusan metode elemen hingga adalah sebagai berikut:

Tahap 1: Pendiskretan dan pemilihan jenis elemen.

Tahap ini, struktur dibuat menjadi sebuah sistem yang ekuivalen yang terdiri dari elemen-elemen hingga yang saling berhubungan dengan simpul. Pemilihan jenis elemen harus tepat sesuai dengan permasalahan yang ingin diselesaikan. Untuk mendapatkan pendekatan yang baik, ukuran *meshing* harus dapat mewakili kondisi struktur yang sebenarnya. Elemen-elemen kecil yang digunakan untuk kondisi yang perubahannya drastis, sedangkan elemen berukuran besar digunakan di tempat dimana besaran yang ingin dicari perubahannya relatif konstan. Ukuran *meshing* tidak harus sekecil mungkin, karena membutuhkan kapasitas *harddisc* dan memori yang sangat besar. Dari ukuran *meshing* yang ada dipilih ukuran yang memberikan hasil rasio perubahan yang kecil dibanding dengan ukuran *meshing* yang lebih besar.

Tahap 2: Pemilihan fungsi *displacement*

Menentukan fungsi *displacement* yang didefinisikan pada tiap elemen dengan menggunakan nilai parameter di simpul element tersebut, fungsi yang dipakai berupa *polynomial*, linier kuadrat, kubik atau deret trigonometri.

Tahap 3: Pendefinisian hubungan regangan *displacement* dan tegangan regangan

Hubungan antara regangan *displacement* dan antara tegangan regangan dalam proses penurunan persamaan untuk masing-masing elemen hingga. Kemampuan untuk mendefinisikan kelakuan atau sifat material secara tepat adalah hal yang sangat untuk mendapatkan hasil yang dapat diterima.

#### Tahap 4: Penurunan matriks kekakuan elemen dan Persamaan Elemen

Metode yang sering digunakan dalam penurunan matriks kekakuan elemen dan persamaan elemen adalah metode keseimbangan langsung dan metode ini cocok untuk elemen satu dimensi dan metode energi dengan prinsip energi potensial minimum.

#### Tahap 5: Penggabungan persamaan elemen dan penentuan kondisi batas

Persamaan elemen dalam tahap empat digabungkan menggunakan metode kekakuan langsung untuk mendapatkan persamaan global keseluruhan struktur. Matrik kekakuan global ini berupa matrik singular, sehingga untuk menghindari masalah singularitasnya harus ditentukan kondisi batas.

#### Tahap 6: Menyelesaikan derajat kebebasan yang belum diketahui.

Untuk mendapatkan besaran yang belum diketahui digunakan metode eliminasi atau metode iterasi

#### Tahap 7: Menentukan regangan dan tegangan elemen

Besaran yang di dapat pada tahap 6 (misal *displacement*) digunakan untuk menentukan regangan dan tegangan di elemen.

#### Tahap 8: Interpretasi Hasil

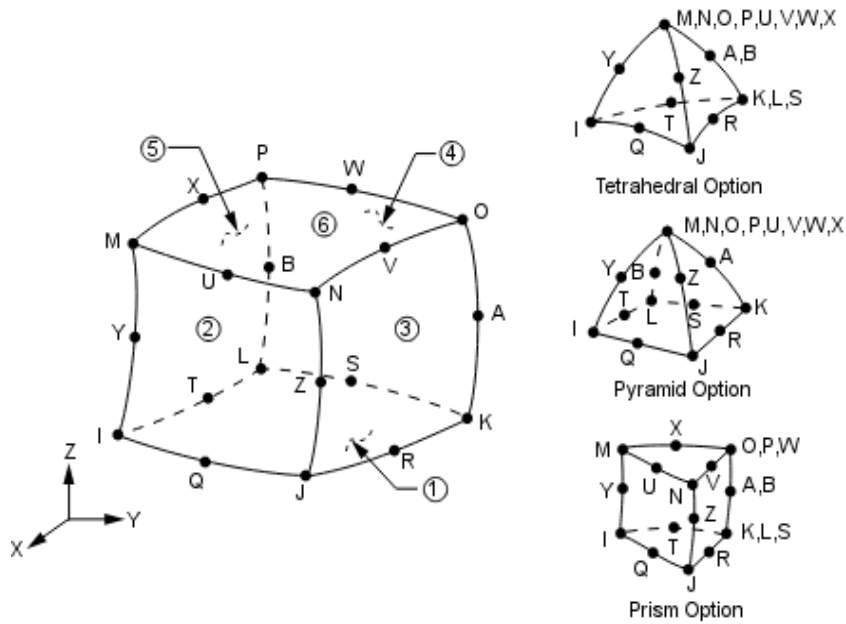
Hasil yang diperoleh dapat ditampilkan dalam bentuk grafis oleh program komputer *post processor*.

Pada penelitian ini, ada beberapa pemahaman yang diperlukan dalam suatu pemodelan menggunakan elemen hingga yang berpengaruh terhadap hasil yang diharapkan, yaitu

##### **a. Tipe Elemen Solid186**

Terdapat lebih dari 100 jenis elemen yang masing-masing memiliki kriteria dan kegunaan berbeda-beda. Pemakaian jenis elemen dipilih berdasarkan kriteria analisis yang digunakan. Beberapa contoh jenis elemen yang terdapat pada *software* FEA adalah Beam, Circu, Combin,

Comtac, Fluid, HF, Hyper, Infint, Inter, Link, Mesh, Matrix, Pipe, Plane, Shell, Solid, Surf, Sourc, Targe, Visco.



Gambar II. 15 Elemen Solid 186

Pada penelitian ini, pemilihan tipe elemen yang akan digunakan dalam pembuatan model konstruksi *wing tank* adalah tipe elemen solid dengan 20 node. Tipe lemen solid ini digunakan pada semua kompen konstruksi sekat melintang termasuk penegar pada *transverse bulkhead*. SOLID186 adalah elemen padat 3D 20 node orde tinggi yang menunjukkan perilaku perpindahan kuadrat. Unsur ini didefinisikan oleh 20 node yang memiliki tiga derajat kebebasan per node pada arah nodal x, y, dan z. Unsur ini mendukung *plastisitas, hyperelasticity, creep, stress stiffening*, defleksi besar, dan kemampuan regangan yang besar. Ini juga memiliki kemampuan formulasi campuran untuk mensimulasi deformasi bahan elastoplastik yang hampir tidak dapat dikompres, dan bahan hiperelastik yang sangat mampat.

**b. Von Mises Stress**

Pada penelitian ini digunakan jenis analisis tegangan *von mises stress*, yaitu salah satu jenis analisis tegangan yang terdapat pada *software* FEA. Menurut Hoque (2016) *Von mises stress* digunakan untuk analisis tegangan pada konstruksi dengan material *ductile*. *Von mises stress* merupakan nilai kombinasi dari semua tegangan dalam suatu konstruksi. Analisis *von mises stress* akan mendefinisikan *yield* sebagai *failure*, sehingga hasil yang dikeluarkan pada analisis ini berupa nilai tegangan tarik atau *tensile stress* pada konstruksi yang diuraikan pada sejumlah titik-titik kritis yang mengalami tegangan. Analisis *von mises stress* dapat diterapkan

pada material *linier elastic isotropic*. Suatu konstruksi dinyatakan memenuhi apabila besarnya nilai *von mises stress* ( $\sigma_{vm}$ ) kurang dari *yield stress* material ( $\sigma_y$ ).

Besarnya nilai *von mises stress* dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad \text{II. 15}$$

Dimana besarnya  $I_1$  dan  $I_2$  dihitung dengan persamaan:

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \text{II. 16}$$

$$I_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xy}^2 \quad \text{II. 17}$$



Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi penjelasan mengenai langkah-langkah cara pengerjaan penelitian ini. Pengerjaan penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah, perumusan masalah, dan penentuan tujuan penelitian yang sudah dijelaskan pada BAB I. Kemudian dilakukan studi literatur yang sudah ditulis pada BAB II. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai data-data yang digunakan dalam menganalisis tegangan yang terjadi pada *wink tank* kapal tanker.

### III.1. Pengumpulan Data

Dalam melakukan pengerjaan tugas akhir, tahap berikutnya yang perlu dilakukan adalah melakukan pengumpulan data. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh data primer dan/atau data sekunder yang berkaitan dengan permasalahan atau kondisi yang terjadi pada kasus yang akan dikaji dalam penelitian ini.

Kapal yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah kapal Tanker *Double Hull* 17.500 LTDW. Berikut adalah data ukuran utama kapal tersebut sesuai dengan Tabel III.

1

**Tabel III. 1 Ukuran Utama Kapal Tanker 17500 LTDW**

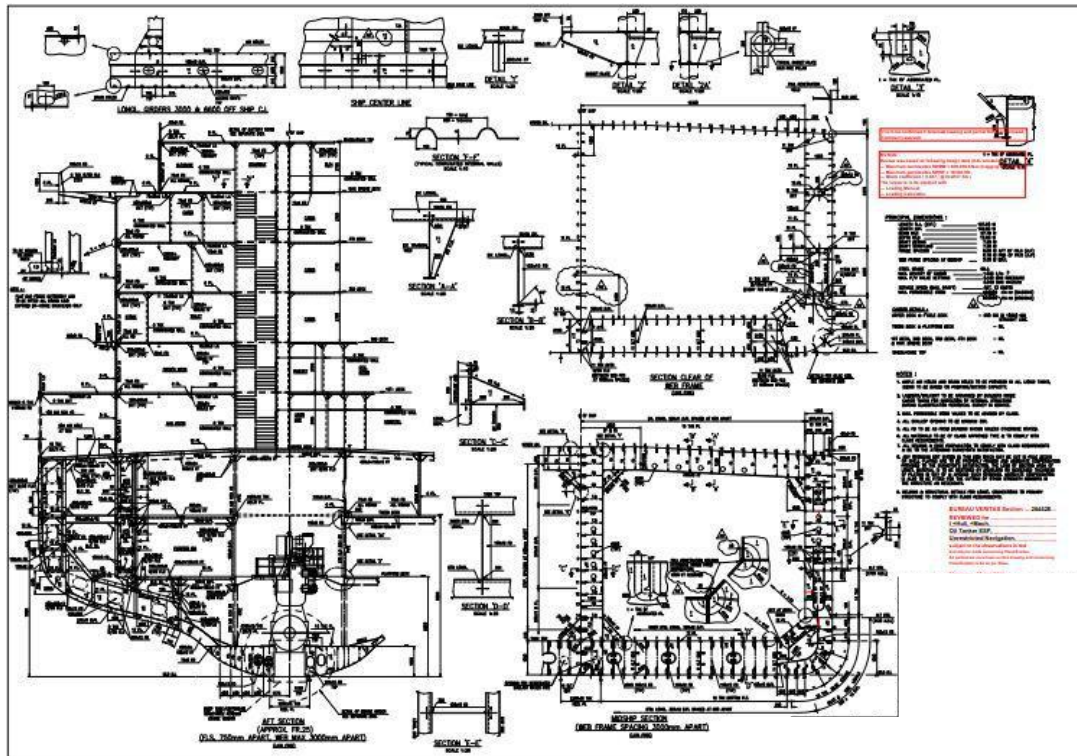
Deskripsi		Ukuran
Displacement	( $\Delta$ )	17500 Ton
Length Overall	( $L_{OA}$ )	157.50 m
Length Perpendicular	( $L_{PP}$ )	149.50 m
Breadth Moulded	( $B$ )	27.70 m
Depth	( $D$ )	12.00 m
Draft	( $T$ )	7.00 m
Service Speed	( $V_S$ )	13.00 Knots

Sumber: PT. XX, 2013

Selain data ukuran utama kapal, dibutuhkan juga beberapa data kapal berupa berbagai gambar-gambar (*drawings*) dari kapal tanker meliputi:



## 2. Gambar Penampang Melintang Kapal

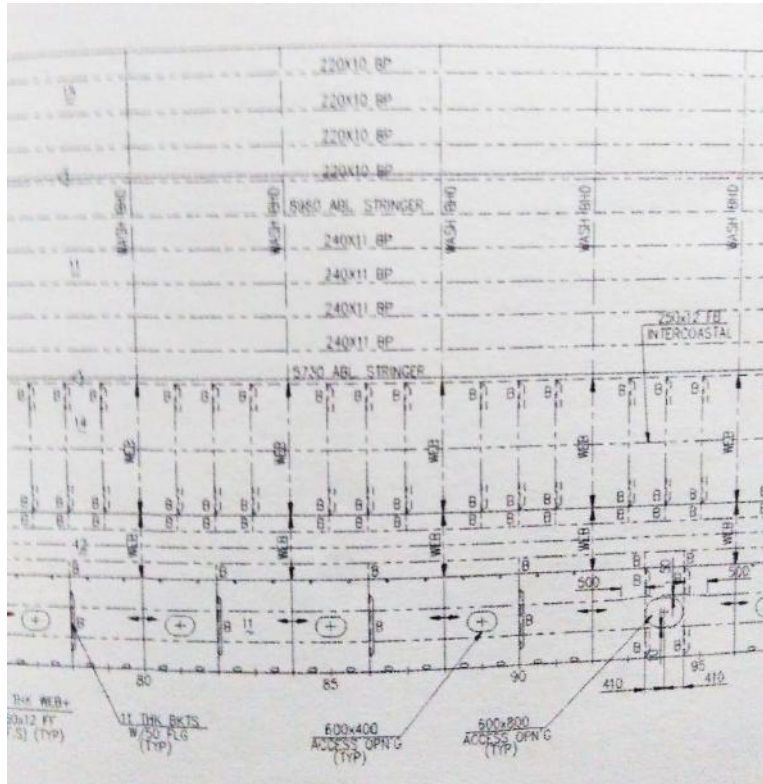


Gambar III. 2 Gambar Penampang Melintang Kapal Tanker 17500 LTDW

Sumber: PT. XX, 2013

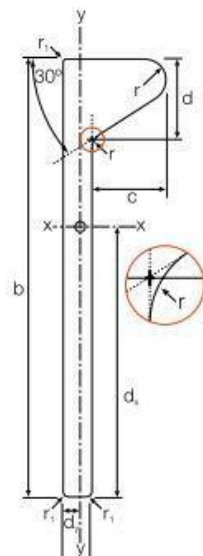
Gambar penampang melintang kapal diperlukan untuk melihat bagaimana detail sistem konstruksi yang digunakan pada kapal ini, khususnya pada konstruksi *wing tank* yang digunakan sebagai studi kasus penelitian ini. Pada Gambar III. 2 terlihat jelas bahwa sistem konstruksi yang digunakan pada kapal adalah sistem konstruksi memanjang. Pada bagian *wing tank*, dibagi menjadi tiga kompartemen yang dipisahkan oleh dua *side stringer*, penegar yang terpasang adalah penegar dengan profil *bulb*. Untuk detail konstruksi *wing tank* akan diperjelas pada Bab IV.

### 3. Gambar Produksi Bagian *Wing Tank*



**Gambar III. 3 Detail Konstruksi *Wing Tank* dari Tampak Samping**  
 Sumber: PT. XX, 2013

Pada gambar detail *wing tank* di atas menunjukkan ukuran profil penegar yang digunakan sebagai acuan dalam proses pemodelan wing tank. Berdasarkan Gambar III. 3 menunjukkan pada konstruksi *wing tank* terdapat tiga ukuran profil yang berbeda sebagai berikut:



**Gambar III. 4 Detail *Bulb Plate***  
 Sumber: JFE-Steel Catalog, 2002

Tabel III. 2 Profil *Bulb* pada Konstruksi *Wing Tank*

Tinggi	Tebal	Tinggi Bulb	Lebar Bulb	Radius Bulb	Luas permukaan	Modulus elastisitas
b (mm)	t (mm)	c (mm)	d (mm)	r (mm)	f (mm)	x-x (cm <sup>3</sup> )
220	10	31	32.1	9	29.0	105
240	11	34	35.4	10	34.9	137
260	10	37	38.7	11	36.1	153

Sumber: JFE-Steel Catalog, 2002

Detail spesifikasi profil *bulb* di atas di ambil dari katalog profil **JFE-Steel Corporation** yang sudah tersertifikasi oleh Class BV dan sudah disesuaikan dengan kondisi fisik profil penegar yang terpasang.

#### 4. Katalog Profil

Data katalog profil didapatkan dari **JFE-Steel Corporation**. Karena pada studi kasus kapal 17.500 LTDW yang digunakan pada penelitian ini menggunakan profil yang sama dari katalog ini. Dari katalog dapat diketahui detail spesifikasi dari profil *Bulb* yang terpasang termasuk nilai modulus yang dibutuhkan sebagai acuan dalam membuat variasi profil penegar lainnya. Untuk data katalog dapat dilihat pada **Lampiran A**.

### III.2. Proses Pemodelan Konstruksi *Wing Tank*

Pemodelan konstruksi *wing tank* ini menggunakan *finite element software*. Pemodelan suatu konstruksi harus dibuat sedemikian rupa sehingga model dapat mewakili kondisi yang sebenarnya. Secara umum pemodelan sebuah konstruksi dengan menggunakan *finite element software* terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut dimulai dari penentuan tipe analisis sampai dengan penentuan kriteria tegangan harus dilakukan secara benar agar tidak terjadi kesalahan model konstruksi dan analisis yang dilakukan. Tahapan-tahapan tersebut akan dijelaskan secara mendetail pada Bab IV.

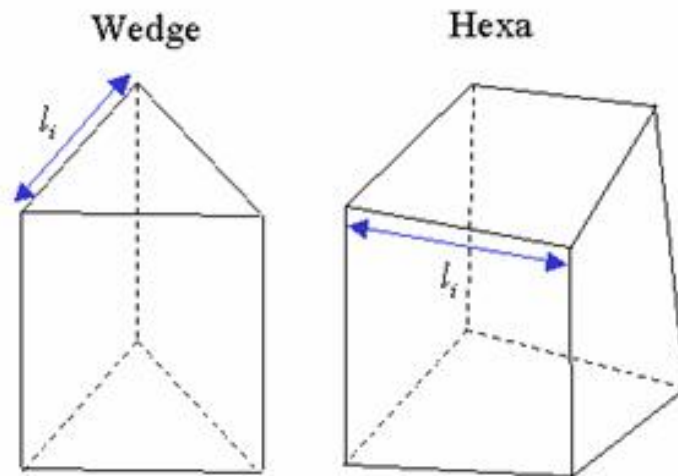
### III.3. Konvergensi

Uji konvergensi adalah salah satu cara dalam menentukan ukuran elemen yang tepat dalam pembuatan model elemen hingga sehingga model dapat menghasilkan nilai yang valid. Konvergensi dilakukan dengan cara membandingkan beberapa hasil analisis tegangan sehingga mencapai hasil yg paling mendekati konstan dengan ukuran elemen berbeda. Tujuan dari

konvergensi itu sendiri adalah untuk mengecek ketepatan hasil analisis dari *software finite element*.

Pada penelitian ini, konvergensi dilakukan dengan menggunakan potongan dari model simulasi, 6 meter dari 21 meter model sebenarnya. Penggunaan potongan model pada proses konvergensi ini dilakukan dengan mempertimbangkan kemampuan spesifikasi komputer yang ada sehingga proses *meshing* dapat berjalan dengan lancar.

Menurut CSR (2012) tentang *Cargo Tank Structural Analysis*, penggunaan ukuran elemen pada model konstruksi tidak boleh lebih memiliki aspek rasio ukuran elemen besar dari 3, seperti terlihat pada gambar



Gambar III. 5 Aspek Rasio Elemen

$$\text{Aspek Rasio} = \frac{\max(l_i)}{\min(l_i)} \leq 3 \quad \text{III.1}$$

Hasil dari konvergensi pada masing-masing model ditampilkan dalam bentuk tabulasi dan grafik konvergensi sebagai berikut.

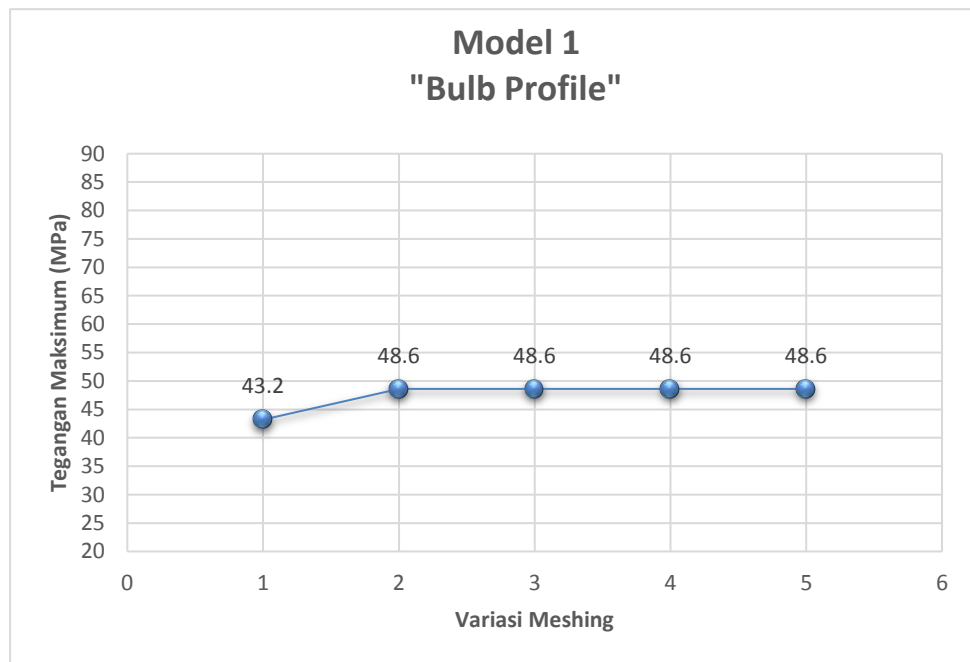
### 1. Model 1 Profil Penegar *Bulb*

Setelah dilakukan analisis tegangan pada tiap variasi ukuran *meshing* pada model 1, maka didapatkan nilai konvergen seperti yang ditampilkan pada Tabel III. 3.

Tabel III. 3 Hasil Konvergensi Model 1

No	Ukuran Elemen (m)	Jumlah Elemen	Tegangan Maksimum (MPa)
1.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.05</li> <li>• 0.04</li> </ul>	58344	43.2
2.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.04</li> <li>• 0.03</li> </ul>	121589	48.6
3.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.03</li> <li>• 0.02</li> </ul>	124180	48.6
4.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.03</li> <li>• 0.03</li> </ul>	124192	48.6
5.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.025</li> <li>• 0.02</li> </ul>	139151	48.6

Dari hasil tabulasi nilai konvergensi pada Tabel III. 3, dapat dibuat menjadi grafik konvergensi seperti pada Gambar III. 6 untuk menunjukkan hasil konvergensi dari model 1 *bulb plate*.



Gambar III. 6 Grafik Konvergensi Model 1

Berdasarkan hasil konvergensi pada model 1 seperti yang diperlihatkan pada Gambar III. 6, besarnya tegangan maksimum terjadi pada variasi *meshing* kedua dengan nilai 48.6 Mpa. Pada titik tersebut nilai tegangan sudah konstan dengan besar tegangan 48.6 Mpa. Sehingga pada model 1 digunakan ukuran *meshing* kedua. Aspek rasio elemen yang digunakan sesuai persamaan III.1 adalah sebagai berikut:

$$\text{Untuk pelat, } \frac{0.04}{0.014} = 2.857 \leq 3 \text{ (memenuhi)}$$



Untuk penegar,  $\frac{0.03}{0.010} = 3.0 \leq 3$  (**memenuhi**)

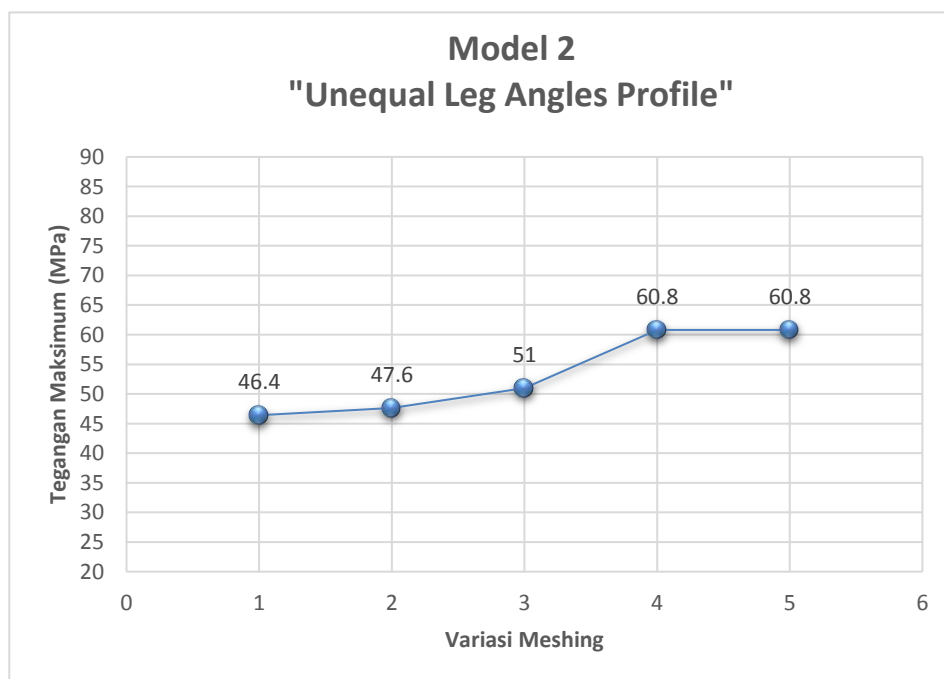
## 2. Model 2 Profil Penegar *Unequal Leg Angels*

Setelah dilakukan analisis tegangan pada tiap variasi ukuran *meshing* pada model 2, maka didapatkan nilai konvergen seperti yang ditampilkan pada Tabel III. 4.

