



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS KEKUATAN MATERIAL KOMPOSIT PADA  
TANGKI TYPE C FULLY PRESSURISED LNG  
MENGUNAKAN FINITE ELEMENT METHOD**

**Reza Muallif Al Razaq  
NRP 0411164000047**

**Dosen Pembimbing  
Totok Yulianto, ST.,M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2021**



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS KEKUATAN MATERIAL KOMPOSIT PADA TANGKI  
TYPE C FULLY PRESSURISED LNG MENGGUNAKAN FINITE  
ELEMENT METHOD**

**Reza Muallif Al Razaq  
NRP 0411164000047**

**Dosen Pembimbing  
Totok Yulianto,ST.,M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2021**



---

**FINAL PROJECT - MN 184802**

**COMPOSITE MATERIAL STRENGTH ANALYSIS ON TYPE  
C FULLY PRESSURISED LNG TANK USING FINITE  
ELEMENT METHOD**

**Reza Muallif Al Razaq  
NRP 0411164000047**

**Supervisor  
Totok Yulianto, ST., M.T**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2021**

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS KEKUATAN MATERIAL KOMPOSIT PADA TANGKI TYPE C FULLY PRESSURISED LNG MENGUNAKAN FINITE ELEMENT METHOD

### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

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

Oleh:

**Reza Muallif Al Razaq**  
NRP 04111640000047

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

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

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

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



SURABAYA, 24 Februari 2021

# LEMBAR REVISI

## ANALISIS KEKUATAN MATERIAL KOMPOSIT PADA TANGKI TYPE C FULLY PRESSURISED LNG MENGUNAKAN FINITE ELEMENT METHOD

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 10 Februari 2021

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

Oleh:

**Reza Muallif Al Razaq**  
NRP 0411164000047



Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

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

.....

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

.....

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

.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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

.....

SURABAYA, 24 Februari 2021

# **COMPOSITE MATERIAL STRENGTH ANALYSIS ON TYPE C FULLY PRESSURISED LNG TANK USING FINITE ELEMENT METHOD**

Author : Reza Muallif Al Razaq  
Student Number : 0411164000047  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : Totok Yulianto, S.T.,M.T

## **ABSTRACT**

The process of delivering LNG on ships is stored through the tank, where the LNG tank must have good material strength. The use of composite materials for internal support is associated with relatively low mechanical strength and a lifespan that has not been included. Thus, obtaining a proper material certificate, issued by a classification society for internal support, can be a problem. Use of composite tank material to add strength to the material. By doing Hydrostatic Pressure and thickness variations. The method is carried out using the finite element method with the help of software. The materials used are SA 240 Gr 304, SA 353, and Monel 400. The LNG tank has a volume of 5000 m<sup>3</sup> with a tank diameter of 21.23 m. Materials get stress values at SA 240 with SA 353 321.73 MPa, SA 240 with Monel 400 322.14 MPa, and SA 353 and Monel 400 454.22 MPa. Material safety values in SA 240 Gr 304 with SA 353 2.56, SA 204 Gr 304 with Monel 400 4.66, and SA 353 with Monel 400 3.3. For hydrostatics, the value of mises stress is obtained at SA 240 with SA 353 321.73 MPa, SA 240 with Monel 400 322.14 MPa, and SA 353 and Monel 400 454.22 MPa. Analysis of thickness variations in tanks with SA 204 Gr 304 material with SA 353 and SA 204 Gr 304 with Monel 400 with a thickness of 28 mm, 30 mm, and 32 mm with stress values on materials SA 240 and SA 353 with a thickness of 28 mm 321, 73 MPa, 30 mm thick 319.99 MPa, and 32 mm thick 317.88 MPa. SA 240 and Monel 400 with a thickness of 28 mm 322.14 MPa, a thickness of 30 mm 317.31 MPa, and a thickness of 32 mm 316.55 MPa. SA 353 and Monel 400, at 28 mm thick 454.22 MPa, 30 mm thick 450.72 MPa, and 32 mm thick 440.72 MPa.

Keywords: LNG Tank, Composite Materials, Strength, Finite Element

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LEMBAR REVISI.....	v
HALAMAN PERUNTUKAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR SIMBOL .....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Manfaat .....	4
1.6. Hipotesis .....	4
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. <i>Liquified Natural Gas</i> .....	5
2.2. <i>Tangki Tipe C Fully Pressurised</i> .....	7
2.3. Persetujuan Material .....	8
2.4. Material yang Digunakan .....	11
2.5. Metode Elemen Hingga .....	14
2.6. Komponen Pada <i>Pressure Vessel</i> .....	17
2.6.1 <i>Shell</i> .....	18
2.6.2 <i>Opening</i> .....	18
2.6.3 <i>Nosel</i> .....	21
2.6.4 <i>Flanges</i> .....	21
2.7. <i>Beban Pada Pressure Vessel</i> .....	23
2.8. Jenis-Jenis Tegangan .....	24
2.8.1 <i>Longitudinal Stress</i> .....	24
2.8.2 <i>Circumferintal Stress</i> atau <i>Hoop Stress</i> .....	24
2.8.3 <i>Radial Stress</i> .....	24
2.8.4 <i>Axial Load</i> .....	25
2.8.5 <i>Lateral Load</i> .....	25
2.8.6 <i>Shear Stress</i> .....	25
2.8.7 <i>Torsi</i> .....	25
Bab 3 METODOLOGI.....	27
3.1. Bagan Alir.....	27
3.2. Data Kapal .....	28
3.3. Penentuan Awal Dimensi <i>Pressure Vessel Spheretical</i> .....	30
3.3.1 <i>Tebal Shell</i> .....	30
3.4. Proses Analisa.....	33

3.4.1	<i>Engineering Data</i> .....	33
3.4.2	<i>Geometry</i> .....	35
3.4.3	<i>Meshing</i> .....	35
3.4.4	<i>Solution</i> .....	37
Bab 4	ANalisa dan pembahasan .....	41
4.1	Analisa Teknis.....	41
4.1.1	Konvergensi .....	41
4.1.2	Hasil Analisis Model .....	42
4.1.2.1	<i>Von Mises Stress</i> .....	42
4.1.2.2	Deformasi .....	43
4.1.2.3	<i>Safety Factor</i> .....	44
4.1.3	Validasi Model .....	44
4.1.4	Analisis <i>Hydrostatic Pressure</i> .....	46
4.1.5	Variasi <i>Thickness</i> .....	48
Bab 5	KESIMPULAN DAN SARAN .....	52
5.1	Kesimpulan .....	53
5.2	Saran.....	53
	DAFTAR PUSTAKA .....	55
	LAMPIRAN	
	LAMPIRAN A Hasil Pengukuran Deformasi Spesimen	
	LAMPIRAN B Komposisi Kimia Baja Karbon	
	dst.	
	BIODATA PENULIS	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Uji Tarik dan Ketangguhan Dengan Suhu Tertentu .....	10
Gambar 2.2 Skema <i>Reinforce Paid</i> .....	20
Gambar 2.3 (a) <i>slip on flanges</i> , (b) <i>weld neck flanges</i> , (c) <i>blind flanges</i> , (d) <i>lap joint flanges</i> .....	22
Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	28
Gambar 3.2 <i>Genaral Arrangement</i> .....	29
Gambar 3.3 Data Material .....	36
Gambar 3.4 Model Pada Geometri Ansys .....	37
Gambar 3.5 Proses <i>Meshing</i> .....	39
Gambar 3.6 Gaya Gravitasi pada Model .....	40
Gambar 3.7 <i>Pressure</i> yang Diberikan Pada Model .....	40
Gambar 3.8 <i>Fix Support</i> yang Diberikan Model .....	41
Gambar 4.1 Grafik Konvergensi pada Material SA 204 dan Monel 400 .....	43
Gambar 4.2 Hasil Analisis SA 204 dan SA 353 .....	44
Gambar 4.3 Hasil Analisis SA 204 dan Monel 400 .....	44
Gambar 4.4 Hasil Analisis SA 353 dan Monel 400 .....	45
Gambar 4.5 Lingkaran Mohr .....	46
Gambar 4.6 Grafik Analisis .....	47
Gambar 4.7 <i>Hydrostatic Pressure</i> .....	48
Gambar 4.8 Hasil Analisis SA 204 dan SA 353 .....	49
Gambar 4.9 Hasil Analisis SA 204 dan Monel 400 .....	49
Gambar 4.10 Hasil Analisis SA 353 dan Monel 400 .....	50
Gambar 4.11 Grafik Analisis <i>Von Mises Stress</i> .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perhitungan Geometri <i>Reinforce Paid</i> .....	20
Tabel 2.2 Perhitungan <i>Flanges</i> .....	22
Tabel 3.1 <i>Shell Thickness</i> SA 240 dengan SA 353.....	33
Tabel 3.2 <i>Shell Thickness</i> SA 250 dengan Monel 400 .....	33
Tabel 3.3 <i>Shell Thickness</i> SA 353 dengan Monel 400 .....	33
Tabel 4.1 Hasil Konvergensi SA 204 dengan Monel 400 .....	43
Tabel 4.2 Hasil Analisis <i>Von Mises Stress</i> .....	45
Tabel 4.3 Hasil Analisis Deformasi.....	45
Tabel 4.4 Hasil Analisis Data pada <i>Software</i> dan Perhitungan Manual .....	46
Tabel 4.5 Hasil Analisis <i>Von Mises Stress</i> , Deformasi, dan <i>Safety Factor</i> .....	48

## DAFTAR SIMBOL

$Q$	= Heat input bersih (Watt)
$\hat{\eta}$	= Koefisien dari efisiensi las
$U$	= Tegangan yang digunakan pada saat pengelasan (Volt)
$I$	= Besarnya arus listrik yang digunakan (Ampere)
$q_e$	= Heat flux (Watt/m <sup>2</sup> )
$A_f$	= Luas area pembebanan yang dihasilkan dari proses pengelasan (m <sup>2</sup> )
$A_e$	= Luas area elektroda yang digunakan (m <sup>2</sup> )
$\lambda$	= Koefisien dari konduktifitas panas, (J.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$q_2$	= <i>Heat flow density</i> ( J.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )
$\partial T/\partial n$	= Gradien dari temperatur (K.m <sup>-1</sup> )
$C$	= Specific heat capacity (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$\rho$	= Massa jenis material (kg.m <sup>-3</sup> )
$q_3$	= Volume jenis dari sumber panas (W.m <sup>-3</sup> )
$\alpha$	= Difusi termal, (m <sup>2</sup> .s)
$J$	= Masukan panas = $\frac{60EI}{V}$ (Joule/cm)
$T$	= Suhu di daerah HAZ (°C)
$T_0$	= Suhu mula material las (°C)
$t$	= Tebal material las (mm)
$\varepsilon$	= Regangan
$E$	= Modulus Young
$\sigma^I$	= Tegangan dalam orde 1
$\sigma^{II}$	= Tegangan dalam orde 2
$\sigma^{III}$	= Tegangan dalam orde 3
$\sigma$	= Tegangan sisa yang terjadi
$\sigma_x$	= Tegangan tegak lurus garis las
$\sigma_y$	= Tegangan searah garis las
$\varepsilon_x$	= Regangan tegak lurus garis las
$\varepsilon_y$	= Regangan searah garis las
$\nu$	= Angka perbandingan poisson
$\tau$	= Tegangan geser
$F_s$	= Gaya (N)
$A_s$	= Luas bidang geser (m <sup>2</sup> )
$G$	= Modulus geser
$\gamma$	= Regangan geser
$M_0$	= Momen bending
$Q_0$	= Gaya geser
$\Omega$	= Angular distortion
$w$	= Distorsi
$\sigma_y$	= Tegangan yield

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak kandungan gas alam. Menurut Kementerian ESDM dalam buku Neraca Gas Indonesia 2018-2027, produksi pengolahan gas alam di Indonesia dibagi beberapa regional untuk pengolahan *Liquaified Natural Gas* berasal dari lapangan-lapangan wilayah kerja blok-blok migas. Regional 1 wilayah Aceh dan Sumatra bagian utara, per Januari 2017, cadangan gas bumi Regional 1 sebesar 6,60 TSCF yang berupa cadangan terbukti (*proven reserves*) sebesar 1,33 TSCF dan cadangan potensial (*probable & possible reserves*) sebesar 5,27 TSCF. PT Medco E&P Malaka mendominasi kepemilikan cadangan sebesar 3,68 TSCF disusul PHE NSO-NSB sebesar 1,11 TSCF, Pertamina EP Asset 1 sebesar 0.83 TSCF dan sisanya sebesar 0,98 TSCF dari tiga Wilayah Kerja lainnya yaitu Gebang, Krueng Mane dan Pase.

Regional 2 Sumatra bagian tengah, Sumatra bagian selatan, Kepulauan Riau, dan Jawa Barat, per Januari 2017, cadangan gas bumi Regional 2 sebesar 74,83 TSCF. Wilayah Natuna mendominasi kepemilikan cadangan sebesar 49,60 TSCF, dengan Exxon Mobil Oil (EMOI-Pertamina) sebesar 46,00 TSCF disusul Medco E&P Natuna 1,76 TSCF dan Permier Oil sebesar 1,66 TSCF, lainnya dari Star Energy sebesar 0,18 TSCF. Untuk Wilayah Sumatra didominasi kepemilikan cadangan *ConocoPhillips* sebesar 5,42 TSCF dan *ConocoPhillips* 3,90 TSCF kemudian Pertamina EP Asset II sebesar 2,8 TSCF, sedangkan untuk Jawa Barat didominasi oleh Pertamina EP Asset III sebesar 3,6 TSCF dan PHE ONWJ sebesar 1,89 TSCF. Sisanya sebesar 7,62 TSCF tersebar dalam beberapa lapangan lainnya di Sumatra Bagian Tenggara dan Selatan serta Jawa Bagian Barat.

Regional 3 wilayah Jawa Bagian Tengah saat ini pasokan gas bumi hanya berasal dari beberapa lapangan yang telah berproduksi, yaitu Lapangan Gundih, Mangkang, dan Semanggi milik PT Pertamina EP serta Lapangan Kepodang milik Petronas Carigali Muriah Ltd. Per Januari 2017, cadangan gas bumi untuk Regional 3 sebesar 0.67 TSCF yang didominasi oleh PT Pertamina EP sebesar 0.38 dan dari PT Petronas Carigali sebesar 0.29 TSCF .

Regional 4 wilayah Jawa Bagian Timur berasal dari lapangan lapangan gas bumi di wilayah perairan Madura. Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS) yang merupakan *Existing Supply* adalah Kangean Energi Indonesia (Blok Kangean), PHE WMO (Blok *West Madura Offshore*), Santos (Blok *Madura Offshore* dan Sampang), Saka Energi Pangkah (Blok Ujung Pangkah), Petronas Ketapang, serta dari beberapa KKKS seperti Pertamina EP (Poleng), JOB PPEJ (Sukowati dan Mudi), dan Lapindo Brantas (Tanggulangi dan Wunut). Per Januari 2017, cadangan gas bumi Regional 4 sebesar 4.66 TSCF yang berupa cadangan terbukti sebesar 2.54 TSCF dan cadangan potensial sebesar 2.12 TSCF. Didominasi oleh kepemilikan cadangan Kangean Energy Ind. sebesar 1.48 TSCF disusul oleh Husky 0.90 TSCF dan PHE WMO sebesar 0.53 TSCF sisanya sebesar 1.75 TSCF tersebar dalam beberapa lapangan lainnya seperti Cepu, Ketapang, Tuban, Pangkah, Sampang, Bulu, Brantas, Bawean dan Pertamina EP.

Regional 5 wilayah Kalimantan, per Januari 2017, cadangan gas bumi Regional 5 sebesar 15,35 TSCF yang berupa cadangan terbukti sebesar 7,48 TSCF dan cadangan potensial sebesar 7,87 TSCF. Didominasi oleh kepemilikan cadangan PHM sebesar 3,53 TSCF, IDD Ganal Rapak sebesar 3,96 TSCF, Muara Bakau 2,47 TSCF, Pertamina EP sebesar 2,44 TSCF dan Sanga-Sanga sebesar 1,58 TSCF. Sisanya sebesar 1,37 TSCF tersebar dalam beberapa lapangan seperti Attaka, Bangkanai, Simenggaris, Tarakan dan Kalimantan Timur.

Regional 6 wilayah Sulawesi, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua, LNG dari Regional 6 untuk memenuhi kebutuhan Kelistrikan di Sumatra, kebutuhan FSRU Nusantara Regas di Region II dan kontrak eksisting LNG ekspor. Total komitmen LNG sebesar 1.306,20 MMSCFD di 2018 kemudian 1.686,50 MMSCFD di 2027. Pasokan LNG Indonesia saat ini diprioritaskan untuk pemenuhan kebutuhan LNG Domestik sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 06 tahun 2016. Kedepannya, pasokan LNG untuk pembeli domestik dapat terus meningkat seiring dengan beroperasinya pembangkit-pembangkit listrik PLN pada proyek 35 GW.

Pemakaian kapal sebagai sarana distribusi LNG ke berbagai wilayah merupakan salah satu cara yang menguntungkan dan efisien. Penggunaan kapal sebagai sarana distribusi LNG membuat hal-hal yang berhubungan dengan tangki kapal yang membawa muatan kapal. Tangki LNG harus memiliki kekuatan struktur untuk memberi aman pada saat pengiriman LNG. Gas dikondensasi menjadi cairan pada tekanan atmosfer dengan mendinginkannya hingga  $-260^{\circ}\text{F}$  ( $-162^{\circ}\text{C}$ ). Material yang digunakan harus dapat menjaga keadaan LNG tetap tidak mencair.

Dalam ruang muat kapal LNG berupa tangki yang digunakan produk yang akan dikirim berupa gas cair. Tangki pada kapal harus memiliki kekuatan material untuk mencegah terjadinya kebocoran pada tangki. Kekuatan tangki LNG untuk tetap menjaga kualitas LNG pada saat transportasi LNG, kekuatan struktur dari material harus bisa kuat karena LNG merupakan *cryogenic* material yang digunakan harus bisa memenuhi. Penggunaan material komposit untuk penyangga internal terkait dengan kekuatan mekanik yang relatif rendah dan umur kelelahan panjang yang belum diverifikasi. Dengan demikian, memperoleh sertifikat bahan yang tepat, yang dikeluarkan oleh lembaga klasifikasi untuk penerapan dukungan internal, bisa menjadi masalah. Oleh karena itu, pendekatan lain adalah menggunakan dukungan yang terbuat dari *stainless steel*, yaitu bahan yang memberikan kekuatan mekanik yang baik dan yang mana juga memiliki umur kelelahan yang dapat diterima dan terbukti. Kerugian utama menggunakan baja tahan karat adalah kemampuannya konduktivitas termal 10-20 kali lebih tinggi daripada material komposit. Dalam urutan untuk membatasi perpindahan panas, penyangga baja tahan karat harus dirancang dengan penampang yang minimal luas dan panjang maksimal untuk konduksi panas.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Dari latar belakang yang sudah dijelaskan sebelumnya, perumusan masalah yang didapatkan sebagai berikut :

1. Bagaimana kekuatan struktur dari material komposit untuk tangki LNG?
2. Bagaimana kekuatan struktur dari pengujian *hydrostatic pressure* material komposit tangki LNG ?
3. Apakah pengaruh ketebalan akan mempengaruhi nilai dari kekuatan struktur dari material komposit untuk tangki LNG?

## **1.3. Tujuan**

Tujuan dari tugas akhir ini :

1. Melakukan analisis kekuatan struktur dari material komposit pada tangki LNG.
2. Melakukan keamanan struktur dari material komposit pada tangki LNG.
3. Melakukan analisis kekuatan struktur dengan pengujian *hydrostatic pressure* dari material komposit pada tangki LNG.
4. Melakukan analisis perbandingan tebal tangki untuk mengetahui pengaruh terhadap kekuatan struktur material komposit pada tangki LNG.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini difokuskan pada :

1. Analisa tegangan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software*
2. Mendesain tangki dengan tipr *spheretical*
3. Struktur tangki dianggap dengan terkena beban statis
4. Perencanaan bejana tekan mengacu pada standart yang berlaku yaitu *ASME section VII Rules for Construction of Pressure Vessels*.

#### **1.5. Manfaat**

Adapun manfaat dari analisis ini antara lain :

1. Untuk mengetahui komponen material yang dapat kekuatan pada tangki LNG
2. Untuk menganalisa kekuatan material dari pengujian beberapa material penyusun tangki LNG

#### **1.6. Hipotesis**

Penggabungan dua baja (*basemetal*) untuk menambah kekuatan tangki LNG dalam proses pendistribusian LNG ke berbagai daerah. Penggabungan baja dengan *cladding* antar material yang digunakan.

