



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS PENGARUH LUBANG PERINGAN TERHADAP  
FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN MANHOLE PADA  
WRANG PELAT**

**Pramodana Haekal Ruhyadi  
NRP 0411154000090**

**Dosen Pembimbing  
M. Nurul Misbach, S.T., M.T.  
Totok Yulianto, S.T., M.T.**

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





**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS PENGARUH LUBANG PERINGAN TERHADAP  
FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN MANHOLE PADA  
WRANG PELAT**

**Pramodana Haekal Ruhyadi  
NRP 0411154000090**

**Dosen Pembimbing  
M. Nurul Misbach, S.T., M.T.  
Totok Yulianto, S.T., M.T.**

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





**FINAL PROJECT - MN 184802**

**ANALYSIS OF LIGHTENING HOLE'S EFFECT TOWARDS  
MANHOLE'S STRESS CONCENTRATION FACTOR ON A  
SOLID FLOOR**

**Pramodana Haekal Ruhyadi  
NRP 0411154000090**

**Supervisor  
M. Nurul Misbach, S.T., M.T.  
Totok Yulianto, S.T., M.T.**

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



## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH LUBANG PERINGAN TERHADAP FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN MANHOLE PADA WRANG PELAT

#### 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:


**PRAMODANA HAEKAL RUHYADI**  
NRP 0411154000090

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing II


Dosen Pembimbing I

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

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



Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

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

SURABAYA, 9 Januari 2020





## LEMBAR REVISI

# ANALISIS PENGARUH LUBANG PERINGAN TERHADAP FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN MANHOLE PADA WRANG PELAT

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 9 Januari 2020

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

Oleh:

**PRAMODANA HAEKAL RUHYADI**  
NRP 0411154000090

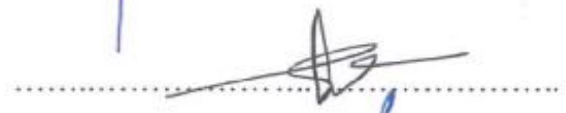

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Danu Utama, S.T., M.T.
2. Wing Hendroprasetyo AP, S.T., M.Eng.

  
.....  
  
.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. M. Nurul Misbach, S.T., M.T.
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.

  
.....  
  
.....

SURABAYA, 9 Januari 2020



Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya



## KATA PENGANTAR

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

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak M. Nurul Misbach, S.T., M.T. dan Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ayahanda Roehjadi dan Ibunda Dewi Susilowati selaku orang tua, serta Pradipta Manggala dan Praditya Amalia selaku saudara-saudari saya yang telah memberikan dukungan, kepercayaan, dan doa kepada saya, serta menjadi sumber motivasi terbesar saya hingga terselesaikannya penelitian ini;
3. Bapak Danu Utama, S.T., M.T., Bapak Wing Hendroprasetyo AP, dan Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Bapak Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng. selaku Dosen Wali yang telah memberikan dukungan secara moril;
6. Tita Oxa Anggrea yang sudah membantu, menyemangati, dan memberi motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
7. Mas Andhika Sembik dan Mas Roni sebagai teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir ini yang selalu memberikan bantuan dan wejangan
8. Mas Chandra sebagai kakak tingkat yang membantu membimbing penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini;
9. Teman-teman seangkatan P55 Samudera Raksa yang telah membantu penulis secara moril maupun membagi pengalaman serta pengetahuannya;
10. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu;

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

Surabaya, 9 Januari 2020

Pramodana Haekal Ruhyadi



Nama Mahasiswa : Pramodana Haekal Ruhyadi  
NRP : 04111540000090  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. M. Nurul Misbah, S.T., M.T.  
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.

## ABSTRAK

Konstruksi pada kapal biasa memiliki bukaan untuk mempermudah akses maupun tujuan lainnya. Pada wrang pelat, profil bukaan *manhole* merupakan salah satu bukaan paling umum yang berada di konstruksi *double bottom*. Dengan adanya *manhole*, akses lalu orang dapat dilakukan demi pengecekan tanki dan kepentingan lainnya. Dengan adanya lubang pada suatu struktur dapat menyebabkan terjadinya tegangan yang terkonsentrasi. Suatu penelitian telah dilakukan untuk mencari solusi dalam pengurangan konsentrasi tegangan pada suatu struktur, salah satunya adalah penambahan lubang di sisi dari lubang utama. Pada wrang pelat, terdapat juga profil lubang lainnya seperti lubang peringan. Fungsi lubang peringan merupakan untuk meringankan berat dari suatu struktur. Dengan adanya lubang peringan yang diatur dengan diameter ukurannya serta jaraknya terhadap *manhole*, diasumsikan dapat mengurangi tegangan terkonsentrasi yang terjadi pada *manhole* di wrang pelat. Metode pengujian secara numerik dilakukan untuk mencari variasi model dengan faktor konsentrasi tegangan paling rendah. 24 variasi model dibuat yang terdiri dari 12 model *manhole* horizontal dan 12 *manhole* vertikal. Dengan dilakukannya analisis elemen hingga, didapatkan bahwa dengan mengatur geometris lubang peringan, didapatkan pengurangan faktor konsentrasi tegangan tarik sebesar 14% untuk model *manhole* horizontal dan 17,5% untuk model *manhole* vertikal. Didapatkan juga perpindahan konsentrasi tegangan tarik pada beberapa model yang berawal terletak di sekitar *manhole* menjadi di sekitar lubang peringan. Pada analisis kekuatan struktur didapatkan bahwa hanya satu model desain wrang pelat yang tidak memenuhi tegangan izin yang disebabkan oleh beban statis ruang muat dan beban air laut.

Kata kunci: *Wrang Pelat, Manhole, Lubang Peringan, SCF, FEA, dst.*





# **ANALYSIS OF LIGHTENING HOLE'S EFFECT TOWARDS MANHOLE'S STRESS CONCENTRATION FACTOR ON A SOLID FLOOR**

Author : Pramodana Haekal Ruhyadi  
Student Number : 0411154000090  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : 1. Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T  
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Construction on vessels usually has openings for easy access as well as other purposes. In solid floor, manhole opening profiles are one of the most common openings in the double bottom construction. With the existence of manholes, access for surveyors can be done for the sake of checking tanks and other interests. Having holes in a structure can cause concentrated stress around the holes. One of the studies has been done to find solutions in the resolution of reducing concentrated stress on a structure, one of which is to add auxiliary holes on each sides of the main hole. On a solid floor, other hole profiles are also available such as lightening holes. The function of the lightening hole is to lighten the weight of a structure. With the hole diameter size adjusted and its distance to the manhole, it is assumed that it can reduce the concentrated stress that occurs around the manhole on the solid floor. Numerical testing methods are carried out to find variations of models with the lowest stress concentration factor. 24 variations of the model were made consisting of 12 horizontal manhole models and 12 vertical manholes. Taking into account finite element analysis, obtained with a geometricly arranged lightening holes, 14% reduction is obtained for the horizontal manhole model and 17.5% for the vertical manhole model. Also obtained the location shift of the stress concentration point which originally found around manhole then shifted to around the lightening hole. In the structural strength analysis, only one model of the solid floor design model is obtained which does not fulfill the requirement permits issued by the loading of the cargo tank pressure and seawater pressure.

Keywords: *Solid Floor, Manhole, Lightening Hole, SCF, FEA, etc.*



# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	v
LEMBAR REVISI.....	vii
KATA PENGANTAR .....	xi
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT .....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
DAFTAR SIMBOL .....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Manfaat .....	3
1.6. Hipotesis .....	3
BAB 2 STUDI LITERATUR .....	5
2.1. Dasar Teori .....	5
2.1.1. Tegangan.....	5
2.1.2. Beban .....	6
2.1.3. Wrang Pelat.....	6
2.1.4. Konvergensi .....	6
2.1.5. Faktor Keamanan .....	7
2.1.6. Jenis Tegangan.....	8
2.1.7. Konsep Metode Elemen Hingga .....	8
2.1.8. Kondisi Batas .....	10
2.1.9. Faktor Konsentrasi Tegangan .....	10
2.2. Tinjauan Pustaka.....	11
2.2.1. Struktural Detail.....	11
2.2.2. Konsep Konsentrasi Tegangan.....	11
2.2.3. Beban .....	13
2.2.4. Metode Pengurangan Konsentrasi Tegangan.....	13
BAB 3 METODOLOGI .....	15
3.1. Bagan Alir.....	15
3.2. Studi Literatur .....	18
3.3. Pengumpulan Data Simulasi .....	18
3.3.1. Persiapan Data Kapal .....	18
3.3.2. Pembebanan .....	19
3.3.3. Variasi Model Wrang Pelat.....	20
3.3.4. Pemodelan Wrang Pelat .....	22
3.4. Analisis Tegangan .....	30
3.4.1. Faktor Konsentrasi Tegangan .....	30
3.4.2. Kekuatan Struktur Profil .....	31

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	33
4.1. Pendahuluan .....	33
4.2. Analisis Tegangan Tarik dan Tekan Pada <i>Manhole</i> .....	33
4.3. Analisis Tegangan Pada Model Wrang Pelat dengan Lubang Peringan.....	35
4.3.1. Analisis Tegangan Normal Arah Sumbu x dengan Beban Tarik .....	35
4.3.2. Analisis Tegangan <i>Von Mises</i> dengan Beban Tekan.....	38
4.3.3. Analisis Tegangan Normal Arah Sumbu y dengan Beban Tekan.....	41
4.4. Pembahasan Hasil Simulasi .....	43
4.4.1. Faktor Konsentrasi Tegangan Wrang Pelat Tanpa Lubang Peringan .....	43
4.4.2. Tegangan Tarik Maksimum pada Model Wrang Pelat .....	44
4.4.3. Faktor Konsentrasi Tegangan Tarik .....	47
4.4.4. Tegangan Maksimum Tekan .....	49
4.4.5. Analisis Kekuatan.....	51
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	53
5.1. Kesimpulan .....	53
5.2. Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA .....	55
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A Gambar Midship Section Kapal Tanker	
LAMPIRAN B Perhitungan Beban Statis	
LAMPIRAN C Gambar Running Model	
BIODATA PENULIS	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan antara jumlah elemen dan parameter fungsinya.....	7
Gambar 2.2 Faktor Konsentrasi Tegangan pada Pelat dengan Lubang.....	11
Gambar 2.3 Pelat dengan lubang berbentuk elips .....	13
Gambar 2.4 Pengujian <i>photoelasticity</i> pada material pelat berlubang dengan penambahan <i>auxiliary holes</i> .....	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir.....	17
Gambar 3.2 Gambar penampang melintang Kapal Tanker 17500 LTDW.....	19
Gambar 3.3 Keterangan dimensi wrang pelat dengan variasi lubang peringan .....	20
Gambar 3.4 Keterangan dimensi wrang pelat dengan variasi lubang peringan .....	20
Gambar 3.5 Geometri model wrang pelat .....	22
Gambar 3.6 <i>Material properties</i> dari model.....	22
Gambar 3.7 <i>20-node bricks element</i> .....	23
Gambar 3.8 Grafik konvergensi model <i>manhole</i> horizontal .....	24
Gambar 3.9 Grafik konvergensi model <i>manhole</i> vertikal .....	25
Gambar 3.10 Pembagian geometri model menjadi beberapa bagian .....	25
Gambar 3.11 Pengaturan <i>Meshing</i> .....	26
Gambar 3.12 <i>Body sizing mesh</i> .....	26
Gambar 3.13 <i>Face Meshing</i> .....	27
Gambar 3.14 <i>Multizone Meshing</i> .....	27
Gambar 3.15 Hasil <i>meshing</i> .....	28
Gambar 3.16 <i>Element Mesh Metrics</i> .....	28
Gambar 3.17 <i>Refinement Meshing Toolbox</i> .....	29
Gambar 3.18 <i>Tetrahedral 10 Nodes Element</i> .....	29
Gambar 3.19 Pengaplikasian beban.....	30
Gambar 3.20 Pengaplikasian tumpuan .....	30
Gambar 4.1 Tegangan arah Sumbu x Beban Tarik pada Model <i>Manhole</i> Horizontal .....	33
Gambar 4.2 Tegangan <i>Von Mises</i> Beban Tekan pada Model <i>Manhole</i> Horizontal .....	34
Gambar 4.3 Tegangan arah Sumbu y Beban Tekan pada Model <i>Manhole</i> Horizontal.....	34
Gambar 4.4 Tegangan arah Sumbu x Beban Tarik pada Model <i>Manhole</i> Vertikal .....	34
Gambar 4.5 Tegangan <i>Von Mises</i> Beban Tekan pada Model <i>Manhole</i> Vertikal .....	35
Gambar 4.6 Tegangan arah Sumbu y Beban Tekan pada Model <i>Manhole</i> Vertikal.....	35
Gambar 4.7 Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik pada Model HMH 1 a 300 b 740 .....	36
Gambar 4.8 Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik pada Model HMH 4 a 480 b 740 .....	36
Gambar 4.9 Tegangan Normal Sumbu x pada Model VMH 1 a 400 b 740.....	37
Gambar 4.10 Tegangan arah Sumbu x pada Model VMH 4 a 640 b 1110 .....	38
Gambar 4.11 Tegangan <i>Von Mises</i> Beban Tekan pada Model HMH 1 a 300 b 740 .....	39
Gambar 4.12 Tegangan <i>Von Mises</i> Beban Tekan pada Model VMH 1 a 400 b 740 .....	40
Gambar 4.13 Tegangan Normal Sumbu y Beban Tekan pada Model HMH 1 a 300 b 740.....	41
Gambar 4.14 Tegangan Normal Sumbu y Beban Tekan pada Model VMH 1 a 400 b 740.....	42
Gambar 4.15 Grafik tegangan maksimum tarik pada model <i>manhole</i> horizontal.....	45
Gambar 4.16 Grafik tegangan maksimum tarik pada model <i>manhole</i> vertikal.....	47
Gambar 4.17 Grafik faktor konsentrasi tegangan pada variasi model HMH .....	48
Gambar 4.18 Grafik faktor konsentrasi tegangan pada variasi model VMH .....	49

Gambar 4.19 Grafik tegangan maksimum tekan dengan analisis tegangan normal sumbu y . 51

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Notasi Kondisi Batas .....	10
Tabel 3.1 Data ukuran utama Kapal Tanker .....	18
Tabel 3.2 Tabel variasi diameter lubang peringan untuk Horizontal <i>Manhole</i> (HMH) .....	21
Tabel 3.3 Tabel variasi diameter lubang peringan untuk Vertikal <i>Manhole</i> (VMH) .....	21
Tabel 3.4 Tabel variasi jarak antara <i>manhole</i> dengan lubang peringan .....	21
Tabel 3.5 Konvergensi model <i>manhole</i> horizontal.....	23
Tabel 3.6 Konvergensi model <i>manhole</i> vertikal.....	24
Tabel 4.1 Data Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik Model HMH.....	37
Tabel 4.2 Data Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik Model VMH.....	38
Tabel 4.3 Data Tegangan <i>Von Mises</i> Beban Tekan Model HMH .....	39
Tabel 4.4 Data Tegangan <i>Von Mises</i> Beban Tekan Model VMH .....	40
Tabel 4.5 Data Tegangan Normal Sumbu y Beban Tekan Model HMH .....	42
Tabel 4.6 Data Tegangan Normal Sumbu y Beban Tekan Model VMH .....	43
Tabel 4.7 Tegangan Tarik Arah Sumbu x .....	44
Tabel 4.8 Hasil tegangan normal sumbu x beban tarik HMH (Horizontal <i>Manhole</i> ).....	44
Tabel 4.9 Hasil tegangan normal sumbu x beban tarik VMH (Vertikal <i>Manhole</i> ).....	46
Tabel 4.10 Data faktor konsentrasi tegangan pada variasi HMH (Horizontal <i>ManHole</i> ).....	47
Tabel 4.11 Data faktor konsentrasi tegangan pada variasi VMH (Vertikal <i>ManHole</i> ).....	48
Tabel 4.12 Data tegangan maksimum tekan semua model .....	50
Tabel 4.13 Hasil analisis kekuatan struktur wrang pelat .....	52





## DAFTAR SIMBOL

$\rho$	= Massa jenis material ( $\text{kg.m}^{-3}$ )
F	= Gaya (N)
$\varepsilon$	= Regangan
E	= Modulus Young
$\sigma$	= Tegangan
$\sigma_{\text{VM}}$	= Tegangan Von Mises
$\sigma_y$	= Tegangan yield
n	= Faktor Keamanan
$\tau$	= Tegangan geser
B	= Lebar kapal
T	= Sarat kapal
Z	= Kordinat vertikal
$\sigma_i$	= Tegangan Izin
Kt	= Faktor Konsentrasi Tegangan ( <i>Stress Concentration Factor</i> )
$\sigma_N$	= Nominal Stress
g	= Percepatan gravitasi ( $\text{ms}^{-2}$ )
HMH	= Wrang pelat dengan <i>manhole</i> posisi horizontal ( <i>Horizontal Manhole</i> )
VMH	= Wrang pelat dengan <i>manhole</i> posisi vertikal ( <i>Vertikal Manhole</i> )



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Material merupakan hal yang penting dalam peninjauan pembangunan kapal. Material dengan segala ragam bentuknya, memiliki keperluan yang spesifik tergantung dari kebutuhan pada rangka yang ada. Material yang digunakan harus memiliki kemampuan yang memumpuni selama menahan beban dan gaya luar saat pengoperasian. Selain kemampuan tersebut, dimensi dari material juga harus seefisien mungkin dari segi biaya maupun segi fungsi dari struktur tersebut. Struktur pelat merupakan salah satu dari struktur suatu material yang digunakan pada rangka kapal. Pelat sendiri merupakan struktur material berbidang datar dengan dimensi ketebalan yang jauh lebih kecil dibanding dimensi lainnya. Struktur pelat banyak digunakan pada rangka kapal dikarenakan pembuatannya yang relatif sederhana, juga beban yang ringan dikarenakan dimensi tebalnya yang kecil.

Salah satu penggunaan pelat datar pada kapal yaitu pada wrang- wrang (*floors*) yang terdapat pada daerah *double bottom*. Wrang merupakan profil atau pelat yang dipasang melintang pada alas kapal untuk menambah kekuatan melintang pada kapal. Salah satu jenis dari profil wrang adalah wrang pelat (*solid floor*). Wrang pelat merupakan jenis wrang yang tidak membutuhkan kekedapan, oleh karena itu pada profil ini dilengkapi lubang peringan (*lightening hole*) atau lubang lalu orang (*manhole*). Fungsi dari lubang peringan pada profil wrang adalah untuk memperingan konstruksi dari profil wrang, sedangkan fungsi dari lubang lalu orang adalah untuk akses lalu orang yang melakukan pemeriksaan pada daerah dimana terdapatnya wrang pelat. Dengan adanya lubang-lubang tersebut, wrang pelat dapat berfungsi dengan sebagai mana mestinya walaupun dengan suatu kekurangan. Pelat yang memiliki lubang atau perubahan bentuk geometris dari bentuk asalnya, apabila diberikan suatu gaya, tidak dapat bekerja menahan bebannya dengan baik. Perubahan bentuk geometris tersebut akan menyebabkan beban yang awalnya tersebar merata, menjadi beban yang terpusat pada daerah yang terdapat perubahan bentuk geometris. Pembebanan pusat ini merupakan tegangan maksimal yang terjadi pada suatu material. Tegangan maksimal didapatkan dengan mengetahui suatu faktor yang biasa disebut dengan nama Faktor Konsentrasi Tegangan atau *Stress Concentration Factor* (SCF).

SCF merupakan hal yang sudah lama dipelajari dalam bidang konstruksi material. Menghilangkan SCF adalah hal yang mustahil, tetapi berbagai macam penelitian telah dilakukan untuk mengurangi SCF yang terdapat pada material yang memiliki perubahan geometris bentuk. Salah satu penelitian yang sudah dilakukan adalah pengurangan SCF pada material pelat berlubang dengan menambahkan lubang tambahan (*auxiliary holes*) pada sisi lubang utama. Menurut P.E Erickson dan W.F. Riley (1977), penggunaan *auxiliary holes* dapat mengurangi SCF pada lubang utama (*main hole*) sebesar 13-21%. Penelitian tersebut menggunakan metode tradisional bernama *photoelasticity method*.

Dengan berkembangnya zaman, semakin berkembang pula metode penentu kemampuan suatu material yang diberikan beban. Salah satu metode yang ramai digunakan pada bidang tersebut, khususnya dalam mencari estimasi tegangan adalah dengan menggunakan Metode Elemen Hingga. Metode tersebut pun diimplementasikan pada perangkat lunak sehingga penggunaannya pun dapat lebih efisien. Dengan adanya perangkat lunak berbasis Metode Elemen Hingga, pengujian dapat dilakukan dengan biaya yang relatif lebih kecil dan pengujian yang lebih sederhana.

Dari hal-hal yang telah disampaikan di atas, dalam tugas akhir ini penulis melakukan pengujian penambahan *auxiliary hole* pada *solid floor* yang memiliki *manhole* demi mengurangi SCF pada daerah *manhole*. Pengujian ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi diameter serta jarak *auxiliary hole* terhadap *manhole*.

## **1.2. Perumusan Masalah**

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

1. Bagaimana menentukan faktor konsentrasi tegangan tarik *manhole* pada wrang pelat dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga?
2. Bagaimana menentukan faktor konsentrasi tegangan tarik *manhole* pada wrang pelat dengan adanya variasi lubang peringan?
3. Pada variasi mana lubang peringan dapat mengurangi faktor konsentrasi tegangan *manhole* pada wrang pelat dengan optimal?