Tabel III. 4 Hasil Konvergensi Model 2

No	Ukuran Elemen (m)	Jumlah Elemen	Tegangan Maksimum (MPa)
1.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.05</li> <li>• 0.045</li> </ul>	51435	46.4
2.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.03</li> <li>• 0.04</li> </ul>	77997	47.6
3.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.02</li> <li>• 0.035</li> </ul>	140950	51
4.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.015</li> <li>• 0.03</li> </ul>	205131	60.8
5.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.0125</li> <li>• 0.03</li> </ul>	242566	60.8

Dari hasil tabulasi nilai konvergensi pada Tabel III. 4, dapat dibuat menjadi grafik konvergensi seperti pada Gambar III. 7 untuk menunjukkan hasil konvergensi dari model 2 *Unequal Leg Angles Profile*..



Gambar III. 7 Grafik Konvergensi Model 2

Berdasarkan hasil konvergensi pada model 2 seperti yang diperlihatkan pada Gambar III. 7, besarnya tegangan maksimum terjadi pada variasi *meshing* keempat dengan nilai 60.8 Mpa. Pada titik tersebut nilai tegangan sudah konstan dengan besar tegangan 60.8 Mpa. Sehingga pada model 2 digunakan ukuran *meshing* keempat. Aspek rasio elemen yang digunakan sesuai persamaan III.1 adalah sebagai berikut:

$$\text{Untuk pelat, } \frac{0.03}{0.014} = 2.143 \leq 3 \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{Untuk penegar, } \frac{0.015}{0.012} = 1.25 \leq 3 \text{ (memenuhi)}$$

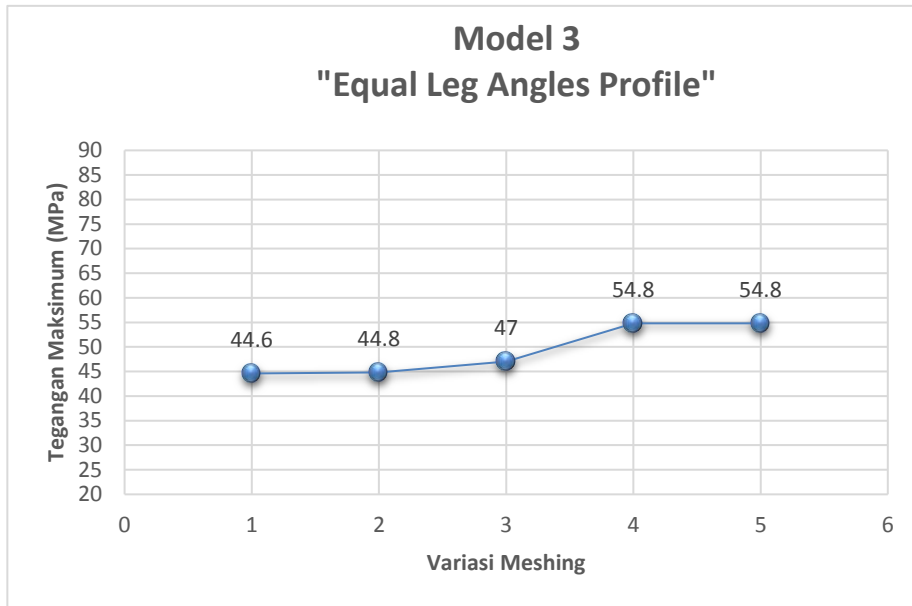
### 3. Model 3 Profil Penegar *Equal Leg Angles*

Setelah dilakukan analisis tegangan pada tiap variasi ukuran *meshing* pada model 3, maka didapatkan nilai konvergen seperti yang ditampilkan pada Tabel III. 35.

Tabel III. 5 Hasil Konvergensi Model 3

No	Ukuran Elemen (m)	Jumlah Elemen	Tegangan Maksimum (MPa)
1.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.05</li> <li>• 0.04</li> </ul>	52586	44.6
2.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.04</li> <li>• 0.035</li> </ul>	68273	44.8
3.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.035</li> <li>• 0.03</li> </ul>	113888	47
4.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.03</li> <li>• 0.0275</li> </ul>	117692	54.8
5.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.02</li> <li>• 0.02</li> </ul>	147927	54.8

Dari hasil tabulasi nilai konvergensi pada Tabel III. 5, dapat dibuat menjadi grafik konvergensi seperti pada Gambar III. 8 untuk menunjukkan hasil konvergensi dari model 3 *Equal Leg Angles Profile*.



**Gambar III. 8 Grafik Konvergensi Model 3**

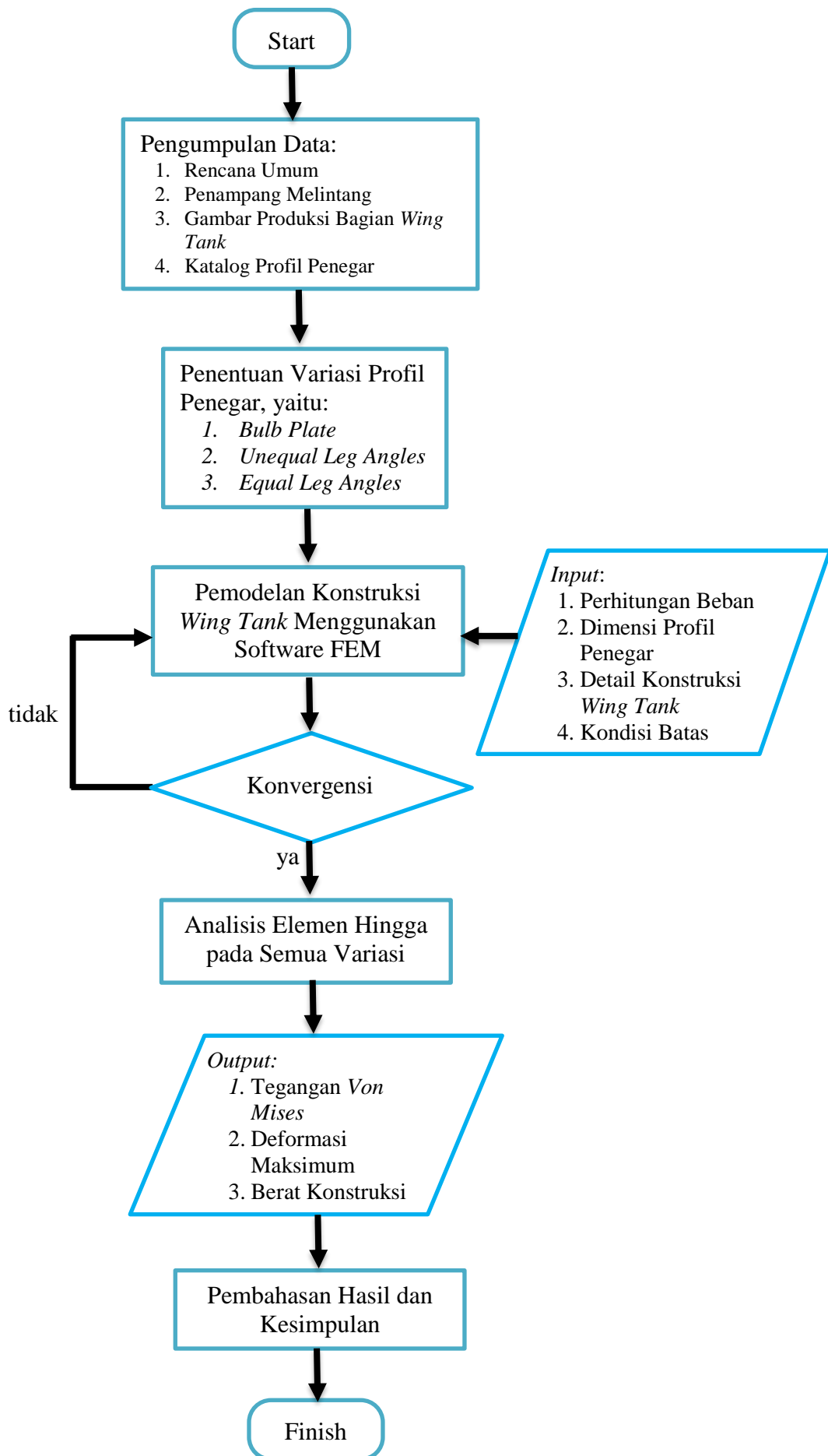
Berdasarkan hasil konvergensi pada model 3 seperti yang diperlihatkan pada Gambar III. 8, besarnya tegangan maksimum terjadi pada variasi *meshing* keempat dengan nilai 54,8 Mpa. Pada titik tersebut nilai tegangan sudah konstan dengan besar tegangan 54.8 Mpa. Sehingga pada model 3 digunakan ukuran *meshing* keempat. Aspek rasio elemen yang digunakan sesuai persamaan III.1 adalah sebagai berikut:

Untuk pelat,  $\frac{0.03}{0.014} = 2.143 \leq 3$  (**memenuhi**)

Untuk penegar,  $\frac{0.0275}{0.012} = 2.29 \leq 3$  (**memenuhi**)

#### **III.4. Diagram Alir**

Berdasarkan penjelasan proses pada sub-bab di atas, maka metodologi yang digunakan dalam menyusun tugas akhir ini secara keseluruhan dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) pada Gambar III. 9.



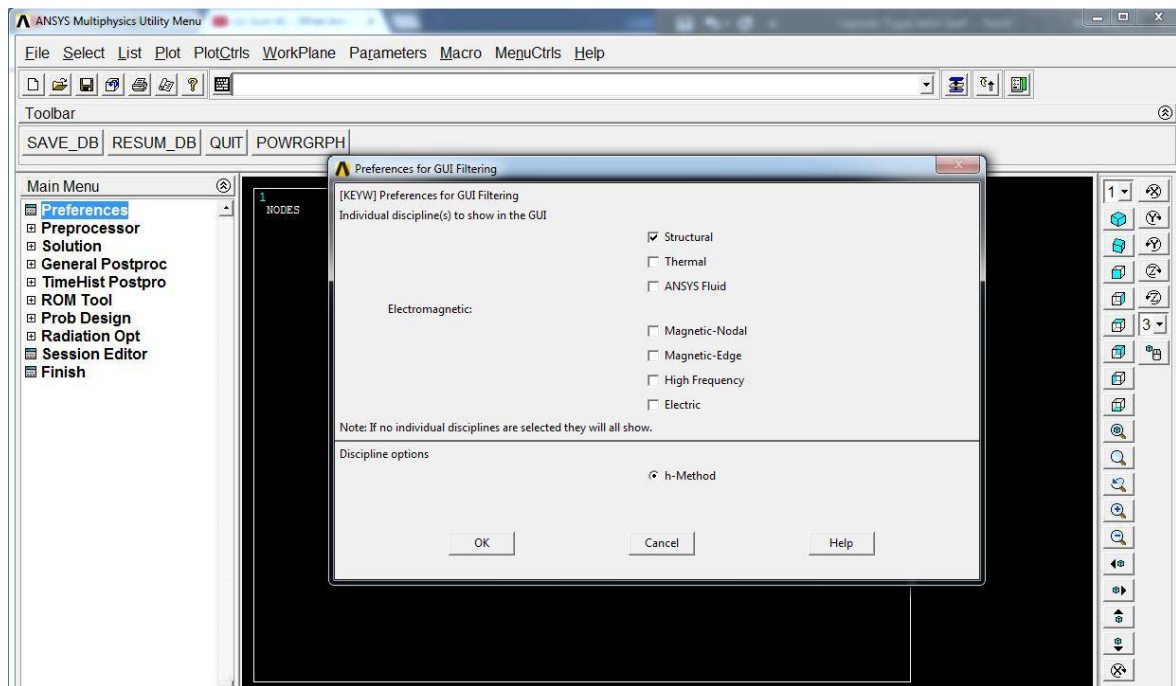
Gambar III. 9 Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB IV PEMODELAN

### IV.1. Tipe Analisis

Tahapan pertama yang dilakukan dalam pembuatan model konstruksi geladak adalah pemilihan tipe analisis yang dilakukan. Beberapa pilihan analisis dalam *finite element software* antara lain *structural*, *thermal*, *fluids*, dan CFD. Tipe analisis ini harus sesuai dengan analisis yang dilakukan. Dalam penelitian ini dipilih tipe analisis *structural*, perintah yang dipakai adalah **Main Menu > Preferences > Structural > OK**, seperti pada Gambar IV. 1.

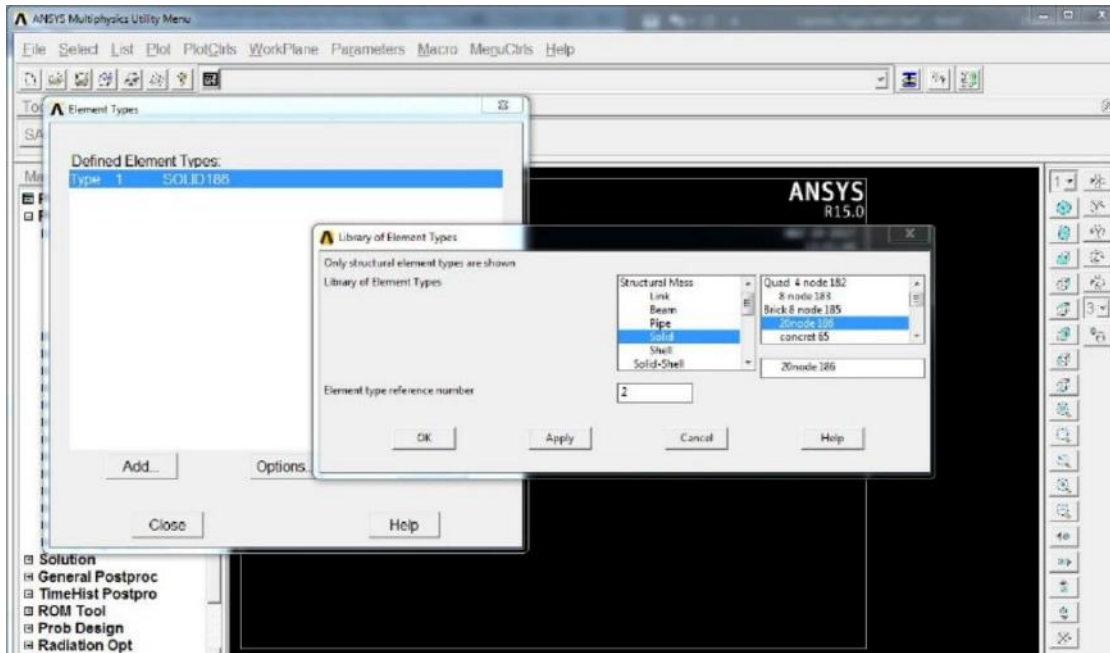


Gambar IV. 1 Pemilihan Tipe Analisis

Pemilihan tipe analisis *structural* dikarenakan pada penelitian ini menganalisis tegangan yang terjadi pada suatu konstruksi akibat adanya beban *pressure*.

### IV.2. Pemilihan dan Penentuan Tipe Elemen

Elemen pada *finite element software* dapat dikategorikan ke dalam dua jenis yaitu elemen 2D dan 3D. Elemen tersebut terdiri dari elemen titik, elemen garis, elemen area, dan elemen solid. Elemen-elemen ini dapat dikombinasikan sesuai dengan kebutuhan pemodelan. Pemilihan tipe elemen terdapat pada **Prefprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete**.

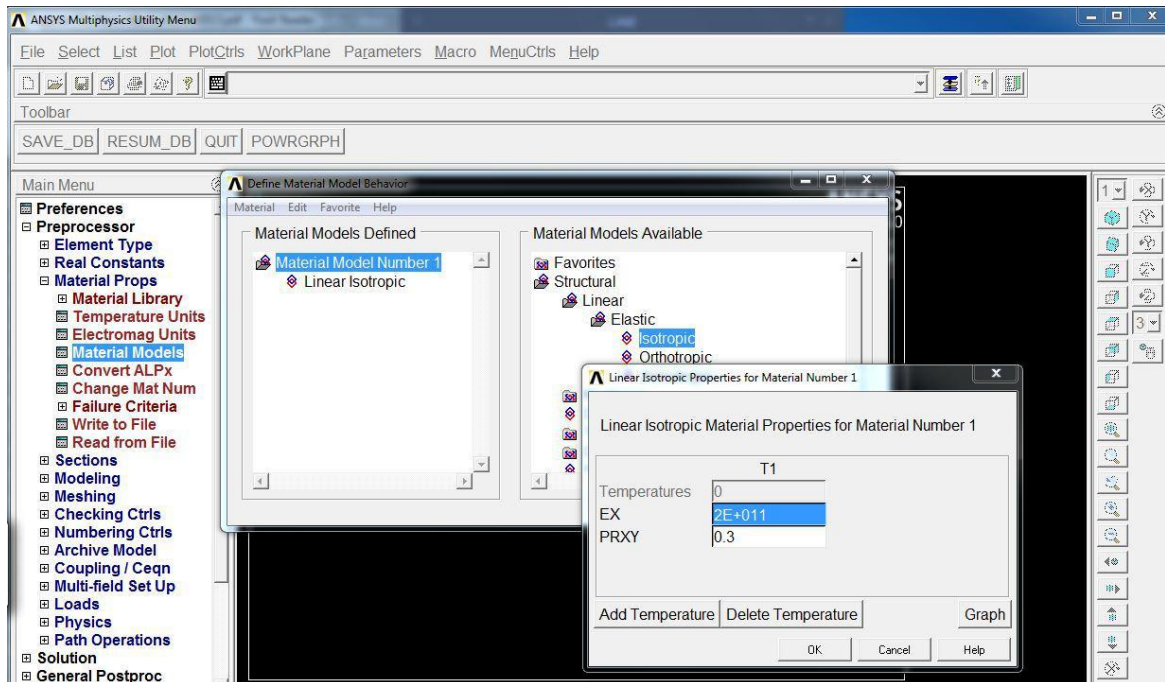


Gambar IV. 2 Kolom Pemilihan Tipe Elemen

Seluruh model *wing tank* menggunakan desain solid model 3D, sehingga untuk pemilihan tipe elemen yang akan digunakan dalam pembuatan model konstruksi wing tank adalah Solid 186 20 *node*. Pemilihan tipe elemen Solid 186 diperlukan karena pemodelan menggunakan 3D untuk mendukung bentuk konstruksi yang kompleks dan membutuhkan ketelitian yang rumit. Selain itu juga mendukung bentuk konstruksi yang lengkung. Sehingga memungkinkan hasil analisis bisa lebih akurat sesuai dengan kondisi sebenarnya. Penjelasan lebih lengkap dari elemen Solid186 sudah dijabarkan pada sub-BAB II.2.11.

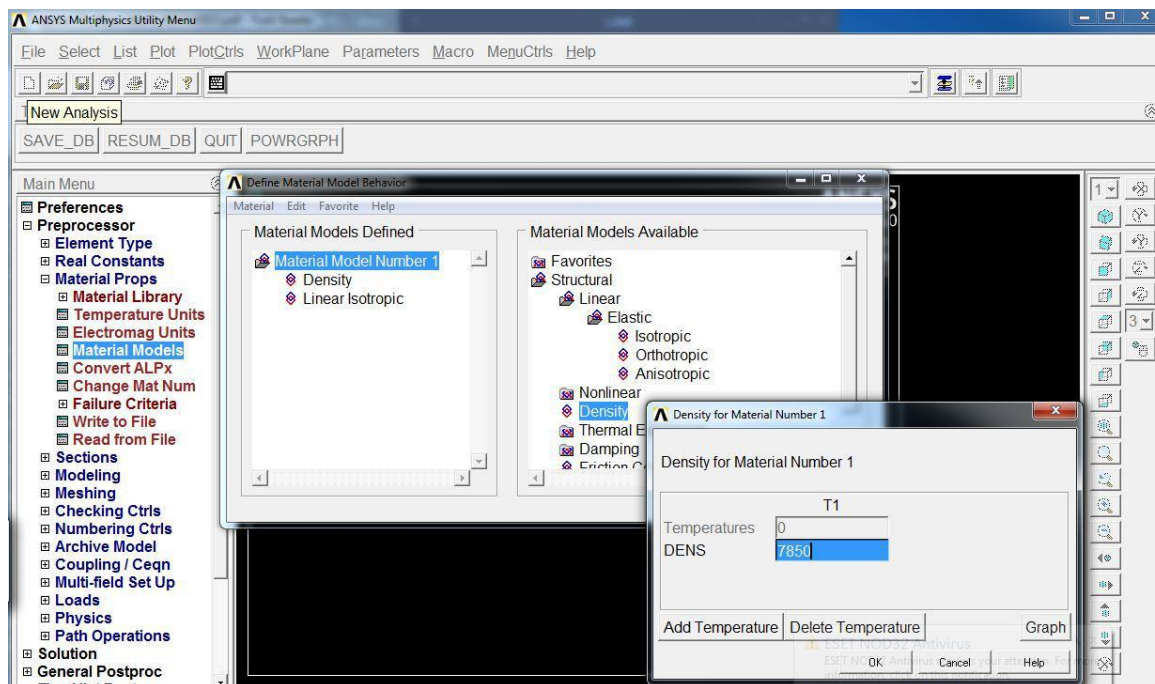
### IV.3. Penentuan Material Properties

Pada tahap ini dilakukan pendefinisian sifat-sifat mekanis dan sifat-sifat fisika material yang sedang dimodelkan. Pada pemodelan konstruksi *wing tank* ini material yang digunakan adalah baja A36 dengan *Modulus Young* 200 Gpa dengan *Poisson Ratio* 0.3. Sifat material yang dipilih pada simulasi ini adalah isotropik yaitu material dianggap seragam di seluruh arah dan bagian. Material properties ini sebagai acuan apakah tegangan yang terjadi melebihi tegangan *yield* material. Menu tersebut terdapat pada **Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models** sehingga akan muncul *window* seperti Gambar IV. 3.



Gambar IV. 3 Material Properties Model

Kemudian juga dilakukan pendefinisian berat jenis atau *density* pada model. Berdasarkan spesifikasi baja A36, *density* yang digunakan sebesar  $7850 \text{ Kg/m}^3$ . Pendefinisian *density* diperlukan untuk mendapatkan analisis berat model setelah dilakukan penyelesaian (*solving*).



Gambar IV. 4 Pendefinisian Density



#### IV.4. Pemodelan Konstruksi *Wing Tank*

Pembuatan model konstruksi *wing tank* ini meliputi pembuatan model geometri, pembuatan elemen dan pembuatan *node*. Tahap pembuatan model geometri merupakan awal yang sangat penting dalam analisis elemen hingga. Pembuatan model diupayakan sesuai atau mendekati kondisi yang sesungguhnya. Sebelum melakukan pemodelan geometri ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

a. Unit

*Finite elemen software* biasanya tidak memiliki fasilitas untuk mendeskripsikan satuan yang digunakan oleh karena itu dalam melakukan pemodelan harus konsisten.

b. Sistem Koordinat dan *Working Plan*

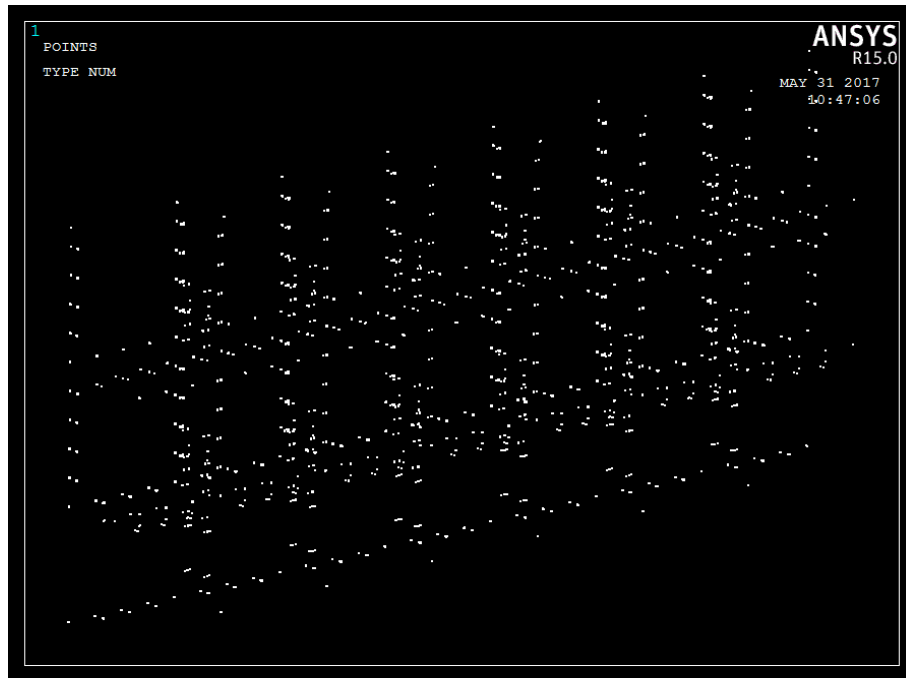
Terdapat dua macam koordinat yaitu koordinat global dan koordinat lokal. Koordinat global adalah sistem koordinat kartesian XYZ yang berporos pada titik 0,0,0. Sedangkan sistem koordinat lokal merupakan sistem koordinat yang dapat dipindahkan pada titik tertentu sesuai kebutuhan. Sistem koordinat lokal ini juga harus disesuaikan dengan sistem koordinat global.