## **BAB 2**

### **STUDI LITERATUR**

#### **2.1. *Liquified Natural Gas***

Gas alam cair (*Liquefied Natural Gas* - LNG) adalah gas alam yang telah dicairkan untuk memudahkan transportasi. LNG mengambil ruang yang jauh lebih sedikit daripada bentuk gasnya, membuatnya lebih mudah dan lebih efisien untuk dikirim. Komponen pokok dari LNG adalah C<sub>1</sub> gas *Methane* yang berjumlah hampir 90 persen dari total komponen LNG. Gas alam cair ini punya ciri tidak berbau (*odorless*), tidak beracun (*non toxic*), tidak membuat berkarat (*non corrosive*), tidak mudah terbakar (*no flammable*) hingga pembakaran otomatis (*auto ignition*) mencapai 537 derajat Celcius dan emisi CO<sub>2</sub> (karbon dioksida) nya lebih rendah dibandingkan minyak mentah (*oil*) dan batu bara (*coal*). Kondisi cair memungkinkan pengangkutan LNG dilakukan dalam jumlah besar dengan kapal tanker LNG. Sebelum gas alam dicairkan, terlebih dahulu partikel-partikel asing dibersihkan dan diproses antara lain melalui *desulfurization*, *dehydration* dan pembersihan karbon dioksida (Soegiono & Artana, 2006).

Proses yang membuat gas tidak berwarna, transparan, tidak berbau, tidak beracun, dan terhindar dari sulfur oksida dan abu. LNG merupakan energi yang bersih (1 KWH energi gas mengandung 446 gram CO<sub>2</sub>) karena kandungan nitrogen oksida yang kurang 20-37% serta karbon dioksida 57% dibandingkan dengan batu bara. Apabila LNG bersentuhan dengan udara, akan menghasilkan uap putih yang dengan mudah terlihat. Hal ini disebabkan oleh uap LNG lebih ringan dari udara, yang menguap ke atas. Oleh karena itu, suhu nyala spontan yang dimiliki LNG lebih tinggi dari bensin, sifat ini membuat LNG menjadi energi yang relatif aman. LNG terutama terdiri dari metana, ia mempunyai kalori yang tinggi 12000 kkal/kg dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya seperti batu bara dan minyak bumi. Sebagian cadangan energi gas alam juga lebih melimpah dan lebih tersebar luas di planet bumi ini dibandingkan dengan minyak.

LNG menawarkan kepadatan energi yang sebanding dengan bahan bakar petrol dan diesel menghasilkan polusi yang lebih sedikit, tetapi dengan relatif harga yang lebih tinggi. Dengan resiko ledakan lebih besar serta kebutuhan penyimpanan yang menggunakan tangki *cryogenic* yang mahal telah mengurangi penggunaannya dalam aplikasi komersial. *Cryogenic* adalah suhu bentuk cair dari setiap unsur atau senyawa yang mencair dibawah suhu -37°C.



LNG berasal dari gas alam yang merupakan campuran dari beberapa gas yang berbeda sehingga tidak memiliki nilai panas yang spesifik. Nilai panasnya bergantung pada sumber gas yang digunakan dan proses yang digunakan untuk mencairkan bentuk gasnya. Nilai panas tertinggi LNG berkisar sekitar 24MJ/L pada suhu  $-142^{\circ}\text{C}$  dan nilai terendahnya 21MJ/L.

Kebutuhan energi di Indonesia terutama penggunaan diesel atau solar setiap tahun selalu meningkat karena jumlah kilang di Indonesia tidak bertambah dan produksi minyak mentah akhir-akhir ini terjadi penurunan. Sehingga penambahan konsumsi tersebut dipenuhi dengan penambahan impor minyak solar atau diesel, hal ini semakin memberatkan keuangan negara. Kondisi tersebut diatas harus segera dicarikan jalan keluarnya. Salah satu sumber energi alternatif pengganti solar adalah LNG. Dengan dipakainya LNG sebagai salah satu sumber energi diharapkan akan mengurangi impor solar atau disel sehingga menghemat devisa negara serta meningkatkan daya saing industri domestik. Indonesia merupakan produsen utama LNG dunia, hampir semua LNG yang diproduksi diekspor ke luar negeri utamanya ke Jepang, Korea dan China. LNG sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan oleh masyarakat maupun industri domestik sebagai sumber energi, hal ini karena kurang adanya sosialisasi manfaat dari LNG (Santoso, 2014).

Penggunaan LNG sebagai bahan bakar mesin pertambangan atau industri dan juga PLTD dapat mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap minyak. Tentunya hal tersebut dapat dilakukan bila ditunjang dengan tersedianya fasilitas yang baik untuk distribusi LNG dari unit kilang LNG yang ada di Indonesia maupun unit *converter kit* sebagai alat penting untuk konversi solar menjadi LNG sebagai bahan bakar yang akan digunakan pada mesin diesel. Nilai *saving cost* berdasarkan *fuel consumption* sebesar 19 dan LNG akan sangat bermanfaat sebagai sumber energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap bahan bakar minyak. Untuk bisa memanfaatkan LNG sebagai bahan bakar pengganti solar maka perlu dibangun fasilitas dan infrastruktur yang baik meliputi moda transportasi, teknologi penyimpanan, maupun teknologi *converter kit* sehingga LNG bisa digunakan untuk menggantikan solar pada mesin disel yang ada. Berdasarkan *cost saving analysis*, penggunaan *dual fuel* diesel dan LNG pada mesin, yaitu memanfaatkan LNG pada mesin diesel dapat menghasilkan penghematan sebesar 20-25% bila dibandingkan dengan menggunakan *single fuel* saja dengan solar.

## 2.2. Tangki Tipe C *Fully Pressurised*

LNG untuk sistem bahan bakar gas dapat disimpan dalam tangki membran, dengan desain yang identik dengan kargo tangki LNG. Pilihan lainnya adalah menyimpannya di tangki mandiri dan mandiri yang bukan merupakan bagian dari struktur lambung kapal. Menurut IMO, kode IGC, ada tiga jenis independen tangki yaitu, A, B dan C. Bentuk tangki tipe A dan B disesuaikan dengan bentuk lambung kapal, sehingga memanfaatkan volume lambung sepenuhnya. Tekanan Kerja Maksimum yang Diiijinkan (MAWP) dari tangki dibatasi hingga 0,7 bar *gauge*. Oleh karena itu, sistem gas dengan tangki jenis ini akan selalu dibutuhkan perangkat kompresi untuk persiapan bahan bakar gas. Satu-satunya perbedaan antara tangki tipe A dan B adalah di Metodologi perhitungan kekuatannya: Tangki tipe A hanya memerlukan analisis struktur kapal klasik prosedur sementara tangki tipe B dihitung dengan menggunakan model dan metode canggih untuk menentukan tingkat *stress*, umur kelelahan dan karakteristik perambatan retak. Akibat perbedaan ini, Tangki tipe A memerlukan sekat sekunder penuh yang mampu menampung semua LNG yang disimpan di dalam tangki jika terjadi kerusakan tangki, sedangkan tangki tipe B hanya membutuhkan penghalang sekunder parsial. Karena spesifik Teknologi fabrikasi tangki tipe A dan B, produksi tangki volume rendah tidak ekonomis dibenarkan. Karenanya, volume tangki bahan bakar tipe A dan B mencapai ribuan meter kubik kebanyakan diterapkan hanya untuk kapal laut dalam dan samudra. Tangki LNG 5000 m<sup>3</sup> cukup untuk mensuplai Kapal listrik keluaran 20 MW (skala menengah) selama sekitar satu bulan.

Dasar desain untuk tangki independen tipe C adalah berdasarkan kriteria bejana tekan yang dimodifikasi untuk memasukkan mekanika rekahan dan kriteria perambatan retak. Hal yang dimaksudkan untuk tekanan desain minimum yang ditentukan dalam item memastikan bahwa tegangan dinamis cukup rendah, sehingga sebuah cacat permukaan awal tidak akan merambat lebih dari setengah ketebalan cangkang selama masa pakai tangki.

Tipe 'C' tank biasanya berbentuk bola atau silinder yang memiliki desain tekanan lebih tinggi dari 4 *barg*. Bejana silinder dapat vertikal atau horizontal dipasang. Jenis sistem penahanan ini selalu digunakan untuk semi-bertekanan dan sepenuhnya pembawa gas bertekanan. Dalam hal tanker semi-bertekanan dapat juga digunakan untuk pengangkutan yang sepenuhnya didinginkan, asalkan baja suhu rendah yang sesuai digunakan dalam tangki konstruksi. Tangki tipe C dirancang dan dibangun dengan kode bejana tekan konvensional dan, sebagai hasilnya, dapat dikenai analisis *stress* yang akurat. Selanjutnya desain tekanan dijaga tetap rendah. Karenanya, tidak diperlukan penghalang sekunder untuk tangki Tipe 'C'

dan ruang palka dapat diisi dengan gas *inert* atau udara kering dan untuk tanker bertekanan penuh udara normal mungkin diizinkan. Dalam kasus tanker bertekanan penuh yang khas (di mana muatan dibawa di sekitar suhu), tangki dapat dirancang untuk tekanan kerja maksimum sekitar 18 *barg*. Untuk kapal tanker semi bertekanan, tangki muat dan peralatan terkait adalah dirancang untuk tekanan kerja sekitar 5 hingga 7 *barg* dan kekosongan 0,3 *barg*. Tangki Tipe C untuk sketsa tangki tipe C *fully pressurized* yang nanti akan dianalisis dari model untuk pengangkutan LNG.

Aspek yang perlu dipertimbangkan untuk tangki LNG adalah lamanya waktu bahan bakar dapat ditahan di dalam tangki sebelum dimasukkan oleh mesin kapal. Peraturan IMO mengharuskan tekanan bahan bakar disimpan di bawah tekanan katup pelepas tekanan tangki selama 15 hari. Persyaratan ini dapat dipenuhi dengan akumulasi tekanan boil-off gas (BOG) di dalam tangki atau dengan bantuan beberapa peralatan tambahan yang dapat menahan uap, mendinginkan cairan atau mengoksidasi uap bahan bakar. Karena MAWP yang tinggi dan kemungkinan untuk menerapkan insulasi termal berbasis vakum yang sangat efektif, Tangki tipe C dapat memenuhi persyaratan waktu penahanan tanpa menggunakan penanganan BOG tambahan sistem. Inilah salah satu alasan mengapa tangki tipe C banyak digunakan dalam sistem gas kapal kelemahan terkait dengan pemanfaatan volume lambung yang buruk dan biaya produksi yang relatif tinggi

### 2.3. Persetujuan Material

Tangki LNG memerlukan material yang kuat dalam keadaan suhu  $-165^{\circ}\text{C}$  untuk menyimpan LNG. Menurut *Bureau Veritas* untuk tangki tipe C dan tangki tipe B toleransi berkaitan dengan manufaktur, seperti *out-of-roundness*, penyimpangan lokal dari bentuk sebenarnya, keselarasan sambungan las dan *tapering* pelat yang memiliki ketebalan berbeda, harus memenuhi standar yang diakui. Untuk tangki yang terbuat dari karbon-mangan baja, perlakuan panas pasca las harus dilakukan setelahnya pengelasan, jika suhu desain di bawah  $-10^{\circ}\text{C}$ . Perlakuan panas pasca las dalam semua kasus lain dan untuk material selain yang disebutkan di atas harus diakui standar. Suhu perendaman dan waktu penahanan harus menjadi standar yang diakui. Tekanan kargo besar kapal dari karbon atau baja karbon-mangan, yang mana itu sulit untuk melakukan perlakuan panas sebagai berikut:

1. Bagian bejana bertekanan dilas yang rumit seperti kubah dengan nozel, dengan pelat kerang yang berdekatan harus diberi perlakuan panas sebelum dilas menjadi lebih besar bagian dari bejana tekan

2. Proses pengurangan tegangan mekanis lebih disukai dilakukan selama uji tekanan hidrostatik dengan menerapkan yang lebih tinggi tekanan dari tekanan
3. Pengurangan tegangan harus dilakukan saat tangki ditopang oleh sadel biasa atau struktur pendukungnya atau, ketika penghilang stres tidak dapat dilakukan di kapal cara yang akan memberikan tekanan dan stres yang sama distribusi seperti jika didukung oleh sadel biasa atau struktur pendukung
4. Tekanan penghilang beban maksimum harus ditahan selama 2 jam per 25 mm ketebalan, tetapi tidak kurang dari 2 jam
5. Kekuatan tarik lintas las tidak boleh kurang dari kekuatan tarik minimum yang ditentukan untuk bahan induk yang sesuai. Dengan memperhatikan persyaratan kekuatan logam las kurang cocok di mana logam las memiliki kekuatan tarik lebih rendah dari logam induk.
6. *Bend test*: tidak ada *fracture* yang dapat diterima setelah tikungan  $180^\circ$  di atas bekas dengan diameter empat kali ketebalan benda uji, dan Sebagai alternatif dari *bend test* yang ditunjukkan, tes atas *Mandrel* yang memiliki diameter sama dengan 3 kali ketebalan dengan sudut lengkung hingga  $120^\circ$  mungkin diperlukan.
7. Uji dampak takik *Charpy V*: Uji takik *Charpy V* harus dilakukan pada suhu yang ditentukan untuk bahan dasar yang digabungkan. Hasil logam las uji dampak, energi rata-rata minimum (KV), harus kurang dari 27 J. Persyaratan logam las untuk *subsize* spesimen dan nilai energi tunggal. Hasil uji fusi garis dan zona efek panas harus menunjukkan energi rata-rata minimum (KV) sesuai dengan transversal atau persyaratan longitudinal dari bahan dasar, mana saja yang dapat diterapkan, dan untuk spesimen *subsize*, energi rata-rata minimum (KV). Jika ketebalan material tidak memungkinkan pemesinan spesimen *subsize* ukuran penuh atau standar, maka prosedur pengujian dan standar penerimaan harus masuk sesuai dengan standar yang diakui.

Semua prosedur pengujian dan standar penerimaan harus sesuai dengan standar yang diakui, kecuali desainer menetapkan standar yang lebih tinggi untuk memenuhi desain asumsi. Pada prinsipnya pengujian radiografi untuk mendeteksi kerusakan internal. Namun, prosedur uji ultrasonik yang disetujui sebagai pengganti pengujian radiografi mungkin dilakukan, tetapi sebagai tambahan, radiografi tambahan pengujian di lokasi yang dipilih harus dilakukan untuk memverifikasi hasil. Rekaman pengujian radiografi dan ultrasonik harus dipertahankan. Pada Gambar 2.1 Standar Uji Tarik dan Ketangguhan pada suhu tertentu

TENSILE AND TOUGHNESS (IMPACT) TEST REQUIREMENTS	
Sampling frequency	• Each "batch" to be tested
Toughness (Charpy V-notch test)	• Impact test: longitudinal test pieces
<p>(1) The requirements for design temperatures below <math>-165^{\circ}\text{C}</math> shall be specially agreed with the Society.            (2) The chemical composition limits shall be in accordance with recognized standards.            (3) The test temperature shall be <math>5^{\circ}\text{C}</math> below the design temperature or <math>-20^{\circ}\text{C}</math>, whichever is lower.            (4) A lower design temperature may be specially agreed with the Society for quenched and tempered materials.            (5) This chemical composition is not suitable for castings.            (6) The impact test of austenitic stainless steel is required only for service temperature less than <math>-105^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p><b>Note 1:</b> The use of longitudinally or spirally welded pipes shall be specially approved by the Society.  <b>Note 2:</b> The requirements for forgings and castings may be subject to special consideration by the Society.</p>	

Minimum design temperature (1)	CHEMICAL COMPOSITION (2) AND HEAT TREATMENT	Impact test, $t \leq 25$ mm	
		Test temperature	Minimum average energy (KV)
$-55^{\circ}\text{C}$	Carbon-manganese steel. Fully killed fine grain. Normalized or as agreed (4)	(3)	27 J
$-65^{\circ}\text{C}$	2,25% nickel steel. Normalized, normalized and tempered or quenched and tempered (4)	$-70^{\circ}\text{C}$	34 J
$-90^{\circ}\text{C}$	3,5% nickel steel. Normalized, normalized and tempered or quenched and tempered (4)	$-95^{\circ}\text{C}$	34 J
$-165^{\circ}\text{C}$	9,0% nickel steel (5). Double normalized and tempered or quenched and tempered	$-196^{\circ}\text{C}$	41 J
	Austenitic steels, such as types 304, 304L, 316, 316L, 321 and 347. Solution treated (6)	$-196^{\circ}\text{C}$	41 J
	Aluminium alloys, such as type 5083 annealed	Not required	

Gambar 2.1 Standar Uji Tarik dan Ketangguhan Dengan Suhu Tertentu

Untuk *butt weld* pada pelat, rakitan uji harus disiapkan arah *rolling* sejajar dengan arah pengelasan. Kisaran ketebalan masing-masing memenuhi syarat uji prosedur pengelasan harus sesuai dengan standar yang diakui. Tes radiografi atau ultrasonik mungkin dilakukan atas pilihan *fabricator*. Tes prosedur pengelasan berikut untuk tangki kargo dan bejana tekan proses, dengan spesimen yang dibuat dari setiap pengujian :

1. Uji tarik *cross weld*
2. Pengujian semua las longitudinal

3. *Bend test* melintang, yang mungkin wajah, akar atau samping *bend*. Namun, *bend test* longitudinal mungkin saja diperlukan sebagai pengganti uji tikungan melintang dalam kasus di mana bahan dasar dan logam las memiliki kekuatan yang berbeda level
4. Satu set dari tiga dampak *Charpy V-notch*, umumnya pada masing-masing lokasi berikut :
  - a. Garis tengah lasan
  - b. Garis fusi
  - c. 1 mm dari garis fusi
  - d. 3 mm dari garis fusi
  - e. 5 mm dari garis fusi
5. *macrosection*, *microsection*, dan survei kekerasan

Bahan habis pakai dimaksudkan untuk pengelasan tangki kargo harus sesuai dengan standar yang diakui. Uji logam las yang disimpan dan uji las *butt* harus disyaratkan untuk semua bahan habis pakai. Hasil yang diperoleh dari tarik dan uji tumbukan takik *Charpy V* harus sesuai dengan standar yang diakui. Komposisi kimiawi dari logam las yang disimpan harus direkam untuk informasi. Isi dari persyaratan ini juga untuk menutupi proses bejana tekan dan penghalang sekunder.

## 2.4. Material yang Digunakan

### 2.4.1 *Stainless Steel SA 240 Gr 304*

ASTM SA 240 adalah lembaran *stainless steel austenitic* dalam berbagai ukuran, ketebalan, dan hasil akhir. Pada material ini memberikan ketahanan yang berguna terhadap korosi di banyak lingkungan mulai dari pengurangan sedang hingga pengoksidasi sedang. Melalui penambahan terkontrol Nitrogen. Komposisi penyusun SA Gr 304 terdiri dari :

C	: 0,08
Mn	: 2
Si	: 0,75
P	: 0,045
S	: 0,030
Cr	: 18 – 20
Ni	: 8 – 10.5
N	: 0,10

Material *properties* SA 240 Gr 304 sebagai berikut :

<i>Density</i>	: 8 g/cm <sup>3</sup>
<i>Tensile Strength</i>	: 515 MPa
<i>Yield Strength</i>	: 205 MPa
<i>Young Modulus</i>	: 190000 – 200000 MPa
Rasio <i>Poison</i>	: 0,29
<i>Charpy Impact</i>	: 325 J
Modulus Geser	: 86000 MPa

Kelebihan dari SA 240 Gr 304 ada berbagai karakteristik yang banyak digunakan oleh berbagai industri, antara lain :

1. Mudah dibentuk dan dapat dilas

Dibanding dengan material lain, SA 240 Gr 304 memiliki formabilitas atau daya pembentukan yang baik. Hal ini dapat memudahkan pemanfaatannya di berbagai bidang. Selain dapat dibentuk, material ini juga dapat disatukan dengan proses pengelasan

2. Tahan karat

Material ini memiliki kandungan *kromium* yang membuat permukaan material tahan terhadap oksidasi yang mengakibatkan tahan terhadap karat.

3. Memiliki kualitas baik untuk proses *deep drawing*

*Deep drawing* adalah proses manufaktur yang rumit untuk membentuk lembaran logam menjadi bentuk yang diinginkan seperti kotak, maupun komponen yang rumit memiliki lengkungan. Caranya ada ada dengan meletakkan lembaran logam ke atas pola kemudian didorong dengan *punch* hingga membentuk objek yang diinginkan.

4. Memiliki daya tahan tinggi

Perpaduan unsur kimia yang membentuk material paduan dapat bertahan di dalam suhu yang ekstrim termasuk *cryogenic*.

#### 2.4.2 *Low Carbon Steel SA 353*

Baja paduan rendah dapat diklasifikasikan lagi, yaitu menurut komposisi kimia, seperti Nikel stel, Nikel *Chromium steels*, *molybdenum steels* dan menurut proses perlakuan panas, seperti *quenched and tempered (QT)* *Normalized and tempered (NT)* *annealed (A)* dan sebagainya. Ciri-ciri umum baja paduan rendah yaitu :

- a) Jumlah unsur paduan < 10%.

- b) Memiliki kadar karbon sama seperti baja karbon, tetapi ada sedikit unsur paduan dengan penambahan unsur paduan, kekuatan dapat dinaikkan tanpa mengurangi keuletannya, kekuatan fisik, dan daya tahan terhadap korosi, aus, dan panas lebih baik.
- c) Baja paduan rendah dapat didinginkan dan disepuh supaya dapat mencapai kekuatan leleh sebesar 80 – 110 ksi (550–760 MPa). Kekuatan leleh biasanya didefinisikan sebagai tegangan pada regangan *offset* 0,2% karena baja ini tidak menunjukkan titik leleh yang jelas. Dengan prosedur yang tepat baja ini dapat dilas, dan biasanya tidak membutuhkan tambahan perlakuan panas setelah pengelasan dilakukan. Untuk beberapa keperluan khusus, kadangkala dibutuhkan pengendoran tegangan.