## **1.3. Tujuan**

Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Mengetahui faktor konsentrasi tegangan tarik *manhole* pada wrang dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga
2. Mengetahui faktor konsentrasi tegangan tarik *manhole* pada wrang pelat dengan adanya variasi lubang peringan
3. Mengetahui variasi mana lubang peringan dapat mengurangi faktor konsentrasi tegangan *manhole* pada wrang pelat dengan optimal

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

Penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah untuk mengerjakannya sebagai berikut:

1. Pemodelan dilakukan pada lokal area *midship* kapal tanker
2. Model wrang pelat dianggap sebagai pelat persegi yang hanya memiliki profil *manhole* dan lubang peringan
3. Model wrang pelat terbagi menjadi dua yaitu model wrang pelat dengan *manhole* horizontal dan vertikal
4. Pembebanan yang dilakukan adalah beban tekan statis dari tanki dan beban tekan statis dari air laut pada kapal
5. Beban tarik sebesar 60% *yield strength* dilakukan untuk mendapatkan faktor konsentrasi tegangan tarik wrang pelat
6. Pendekatan numerik menggunakan analisis linear dengan bantuan perangkat lunak berbasis elemen hingga.

#### **1.5. Manfaat**

Dari pengerjaan Tugas Akhir ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman tentang perhitungan faktor konsentrasi tegangan tarik *manhole* pada wrang pelat
2. Memberikan pemahaman tentang pengurangan nilai konsentrasi tegangan akibat variasi lubang peringan terhadap *manhole*.

#### **1.6. Hipotesis**

Adanya pengurangan konsentrasi tegangan *manhole* yang diakibatkan oleh lubang peringan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB 2 STUDI LITERATUR

### 2.1. Dasar Teori

Atas dasar tujuan pada Bab I, maka untuk melakukan analisis dibutuhkan teori-teori yang berhubungan dengan tujuan yang ingin dicapai sehingga terjadi keselarasan antar tujuan, langkah pengerjaan dan hasil. Teori yang digunakan ini merupakan kajian-kajian pustaka yang telah dilaksanakan sebelumnya yang dituliskan pada bab ini dan dijadikan acuan untuk analisis pada bab-bab selanjutnya.

#### 2.1.1. Tegangan

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas. Tegangan dibedakan menjadi dua yaitu *engineering stress* dan *true stress*. Dalam praktek teknik, gaya umumnya diberikan dalam *pound* atau *newton*, dan luas yang menahan dalam  $\text{inch}^2$  atau  $\text{mm}^2$ . Akibatnya tegangan biasanya dinyatakan dalam  $\text{pound}/\text{inch}^2$  yang sering disingkat *psi* atau  $\text{Newton}/\text{mm}^2$  (MPa). Tegangan yang dihasilkan pada keseluruhan benda tergantung dari gaya yang bekerja.

Pada saat benda menerima beban sebesar P kg, maka benda akan bertambah panjang sebesar  $\Delta L$  mm. Saat itu pada material bekerja tegangan yang dapat dihitung dengan rumus (Syahroni, 2015)

$$\sigma = F/A_0 \quad (2.1)$$

Dimana:

$\sigma$  = tegangan (pascal,  $\text{N}/\text{m}^2$ )

F = beban yang diberikan (Newton, dyne)

$A_0$  = luas penampang mula - mula ( $\text{mm}^2$ )

Sedangkan *true stress* adalah tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya (*actual*). *True stress* dapat dihitung dengan:

$$\sigma = A \times F \quad (2.2)$$

Dimana:

$\sigma$  = True stress ( MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan sebenarnya ( $\text{mm}^2$ )

### 2.1.2. Beban

Menurut Santosa (2013), pembebanan yang terjadi pada struktur khususnya pada struktur kapal dapat terjadi karena disebabkan oleh beberapa jenis pembebanan, salah satunya adalah Beban Statis. Beban statis adalah beban yang tidak berubah besarnya maupun arahnya atau beban yang perubahannya sedikit sekali. Misalnya adalah Gaya tekan air ke atas, berat bagian konstruksi kapal, berat muatan dan barang-barang lain di dalam kapal, reaksi tumpuan pada waktu kapal kandas atau di dok.

Pada perhitungan penelitian ini digunakan dua pembebanan statis, yaitu beban internal tekan statis yang diakibatkan oleh tanki dan beban eksternal tekan statis yang diakibatkan oleh air laut. Maka formula yang digunakan untuk menghitung beban tanki dari (CSR, 2012) yang persamaannya adalah sebagai berikut:

$$P_{in-tk} = \rho g z_{tk} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (2.3)$$

Dimana:

$P_{in-tk}$  = Beban tekan statis dari tanki

$\rho$  = Massa jenis fluida pada tanki, 0,9 untuk perhitungan kekuatan struktur, 1,025 untuk yang lainnya ( $\text{ton/m}^3$ )

$g$  = Percepatan gravitasi,  $9,81 \text{ m/s}^2$

$z_{tk}$  = Jarak vertikal dari titik paling atas tanki, tidak termasuk tinggi bukaan, hingga titik beban *double bottom* (m)

lalu beban tekan eksternal statis air laut di bawah kapal:

$$P_{hys} = \rho_{sw} g (T_{LC} - z) \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (2.4)$$

Dimana:

$P_{hys}$  = Beban tekan statis dari air laut

$z$  = Vertikal koordinat dari titik beban, tidak lebih besar dari nilai  $T_{LC}$

$\rho_{sw}$  = Masa jenis air laut,  $1,025 \text{ ton/m}^3$

$T_{LC}$  = Sarat dalam kondisi pengisian tanki (m)

$g$  = Percepatan gravitasi,  $9,81 \text{ m/s}^2$

### 2.1.3. Wrang Pelat

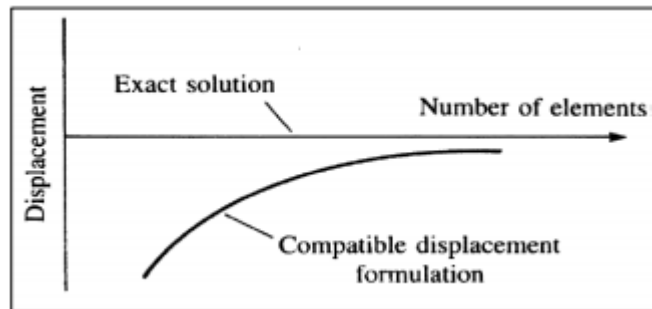
Wrang pelat merupakan profil penguat kapal secara melintang. Wrang pelat terletak di bagian bawah kapal sebagai penguat melintang pada *double bottom*. Pada wrang pelat terdapat profil lubang seperti *manhole* atau lubang lalu orang dan *lightening hole* atau lubang peringan. *Manhole* adalah lubang berbentuk lingkaran atau oval yang bertujuan sebagai akses laju orang antar ruang yang tertutup suatu dinding, lantai, atau sekat. Lubang peringan adalah lubang pada



suatu bagian struktural yang berguna untuk mengurangi berat dari struktur tersebut. (CSR, 2012)

#### 2.1.4. Konvergensi

Tingkat keakurasian pada proses penyelesaian analisa elemen hingga berbanding lurus terhadap bertambahnya jumlah elemen yang digunakan. Namun peningkatan jumlah elemen yang digunakan juga berpengaruh terhadap jumlah waktu dan biaya yang dibutuhkan selama proses analisa (Owen & Jeom, 2010). Pada banyak kasus, permasalahan ini diselesaikan melalui proses gradasi terhadap ukuran elemen untuk memperoleh hasil yang lebih mendetail pada area struktur dimana terjadi konsentrasi akibat adanya bukaan potongan tertentu di sekitar beban yang diberikan. Hasil konvergensi didapatkan dengan melihat kecenderungan tegangan konstan walaupun terjadinya penambahan jumlah elemen seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hubungan antara jumlah elemen dan parameter fungsinya

Banyaknya variasi antara struktur dan beban menyebabkan sulitnya menentukan besar ukuran elemen yang dapat memberikan hasil dengan akurasi terbaik. Penentuan ukuran elemen didasari pada pengalaman yang dilakukan pada analisa yang telah dilakukan sebelumnya.

#### 2.1.5. Faktor Keamanan

Faktor keamanan (*faktor of safety*) adalah perbandingan dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang diizinkan. Berdasarkan hal tersebut pada aturan CSR diberikan *yield utilisation factor* untuk menentukan tegangan maksimal yang diizinkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\lambda_y = \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{yd}} \quad (2.5)$$

Dimana:

$\lambda_y$  = Yield Utilisation Factor

$\sigma_{vm}$  = Tegangan Von Mises Struktur (MPa)

$\sigma_{yd}$  = Tegangan Yield (MPa)  $\sigma_{yd}$

Dengan perhitungan tegangan izin sebagai berikut:

$$\sigma_i = R_{EH} \times \lambda_{yreq} \quad (2.6)$$

$R_{EH}$  = nilai minimum *upper yield* untuk baja normal 235 N/mm<sup>2</sup>

$\lambda_{yreq}$  = *Yield Utilisation Factor requirements*

Jika nilai  $\lambda_{yreq} \geq \lambda_y$ , maka desain struktur memenuhi kriteria dan dapat diterima.

### 2.1.6. Jenis Tegangan

Perkiraan kekuatan kelelahan dari detail struktur membutuhkan penetapan tegangan pada daerah kritis, yaitu daerah dimana retak dimulai. Tergantung dari tingkat kehalusan metode yang digunakan, terdapat beberapa tegangan yang diperhatikan. (Joem, 2010)

Dijelaskan pada BKI II 2018, untuk sambungan las, analisa kelelahan dapat dilakukan berdasarkan tegangan nominal dan tegangan hotspot, dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Tegangan Nominal

Adalah tegangan secara umum pada pelat untuk suatu jarak terhadap titik diskontinuitas dari sambungan pelat dan las itu sendiri.

#### 2. Tegangan Hotspot

Tegangan Hotspot adalah tegangan yang mengikutsertakan perhitungan akhir pengaruh diskontinuitas *structural* yang disebabkan geometri sambungan, namun tidak mengikutsertakan konsentrasi tegangan yang disebabkan kaki las-lasan.

Tegangan nominal digunakan berdasarkan detail yang diperhatikan dan pengklasifikasian detail yang sesuai dengan kategori detail. Untuk sambungan las dimana pengklasifikasian detail tidak mungkin atau terjadi kenaikan tegangan yang tidak diperhatikan oleh klasifikasi detail, maka dilakukan berdasarkan tegangan hotspot.

### 2.1.7. Konsep Metode Elemen Hingga

Menurut DNV (2015), dijelaskan tahapan-tahapan dalam pemodelan *Finite Element Analysis* adalah sebagai berikut:

#### **Tahap 1: Pemilihan jenis elemen**

Dilakukan pendekatan model dengan melakukan pemilihan elemen untuk dilakukan pemodelan. Pemilihan jenis elemen disini menentukan untuk mendefinisikan elemen sesuai dengan permasalahan yang akan diselesaikan dan mewakili kondisi dari struktur yang sebenarnya.

#### **Tahap 2: Pemilihan fungsi material**

Menentukan jenis material seperti *displacement* untuk memberikan karakteristik pada material yang berhubungan dengan kerapatan material, young modulus dan poisson ratio dari material yang digunakan. Elemen yang diberikan *displacement* akan didefinisikan

menggunakan nilai parameter pada simpul elemen tersebut, fungsi yang dipakai berupa *polynomial*, linier kuadrat, kubik atau deret trigonometri.

### **Tahap 3: Mendefinisikan hubungan displacement dan tegangan regangan**

Kemampuan mendefinisikan hubungan antara displacement dan tegangan regangan atau sifat dari material tersebut akan memberikan hasil analisis yang akurat dan dapat diterima.

### **Tahap 4: Penurunan matriks kekakuan elemen dan persamaan elemen**

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

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

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

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

Merupakan tahapan iterasi untuk mendapatkan besaran yang belum diketahui.

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

Dari besaran yang telah didapatkan dari tahap 6 maka digunakan untuk mendapatkan regangan dan tegangan pada elemen.

### **Tahap 8: Interpretasi Hasil**

Hasil yang diperoleh akan ditampilkan dalam bentuk grafis atau animasi oleh post processor. Kemampuan sebuah benda untuk kembali ke bentuk semula segera setelah gaya luar yang diberikan kepada benda itu dibebaskan (dihilangkan) disebut elastisitas. Jika sebuah pegas diberi gaya berupa tarikan, maka pegas itu akan mengalami perubahan bentuk yaitu penambahan panjang. Akan tetapi, jika tarikan pada pegas tersebut dilepas maka pegas tersebut akan kembali ke posisi semula. Jika sebuah benda tegar diubah bentuknya (diberikan deformasi) sedikit, benda akan segera kembali ke bentuk awal ketika gaya tekan atau gaya tarik ditiadakan. Jika benda tegar diubah bentuknya melalui batas elastisitasnya, benda tidak akan kembali ke bentuk awalnya ketika gaya ditiadakan, melainkan akan berubah bentuk secara permanen. Bahkan jika perubahan bentuknya jauh melebihi batas elastisitasnya, benda tersebut akan patah. Sehingga dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa, benda plastis akan mengalami perubahan bentuk jika diberi gaya dan akan kembali ke bentuk semula jika gaya

yang diberikan sedikit, namun benda plastis tidak akan kembali ke posisi semula setelah gaya dihilangkan jika gaya tersebut melebihi batas elastis benda.

### 2.1.8. Kondisi Batas

Reaksi atau gaya yang timbul pada suatu benda bergantung pada bagaimana benda tersebut ditumpu dan bagaimana benda tersebut disambungkan terhadap benda lain. Ada beberapa kondisi tumpuan pada sebuah struktur. Pada umumnya tumpuan yang sering dijumpai adalah tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*) dan tumpuan sendi/engsel (*hinge*). Kondisi batas yang sering digunakan pada kekuatan adalah pin yaitu pemberian kondisi dimana translasi ke arah sumbu x, y, dan z diasumsikan 0 (nol) dan kondisi berikutnya dimana translasi dan rotasi pada sumbu x, y, dan z pada respon struktur diasumsikan 0 (nol). Penentuan kondisi batas sangat diperlukan untuk mendekati kondisi yang terjadi sebenarnya. Kondisi batas (tumpuan) biasa diberikan notasi. Notasi kondisi batas dapat dilihat pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Notasi Kondisi Batas

Jenis Tumpuan	Perpindahan	Resultan
<b>Jepit</b>	$dv = 0$ $dh = 0$ $\phi = 0$	$Fv \neq 0$ $Fh \neq 0$ $M \neq 0$
<b>Roll</b>	$dv = 0$ $dh \neq 0$ $\phi \neq 0$	$Fv \neq 0$ $Fh = 0$ $M = 0$
<b>Engsel</b>	$dv = 0$ $dh = 0$ $\phi \neq 0$	$Fv \neq 0$ $Fh = 0$ $M = 0$

### 2.1.9. Faktor Konsentrasi Tegangan

Faktor konsentrasi tegangan adalah faktor tanpa dimensi yang digunakan untuk mengukur seberapa terkonsentrasi *stress* dalam suatu material. Ini didefinisikan sebagai rasio tegangan tertinggi dalam elemen terhadap tegangan referensi.

$$K_t = \sigma_{\max} / \sigma_{\text{ref}} \quad (2.7)$$

Dimana:

$K_t$  = faktor konsentrasi tegangan

$\sigma_{\max}$  = tegangan maksimum pada suatu material ( $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{\text{ref}}$  = tegangan referensi ( $\text{N/mm}^2$ )

Tegangan referensi adalah tegangan total dalam suatu unsur dibawah kondisi pembebanan yang sama tanpa tegangan konsentrasi yang berarti tegangan pada material dimana material bebas dari lubang, potongan, takik atau lintasan sempit (Saputra, 2019)

## 2.2. Tinjauan Pustaka

Pada bagian ini dituliskan uraian mengenai penelitian yang dilakukan sebelumnya berkaitan dengan topik Tugas Akhir ini untuk mempermudah memahami konsep Tugas Akhir dan sebagai landasan teori untuk tercapainya tujuan dalam Tugas Akhir ini.

### 2.2.1. Struktural Detail

Konstruksi kapal disusun dari struktur-struktur yang menopangnya. Struktur-struktur tersebut terdiri atas struktur utama dan struktur detail, struktur utama dari konstruksi berfungsi untuk memberikan kekuatan atau merigidkan konstruksi tersebut. Struktur utama konstruksi misalnya adalah penegar, penumpu, gading, dan gading besar. Selain struktur utama struktur pendukung juga berperan untuk mengoptimalkan kekuatan dari suatu konstruksi. struktur pendukung dapat disebut juga sebagai struktur detail misalnya, *dry hole*, *manhole*, *slot design*, dan *cut out* bentuk penampang dari masing-masing struktur detail memberikan kontribusi yang besar pada kekuatan suatu konstruksi sehingga pengoptimalisasian bentuknya dapat diperhitungkan untuk mengevaluasi kekuatan konstruksi (Elhewy, 2016)

### 2.2.2. Konsep Konsentrasi Tegangan

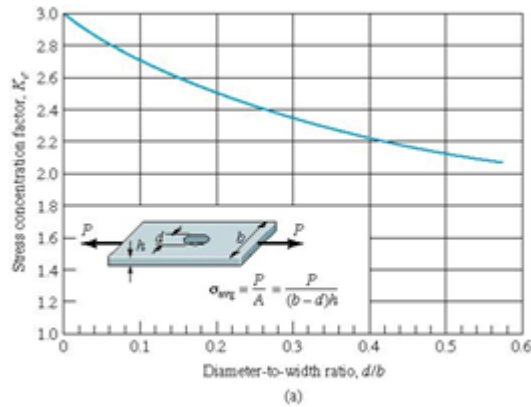
Rumus tegangan dasar yang digunakan dalam mendesain komponen struktural didasarkan dari anggota komponen yang memiliki potongan melintang yang konstan atau potongan yang perubahan secara bertahap. Namun, terkadang kondisi tersebut tidak selalu terjadi dikarenakan material tersebut mengalami diskontinuitas geometris yang diakibatkan oleh perubahan bentuk sesuai fungsi dari material, maupun dikarenakan beban yang terjadi pada material menyebabkan material berubah bentuk. Kehadiran *shoulders*, *grooves*, lubang, *notch*, dan sebagainya, menghasilkan modifikasi distribusi tegangan sederhana, sehingga terjadi tekanan tinggi yang terlokalisasi pada daerah yang mengalami diskontinuitas geometris. Lokalisasi dengan tegangan terpusat, dikenal sebagai *stress concentration* atau konsentrasi tegangan, yang dapat diukur dengan Faktor Konsentrasi Tegangan (Pilkey, 1997)

$$Kt = \sigma_{max} \div \sigma_{nom} \quad (2.8)$$

Faktor Konsentrasi Tegangan di atas dapat digunakan untuk mencari faktor dari beban tarik dan lengkung, dengan  $Kt$  didefinisikan sebagai faktor konsentrasi tegangan,  $\sigma_{max}$

Gambar 2.2 Faktor Konsentrasi Tegangan pada Pelat dengan Lubang

merupakan tegangan maksimum (atau puncak), dan  $\sigma_{nom}$  sebagai tegangan nominal (atau rata-rata atau medan jauh), pada pelat berlubang dapat didapatkan faktor konsentrasi tegangan dari melihat grafik pada Gambar 2.2.



Perhitungan konsentrasi tegangan juga bisa didapatkan dengan perhitungan empiris dengan menggunakan Roark's *Formula* (Young & Budynas, 2002) . Formula ini dapat mengestimasi besar faktor konsentrasi tegangan dengan perbedaan sebesar 2% dari hasil eksperimen *photoelastic* sehingga memiliki validitas yang baik untuk menentukan hasil simulasi *software* dapat diterima atau tidak dengan membandingkan besar faktor hasil numerik dengan hasil empiris. Perhitungan ini bermaksud untuk mendapatkan factor konsentrasi tegangan pada material dengan hasil elastis yang berlandaskan dari bentuk geometri dan kondisi beban. Faktor konsentrasi tegangan statis untuk pelat dengan lubang pada tengah pelat dengan beban tarik dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$Kt = C_1 + C_2 \left(\frac{2a}{D}\right) + C_3 \left(\frac{2a}{D}\right)^2 + C_4 \left(\frac{2a}{D}\right)^3 \quad (2.9)$$

Dimana:

Untuk  $0.5 \leq a/b \leq 10.0$

$$C_1 = 1,000 + 0,000 \sqrt{\frac{a}{b}} + 2,000a/b$$

$$C_2 = -0,351 - 0,021 \sqrt{\frac{a}{b}} - 2,483a/b$$

$$C_3 = 3,621 - 5,183 \sqrt{\frac{a}{b}} + 4,494a/b$$

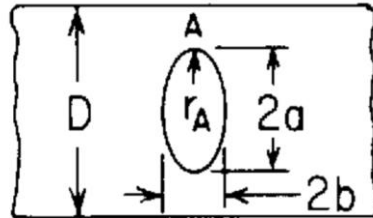
$$C_4 = -2,270 + 5,204 \sqrt{\frac{a}{b}} - 4,011a/b$$

$Kt$  = Faktor Konsentrasi Tegangan

$a$  = Tinggi lubang

- b = Panjang lubang  
 D = Lebar pelat

Kejelasan satuan pada perhitungan dapat dilihat di Gambar 2.3



Gambar 2.3 Pelat dengan lubang berbentuk elips

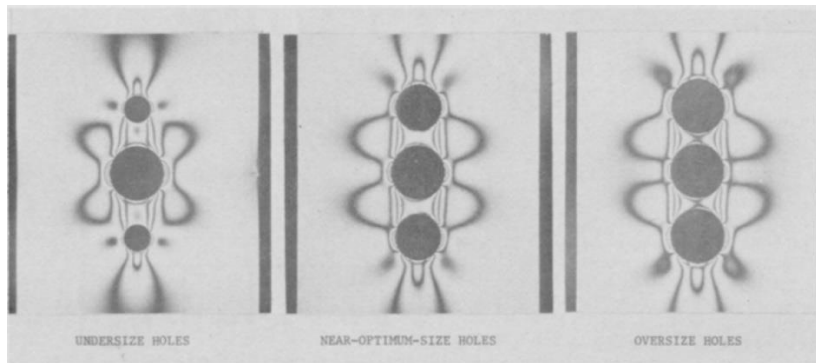
### 2.2.3. Beban

Sebelum mendesain sebuah produk atau dalam bahasan ini adalah struktur, desainer memperhitungkan kondisi lapangan yang akan dialami oleh struktur tersebut. Pengaruh yang besar mengakibatkan struktur itu gagal adalah pembebanan. Beban-beban yang terjadi dikelompokkan menjadi beberapa jenis. Beban yang berada pada kapal dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu beban statis, beban dinamis berfrekuensi dan beban tumbuk. Beban yang sering digunakan untuk kasus statis adalah beban statik yang diakibatkan oleh kegiatan operasional seperti beban kapal itu sendiri, gaya tekan ke atas secara statis saat gerak dan diam, beban-beban termal akibat perbedaan suhu dan beban-beban terpusat (Kiryanto, 2010).