*Working Plan* merupakan bidang kerja yang kita gunakan yang mengacu pada koordinat lokal. Hal penting ketika menggunakan *working plan* adalahj penyalarsan dengan koordinat global.

c. *View* atau Tampilan

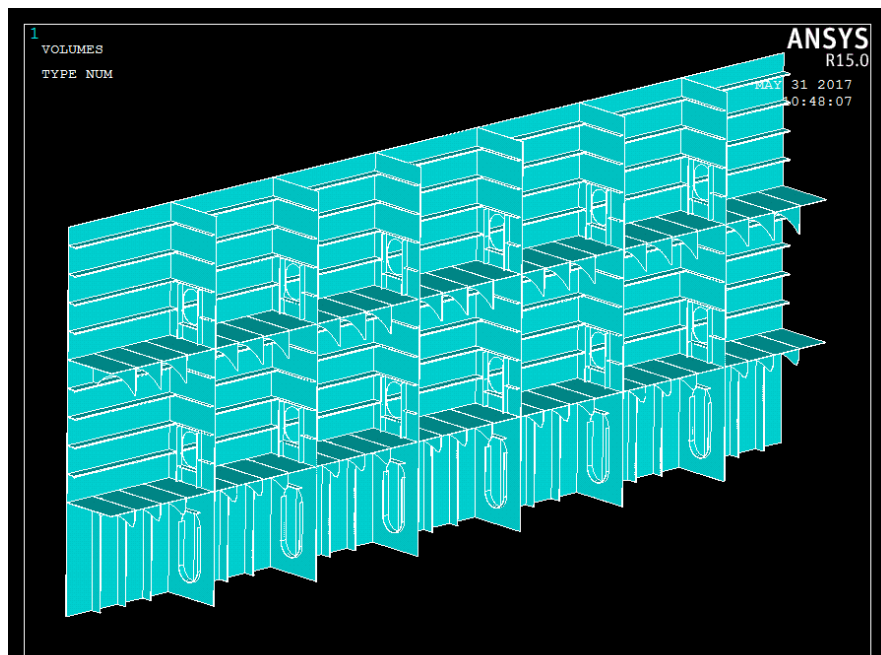
*View* merupakan sub-menu untuk memudahkan ketika pemodelan harus menampilkan sisi tertentu. Dalam pembuatan geometri view kontrol diusahakan untuk sesuai dengan gambar rencana agar memudahkan pemodelan.

Pembuatan model dapat dilakukan dengan menggunakan dua cara pendekatan, yaitu *Bottom-Up* (pemodelan yang dimulai dari titik hingga menjadi volume) dan *Top-Down* (kombinasi dari berbagai entitas kecil maupun besar menjadi satu kesatuan model). Pada gambar di bawah ini merupakan contoh tahapan dalam pembuatan model geometri konstruksi *wing tank*. Pembuatan model terdapat pada **Main Menu > Preprocessor > Modelling > Create**. Kemudian pilih proses berikutnya sesuai kebutuhan



Gambar IV. 5 Plot *Keypoint* pada Model

Penelitian ini menggunakan metode *Bottom-Up*, yaitu pemodelan dimulai dari pendefinisian tata letak titik (*keypoint*), penghubungan garis (*line*), plot bidang luasan (*area*), kemudian penggabungan menjadi *volume*. Ketebalan pada pelat sudah dimodelkan pada geometri sehingga tidak perlu pendefinisian tebal pada model konstruksi ini. Setiap bagian konstruksi dihubungkan pada satu node yang sama sehingga terjadi kontinuitas atau kesatuan pada seluruh bagian konstruksi *wing tank*.



Gambar IV. 6 Hasil Pembuatan Model Konstruksi *Wing Tank*

#### IV.4.1. Pembuatan Variasi Model

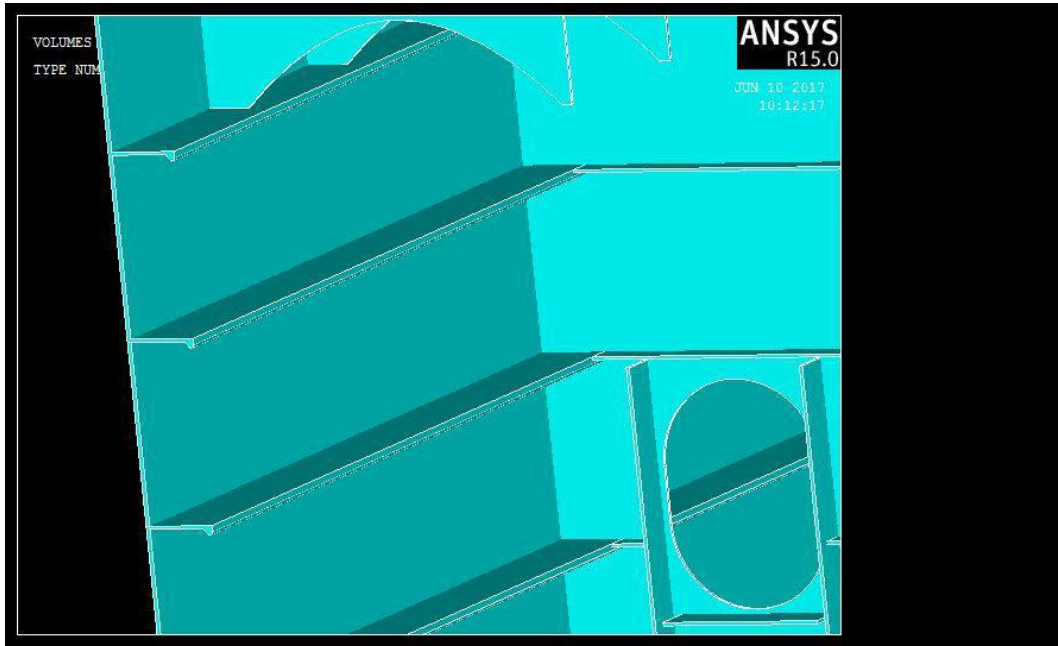
Pada penelitian ini menggunakan variasi jenis profil penegar dengan konstruksi yang disamakan dengan kondisi sebenarnya. Sehingga diperlukan perhitungan modulus dengan menggunakan tabulasi momen inersia seperti yang sudah dijelaskan pada Sub-BAB II.1 yang menjelaskan tentang perhitungan modulus penampang profil untuk mendapatkan variasi penampang profil dengan mempertahankan nilai modulusnya. Dari perhitungan tersebut didapatkan variasi 2 profil penegar *unequal leg angles* dan variasi 3 profil penegar *equal leg angles* dengan modulus yang sama dengan variasi 1 *bulb plate*. Maka didapatkan variasi profil penegar pada Tabel IV. 1 sebagai berikut.

Tabel IV. 1 Variasi Profil Penegar

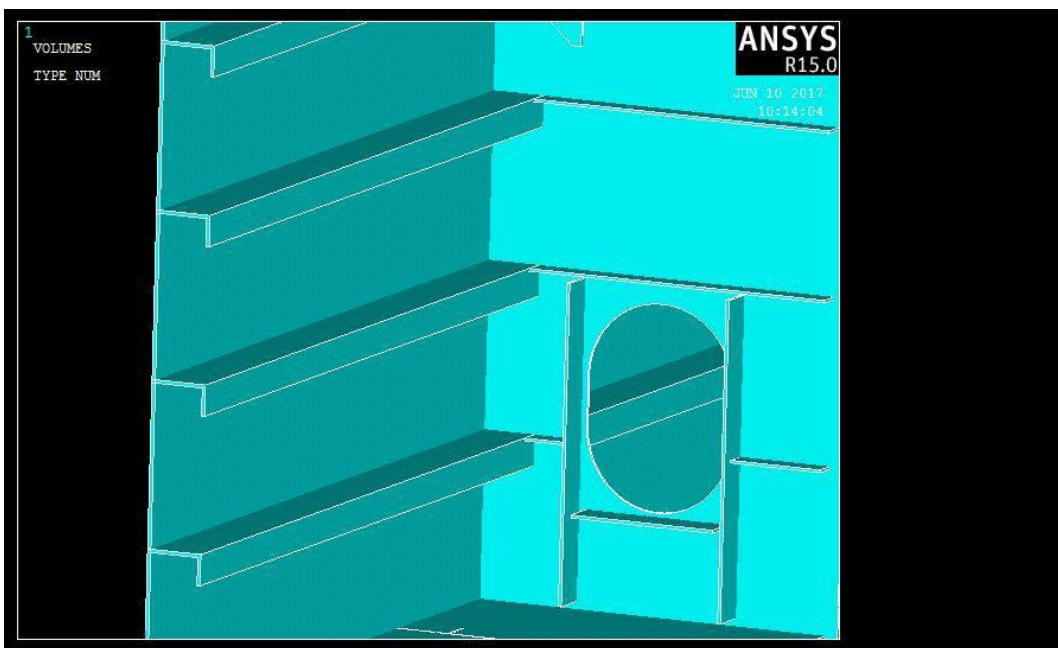
	Variasi 1 <i>Bulb Plate</i>		Variasi 2 <i>Unequal Leg Angles</i>		Variasi 3 <i>Equal Leg Angles</i>	
	Dimensi (mm)	Modulus (cm <sup>3</sup> )	Dimensi (mm)	Modulus (cm <sup>3</sup> )	Dimensi (mm)	Modulus (cm <sup>3</sup> )
Bawah	BP 260 x 11	105	L 221 x 130 x 13	105.1	L 199 x 199 x 15	105.3
Tengah	BP 240 x 11	137	L 210 x 120 x 13	137.3	L 209 x 209 x 12	137.6
Atas	BP 220 x 10	153	L 189 x 125 x 12	153.3	L 177 x 177 x 13	153.3

Setelah didapatkan 3 variasi penegar seperti ditampilkan pada Tabel IV.1, maka dilakukan pemodelan *wing tank* pada variasi dua dan variasi tiga seperti yang dilakukan pada variasi 1. Tahapan-tahapan pemodelannya sesuai dengan tahapan yang sudah dijelaskan pada Sub-Bab IV.1 sampai Sub-Bab IV.4 dengan variable pembeda jenis profil penegarnya.

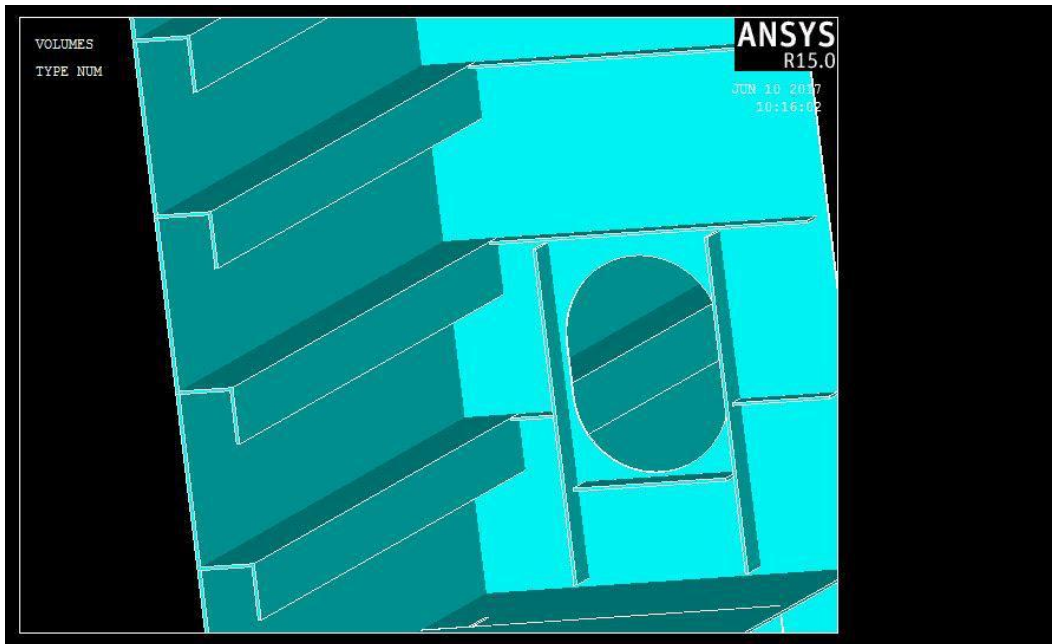
Gambar IV. 7 sampai dengan Gambar IV. 9 menunjukkan hasil dari pemodelan *wing tank* pada variasi 1, variasi 2, dan variasi 3 yang diperbesar untuk memperlihatkan perbedaan profil penegar antara ketiga variasi. Dimensi variasi profil penegar disesuaikan pada Tabel IV.1.



**Gambar IV. 7 Variasi 1 - *Bulb Plate***



**Gambar IV. 8 Variasi 2 - *Unequal Leg Angles***



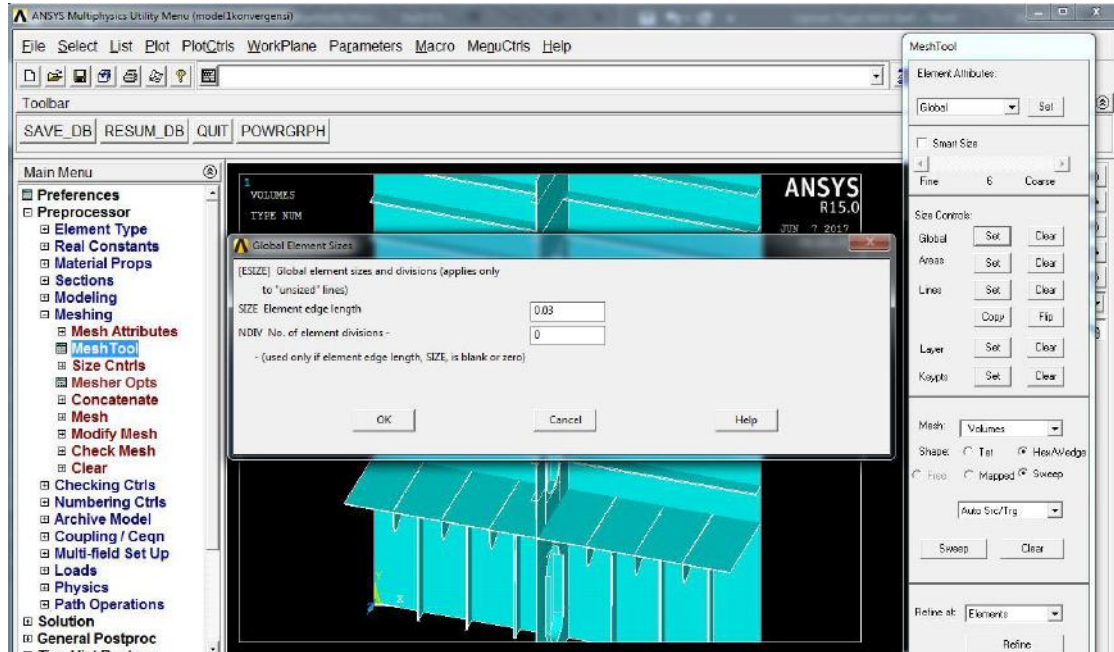
Gambar IV. 9 Variasi 3 - *Equal Leg Angles*

Setelah pembuatan geometri ketiga model selesai, maka dilanjutkan ke proses berikutnya dengan perlakuan yang sama antara model variasi 1, variasi 2, dan variasi 3.

#### IV.5. Pembagian Model Menjadi Elemen (*Meshing*)

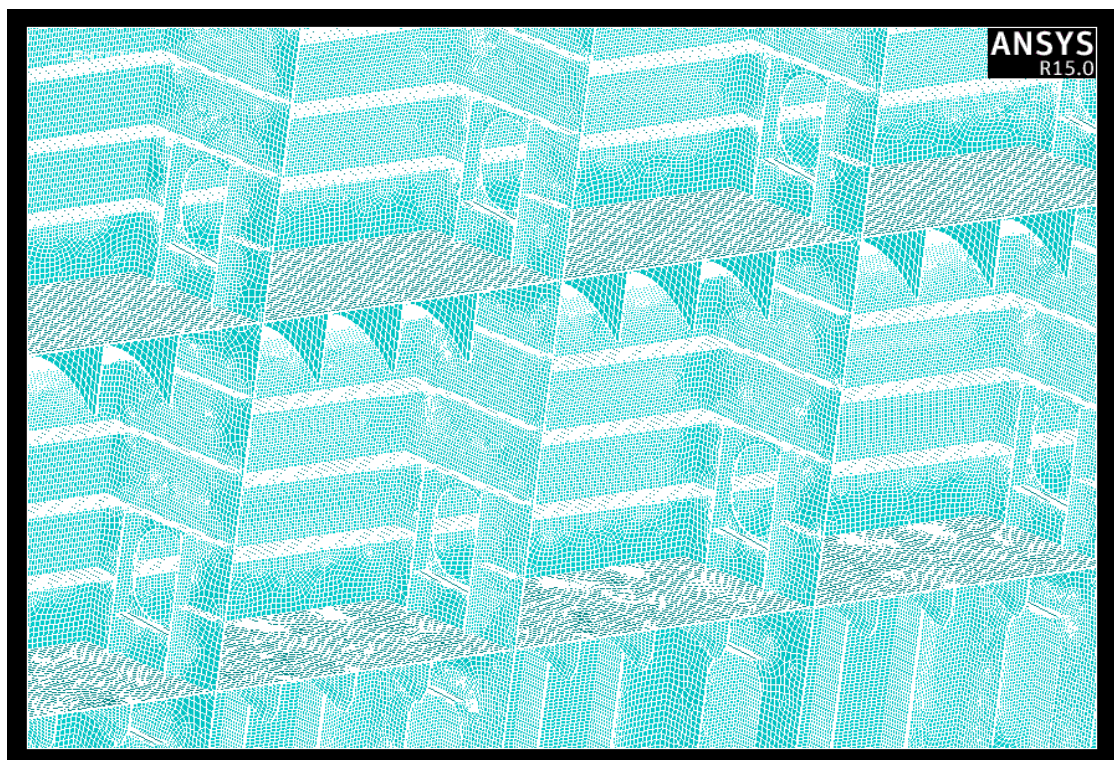
*Meshing* merupakan salah satu tahapan yang penting dalam pemodelan suatu konstruksi. Proses *meshing* ini yang akan menentukan akurat atau tidaknya hasil perhitungan. Semakin besar ukuran *meshing* maka hasil kurang akurat dan semakin kecil ukuran *meshing* maka hasil semakin akurat. Namun ukuran *meshing*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

Secara umum *meshing* merupakan tahapan mendiskretkan model geometri menjadi elemen-elemen hingga dan titik-titik nodal yang akan dianalisis. Pada saat penentuan ukuran elemen, keselarasan ukuran elemen perlu diperhatikan agar hasil yang diperoleh seragam. Ukuran elemen ini dapat digunakan sebagai salah satu variable konvergensi. Pada model konstruksi *wing tank*, digunakan pemilihan *meshing volume*, karena pemodelan konstruksi menggunakan solid 3D. Menu yang digunakan untuk proses *meshing* adalah **Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh > Volume Sweep > Sweep.**



Gambar IV. 11 Proses *Meshing*

Setelah dilakukan *meshing* maka perlu ada pemeriksaan bahwa *meshing* yang telah dilakukan sudah sesuai ketentuan. *Check Mesh* merupakan sarana yang berfungsi untuk menguji bentuk elemen apakah sudah memenuhi kriteria dan syarat dalam prinsip elemen hingga. Apabila tidak ada kesalahan elemen maka secara otomatis sistem akan menampilkan keterangan bahwa tidak ada kesalahan dalam *meshing*.



Gambar IV. 10 Hasil *Meshing* Model Konstruksi *Wing Tank*

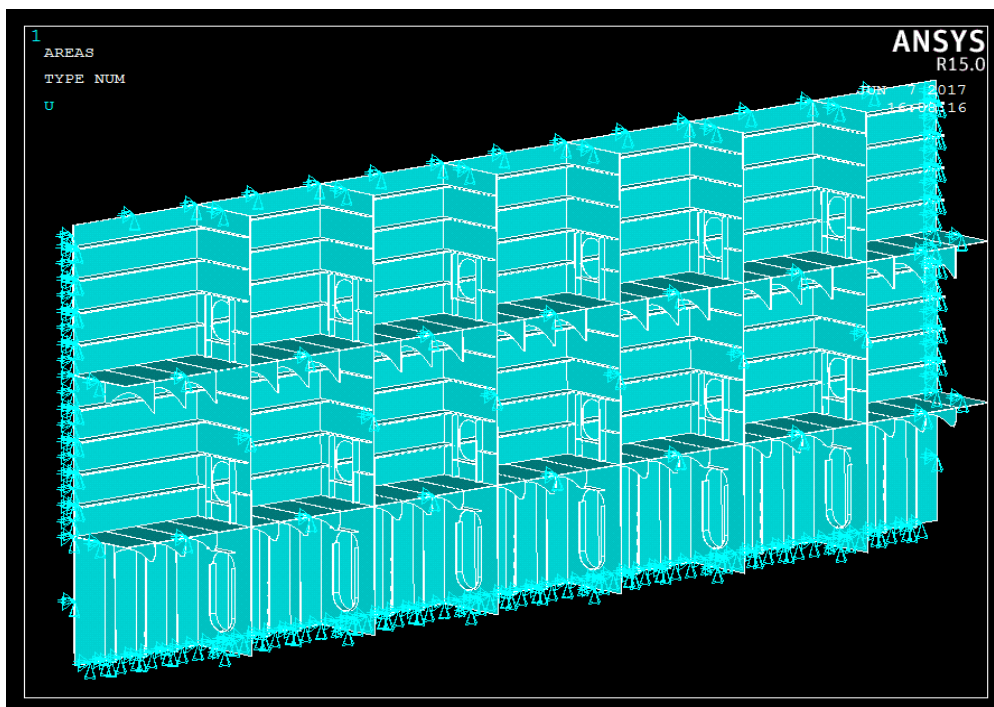
#### IV.6. Pemberian Kondisi Batas (*Constraint*)

Dalam melakukan FEA diperlukan adanya pemberian kondisi batas berupa tumpuan. Apabila tidak ada kondisi batas maka program FEA tidak dapat berjalan dengan benar dan hasilnya tidak akan valid. Pengambilan asumsi kondisi batas dalam perhitungan elemen hingga harus diatur sedemikian rupa sehingga semirip mungkin dengan kondisi nyata. Sehingga model struktur bisa mewakili kondisi nyata yang terjadi. Pemberian kondisi batas terdapat pada **Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Area**. Kemudian dilakukan pemilihan area yang perlu diberikan kondisi batas.

Tabel IV. 2 Penentuan Kondisi Batas pada Model

Translasi		
UX	UY	UZ
Fix	Fix	Fix

Pada kondisi *wing tank* yang sebenarnya terdapat pengelasan pada bagian depan dan belakang *wing tank* dengan sekat melintang kapal, sehingga dianggap tidak terjadi translasi pada bagian tersebut. Sisi atas dan bawah *wing tank* di las terhadap geladak utama kapal dan geladak alas dalam kapal, sehingga pada bagian tersebut juga dianggap tidak terjadi translasi. Pada *stringer* dan *web frame*, konstruksi langsung bertemu dengan *side shell* dan dilakukan pengelasan, sehingga pada *stringer* dan *web frame* dianggap tidak terjadi translasi. Sedangkan untuk tumpuan rotasi pada model ini tidak ada berdasarkan sifat elemen yang digunakan.



Gambar IV. 12 Model Setelah Diberi Kondisi Batas

#### IV.7. Pemberian Pembebanan (*Define Loads*)

Sebelum dilakukan proses *solving*, maka perlu diberikan pembebanan pada model sesuai dengan studi kasus yang digunakan pada penelitian ini. Jenis beban yang diaplikasikan adalah beban *Pressure*, yaitu beban statis lateral tangki ruang muat. Besarnya beban ini dipengaruhi oleh seberapa besar muatan yang diangkut pada ruang muat kapal Tanker ini. Penentuan besarnya beban muatan yang diaplikasikan dihitung berdasarkan peraturan *Common Structure Rules for Double Hull Oil Tanker Section 7* Tahun 2012.

Pada konstruksi *inner shell* mendapatkan *pressure* akibat muatan minyak dan *pressure* akibat muatan *ballast*. Terdapat dua rumus perhitungan beban, yaitu beban berdasarkan muatan (*cargo tank*) dan beban dari pengujian (*testing pressure*). Berdasarkan peraturan CSR, pemilihan pembebanan diambil nilai terbesar antara dua perhitungan tersebut. Berikut adalah hasil perhitungan beban yang bekerja pada *inner shell* atau *wing tank* berdasarkan peraturan CSR.