Spesifikasi ASME SA 353 mencakup 9% pelat baja nikel yang dinormalisasi ganda dan ditempa, dan baja ini digunakan untuk bejana tekanan las kriogenik. Baja dimusnahkan dan sesuai dengan persyaratan ukuran butir austenik halus. Baja dapat beroperasi pada suhu rendah  $-196^{\circ}\text{C}$  yang diperlukan untuk penahanan dan pengangkutan gas kriogenik seperti argon, nitrogen, dan oksigen.

Komposisi penyusun dari SA 353 terdiri dari :

C	: 0,13%
Mn	: 0,9%
P	: 0,035%
S	: 0,040%
Si	: 0,15%-0,30%
Ni	: 8,5%-9,5%
Fe	: <i>Base Metal</i>

Material *properties* SA 353 antara lain :

<i>Density</i>	: 7,85 g/cm <sup>3</sup>
<i>Tensile Strength</i>	: 690-825 MPa
<i>Yield Strength</i>	: 515 MPa
<i>Elongation</i>	: 20%
<i>Young Modulus</i>	: 205000 Mpa
<i>Rasio Poison</i>	: 0,3
Modulus Geser	: 79000 MPa

#### 2.4.3 Monel K 400

Monel adalah logam dengan kandungan Nikel, yang dicampur dengan material lain seperti Tembaga dan sedikit Besi serta Mineral. Monel dibentuk dari batangan padat yang



kemudian dibubut menggunakan mesin & dibentuk sesuai dengan model yang diinginkan. Setelah proses pembentukan masuk proses *finishing* dengan memoles hasil bubutan monel tadi agar halus dan mengkilat. Monel juga memiliki keistimewaan lain selain lebih berkilau dan tahan lama:

1. Memiliki sifat lebih keras ketika dibandingkan dengan pernik lain
2. Tidak berkarat
3. Anti asam

Monel K 400 adalah paduan larutan padat dapat mengeras hanya dengan pengerjaan dingin. Tinggi kekuatan dan ketangguhan pada rentang suhu yang luas dan ketahanan yang luas dan ketahanan yang baik terhadap banyak korosif lingkungan. Material ini dapat digunakan diberbagai bidang, khususnya pengolahan kelautan dan kimia. Aplikasi tipikal adalah katup dan pompa, poros pemanas air *boiler* dan penukar panas, serta pemanas dearasi.

Komposisi penyusun K 400 terdiri dari :

C	: 0,3%
Cu	: 28%-34%
S	: 0,024%
Si	: 0,5%
Mn	: 2%
Ni	: 63%
Fe	: 2,5%

Material *properties* K 400 antara lain :

<i>Density</i>	: 8,8 g/cm <sup>3</sup>
<i>Tensile Strength</i>	: 1500 MPa
<i>Yield Strength</i>	: 750 Mpa
<i>Young Modulus</i>	: 178000 MPa
Rasio <i>Poison</i>	: 0,35
Modulus Geser	: 70000 MPa

## 2.5. Metode Elemen Hingga

*Finite element method* (metode elemen hingga) atau FEM adalah salah satu metode numerik yang paling banyak dipakai di dunia *engineering* dan diajarkan di dunia baik akademika maupun industri. Usianya lebih dari 40 tahun, dan hingga kini masih tetap dipakai,

bahkan makin disukai. Metode ini berusaha memecahkan *partial differential equations* dan persamaan integrasi lainnya yang dihasilkan dari hasil diskritisasi benda kontinum. Meski berupa pendekatan, metode ini dikenal cukup ampuh memecahkan struktur-struktur yang kompleks dalam analisis mekanika benda padat (*solid mechanics*) dan perpindahan panas (*heat transfer*). Biasanya matematikawan mencari *closed-form solution* untuk suatu kasus fisika, dan karena mentok mereka lalu memanfaatkan metode numerik ini untuk memecahkan kasusnya (Bhafikatti, 2005).

Saat ini, banyak sekali *software* FEM berkeliaran dengan berbagai mutu dan kemudahan. *Software* ini biasanya sangat ramah-sama-pengguna. Contoh dari *software* ini adalah MSC.NASTRAN, ABAQUS, ANSYS, LSDYNA, dan lainnya. Pengguna *software* FEM kemudian terbiasa melihat GUI (*graphic user interface*) di mana suatu benda didiskritisasi menjadi sekian puluh bahkan ribu elemen. Istilah baru kemudian muncul yaitu *Finite Element Modeling*, karena pengguna hanya memodelkan fisik suatu benda dengan elemen-elemen kecil, mendefinisikan sifat-sifat material, memberikan kondisi batas dan pembebanan, menjalankan *software*. Ini yg dinamakan *pre-processing*. Fase *post-processing* biasanya lebih sulit karena pengguna diharapkan bisa menginterpretasi hasil, menganalisis angka dan fisik yang dihasilkan dan melakukan trouble-shooting jika hasilnya kurang memuaskan. Ada yg bilang FEM *software* ini G-I-G-O alias *garbage-in-garbage-out*. Apa saja yg kita masukkan ke dalam *software* tentu akan menghasilkan sesuatu, entah itu berupa angka atau berupa *error message*. Kalau memasukan sampah ya keluaranya juga sampah. Untuk mengatasi ini, pengguna diharapkan sudah memahami formulasi, jenis elemen, kelebihan dan kelemahan suatu metode sebelum menggunakan FEM *software*. *Finite Element Analysis* dibangun sebagai metode numerik untuk analisa tegangan, tapi sekarang pemakainanya telah meluas sebagai metode yang umum untuk banyak permasalahan engineering kompleks dan ilmu-ilmu fisika. Mengandung banyak perhitungan, pertumbuhannya berhubungan dekat dengan pengembangan teknologi komputer.

*Finite Element* adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matrix untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Metode lain yang adalah metode analitik, yang untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, *constrain*, sifat material, dan lain-lain, maka semakin sulit atau bahkan mustahil di bangun suatu model matematik yang bisa mewakili permasalahan tersebut. Alternatif metodenya adalah dengan cara membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian

kecil yang sederhana yang mana pada bagian kecil tersebut kita bisa membangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga, karena kita membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (*finite*) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (kontinum). Secara umum ada beberapa jenis metode didalam *Finite Elemen Method* yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah-masalah yang ada di dalam dunia teknik. Perluasan dari metode *finite elemen* tersebut memang banyak macamnya. Berikut beberapa perluasan dari *Finite Elemen Method* :

#### 1. hp-FEM

hp- FEM adalah versi umum dari metode elemen hingga, sebuah numerik metode untuk memecahkan persamaan diferensial parsial berdasarkan perkiraan *piecewise*-polinomial menggunakan unsur-unsur variabel ukuran (h) dan derajat polinomial (p).

#### 2. *Extended finite element method* (XFEM)

*Extended finite element method* adalah metode teknik numerik yang memperpanjang klasik metode elemen hingga dengan pendekatan memperluas ruang untuk solusi untuk persamaan diferensial dengan fungsi kontinu.

#### 3. *Spectral method*

Metode spektral adalah sebuah teknik yang digunakan dalam matematika terapan dan komputasi ilmiah tertentu untuk menyelesaikan secara numerik dengan menggunakan persamaan diferensial parsial (PDEs), dan sering juga melibatkan penggunaan *Fast Fourier Transform*. Metode spectral memiliki tingkat error yang sangat baik yang disebut dengan “*exponential convergen*” sehingga membuat metode ini menjadi yang tercepat.

#### 4. *Meshfree methods*

Metode *meshfree* merupakan kelas tertentu dari *numerical simulation algorithms* untuk mensimulasikan fenomena-fenomena yang berupa fisik. Simulasi algoritma tradisional mengandalkan pada grid atau mesh sedangkan metode *meshfree* menggunakan pendekatan simulasi geometri dalam pehitungannya. Hal ini menjadi salah satu kelebihan dari metode *meshfree* dibanding dengan metode konvensional.

#### 5. *Discontinuous Galerkin method*

Metode *Galerkin* diskontinu pertama kali diusulkan dan dianalisis pada awal 1970-an sebagai suatu teknik untuk menyelesaikan secara numerik persamaan diferensial parsial. Pada tahun 1973 Reed dan Hill memperkenalkan metode *Discontinuous Galerkin* untuk memecahkan persamaan transpor neutron hiperbolik. Metode ini digunakan untuk memecahkan persamaan diferensial parsial dengan menggabungkan fitur dari *finite element* dan volume element, dan berhasil diaplikasikan untuk ukuran seperti hiperbolik, elips dan parabola.

Pada rangkaian kesatuan (*continuum*) dilakukan dengan mengabaikan ruang kosong yang terdapat pada antar partikel sehingga metode ini hanyalah sebuah pendekatan dengan kondisi realita yang terjadi dengan derajat kebebasan tidak berhingga. Prosedur elemen hingga mereduksi yang tidak diketahui menjadi jumlah yang terbatas dengan membagi bidang penyelesaian menjadi bidang-bidang kecil disebut elemen dan dengan mengekspresikan variabel bidang dengan mengasumsikan fungsi pendekatan fungsi interpolasi atau fungsi bentuk umumnya dalam dunia engineering ada 3 macam bentuk elemen yang digunakan dalam perhitungan pada elemen hingga, elemen tersebut adalah membran, *shell*, maupun elemen solid.

Elemen membran adalah elemen datar yang memiliki 2 dimensi, pada umumnya element ini berbentuk segitiga maupun segiempat, pada elemen yang berbentuk segitiga, biasanya dimodelkan dengan 3 hingga 6 *node*, sedangkan pada segi empat dimodelkan dari 4 hingga 9 *node*, elemen ini memiliki 2 arah perpindahan derajat kebebasan pada tiap node yang terdapat didalam elemen. Elemen ini biasa digunakan untuk memodelkan permasalahan elastisitas dengan 2 dimensi, arah tegangan dan arah regangan. itu bisa menghasilkan 2 *normal force* dan 1 *shear stress* pada elemen. Elemen membran tidak memiliki *rotational stiffness* maupun *stiffness* normal yang menuju arah dari elemen.

## **2.6 Komponen Pada Pressure Vessel**

Bejana tekan terdiri dari berbagai macam komponen utama dan pendukung, yang mempunyai fungsi masing-masing untuk menunjang operasi bejana tekan. Komponen-komponen bejana tekan antara lain *shell*, *opening*, nosel, *flanges*, *ladder support*, *sadel* dan lain-lain. Pemilihan komponen bejana tekan disesuaikan dengan kebutuhan operasi dan kebutuhan perawatan bejana tekan, dengan pertimbangan utama desain komponen yaitu tekanan operasi, temperatur operasi.

### 2.6.1 *Shell*

*Shell* merupakan selimut bejana tekan biasanya berupa silinder, *spherical* atau gabungan silinder dan *spherical*. Untuk bejana tekan yang difungsikan untuk penyimpanan, biasanya menggunakan bentuk geometri bulat atau *sphere*. Pada bejana tekan bentuk *sphere* terjadi tegangan latitudinal dan tegangan meridional. Dalam mendesain bejana tekan, biasanya ditentukan terlebih dahulu dimensi awal dinding bejananya berupa diameter yang ditentukan

berdasarkan volume operasi bejana tekan. kemudian tebal *shell* yang bergantung pada tekanan internal atau eksternal ditambah beban-beban yang signifikan lainnya. Tebal dinding bejana tekan dipengaruhi pula oleh kekuatan material, sehingga tekanan maksimal yang dapat diterima oleh bejana tekan dibatasi oleh kekuatan material yang tersedia. Tebal bejana tekan dapat ditentukan melalui analisis tegangan pada dinding dan tegangan yang diijinkan oleh material yang digunakan.

Ketebalan *shell* harus ada beberapa hal yang menjadi sebuah acuan sebagai berikut :

1. Untuk bejana tekan, ketebalan dihitung sebagai ketebalan minimum setelah terbentuk, tanpa toleransi negatif.
2. Untuk bejana tekan, ketebalan minimum *shell* dan kepala termasuk korosi, setelah pembentukan, harus tidak kurang dari 5 mm untuk baja karbon-mangan dan baja nikel, 3 mm untuk baja austenitik atau 7 mm untuk paduan aluminium.
3. Faktor efisiensi sambungan las yang akan digunakan harus 0,95 jika inspeksi dan pengujian non-destruktif, dilakukan. Angka ini mungkin meningkat hingga 1 jika mempertimbangkan pertimbangan lain, seperti bahan yang digunakan, jenis sambungan, prosedur pengelasan dan jenis pemuatan. Untuk proses bejana tekan, Pengurus dapat menerima sebagian pemeriksaan nondestruktif, suhu desain, suhu transisi nil-keuletan bahan, seperti yang dibuat, dan jenis prosedur sambungan dan pengelasan, tetapi dalam hal ini faktor efisiensi tidak lebih dari 0,85 harus diadopsi. Untuk bahan khusus, faktor yang disebutkan di atas harus dikurangi, tergantung pada mekanik yang ditentukan properti dari sambungan las.

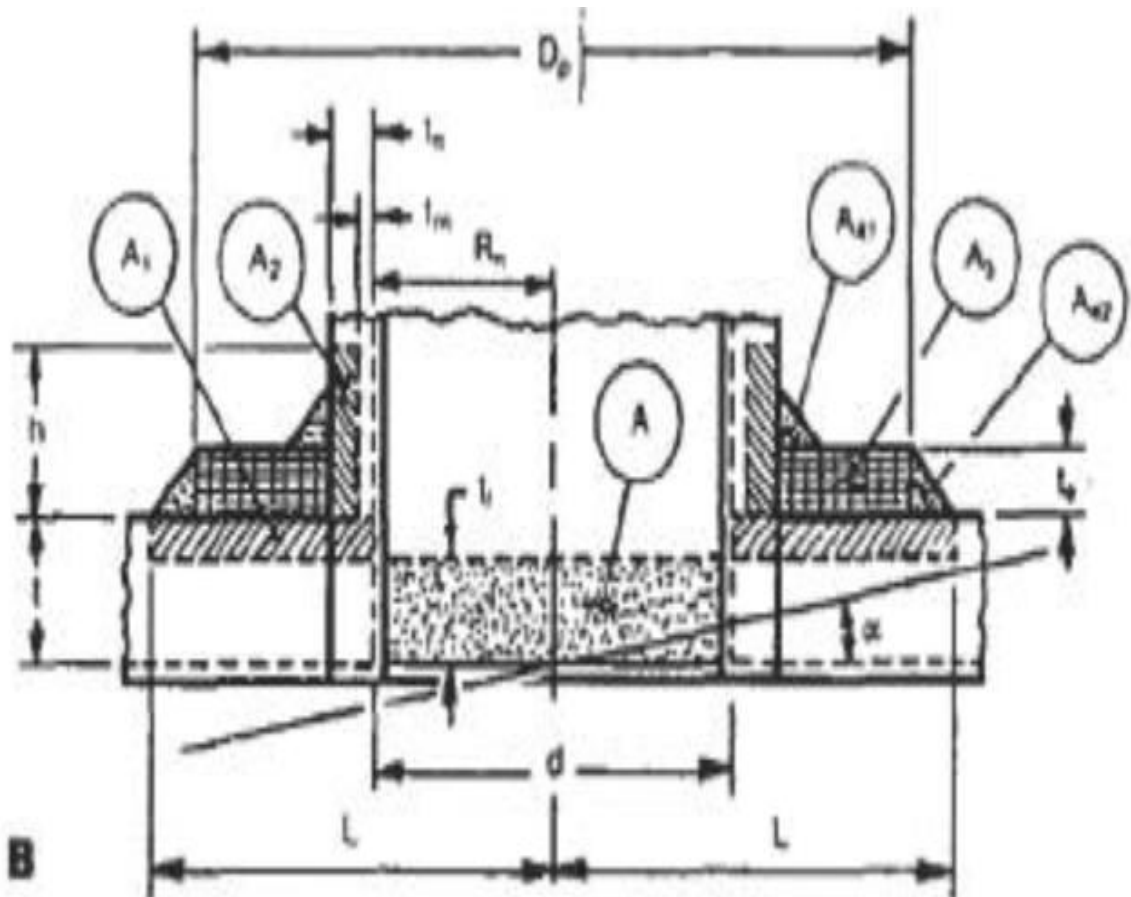
### 2.6.2 *Opening*

Bejana tekan didesain untuk digunakan dalam berbagai keperluan, oleh karenanya perlu adanya opening atau lubang lubang untuk meletakkan komponen-komponen yang menghubungkan bejana tekan dengan berbagai komponen lainnya. Pada sebuah plant,

meletakkan nosel untuk sambungan pipapipa pemasukkan dan pengeluaran, lubang untuk menguras bejana tekan, lubang untuk inspeksi. Beberapa tujuan opening pada bejana adalah sebagai berikut:

1. Nosel *in* atau *out* sebagai saluran keluar dan masuk fluida kerja.
2. *Drain* sebagai lubang untuk menguras bejana tekan pada saat inspeksi total atau pada saat perawatan.
3. *Manway* lubang yang diperuntukkan sebagai akses orang yang berkepentingan untuk keluar masuk bejana tekan.

Kode yang mengatur Kode yang mengatur tentang pemberian lubang dan penguatan terdapat pada ASME BPV *Section VIII Div 1 UG-36 – UG-46*. Pemberian *opening* pada dasarnya mengganggu aliran tegangan pada dinding bejana tekan yang mengakibatkan konsentrasi tegangan, dan dijaga agar konsentrasi tegangan tersebut tidak melebihi tegangan yang diijinkan agar tidak terjadi kegagalan pada saat operasi bejana tekan. *Opening* sebaiknya tidak diletakkan pada bagian bejana tekan yang telah diketahui mengalami tegangan yang berbahaya, ukuran diameter *opening* dan jarak antar opening juga diatur sedemikian rupa agar konsentrasi tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan yang diijinkan. Bagaimanapun juga, karena adanya penghilangan bagian dinding bejana oleh opening, terjadi konsentrasi tegangan yang berlebih pada bagian tersebut, oleh karenanya perlu ada penggantian luas yang hilang dengan penebalan pada bagian sekeliling opening tersebut. Seperti pada Gambar 2.2, luas A merupakan luas yang hilang dan harus diganti dengan total luas yang sama dari penjumlahan A1, A2, A21, A3, dan A42. Pada Tabel 2.1 dibawah terdapat persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung dimensi *reinforce pad* yang sesuai.



Gambar 2-2 Skema Reinforce Paid

Tabel 2.1 Perhitungan Geometri Reinforce Paid

Ketebalan	Area yang dibutuhkan	Area yang tersedia
$t_r = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$ $t_{rn} = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$	$A = d \times t_r$	$A_1 = (t - t_r)d$ $A_1 = (t - t_r)(t_n + t)2$ $A_2 = (t_n - t_{rn})5t_n$ $A_{21} = A_{42} = l^2 f_r$ $A_3 = (D_p - d - 2t_n)t_e f_r$

Di mana :

- A = Luas yang dibutuhkan
- A1 = Luas yang terdapat pada shell
- A2 = Luas yang terdapat pada nosel
- A21 = Luas Pengelasan
- A3 = Luas Reinforcement Pad
- A42 = Luas pengelasan

d	= diameter nosel
t	= tebal <i>shell</i> yang digunakan
tr	= tebal <i>shell</i> yang dibutuhkan
tn	= tebal nosel yang digunakan
trn	= tebal nosel yang dibutuhkan
l	= panjang kaki pengelasan
fr	= faktor reduksi kekuatan
D <sub>p</sub>	= diameter luar <i>Reinforcement Pad</i>

### 2.6.3 Nosel

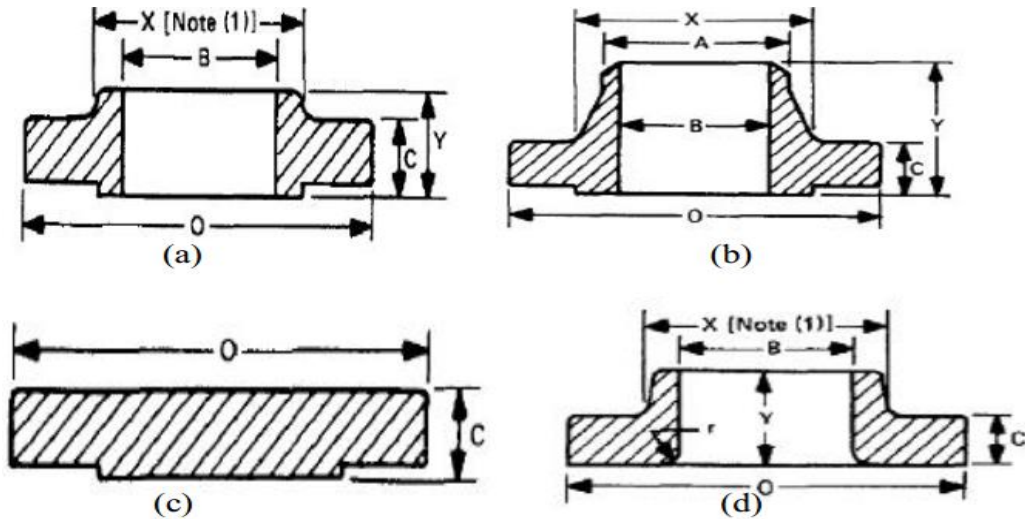
Nosel berfungsi sebagai saluran keluar masuk dan untuk menguras isi bejana tekan, nosel berupa pipa yang dipasang dengan sambungan las, baut dan sebagainya pada bukaan yang pada dinding bejana tekan. Pipa yang digunakan sebagai nosel dirancang juga sesuai dengan tekanan kerja bejana tekan, agar mampu melayani operasi bejana tekan tersebut. Diameter nosel disesuaikan dengan diameter bukaan dan fungsinya.