Beban tekan yang terjadi pada lambung kapal sendiri ada dua yaitu beban yang diakibatkan oleh muatan kapal itu sendiri dan beban yang disebabkan oleh tekanan dari air laut. Beban gelombang akibat muatan terjadi akibat gerakan roll pada kapal dan menyebabkan muatan bergerak secara dinamis menabrak dinding dalam ruang muat, sedangkan beban yang diakibatkan oleh gelombang bergerak secara dinamis menabrak bagian dinding kapal. Namun pada penelitian ini beban yang bekerja pada daerah tinjauan dianggap statis dan diakibatkan oleh beban tekan tanki ruang muat dan beban tekan dari air laut. (Septiana, 2012).

### 2.2.4. Metode Pengurangan Konsentrasi Tegangan

Konsentrasi tegangan pada suatu material yang memiliki diskontinuitas geometri merupakan suatu hal yang tidak dapat dihindari, tetapi hal tersebut dapat diminimalisir dengan beberapa metode. Telah dilakukan metode untuk mengurangi nilai SCF pada pelat berlubang yang dilakukan oleh P.E. Erickson dan W.F. Riley (1977), dengan menambahkan lubang tambahan (*auxiliary holes*) pada setiap sisi dari lubang utama.



Gambar 2.4 Pengujian *photoelasticity* pada material pelat berlubang dengan penambahan *auxiliary holes*

Pada pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 tersebut dinyatakan bahwa penambahan lubang di setiap sisi lubang utama, dapat mengurangi tegangan maksimal pada lubang utama sebesar 13 hingga 21 persen. Pengujian tersebut dilakukan dengan menggunakan metode *photoelasticity*. Pelat yang digunakan memiliki rasio diameter lubang utama dengan lebar pelat sebesar 0,1 hingga 0,6. Dengan pengurangan pada tegangan maksimum tersebut, maka dapat dilakukan peningkatan *fatigue life* dari material sejenis dengan efek yang cukup signifikan (Riley & Erickson, 1977)

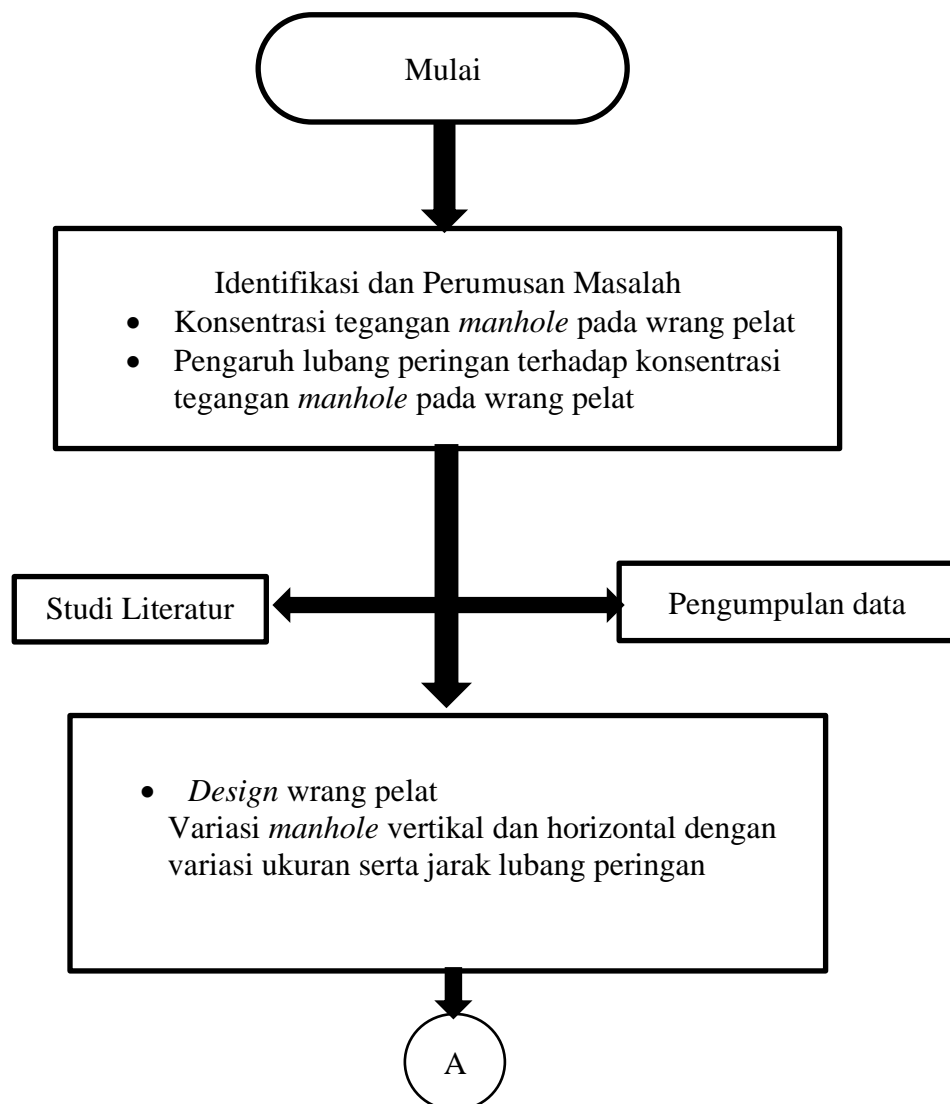


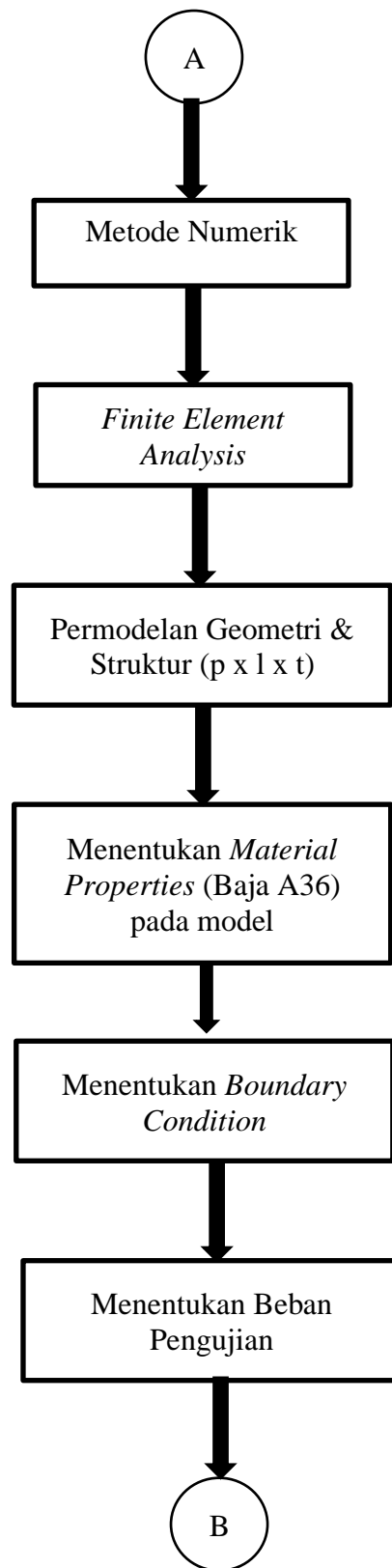
## BAB 3 METODOLOGI

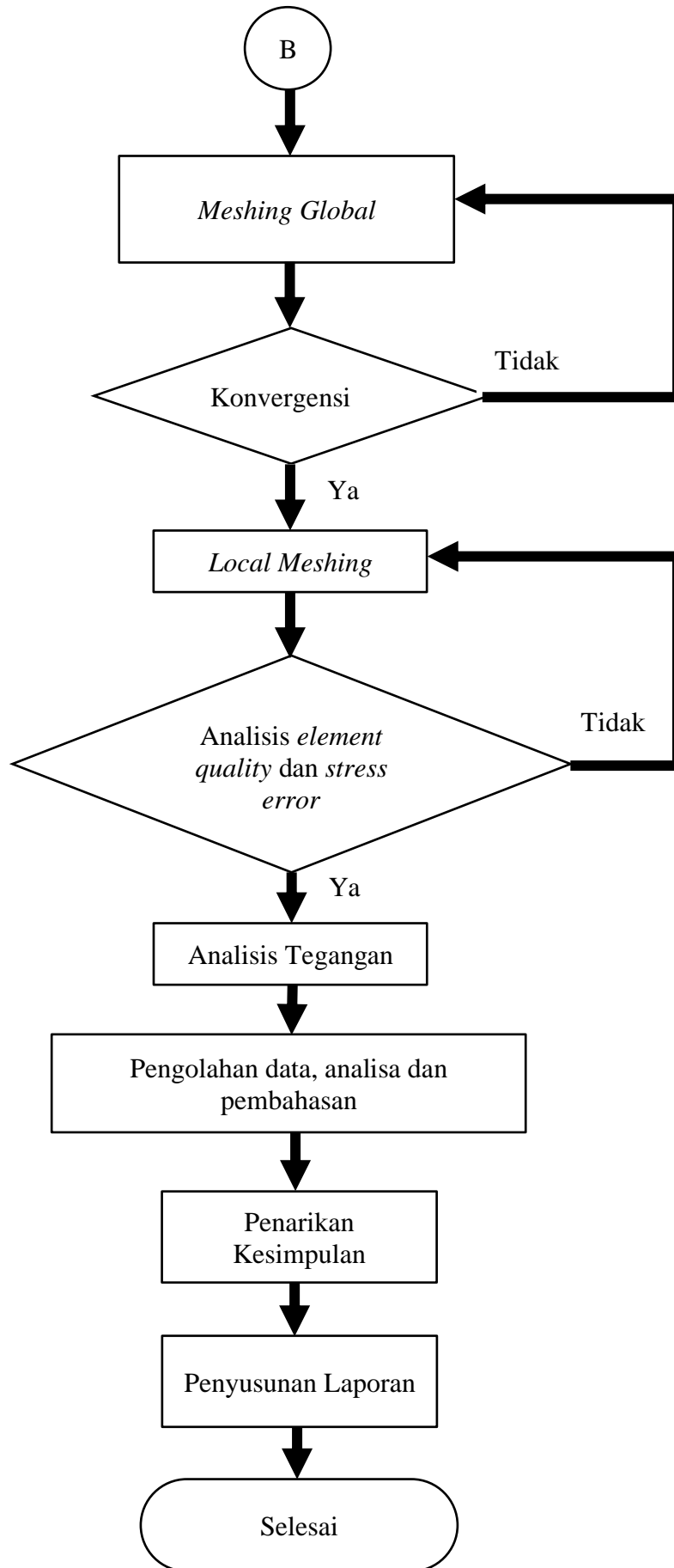
Bab ini berisi mengenai bagaimana cara pengerjaan Tugas Akhir ini. Langkah awal pengerjaan yang dilakukan adalah mengidentifikasi masalah dan merumuskan masalah, yang telah dilakukan pada BAB I. kemudian dilanjutkan dengan studi literatur pada BAB II. Kemudian pada bab ini akan dijelaskan data-data yang digunakan untuk menganalisis konsentrasi tegangan *manhole* pada wrang pelat dan pengaruh dari variasi ukuran serta letak lubang peringan

### 3.1. Bagan Alir

Secara umum metodologi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini terstruktur secara umum sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir.







Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

### 3.2. Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini terbagi atas 2 hal, yaitu dasar teori dan tinjauan pustaka. Dasar teori berisi mengenai pengertian dan acuan dari *variable* yang digunakan dalam penelitian ini, sedangkan tinjauan pustaka digunakan untuk memperoleh pengalaman dari tugas akhir yang telah dilakukan sebelumnya yang dapat berupa metode serta langkah penyelesaian masalah dan informasi yang diberikan.

### 3.3. Pengumpulan Data Simulasi

Tahapan ini adalah tahapan pengumpulan data untuk keperluan simulasi wrang pelat, yang bertujuan untuk memperoleh data pokok atau data sekunder yang berhubungan dengan kondisi yang dibahas dalam Tugas Akhir ini.

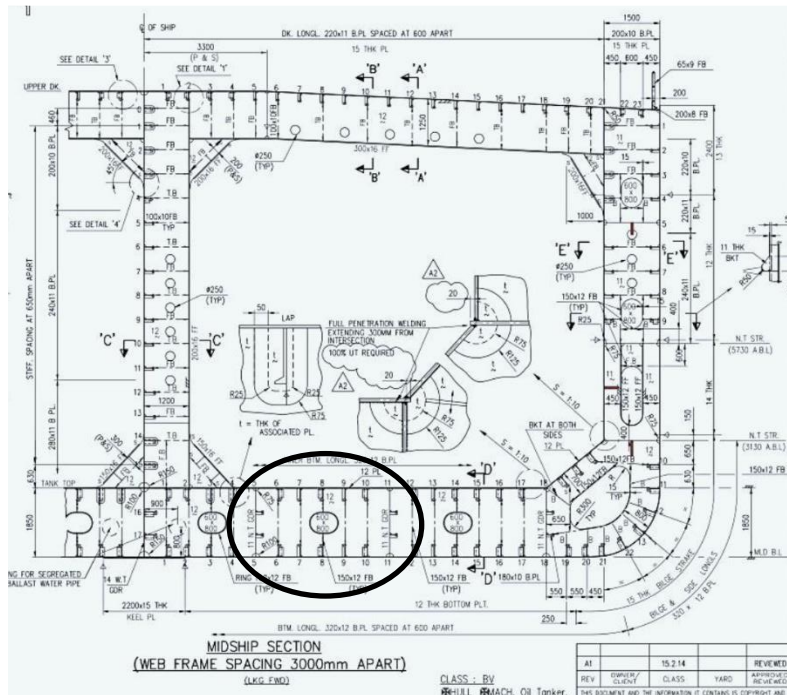
#### 3.3.1. Persiapan Data Kapal

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, untuk dapat melakukan pemodelan dan analisis pada geladak kapal diperlukan data-data pendukung sebagai dasar dalam membuat model. Dalam penelitian ini digunakan data kapal Tanker 17500 *Double Hull* LTDW. Adapun ukuran utama dari kapal tersebut dijelaskan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Data ukuran utama Kapal Tanker

Deskripsi		Ukuran
Displacement	( $\Delta$ )	17500 Ton
Length Overall	(LOA)	157,50 m
Length	(LPP)	149,50 m
Breadth Moulded	(B)	27,70 m
Depth	(D)	12,00 m
Draft	(T)	7,00 m
Service Speed	(Vs)	13 Knots

Data lain yang dibutuhkan berupa beberapa gambar-gambar seperti gambar rencana umum. Pada Gambar 3.2 digunakan untuk menentukan daerah tinjauan yang akan diambil sebagai objek penelitian, yaitu wrang pelat berukuran 3600m x 1850m terletak pada midship yang diambil tepat pada gading besar, sebagai studi kasus pada penelitian ini.



Gambar 3.2 Gambar penampang melintang Kapal Tanker 17500 LTDW

Gambar penampang kapal diperlukan untuk melihat bagaimana detail sistem konstruksi yang digunakan pada kapal, terlihat bahwa sistem konstruksi yang digunakan pada kapal adalah sistem konstruksi memanjang. Jarak antar gading diperlukan untuk mencari besar beban tekan yang digunakan.

### 3.3.2. Pembebanan

Beban yang digunakan pada analisis ini adalah beban internal dan eksternal yang disebabkan oleh tekanan tanki ruang muat dan tekanan air laut secara vertikal yang telah diberikan pada CSR. Jenis beban yang digunakan adalah beban tekan statis yang bekerja terhadap konstruksi *double bottom*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung beban adalah sebagai berikut:

$$P_{in-tk} = \rho g z_{tk} \quad (3.1)$$

Dimana:

$P_{in-tk}$  = Beban tekan statis dari tanki (Kn/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Massa jenis fluida pada tanki, 0,9 untuk perhitungan kekuatan struktur, 1,025 untuk yang lainnya (ton/m<sup>3</sup>)

$g$  = Percepatan gravitasi, 9,81 m/s<sup>2</sup>

$z_{tk}$  = Jarak vertikal dari titik paling atas tanki, tidak termasuk tinggi bukaan, hingga titik beban *double bottom* (m)

lalu beban eksternal bawah kapal

$$P_{hys} = \rho_{sw} g (T_{LC} - z) \quad (3.2)$$

Dimana:

$P_{hys}$  = Beban tekan statis dari air laut ( $\text{kN/m}^2$ )

$z$  = Vertikal koordinat dari titik beban, tidak lebih besar dari nilai  $T_{LC}$

$\rho_{sw}$  = Masa jenis air laut,  $1,025 \text{ ton/m}^3$

$T_{LC}$  = Sarat dalam kondisi pengisian tanki (m)

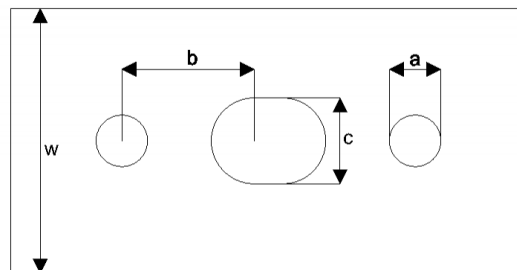
$g$  = Percepatan gravitasi,  $9,81 \text{ m/s}^2$

Masing-masing beban dikalikan dengan jarak antar gading sebesar 3000 mm sebagai asumsi besar gaya dari satu pelat *inner bottom* yang ditopang oleh wrang pelat, lalu dibagi dengan tebal wrang pelat sebesar 12 mm.

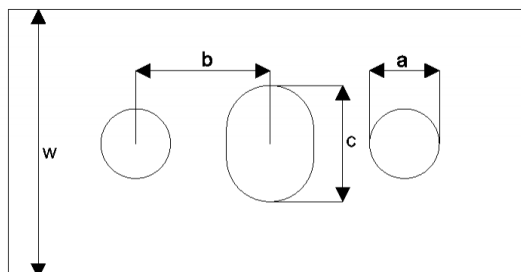
Dari perhitungan beban tekan di atas, didapatkan besar beban yang diberikan oleh tanki ruang muat sebesar 24,445 MPa dan beban dari tekanan air laut terhadap bawah kapal sebesar 16,258 MPa.

### 3.3.3. Variasi Model Wrang Pelat

Penambahan lubang peringan pada wrang pelat dapat mempengaruhi distribusi tegangan yang terjadi. Pemodelan wrang pelat dengan variasi lubang peringan telah dibuat dengan *software* CAD dengan keterangan model pada Gambar 3.3 untuk variasi *manhole* horizontal dan pada Gambar 3.4 untuk variasi *manhole* vertikal.



Gambar 3.3 Keterangan dimensi wrang pelat dengan variasi lubang peringan



Gambar 3.4 Keterangan dimensi wrang pelat dengan variasi lubang peringan  
Keterangan

**a** = Diameter lubang peringan

**b** = Jarak antara lubang peringan dengan *manhole*

**c** = Tinggi *manhole*

**w** = Lebar wrang pelat

Variasi diameter lubang peringan (**a**) dan jarak antar lubang peringan dengan *manhole* (**b**) didapatkan dengan membuat rasio. Untuk variasi diameter lubang peringan (**a**) menggunakan rasio perbandingan antar diameter lubang peringan terhadap tinggi *manhole* (**a/c**) sebesar (0,5) , (0,6), (0,7), dan (0,8). Maka didapatkan ukuran **a** sebagai berikut:

Tabel 3.2 Tabel variasi diameter lubang peringan untuk Horizontal *Manhole* (HMH)

Variasi	<b>a</b> (mm)	Rasio ( <b>a/c</b> )
HMH 1	300	0,5
HMH 2	360	0,6
HMH 3	420	0,7
HMH 4	480	0,8

Tabel 3.3 Tabel variasi diameter lubang peringan untuk Vertikal *Manhole* (VMH)

Variasi	<b>a</b> (mm)	Rasio ( <b>c/a</b> )
VMH 1	400	0,5
VMH 2	480	0,6
VMH 3	560	0,7
VMH 4	640	0,8

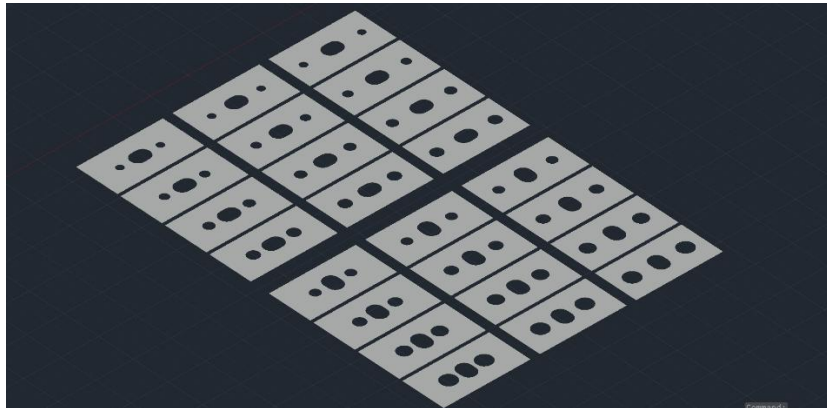
Untuk variasi jarak antar lubang peringan dengan *manhole* (**b**), menggunakan rasio perbandingan jarak antar lubang peringan dengan *manhole* terhadap lebar wrang pelat (**b/w**) sebesar (0,4), (0,5), dan (0,6). Maka didapatkan **b** sebagai berikut

Tabel 3.4 Tabel variasi jarak antara *manhole* dengan lubang peringan

Variasi	<b>b</b> (mm)	Rasio ( <b>b/w</b> )
b 740	740	0,4
b 925	925	0,5
b 1110	1110	0,6

### 3.3.4. Pemodelan Wrang Pelat

#### 3.3.4.1. Pembuatan Geometri Model



Gambar 3.5 Geometri model wrang pelat

Geometri model wrang pelat dilakukan dengan bantuan *software* CAD. Variasi model dibuat sesuai dengan variasi geometri yang telah dilakukan dengan menggunakan rasio. Ukuran utama dari model wrang pelat adalah 3600x1850x12 mm. Hasil pembuatan geometri model berjumlah 24 seperti yang ada pada Gambar 3.5.