Tabel IV. 3 *Cargo Tank Pressure* Akibat Muatan Minyak

Plate	I	II	III	Unit
$Z_{tk}$	7.5	4.4	1.3	m
$P_{in-tk}$	66.953	39.279	11.605	kN/m <sup>2</sup>

Tabel IV. 4 *Cargo Tank Pressure* Akibat Muatan Minyak

Plate	I	II	III	Unit
$Z_{tk}$	7.5	4.4	1.3	m
$P_{in-tk}$	75.414	44.243	13.072	kN/m <sup>2</sup>

Tabel IV. 5 *Testing Pressure* (1)

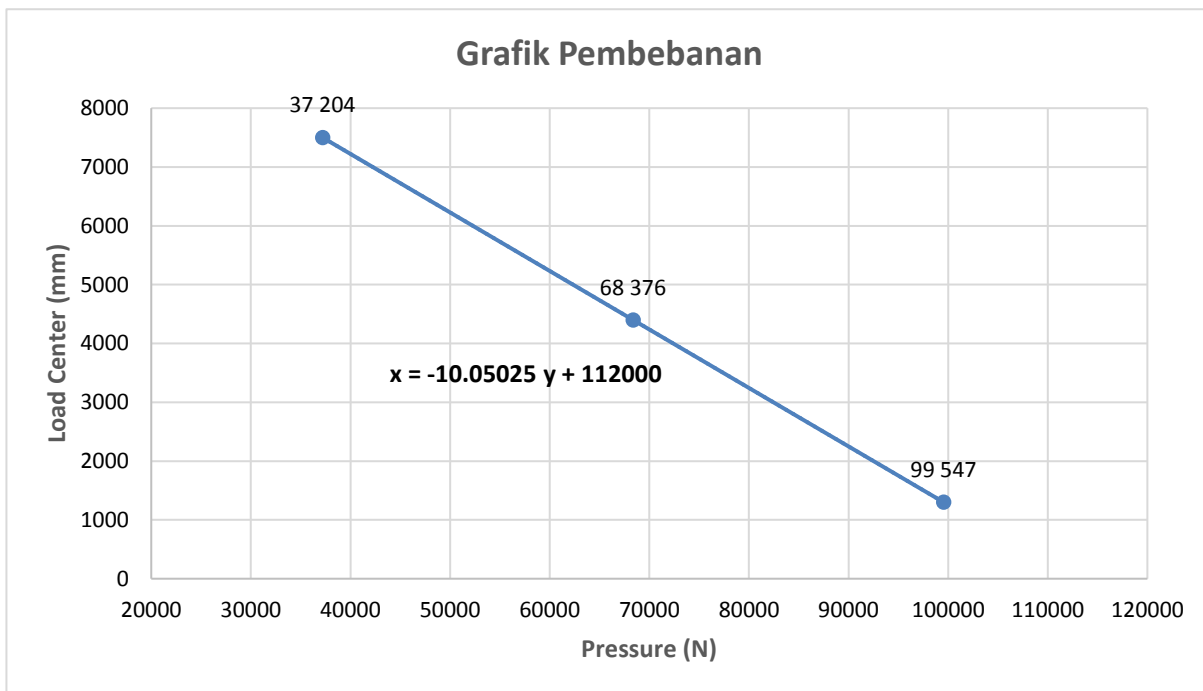
Plate	I	II	III	Unit
$Z_{tk}$	9.9	6.8	3.7	m
$P_{in-tk}$	99.547	68.376	37.204	kN/m <sup>2</sup>



**Tabel IV. 6 Testing Pressure (2)**

Plate	I	II	III	Unit
Z <sub>tk</sub>	7.5	4.4	1.3	m
P <sub>in-tk</sub>	89.414	58.243	27.072	kN/m <sup>2</sup>

Berdasarkan hasil perhitungan beban tersebut, maka pembebanan pada model dipilih berdasarkan hasil dari perhitungan *testing pressure* pada tangki ruang muat. Beban yang digunakan pada simulasi ini adalah beban hidrostatis muatan dengan fungsi ketinggian muatan. Sehingga besarnya nilai beban berbeda pada setiap ketinggian benda. Oleh karena itu, dibutuhkan persamaan garis dalam pendefinisian pembebanan yang bekerja pada *wing tank* berdasarkan nilai beban hasil dari perhitungan beban.



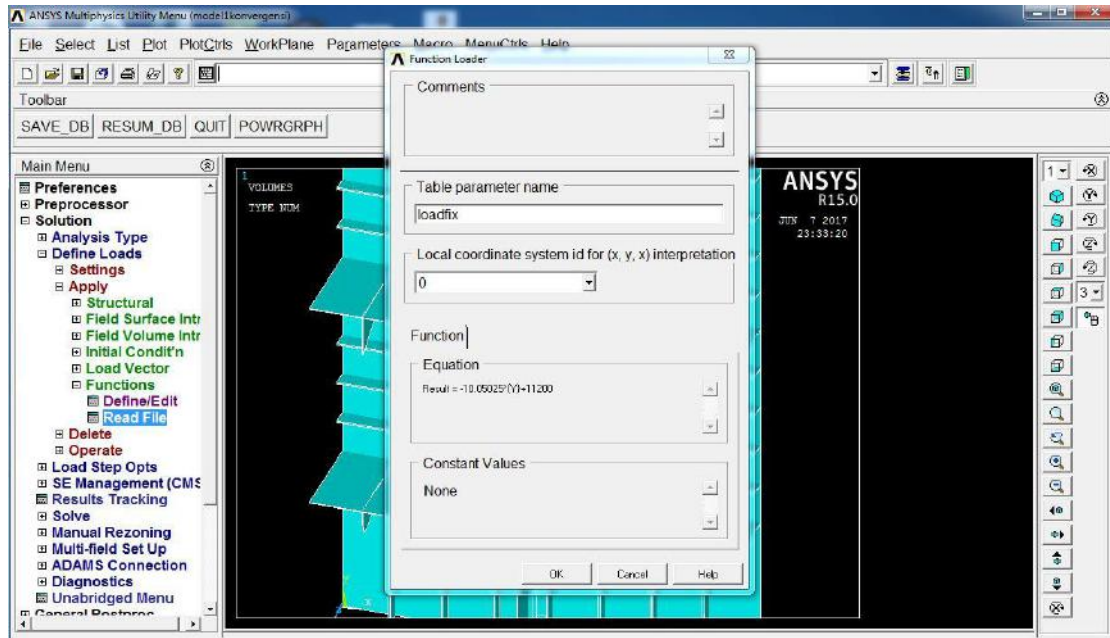
**Gambar IV. 13 Grafik Pembebanan Testing Pressure pada Tangki Ruang Muat**

Dari gambar grafik pembebanan di atas dapat diketahui persamaan bebannya yaitu

$$X = -10.05025 Y + 112000 \quad \text{IV.1}$$

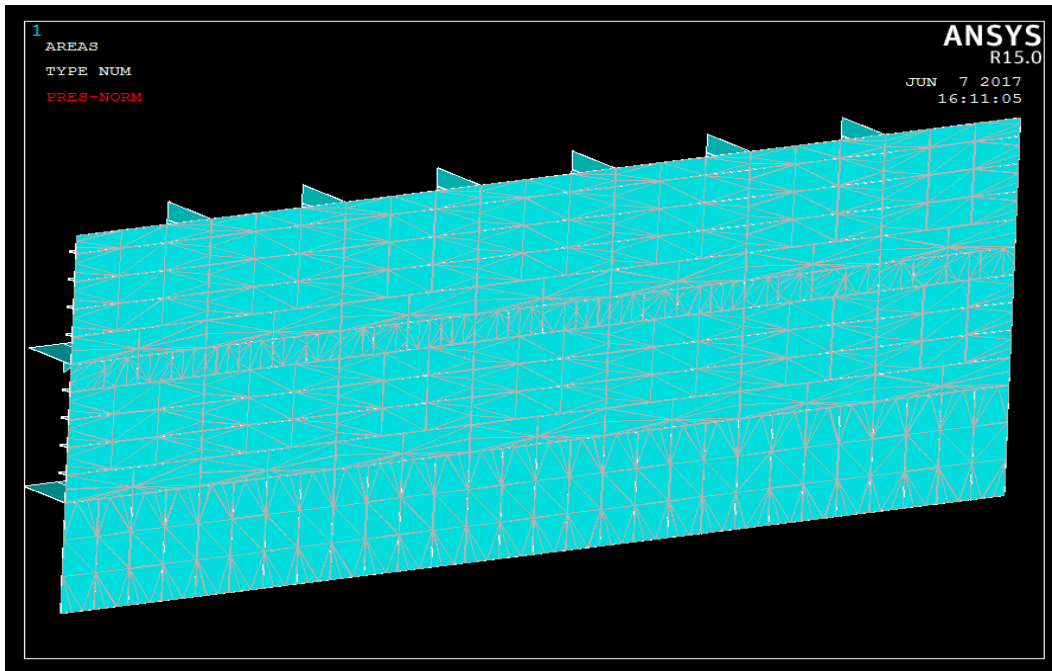
Dengan X adalah besarnya *pressure* dalam satuan Newton dan Y adalah ketinggian *wing tank* dalam satuan mm, yang kemudian digunakan sebagai input pendefinisian beban pada *software* FEA. Setelah ditentukan persamaan pembebanan untuk model *wing tank*, maka dilanjutkan dengan mendefinisikan persamaan beban pada *software* FEA. Untuk memasukkan

persamaan beban terdapat pada perintah **Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Functions > Read File**. Setelah muncul *window* seperti gambar di bawah ini, maka artinya pendefinisian beban dalam bentuk persamaan sudah berhasil dilakukan.



**Gambar IV. 14 Pendefinisian Pembebanan dalam Bentuk Persamaan**

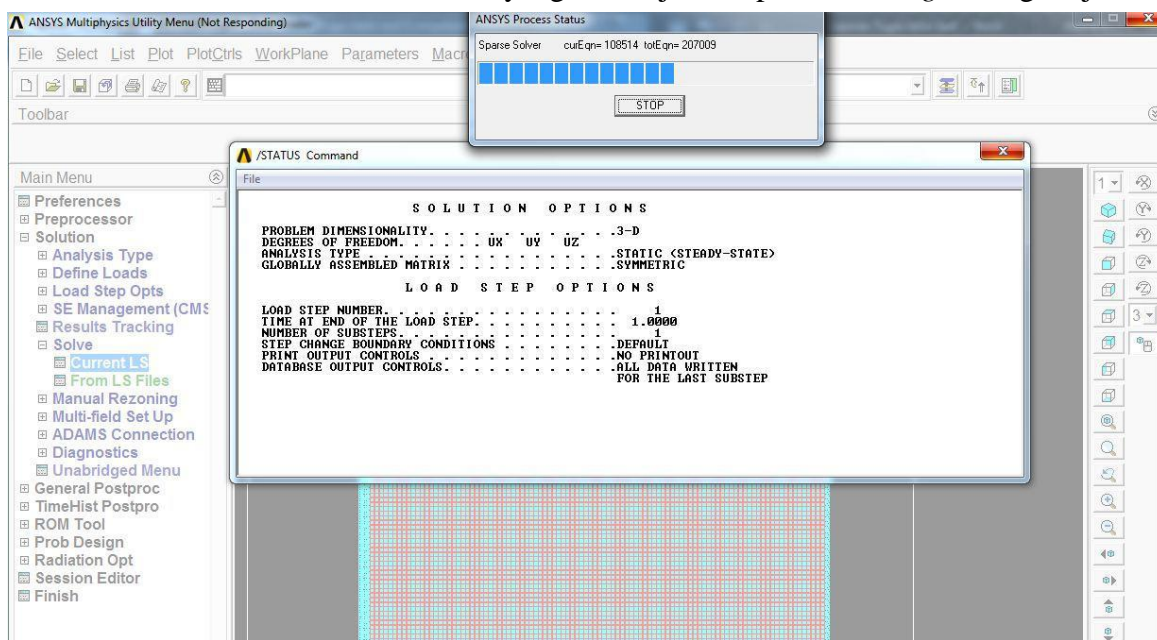
Pemberian beban diaplikasikan pada *area* model *wing tank* pada bagian luar atau sisi pelat tanpa penegar yang langsung terkena beban muatan kapal. Perintah pembebanan pada *software* FEA terdapat pada **Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Area**. Setelah muncul tampilan *window* seperti pada gambar berikut, pendefinisian beban langsung digunakan persamaan beban yang sudah dimasukkan pada penjelasan sebelumnya. Secara otomatis besarnya nilai beban akan didefinisikan sesuai dengan fungsi  $f(y)$ , dengan  $y$  adalah ketinggian model *wing tank* dalam satuan milimeter. Kemudian model yang sudah didefinisikan pembebanannya akan tampak seperti pada Gambar IV. 15.



Gambar IV. 15 Model Setelah Diberikan Pembebanan

#### IV.8. Penyelesaian Model (*Solving*)

Tahap terakhir dari pemodelan sebelum masuk ke proses analisis hasil adalah penyelesaian masalah. Pada tahap ini, *software* mulai melakukan iterasi persamaan dalam menyelesaikan masalah pembebanan pada model. Dari proses ini akan keluar hasil berupa tegangan dan deformasi, dari hasil tersebut barulah dapat dilakukan analisis. Penyelesaian masalah pada *software* ini dapat dilakukan dengan perintah **Main menu > Solution > Solve > Current LS**, maka akan muncul *window* yang menunjukkan proses *solving* sedang berjalan.



Gambar IV. 16 Proses *Solving* pada *Software* FEA

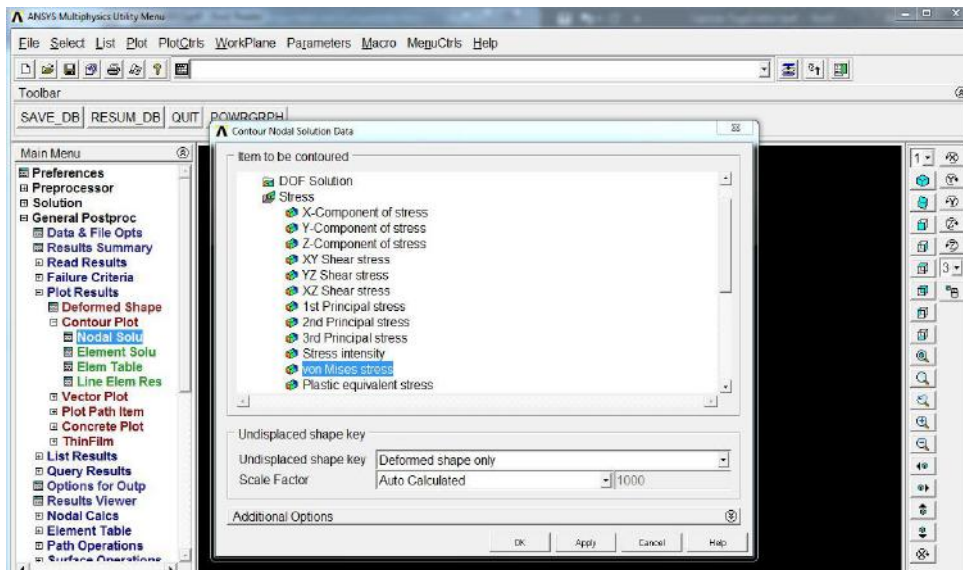
Pada proses ini membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan proses pemodelan sebelumnya, karena dari proses iterasi yang berulang ulang pada sistem. Hasil dari proses ini menentukan hasil dari analisis yang akan dilakukan pada bab berikutnya.

#### IV.9. Menampilkan Hasil *Solving*

Setelah proses *solving* selesai, maka proses berikutnya adalah menampilkan hasil dari proses *solving* yang nantinya hasil dari pembacaan akan dilakukan analisis hasil pada BAB V. Hasil yang diperlukan dalam penelitian ini adalah nilai tegangan (*stress*), Deformasi, dan berat model secara keseluruhan pada satu konstruksi *wing tank*.

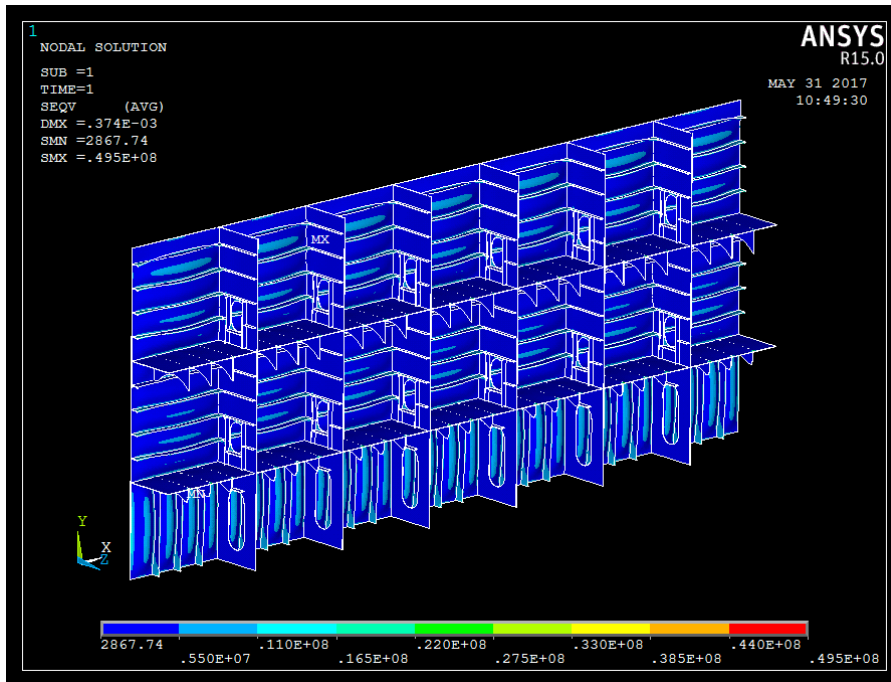
##### IV.9.1. Kriteria *Von Mises* Untuk tegangan Gabungan (*Equivalent Stress*)

Hasil dari analisis tegangan konstruksi *wing tank* ini menghasilkan beberapa jenis tegangan. Tegangan yang dipilih pada analisis ini adalah *von mises stress*. Perintah ini terdapat pada **Main menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution**. Kemudian pilih tegangan *von mises stress* seperti pada Gambar IV. 17.



Gambar IV. 17 Pemilihan Kriteria *Von Mises Stress*

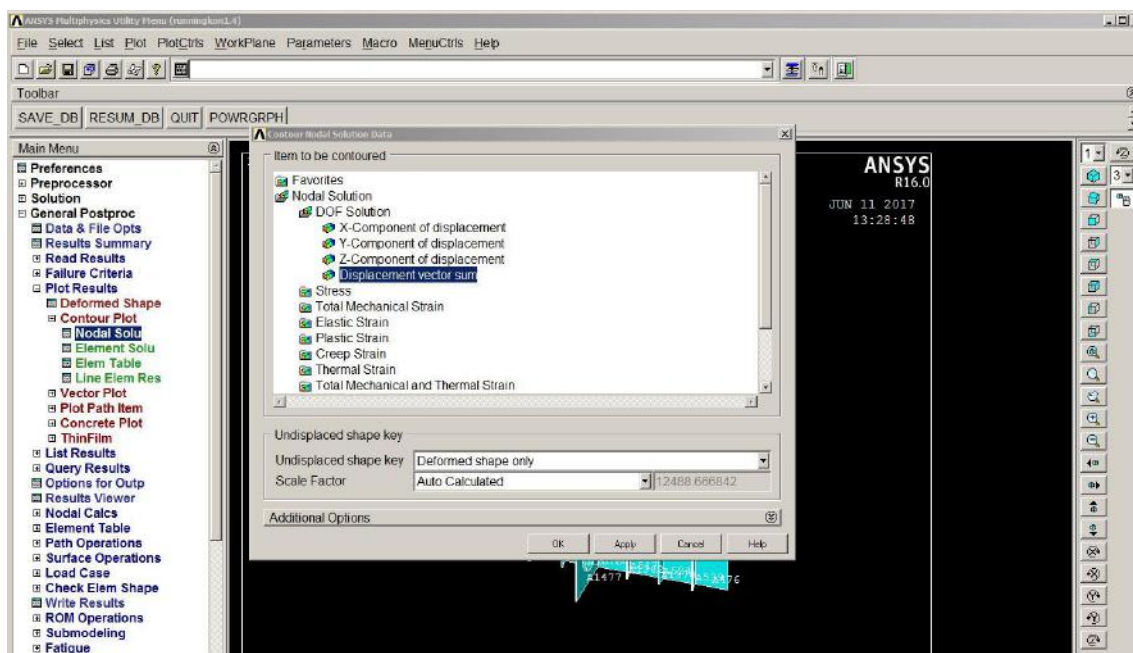
Tegangan *von mises* digunakan untuk memprediksi tingkat keluluan material terhadap kondisi pembebanan tertentu. Penjelasan mengenai *von mises stress* terdapat pada Sub-Bab II.2.11. Dari proses ini akan keluar nilai tegangan maksimum dari konstruksi. Berikut Gambar IV. 18 adalah hasil dari penampilan *von mises stress*.



Gambar IV. 18 Hasil dari Proses Solving – Von Mises Stress

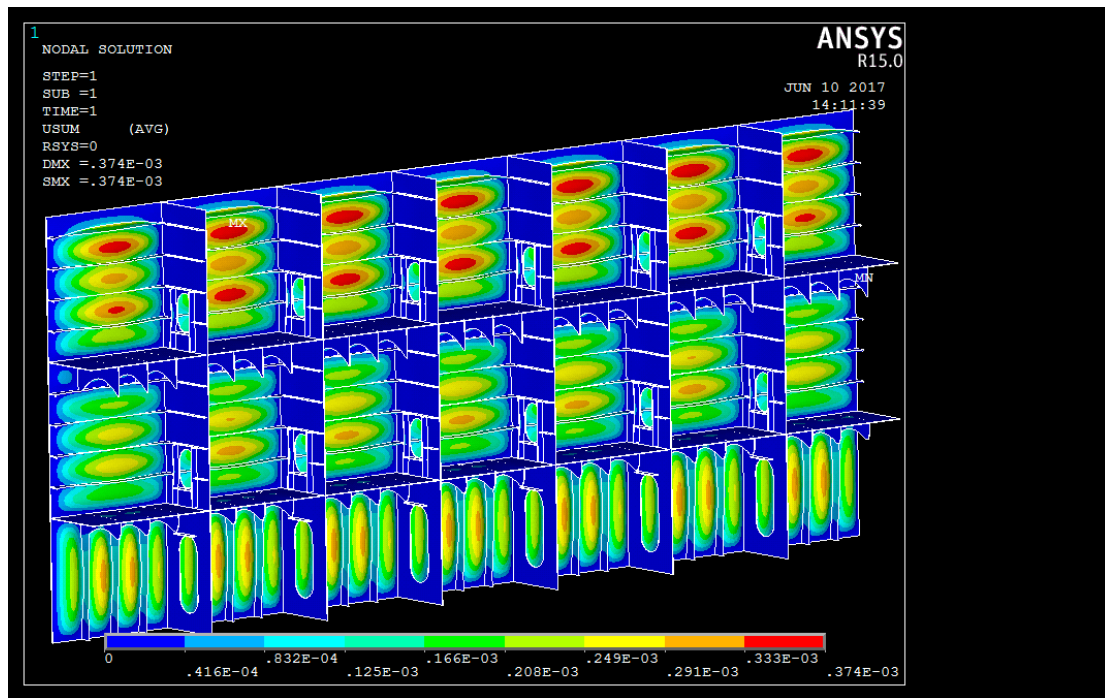
#### IV.9.2. Deformasi

Menampilkan persebaran deformasi pada penelitian ini digunakan untuk melihat bagaimana respon model yang terjadi ketika diberikan pembebanan dan kondisi batas. Apabila model sudah sesuai maka deformasi maksimum terjadi pada tengah konstruksi atau bagian yang tidak ditumpu. Untuk menampilkan deformasi, dapat dilakukan pada perintah **Main menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution**. Kemudian pilih **DOF Solution** dengan kriteria *Displacement Vector Sum* seperti pada Gambar IV. 19.



Gambar IV. 19 Proses Pemilihan Kriteria Deformasi

Plot persebaran deformasi dapat menunjukkan bagaimana konstruksi menerima respon beban. Dari deformasi yang terjadi dapat dianalisis apakah kondisi batas yang diberikan sudah sesuai atau belum. Pada teori, pada suatu konstruksi yang diberi beban, deformasi terbesar terjadi pada bagian tengah pelat yang tidak ditumpu. Setelah dipilih kriteria deformasi seperti Gambar IV. 19, maka akan keluar tampilan persebaran deformasi seperti pada Gambar IV. 20.



Gambar IV. 20 Persebaran Deformasi Konstruksi Wing Tank

Pada hasil penyelesaian model, menunjukkan persebaran deformasi terjadi pada pelat yang tidak ditumpu, tepatnya diantara dua penegar yang berdekatan. Sehingga dapat dikatakan bahwa deformasi model yang terjadi sudah sesuai dengan teori yang ada.

### IV.9.3. Berat Konstruksi

Dalam analisis ini juga diperlukan data berat konstruksi pada setiap variasi. Berat konstruksi akan menunjukkan seberapa besar pengaruh perubahan jenis profil penegar dengan modulus yang sama pada konstruksi yang sama pula. Untuk menampilkan besarnya berat model dapat dilihat langsung pada *window command* pada *software* FEA seperti yang ditampilkan pada Gambar IV. 21.

```

Mechanical APDL 15.0 Output Window
0.40867E+06
0.0000 0.0000 0.0000 38921. : 0.17427E+06
----- : -----
a) : Rotation
0.93179E+06 : 0.12145E+07
0.39751E+06 : -0.18298E+07
0.66541E+07 : -0.93179E+06

TOTAL MASS = 38921.
The mass principal axes coincide with the global Cartesian axes

CENTER OF MASS (X,Y,Z)= 10.500 4.4776 2.2801

TOTAL INERTIA ABOUT CENTER OF MASS
0.23181E+06 52.307 6.6164
52.307 0.13649E+07 -152.36
6.6164 -152.36 0.15827E+07
The inertia principal axes coincide with the global Cartesian axes

*** MASS SUMMARY BY ELEMENT TYPE ***
TYPE MASS
1 38921.0

Range of element maximum matrix coefficients in global coordinate
Maximum = 3.072419716E+11 at element 617489.
Minimum = 1.855500439E+09 at element 163458.

*** ELEMENT MATRIX FORMULATION TIMES
TYPE NUMBER ENAME TOTAL CP AVE CP
1 395285 SOLID186 921.498 0.002331
Time at end of element matrix formulation CP = 531.105408.