### 2.6.4 Flanges

Komponen bejana tekan yang berfungsi sebagai pengikat nosel-nosel bejana tekan dengan pipa-pipa yang akan mengalirkan fluida kerja masuk dan keluar bejana tekan. *Flanges* memiliki bentuk yang bermacam-macam dan memiliki kelebihan dan kekurangan yang berbeda tiap jenisnya. Jenis-jenis *flanges* antara lain *slip-on*, *welding-neck*, *blind*, dan *lap-joint*. Ukuran standar *flanges* dapat ditemukan pada ASME B16.5-1996 yang dibagi berdasarkan rating tekanan kerja, yaitu 150, 300, 400, 600, 900, 1500, dan 2500-lb. *Flanges* biasanya disertai dengan gasket sebagai segel agar tidak terjadi kebocoran pada sambungan *flanges*. Jenis *gasket* dan jenis baut umumnya ditentukan oleh standar. Namun, terkadang standar mengacu pada *ASME Boiler and Pressure Vessel Code (B & PVC)* untuk detailnya. *Flanges* ini dikenali oleh Kode Pipa ASME seperti Pipa Daya ASME B31.1, dan perpipaan proses ASME B31.3. Bahan untuk *flanges* biasanya di bawah sebutan ASME: SA-105 spesifikasi tempa baja karbon untuk aplikasi perpipaan, SA-266 spesifikasi tempa baja karbon untuk komponen kapal bertekanan, atau SA-182 spesifikasi untuk *forged or rolled alloy-flanges* pipa baja, *fitting* tempa, dan katup dan suku cadang untuk layanan suhu tinggi. Selain itu, ada banyak *flanges* standar industri yang dalam beberapa keadaan dapat digunakan pada pekerjaan ASME. Jajaran produk termasuk SORF, SOFF, BLRF, BLFF, WNRF (XS, XXS, STD dan jadwal 20, 40, 80), WNFF (XS, XXS, STD dan jadwal 20, 40, 80), SWRF (XS &



STD) , SWFF (XS & STD), RF Berulir, FF & LJ Berulir, dengan ukuran dari 1/2 hingga 16. Bahan baut yang digunakan untuk sambungan *flanges* adalah baut stud yang dikawinkan dengan dua mur. Pada Gambar 2.3 menunjukkan empat tipe *flanges* yang sesuai standar ANSI 16.5.



Gambar 2-3 (a) *slip on flanges*, (b) *weld neck flanges*, (c) *blind flanges*, (d) *lap joint flanges*

Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan *flange* adalah besarnya momen yang timbul akibat berat dan tekanan internal dari bejana tekan tersebut tertera pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Perhitungan *Flanges*

Perhitungan awal	Beban	Lengan	Momen
$H = \frac{G^2 \pi P}{4}$	$H_D = \frac{\pi B^2 P}{4}$	$h_D = R + g_1$	$M_D = H_D h_D$
$h_G = \frac{(C - B)(2B + C)}{6(B + C)}$	$H_T = H - H_D$	$h_T = 0.5(R + g_1 + h_G)$	$M_T = H_T h_T$
			$M_O = M_D M_T$

Di mana :

- MO = momen total
- MD = momen akibat gaya dalam pada *flanges*
- MT = momen akibat tekanan pada permukaan *flanges*
- H = beban akibat hidrostatis
- HD = beban akibat gaya dalam pada *flanges*
- HT = beban akibat tekanan pada permukaan *flanges*

- hT, R = jarak radial
- P = tekanan desain
- B = diameter dalam *flanges*
- C = diameter lingkaran baut
- G = diameter reaksi beban *gasket*
- G1 = tebal hub *flanges*

## 2.7 Beban Pada *Pressure Vessel*

Gaya-gaya yang diterima bejana tekan atau struktur-struktur yang ditanamkan pada bejana tekan diperhitungkan sebagai bebanbeban dalam merancang bejana tekan. Seorang perancang harus mempersiapkan seluruh data perancangan secara lengkap, menyeluruh dan seakurat mungkin. Beban-beban utama yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bejana tekan antara lain :

1. Tekanan desain
2. Beban mati
3. Beban akibat angin
4. Beban gempa bumi
5. Beban temperatur
6. Beban-beban akibat perpipaan
7. Impak atau beban siklus

Berbagai kombinasi dari beban-beban tersebut sangat mungkin terjadi, perancang harus mampu memilih kombinasi beban yang paling memungkinkan terjadi pada desain yang akan dibuat demi desain yang ekonomis dan aman. Pada umumnya, kegagalan pada bejana tekan dapat ditinjau dari beberapa sebab, antara lain:

1. Material : pemilihan material yang tidak tepat untuk lingkungan operasi; cacat; kontrol kualitas yang tidak baik.
2. Desain: kondisi desain yang salah; perhitungan dan spesifikasi teknis yang tidak matang; penyederhanaan tanpa mempertimbangkan solusi analitik yang benar; tes yang tidak memenuhi syarat.
3. Operasi: perubahan kondisi kerja; personel perawatan yang kurang pengalaman dan pengetahuan; inspeksi terhadap korosi yang tidak teliti.
4. Pembuatan: prosedur pembuatan yang tidak memenuhi syarat; inspeksi yang tidak memenuhi syarat, penanganan material khusus tanpa pengetahuan yang memadai.

## 2.8 Jenis-Jenis Tegangan

Analisis tegangan pada *pressure vessel* perlu diketahui untuk dapat menentukan *vessel* aman atau tidak untuk dioperasikan. Tegangan atau *stress* dapat diartikan gaya persatuan luas.

$$\text{Stress } (\sigma) = \frac{\text{Force } (F)}{\text{Cross Sectional Area } (A)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Kalau ada gaya tertentu yang mengetahui suatu bidang, maka *stress* akan besar jika luasan area semakin kecil. Jika dengan luasan area sama, maka *stress* akan lebih besar ketika gaya yang mengenainya besar. *Stress* dalam vessel sendiri di bagi menjadi beberapa bagian.

### 2.8.1 Longitudinal Stress

*Longitudinal stress* adalah gaya dimana terjadi pada arah aksial. Kalau pada *vessel* terjadi pada *shell* yang arahnya memanjang, arah yang memanjang itulah yang dinamakan *longitudinal stress*.

$$St = \frac{P \text{ do}}{2 t} \dots\dots\dots (2.2)$$

### 2.8.2 Circumferintal Stress atau Hoop Stress

Tegangan *circumferintal* atau sebagian menyebutnya juga dengan *hoop*, yaitu tegangan yang arahnya tangensial terhadap area potong pipa. maksudnya seperti ini, kalau keadaan yang lebih buruk maka *circumferintal* ini akan membelah pipa menjadi dua bagian. Gaya yang membelah pipa itulah gaya *cerkumferintal*. *Circumferintal stress* kadang dikenal dengan *tangensial stress*, jadi gaya dengan arah ini memiliki tiga nama yaitu *circumferintal stress*, *hoop stress* dan *tangensial stress*.

$$\sigma = \frac{P \times r}{t} \dots\dots\dots (2.3)$$

### 2.8.3 Radial Stress

*Radial stress* adalah tegangan yang arahnya menyebar ke semua penjuru pipa jadi tegangan ini melingkar, mengenai seluruh dinding si pipa. Kadang memang membingungkan kalau di dibandingkan dengan *hoop stress* pada awalnya. Jadi ketika pipa itu di aliri fluida di dalamnya, ia menjadi bertekanan. Tekanan itu akan menyebar ke segala arah. Ke arah lurusnya pipa, ia akan menghasilkan tegangan longitudinal nantinya. Ke arah menyebar ke dinding pipa, ia akan menghasilkan *radial stress*. Dari tekanan menyebar ini, karena pipa hanya sebuah plat yang dibuat melingkar dan di las (kadang ada yang tidak menggunakan

pengelasan) maka akan timbul gaya *hoop stress*, yang bisa membelah pipa menjadi dua bagian.

$$SR = -P \dots\dots\dots (2.4)$$

Besarnya tegangan *radial* ini, sama dengan *pressure* yang bekerja didalam fluidanya Cuma arahnya saja negatif karena sifatnya menahan.

#### **2.8.4 Axial Load**

Beban aksial adalah gaya yang searah dengan pipa, yang arahnya juga longitudinal. Kadang pula sering menyebutnya dengan *axial stress*, tidak masalah asal kita tau arahnya.

#### **2.8.5 Lateral Load**

Beban lateral adalah beban horizontal, maksudnya beban yang searah permukaan bumi. Jadi sifatnya mendatar, segala beban yang arahnya mendatar itulah yang dinamakan beban lateral. Sebenarnya definisi beban lateral ini saya temukan di sipil, mungkin mengalami perluasan makanya sehingga digunakan juga oleh *mechanical* dalam hal ini *piping*. Arah beban lateral adalah tegak lurus dengan arah aksial, kalau aksial itu sifatnya lurus dengan pipa kalau lateral itu tegak lurusnya. Sehingga dalam *piping stress*, beban lateral ini biasanya akan di tahan oleh *guide support* yang sifatnya menahan ke arah samping (supaya pipa tidak bergeser). Kalau beban aksial di tahan oleh *anchor*, sedangkan beban lateral di tahan oleh *guide*.

#### **2.8.6 Shear Stress**

Tegangan geser itu arahnya memotong dari pipa, jadi tegak lurus dengan *axial stress*. sifatnya membelah si pipa. Kembali mengenai tegangan geser, karena sifatnya menggeser jadi seolah pipa itu di belah dari atas langsung.

#### **2.8.7 Torsi**

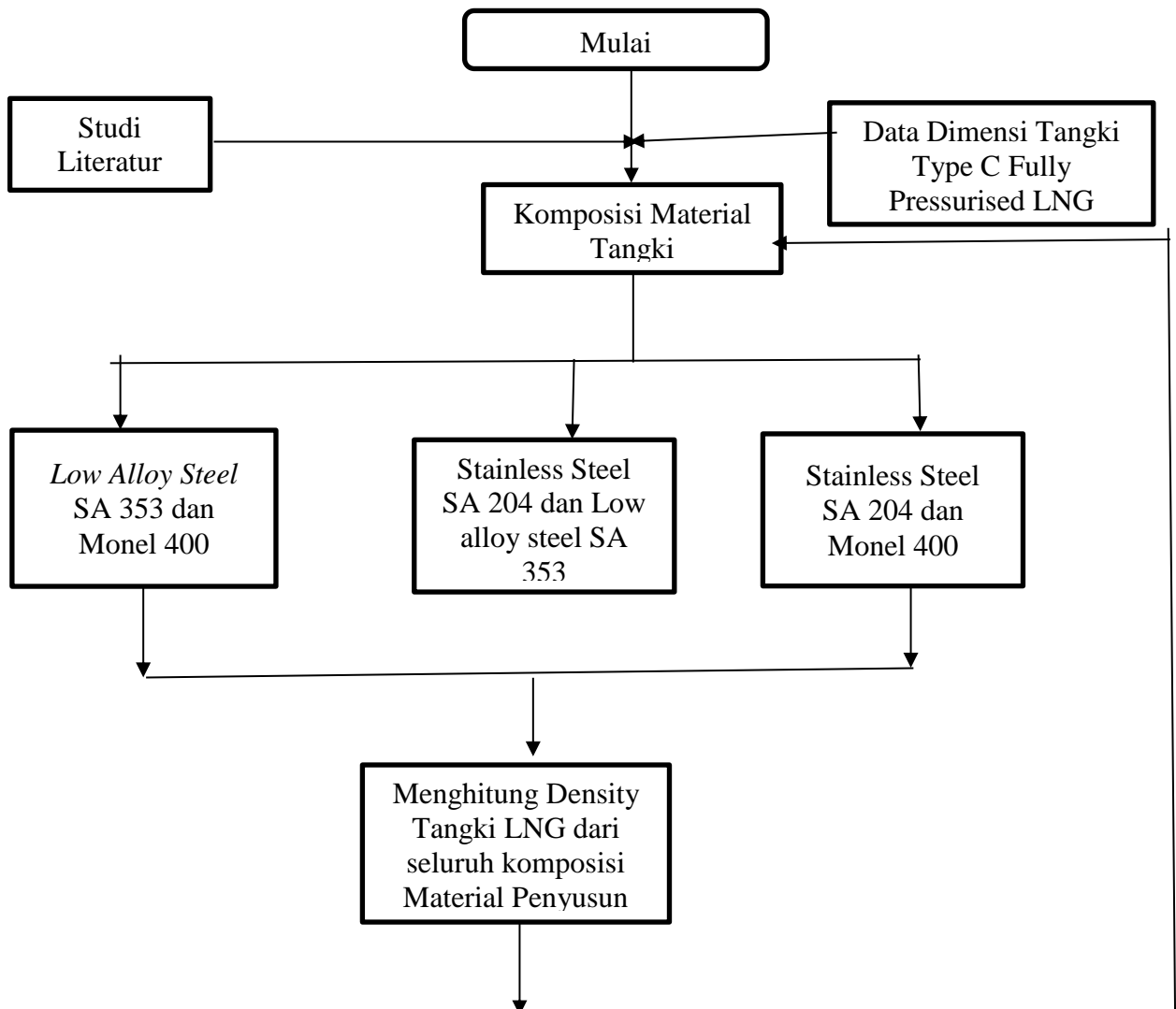
Torsi atau momen arah tegangannya memuntir. Jadi kalau ada pipa salah satu sisinya di tahan dan sisi lain di puntir, itulah torsi. Beberapa beban yang perlu untuk di ketahui, dan kita juga perlu tau dimana arahnya.

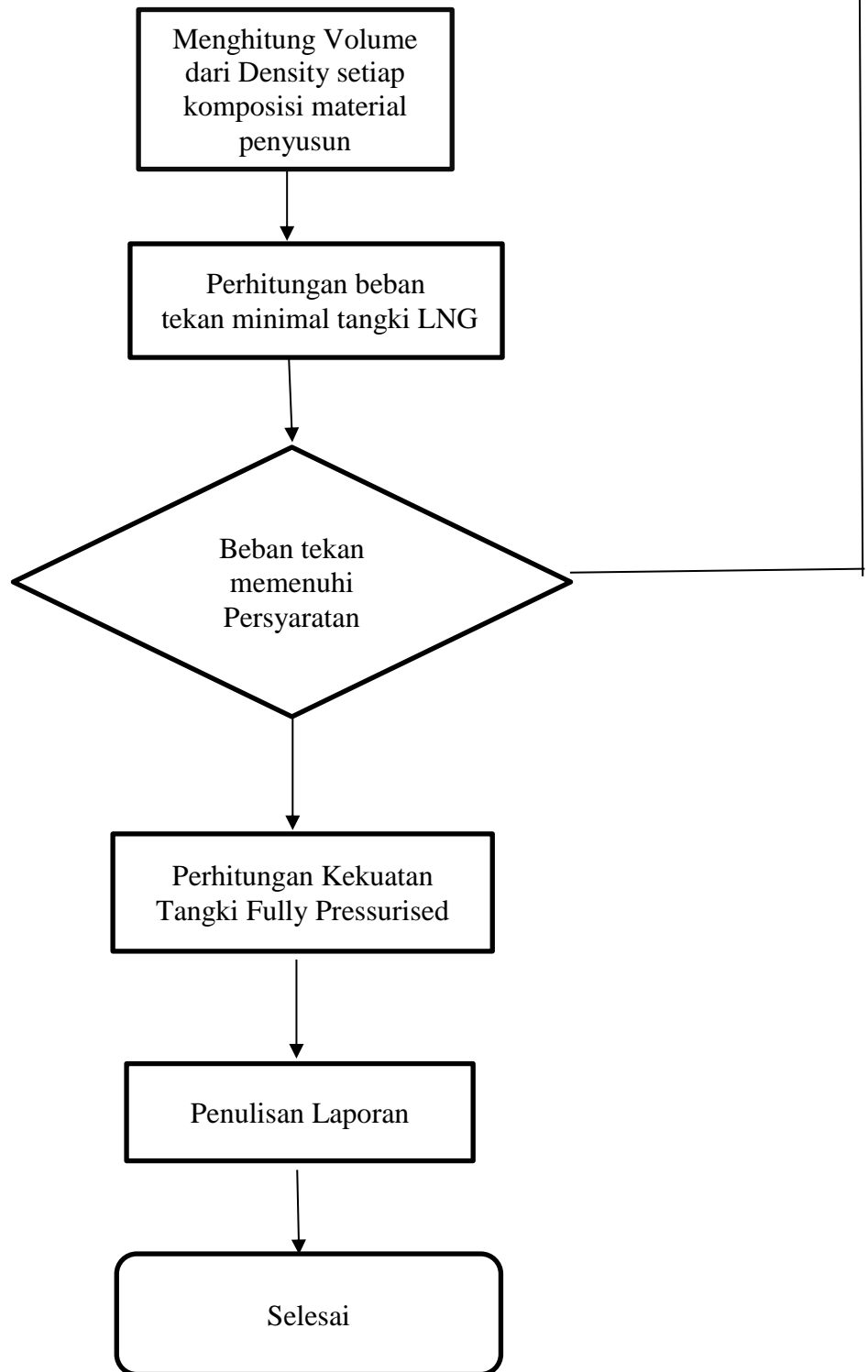


## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1 Bagan Alir

Secara umum metodologi dalam pengerjaan Tugas Akhir diawali dengan studi literatur dan mencari data dimensi tangki. Setelah itu dilanjutkan membuat desain yang akan disimulasikan pada *software ansys*. Sebelum dilakukan simulasi periksa terlebih dahulu *properties* material. Dari hasil simulasi akan dicari nilai *stress* dan deformasi pada tangki LNG. Setelah itu dapat dihitung kekuatan material dari tangki LNG. Pada Gambar 3.1 dijelaskan diagram alir pada penelitian.





Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2 Data Kapal

Kapal yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kapal dari perusahaan X 15000 DWT dengan *main dimension* sebagai berikut :

LOA : 139 m

LWL : 131.4 m

B : 23.5 m

H : 11 m

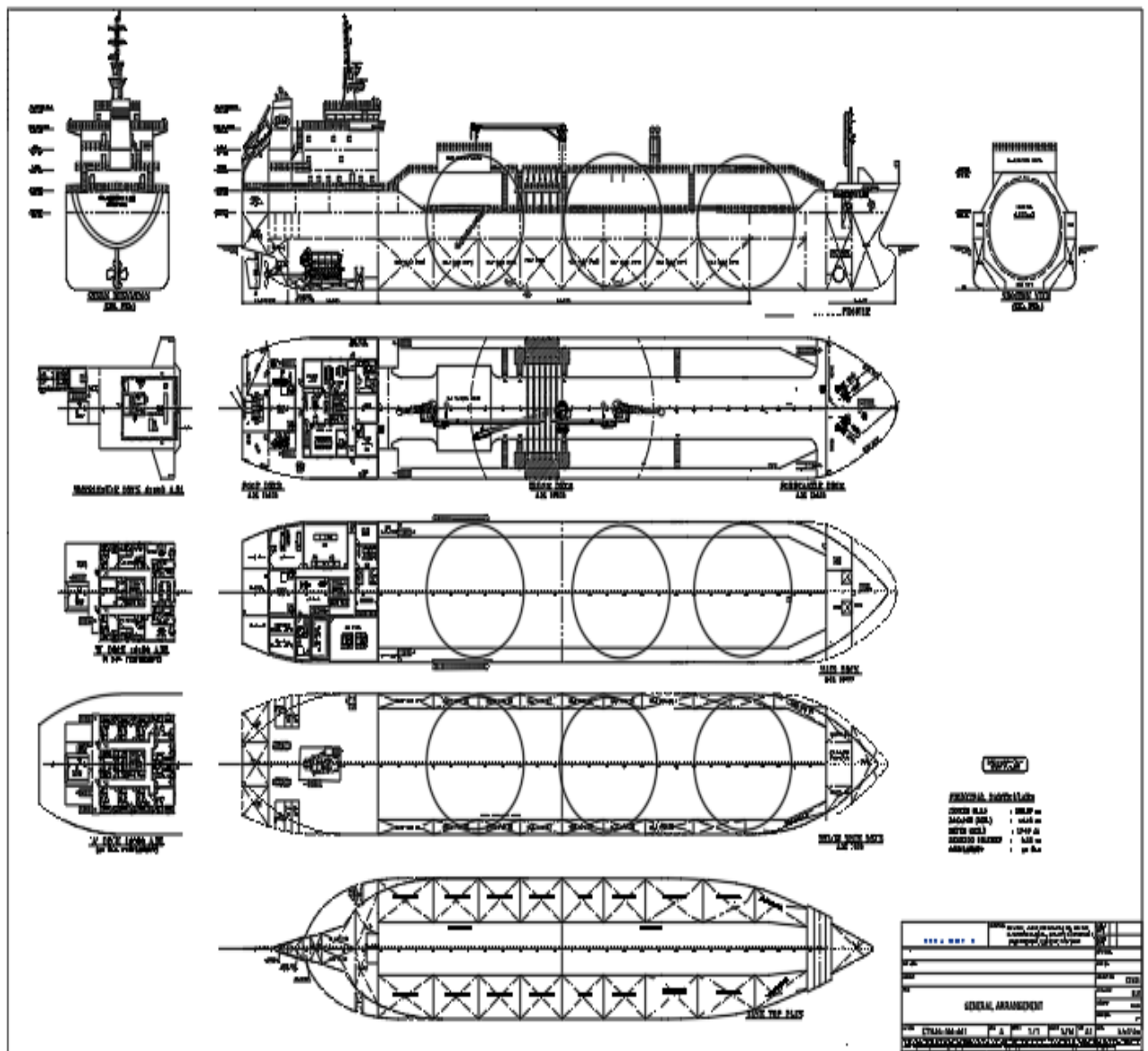
T : 6.5 m

Vs : 20 knot

Power : 4500 kW

Crew : 20 orang

Adapun *general arrangement* pada kapal dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3-2 *General Arrangement*



### 3.3 Penentuan Awal Dimensi *Pressure Vessel Spheretical*

Penentuan awal dimensi tangki didasarkan volume tangki. Pada data kapal Perusahaan X tangka yang digunakan sebagai pengangkut LNG dengan muatan volume sebesar 5000 m<sup>3</sup>. Tangki dirancang kuat dengan suhu -160°C untuk bisa dimuatkan LNG. Untuk mencari dimensi dari volume yang ada dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{\pi}{6} D^3 \dots\dots\dots (3.1)$$

Dari persamaa tersebut didapatkan diameter pada dalam tangki sebesar 21,226 m dan untuk diameter pada luar tangki sebesar 21,23 m. Tangki dalam dan luar akan dilakukan *cladding* untuk menguatkan material.