#### 3.3.4.2. Pendefinisian Material (Material Properties)

Properties of Outline Row 4: Structural Steel			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
5	Isotropic Elasticity		
11	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
15	Strain-Life Parameters		
23	Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa
24	Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa
25	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa
26	Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Gambar 3.6 *Material properties* dari model

Pada modul *Engineering Data* seperti pada Gambar 3.6, didefinisikan material ASTM A36 beserta *mechanical properties*-nya yaitu masa jenis, *yield tensile strength*, dan *tensile ultimate strength*. Modul ini akan mempengaruhi analisis model dikarenakan melandasi perhitungan metode elemen hingga dari model.

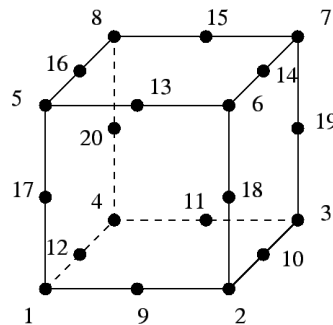
#### 3.3.4.3. Konvergensi Model

Uji konvergensi merupakan suatu metode untuk menentukan ukuran elemen secara global agar model yang dibuat tidak memerlukan ukuran elemen yang terlalu kecil. Ukuran elemen yang terlalu kecil mengakibatkan jumlah elemen yang dibuat terlalu banyak, mengurangi efisiensi dari kerja CPU untuk menganalisis model. Konvergensi dilakukan dengan



membandingkan beberapa hasil analisis tegangan pada letak yang sama, dengan ukuran elemen yang berbeda-beda dengan interval ukuran yang sama hingga mencapai hasil yang konvergen. Tujuannya adalah menguji ketelitian dari software yang digunakan. Elemen yang digunakan untuk konvergensi adalah elemen *20-node bricks* yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.

Elemen *20-node bricks* seperti pada Gambar 3.7 digunakan karena keakuratannya dalam mencari tegangan terkonsentrasi pada suatu struktur statis. Keakuratan ini disebabkan dengan adanya 8 *node* pada 1 sisi elemen, yang menyebabkan struktur mengalami lendutan lebih halus dan tidak banyak menimbulkan distorsi yang berakibat pada fluktuatifnya tegangan.



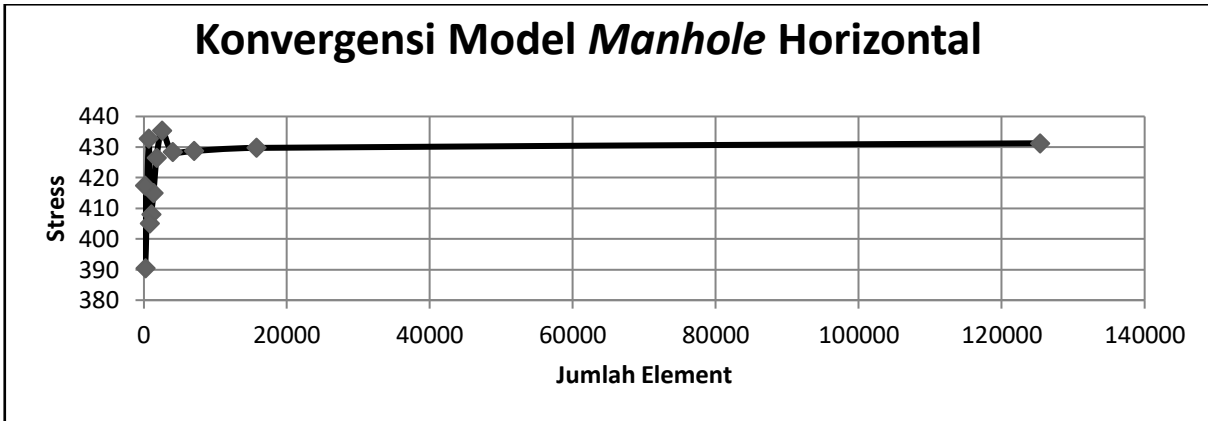
Gambar 3.7 *20-node bricks element*

Berdasarkan hasil konvergensi yang dilakukan pada model *manhole* horizontal, didapatkan hasil konvergensi yang dapat dilihat pada Tabel. 3.5 dan Gambar 3.8 untuk grafik konvergensi yang dicapai.

Tabel 3.5 Konvergensi model *manhole* horizontal

Konvergensi Model <i>Manhole</i> Horizontal			
Stress	<i>Mesh Size</i> (mm)	Total Elemen	Perubahan Stress
431,25	10	125360	0,351%
429,74	20	15746	0,238%
428,72	30	7011	0,054%
428,49	40	3972	-1,580%
435,37	50	2520	2,061%
426,58	60	1767	2,773%
415,07	70	1332	1,713%
408,08	80	1008	0,746%
405,06	90	801	-6,399%
432,75	100	672	10,831%
390,46	300	173	-6,454%
417,4	600	90	

Pada Tabel. 3.5 menunjukkan hasil konvergensi tegangan dengan beberapa ukuran meshing, dapat terlihat konvergensi tercapai pada ukuran meshing 30 mm. dengan nilai tegangan yang dicapai sebesar 429,74 MPa.



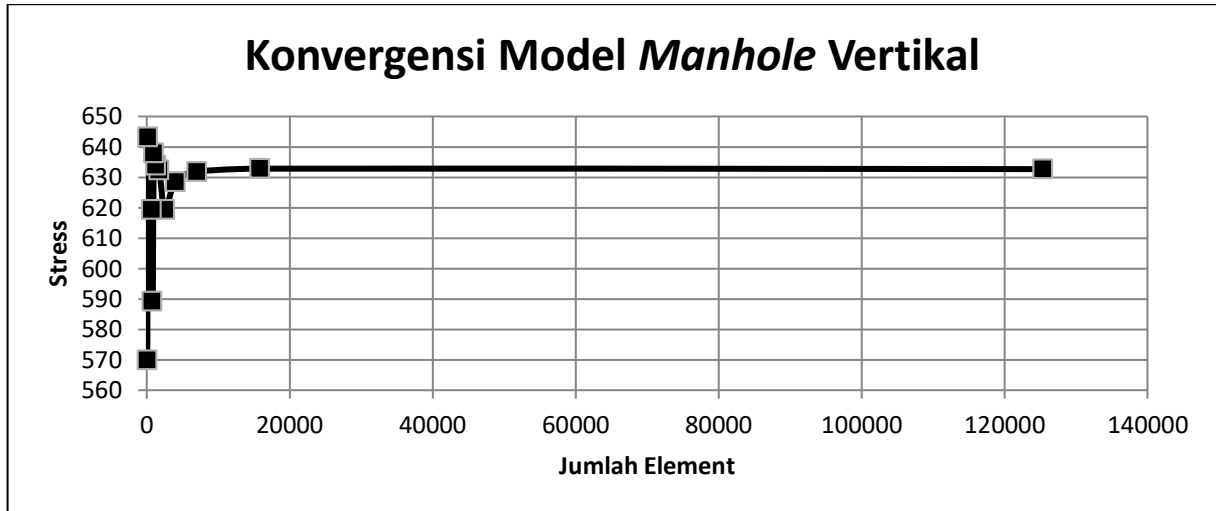
Gambar 3.8 Grafik konvergensi model *manhole* horizontal

Berdasarkan dari grafik konvergensi yang diperoleh, proses perhitungan analisis tegangan dilakukan pada ukuran *meshing* 30 mm dengan jumlah elemen 7011. Sedangkan untuk konvergensi model *manhole* vertikal didapatkan pada ukuran mesh yang sama yaitu pada ukuran meshing 0.03 m atau 30 mm dengan jumlah elemen 7046. Konvergensi model kedua dapat dilihat pada Tabel. 3 6 dan Gambar.3.9.

Tabel 3.6 Konvergensi model *manhole* vertikal

Konvergensi Model <i>Manhole</i> Vertikal			
Stress	Mesh Size (mm)	Total Element	Perubahan Stress
632,69	10	125380	0,02%
632,84	20	15806	-0,15%
631,92	30	7046	-0,53%
628,54	40	4015	-1,46%
619,39	50	2530	2,10%
632,41	60	1762	0,24%
633,91	70	1327	0,65%
638,04	80	1009	-7,64%
589,31	90	798	5,10%
619,34	100	669	3,88%
643,35	300	181	-11,42%
569,89	600	79	

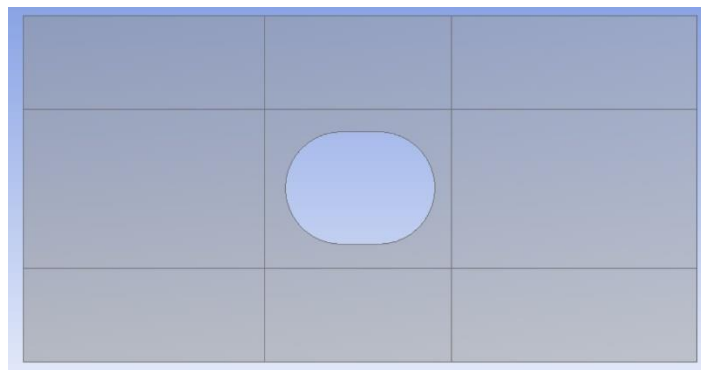
Ditunjukkan pada Tabel 3.6. hasil konvergensi tegangan dengan beberapa ukuran *meshing*, dapat terlihat konvergensi tercapai pada ukuran *meshing* 3 mm dengan nilai tegangan yang dihasilkan sebesar 631,92 MPa.



Gambar 3.9 Grafik konvergensi model *manhole* vertikal

#### 3.3.4.4. Pembagian Geometri

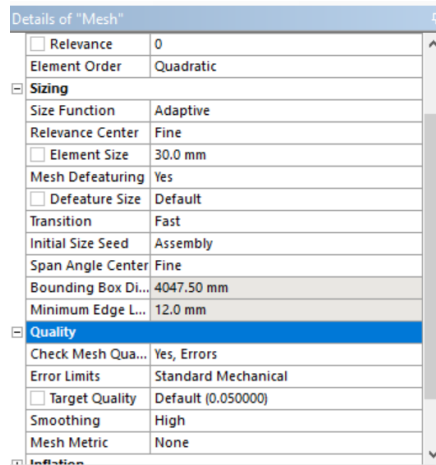
Pada tahap ini, geometri model dibagi untuk melakukan *mapping* model sehingga membantu proses *meshing* menjadi lebih rapih dengan melakukan *meshing* per part. Langkah pertama yang dilakukan adalah pembuatan sketsa garis dengan memilih *command new sketch* lalu pada tab *sketching*, mulai menggambar garis dengan *command line*. Sketsa garis terdiri dari 4 garis yang nantinya dapat membagi model menjadi 9 bagian seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Pembagian geometri model menjadi beberapa bagian

Setelah selesai pembuatan sketsa garis, pilih *command generate* untuk membuat sketsa garis dapat digunakan sebagai garis pemotong model. Selanjutnya pada tab *tools*, pilih *command face split*. Pilih sketsa garis sebelumnya sebagai *tool geometry* dan pilih sisi yang akan dibagi pada kolom *target face*. Dari proses ini, geometri model akan terbagi menjadi 9 pada tiap sisi, sehingga dapat mempermudah proses *map meshing* pada tahap selanjutnya.

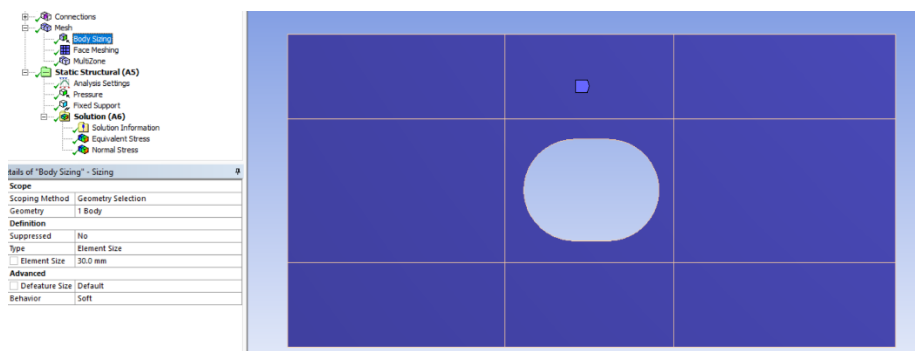
### 3.3.4.5. Meshing



Gambar 3.11 Pengaturan *Meshing*

Pada tahap *meshing*, pertama-tama yang akan dilakukan adalah mengatur modul pengaturan *meshing*. Hal-hal yang perlu diperhatikan sesuai dengan Gambar 3.11 adalah sebagai berikut

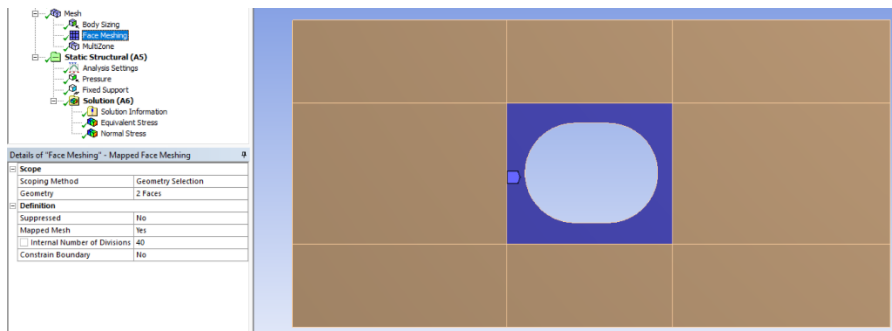
- *Element Order* yang dipilih adalah *Quadratic* sehingga jenis elemen yang akan diciptakan adalah jenis elemen yang memiliki *midside nodes* seperti pada jenis elemen Tetrahedral 10 atau Hexahedral 20. Elemen-elemen jenis ini mengurangi distorsi yang ditimbulkan saat dilakukannya analisis dikarenakan *midside nodes* dapat memperhalus lendutan struktur *meshing*.
- *Relevance Center* dan *Span Angle Center* yang dipilih adalah *Fine* sehingga dapat menghasilkan *meshing* yang lebih baik. Serta *Smoothing Quality* dipilih mode *High* untuk meningkatkan kualitas *meshing*.
- *Element Size* yang digunakan sesuai dengan hasil konvergensi yaitu 30 mm



Gambar 3.12 *Body sizing mesh*

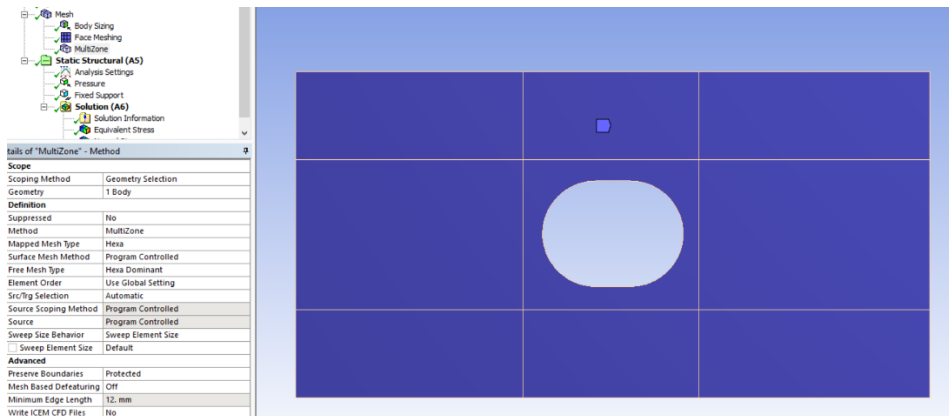
Pada tahap ini, *meshing* dilakukan dengan pengaturan *Body Sizing* yang dapat dilihat pada Gambar 3.12. Pengaturan ini membantu *meshing* pada geometri model dengan secara

global berukuran 30 mm. pada pengaturan *behavior*, dipilih mode *soft* agar *meshing* mengikuti dari bentuk *mapping* yang telah dibuat pada tahap sebelumnya



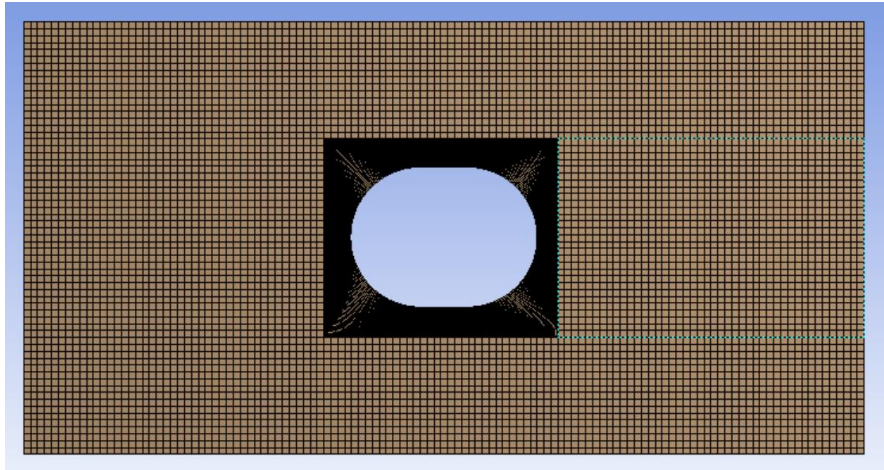
Gambar 3.13 Face Meshing

Pada tahap ini, dilakukan *meshing* pada bagian sekitar *manhole* seperti pada Gambar 3.13. Dengan bantuan *face meshing*, proses *meshing* dapat dilakukan sesuai dengan bentuk lengkungan permukaan dengan memilih *mapped mesh* aktif dengan *internal number of division* sebanyak 40. Semakin banyak jumlah *internal number of division*, maka akan semakin baik *meshing* yang dihasilkan pada permukaan dengan lengkungan sebagai titik pusatnya. *Geometry* yang dipilih adalah permukaan tengah sekitar *manhole*, tampak depan dan belakang.



Gambar 3.14 Multizone Meshing

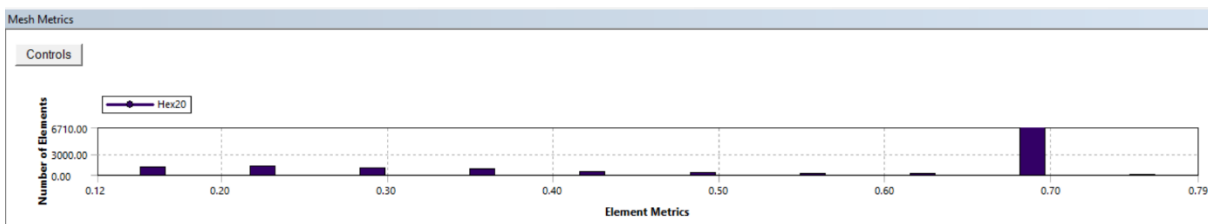
Pada tahap ini, *meshing* dengan metode *multizone* dapat membantu *meshing* agar secara global, *meshing* yang dilakukan menghasilkan elemen *hexahedral 20 nodes* dengan memilih *mapped mesh type* mode *hexa* dan *free mesh type* mode *hexa dominant*. Dengan metode ini, hasil *meshing* dapat lebih konsisten dalam mendapatkan bentuk *hexahedral*. Metode ini juga membantu *meshing* 3D untuk memiliki ketebalan sumbu z untuk tetap konsisten *hexahedral* atau sesuai dengan *mapped mesh type* yang dipilih. Pengaturan dapat dilihat di Gambar 3.14.



Gambar 3.15 Hasil *meshing*

Setelah semua tahap *meshing* dilakukan, maka akan didapatkan hasil *meshing* model seperti Gambar 3.15. Model tersebut memiliki elemen sebanyak 11.677, jauh lebih banyak dari sebelumnya dengan *meshing global* berukuran 30 mm dengan elemen sebanyak 7011. Tahap-tahap tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan maksimal yang diasumsikan akan terjadi di sekitar *manhole* lebih tepat. Dengan memperbanyak elemen yang dibutuhkan disekitar *manhole*, maka akan didapatkan hasil tegangan maksimal yang lebih detail juga dikarenakan banyak *nodes* yang terdapat di daerah tersebut.

Pada Gambar 3.16, dapat diperhatikan jenis elemen yang digunakan yaitu Hex20 atau *Hexahedral 20 nodes element*, yang merupakan elemen yang tepat untuk mencari tegangan pada suatu struktur.