```

Gambar IV. 21 Tampilan Window Command

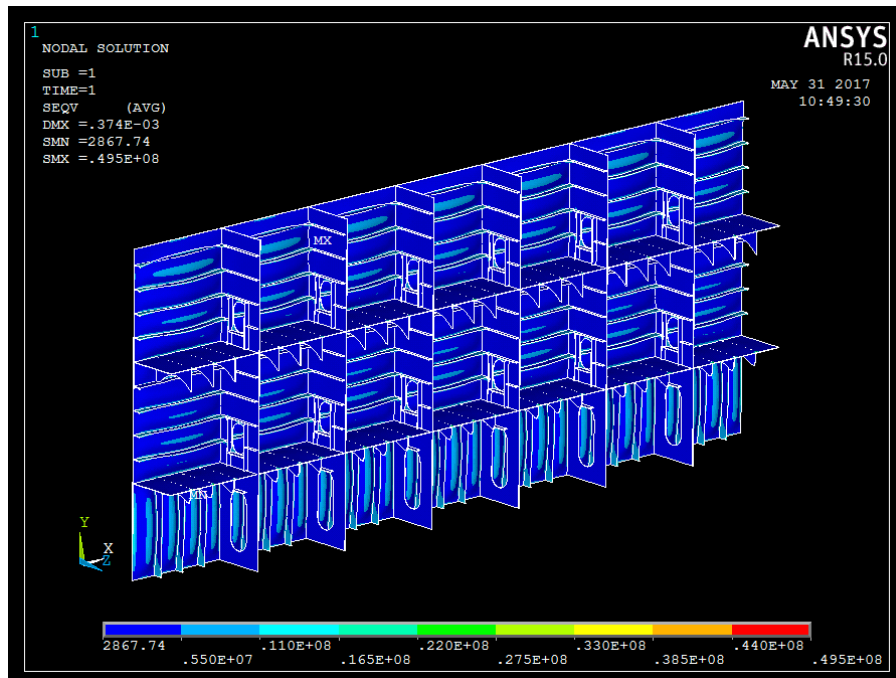
Pada kotak merah Gambar IV. 21 menunjukkan besarnya berat konstruksi *wing tank* yaitu sebesar 38.921 ton, data berat tersebut kemudian akan dibandingkan dengan variasi model lainnya dan akan dilakukan analisis pada BAB V.

## BAB V PEMBAHASAN

### V.1. Hasil Analisis

Setelah dilakukan analisis maka diperoleh hasil berupa nilai tegangan yang terjadi pada setiap variasi model, berat konstruksi *wing tank*, dan deformasi yang terjadi pada setiap variasi model sebagai berikut.

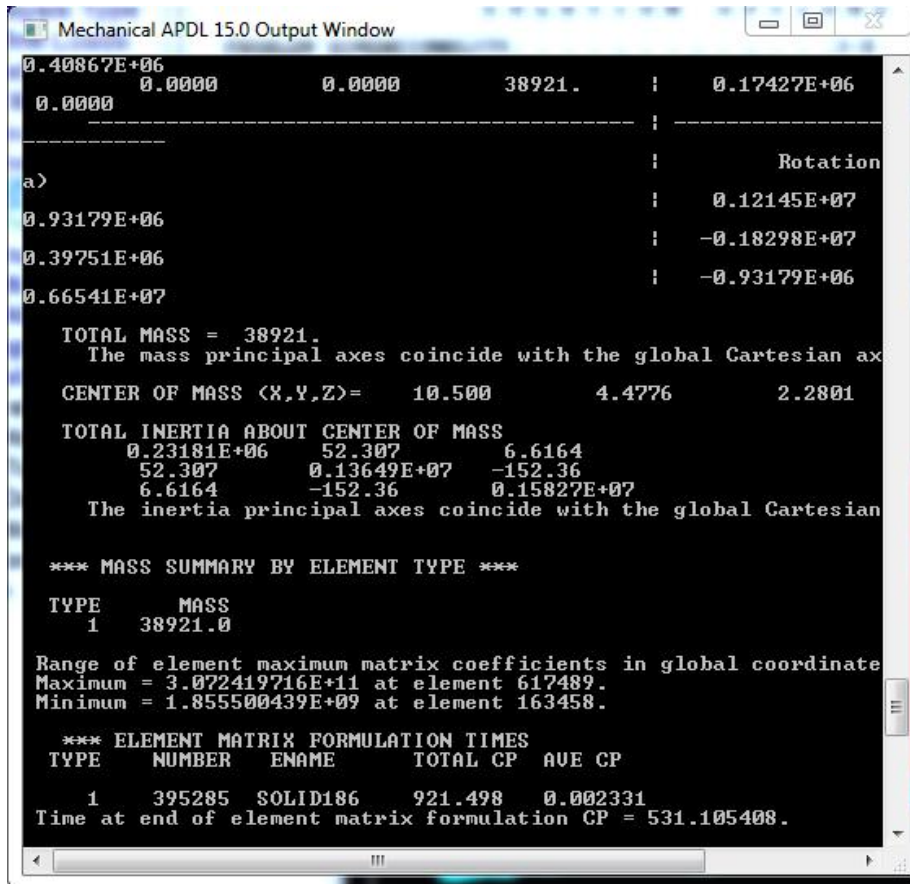
#### V.1.1. Variasi Model 1 – *Bulb Plate*



Gambar V. 1 Tegangan Maksimum pada Model 1

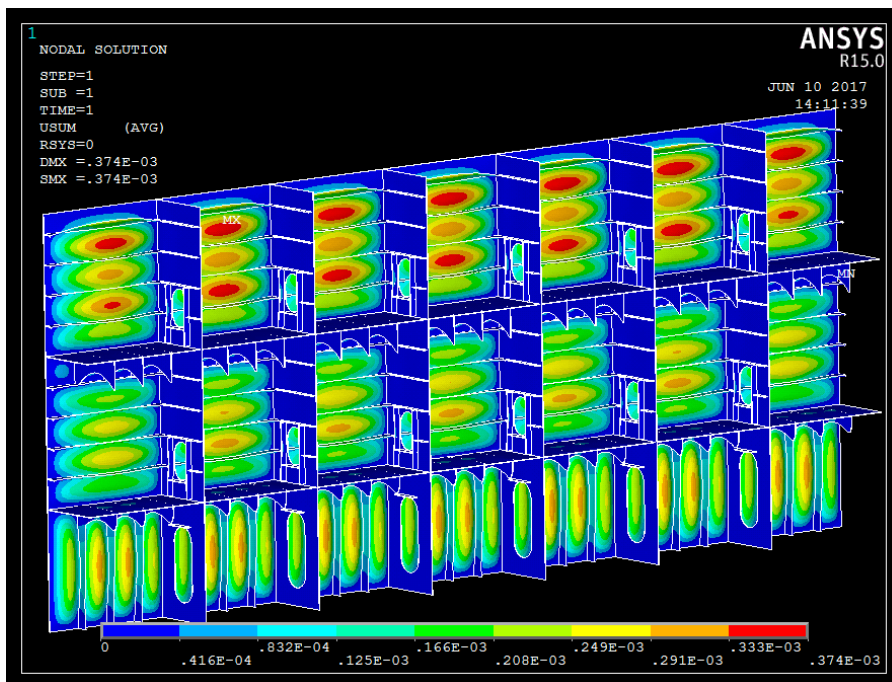
Berdasarkan hasil *solving* pada **Gambar V. 1** maka dapat dilihat harga tegangan terbesar pada model 1 dengan penegar *bulb plate* adalah 49.5 Mpa. Lokasi tegangan maksimal terjadi pada sambungan antara pembujur dengan *web*. Sedangkan tegangan minimum terjadi pada ujung *bracket*.





Gambar V. 2 Berat Konstruksi pada Model 1

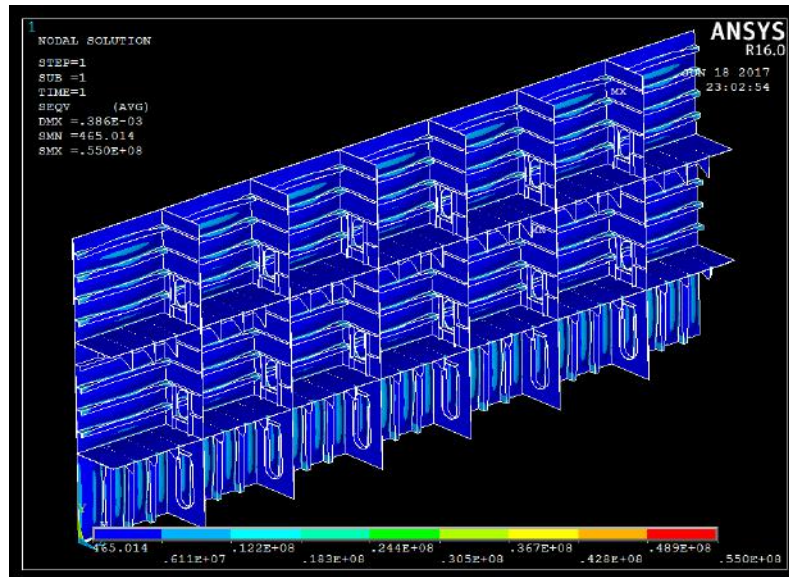
Pada model 1 berdasarkan hasil *solving* didapati memiliki berat konstruksi sebesar 38.921 ton, seperti yang terlihat pada *window command* Gambar V. 2.



Gambar V. 3 Deformasi pada Model 1

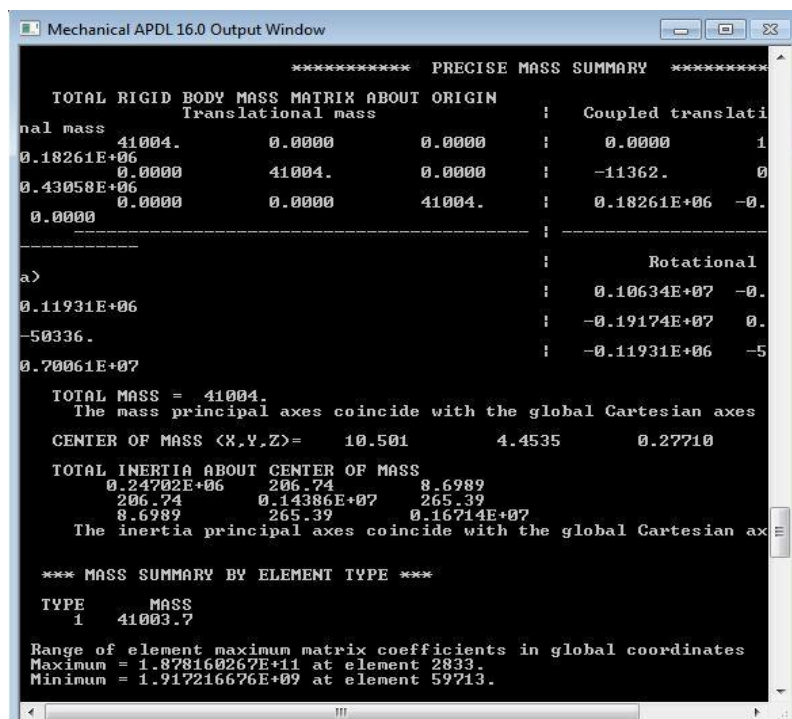
Deformasi maksimum yang terjadi pada model 1 sebesar 3.74 mm pada pelat yang tidak ditumpu seperti yang ditampilkan pada Gambar V. 3.

### V.1.2. Variasi Model 2 – *Unequal Leg Profile*



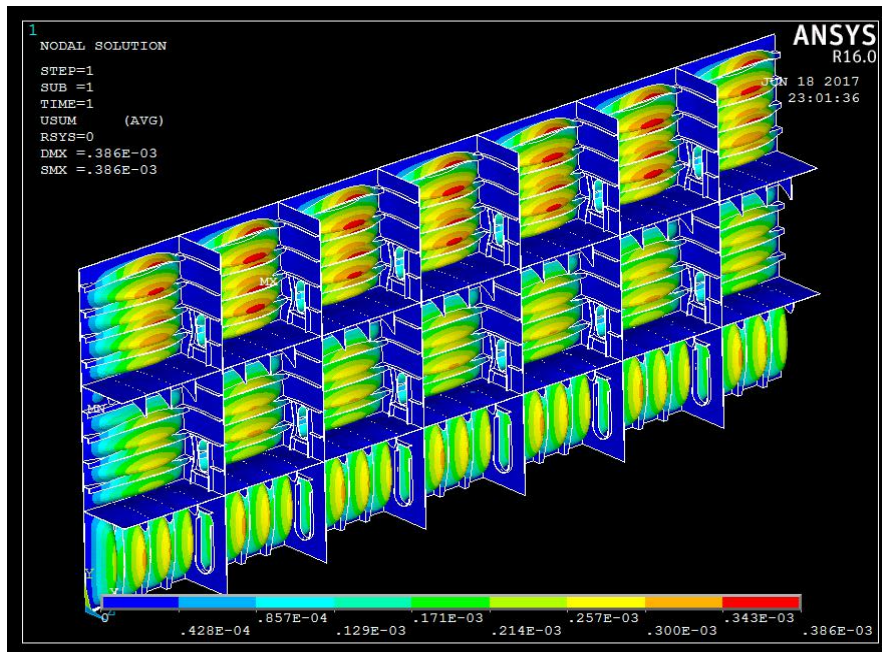
Gambar V. 4 Tegangan Maksimum pada Model 2

Berdasarkan hasil *solving* pada Gambar V. 4 maka dapat dilihat harga tegangan terbesar pada model 2 dengan penegar *unequal leg angles* adalah 55 Mpa. Lokasi tegangan maksimal terjadi pada sambungan antara pembujur dengan *web*. Sedangkan tegangan minimum terjadi pada ujung *bracket*.



Gambar V. 5 Berat Konstruksi pada Model 2

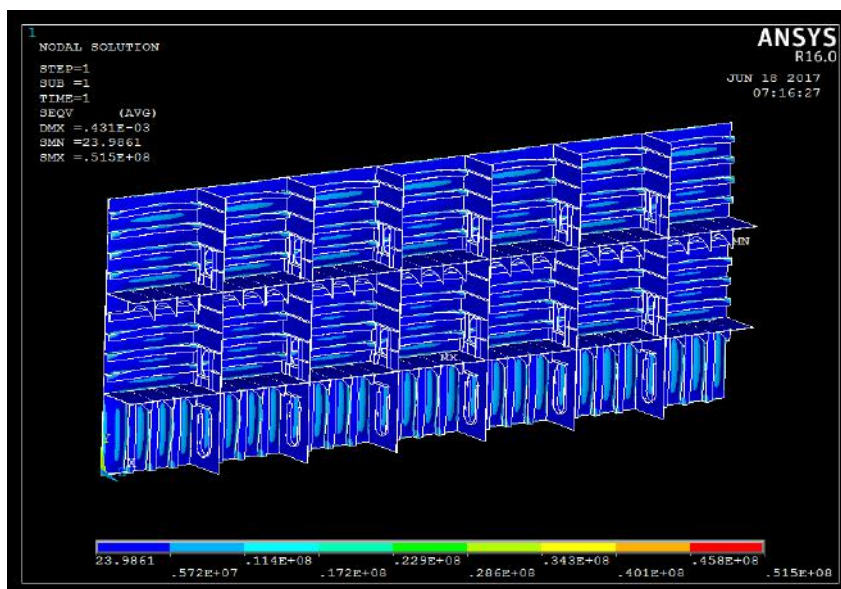
Pada model 2 berdasarkan hasil *solving* didapati memiliki berat konstruksi sebesar 41.0037 ton, seperti yang terlihat pada *window command* Gambar V. 5.



Gambar V. 6 Deformasi pada Model 2

Deformasi maksimum yang terjadi pada model 2 sebesar 3.86 mm pada pelat yang tidak ditumpu seperti yang ditampilkan pada Gambar V. 6.

### V.1.3. Variasi Model 3 – *Equal Leg Angles*



Gambar V. 7 Tegangan Maksimum pada Model 3

Berdasarkan hasil *solving* pada Gambar V. 7 maka dapat dilihat harga tegangan terbesar pada model 3 dengan penegar *unequal leg angles* adalah 51.5 Mpa. Lokasi tegangan maksimal

terjadi pada sambungan antara pembujur dengan *web*. Sedangkan tegangan minimum terjadi pada ujung *bracket*

```

Mechanical APDL 16.0 Output Window
-----
a)
0.12230E+06
-51489.
0.72848E+07
Rotational
0.11021E+07 -0.
-0.19878E+07 0.
-0.12230E+06 -5

TOTAL MASS = 42625.
The mass principal axes coincide with the global Cartesian axes
CENTER OF MASS (X,Y,Z)= 10.503 4.4411 0.27321
TOTAL INERTIA ABOUT CENTER OF MASS
0.25825E+06 449.72 16.121
449.72 0.14981E+07 229.04
16.121 229.04 0.17420E+07
The inertia principal axes coincide with the global Cartesian axes

*** MASS SUMMARY BY ELEMENT TYPE ***
TYPE MASS
1 42625.1

Range of element maximum matrix coefficients in global coordinates
Maximum = 2.315238776E+11 at element 563218.
Minimum = 1.514484571E+09 at element 132872.

*** ELEMENT MATRIX FORMULATION TIMES
TYPE NUMBER ENAME TOTAL CP AVE CP
1 582416 SOLID186 1156.825 0.001986
Time at end of element matrix formulation CP = 639.557312.

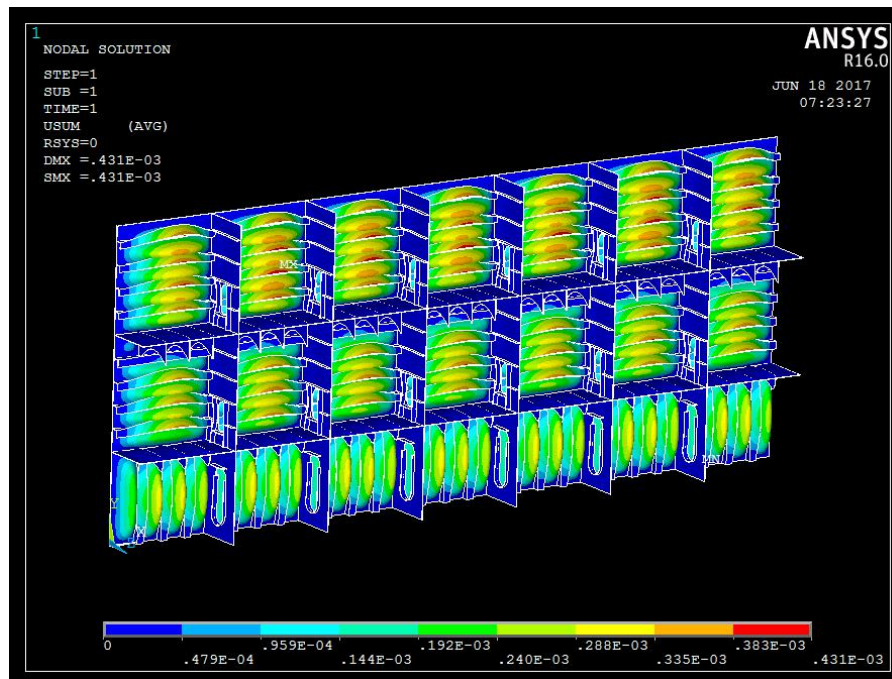
SPARSE MATRIX DIRECT SOLVER.
Number of equations = 12140232. Maximum wavefront = 234
Memory allocated for solver = 16978.183 MB
Memory required for in-core = 97213.741 MB
Memory required for out-of-core = 2805.168 MB

*** NOTE *** CP = 1187.916 TIME= 04:

```

Gambar V. 8 Berat Konstruksi pada Model 3

Pada model 3 berdasarkan hasil *solving* didapati memiliki berat konstruksi sebesar 42.625 ton, seperti yang terlihat pada *window command* Gambar V. 9.



Gambar V. 9 Deformasi pada Model 3

Deformasi maksimum yang terjadi pada model 2 sebesar 3.86 mm pada pelat yang tidak ditumpu seperti yang ditampilkan pada Gambar V. 8.

## V.2. Pembahasan Hasil

### V.2.1. Tegangan Maksimum

Dari hasil analisis maka akan ditinjau mengenai tegangan maksimum dari setiap model. Analisis dilakukan pada tegangan maksimum karena tegangan ini dianggap yang paling berpengaruh terhadap penentuan apakah konstruksi memenuhi aturan atau tidak. Harga-harga tegangan harus dibandingkan dengan harga tegangan yang diijinkan oleh regulasi. Pada penelitian ini digunakan standar batas tegangan ijin dari CSR. Menurut standar peraturan CSR 2012 *Section 9 Chapter 2* tentang *Strength Assessment* (FEM), tegangan ijin maksimal digunakan rasio persamaan tegangan sebagai berikut.

$$\lambda_y = \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{yd}} \quad \text{V.1}$$

Dimana:

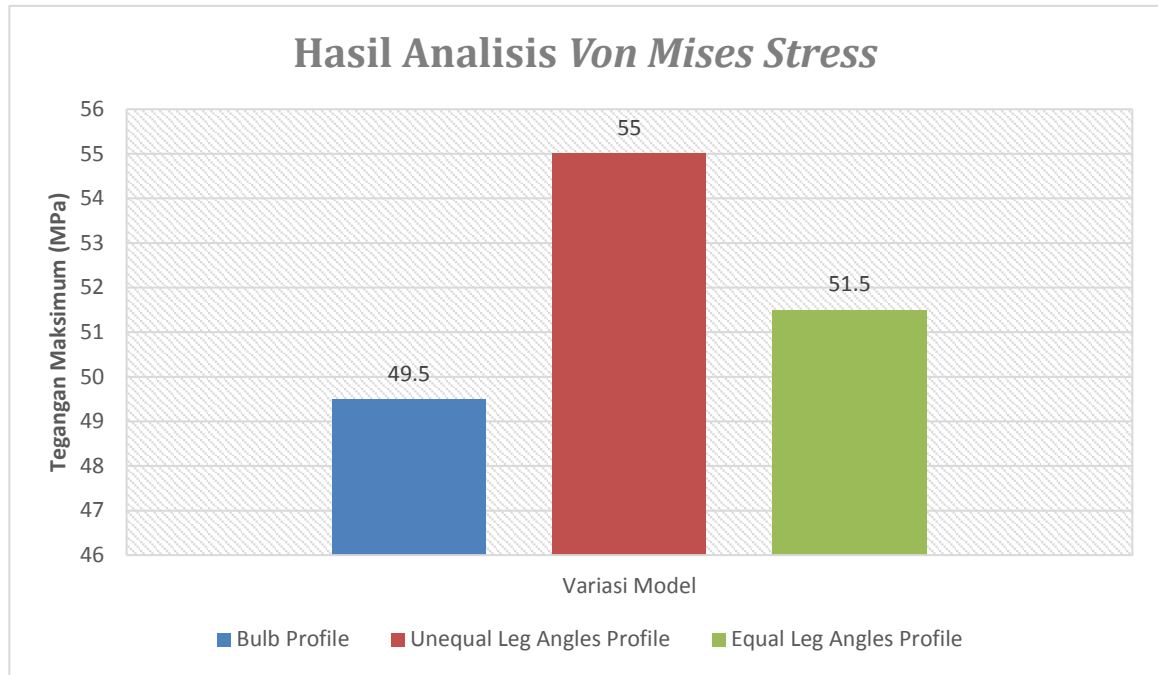
$\sigma_{vm}$  = tegangan maksimum von mises

$\sigma_{yd}$  = tegangan yield material (235 MPa)

Pada penelitian ini digunakan studi kasus *wing tank*, sehingga dalam analisis batas maksimal tegangan ijin menurut CSR diberikan batas rasio tegangan ijin ( $\lambda_{ijin}$ ) dengan nilai **0.72**. Hasil analisis tegangan dari model dapat dilihat pada Tabel V. 1

**Tabel V. 1** Tabulasi Tegangan pada Model

No	Model	Tegangan maksimal ( $\sigma_{max}$ ) (MPa)	Tegangan Batas ( $\sigma_{yield}$ ) (MPa)	$\lambda_y$	$\lambda_{ijin}$	Syarat $\lambda_y \leq \lambda_{ijin}$
1	<i>Bulb Plate</i>	49.5	235	0.21	0.72	memenuhi
2	<i>Unequal leg angles</i>	55	235	0.23	0.72	memenuhi
3	<i>Equal leg angles</i>	51.5	235	0.22	0.72	memenuhi



**Gambar V. 10 Grafik Tegangan pada Model**

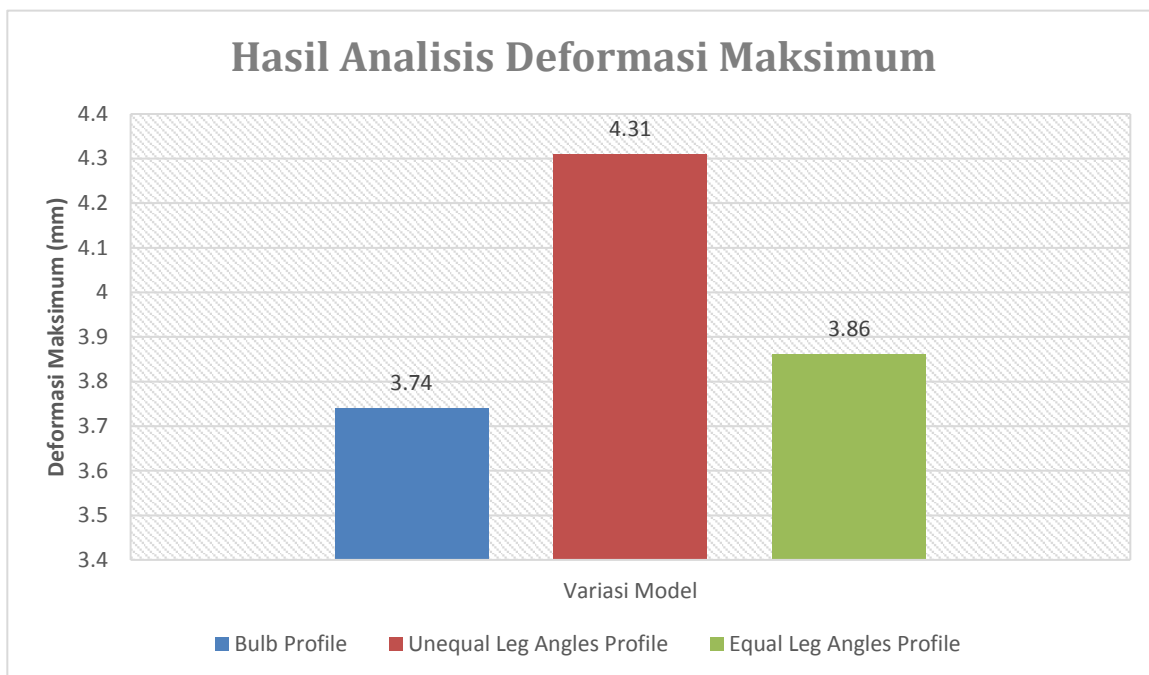
Ketiga model menghasilkan tegangan di bawah tegangan ijin sehingga model dapat dikatakan sudah memenuhi kriteria berdasarkan standar dari CSR (2012). Pada model 1 penegar *bulb plate* mengalami tegangan maksimum sebesar 49.5 MPa dengan titik maksimum pada sambungan antara penegar dengan *web*. Pada model 2 penegar *unequal leg angles profile* mengalami tegangan maksimum sebesar 55 MPa dengan titik maksimum pada sambungan antara penegar dengan *web*. Pada model 3 penegar *equal leg angles profile* mengalami tegangan maksimum sebesar 51.5 MPa dengan titik maksimum pada sambungan antara penegar dengan *web*. Tegangan terbesar terjadi pada model 2, sedangkan tegangan terkecil terjadi pada model 1.