#### 3.3.1 Tebal *Shell*

Tebal *shell* dapat dicari berdasarkan tekanan operasi bejana tekan tersebut melalui persamaan tebal persamaan tegangan akibat tekanan internal. Persamaan 3.2 untuk menghitung tebal *shell* sebagai berikut:

$$t_{shell} = \frac{PR}{SE - 0,6 P} \dots\dots\dots (3.2)$$

Di mana :

- P : *Design Pressure*
- R : Jari-jari
- S : *Stress Value*
- E : *Joint Efficiency*

*Design pressure* didapatkan dari nilai tekanan dari LNG sebesar 18 *barg* dengan persamaan satuan menjadi 1,8 MPa karena 1 *barg* senilai dengan 0,1 MPa. *Stress value* adalah tegangan yang diizinkan dimodifikasi lebih lanjut untuk memperhitungkan durasi beban. Efisiensi sambungan adalah faktor yang diperlukan dalam semua perhitungan kepala dan *shell* yang menjelaskan seberapa dekat sambungan las yang sudah selesai mendekati kualitas bahan induk yang mulus. Setelah proses perhitungan akan didapatkan tebal *required* sebagai tebal minimal di mana untuk tebal material harus melebihi atau sama dengan hasil dari tebal minimum tersebut yang akan dipakai untuk proses analisa untuk mengetahui kekuatan dari material tangki LNG.

##### 3.3.1.1 Tebal *shell* SA 240 Gr 304 dengan SA 353

Pada proses perhitungan tebal *shell* pada tangki SA 240 Gr 304 dengan SA 353 dengan menggunakan *design pressure* 1,8 MPa, Jari-jari 10,615 meter, *stress value* 8,5 x 10<sup>7</sup>

kg/m<sup>2</sup> karena nilai dari *stress allowance* dari material SA 204 Gr 304 12000 psi, serta *joint efficiency* 0,85. Sehingga proses perhitungan sebagai berikut :

$$t_{shell} = \frac{18000000 \times 10,615}{(850000000 \times 0,85) - (0,6 \times 1800000)}$$

$$t_{shell} = 26,44567mm$$

Pada proses perhitungan tebal *shell required* sebesar 26,44567mm, sehingga tebal yang akan digunakan pada *shell* sebesar 28 mm. Pembulatan ketebalan tangki menjadi genap karena tangki terdiri dari dua lapisan dengan setiap lapisan memiliki tebal yang sama. Apabila tebal tangki ganjil akan mengakibatkan tebal dari lapisan penyusun tangki akan sulit pada keadaan di lapangan dengan tebal tersebut. Pada tangki lapisan dalam dengan material SA 240 Gr 304 tebal 14 mm dan lapisan luar dengan material SA 353 tebal 14 mm. Pada Tabel 3.1 *shell thickness* SA 240 Gr 304 dengan SA 353

Tabel 3.1 *Shell Thickness* SA 240 Gr 304 dengan SA 353

Shell Thickness ASME Sec VIII DIV.1 UG-27		
MOC	SA 240 SA 353	
Radius	10,615	m
Design Temperature	-160	o C
Design Pressure	1800000	PA
Stress Value	850000000	Kg/m2
Joint Efficiency	0,85	
Corrossion Allownace	0	

$\frac{PR}{SE - 0.6 P} = 26,44567 mm$		
Required Thickness	26,44567	mm
Consinder Thickness	28	mm

### 3.3.1.2 Tebal *shell* SA 240 Gr 304 dengan K 400

Pada proses perhitungan *shell* pada tangki SA 240 Gr 304 dengan K 400 dengan menggunakan *design pressure* 1,8 MPa, Jari-jari 10,615 meter, *stress value* 8,5 x 10<sup>7</sup> kg/m<sup>2</sup> karena nilai dari *stress allowance* dari material SA 204 Gr 304 12000 psi, serta *joint efficiency* 0,85. Sehingga proses perhitungan sebagai berikut :

$$t_{shell} = \frac{1800000 \times 10,615}{(850000000 \times 0,85) + (0,6 \times 1800000)}$$

$$t_{shell} = 26,44567 mm$$

Pada proses perhitungan tebal *shell required* sebesar 26,44567mm, sehingga tebal yang akan digunakan pada *shell* sebesar 28 mm. Pembulatan ketebalan tangki menjadi genap karena tangki terdiri dari dua lapisan dengan setiap lapisan memiliki tebal yang sama. Apabila tebal tangki ganjil akan mengakibatkan tebal dari lapisan penyusun tangki akan sulit pada keadaan di lapangan dengan tebal tersebut. Pada tangki lapisan dalam dengan material SA 240 Gr 304 tebal 14 mm dan lapisan luar dengan material Monel 400 tebal 14 mm. Pada Tabel 3.2 *shell thickness* pada SA 240 Gr 304 dengan Monel 400

Tabel 3.2 *Shell Thickness* SA 240 Gr 304 dengan Monel 400

Shell Thickness ASME Sec VIII DIV.1 UG-27		
MOC	SA 240 SA 353	
Radius	10,615	m
Design Temperature	-160	o C
Design Pressure	1800000	PA
Stress Value	850000000	Kg/m <sup>2</sup>
Joint Efficiency	0,85	
Corrossion Allowance	0	

$\frac{PR}{SE - 0.6 P} = 26,44567 \text{ mm}$		
Required Thickness	26,44567	mm
Consinder Thickness	28	mm

### 3.3.1.3 Tebal *shell* SA 353 dengan K 400

Pada proses perhitungan *shell* pada tangka SA 353 dengan K 400 dengan menggunakan *design pressure* 1,8 MPa, Jari-jari 10,615 meter, *stress value*  $1,5 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$  karena nilai dari *stress allowance* dari material SA 353 20000 psi, serta *joint efficiency* 0.85. Sehingga proses perhitungan sebagai berikut :

$$t_{shell} = \frac{2000000 \times 10,615}{(150000000 \times 0,85) - (0,6 \times 1800000)}$$

$$t_{shell} = 26.995 \text{ mm}$$

Pada proses perhitungan tebal *shell required* sebesar 26.995 mm, sehingga tebal yang akan digunakan pada *shell* sebesar 28 mm. Pembulatan menjadi 28 mm karena untuk pelat ganjil akan mengalami kesulitan dalam proses pembuatan tangki. Pada Tabel 3.3 *shell thickness* pada SA 353 dengan K 400

Tabel 3.3 *Shell Thickness SA 353 dengan Monel 400*

Shell Thickness ASME Sec VIII DIV.1 UG-27		
MOC	SA 353 K 400	
Radius	10,615	m
Design Temperature	-160	o C
Design Pressure	2000000	PA
Stress Value	1500000000	Kg/m <sup>2</sup>
Joint Efficiency	0,85	
Corrossion Allownace	0	

$$\frac{PR}{SE - 0.6 P} = 26.99576 \text{ mm}$$

Required Thickness	26.99576	mm
Consinder Thickness	28	mm

### 3.4 Proses Analisa

Proses analisa dilakukan dengan menggunakan *software Ansys* yang akan membantu memodelkan dan mensimulasikan model untuk mendapat nilai dari kekuatan material. Permodelan masalah dilakukan dengan metode elemen hingga, di mana metode elemen hingga adalah prosedur numerik yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah rekayasa yang *analytical solution* tidak dapat diselesaikan. Penyelesaian dengan menggunakan metode elemen hingga menghasilkan sebuah persamaan dari suatu masalah yang akan dianalisa dalam suatu persamaan agar didapatkan sebuah penyelesaian. Penyelesaian metode elemen hingga akan memberikan hasil pendekatan dari nilai sebenarnya yang tidak diketahui pada suatu titik tertentu dalam sistem kontinyu.

#### 3.4.1 *Engineering Data*

Akses data input material untuk simulasi dengan mudah, dengan cakupan kelas material yang luas, dari dalam alat Ansys. Dataset baru ini diambil dari pustaka data bahan standar industri, menyediakan data properti material yang diperlukan untuk analisis struktural. Setiap lembar data dalam kumpulan data *Material Data for Simulation* utama mewakili jenis bahan generik, bukan produk tertentu dari produsen bahan. Ini berarti bahwa setiap catatan memberikan nilai perwakilan untuk properti yang ditawarkan oleh berbagai nilai yang tersedia dari bahan. Tujuannya adalah untuk mendukung fase awal desain dan menyediakan

sumber referensi yang luas untuk mendukung simulasi, membantu pengguna untuk mendapatkan hasil yang dapat diandalkan dengan cepat. Pengguna Ansys Maxwell akan menemukan set data tambahan yang menyediakan kurva B-H dan data *core loss* untuk lebih dari 500 nilai magnet khusus produsen. material, memungkinkan analisis yang lebih tepat untuk kelas-kelas utama simulasi elektromekanis. Pada *Engineering data* akan ditentukan *properties* material yang dilengkapi dengan *data base* material sesuai dengan ASME sehingga analisis dapat dilakukan dengan baik. Untuk analisis tangki LNG, material yang akan digunakan antara lain, *stainless steel* SA 240 Gr 304, *low carbon steel* SA 353, dan monel K 400. *Properties* material dari 3 material yang digunakan seperti pada Gambar 3.3

### Material Data

#### Monel 400

TABLE 20  
Monel 400 > Constants  
Density | 8.5e-006 kg mm<sup>-3</sup>

TABLE 21  
Monel 400 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
-160	2.e+005	0.32	1.8519e+005	75758

TABLE 22  
Monel 400 > Tensile Yield Strength  
Tensile Yield Strength MPa  
1500

TABLE 23  
Monel 400 > Compressive Yield Strength  
Compressive Yield Strength MPa  
700

#### SA 353

TABLE 24  
SA 353 > Constants  
Density | 7.85e-006 kg mm<sup>-3</sup>

TABLE 25  
SA 353 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
-160	2.e+005	0.3	1.6607e+005	76603

TABLE 26  
SA 353 > Tensile Yield Strength  
Tensile Yield Strength MPa  
750

TABLE 27  
SA 353 > Compressive Yield Strength  
Compressive Yield Strength MPa  
515

#### SA 240

TABLE 28  
SA 240 > Constants  
Density | 8.e-006 kg mm<sup>-3</sup>

TABLE 29  
SA 240 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
-160	2.e+005	0.29	1.5873e+005	77519

TABLE 30  
SA 240 > Tensile Yield Strength  
Tensile Yield Strength MPa  
515

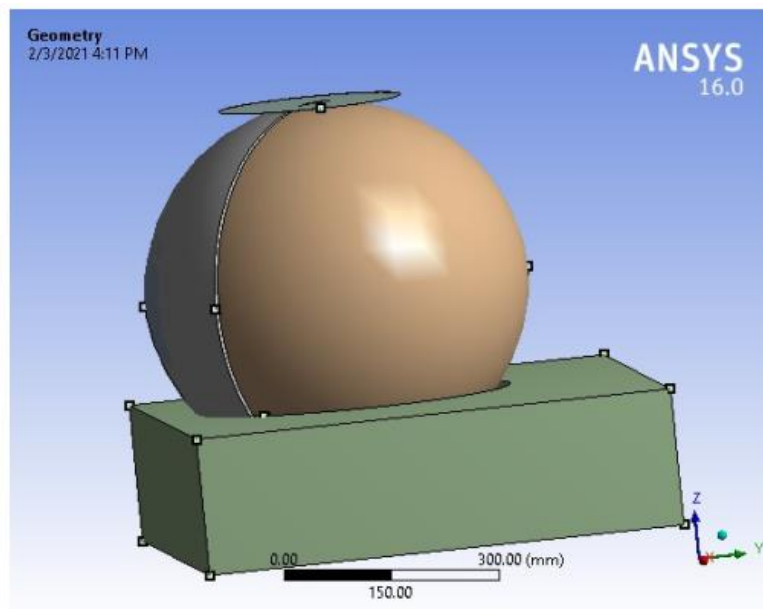
TABLE 31  
SA 240 > Compressive Yield Strength  
Compressive Yield Strength MPa  
215

Gambar 3. 3 Data Material

### 3.4.2 Geometry

Pemodelan geometri di lingkungan *Ansys Workbench* sangat otomatis dan juga memberikan fleksibilitas kepada pengguna untuk menyesuaikan sesuai dengan jenis analisis atau aplikasi. Perangkat lunak *Ansys Design Modeler* parametrik berbasis fitur dapat digunakan untuk membuat geometri parametrik dari awal atau untuk menyiapkan geometri CAD yang ada untuk analisis. Ini mencakup opsi otomatis untuk penyederhanaan, pembersihan, perbaikan, dan *defeaturing*. Simulasi sering menuntut kemampuan pemodelan unik yang tidak diperlukan oleh operasi desain berbantuan komputer. Oleh karena itu, kapabilitas ini kurang baik dalam sistem CAD atau diimplementasikan dengan cara yang tidak optimal untuk melakukan simulasi. *Ansys Design Modeler* menyediakan fungsi pemodelan unik untuk simulasi yang mencakup pembuatan geometri parametrik, pembuatan model konsep, modifikasi geometri CAD, pembersihan dan perbaikan otomatis, dan beberapa alat khusus yang dirancang untuk aliran fluida, struktural dan jenis analisis lainnya.

Pada *geometry* masukkan model yang sudah ada pada *software Ansys* untuk dianalisa. Setelah itu, sesuaikan material yang telah dipilih pada *properties* material sesuai dengan permodelan yang telah dilakukan. Periksa pada bagian sambungan pada model agar saat disimulasikan model telah tersambung satu dengan lainnya. Model tertera pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Model Pada Geometri ANSYS

### 3.4.3 Meshing

*Meshing* adalah proses yang penting untuk proses permodelan karena proses membagi komponen menjadi elemen-elemen kecil. *Meshing* digunakan pada akurasi

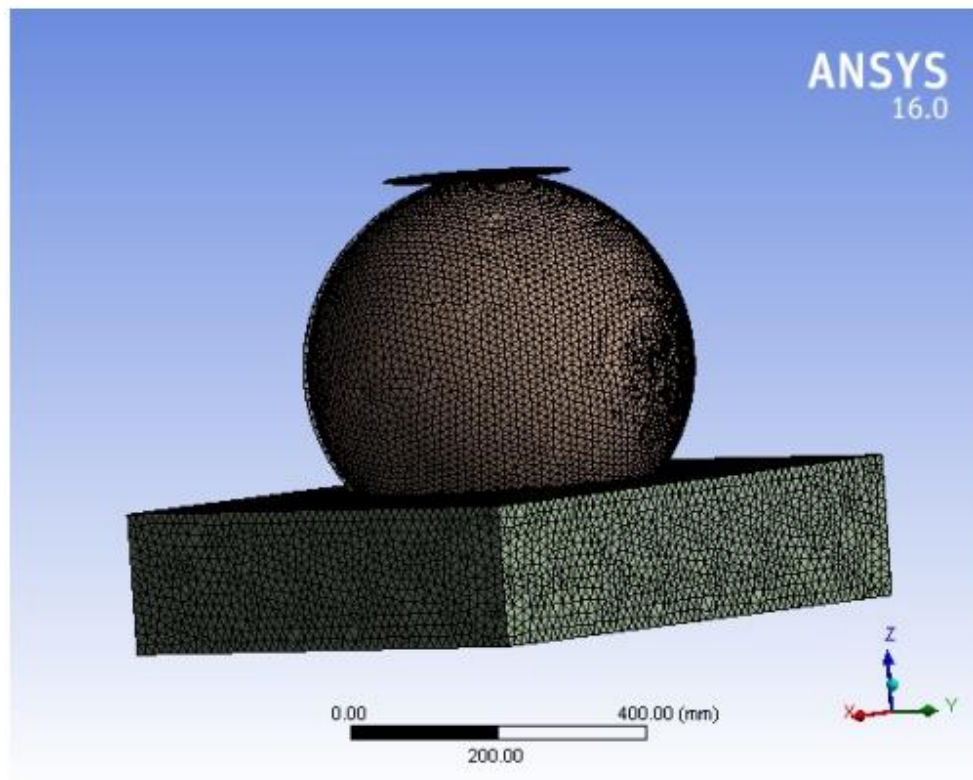
komputasi yang diperlukan dan aspek rasio. *Meshing* dilakukan dengan manual dengan membagi *domain* menjadi beberapa tambalan dan mengautkan tambalan demi tambalan dan terus memastikan konektivitas tambalan. Memastikan konektivitas sebagian besar otomatis berdasarkan pemeriksaan berbasis toleransi. Aliran *mesh* menunjukkan transformasi ukuran elemen. Ketika mewakili fitur yang kompleks, ukuran elemen akan berubah dari yang lebih besar ke kecil. Hal ini seharusnya tidak terjadi dalam secara sekejap dan perubahan ukuran secara bertahap dapat dipertahankan. Bagian simetris memiliki *mesh* simetris untuk menjaga hasil dari metode elemen hingga. Kualitas *meshing* yang baik antara lain :

1. Sudut *warpage* kurang dari 5 derajat dihitung dengan memisahkan *quad* menjadi dua trias dan menemukan sudut antara dua bidang yang membentuk trias
2. Rasio aspek kurang dari 5 membagi sisi panjang maksimum elemen dengan sisi panjang minimum elemen.
3. Kemiringan sudut lebih dari 60 derajat sudut minimum antara vektor dari setiap *node* ke sisi-tengah yang berlawanan dan vektor antara dua sisi-sisi yang berdekatan di setiap *node* elemen. Sembilan puluh derajat minus sudut minimum yang ditemukan dilaporkan.
4. *Jacobian* lebih dari 0,7 Rasio *Jacobian* adalah ukuran penyimpangan elemen yang diberikan dari elemen yang idealnya berbentuk. Nilai *Jacobian* berkisar dari -1.0 hingga 1.0, di mana 1.0 mewakili elemen berbentuk sempurna. Bentuk ideal untuk suatu elemen tergantung pada jenis elemen.
5. Elemen tria dengan sudut antara 20 dan 120 derajat
6. Elemen *quad* dengan sudut antara 45 dan 135 derajat
7. Pertahankan panjang minimum dan maksimum
8. Konektivitas elemen
9. *Tet collapse* untuk elemen tetra Didefinisikan sebagai jarak *node* dari wajah yang berlawanan dibagi dengan luas wajah dikalikan dengan 1,24

Analisis elemen hingga membutuhkan *mesh* yang benar untuk memberikan hasil yang benar. Kebenaran ini tidak dapat didefinisikan dengan beberapa parameter dan bahkan kemudian akan bertentangan. Definisi kualitas *mesh* berbeda. Material, geometris, dan kontak non-linearitas mempersulit persyaratan lebih lanjut sambil mendefinisikan *mesh* yang baik. Satu hambatan awal yang saya amati menggunakan fitur *automesh* adalah representasi geometri yang salah untuk menjaga kualitas *mesh* dalam aspek lain. Keduanya penting. Juga, representasi geometri dapat disederhanakan dengan penilaian teknik yang baik yang sulit

untuk diotomatisasi karena bervariasi kasus per kasus. Sebagai contoh, *Hypermesh* adalah paket meshing komersial yang sangat populer dari *Altair Engineering* yang memiliki aplikasi *Batchmesher* yang melakukan meshing. Namun, gagal mempertahankan penyimpangan geometri yang tepat dan koneksi antara elemen untuk bagian kompleks.