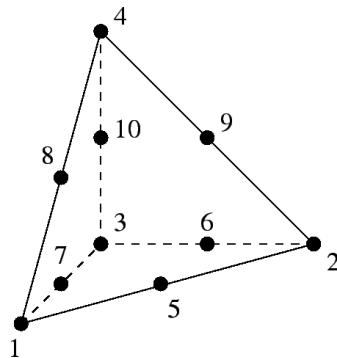
Gambar 3.16 *Element Mesh Metrics*

Pada pembuatan *meshing*, ditemukan beberapa geometri yang tidak dapat dilakukan tahap-tahap diatas sehingga dilakukan mesh secara global dengan ukuran mesh sebesar 30 mm. lalu dilakukan *refinement mesh* di daerah yang diasumsikan akan terjadi tegangan terbesar dengan pengaturan seperti pada Gambar 3.17. *Refinement mesh* akan melipatkan jumlah mesh di sekitar area yang dipilih dengan membagi ukuran awal *mesh* dengan berapa jumlah *refinement* yang dilakukan. Pada tahap ini, dilakukan dua kali *refinement* untuk mendapatkan hasil yang baik. Dengan area *refinement* yang dipilih yaitu daerah sekitar *manhole* dan lubang peringan.

Details of "Refinement" - Refinement	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	12 Edges
[-] Definition	
Suppressed	No
<input type="checkbox"/> Refinement	2

Gambar 3.17 *Refinement Meshing Toolbox*

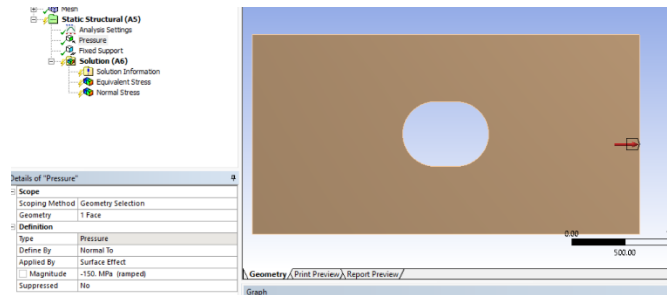
Setelah *Refinement* dilakukan, jenis elemen berubah menjadi jenis Tetrahedral 10 Nodes Element yang berbentuk prisma segitiga yang dijelaskan pada Gambar 3.18. Elemen ini sama baiknya dengan Hexahedral 10 dikarenakan juga memiliki *midside nodes* yang mana baik dalam melakukan analisis secara linear. Elemen ini digunakan dikarenakan geometri dari model lebih mudah untuk dilakukan *meshing* dengan geometri dari elemen Tetrahedral.



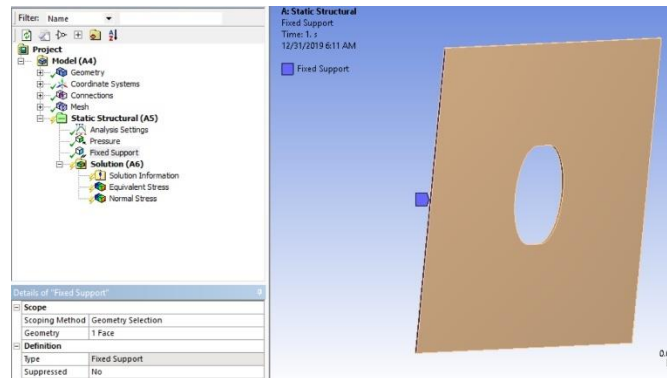
Gambar 3.18 *Tetrahedral 10 Nodes Element*

#### 3.3.4.6. Pengaplikasian Kondisi Batas

Kondisi batas terdiri dari beban dan tumpuan. Beban dengan tipe *pressure* diberikan sebesar beban *pressure* yang telah dihitung. Beban diaplikasikan pada sisi kanan wrang pelat seperti pada Gambar 3.19, dengan besar beban yaitu 150 MPa untuk simulasi mencari tegangan normal sumbu x dengan beban tarik. Sedangkan tumpuan yang digunakan adalah tipe *fixed support* yang ditahan pada arah translasi x, y, z, tumpuan diberikan pada sisi kiri wrang pelat. Pengaplikasian tumpuannya dapat dilihat pada Gambar 3.20, yang mana merupakan simulasi tarik wrang pelat.



Gambar 3.19 Pengaplikasian beban



Gambar 3.20 Pengaplikasian tumpuan

### 3.4. Analisis Tegangan

Berdasarkan hasil *running* dari tiap-tiap model, didapatkan hasil nilai tegangan normal sumbu x beban tarik, *von mises* beban tekan, dan normal sumbu y beban tekan. Dari hasil yang diperoleh akan direkap untuk diolah sehingga mendapatkan faktor konsentrasi tegangan pada wrang pelat. Setiap model lalu akan dianalisis apakah, desain dari model tersebut dapat digunakan dengan cara dibandingkan terhadap persyaratan yang diberikan oleh kelas.

Dari semua variasi model, akan dicari model dengan faktor konsentrasi tegangan wrang pelat terkecil yang sesuai dengan persyaratan kelas. Kelas yang digunakan dalam analisis ini adalah Beurau Veritas (BV). Nilai keamanan material yang diberikan dari BV adalah tegangan *yield* yang dihasilkan tidak boleh melebihi dari 235 MPa.

#### 3.4.1. Faktor Konsentrasi Tegangan

Faktor konsentrasi tegangan dapat didapatkan dengan membagi tegangan maksimal pada model dengan tegangan nominalnya, dengan persamaan sebagai berikut

$$Kt = \frac{\sigma_{maximal}}{\sigma_{nominal}} \quad (3.4)$$

Dari hasil di atas, telah diketahui tegangan maksimal dari masing-masing model, maka untuk mendapatkan faktor konsentrasi tegangan terlebih dahulu diperlukan mencari tegangan nominal. Tegangan nominal adalah tegangan total dalam suatu elemen di bawah kondisi



pembebanan secara merata tanpa adanya tegangan terkonsentrasi. Tegangan nominal dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut

$$\sigma_{nominal} = \frac{P}{(D-d)*t} \quad (3.5)$$

Dimana

$\sigma_{nominal}$  = Tegangan Nominal (N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban (N)

D = Lebar pelat (mm)

d = Tinggi *manhole* (mm)

t = Tebal pelat (mm)

### 3.4.2. Kekuatan Struktur Profil

Hasil dari simulasi tekan dengan analisis *von mises* diolah dengan mencari tegangan maksimum dari setiap model di daerah sekitar *manhole* atau lubang peringan. Analisis dilakukan pada tegangan maksimum sekitar lubang dikarenakan tegangan maksimum pada daerah tersebut dianggap yang paling berpengaruh untuk menentukan struktur layak atau tidak. Nilai-nilai tegangan harus dikomparasikan dengan nilai tegangan yang diizinkan oleh regulasi. Regulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah CSR. Menurut CSR, mengenai *Strength Assesment* (FEM), tegangan izin menggunakan rasio dengan persamaan tegangan sebagai berikut:

$$\lambda_y = \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{yd}} \quad (3.6)$$

Dimana:

$\lambda_y$  = *Yield Utilisation Factor*

$\sigma_{vm}$  = Tegangan Von Mises (MPa)

$\sigma_{yd}$  = Tegangan Yield (MPa)  $\sigma_{yd}$

Untuk menghitung tegangan izin, menggunakan perhitungan sebagai berikut

$$\sigma_i = R_{EH} \times \lambda_{yreq} \quad (3.7)$$

$R_{EH}$  = nilai minimum *upper yield* untuk baja normal 235 N/mm<sup>2</sup>

$\lambda_{yreq}$  = *Yield Utilisation Factor requirements*

desain struktur dapat diterima apabila nilai

$$\lambda_{yreq} \geq \lambda_y \quad (3.8)$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB 4

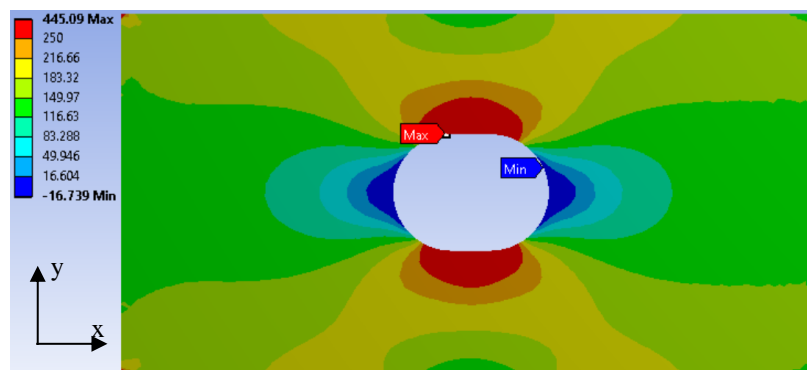
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pendahuluan

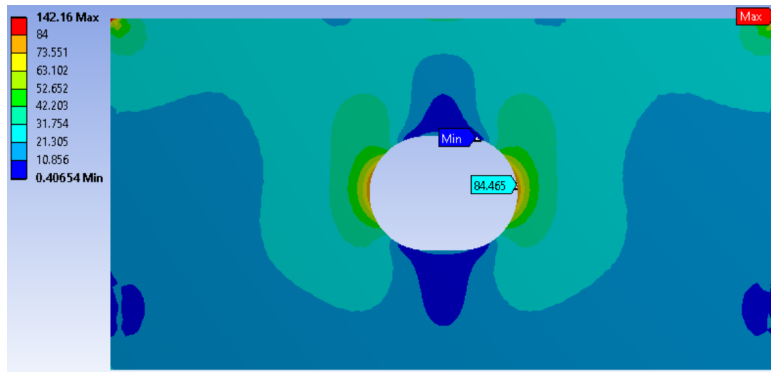
Pada Bab IV ini berisi hasil dan pembahasan mengenai tegangan yang terjadi pada model, perhitungan mekanika kepecahan dan analisis kelelahan yang merupakan hasil dari metodologi yang telah digunakan pada Bab sebelumnya.

#### 4.2. Analisis Tegangan Tarik dan Tekan Pada *Manhole*

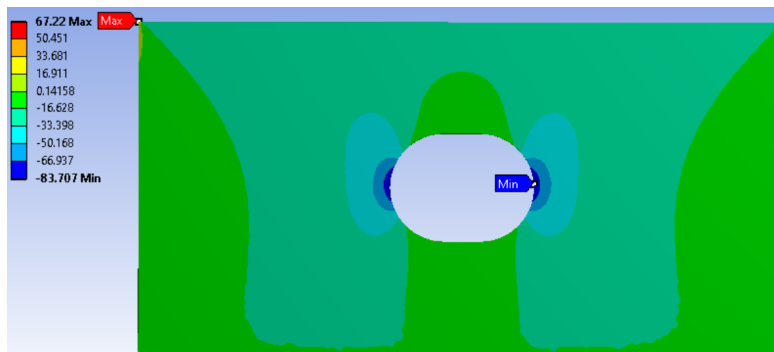
Setelah melakukan pemodelan wrang pelat dengan *software* CAD, proses selanjutnya adalah melakukan analisis besar tegangan yang terjadi pada model setelah diberikan beban dengan menggunakan *software* elemen hingga. Analisis pertama yang dilakukan adalah simulasi tarik model wrang pelat dengan *manhole* horizontal serta vertikal tanpa lubang peringan. Analisis awal ini dilakukan untuk mendapatkan *benchmark* atau landasan konsentrasi tegangan wrang pelat tanpa adanya lubang peringan. Beban yang diberikan merupakan beban tarik ke arah sumbu x sebesar 150 MPa atau merupakan 60% *yield strength* dari material. Beban dilakukan secara merata pada sisi kanan pelat dengan luasan sebesar 22.200 mm<sup>2</sup>, sehingga mendapatkan besaran gaya sebesar 3.330 kN.



Gambar 4.1 Tegangan arah Sumbu x Beban Tarik pada Model *Manhole* Horizontal

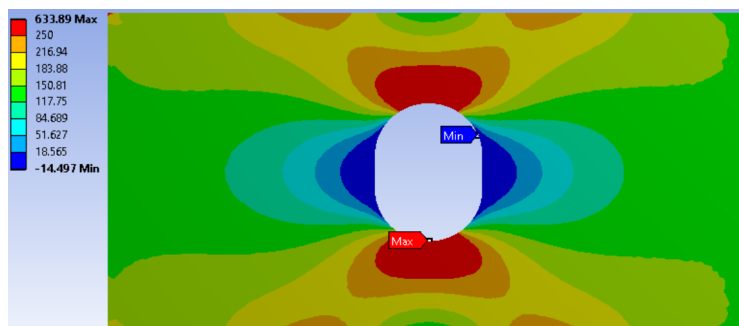


Gambar 4.2 Tegangan *Von Mises* Beban Tekan pada Model *Manhole* Horizontal

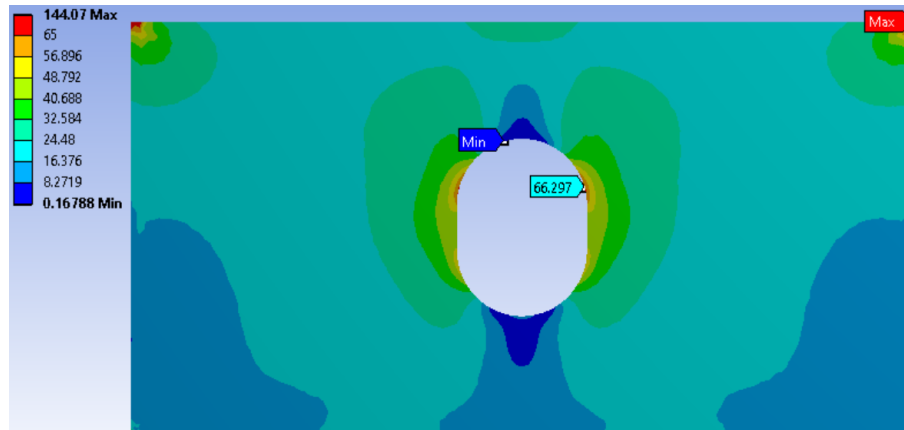


Gambar 4.3 Tegangan arah Sumbu y Beban Tekan pada Model *Manhole* Horizontal

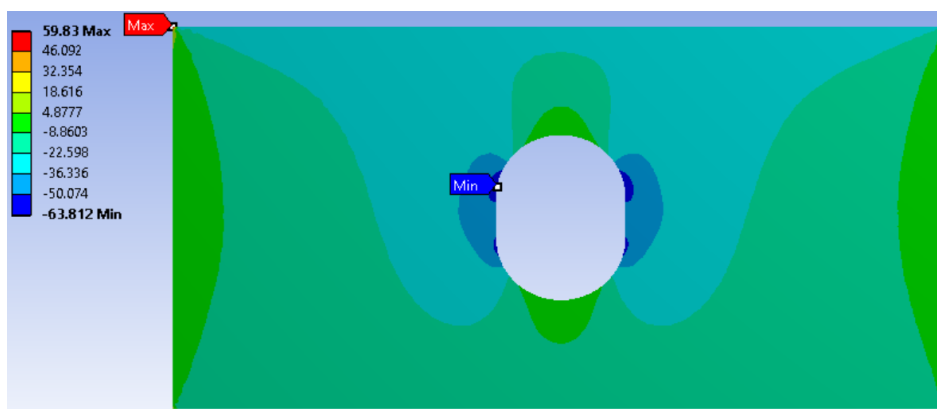
Dapat dilihat dari Gambar 4.1 Tegangan arah Sumbu x Beban Tarik pada Model *Manhole Horizontal*, menunjukkan bahwa tegangan normal arah sumbu X maksimum yang dihasilkan sebesar 445,09 MPa. Tegangan tersebut terletak di tepi awal lengkungan *manhole*. Lalu pada Gambar 4.2 Tegangan *Von Mises* Beban Tekan pada Model *Manhole Horizontal*, menunjukkan tegangan sebesar 84,465 MPa yang terletak pada sisi *manhole*. Tegangan terakhir yaitu pada Gambar 4.3 Tegangan arah Sumbu y Beban Tekan pada Model *Manhole* Horizontal, menunjukkan hasil tegangan maksimum sebesar 8,707 MPa ke arah sumbu -y, yang terletak di tepi sisi bagian dari *manhole*.



Gambar 4.4 Tegangan arah Sumbu x Beban Tarik pada Model *Manhole* Vertikal



Gambar 4.5 Tegangan *Von Mises* Beban Tekan pada Model *Manhole* Vertikal



Gambar 4.6 Tegangan arah Sumbu y Beban Tekan pada Model *Manhole* Vertikal

Dapat dilihat dari Gambar 4.4 Tegangan arah Sumbu x Beban Tarik pada Model *Manhole Vertikal*, menunjukkan bahwa tegangan normal arah sumbu X maksimum yang dihasilkan sebesar 445,09 MPa. Tegangan tersebut terletak di tepi awal lengkungan *manhole*. Lalu pada Gambar 4.5 Tegangan *Von Mises* Beban Tekan pada Model *Manhole Vertikal*, menunjukkan tegangan sebesar 66.297 MPa yang terletak pada sisi *manhole*. Tegangan terakhir yaitu pada Gambar 4.6 Tegangan arah Sumbu y Beban Tekan pada Model *Manhole Vertikal*, menunjukkan hasil tegangan maksimum sebesar 83.707 MPa ke arah sumbu -y, yang terletak di tepi sisi bagian dari *manhole*.

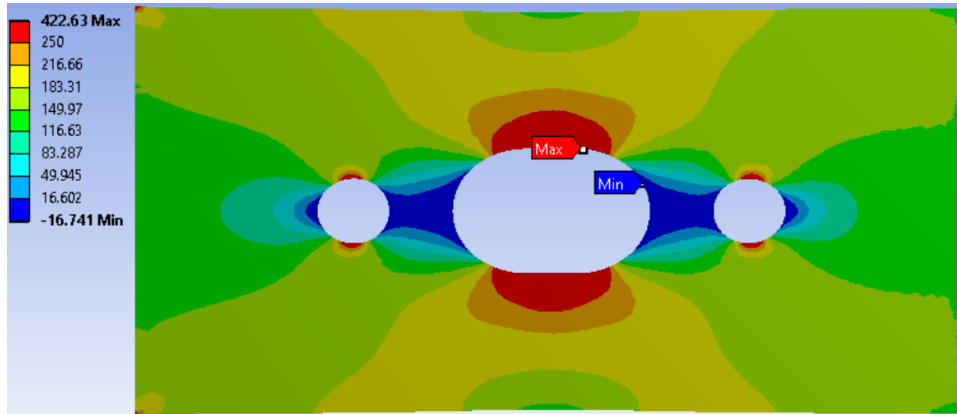
### 4.3. Analisis Tegangan Pada Model Wrang Pelat dengan Lubang Peringan

#### 4.3.1. Analisis Tegangan Normal Arah Sumbu x dengan Beban Tarik

Pada Subab ini akan dibahas hasil yang didapatkan dari analisis tegangan wrang pelat, dengan jenis tegangan yaitu tegangan normal dengan arah sumbu x yang didapatkan dari beban tarik yang diberikan pada model wrang pelat.

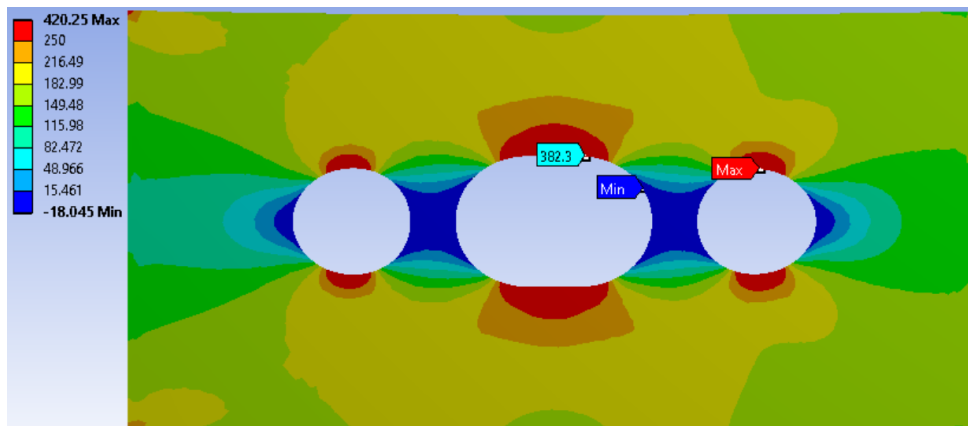
#### 4.3.1.1. Model HMH (Horizontal Manhole)

Pada Gambar 4.7 Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik pada Model HMH 1 a 300 b 740, menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 422,63 MPa yang terletak di tepi *manhole*. Pada model HMH atau Horizontal *ManHole*, menunjukkan terjadinya perpindahan letak tegangan maksimum normal arah sumbu x.



Gambar 4.7 Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik pada Model HMH 1 a 300 b 740

Perpindahan tegangan maksimum terjadi pada model HMH 4 dengan nilai b 740 mm, HMH 3 dan HMH 4 dengan nilai b 925 mm, lalu pada HMH 2, HMH 3, dan HMH 4 dengan nilai b 1110 mm. Letak tegangan maksimum berpindah dari daerah *manhole* ke daerah lubang peringan, seperti pada Gambar 4.8 Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik pada Model HMH 4 a 480 b 740 di bawah.