### V.2.2. Deformasi Maksimum

Untuk melihat respon model terhadap beban yang bekerja maka diperlukan analisis deformasi maksimum yang terjadi pada setiap model. Berdasarkan teori yang dijelaskan pada sub-BAB IV.9, deformasi terbesar terjadi pada bagian pelat yang tidak ditumpu atau tanpa penegar. Deformasi berbanding lurus dengan tegangan yang terjadi, semakin besar tegangan yang terjadi maka semakin besar pula deformasi yang dialami oleh model konstruksi.

**Tabel V. 2 Deformasi Maksimal pada Model**

No	Model	Deformasi maksimal (mm)
1	<i>Bulb Plate</i>	3.74
2	<i>Unequal leg angles</i>	4.31
3	<i>Equal leg angles</i>	3.86



**Gambar V. 11 Grafik Deformasi Maksimum pada Model**

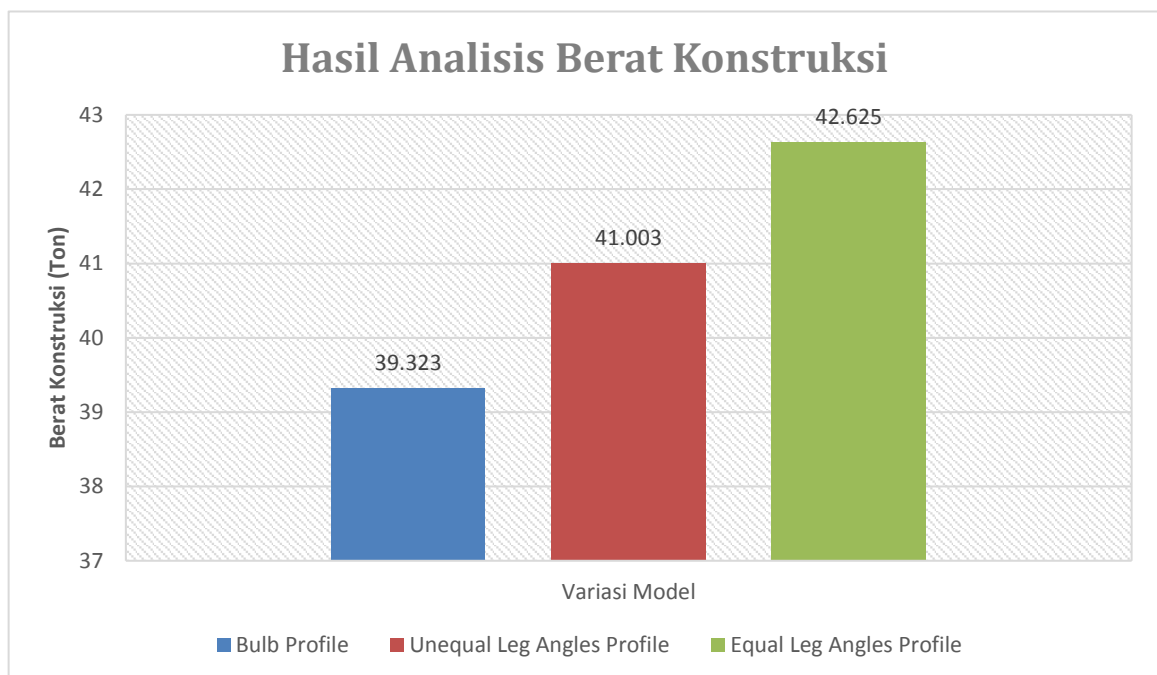
Hasil dari deformasi maksimum yang terjadi pada model diperlihatkan pada Tabel V. 2 dan Gambar V. 11. Pada model 1 *bulb plate* mengalami deformasi maksimum sebesar 3.74 mm, model 2 *unequal leg angles* mengalami deformasi maksimum sebesar 4.31 mm, sedangkan pada model 3 *equal leg angles* mengalami deformasi maksimum sebesar 3.86 mm. Dari hasil deformasi tersebut dapat dilihat bahwa deformasi terbesar terjadi pada model 2, sedangkan deformasi terkecil terjadi pada model 1. Hal tersebut sesuai dengan teori bahwa besarnya deformasi berbanding lurus dengan tegangan.

### V.2.3. Berat Konstruksi

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis berat konstruksi pada setiap variasi model *wing tank*. Dalam pemodelan digunakan detail konstruksi yang sama dengan modulus profil yang sama pula pada setiap variasi profil yang berbeda. Sehingga dalam pemilihan profil yang paling optimum, selain dipilih model dengan tegangan terkecil, juga dipertimbangkan berat konstruksi yang paling ringan pada masing-masing model *wing tank*.

Tabel V. 3 Berat Konstruksi pada Model

No	Model	Berat konstruksi (ton)
1	<i>Bulb Plate</i>	39.323
2	<i>Unequal leg angles</i>	41.003
3	<i>Equal leg angles</i>	42.625



Gambar V. 12 Grafik Berat Konstruksi pada Model

Besarnya berat konstruksi *wing tank* pada masing-masing model dapat dilihat pada Tabel V. 3 dan Gambar V. 12. Pada model 1 *bulb plate* berat konstruksi sebesar 39.323 Ton, model 2 *unequal leg angles* berat konstruksi sebesar 41.003 Ton, sedangkan pada model 3 *equal leg angles* berat konstruksi sebesar 42.625 Ton.



Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **VI.1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian dari ketiga variasi model *wing tank* dengan tipe profil penegar yang berbeda maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan modulus profil penegar yang sama, didapatkan nilai tegangan terbesar terjadi pada variasi tipe profil *unequal leg angles* dengan nilai 55 MPa, sedangkan tegangan terkecil terjadi pada variasi tipe profil *bulb* dengan nilai 49.5 MPa.
2. Nilai deformasi berbanding lurus dengan nilai tegangan, nilai deformasi terbesar terjadi pada variasi tipe profil *unequal leg angles* dengan nilai 4.31 mm, sedangkan deformasi terkecil terjadi pada variasi tipe profil *bulb* dengan nilai 3.74 mm.
3. Berat konstruksi terbesar terjadi pada variasi tipe profil *equal leg angles* dengan nilai 42.625 ton, sedangkan berat konstruksi terkecil terjadi pada variasi tipe profil *bulb* dengan nilai 39.323 ton.
4. Tipe profil penegar yang paling efektif digunakan pada konstruksi dengan mempertimbangkan nilai tegangan terkecil dan berat konstruksi yang terkecil adalah penegar dengan tipe profil *bulb*.

#### **VI.2. Saran**

Pada penelitian ini digunakan pembebanan lokal statis muatan. Namun pada kondisi sebenarnya terjadi berbagai macam pembebanan yang dialami oleh konstruksi pada kapal. Untuk mendapatkan hasil perbandingan antara tipe profil penegar yang berbeda, maka penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambah variasi pembebanan dinamis.

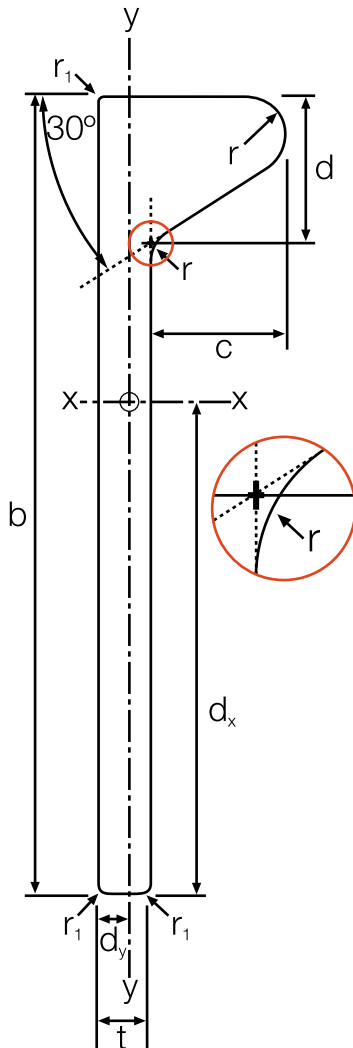
Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- Aghayere, Abi & Jason, Virgil. (2009). *Structural Steel Design*. United States of America.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2016). *Rules for The Classification and Construction of Sea Going Steel Ship Volume II: Rules for Hull*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Djaya, Indra Kusna. (2008). *Teknik Konstruksi Kapal Baja*. Jakarta.
- DNV-GL. (2015). *Class Guideline – Finite Element Analysis*. DNV-GL.
- Eyres, D. (2007). *Ship Construction Sixth Edition*. Burlington: Elsevier Ltd.
- Gere, J.M & S.P. Timoshenko. (1996). *Mekanika Bahan*, Edisi Kedua Versi SI. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, David & Resnick, Robert. (1985). *Fisika Dasar*. Jakarta: Erlangga.
- Hibeller, R.C. (1997). *Mechanics of Material*, Third Edition. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hoque, K.N. (2016). *Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull Using Finite Element Method*. Bangladesh.
- IACS. (2012). *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers*. Italy: RINA.
- Popov, E. P. (1978). *Mechanics of Material*, 2nd edition. New Jersey: Prentice-Hall.
- Rizzuto, P.R. (2010). *Analysis and Design of Ship Structure*. University of Liege: ANAST.
- Salmon, Charles G. & Johnson, John E. (1983). *Struktur Baja Desain dan Perilaku*, Edisi 3. Jakarta.
- Santosa, B. (2013). *Diktat Kekuatan Kapal*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Schodek, D. L. (1998). *Struktur*, Edisi 3. Bandung: PT Refika Aditama.

**LAMPIRAN A**  
**KATALOG PROFIL *BULB***

# Dimensions and properties



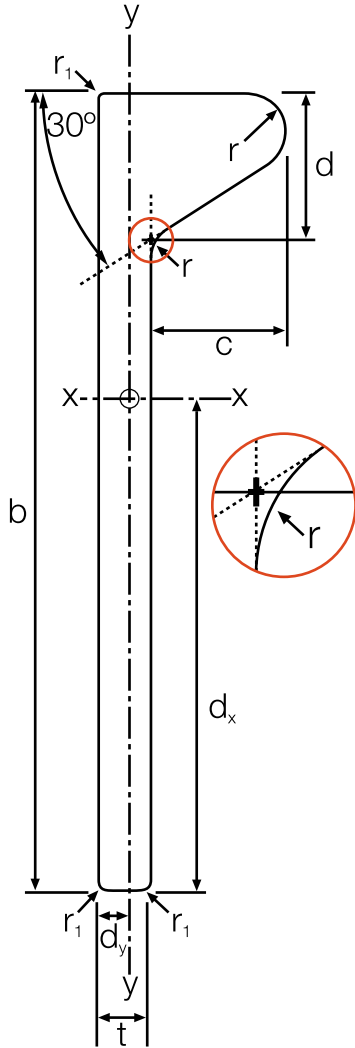
Width $b$ [mm]	Thickness $t$ [mm]	Mass per Unit Length $G$ [kg/m]	Bulb Height $c$ [mm]	Bulb Width $d$ [mm]	Bulb Radius $r$ [mm]	Area of cross-section $F$ [cm <sup>2</sup> ]	Surface Area $U$ [m <sup>2</sup> /m]
120	6	7.31	17	17.7	5	9.31	0.276
	7	8.25	17	17.7	5	10.5	0.278
	8	9.19	17	17.7	5	11.7	0.280
140	6.5	9.21	19	19.7	5.5	11.7	0.319
	7	9.74	19	19.7	5.5	12.4	0.320
	8	10.8	19	19.7	5.5	13.8	0.322
	10	13.0	19	19.7	5.5	16.6	0.326
160	7	11.4	22	22.2	6	14.6	0.365
	8	12.7	22	22.2	6	16.2	0.367
	9	14.0	22	22.2	6	17.8	0.369
	11.5	17.3	22	22.2	6	21.8	0.374
180	8	14.8	25	25.5	7	18.9	0.411
	9	16.2	25	25.5	7	20.7	0.413
	10	17.6	25	25.5	7	22.5	0.415
	11.5	19.7	25	25.5	7	25.2	0.418
200	8.5	17.8	28	28.8	8	22.6	0.456
	9	18.5	28	28.8	8	23.6	0.457
	10	20.1	28	28.8	8	25.6	0.459
	11	21.7	28	28.8	8	27.6	0.461
	12	23.2	28	28.8	8	29.6	0.463
220	9	21.0	31	32.1	9	26.8	0.501
	10	22.8	31	32.1	9	29.0	0.503
	11	24.5	31	32.1	9	31.2	0.505
	12	26.2	31	32.1	9	33.4	0.507
240	9.5	24.4	34	35.4	10	31.2	0.546
	10	25.4	34	35.4	10	32.4	0.547
	11	27.4	34	35.4	10	34.9	0.549
	12	29.3	34	35.4	10	37.3	0.551
260	10	28.3	37	38.7	11	36.1	0.593
	11	30.3	37	38.7	11	38.7	0.593
	12	32.4	37	38.7	11	41.3	0.595
280	10.5	32.4	40	42.0	12	41.2	0.636
	11	33.5	40	42.0	12	42.6	0.637
	12	35.7	40	42.0	12	45.5	0.639
	13	37.9	40	42.0	12	48.4	0.641
300	11	36.7	43	45.3	13	46.7	0.681
	12	39.0	43	45.3	13	49.7	0.683
	13	41.5	43	45.3	13	52.8	0.685
320	11.5	41.2	46	48.6	14	52.6	0.727
	12	42.5	46	48.6	14	54.2	0.728
	13	45.0	46	48.6	14	57.4	0.730
	14	47.5	46	48.6	14	60.6	0.732
340	12	46.1	49	52.0	15	58.8	0.772
	13	48.8	49	52.0	15	62.2	0.774
	14	51.5	49	52.0	15	65.5	0.776
	15	54.2	49	52.0	15	69.0	0.778
370	12.5	53.1	53.5	56.9	16.5	67.8	0.839
	13	54.6	53.5	56.9	16.5	69.6	0.840
	14	57.5	53.5	56.9	16.5	73.3	0.842
	15	60.5	53.5	56.9	16.5	77.0	0.844
	16	63.5	53.5	56.9	16.5	80.7	0.846
400	13	60.8	58	61.9	18	77.4	0.907
	14	63.9	58	61.9	18	81.4	0.908
	15	67.0	58	61.9	18	85.4	0.910
	16	70.2	58	61.9	18	89.4	0.912
430	14	70.6	62.5	66.8	19.5	89.7	0.975
	15	73.9	62.5	66.8	19.5	94.1	0.976
	17	80.6	62.5	66.8	19.5	103.0	0.980
	20	90.8	62.5	66.8	19.5	115.0	0.986

Additional sizes may be available by agreement: 80 & 100 DIN range  
180, 200, 230 and 250 JIS range

\* Values for H are taken about the line of attachment.

Distance of Centre of Gravity		Second Moment of Area		Elastic Modulus		Radius of Gyration		Warping Constant	Torsional Constant
$d_x$ [mm]	$d_y$ [mm]	Axis x - x [cm <sup>4</sup> ]	Axis y - y [cm <sup>4</sup> ]	Axis x - x [cm <sup>2</sup> ]	Axis y - y [cm <sup>2</sup> ]	Axis x - x [cm]	Axis y - y [cm]	H* [cm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )]	J [cm <sup>4</sup> ]
72.0	5.3	133	2.34	18.4	4.42	3.78	0.50	0.242	1.595
70.7	5.6	148	2.70	21.0	4.82	3.75	0.51	0.251	2.100
69.6	6.0	164	3.10	23.6	5.17	3.74	0.51	0.263	2.773
83.7	5.8	228	3.57	27.3	6.16	4.41	0.55	0.504	2.383
83.1	5.9	241	3.80	29.0	6.44	4.41	0.55	0.508	2.708
81.8	6.3	266	4.32	32.5	6.86	4.39	0.56	0.528	3.501
79.2	7.0	316	5.56	39.9	7.94	4.36	0.58	0.575	5.752
96.6	6.4	373	5.86	38.6	9.16	5.05	0.63	1.12	3.681
94.9	6.8	411	6.55	43.3	9.63	5.04	0.64	1.16	4.600
93.6	7.1	448	7.32	47.9	10.3	5.02	0.64	1.20	5.763
91.1	8.1	544	9.62	59.8	11.9	5.00	0.66	1.31	9.936
109	7.4	609	9.90	55.9	13.4	5.68	0.72	2.45	6.352
107	7.7	665	10.93	62.1	14.2	5.67	0.73	2.51	7.686
106	8.1	717	12.05	67.8	14.9	5.65	0.73	2.58	9.328
104	8.6	799	13.93	76.8	16.2	5.63	0.74	2.71	12.44
122	8.2	902	15.07	74.0	18.4	6.32	0.82	4.67	9.129
121	8.4	941	15.76	77.7	18.8	6.31	0.82	4.72	9.924
119	8.7	1020	17.21	85.0	19.8	6.31	0.82	4.83	11.70
118	9.0	1090	18.77	92.3	20.9	6.28	0.82	4.93	14.00
117	9.4	1160	20.46	99.6	21.8	6.26	0.83	5.09	16.65
136	9.1	1296	22.03	95.3	24.2	6.95	0.91	8.64	13.24
134	9.3	1400	23.89	105	25.7	6.95	0.91	8.80	15.31
132	9.6	1500	25.86	113	26.9	6.93	0.91	8.98	17.81
130	10.0	1590	27.98	122	28.0	6.90	0.92	9.18	20.76
148	9.9	1800	31.15	123	31.5	7.60	1.00	14.8	18.16
147	10.0	1860	32.34	126	32.3	7.58	1.00	14.9	19.37
146	10.3	2000	34.81	137	33.8	7.57	1.00	15.3	22.46
144	10.6	2130	37.43	148	35.3	7.56	1.00	15.6	25.73
162	10.7	2477	42.84	153	40.0	8.28	1.09	24.7	25.03
160	11.0	2610	45.90	162	41.7	8.21	1.09	25.0	28.09
158	11.3	2770	49.11	175	43.5	8.19	1.09	25.4	31.68
175	11.6	3223	57.55	184	49.6	8.84	1.18	39.0	33.05
174	11.7	3330	59.44	191	50.8	8.84	1.18	39.2	34.80
172	11.9	3550	63.34	206	53.2	8.83	1.18	40.1	39.19
170	12.2	3760	67.42	221	55.3	8.81	1.18	41.0	44.25
189	12.4	4190	75.74	222	61.1	9.47	1.27	59.9	43.25
187	12.6	4460	80.44	239	63.8	9.47	1.27	60.5	47.55
185	12.9	4720	85.33	256	66.1	9.45	1.27	61.8	53.06
202	13.3	5370	97.92	266	73.6	10.10	1.36	89.9	56.02
201	13.4	5530	100.8	274	75.2	10.10	1.36	90.3	58.45
199	13.6	5850	106.6	294	78.6	10.10	1.36	91.2	63.86
197	13.9	6170	112.6	313	81.0	10.09	1.36	92.3	70.06
215	14.1	6760	124.6	313	88.4	10.72	1.46	131	71.17
213	14.3	7160	131.5	335	92.0	10.73	1.45	132	77.02
211	14.6	7540	138.6	357	94.9	10.73	1.45	133	83.00
209	14.8	7920	145.9	379	98.6	10.71	1.45	135	91.30
236	15.4	9213	172.3	390	112	11.66	1.59	221	97.66
235	15.4	9470	176.7	402	115	11.66	1.59	221	100.7
232	15.6	9980	185.7	428	119	11.67	1.59	223	108.1
230	15.9	10490	194.8	455	123	11.67	1.59	225	116.6
228	16.1	10980	204.3	481	127	11.66	1.59	227	126.0
258	16.6	12280	232.4	476	140	12.60	1.73	357	131.0
255	16.8	12930	243.6	507	145	12.60	1.73	359	139.3
252	17.0	13580	255.0	537	150	12.61	1.73	362	148.7
250	17.2	14220	266.6	568	155	12.61	1.73	364	159.6
277	17.9	16460	313.9	594	175	13.55	1.87	557	176.6
274	18.1	17260	327.9	628	181	13.54	1.87	562	187.9
269	18.5	18860	356.7	700	193	13.53	1.86	576	215.6
263	19.3	21180	402.6	804	209	13.57	1.87	570	252.6

# Tolerances & Steel Specifications



## Tolerances (In accordance with BS EN 10067:1997)

### 1. Dimensional Variation - All Dimensions in mm

Width b			Thickness t		
Over	Up to	Permitted Variation	From	Up to	Permitted Variation
-	120	±1.5	-	8	+0.7 - 0.3
120	180	±2.0	7	11	+1.0 - 0.3
180	300	±3.0	9	13	+1.0 - 0.4
300	430	±4.0	12	20	+1.2 - 0.4

Improved tolerances may be available by agreement

Radius of curvature of corners r <sub>1</sub> for thicknesses		
Over	Up to	Max.
-	5	1.5
5	9	2.0
9	13	3.0
13	20	4.0

### 2. Weight Variation

The weights shown in the tables have been calculated from the cross section with a density of 0.785 kilogram per square centimetre per metre run.

Permitted weight variations:

- +6.0% - 2.0% of the total weight for consignments of 5 tonnes and over.
- +8.0% - 2.7% of the total weight for consignments under 5 tonnes.

### 3. Straightness Variation in Accordance with BS EN 10067: 1997

Straightness tolerance q shall be 0.0035 L (the entire length of the bar)

**Improved straightness tolerances may be available by agreement**

## Steel specifications

### 1. Shipbuilding

Classification Society	A	B	D	A32/36*	D32/36*	D40
Lloyds	F	F	F	F	F	
DNV	F	F	O	F	F	
ABS	F	F	F	F	F	F**
BV	F	F	F	F	F	
GL	F	F	F	F	F	
Class NK	F	F	F	F	F	
RINA	F	F	F	F	F	

F = Full approval O = Approval obtained on an order by order basis

\* = Equivalent to AH32/36 and DH 32/36 for Lloyds Register.

Equivalent to KA 32/36 and KD 32/36 for class NK.