Pada proses *meshing* menggunakan *face sizing* dan *patch independent method* yang akan membagi geometri secara elemen-elemen yang lebih kecil. *Face sizing* pada model berukuran 25 mm. *Patch independent method* dengan sudut  $30^{\circ}$  dengan minimal *size* 5 mm pada lapisan dalam tangki. Pada lapisan luar tangki diberikan *patch independent method* dengan sudut  $30^{\circ}$  dengan minimal *size* 10 mm. Selain itu, pada *mesh edit* menggabungkan *element-element* pada *shell* yang menumpu pada lapisan las-lasan penghubung model yang digunakan. *Meshing* tertera pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Proses *Meshing*

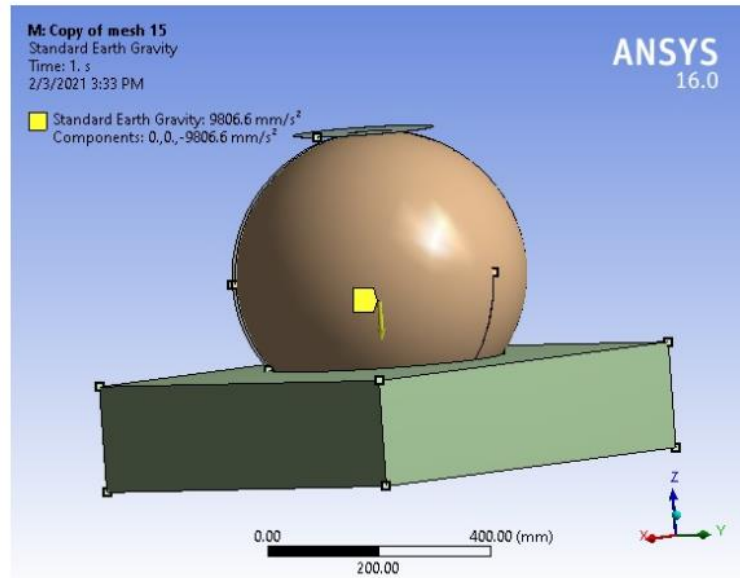
#### 3.4.4 *Solution*

Dalam *solution* pada *Ansys* model diberikan gaya, beban, dan *support* pada model untuk proses pengujian dalam *ansys*. Pada model ini diberikan beberapa beban, gaya, dan *support* antara lain :



## 1. Gaya gravitasi

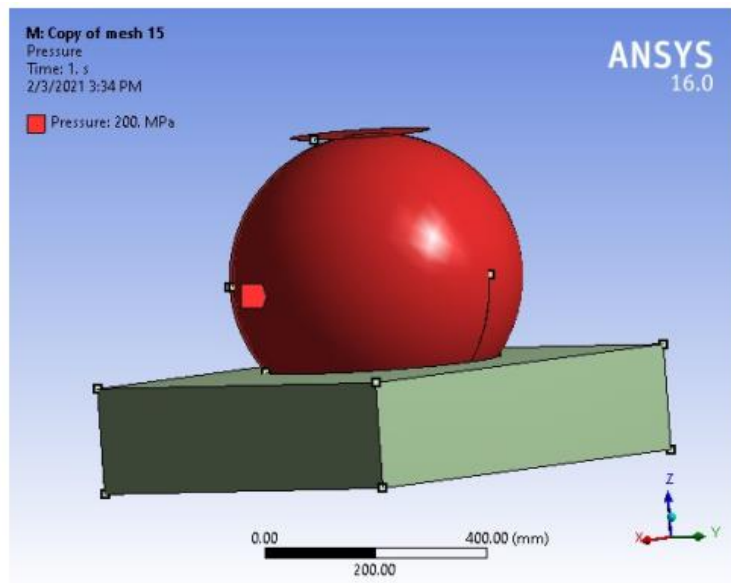
Pada model ini diberikan gaya gravitasi sebesar  $9.8086 \text{ m/s}^2$  yang memberikan gaya pada model seperti tertera pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Gaya Gravitasi Pada Model

## 2. Pressure

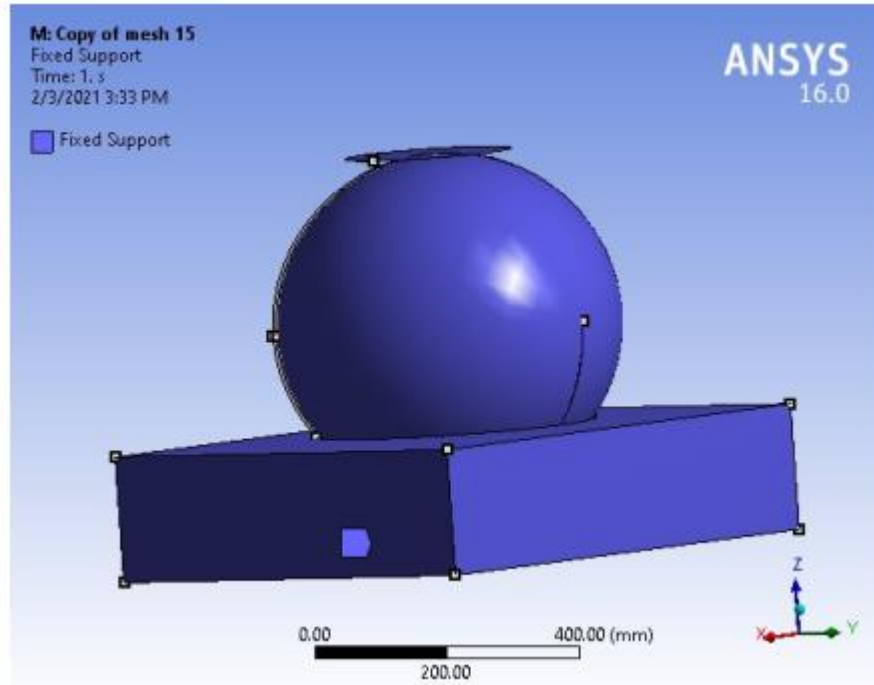
Model diberikan *pressure* pada *shell* seperti yang tertera pada Gambar 3.7 sebesar dari tegangan izin sesuai dengan besar nilai dari *yield strength* material, pada material SA 240 Gr 304 diberikan *pressure* 200 MPA dan SA 353 diberikan *pressure* 500 Mpa.



Gambar 3.7 Pressure yang Diberikan Model

### 3. *Fix Support*

Pada *Fix Support* model akan diberikan dukungan untuk seluruh bagian model seperti pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 *Fix Support* Pada Model

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Teknis

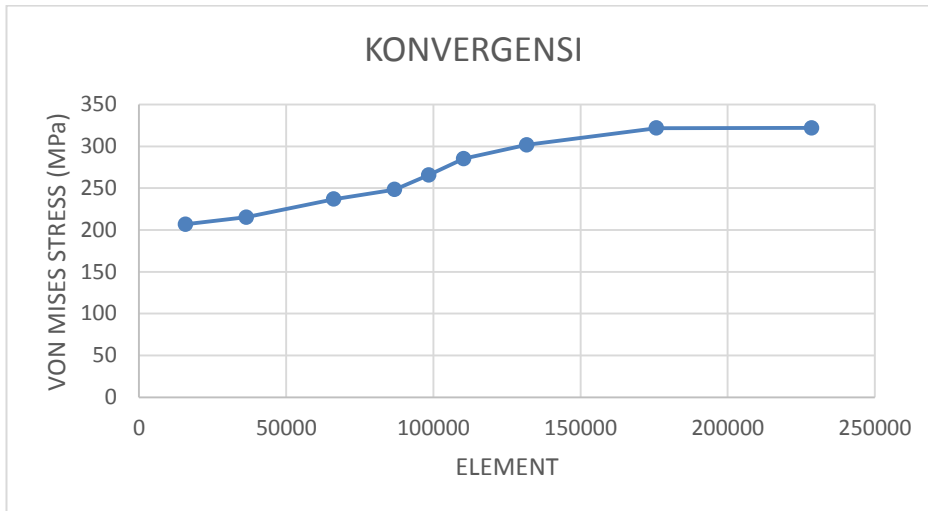
Data hasil pengujian ditampilkan dalam gambar hasil analisis pada *software Ansys von mises stress*. Dari data tersebut selanjutnya akan dianalisa menggunakan grafik untuk mendapatkan hasil *von mises stress*, deformasi, dan *safety factor*.

#### 4.1.1 Konvergensi

Konvergensi model dilakukan dengan merubah *element size* saat melakukan *meshing* pada model. Rentang atau jarak *element size* untuk material SA 240 Gr 304 dengan dilapisi SA 353 mulai dari 50 mm, 40 mm, 30mm, 20 mm, 17.5 mm setiap analisis diberikan *pressure* sebesar 200 MPa. Hasil konvergensi tertera pada Tabel 4.1 dan grafik konvergensi tertera pada Gambar 4.1

Tabel 4.1 Hasil Konvergensi SA 240 dengan Monel K 400

Meshing	Element	Stress
75	15802	206,87
50	36414	215,32
40	66136	236,92
30	86842	248,43
27	98484	265,66
25	110290	285,27
23	131704	301,72
20	175763	321,73
17	228524	322,09



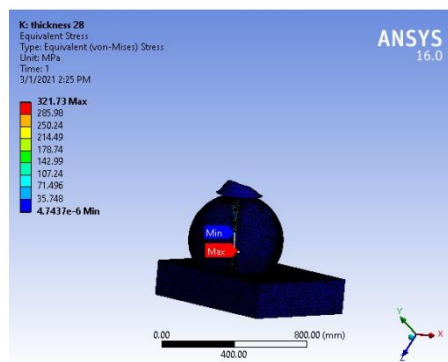
Gambar 4.1 Grafik Konvergensi SA 240 Gr 304 dengan SA 353

#### 4.1.2 Hasil Analisis Model

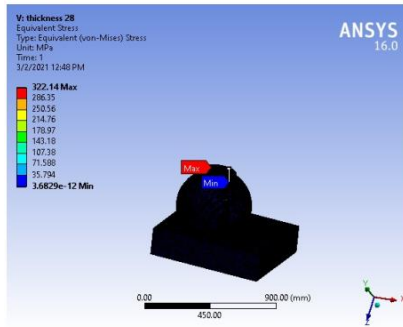
Pada analisis yang dilakukan *software ANSYS* akan melakukan premodelan matematis dari gaya dan beban yang telah diberikan. Pada hasil analisis didapatkan berupa *von mises stress*, deformasi, dan *safety factor*.

##### 4.1.2.1 Von Mises Stress

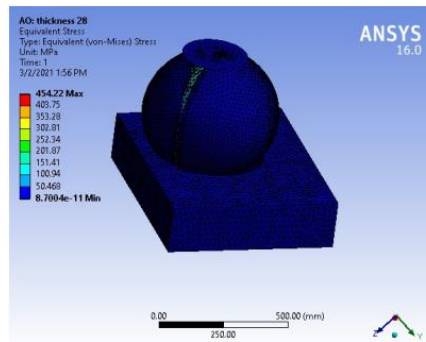
*Von Mises Stress* adalah resultan dari semua tegangan yang terjadi diturunkan dari *principal axes* dan berhubungan dengan *principal stress*. Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4.



Gambar 4.2 Hasil Analisis pada Material SA 240 dan SA 353



Gambar 4.3 Hasil Analisis Material SA 240 dan Monel 400



Gambar 4.4 Hasil Analisis Material SA 353 dan Monel 400

Hasil analisis mendapatkan tegangan maksimum pada setiap material yang dikombinasikan tertera pada Tabel 4.2.

Tabel. 4.2 Hasil Analisis *Von Mises Stress*

Jenis Material	Nilai Stress (Mpa)
SA 240 & SA 353	321,73
SA 240 & Monel 400	322,14
SA 353 & Monel 400	454,22

#### 4.1.2.2 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah objek karena Sebuah diterapkan gaya. Hasil analisis deformasi pada model pada setiap material yang dikombinasikan tertera pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Analisis Deformasi

Jenis Material	Deformasi(mm)
SA 240 & SA 353	0,078
SA 240 & Monel 400	0,078
SA 353 & Monel 400	0,128

### 4.1.2.3 Safety Factor

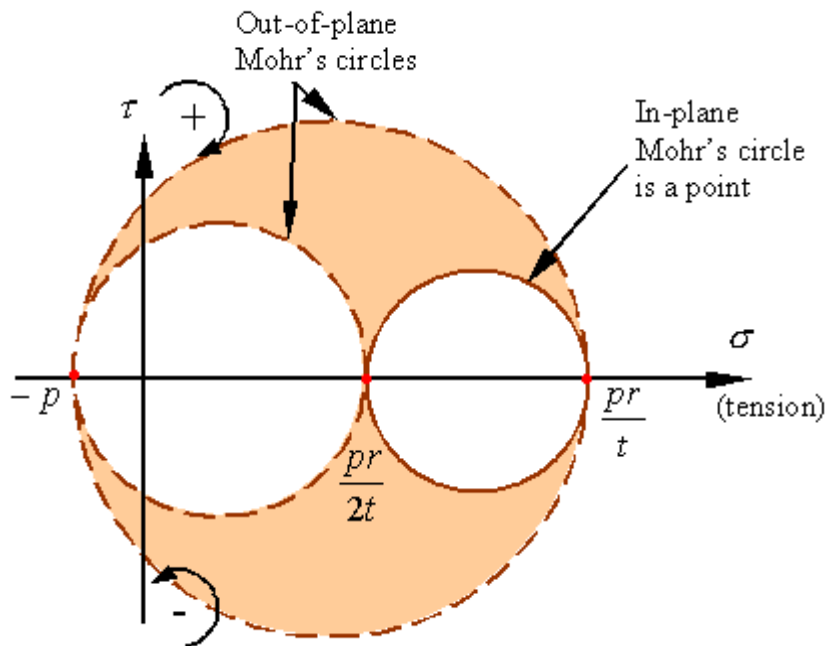
*Safety Factor* adalah patokan yang paling utama yang digunakan dalam menentukan dari kualitas dari suatu desain. *Safety factor* menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan untuk dapat menerima beban dari luar dalam hal ini adalah beban tekan. Hasil dari *safety factor* tertera pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil *Safety Factor*

Jenis Material	Safety Factor
SA 240 & SS 353	2,56
SA 240 & Monel 400	4,66
SA 353 & Monel 400	3,3

### 4.1.3 Validasi Model

Validasi data model dilakukan dengan perhitungan matematis terhadap *stress* maksimum. Lingkaran Mohr di dalam dan di luar bidang untuk elemen tegangan yang diambil dari permukaan bagian dalam bejana tekan akan terlihat (Negahban,Mehrad;2000) sebagai berikut tertera pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Lingkaran Mohr

Persamaan *Hoop Stress* sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P \times r}{2 \times t} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dari persamaan 4.1 maka pada tangki SA 204 Gr 304 dengan SA 353 dan SA 204 Gr 304 dengan Monel 400

$$\sigma = \frac{1800000 \times 10,615}{2 \times 0,028}$$

$$= 341,196 \text{ Mpa}$$

Proses perhitungan analitik pada tangki SA 353 dengan Monel 400

$$\sigma = \frac{2000000 \times 10,615}{2 \times 0,028}$$

$$= 473,884 \text{ Mpa}$$

Persamaan Longitudinal pada tangki SA 204 Gr 304 dengan SA 353 dan SA 204 Gr 304 dengan Monel 400

$$\sigma = \frac{(180000 \times 21,23)}{0,028}$$

$$= 68,239 \text{ Mpa}$$

Persamaan Longitudinal pada tangki SA 204 Gr 304 dengan SA 353 dan SA 204 Gr 304 dengan Monel 400

$$\sigma = \frac{(200000 \times 21,23)}{0,028}$$

$$= 94,777 \text{ Mpa}$$

Perhitungan analitik untuk menentukan nilai *stress* sebagai berikut :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_l^2 - \sigma_h \times \sigma_l} \dots \dots \dots (4.2)$$

Nilai *stress* perhitungan analitik pada pada tangki SA 204 Gr 304 dengan SA 353 dan SA 204 Gr 304 dengan Monel 400

$$\sigma = \sqrt{341,196^2 + 68,239^2 - 341,196 \times 68,239}$$

$$= 312,712 \text{ Mpa}$$

Nilai *stress* perhitungan analitik pada SA 353 dan SA 204 Gr 304 dengan Monel 400

$$\sigma = \sqrt{473,884^2 + 94,777^2 - 473,884 \times 94,777}$$

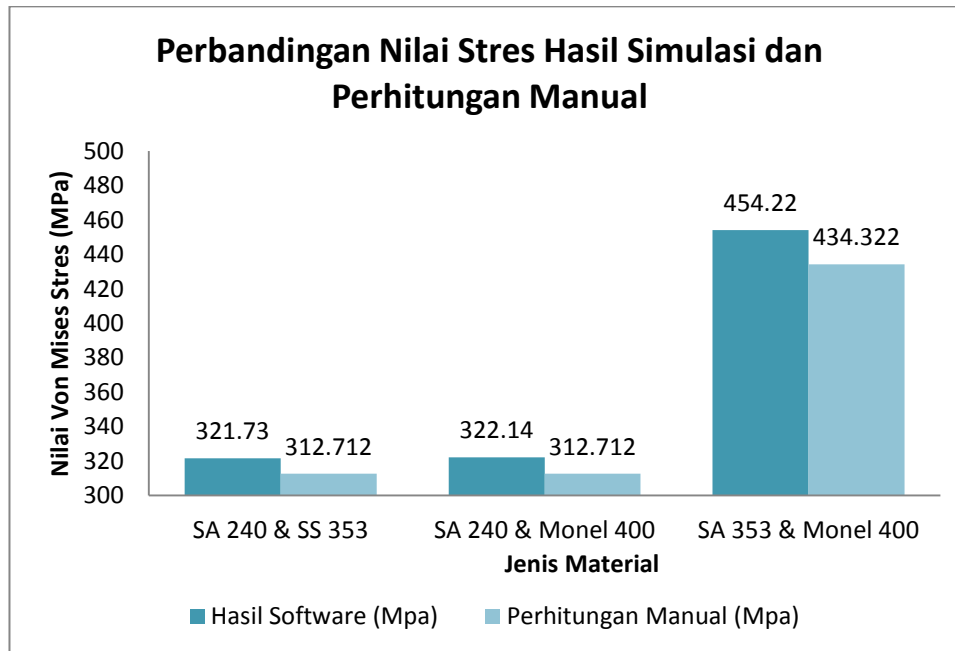
$$= 434,322 \text{ Mpa}$$

Data hasil dalam *software* dan perhitungan manual terdapat pada Tabel 4.4 dan Grafik data pada gambar 4.6.



Tabel 4.4 Hasil Analisis Data pada *Software* dan Perhitungan Manual

Jenis Material	Nilai Stress (MPa)	Perhitungan Manual (MPa)
SA 240 & SA 353	321,73	312,712
SA 240 & Monel 400	322,14	312,712
SA 353 & Monel 400	454,22	434,322



Gambar 4.6 Grafik Analisis

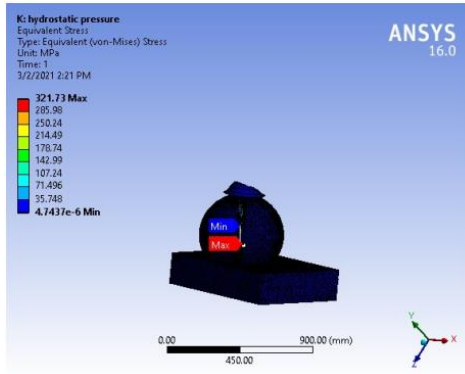
#### 4.1.4 Analisis *Hydrostatic Pressure*

Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang diberikan oleh fluida pada kesetimbangan pada titik tertentu di dalam fluida, karena gaya gravitasi. Peningkatan tekanan hidrostatik sebanding dengan kedalaman yang diukur dari permukaan karena peningkatan berat fluida yang menekan ke bawah dari atas. Maka akan didapatkan nilai *von mises stress*, deformasi, dan *safety factor* tertera pada Tabel 4.5.

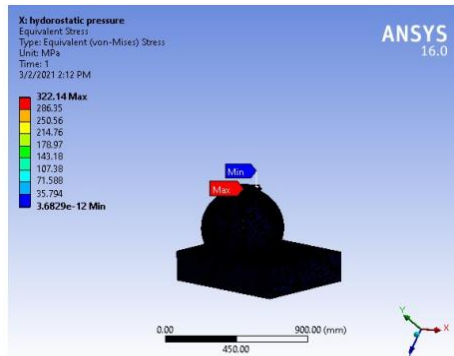
Tabel 4.5 Hasil Analisis *Von Mises Stress* dan Deformasi,

Jenis Material	Nilai Stress (Mpa)	Deformasi (mm)
SA 240 & SA 353	321,73	0,078
SA 240 & Monel 400	322,14	0,078
SA 353 & Monel 400	454,22	0,128

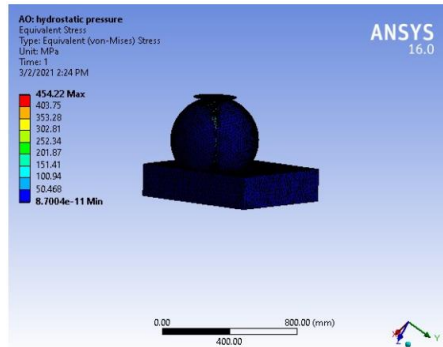
Hasil Analisis tertera pada Gambar 4.7, Gambar, 4.8, dan Gambar 4.9, serta grafik analisis pada gambar 4.10.