Gambar 4.8 Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik pada Model HMH 4 a 480 b 740

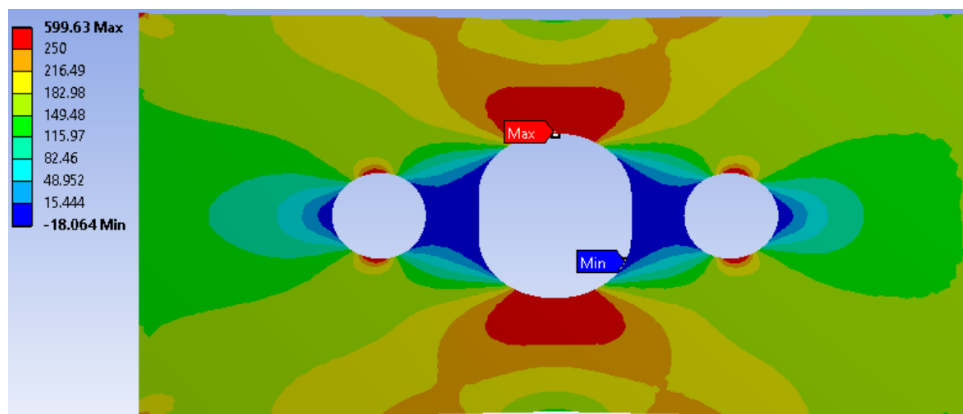
Hasil simulasi tegangan normal sumbu x dengan beban tarik ini, akan digunakan untuk mendapatkan faktor konsentrasi tegangan tarik pada model HMH. Data lengkap dari tegangan normal sumbu x pada semua model HMH dapat dilihat pada Tabel 4.1 Data Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik Model HMH.

Tabel 4.1 Data Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik Model HMH

Model	b (mm)	a (mm)	$\sigma_{max}$ Normal Sumbu X (MPa)		Letak $\sigma_{max}$
			Manhole	Wrang Pelat	
HMH	0	0	445,09	445,09	Manhole
HMH 1	740	300	422,63	422,63	Manhole
HMH 2		360	413,18	413,18	Manhole
HMH 3		420	398,42	398,42	Manhole
HMH 4		480	382,3	420,25	Lubang Peringan
HMH 1	925	300	424,69	424,69	Manhole
HMH 2		360	415,62	415,62	Manhole
HMH 3		420	403,6	430,68	Lubang Peringan
HMH 4		480	388,24	458,51	Lubang Peringan
HMH 1	1110	300	428,84	428,84	Manhole
HMH 2		360	421,11	447,74	Lubang Peringan
HMH 3		420	411,81	475,6	Lubang Peringan
HMH 4		480	400,2	507,88	Lubang Peringan

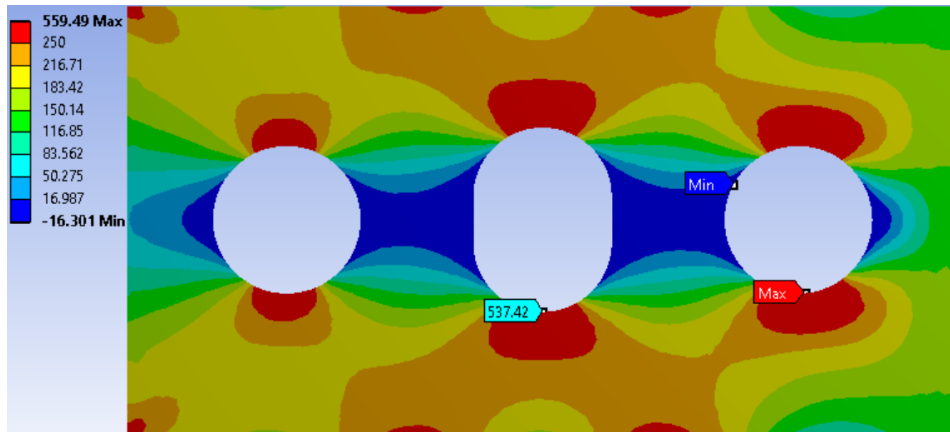
#### 4.3.1.2. Model VMH (Vertikal Manhole)

Gambar 4.9 Tegangan Normal Sumbu x pada Model VMH 1 a 400 b 740, menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 599,63 MPa yang terletak di tepi atas manhole. Pada model VMH atau Vertikal Manhole, menunjukkan terjadinya perpindahan letak tegangan maksimum normal arah sumbu x



Gambar 4.9 Tegangan Normal Sumbu x pada Model VMH 1 a 400 b 740

Perpindahan tegangan maksimum tersebut hanya terjadi pada satu model yaitu model VMH 4 dengan nilai b 1110 mm. Letak tegangan maksimum berpindah dari daerah manhole ke daerah lubang peringan, seperti pada Gambar 4.10 Tegangan arah Sumbu x pada Model VMH 4 a 640 b 1110 di bawah.



Gambar 4.10 Tegangan arah Sumbu x pada Model VMH 4 a 640 b 1110

Hasil simulasi tegangan normal sumbu x dengan beban tarik ini, akan digunakan untuk mendapatkan faktor konsentrasi tegangan tarik pada model VMH. Data lengkap dari tegangan normal sumbu x pada semua model VMH dapat dilihat pada Tabel 4.2 Data Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik Model VMH di bawah.

Tabel 4.2 Data Tegangan Normal Sumbu x Beban Tarik Model VMH

Model	b (mm)	a (mm)	$\sigma_{max}$ Normal Sumbu X (MPa)		Letak $\sigma_{max}$
			Manhole	Wrang Pelat	
VMH	0	0	633,89	633,89	Manhole
VMH 1	740	300	599,63	599,63	Manhole
VMH 2		360	580,93	580,93	Manhole
VMH 3		420	554,91	554,91	Manhole
VMH 4		480	522,56	522,56	Manhole
VMH 1	925	300	597,55	597,55	Manhole
VMH 2		360	577,97	577,97	Manhole
VMH 3		420	553,19	553,19	Manhole
VMH 4		480	522,01	522,01	Manhole
VMH 1	1110	300	601,69	601,69	Manhole
VMH 2		360	585,19	585,19	Manhole
VMH 3		420	565,01	565,01	Manhole
VMH 4		480	537,42	559,49	Lubang Peringan

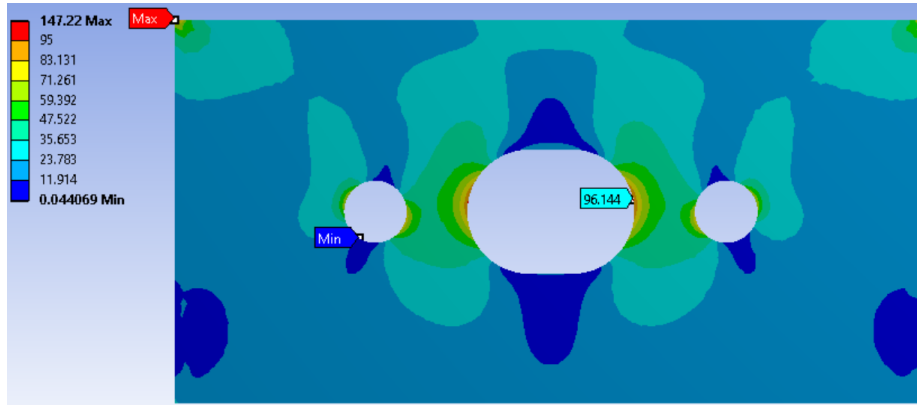
#### 4.3.2. Analisis Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan

Pada Subab ini akan dibahas hasil yang didapatkan dari analisis tegangan wrang pelat, dengan jenis tegangan yaitu tegangan *von mises* yang didapatkan dari beban tekan yang diberikan pada model wrang pelat. Tegangan *von mises* yang ditinjau merupakan tegangan maksimum di sekitar area lubang.



#### 4.3.2.1. Model HMH (Horizontal Manhole)

Pada Gambar 4.11 Tegangan Von Mises Beban Tekan pada Model HMH 1 a 300 b 740, menunjukkan nilai tegangan maksimum di sekitar daerah profil lubang sebesar 96,144 MPa yang terletak di tepi *manhole*. Pada model HMH atau Horizontal *Manhole*, tidak menunjukkan terjadinya perpindahan tegangan maksimum *von mises* di sekitar daerah profil lubang wrang pelat.



Gambar 4.11 Tegangan Von Mises Beban Tekan pada Model HMH 1 a 300 b 740

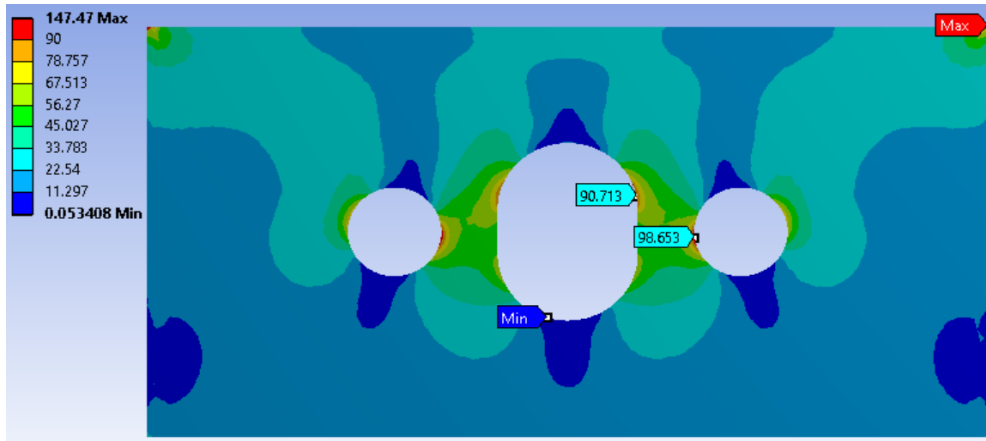
Hasil simulasi tegangan *von mises* dengan beban tekan ini, akan digunakan untuk mendapatkan analisis kekuatan dari struktur wrang pelat HMH. Data lengkap dari tegangan *von mises* pada semua model HMH dapat dilihat pada Tabel 4.3 Data Tegangan Von Mises Beban Tekan Model HMH di bawah.

Tabel 4.3 Data Tegangan Von Mises Beban Tekan Model HMH

Model	b (mm)	a (mm)	$\sigma_{\max}$ Von Mises (MPa)	Letak $\sigma_{\max}$
HMH	0	0	84,465	Manhole
HMH 1	740	300	96,144	Manhole
HMH 2		360	102,21	Manhole
HMH 3		420	110,23	Manhole
HMH 4		480	120,29	Manhole
HMH 1	925	300	89,163	Manhole
HMH 2		360	91,602	Manhole
HMH 3		420	94,555	Manhole
HMH 4		480	98,111	Manhole
HMH 1	1110	300	86,659	Manhole
HMH 2		360	87,75	Manhole
HMH 3		420	89,063	Manhole
HMH 4		480	90,658	Manhole

#### 4.3.2.2. Model VMH (Vertikal Manhole)

Pada Gambar 4.12 Tegangan *Von Mises* Beban Tekan pada Model VMH 1 a 400 b 740, menunjukkan nilai tegangan maksimum di sekitar daerah profil lubang sebesar 98,653 MPa yang terletak di tepi lubang peringan.



Gambar 4.12 Tegangan *Von Mises* Beban Tekan pada Model VMH 1 a 400 b 740

Pada model VMH atau Vertikal *Manhole*, menunjukkan terjadinya perpindahan letak tegangan maksimum *von mises* di sekitar daerah profil lubang wrang pelat. Perpindahan tegangan maksimum tersebut terjadi pada semua model VMH dengan nilai b 740 mm. Letak tegangan maksimum berpindah dari daerah *manhole* ke daerah lubang peringan, seperti pada Gambar 4.12 Tegangan *Von Mises* Beban Tekan pada Model VMH 1 a 400 b 740 di atas.

Data lengkap dari tegangan *von mises* pada semua model VMH dapat dilihat pada Tabel 4.4 Data Tegangan *Von Mises* Beban Tekan Model VMH.

Tabel 4.4 Data Tegangan *Von Mises* Beban Tekan Model VMH

Model	b (mm)	a (mm)	$\sigma_{\max}$ Von Mises (MPa)	Letak $\sigma_{\max}$
VMH	0	0	66,297	<i>Manhole</i>
VMH 1	740	400	98,653	Lubang Peringan
VMH 2		480	114,05	Lubang Peringan
VMH 3		560	137,11	Lubang Peringan
VMH 4		640	176,1	Lubang Peringan
VMH 1	925	400	76,853	<i>Manhole</i>
VMH 2		480	81,928	<i>Manhole</i>
VMH 3		560	88,208	<i>Manhole</i>
VMH 4		640	96,347	<i>Manhole</i>
VMH 1	1110	400	71,358	<i>Manhole</i>
VMH 2		480	73,525	<i>Manhole</i>
VMH 3		560	76,54	<i>Manhole</i>
VMH 4		640	80,122	<i>Manhole</i>

### 4.3.3. Analisis Tegangan Normal Arah Sumbu y dengan Beban Tekan

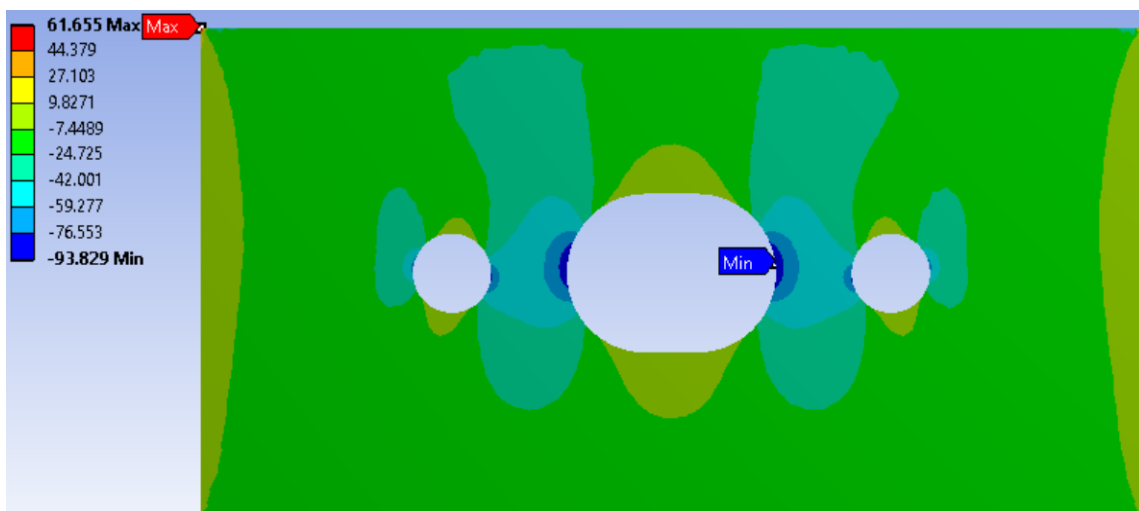
Pada Subab ini akan dibahas hasil yang didapatkan dari analisis tegangan wrang pelat, dengan jenis tegangan yaitu tegangan normal dengan arah sumbu y yang didapatkan dari beban tekan yang diberikan pada model wrang pelat. Tegangan maksimum yang ditinjau mengabaikan arah besaran dari tegangan.

#### 4.3.3.1. Model HMH (Horizontal Manhole)

Pada Gambar 4.13 Tegangan Normal Sumbu y Beban Tekan pada Model HMH 1 a 300 b 740, menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 93,829 MPa yang terletak di tepi *manhole* dengan arah sumbu -y. Pada model HMH atau Horizontal *Manhole*, tidak menunjukkan terjadinya perpindahan tegangan maksimum normal arah sumbu y.

Terjadi tren penambahan tegangan maksimum pada model dengan semakin besar lubang peringan yang dibuat. Jarak dari lubang peringan dengan *manhole* pun juga dapat mempengaruhi besar tegangan maksimum tekan. Semakin besar lubang peringan dan semakin dekat jaraknya dengan *manhole*, tegangan maksimum tekan yang berada di sekitar *manhole* semakin meningkat.

Hasil simulasi tegangan normal sumbu y dengan beban tekan ini, akan digunakan untuk mendapatkan analisis perubahan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur wrang pelat model HMH. Data lengkap dari tegangan normal sumbu y pada semua model HMH dapat dilihat pada Tabel 4.5 Data Tegangan Normal Sumbu y Beban Tekan Model HMH di bawah.



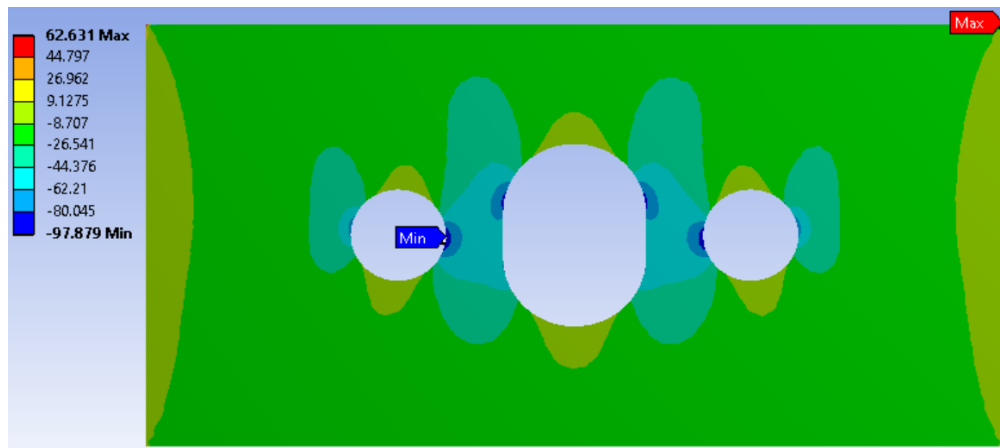
Gambar 4.13 Tegangan Normal Sumbu y Beban Tekan pada Model HMH 1 a 300 b 740

Tabel 4.5 Data Tegangan Normal Sumbu y dan Beban Tekan Model HMH

Model	b (mm)	a (mm)	$\sigma_{\max}$ Normal Sumbu y (MPa)	Letak $\sigma_{\max}$
HMH	0	0	83,707	<i>Manhole</i>
HMH 1	740	300	93,829	<i>Manhole</i>
HMH 2		360	99,521	<i>Manhole</i>
HMH 3		420	106,9	<i>Manhole</i>
HMH 4		480	117,43	<i>Manhole</i>
HMH 1	925	300	87,674	<i>Manhole</i>
HMH 2		360	89,56	<i>Manhole</i>
HMH 3		420	92,124	<i>Manhole</i>
HMH 4		480	95,336	<i>Manhole</i>
HMH 1	1110	300	85,553	<i>Manhole</i>
HMH 2		360	86,443	<i>Manhole</i>
HMH 3		420	87,44	<i>Manhole</i>
HMH 4		480	88,74	<i>Manhole</i>

#### 4.3.3.2. Model VMH (Vertikal *Manhole*)

Pada Gambar 4.14 Tegangan Normal Sumbu y dan Beban Tekan pada Model VMH 1 a 400 b 740, menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 97,879 MPa yang terletak di tepi sisi lubang peringan dengan arah sumbu -y. Pada model VMH atau Vertikal *Manhole*, menunjukkan terjadinya perpindahan letak tegangan maksimum normal arah sumbu y.



Gambar 4.14 Tegangan Normal Sumbu y dan Beban Tekan pada Model VMH 1 a 400 b 740

Perpindahan tegangan maksimum tersebut terjadi pada semua model VMH dengan nilai b 740 mm. Letak tegangan maksimum berpindah dari daerah *manhole* ke daerah lubang peringan, seperti pada Gambar 4.14 Tegangan Normal Sumbu y dan Beban Tekan pada Model VMH 1 a 400 b 740 di atas.

Hasil simulasi tegangan normal sumbu y dengan beban tekan ini, akan digunakan untuk mendapatkan analisis perubahan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur wrang pelat

model VMH. Data lengkap dari tegangan normal sumbu y pada semua model VMH dapat dilihat pada Tabel 4.6 Data Tegangan Normal Sumbu y Beban Tekan Model VMH.

Tabel 4.6 Data Tegangan Normal Sumbu y Beban Tekan Model VMH

Model	b (mm)	a (mm)	$\sigma_{\max}$ Normal Sumbu Y (MPa)	Letak $\sigma_{\max}$
VMH	0	0	59,83	<i>Manhole</i>
VMH 1	740	400	97,879	Lubang Peringan
VMH 2		480	113,53	Lubang Peringan
VMH 3		560	137	Lubang Peringan
VMH 4		640	176,02	Lubang Peringan
VMH 1	925	400	73,688	<i>Manhole</i>
VMH 2		480	78,327	<i>Manhole</i>
VMH 3		560	84,402	<i>Manhole</i>
VMH 4		640	92,422	<i>Manhole</i>
VMH 1	1110	400	68,428	<i>Manhole</i>
VMH 2		480	70,483	<i>Manhole</i>
VMH 3		560	73,019	<i>Manhole</i>
VMH 4		640	76,21	<i>Manhole</i>

#### 4.4. Pembahasan Hasil Simulasi

Pada pembahasan hasil ini akan dijelaskan mengenai hasil analisis dari penelitian yang dilakukan pada ketiga variasi model *cut out*. Pembahasan yang disajikan berupa data hasil tegangan, analisis kekuatan serta perhitungan umur kelelahan dari ketiga model tersebut.

##### 4.4.1. Faktor Konsentrasi Tegangan Wrang Pelat Tanpa Lubang Peringan

Faktor konsentrasi tegangan dapat didapatkan dengan membagi tegangan maksimal pada model dengan tegangan nominalnya, dengan persamaan sebagai berikut

$$K_t = \sigma_{\max} / \sigma_{\text{nominal}} \quad (4.1)$$

Dari hasil di atas, telah diketahui tegangan maksimal dari masing-masing model, maka untuk mendapatkan faktor konsentrasi tegangan terlebih dahulu diperlukan mencari tegangan nominal. Tegangan nominal adalah tegangan total dalam suatu elemen di bawah kondisi pembebanan secara merata tanpa adanya tegangan terkonsentrasi. Tegangan nominal dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut

$$\sigma_{\text{nominal}} = \frac{P}{(D-d)*t} \quad (4.2)$$

Lalu dari hasil faktor konsentrasi tegangan yang didapatkan dari hasil simulasi numerik, dibandingkan dengan faktor konsentrasi tegangan yang didapatkan dari hasil empiris dengan menggunakan *Roark's Formula*. Hasil perbandingan ini akan menjelaskan seberapa jauh

perbedaan dari kedua hasil tersebut yang dibutuhkan sebagai validasi. Perbedaan dari kedua hasil tersebut menunjukkan angka 0.65% dan 9.77% untuk masing-masing tipe *manhole*.