\*\* up to 12mm thickness

### 2. Construction

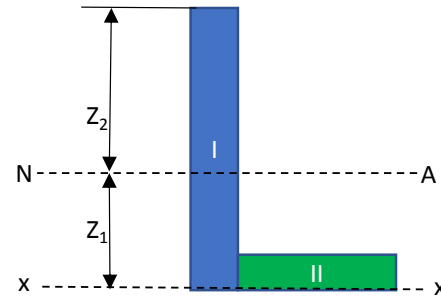
Bulb flats are available in a range of steel grades suitable for bridge construction in accordance with BS EN 10025: 1993 and BS EN 10113-3 S420M (upto 12mm thickness)



**LAMPIRAN B**  
**HASIL PERHITUNGAN PROFIL PENEKAR**

## L-Profile (unequal leg angles)

Variasi 1 - Stiffener 1 ( $W=105 \text{ cm}^3$ )



	horizotal (h)	vertical (v)	Area of cross section (F)	Distance of center Gravity (d)	Moment of Area (F.d)	Moment of Inertia (F.d <sup>2</sup> )	Individual moment of inertia (1/12 h.v <sup>3</sup> )
I	1.2	18.9	22.68	9.45	214.326	2025.3807	675.1269
II	11.3	1.2	13.56	0.6	8.136	4.8816	1.6272
$\Sigma =$			36.24		222.462	2030.2623	676.7541

$$Z_1 = 6.138576 \text{ cm}$$

$$Z_2 = 12.76142 \text{ cm}$$

$$I_{xx} = 2707.016 \text{ cm}^4$$

$$I_{NA} = 1341.416 \text{ cm}^4$$

$$W_1 = 218.5224 \text{ cm}^3$$

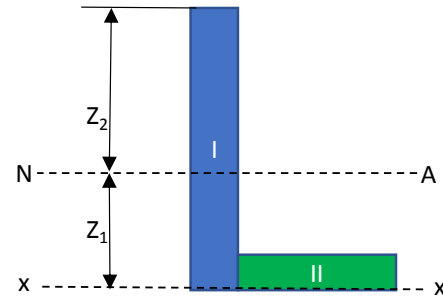
$$W_2 = 105.115 \text{ cm}^3$$

Dimensi Profil:

**L 189 x 125 x 12**

## L-Profile (unequal leg angles)

Variasi 1 - Stiffener 2 ( $W=137 \text{ cm}^3$ )



	horizotal (h)	vertical (v)	Area of cross section (F)	Distance of center Gravity (d)	Moment of Area (F.d)	Moment of Inertia (F.d <sup>2</sup> )	Individual moment of inertia (1/12 h.v <sup>3</sup> )
I	1.3	21	27.3	10.5	286.65	3009.825	1003.275
II	10.7	1.3	13.91	0.65	9.0415	5.876975	1.958991667
$\Sigma =$			41.21		295.6915	3015.701975	1005.233992

$$Z_1 = 7.175237 \text{ cm}$$

$$Z_2 = 13.82476 \text{ cm}$$

$$I_{xx} = 4020.936 \text{ cm}^4$$

$$I_{NA} = 1899.279 \text{ cm}^4$$

$$W_1 = 264.6992 \text{ cm}^3$$

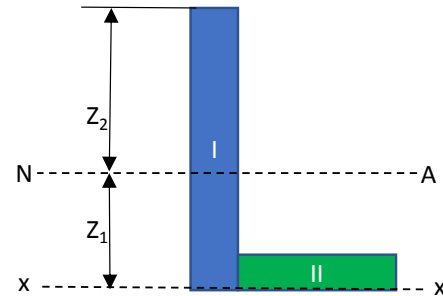
$$W_2 = 137.3824 \text{ cm}^3$$

Dimensi Profil:

**L 210 x 120 x 13**

## L-Profile (unequal leg angles)

Variasi 1 - Stiffener 3 ( $W=153 \text{ cm}^3$ )



	horizotal (h)	vertical (v)	Area of cross section (F)	Distance of center Gravity (d)	Moment of Area (F.d)	Moment of Inertia (F.d <sup>2</sup> )	Individual moment of inertia (1/12 h.v <sup>3</sup> )
I	1.3	22.1	28.73	11.05	317.4665	3508.004825	1169.334942
II	11.7	1.3	15.21	0.65	9.8865	6.426225	2.142075
$\Sigma =$			43.94		327.353	3514.43105	1171.477017

$$Z_1 = 7.45 \text{ cm}$$

$$Z_2 = 14.65 \text{ cm}$$

$$I_{xx} = 4685.908 \text{ cm}^4$$

$$I_{NA} = 2247.128 \text{ cm}^4$$

$$W_1 = 301.6279 \text{ cm}^3$$

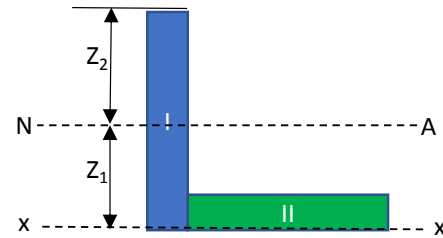
$$W_2 = 153.3876 \text{ cm}^3$$

Dimensi Profil:

**L 221 x 130 x 13**

## L-Profile (equal leg angles)

Variasi 2 - Stiffener 1 ( $W=105 \text{ cm}^3$ )



	horizotal (h)	vertical (v)	Area of cross section (F)	Distance of center Gravity (d)	Moment of Area (F.d)	Moment of Inertia (F.d <sup>2</sup> )	Individual moment of inertia (1/12 h.v <sup>3</sup> )
I	1.3	17.7	23.01	8.85	203.6385	1802.200725	600.733575
II	16.4	1.3	21.32	0.65	13.858	9.0077	3.002566667
$\Sigma =$			44.33		217.4965	1811.208425	603.7361417

$$Z_1 = 4.906305 \text{ cm}$$

$$Z_2 = 12.7937 \text{ cm}$$

$$I_{xx} = 2414.945 \text{ cm}^4$$

$$I_{NA} = 1347.84 \text{ cm}^4$$

$$W_1 = 274.716 \text{ cm}^3$$

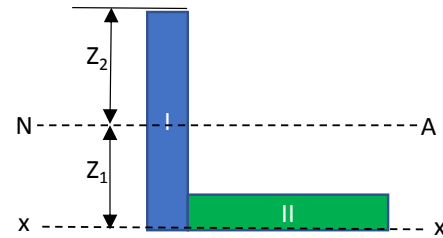
$$W_2 = 105.352 \text{ cm}^3$$

Dimensi Profil:

**L 177 x 177 x 13**

## L-Profile (equal leg angles)

Variasi 2 - Stiffener 2 ( $W=137 \text{ cm}^3$ )



	horizotal (h)	vertical (v)	Area of cross section (F)	Distance of center Gravity (d)	Moment of Area (F.d)	Moment of Inertia (F.d <sup>2</sup> )	Individual moment of inertia (1/12 h.v <sup>3</sup> )
I	1.2	20.9	25.08	10.45	262.086	2738.7987	912.9329
II	19.7	1.2	23.64	0.6	14.184	8.5104	2.8368
$\Sigma =$			48.72		276.27	2747.3091	915.7697

$$Z_1 = 5.670567 \text{ cm}$$

$$Z_2 = 15.22943 \text{ cm}$$

$$I_{xx} = 3663.079 \text{ cm}^4$$

$$I_{NA} = 2096.471 \text{ cm}^4$$

$$W_1 = 369.711 \text{ cm}^3$$

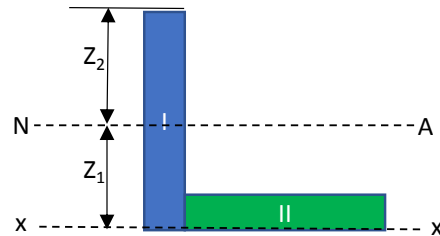
$$W_2 = 137.659 \text{ cm}^3$$

Dimensi Profil:

**L 209 x 209 x 12**

## L-Profile (equal leg angles)

Variasi 2 - Stiffener 3 ( $W=153 \text{ cm}^3$ )



	horizotal (h)	vertical (v)	Area of cross section (F)	Distance of center Gravity (d)	Moment of Area (F.d)	Moment of Inertia (F.d <sup>2</sup> )	Individual moment of inertia (1/12 h.v <sup>3</sup> )
I	1.5	19.9	29.85	9.95	297.0075	2955.224625	985.074875
II	18.4	1.5	27.6	0.75	20.7	15.525	5.175
$\Sigma =$			57.45		317.7075	2970.749625	990.249875

$$Z_1 = 5.530157 \text{ cm}$$

$$Z_2 = 14.36984 \text{ cm}$$

$$I_{xx} = 3961 \text{ cm}^4$$

$$I_{NA} = 2204.027 \text{ cm}^4$$

$$W_1 = 398.547 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = 153.379 \text{ cm}^3$$

Dimensi Profil:

**L 199 x 199 x 15**

**LAMPIRAN C**  
**HASIL PERHITUNGAN PEMBEBANAN**



## Pressure Calculation

Cargo Tank (Cargo or Ballast)

$$P_{in-tk} = \rho g z_{tk} \quad \text{kN/m}^2$$

$$\rho = 0.91 \quad \text{ton/m}^3$$

$$\rho_{sw} = 1.025 \quad \text{ton/m}^3$$

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

Testing Pressure

$$P_{in-test} = \rho_{sw} g z_{test} \quad \text{kN/m}^2$$

$$P_{in-test} = \rho_{sw} g z_{tk} + P_{valve} \quad \text{kN/m}^2$$

$$\rho_{sw} = 1.025 \quad \text{ton/m}^3$$

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

$$P_{valve} = \begin{matrix} \text{setting pressure of relief valve, if} \\ \text{fitted} \end{matrix}$$

$$= 14 \quad \text{kN/m}^2$$

**Inner Shell (wing tank) Plate 21 x 8.87 m**

***Cargo Tank***

Cargo

Plate	I	II	III	Unit
$z_{tk}$	7.5	4.4	1.3	m
$P_{in-tk}$	66.953	39.279	11.605	$\text{kN/m}^2$

Ballast

Plate	I	II	III	Unit
$z_{tk}$	7.5	4.4	1.3	m
$P_{in-tk}$	75.414	44.243	13.072	$\text{kN/m}^2$

***Testing Pressure***

Plate	I	II	III	Unit
$z_{test}$	9.9	6.8	3.7	m
$P_{in-test}$	99.547	68.376	37.204	$\text{kN/m}^2$

Plate	I	II	III	Unit
$z_{tk}$	7.5	4.4	1.3	m
$P_{in-test}$	89.414	58.243	27.072	$\text{kN/m}^2$