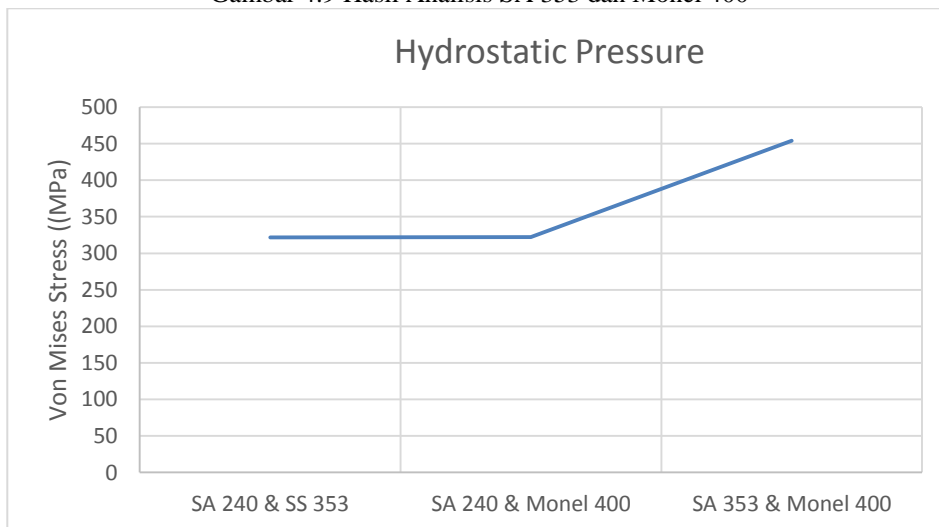
Gambar 4.7 Hasil Analisis SA 204 dan SA 353



Gambar 4.8 Hasil Analisis SA 204 dan Monel 400



Gambar 4.9 Hasil Analisis SA 353 dan Monel 400



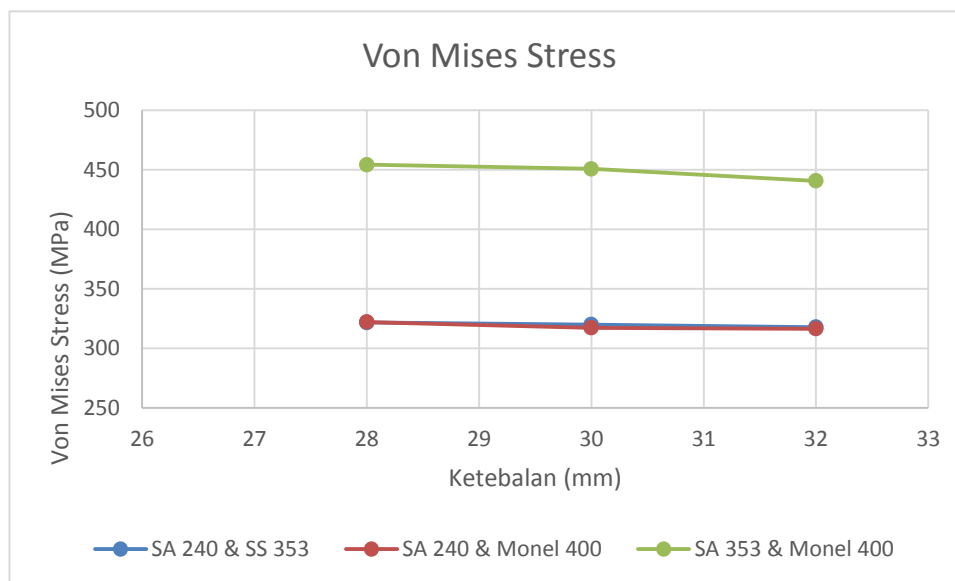
Gambar 4.10 Grafik Analisis Von Mises Stress

#### 4.1.5 Variasi Thickness

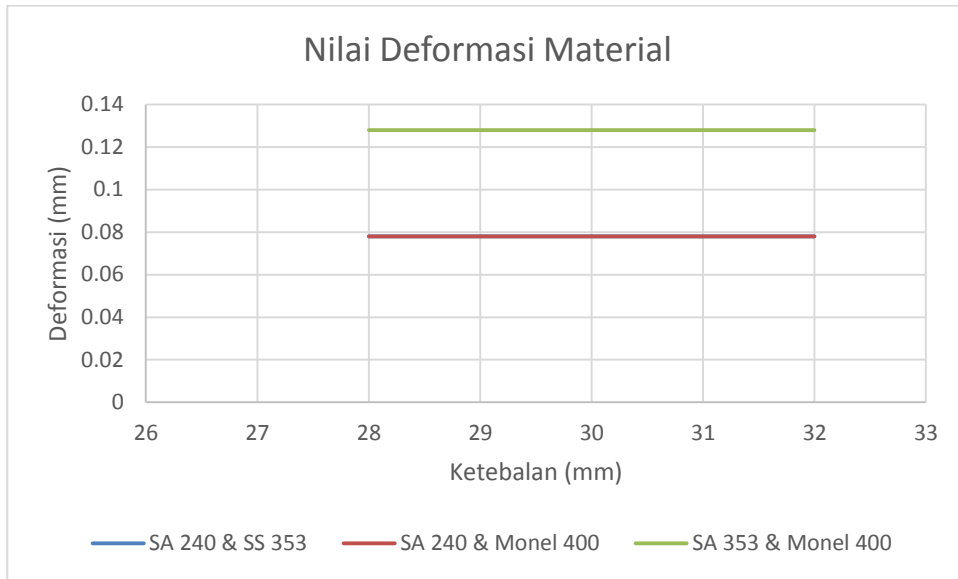
Variasi tebal akan mengetahui tingkat kekuatan material. Variasi yang dilakukan pada material SA 240 Gr 304 dengan SA 353, SA 240 Gr 304 dengan Monel 400, serta SA 353 dengan Monel 400 dengan tebal 28 mm, 30 mm, dan 32 mm. Hasil variasi tebal tertera pada Tabel 4.6, grafik *von mises stress* tebal variasi tertera pada Gambar 4.12, grafik deformasi tebal variasi tertera pada Gambar 4.13, serta grafik keamanan dari tangki dengan tebal variasi tertera pada Gambar 4.14.

Tabel 4.6 Hasil Variasi SA 240 Gr 304 dengan SA 353 dan SA 240 Gr 304 dengan Monel 400

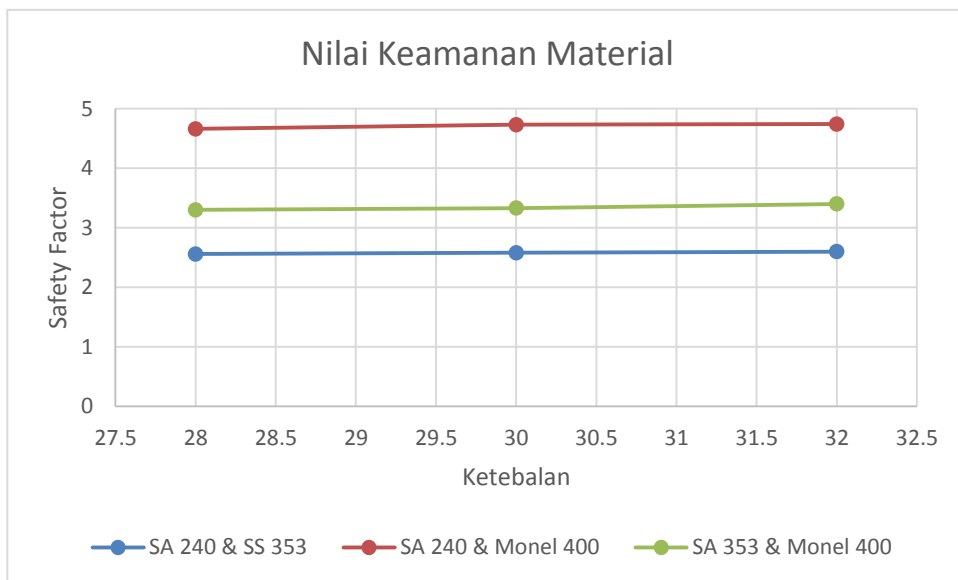
Jenis Material	Nilai Stress (Mpa)			Nilai Deformasi			Safety Factor		
	28 mm	30 mm	32 mm	28 mm	30 mm	32 mm	28 mm	30 mm	32 mm
SA 240 & SS 353	321.73	319,99	317,88	0,078	0,078	0,078	2,56	2,58	2,6
SA 240 & Monel 400	322.14	317,31	316,55	0,078	0,078	0,078	4,66	4,73	4,74
SA 353 & Monel 400	454.22	450,72	440,66	0,128	0,128	0,128	3,3	3,33	3,4



Gambar 4.12 Grafik Variasi Tebal *Von Misses Stress*

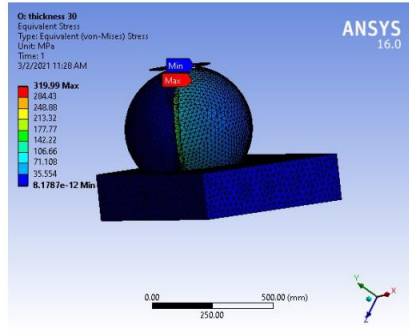


Gambar 4.13 Grafik Variasi Deformasi Tebal

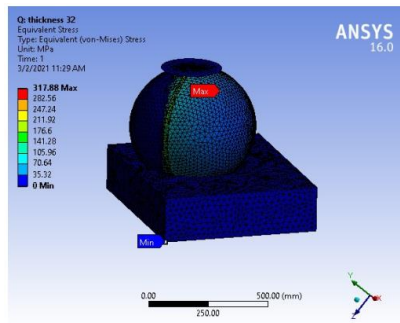


Gambar 4.14 Grafik Variasi Tebal *Safety Factor*

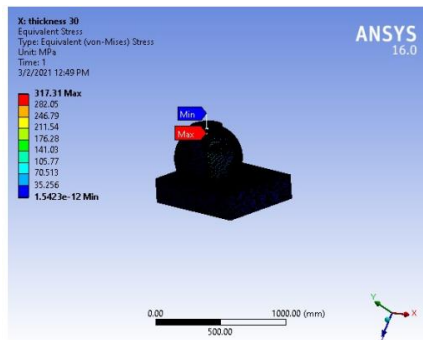
Hasil dari variasi tebal *von mises stress* pada material SA 204 Gr 304 dengan SA 353 tebal 30 tertera pada Gambar 4.15, SA 204 Gr 304 dengan SA 353 tebal 32 tertera pada Gambar 4.16, Material SA 204 Gr 304 dengan Monel 400 tebal 30 tertera pada Gambar 4.17, SA 204 Gr 304 dengan Monel 400 tebal 32 tertera pada Gambar 4.18, Material SA 353 dengan Monel 400 tebal 30 tertera pada Gambar 4.19, SA 353 dengan Monel 400 tebal 32 tertera pada Gambar 4.20



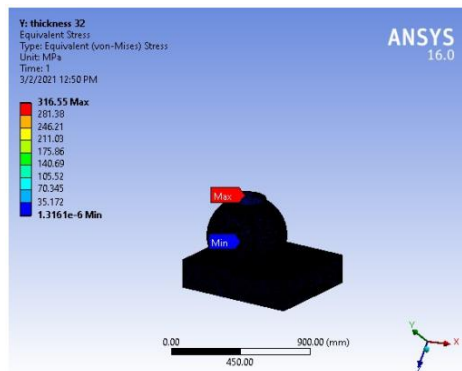
Gambar 4.15 Hasil Analisis Variasi Tebal SA 204 dengan SA 353 tebal 30



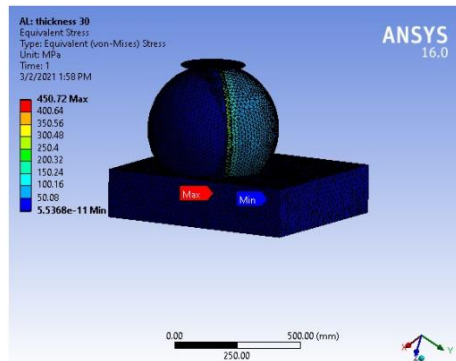
Gambar 4.16 Hasil Analisis Variasi Tebal SA 204 dengan SA 353 tebal 32



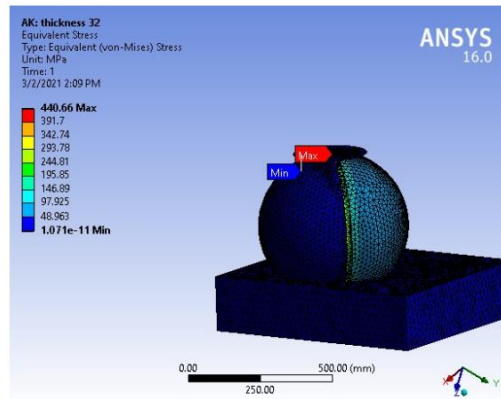
Gambar 4.17 Hasil Analisis Variasi Tebal SA 204 dengan Monel 400 tebal 30



Gambar 4.18 Hasil Analisis Variasi Tebal SA 204 dengan Monel 400 tebal 32



Gambar 4.19 Hasil Analisis Variasi Tebal SA 353 dengan Monel 400 tebal 30



Gambar 4.19 Hasil Analisis Variasi Tebal SA 353 dengan Monel 400 tebal 32

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Nilai kekuatan material pada setiap material antara lain, SA 240 dengan SA 353 memiliki nilai *stress* 321,73 MPa, SA 240 dengan Monel 400 memiliki nilai *stress* 322,14 MPa, serta SA 353 dengan Monel 400 memiliki nilai *stress* 454,22 Mpa.
2. Nilai keamanan material pada setiap material antara lain, SA 240 dengan SA 353 memiliki nilai *safety factor* 2,56, SA 240 dengan Monel 400 memiliki nilai *safety factor* 4,66, serta SA 353 dengan Monel 400 memiliki nilai *safety factor* 3,3.
3. Nilai kekuatan material dengan pengujian *Hydrostatic pressure* pada setiap material antara lain, SA 240 dengan SA 353 memiliki nilai *stress* 321,73 MPa, SA 240 dengan Monel 400 memiliki nilai *stress* 322,14 MPa, serta SA 353 dengan Monel 400 memiliki nilai *stress* 454,22 Mpa.
4. Variasi tebal yang dilakukan tidak ada perubahan *von mises stress* yang signifikan

### 5.2 Saran

1. Penguasaan konsep dasar *pressure vessel* lebih mendalam lagi sehingga dapat memberikan hasil yang lebih baik.
2. Perhitungan biaya tidak dilakukan dalam penelitian ini, apabila lebih baik akan diperhitungkan untuk lebih baik lagi.



Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- ASME. (2014). Spherical Shell. Dalam *ASME Section VIII* (hal. 83-85). New York: American Society of Mechanical Engineering.
- ASTM A370. (2004). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Bureau Verites. (2020). Liquefied Gas Carriers. Dalam *Rule for the Classification of Steel Ships* (hal. 281- 425). Paris: Bureau Verites.
- Bhafikatti, S. (2005). *Finite Element Analysis*. New Delhi: New age international.
- Buthod, E. P., & F, M. (195). Pressure Vessel Handbook. Dalam *Pressure Vessel Handbook*. Oklahoma: Pressure Vessel Inc.
- Firmansyah, A., & Yulianto, T. (2013). Analisis Kekuatan Tangki CNG Ditinjau Dengan Material Logam Lapis Komposit Pada Kapal Pengangkut Compressed Natural Gas. *JURNAL TEKNIK POMITS*.
- Negaban, M. (2000). Spheritcal Pressure Vessel. Dalam *Pressure Vessel*. Nebraska: University of Nebraska.
- Pendbhadje, A. R. (2014). Design and Analysis of Pressure Vessel. *International Journal of Innovative Research in Technology & Science*, 28-34.
- Santoso, N. B. (2014). Pemanfaatan LNG Sebagai Sumber Energi di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Proses*.
- Soegiono, & Artana, K. B. (2006). Transportasi LNG Indonesia. Surabaya: Airlangga University Press.