Tabel 4.7 Tegangan Tarik Arah Sumbu x

Model	Tipe <i>Manhole</i>	3.330 KN (60% yield)		Faktor Konsentrasi Tegangan Kt Metode Numerik	Faktor Konsentrasi Tegangan Kt\ Metode Empiris	Error
		Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )				
		Tegangan Maksimal $\sigma_{maximal}$	Tegangan Nominal $\sigma_{nominal}$			
HMH	Horizontal	445,09	222	2,0	2,013	0,65%
VMH	Vertikal	633,89	264,28	2,4	2,621	9,77%

#### 4.4.2. Tegangan Tarik Maksimum pada Model Wrang Pelat

Setelah dilakukannya *running* dari semua variasi model wrang pelat, maka didapatkan hasil tegangan tarik maksimum dengan analisis tegangan normal arah sumbu x. Terjadi perubahan tekanan pada setiap variasi model wrang pelat. Dari hasil tegangan maksimum yang didapatkan dari masing masing model, selanjutnya dibandingkan dengan model awal wrang pelat yang tidak memiliki lubang peringan. Hal ini digunakan untuk mengetahui besar perubahan tegangan maksimum yang terjadi di wrang pelat khususnya pada daerah *manhole*. Seluruh data variasi model wrang pelat dapat dilihat pada Tabel 4.8.

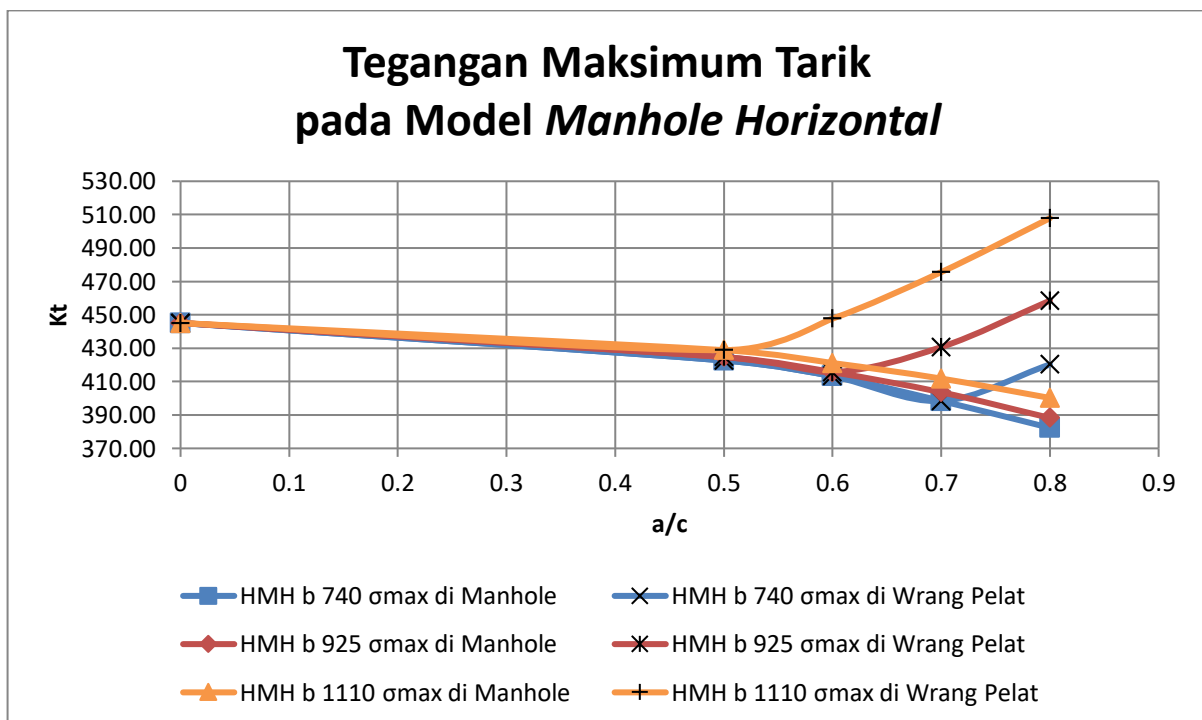
Tabel 4.8 Hasil tegangan normal sumbu x beban tarik HMH (Horizontal *Manhole*)

Model	b (mm)	a (mm)	$\sigma_{max}$ Normal Sumbu X (MPa)		Letak $\sigma_{max}$	Pengurangan $\sigma_{max}$	
			<i>Manhole</i>	Wrang Pelat		<i>Manhole</i>	Wrang Pelat
HMH	0	0	445,09	445,09	<i>Manhole</i>	-	-
HMH 1	740	300	422,63	422,63	<i>Manhole</i>	-5,05%	-5,05%
HMH 2		360	413,18	413,18	<i>Manhole</i>	-7,17%	-7,17%
HMH 3		420	398,42	398,42	<i>Manhole</i>	-10,49%	-10,49%
HMH 4		480	382,3	420,25	Lubang Peringan	-14,11%	-5,58%
HMH 1	925	300	424,69	424,69	<i>Manhole</i>	-4,58%	-4,58%
HMH 2		360	415,62	415,62	<i>Manhole</i>	-6,62%	-6,62%
HMH 3		420	403,6	430,68	Lubang Peringan	-9,32%	-3,24%
HMH 4		480	388,24	458,51	Lubang Peringan	-12,77%	3,02%
HMH 1	1110	300	428,84	428,84	<i>Manhole</i>	-3,65%	-3,65%
HMH 2		360	421,11	447,74	Lubang Peringan	-5,39%	0,60%
HMH 3		420	411,81	475,6	Lubang Peringan	-7,48%	6,85%
HMH 4		480	400,2	507,88	Lubang Peringan	-10,09%	14,11%

Pada simulasi tarik wrang pelat dengan model *manhole* horizontal, dapat dilihat bahwa pengurangan tegangan maksimum terbesar yang dialami oleh *manhole* terdapat pada variasi model HMH 4 a 480 b 740, dengan perubahan tegangan maksimum berkurang sebesar 14,11%. Tetapi, apabila dilihat secara keseluruhan tegangan maksimum pada wrang pelat dengan *manhole* horizontal, model HMH 3 a 420 b 740 merupakan wrang pelat yang memiliki pengurangan tegangan maksimum terbesar dengan nilai 10,49%. Pada model HMH 4 a 480 b 740, tegangan maksimum wrang pelat yang terjadi berpindah letak menjadi berada di lubang peringannya dengan pengurangan tegangan maksimum hanya sebesar 4,58%.

Dari 12 variasi model wrang pelat yang dilakukan analisis, terdapat 50% variasi model yang mengalami perpindahan letak tegangan maksimum yang awalnya berada di *manhole* menjadi berada di lubang peringannya. Untuk lebih mudahnya dapat dilihat dari Gambar IV.15, grafik menunjukkan kenaikan tegangan yang cukup drastis pada model HMH b 1110.

Dari Tabel 4.8, dapat dilihat bahwa terdapat 3 model yang mengalami perubahan tegangan maksimum yang melebihi tegangan maksimum wrang pelat awal tanpa adanya lubang peringan. 3 model tersebut merupakan model HMH 2, 3, dan 4 dengan perubahan tegangan maksimum secara berurutan sebesar 0,6%, 6,85%, dan 14,11%. Pada ketiga model, tegangan maksimum terbesar terletak pada daerah sekitar lubang peringan. Hal ini terjadi dikarenakan jarak dari lubang peringan terhadap *manhole* yang kurang optimal.



Gambar 4.15 Grafik tegangan maksimum tarik pada model *manhole* horizontal

Dari hasil tersebut, menjelaskan bahwa wrang pelat dengan model HMH 3 a 420 b 740 merupakan model wrang pelat dengan tegangan maksimum terkecil dari semua model wrang pelat dengan *manhole* horizontal yang telah dianalisis. Model tersebut memiliki pengurangan tegangan maksimum dengan perubahan sebesar 10,49% yang terletak di daerah sekitar *manhole*.

Pada simulasi tarik wrang pelat dengan model VMH (Vertikal *Manhole*), dapat dilihat bahwa perubahan tegangan maksimum terbesar yang dialami oleh *manhole* terdapat pada variasi model VMH 4 a 640 b 925 dengan perubahan tegangan maksimum sebesar 17,65%. Dilihat secara keseluruhan, tegangan maksimum pada model VMH 4 a 640 b 925 pun juga merupakan wrang pelat yang memiliki perubahan tegangan maksimum terbesar. Hal ini terjadi dikarenakan tidak terjadinya perpindahan tegangan maksimum pada *manhole* di model VMH 4 a 640 b 925.

Dapat dilihat juga dari Tabel 4.9, variasi model yang memiliki pengurangan tegangan maksimum terkecil terdapat pada variasi model VMH 1 a 400 b 1110 dengan perubahan tegangan maksimum sebesar 5,08%. berbeda sedikit dengan variasi model VMH 1 dengan nilai b 740 dan 925 dengan perubahan secara berurutan sebesar 5,4% dan 5,73%.

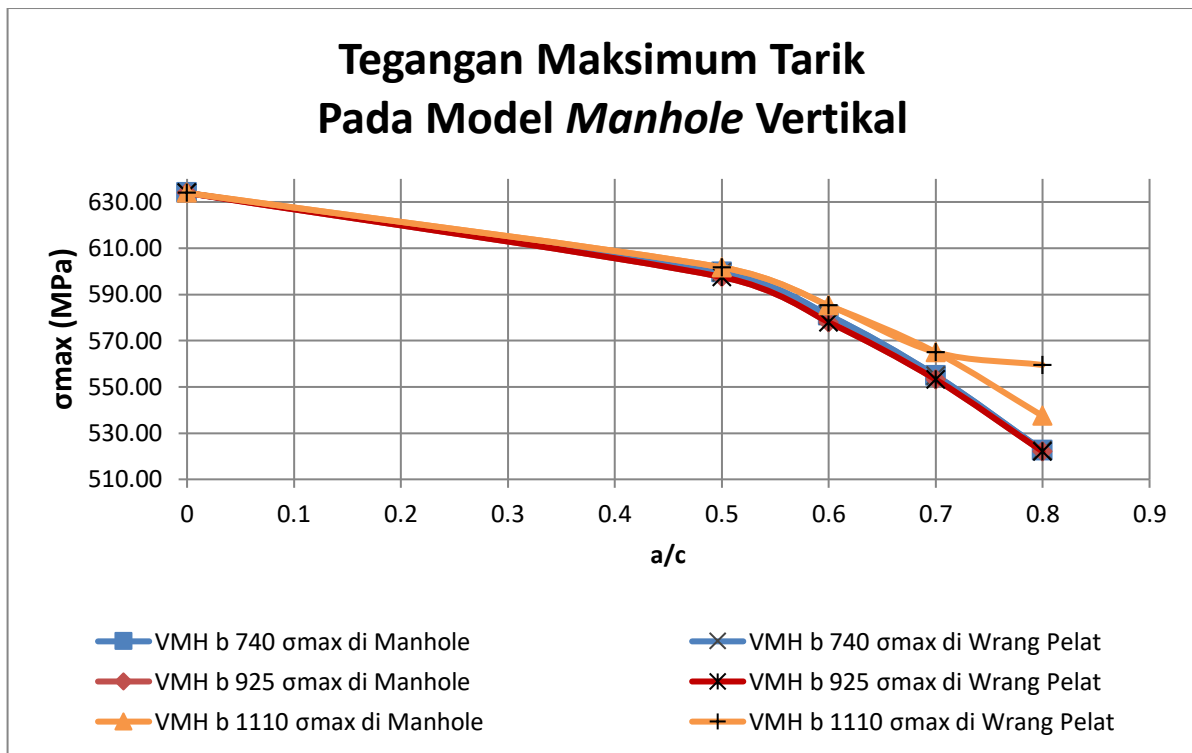
Tabel 4.9 Hasil tegangan normal sumbu x beban tarik VMH (Vertikal *Manhole*)

Model	b (mm)	a (mm)	$\sigma_{max}$ Normal Sumbu X (MPa)		Letak $\sigma_{max}$	Pengurangan $\sigma_{max}$	
			<i>Manhole</i>	Wrang Pelat		<i>Manhole</i>	Wrang Pelat
VMH	0	0	633,89	633,89	<i>Manhole</i>	-	-
VMH 1	740	300	599,63	599,63	<i>Manhole</i>	-5,40%	-5,40%
VMH 2		360	580,93	580,93	<i>Manhole</i>	-8,35%	-8,35%
VMH 3		420	554,91	554,91	<i>Manhole</i>	-12,46%	-12,46%
VMH 4		480	522,56	522,56	<i>Manhole</i>	-17,56%	-17,56%
VMH 1	925	300	597,55	597,55	<i>Manhole</i>	-5,73%	-5,73%
VMH 2		360	577,97	577,97	<i>Manhole</i>	-8,82%	-8,82%
VMH 3		420	553,19	553,19	<i>Manhole</i>	-12,73%	-12,73%
VMH 4		480	522,01	522,01	<i>Manhole</i>	-17,65%	-17,65%
VMH 1	1110	300	601,69	601,69	<i>Manhole</i>	-5,08%	-5,08%
VMH 2		360	585,19	585,19	<i>Manhole</i>	-7,68%	-7,68%
VMH 3		420	565,01	565,01	<i>Manhole</i>	-10,87%	-10,87%
VMH 4		480	537,42	559,49	Lubang Peringan	-15,22%	-11,74%

Dari 12 variasi model wrang pelat yang dilakukan analisis, Hanya terdapat 1 variasi model yang mengalami perpindahan letak tegangan maksimum yaitu pada model VMH 4 a 640 b 1110. Untuk lebih mudahnya, dapat dilihat dari Gambar IV.15, berbeda dengan model HMH,



grafik menunjukkan tidak ada variasi yang menghasilkan tegangan tarik melebihi wrang pelat dengan *manhole* vertikal tanpa lubang peringan.



Gambar 4.16 Grafik tegangan maksimum tarik pada model *manhole* vertikal

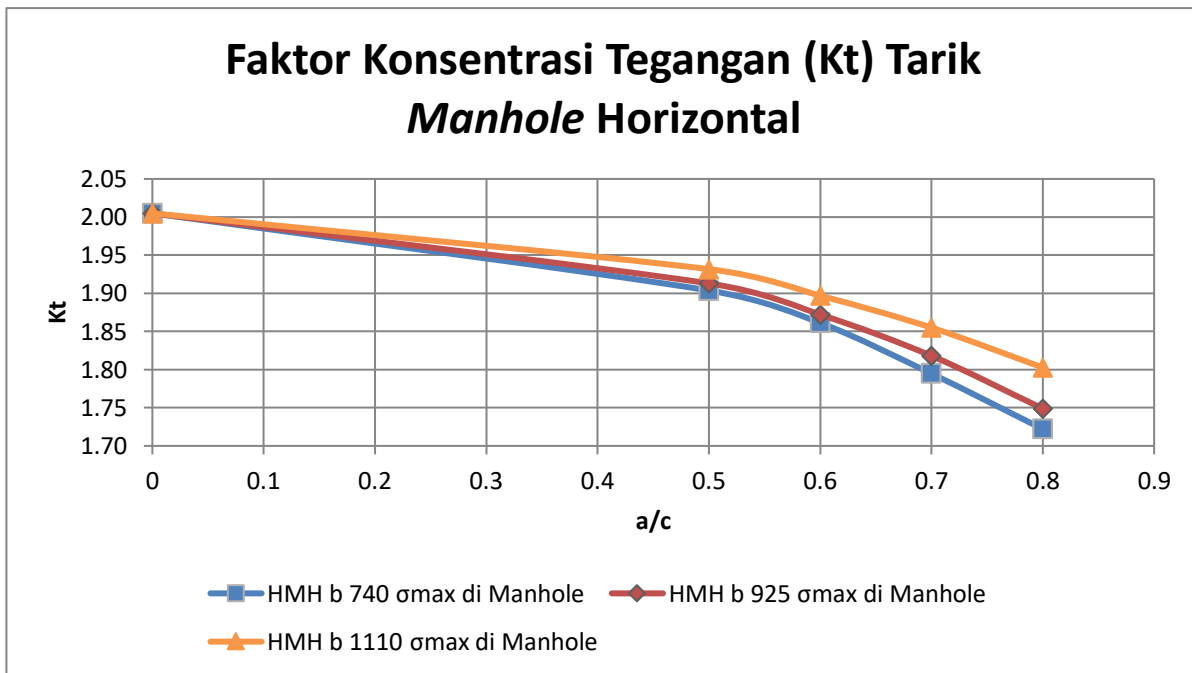
#### 4.4.3. Faktor Konsentrasi Tegangan Tarik

Setelah menganalisis tegangan maksimum di setiap variasi model wrang pelat, maka selanjutnya dapat dilakukan pencarian faktor konsentrasi tegangan *manhole* pada setiap variasi model. Untuk mendapatkan faktor konsentrasi tegangan, tegangan maksimum *manhole* pada setiap wrang pelat, akan dibagi dengan tegangan normal dari masing masing jenis *manhole*. Untuk *manhole* horizontal, besar tegangan nominalnya adalah 222 MPa. Lalu untuk *manhole* vertikal, besar tegangan nominalnya adalah 264,28 MPa.

Tabel 4.10 Data faktor konsentrasi tegangan pada variasi HMH (Horizontal *ManHole*)

Faktor Konsentrasi Tegangan Pada Manhole Horizontal					
Model	a/c	a (mm)	Kt		
			b (mm)		
			740	925	1110
	0	0	2,00		
1	0.5	300	1,90	1,91	1,93
2	0.6	360	1,86	1,87	1,90
3	0.7	420	1,79	1,82	1,86
4	0.8	480	1,72	1,75	1,80

Dari Tabel 4.10, dapat dilihat *manhole* yang memiliki faktor konsentrasi tegangan (Kt) terkecil adalah model HMH 4 a 480 b 740 dengan angka Kt sebesar 1,72. Pengurangan nilai Kt terkecil terdapat pada model HMH 1 a 300 b 1110 dengan nilai Kt sebesar 1,93, dengan perbedaan sebesar 0,07 dengan model wrang pelat tanpa lubang peringan. Berbeda cukup jauh dari HMH 4 a 480 b 740 yang memiliki perbedaan nilai Kt dengan model wrang pelat tanpa lubang peringan sebanyak 0,28. Pada Gambar 4.17, dapat diperhatikan tren nilai Kt yang terus menurun pada *manhole* horizontal.



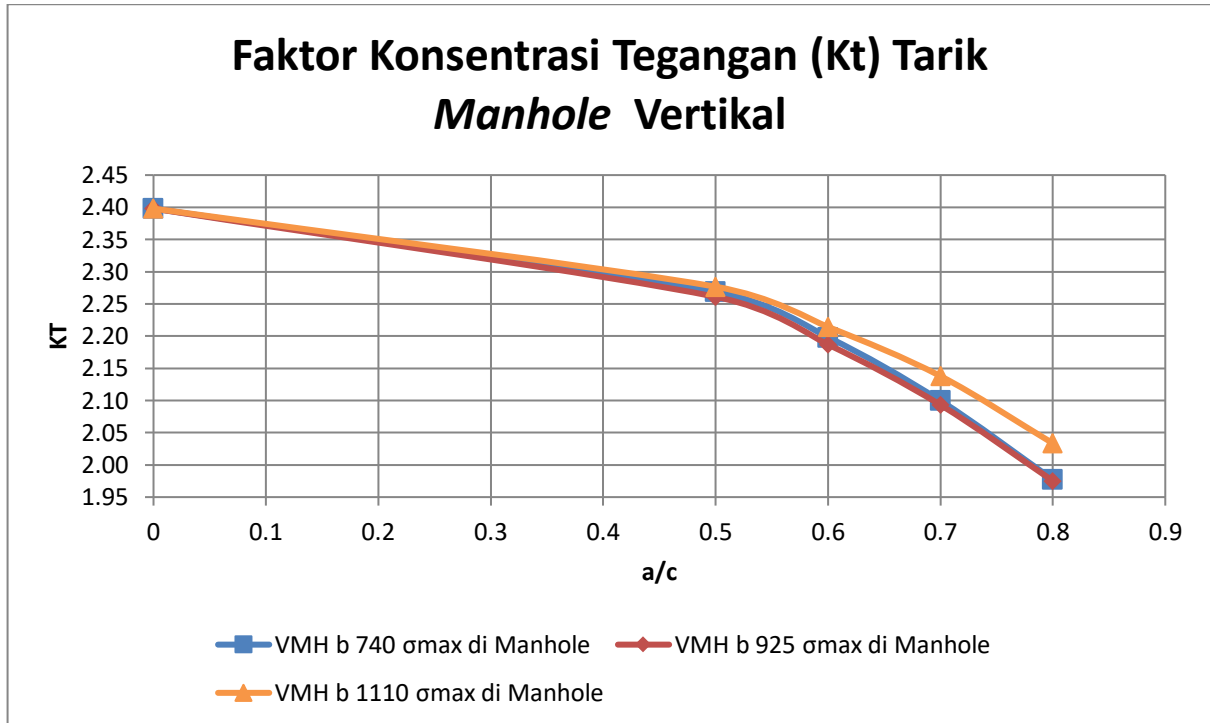
Gambar 4.17 Grafik faktor konsentrasi tegangan pada variasi model HMH

Tabel 4.11 Data faktor konsentrasi tegangan pada variasi VMH (Vertikal *ManHole*)

Faktor Konsentrasi Tegangan Pada <i>Manhole</i> Vertikal					
Model	a/c	a (mm)	Kt		
			b (mm)		
			740	925	1110
	0	0	2,40		
1	0.5	400	2,27	2,26	2,28
2	0.6	480	2,20	2,19	2,21
3	0.7	560	2,10	2,09	2,14
4	0.8	640	1,98	1,98	2,03

Dari Tabel 4.11, dapat dilihat *manhole* yang memiliki faktor konsentrasi tegangan (Kt) terkecil adalah model VMH 4 a 640 b 740 dan VMH 4 a 640 b 925 dengan angka Kt sebesar 1.98. Pengurangan nilai Kt terkecil terdapat pada model VMH 1 a 400 b 1110 dengan nilai Kt sebesar 2.28, dengan perbedaan sebesar 0.12 dengan model wrang pelat tanpa lubang peringan. Untuk *manhole* dengan nilai Kt terendah yaitu model VMH 4 a 640 b 740 dan VMH 4 a 640 b

925, memiliki perbedaan nilai Kt dengan model wrang pelat tanpa lubang peringan sebesar 0.42. Pada Gambar 4.18, dapat diperhatikan tren nilai Kt yang terus menurun pada *manhole* horizontal.