**LAMPIRAN D**  
**HASIL KONVERGENSI**

## Hasil Konvergensi Variasi Model 1

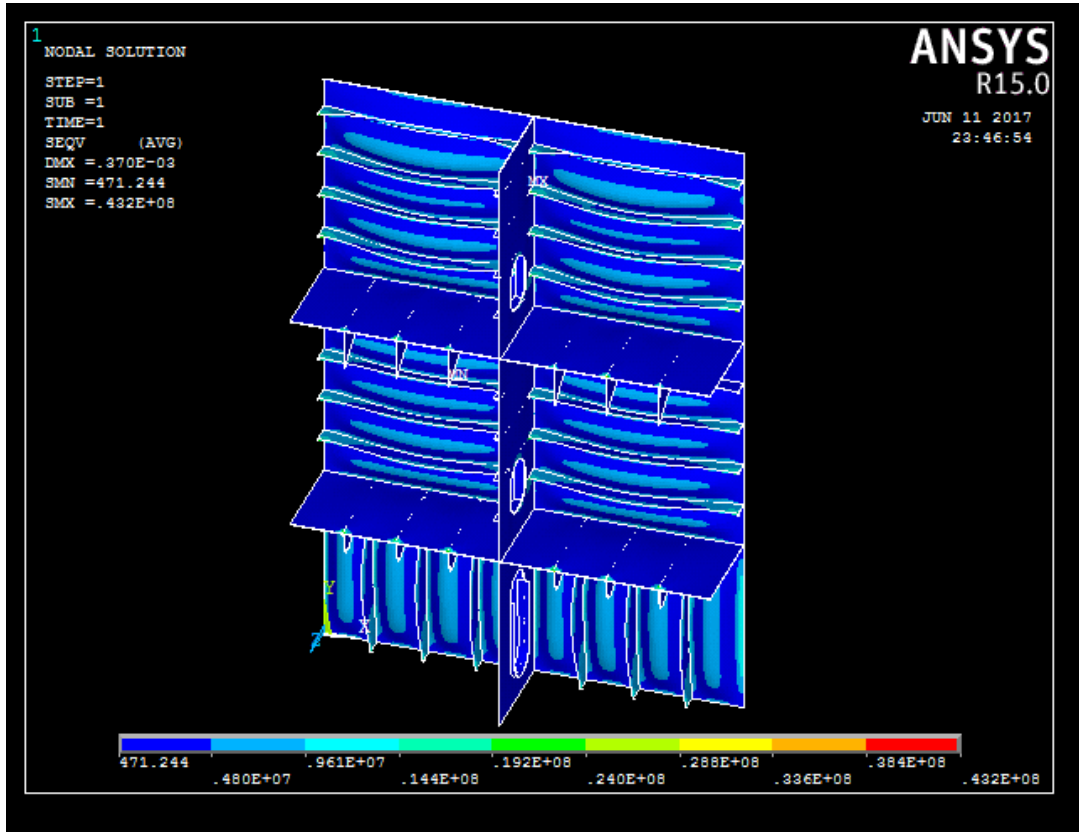


Figure 1 Jumlah elemen 58344 max stress 43.2 MPa

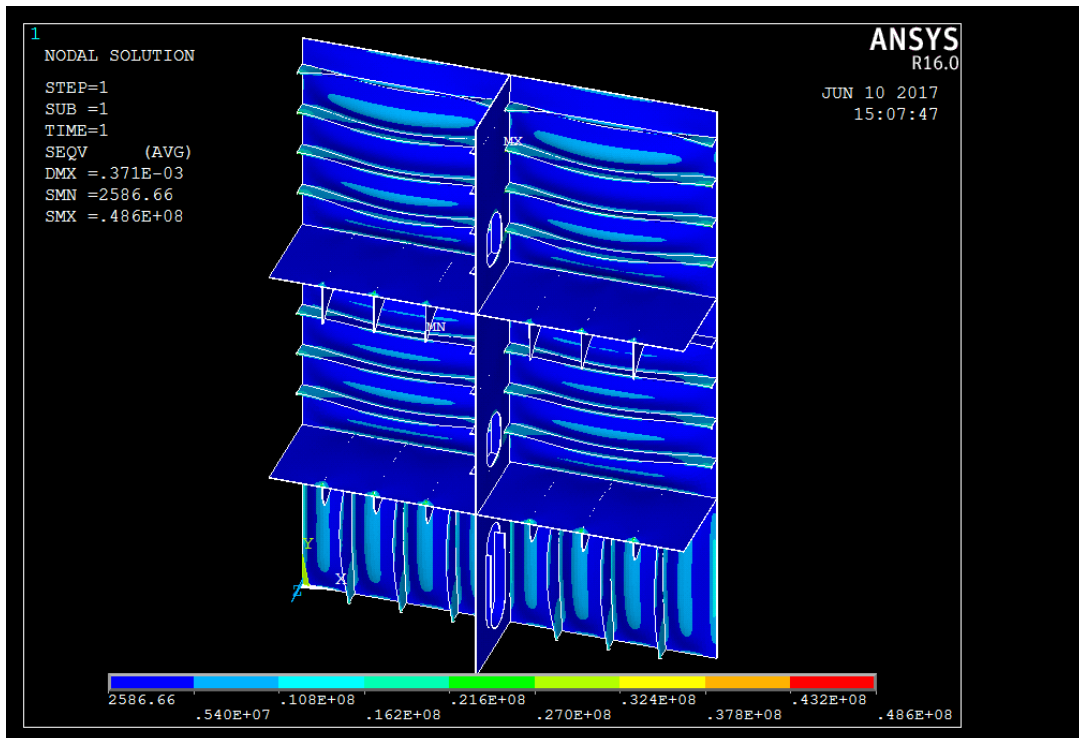


Figure 2 Jumlah elemen 121589 max stress 48.6 MPa

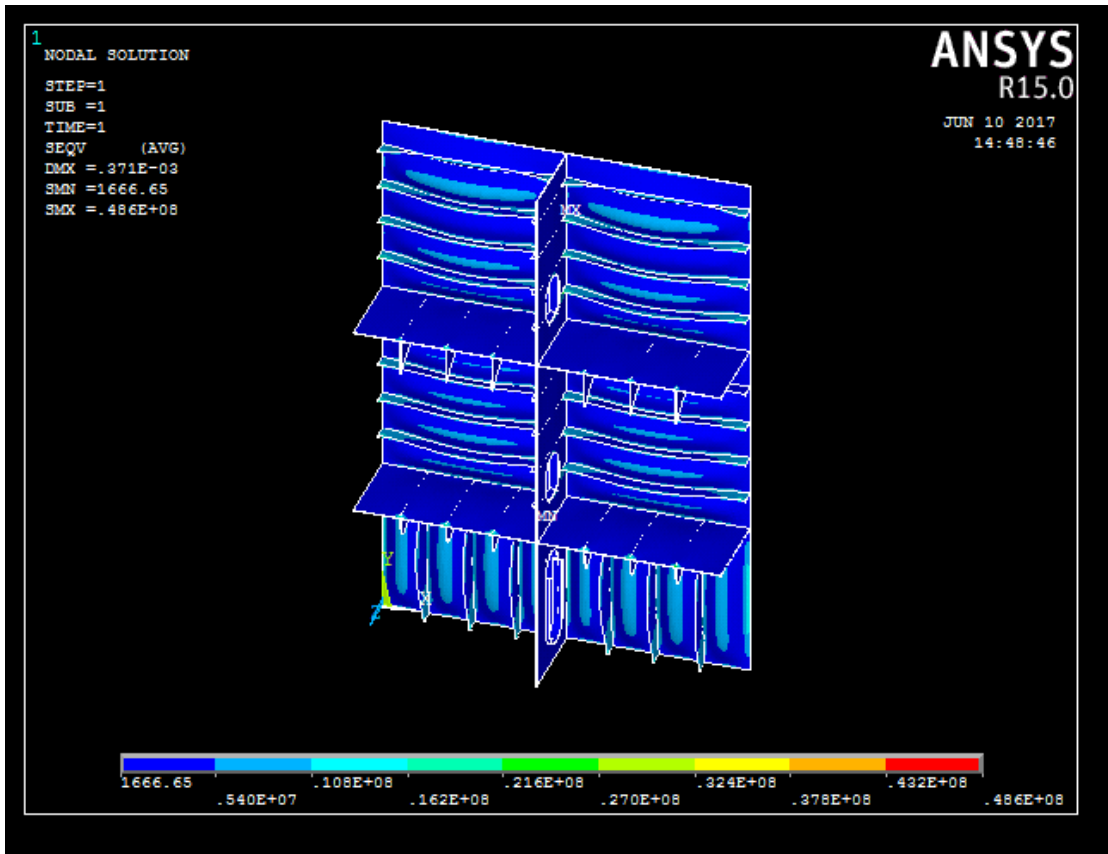


Figure 3 Jumlah elemen 124180 max stress 48.6 MPa

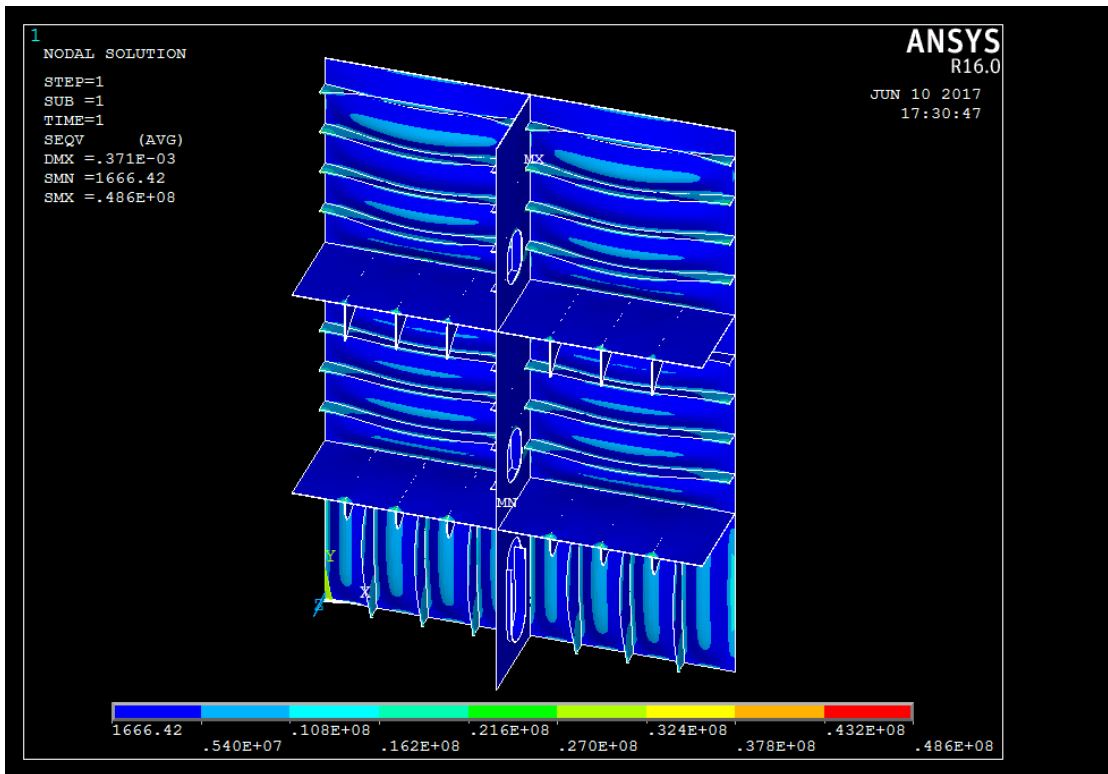


Figure 4 Jumlah elemen 124192 max stress 48.6 MPa

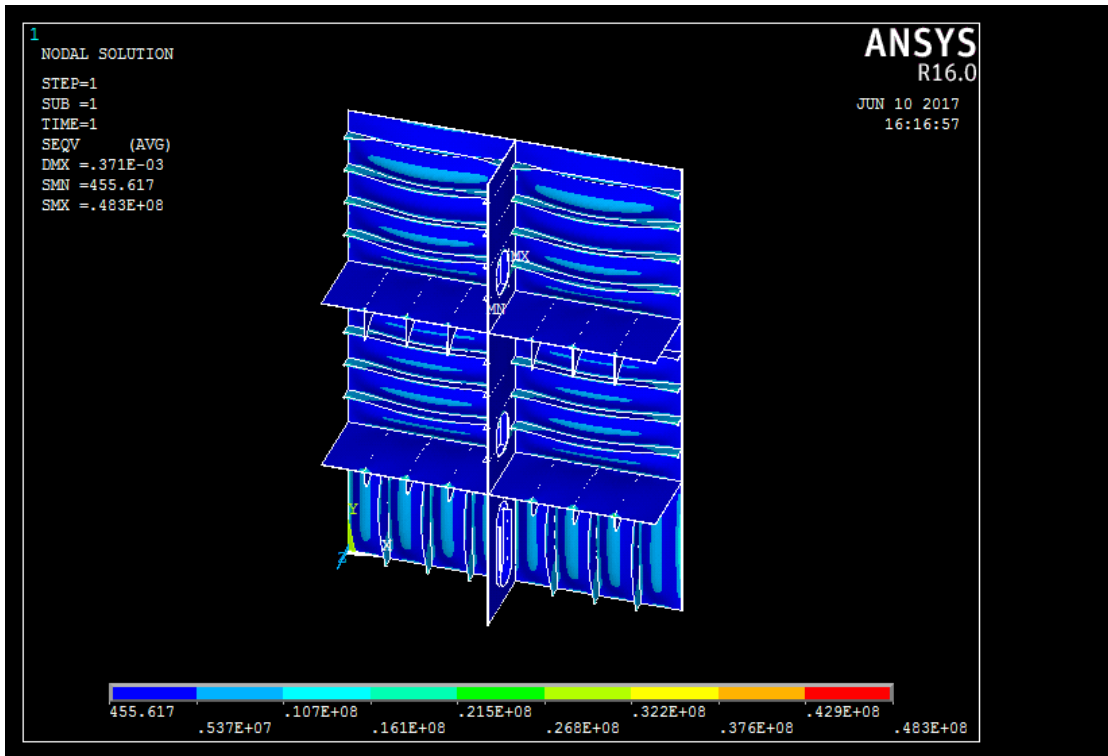


Figure 5 Jumlah elemen 139151 max stress 48.6 MPa

## Hasil Konvergensi Variasi Model 2

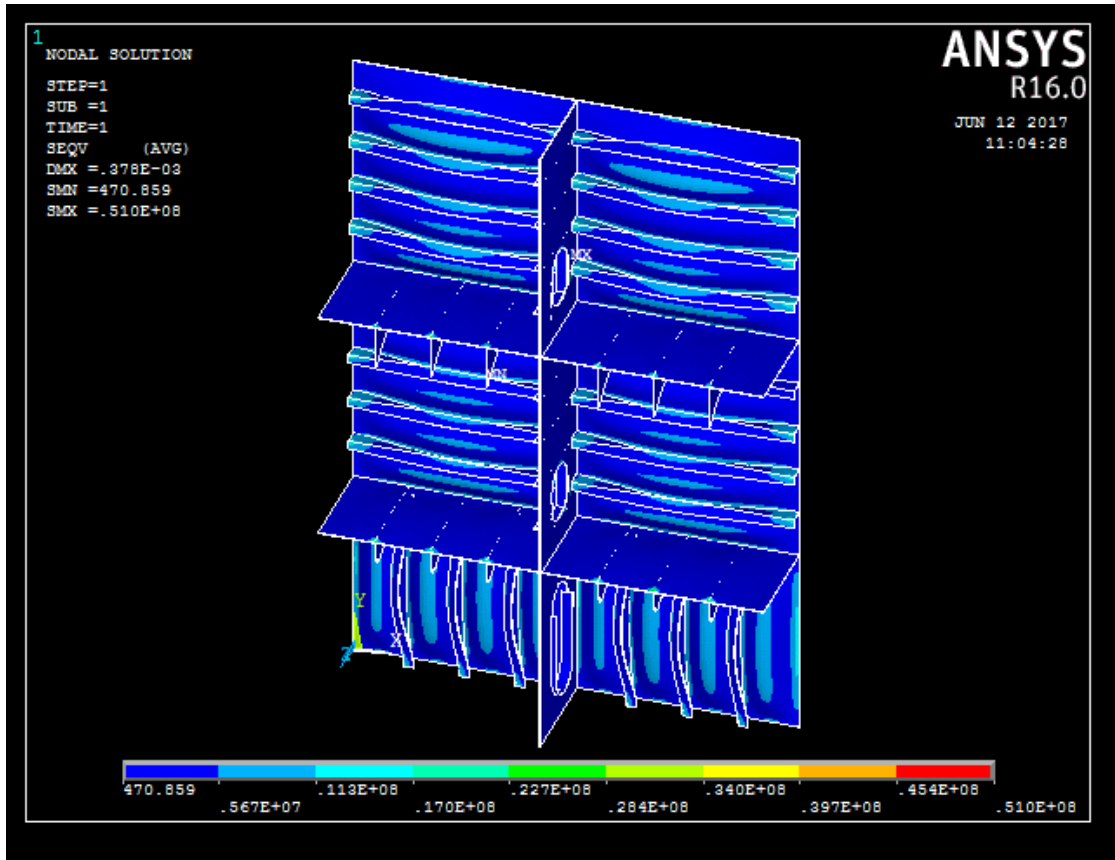


Figure 6 Jumlah elemen 51435 max stress 46.4 MPa

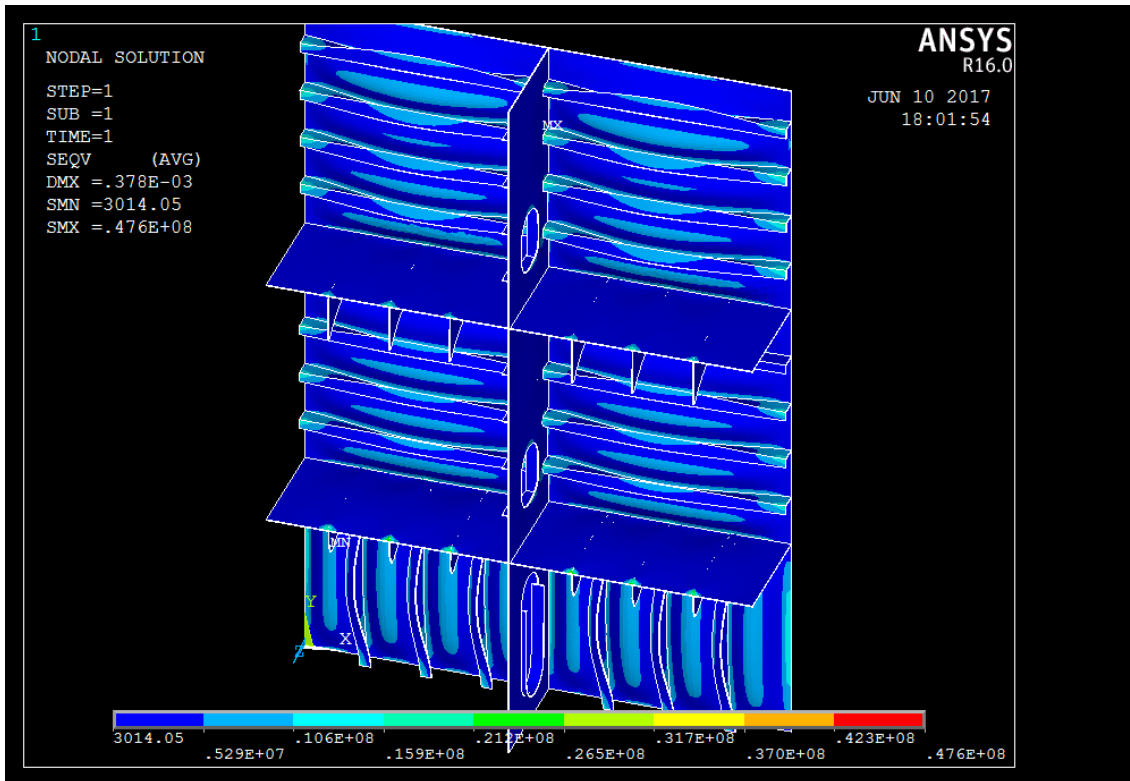


Figure 7 Jumlah elemen 77997 max stress 47.6 MPa

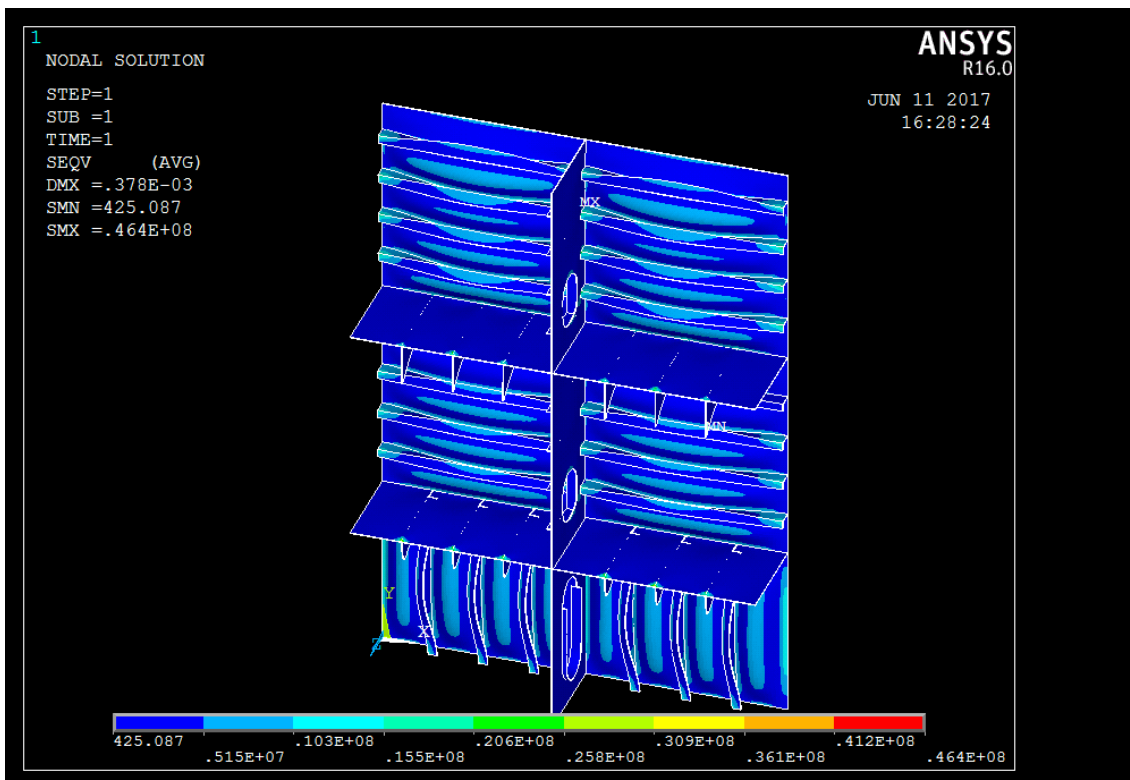


Figure 8 Jumlah elemen 140950 max stress 51 MPa

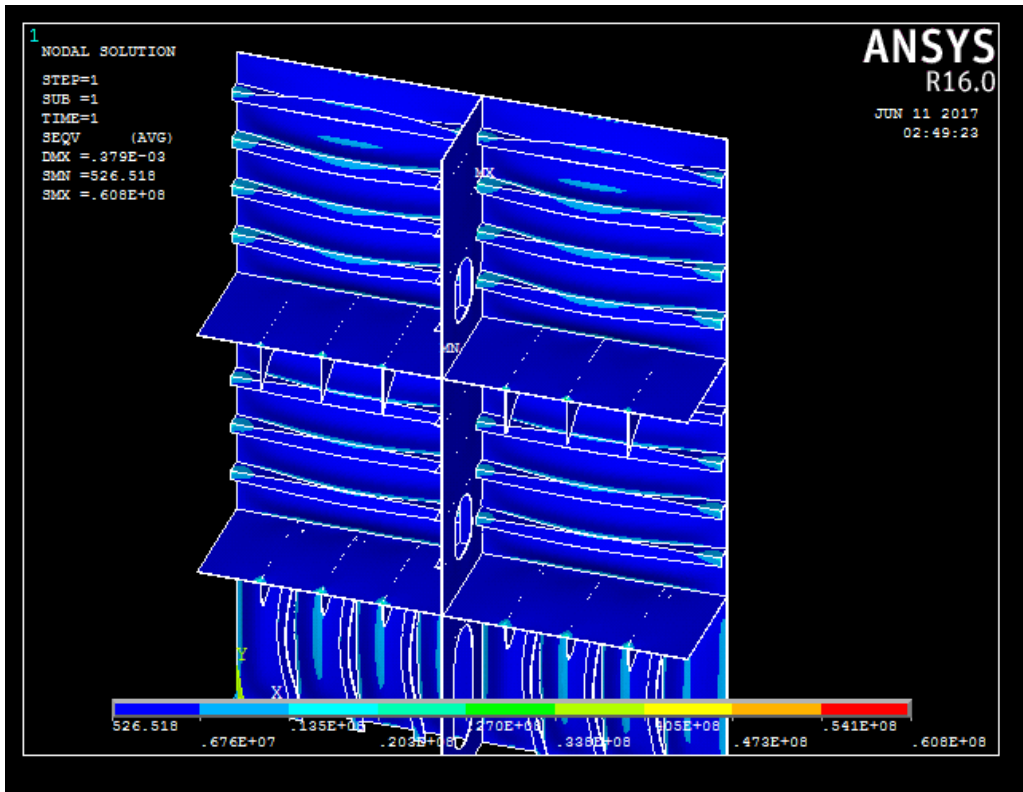


Figure 9 Jumlah elemen 205131 max stress 60.8 MPa

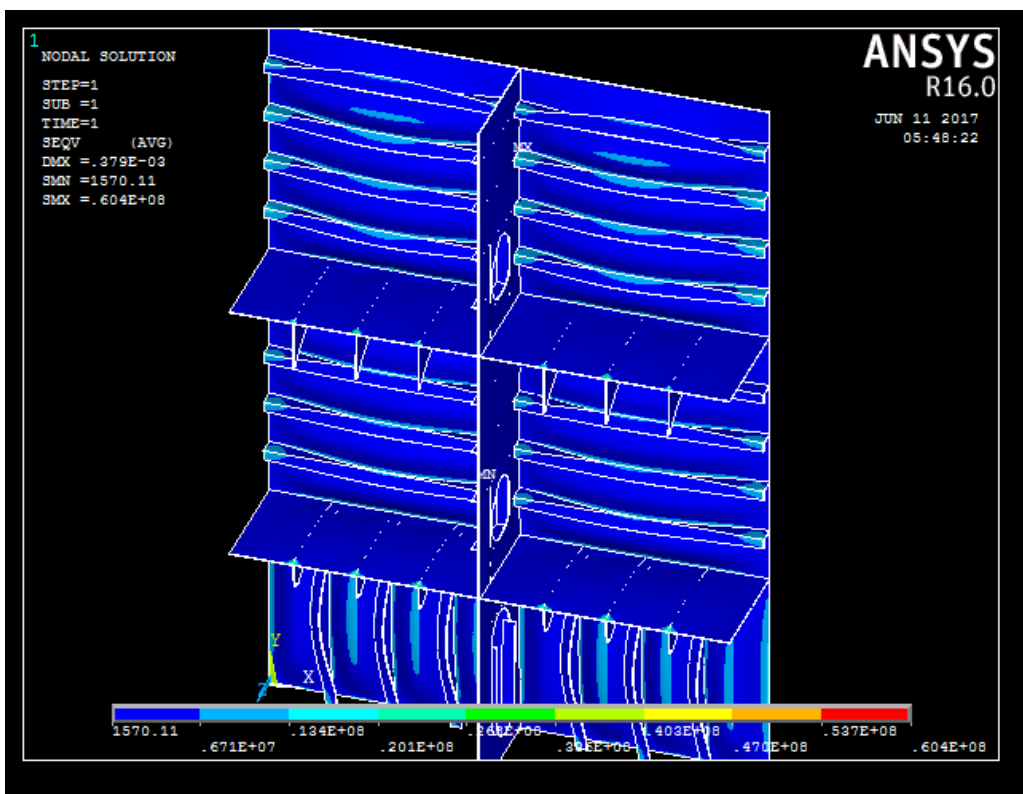


Figure 10 Jumlah elemen 242566 max stress 60.8 MPa

## Hasil Konvergensi Variasi Model 3

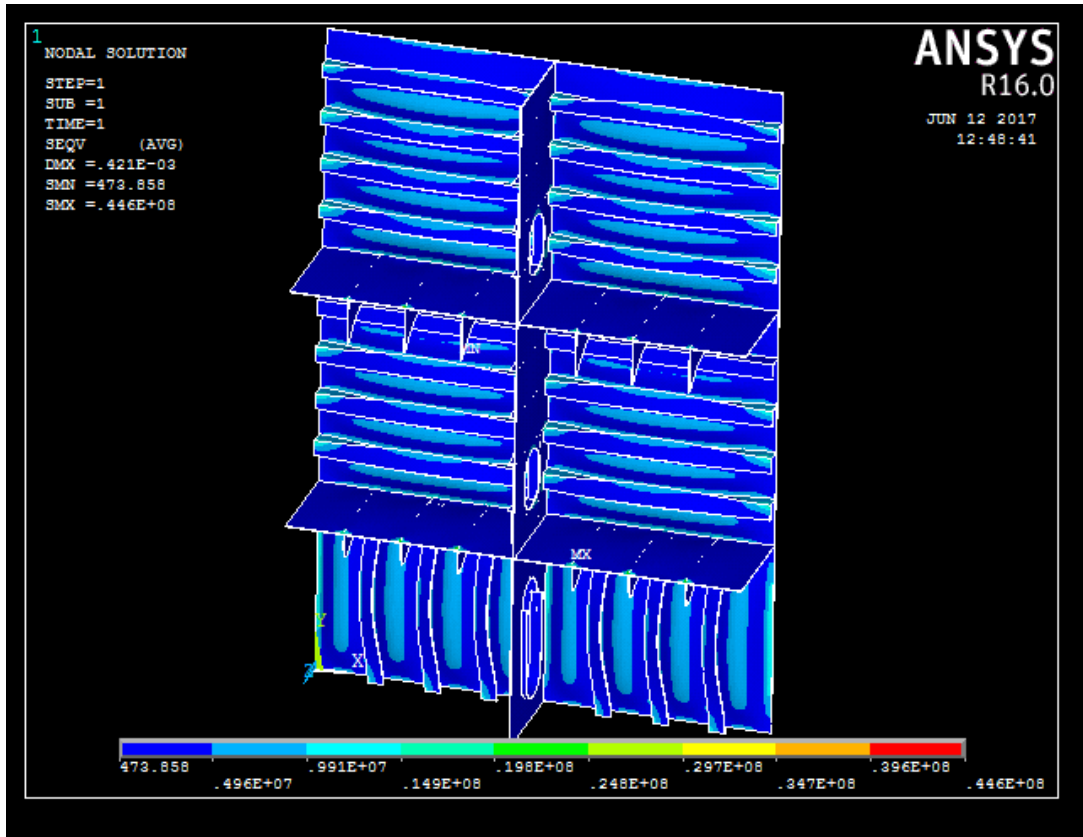


Figure 11 Jumlah elemen 52586 max stress 44.6 MPa

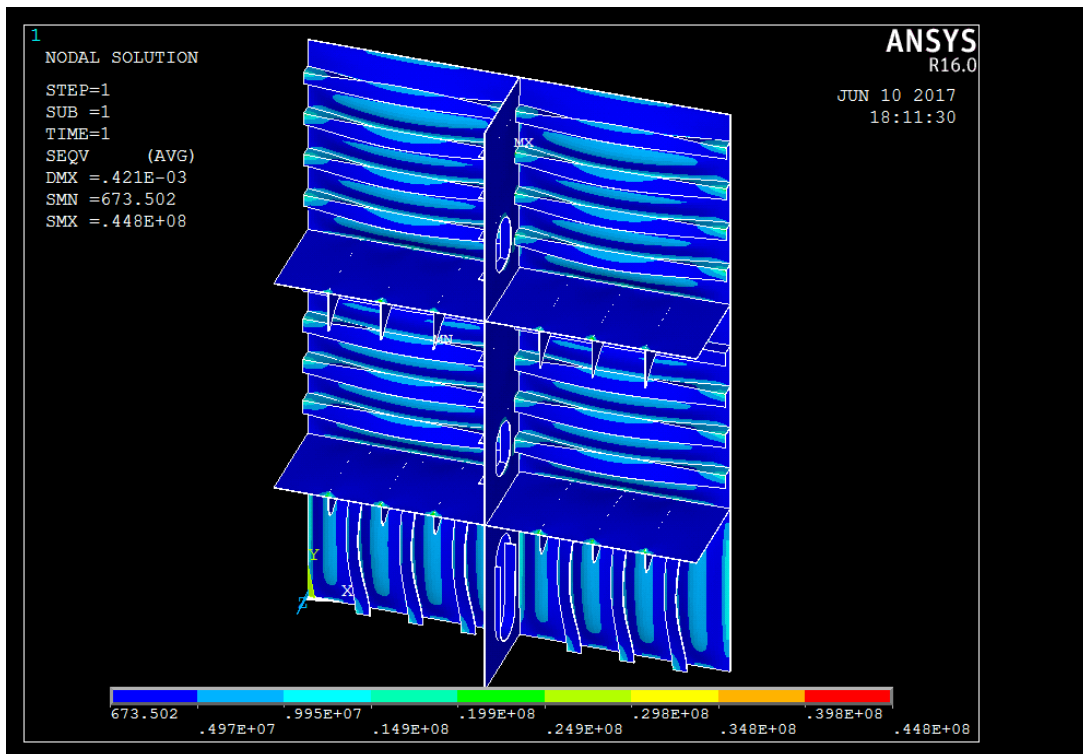


Figure 12 Jumlah elemen 68273 max stress 44.8 MPa



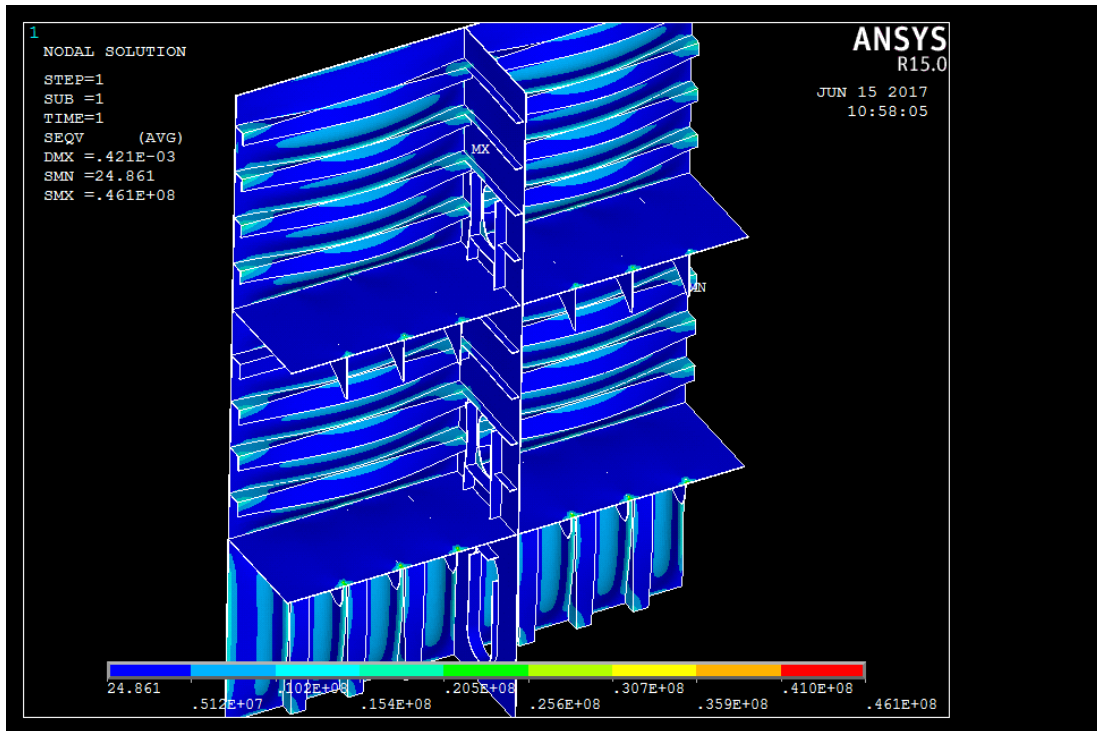


Figure 13 Jumlah elemen 113888 max stress 47 MPa

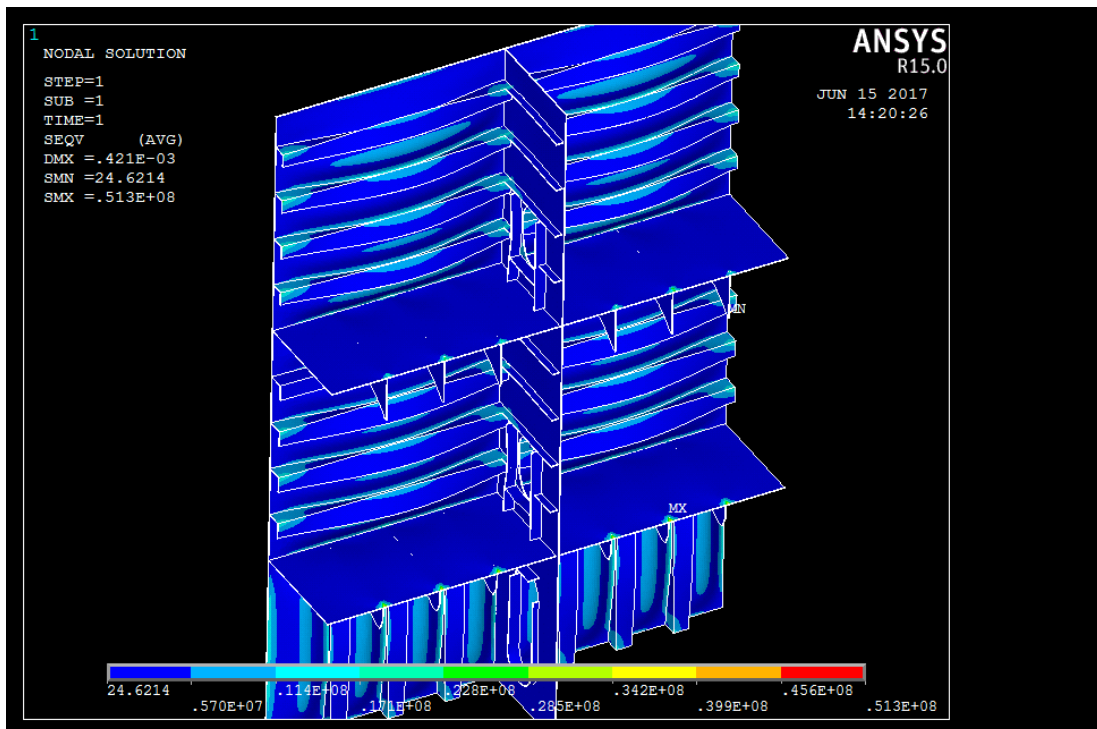


Figure 14 Jumlah elemen 117692 max stress 54.8 MPa

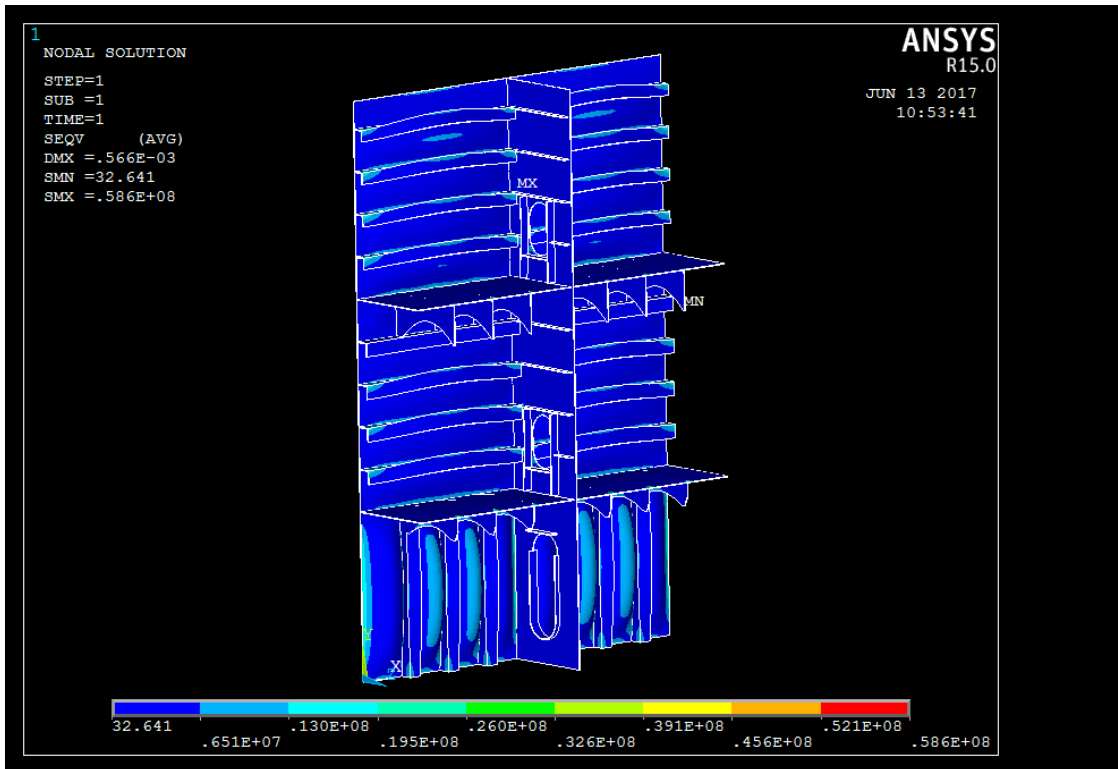


Figure 15 Jumlah elemen 147927 max stress 54.8 MPa

## BIODATA PENULIS



Dedi Dwi Sanjaya, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Madiun pada 10 Januari 1995 silam, penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Dharma Wanita Madiun, kemudian melanjutkan ke SDN 04 Nambangan Kidul Madiun, SMPN 6 Madiun dan SMAN 1 Madiun. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Kominfo Himatekpal 2014/2015, *staff* Kementerian Kebijakan Kampus BEM ITS 2014/2015, dan Kepala Departemen Kajian Strategis Himatekpal 2015/2016. Selan itu, penulis juga sempat bergabung dengan beberapa kepanitiaan yang diselenggara oleh Himpunan dan BEM ITS seperti Gerigi ITS, Pemilu ITS, Sampan ITS, dan masih ada beberapa kegiatan kemahasiswaan lainnya.

Email: [dedi13@mhs.na.its.ac.id](mailto:dedi13@mhs.na.its.ac.id)/[dedidwisanjaya@gmail.com](mailto:dedidwisanjaya@gmail.com)