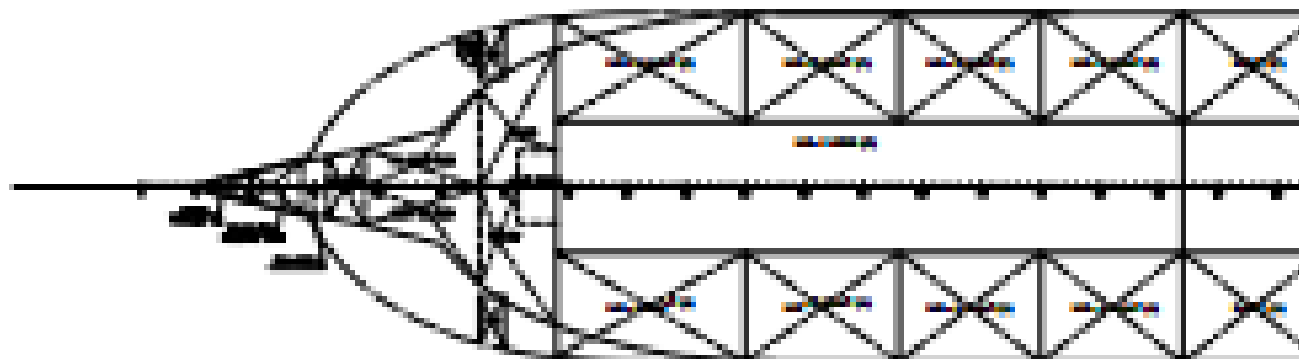
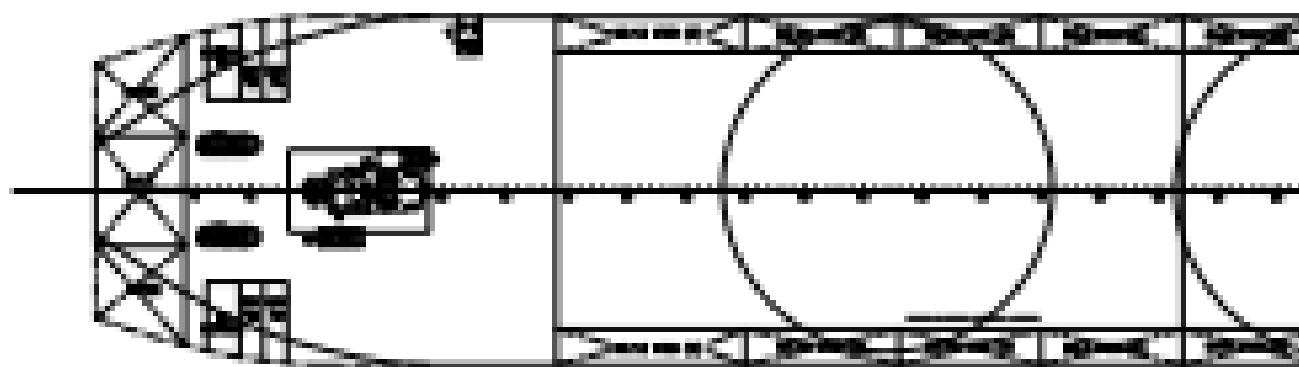
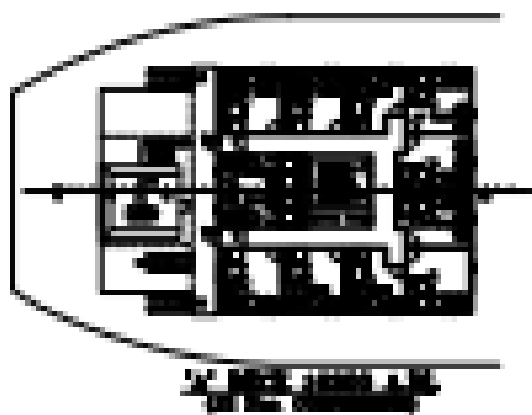
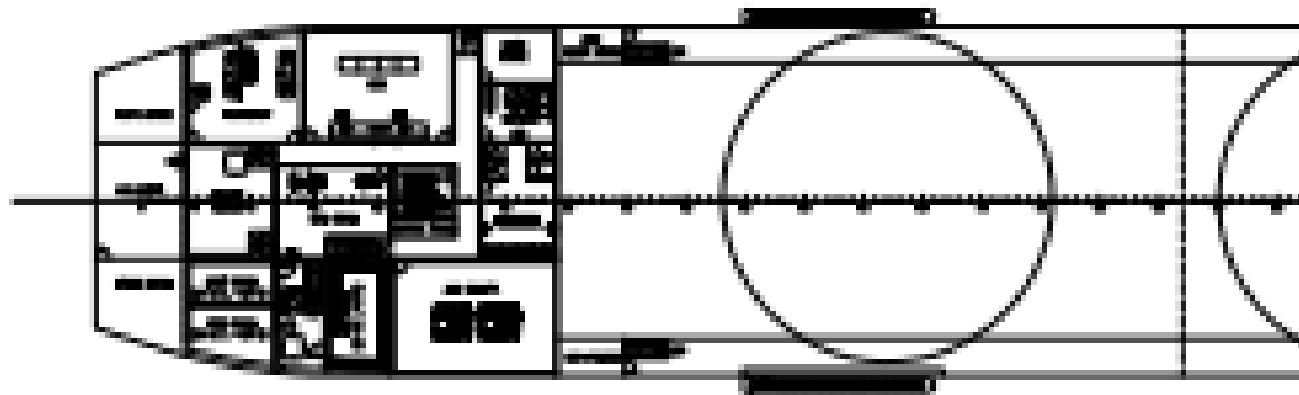
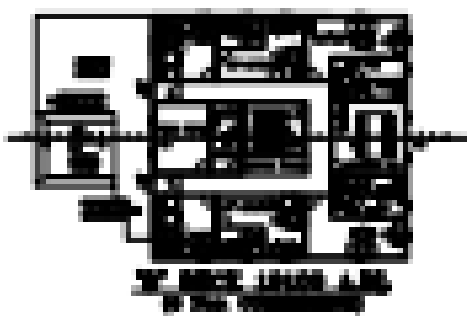
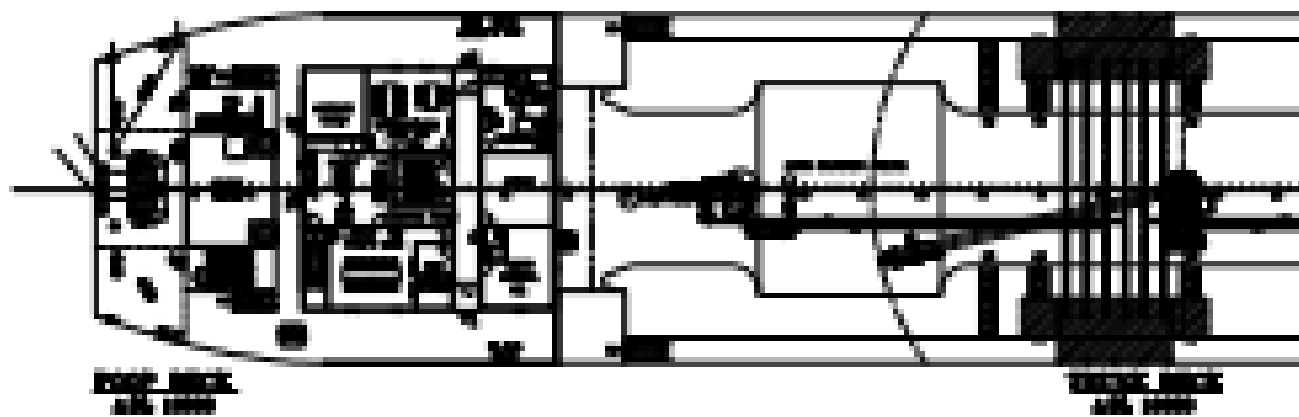
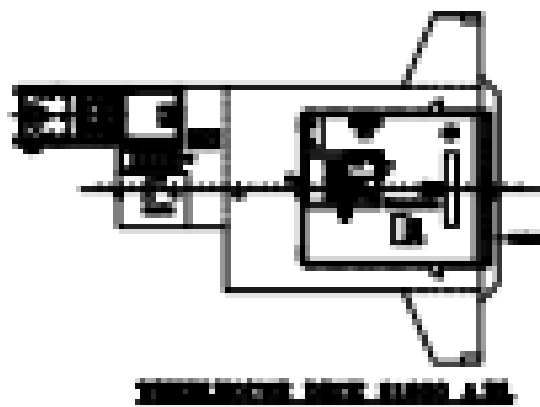
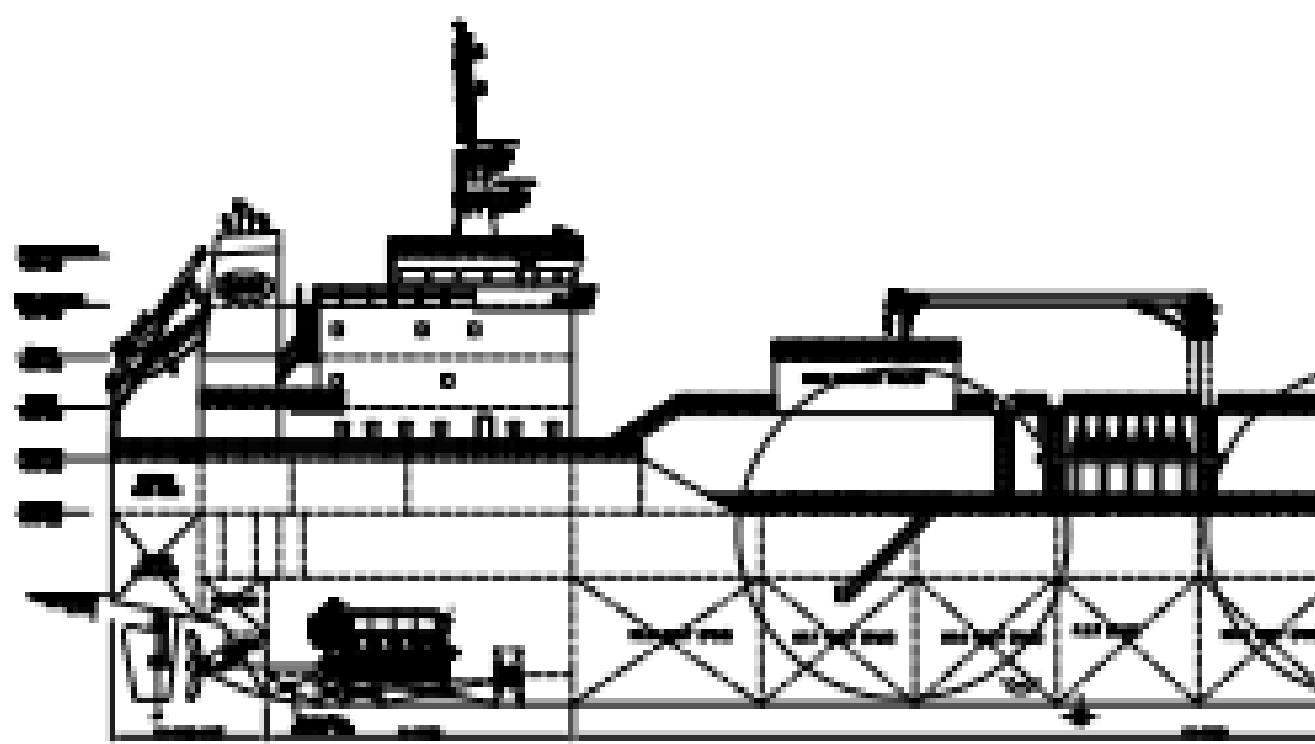
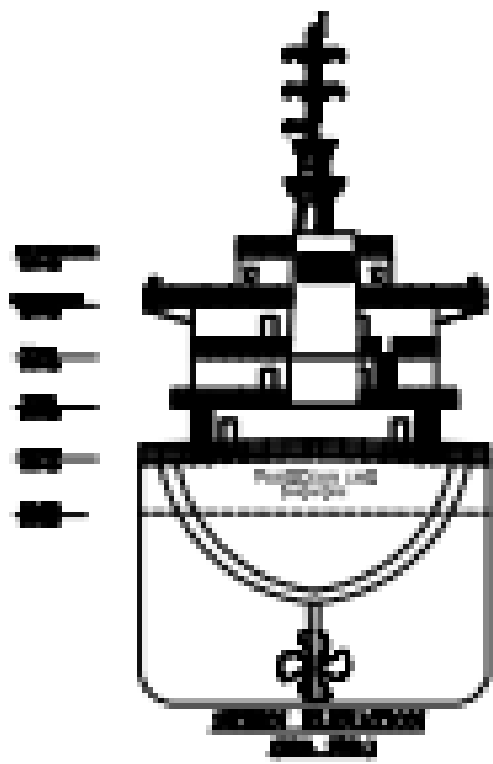
# LAMPIRAN

Lampiran A Data Kapal dan *General Arrangement*  
Lampiran B Hasil Proses *Running*



**LAMPIRAN A**  
**DATA KAPAL DAN GENERAL ARRANGEMENT**







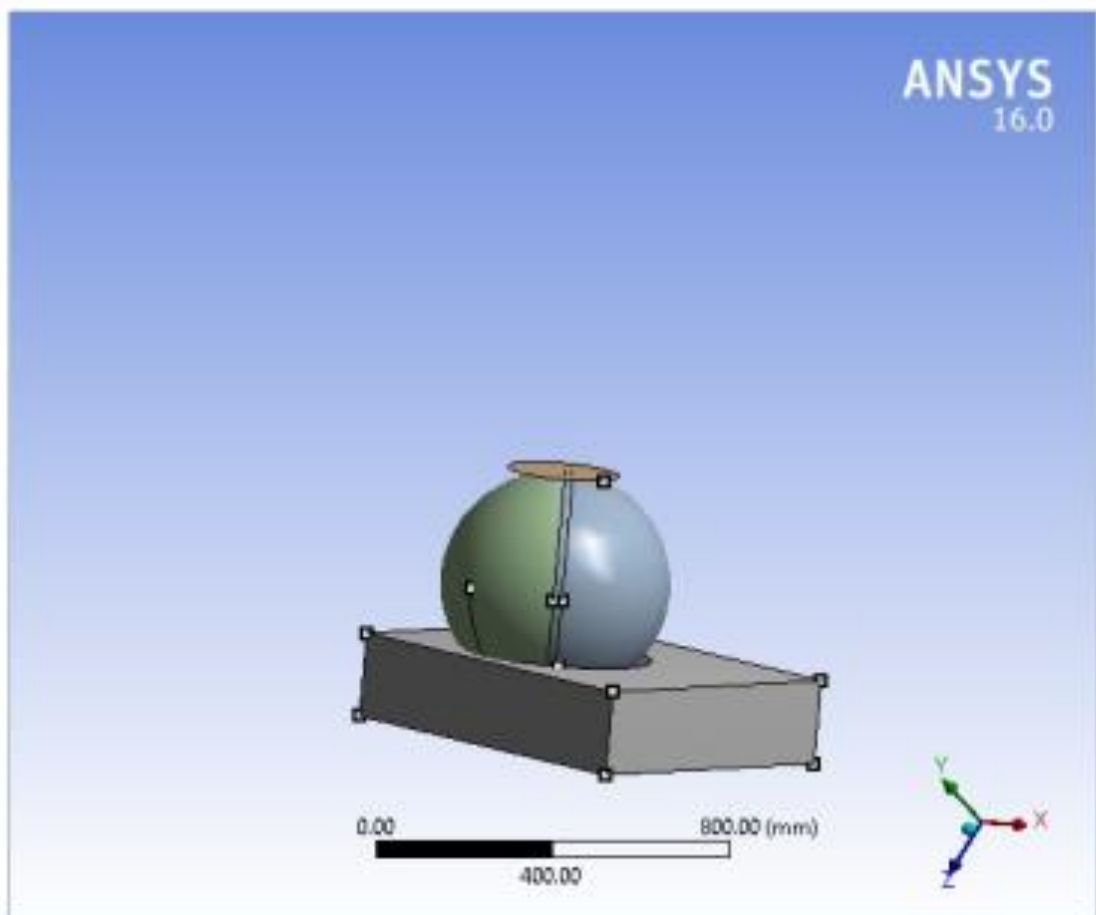


**LAMPIRAN B**  
**HASIL PROSES RUNNING ANSYS**



## Project

First Saved	Thursday, January 21, 2021
Last Saved	Monday, March 1, 2021
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



## Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## Model (K4)

### Geometry

TABLE 2  
Model (K4) - Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	

file:MC:\Users\GIGAA\AppData\Roaming\Ansys\160\Mechanical Report\Mechanical Rep... 3/1/2021

Project

Page 3 of 18

Source	H516.igs
Type	igs
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	849.13 mm
Length Y	854.35 mm
Length Z	735.68 mm
<b>Properties</b>	
Volume	2.4147e+008 mm <sup>3</sup>
Mass	1800.5 kg
Scale Factor Value	1.
<b>Statistics</b>	
Bodies	5
Active Bodies	5
Nodes	261405
Elements	175768
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\GIGAA\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes



TABLE 3  
Model (K4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4	Part 5
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Softness Behavior	Flexible				

file://C:/Users/FOGAA/AppData/Roaming/Ansys/160/Mechanical Report/Mechanical Rep... 3/1/2021

Project

Page 4 of 18

Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	SA_240	SA_353	SA_240	SA_240	SA_353
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	846.13 mm	455.57 mm	512.66 mm	252.1 mm	465.43 mm
Length Y	725.3 mm	467.11 mm	521.92 mm	185.42 mm	463.07 mm
Length Z	622. mm	466.47 mm	518.98 mm	185.45 mm	465.71 mm
Properties					
Volume	9.2516e+007 mm <sup>3</sup>	3.7547e+007 mm <sup>3</sup>	7.2853e+007 mm <sup>3</sup>	7722. mm <sup>3</sup>	3.7546e+007 mm <sup>3</sup>
Mass	748.13 kg	294.74 kg	582.82 kg	6.1776e+002 kg	294.73 kg
Centroid X	-1.0332e+005 mm	-1.0331e+005 mm	-1.0338e+005 mm	-1.0334e+005 mm	-1.0343e+005 mm
Centroid Y	-1.0557e+005 mm	-1.0541e+005 mm	-1.0535e+005 mm	-1.0517e+005 mm	-1.053e+005 mm
Centroid Z	-136.61 mm	-337.06 mm	-294.91 mm	-482.67 mm	-262.65 mm
Moment of Inertia I <sub>p1</sub>	3.1494e+007 kg·mm <sup>2</sup>	7.8278e+006 kg·mm <sup>2</sup>	1.5443e+007 kg·mm <sup>2</sup>	240.81 kg·mm <sup>2</sup>	7.8038e+006 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia I <sub>p2</sub>	4.4104e+007 kg·mm <sup>2</sup>	5.0343e+006 kg·mm <sup>2</sup>	1.4815e+007 kg·mm <sup>2</sup>	222.97 kg·mm <sup>2</sup>	5.0155e+006 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia I <sub>p3</sub>	7.1284e+007 kg·mm <sup>2</sup>	5.1611e+006 kg·mm <sup>2</sup>	1.5443e+007 kg·mm <sup>2</sup>	466.23 kg·mm <sup>2</sup>	5.1463e+006 kg·mm <sup>2</sup>
Statistics					
Nodes	39133	58026	108233	1853	56130
Elements	22695	38000	75768	250	38584
Mesh Metric	None				

### Coordinate Systems

TABLE 4  
Model (K4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. mm
Origin Y	0. mm
Origin Z	0. mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[ 1. 0. 0. ]
Y Axis Data	[ 0. 1. 0. ]
Z Axis Data	[ 0. 0. 1. ]

## Connections

TABLE 5

file:WC:\Users\GIGIA\AppData\Roaming\Ansys\160\Mechanical Reports\Mechanical Rep... 3/1/2021

Project

Page 5 of 18

Model (K4) ▶ Connections

Object Name	Connections
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6

Model (K4) ▶ Connections ▶ Contacts

Object Name	Contacts	Contacts 2	Connection Group 2	Connection Group 3	Connection Group 4
State	Fully Defined				
Definition					
Connection Type	Contact				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	All Bodies				
Auto Detection					
Tolerance Type	Slider				
Tolerance Slider	0				
Tolerance Value	3.5286 mm				
Use Range	No				
Face/Face	Yes				
Face/Edge	No				
Edge/Edge	No				
Priority	Include All				
Group By	Bodies				
Search Across	Bodies				
Statistics					
Connections	5				
Active Connections	5				

**TABLE 7**  
Model (K4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces		1 Face		
Target	1 Face				
Contact Bodies	Part 1		Part 2		Part 4
Target Bodies	Part 2	Part 3	Part 5	Part 4	Part 5
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Trim Contact	Program Controlled				
Trim Tolerance	3.5285 mm				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				

file:///C:/Users/FGIGA/AppData/Roaming/Ansys/180/Mechanical\_Report/Mechanical\_Rep... 3/1/2021

Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Connection	None
Target Geometry Connection	None

**TABLE 8**  
Model (K4) > Connections > Contacts 2 > Contact Regions

Object Name	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces		1 Face		
Target	1 Face				
Contact Bodies	Part 1		Part 2		Part 4
Target Bodies	Part 2	Part 3	Part 5	Part 4	Part 5
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Trim Contact	Program Controlled				
Trim Tolerance	3.5285 mm				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Penetration Tolerance	Program Controlled				
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				
Geometric Modification					
Contact Geometry Connection	None				
Target Geometry Connection	None				



**TABLE 9**  
**Model (M4) > Connections > Connection Group 2 > Contact Regions**

Object Name	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9
State	Fully Defined				
<b>Scope</b>					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces		1 Face		
Target	1 Face				
Contact Bodies	Part 1		Part 2		Part 4

file://C:/Users/REGIA/AppData/Roaming/Ansys/160/Mechanical Report/Mechanical Rep... 3/1/2021

Project

Page 7 of 18

Target Bodies	Part 2	Part 3	Part 5	Part 4	Part 5
<b>Definition</b>					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Trim Contact	Program Controlled				
Trim Tolerance	3.5285 mm				
Suppressed	No				
<b>Advanced</b>					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Penetration Tolerance	Program Controlled				
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				
<b>Geometric Modification</b>					
Contact Geometry Correction	None				
Target Geometry Correction	None				

**TABLE 10**  
**Model (M4) > Connections > Connection Group 3 > Contact Regions**

Object Name	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9
State	Fully Defined				
<b>Scope</b>					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces		1 Face		
Target	1 Face				
Contact Bodies	Part 1		Part 2		Part 4
Target Bodies	Part 2	Part 3	Part 5	Part 4	Part 5
<b>Definition</b>					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Trim Contact	Program Controlled				
Trim Tolerance	3.5285 mm				
Suppressed	No				
<b>Advanced</b>					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Penetration Tolerance	Program Controlled				
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

**TABLE 11**  
Model (K4) > Connections > Connection Group 4 > Contact Regions

Object Name	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9
State	Fully Defined				
<b>Scope</b>					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces		1 Face		
Target	1 Face				
Contact Bodies	Part 1		Part 2		
Target Bodies	Part 2	Part 3	Part 5	Part 4	Part 5
<b>Definition</b>					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Trim Contact	Program Controlled				
Trim Tolerance	3.5285 mm				
Suppressed	No				
<b>Advanced</b>					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Penetration Tolerance	Program Controlled				
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinch Region	Program Controlled				
<b>Geometric Modification</b>					
Contact Geometry Correction	None				
Target Geometry Correction	None				

Mesh

**TABLE 12**  
Model (K4) > Mesh

Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0.15240 mm
Inflation	

file:MC:\Users\GIGA\AppData\Roaming\Ansys\160\Mechanical Reports\Mechanical Rep... 3/1/2021

Project

Page 9 of 18

Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Patch Conforming Options</b>	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
<b>Patch Independent Options</b>	
Topology Checking	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	281495
Elements	175798
Mesh Metric	None

**TABLE 13**  
**Model (K4) » Mesh » Mesh Controls**

Object Name	Patch Conforming Method	Patch Independent	Patch Independent 2	Patch Independent 3	Face Sizing	Face Sizing 2
State	Fully Defined					
Scope						
Scoping Method	Geometry Selection					
Geometry	1 Body				2 Faces	10 Faces
Definition						
Suppressed	No					
Method	Tetrahedra					
Algorithm	Patch Conforming	Patch Independent				
Element Middle Nodes	Use Global Setting					
Type						Element Size
Element Size						20. mm
Behavior						Soft
Advanced						
Defined By	Max Element Size					
Max Element Size	Default					
Feature Angle	48.0°					
Mesh Based						

file:///C:/Users/GHGA/AppData/Roaming/Ansys/160/Mechanical Report/Mechanical Rep... 3/1/2021

Defeaturing	Off	
Refinement	Proximity and Curvature	
Min Size Limit	10. mm	5. mm
Num Cells Across Gap	Default	
Curvature Normal Angle	Default	
Smooth Transition	Off	
Growth Rate	Default	
Minimum Edge Length	408.77 mm	820.41 mm
Write ICFM CFD Files	No	

**TABLE 14**  
**Model (K4) » Mesh Edit**

Object Name	Mesh Edit
State	Solved
Auto Detection	
Generate Automatic Mesh Connections On Refresh	No
Transparency	
Enabled	Yes

## BIODATA PENULIS



Reza Muallif Al Razaq, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Bekasi pada 1 September 1997 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK An Nisa, kemudian melanjutkan ke SDN Curug III, SMPN 7 Bogor dan SMAN 5 Bogor. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2016 melalui jalur SBMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah *staff* Departemen Kajian Strategis Himatekpal 2017/2018.

Email: [reza.muallif@mhs.na.its.ac.id](mailto:reza.muallif@mhs.na.its.ac.id)/[alifrezaalrazaq@gmail.com](mailto:alifrezaalrazaq@gmail.com)