Gambar 4.18 Grafik faktor konsentrasi tegangan pada variasi model VMH

#### 4.4.4. Tegangan Maksimum Tekan

Analisis hasil *running* model selanjutnya adalah hasil simulasi tekan yang dihasilkan oleh beban yang terjadi pada kapal. Analisis ini menggunakan tegangan normal arah sumbu y, untuk mengetahui tegangan maksimum yang terjadi searah dengan arah vertikal dari dua beban yang bekerja pada model.

Pada Tabel 4.12, dapat diperhatikan bahwa nilai tegangan maksimum terbesar yang dimiliki oleh model HMH terdapat pada model HMH 4 a 480 b 740 sebesar 117,43 MPa, dan pada model VMH terdapat pada model VMH 4 a 640 b 740 sebesar 176,02 MPa. Pada HMH 4 a 480 b 740, terjadi perubahan tegangan maksimum hampir sebesar 1.5 kali dari besar tegangan maksimum pada model *manhole* tanpa wrang pelat. Pada VMH 4 a 640 b 740, terjadi perubahan tegangan maksimum hampir sebesar 3.5 kali dari besar tegangan maksimum pada model *manhole* vertikal tanpa lubang peringan.

Perubahan paling kecil yang dimiliki oleh masing-masing jenis *manhole*, terdapat pada HMH 1 a 300 b 1110 dengan tegangan sebesar 85,553 MPa dan pada VMH 1 a 400 b 1110 dengan tegangan sebesar 68,428 MPa. Hal ini terjadi dikarenakan semakin jauh jarak antar

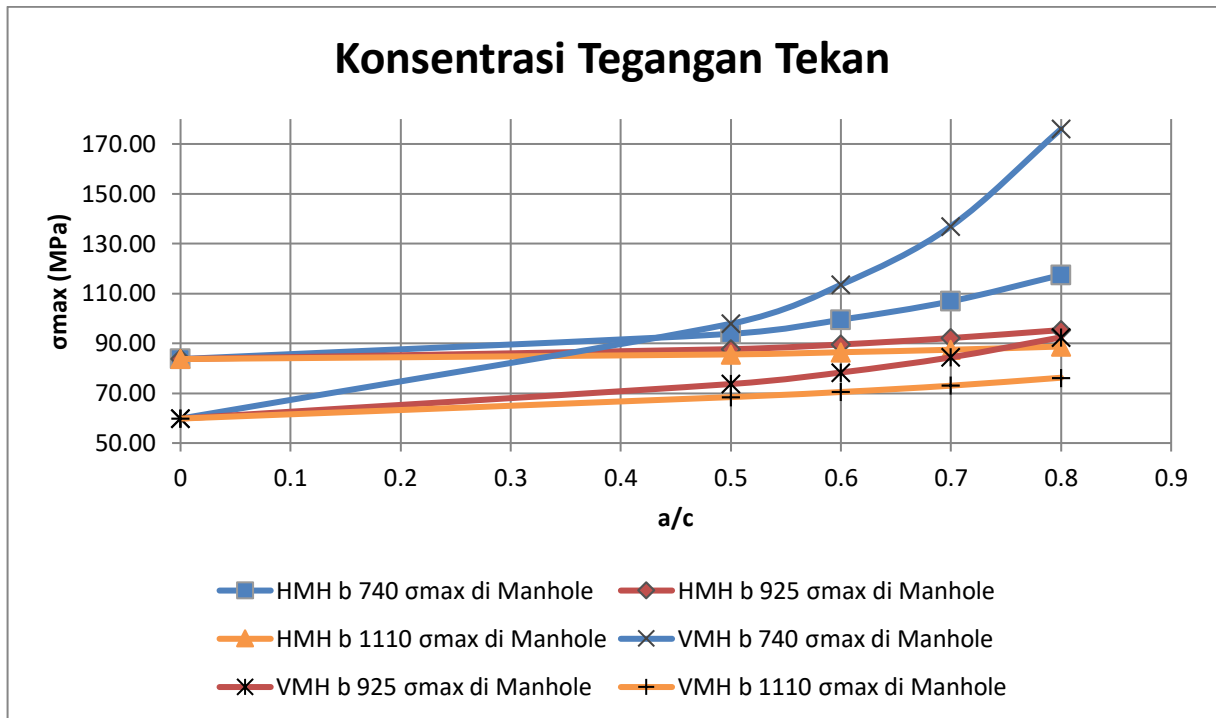
*manhole* dan lubang peringan, maka semakin kecil pula tegangan maksimum yang terjadi pada model.

Berbeda dengan analisis tegangan tarik, untuk mendapatkan tegangan maksimum sekecil kecilnya pada model dibutuhkan juga ukuran lubang peringan yang sekecil kecilnya.

Pada Gambar 4.19, dapat diperhatikan tren tegangan maksimum yang selalu meningkat dikarenakan adanya lubang peringan.

Tabel 4.12 Data tegangan maksimum tekan semua model

Model	b (mm)	a (mm)	$\sigma_{max}$ (MPa)	%
HMH	0	0	83,707	
HMH 1	740	300	93,829	11%
HMH 2		360	99,521	16%
HMH 3		420	106,9	22%
HMH 4		480	117,43	29%
HMH 1	925	300	87,,67,	5%
HMH 2		360	89.56	7%
HMH 3		420	92,124	9%
HMH 4		480	95,336	12%
HMH 1	1110	300	85,553	2%
HMH 2		360	86,443	3%
HMH 3		420	87,44	4%
HMH 4		480	88,74	6%
VMH	0	0	59,83	
VMH 1	740	400	97,879	39%
VMH 2		480	113,53	47%
VMH 3		560	137	56%
VMH 4		640	176,,2	66%
VMH 1	925	400	73,688	19%
VMH 2		480	78,327	24%
VMH 3		560	84,402	29%
VMH 4		640	92,422	35%
VMH 1	1110	400	68,428	13%
VMH 2		480	70,483	15%
VMH 3		560	73,019	18%
VMH 4		640	76,21	21%



Gambar 4.19 Grafik tegangan maksimum tekan dengan analisis tegangan normal sumbu y

#### 4.4.5. Analisis Kekuatan

Berdasarkan hasil dari simulasi yang dilakukan maka didapatkan tegangan maksimum dari setiap model. Analisis dilakukan pada tegangan maksimum dikarenakan tegangan maksimum dianggap yang paling berpengaruh untuk menentukan struktur tersebut layak atau tidak. Nilai-nilai tegangan harus dikomparasikan dengan nilai tegangan yang diizinkan oleh regulasi. Regulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah CSR. Menurut CSR, mengenai *Strength Assesment* (FEM), tegangan izin menggunakan rasio dengan persamaan tegangan sebagai berikut:

$$\lambda_y = \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{yd}} \quad (4.3)$$

Dimana:

$\lambda_y$  = Yield Utilisation Factor

$\sigma_{vm}$  = Tegangan Von Mises (MPa)

$\sigma_{yd}$  = Tegangan Yield (MPa)  $\sigma_{yd}$

Untuk menghitung tegangan izin, menggunakan perhitungan sebagai berikut

$$\sigma_i = R_{EH} \times \lambda_{yreq} \quad (4.4)$$

Dimana:

$R_{EH}$  = nilai minimum *upper yield* untuk baja normal 235 N/mm<sup>2</sup>

$\lambda_{yreq}$  = Yield Utilisation Factor requirements

desain struktur dapat diterima apabila nilai

$$\lambda_{yreq} \geq \lambda_y$$

Pada simulasi ini, tegangan maksimum *von mises* yang digunakan adalah tegangan maksimum yang terjadi di sekitar profil *manhole* atau lubang peringan.

Tabel 4.13 Hasil analisis kekuatan struktur wrang pelat

Model	b (mm)	a (mm)	$\sigma_{max}$ Von Mises (MPa)	Tegangan Izin	$\lambda_y$	$\lambda_{yreq}$	Keterangan
HMH	0	0	84,465	188	0,45	0,8	
HMH 1	740	300	96,144	188	0,51	0,8	Memenuhi
HMH 2		360	102,21	188	0,54	0,8	Memenuhi
HMH 3		420	110,23	188	0,59	0,8	Memenuhi
HMH 4		480	120,,29	188	0,64	0,8	Memenuhi
HMH 1	925	300	89,163	188	0,47	0,8	Memenuhi
HMH 2		360	91,602	188	0,49	0,8	Memenuhi
HMH 3		420	94,555	188	0,50	0,8	Memenuhi
HMH 4		480	98,111	188	0,52	0,8	Memenuhi
HMH 1	1110	300	86,659	188	0,46	0,8	Memenuhi
HMH 2		360	87,75	188	0,47	0,8	Memenuhi
HMH 3		420	89,063	188	0,47	0,8	Memenuhi
HMH 4		480	90,658	188	0,48	0,8	Memenuhi
VMH	0	0	66,297	188	0,35	0,8	
VMH 1	740	400	98,653	188	0,52	0,8	Memenuhi
VMH 2		480	114,05	188	0,61	0,8	Memenuhi
VMH 3		560	137,11	188	0,73	0,8	Memenuhi
VMH 4		640	176,1	188	0,94	0,8	Tidak Memenuhi
VMH 1	925	400	76,853	188	0,41	0,8	Memenuhi
VMH 2		480	81,928	188	0,44	0,8	Memenuhi
VMH 3		560	88,208	188	0,47	0,8	Memenuhi
VMH 4		640	96,347	188	0,51	0,8	Memenuhi
VMH 1	1110	400	71,358	188	0,38	0,8	Memenuhi
VMH 2		480	73,525	188	0,39	0,8	Memenuhi
VMH 3		560	76,54	188	0,41	0,8	Memenuhi
VMH 4		640	80,122	188	0,43	0,8	Memenuhi

Dari Tabel 4.13, hampir semua model variasi wrang pelat memenuhi kriteria tegangan izin. Hanya pada model VMH 4 a 640 b 740 yang tidak memenuhi kriteria tegangan izin dengan nilai *yield utilisation factor* sebesar 0.94, melebihi *yield utilisation factor requirementnya* yang bernilai sebesar 0.8.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisis pada penelitian ini maka hal yang dapat disimpulkan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Pada simulasi tarik wrang pelat, faktor konsentrasi tegangan tarik *manhole* horizontal pada wrang pelat adalah senilai 2 dan *manhole* vertikal adalah senilai 2.4. Tegangan tarik maksimum pada *manhole* vertikal lebih besar dibandingkan dengan *manhole* horizontal dengan perbedaan sebesar 30%.
- Pada simulasi tarik wrang pelat, faktor konsentrasi tegangan tarik *manhole* horizontal dengan lubang peringan mendapatkan angka faktor terkecil adalah senilai 1.72 dan yang terbesar senilai 1.93. Untuk *manhole* vertical dengan lubang peringan mendapatkan angka faktor terkecil adalah senilai 1.98 dan yang terbesar senilai 2.28. Wrang pelat yang diberikan lubang peringan akan mengalami penambahan tegangan normal arah sumbu y beban tekan, dengan semakin dekat jarak lubang peringan dengan *manhole* atau semakin besar diameter lubang peringan
- Didapatkan model paling optimal untuk wrang pelat dengan *manhole* horizontal adalah model wrang pelat dengan lubang peringan berdiameter 420 mm atau berasio a/c 0.7 dan jarak antar lubang sebesar 740 mm atau berasio b/w 0.4, dengan pengurangan tegangan maksimum pada wrang pelat sebesar 10.49%. Untuk wrang pelat dengan *manhole* vertikal adalah model wrang pelat dengan lubang peringan berdiameter 480 mm atau berasio a/c 0.8 dan jarak antar lubang sebesar 925 mm atau berasio b/w 0.5. dengan pengurangan tegangan maksimum pada wrang pelat sebesar 17.65%. Dari 24 variasi model wrang pelat, hanya 1 model saja yang tidak memenuhi tegangan izin yaitu model wrang pelat *manhole* vertikal dengan diameter lubang peringan sebesar 640 mm atau rasio a/c 0.8 dan jarak antar lubang sebesar 740 mm atau rasio b/w 0.4.

#### **5.2. Saran**

Untuk penelitian lebih lanjut penulis memberikan saran sebagai berikut:

- Analisis wrang pelat menggunakan beban dinamis untuk mendapatkan hasil yang lebih detail.
- Analisis wrang pelat dengan geometri sambungan, tidak hanya konstruksi wrang pelatnya saja, agar dapat mencari umur dari wrang pelat.
- Analisis optimisasi secara komputasi dengan bantuan perangkat lunak lain seperti Matlab untuk menemukan hasil yang variasi model yang lebih optimal.



## DAFTAR PUSTAKA

- BKI. (2018). *BKI Vol II Rules For Hull*. Biro Klasifikasi Indonesia.
- CSR. (2012, July). *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers*. Rules.
- DNV-GL. (2015). *Class Guideline-Finite Element Analysis*. German: DNV-GL.
- Elhewy, A. M. (2016). Fatigue Crack Growth in Ship Structural Details. *POLISH MARITIME RESEARCH, Vol 2* (pp. 71-82). Egypt: Alexandria University.
- Joem, F. O. (2010). *Ship Structural Analysis and Design*. New Jersey: The Society of Naval Architectur and Marine Engineer.
- Kiryanto. (2010). Analisis Faktor Intensitas Tegangan (SIF) dengan Variasi Panjang Retak pada Pelat Geladak Utama Kapal "MT.Klawotong" dengan metode elemen hingga (FEM). Semarang: Teknik-Vol. 31 No. 1 Tahun 2010, ISSN 0852-1697.
- Pilkey, W. D. (1997). *Peterson's Stress Concentration Factors 2nd ed*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Riley, W. F., & Erickson, P. E. (1977). Minimizing Stress Concentrations Around Circular Holes in Uniaxially Loaded Plates. 98-100.
- Santosa, D. S. (2013). *Lecture Handout. Diktat Mata Kuliah Kekuatan dan Konstruksi Kapal*.
- Saputra, H. A. (2019). KONSEP KONSENTRASI TEGANGAN (STRESS). Teknik Metalurgi dan Material.
- Septiana, D. (2012). Perkiraan Fatigue Life pada Bracket Kapal Tanker Berdasarkan Common Structural Rules. Surabaya: Jurnal Teknik ITS Vol. 1., No. 1.(Sept,2012) ISSN: 2301-9271.
- Syahroni, N. (2015). *Slide-1 Basic of Fatigue Mechanism*. (M. Blanke, Ed.) Faculty of Marine Technology-ITS Surabaya: Lecture Handout.
- Young, W. C., & Budynas, R. G. (2002). *Roark's Formula for Stress and Strain*.



# LAMPIRAN

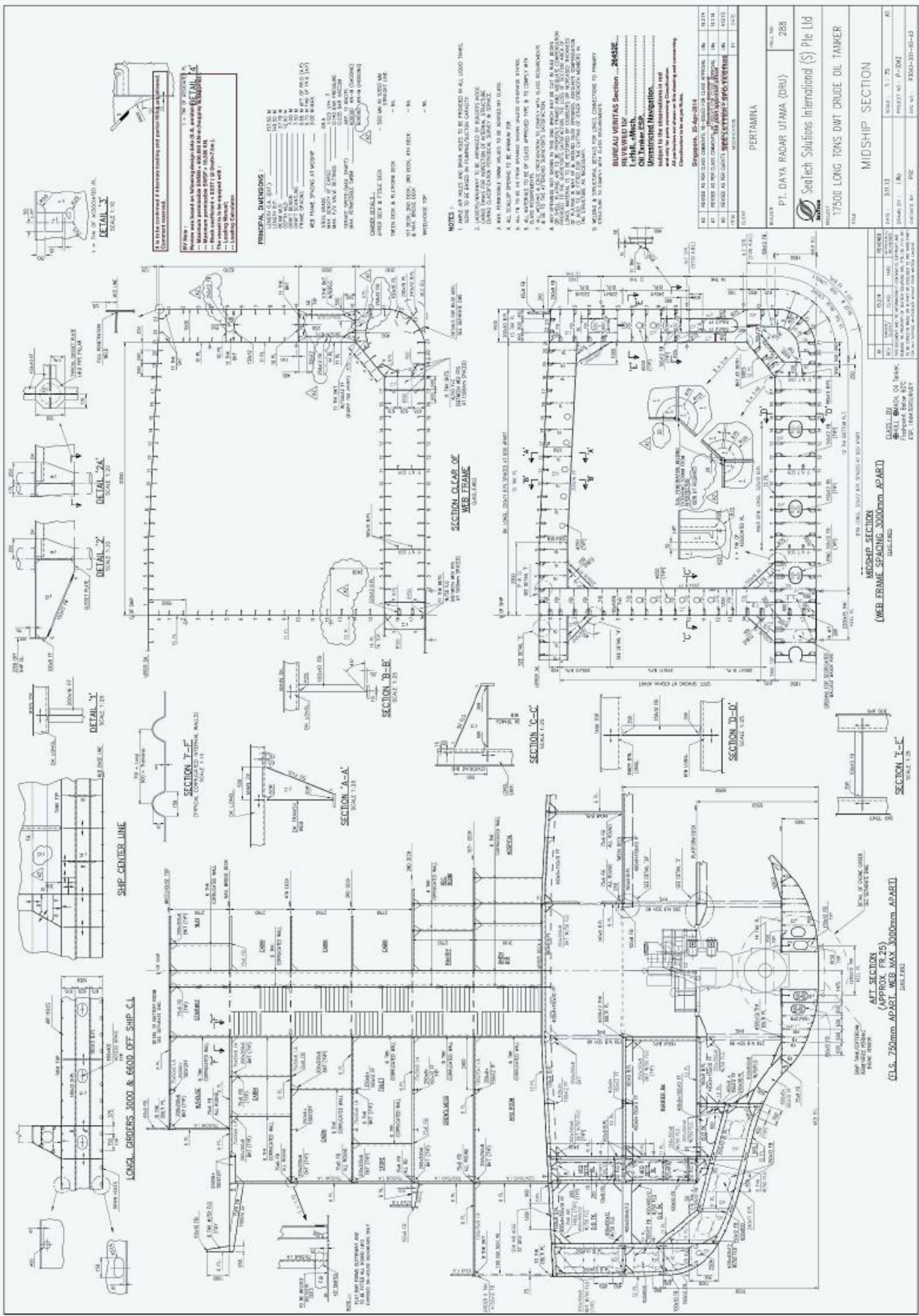
## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Uraian	Lampiran
1	Gambar Midship Section Kapal Tanker	A
2	Perhitungan Beban Statis	B
3	Gambar Running Model	C



**LAMPIRAN A**  
**GAMBAR MIDSHIP SECTION KAPAL TANKER**





**NOTES:**

1. ALL DIMENSIONS ARE TO BE PROVIDED IN ALL UNITS.
2. DIMENSIONS TO BE PROVIDED BY BUREAU VERITAS CLASSIFICATION SOCIETY.
3. DIMENSIONS TO BE PROVIDED BY BUREAU VERITAS CLASSIFICATION SOCIETY.
4. DIMENSIONS TO BE PROVIDED BY BUREAU VERITAS CLASSIFICATION SOCIETY.
5. DIMENSIONS TO BE PROVIDED BY BUREAU VERITAS CLASSIFICATION SOCIETY.
6. DIMENSIONS TO BE PROVIDED BY BUREAU VERITAS CLASSIFICATION SOCIETY.
7. DIMENSIONS TO BE PROVIDED BY BUREAU VERITAS CLASSIFICATION SOCIETY.
8. DIMENSIONS TO BE PROVIDED BY BUREAU VERITAS CLASSIFICATION SOCIETY.
9. DIMENSIONS TO BE PROVIDED BY BUREAU VERITAS CLASSIFICATION SOCIETY.
10. DIMENSIONS TO BE PROVIDED BY BUREAU VERITAS CLASSIFICATION SOCIETY.

41	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
42	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
43	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
44	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
45	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
46	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
47	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
48	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
49	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
50	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
51	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
52	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
53	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
54	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
55	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
56	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
57	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
58	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
59	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014
60	NUMBER OF THE CLASSIFICATION SOCIETY	106	10/2014

**BUREAU VERITAS**  
**Classification Society**  
**Oil Tanker ESP**  
**Unrestricted Navigation**  
 subject to the observations in the report  
 All dimensions and values are in millimeters and centimeters  
 Classification No. 2014-001-106

**SHIP NAME:** PERTAMINA  
**SHIP NO.:** 288  
**CLASSIFICATION:** PT. DAYA RADAR UTAMA (DRU)  
**DESIGNER:** Saatchi Solutions International (S) Pte Ltd  
**PROJECT:** 17500 LONG TONS DWT CRUDE OIL TANKER  
**SCALE:** 1:20  
**DATE:** 10/2014  
**PROJECT NO.:** P-282  
**REV. NO.:** P300-331-001-02

**MIDSHIP SECTION**  
**(WEB FRAME SPACING 3000mm APART)**  
**SCALE 1:20**





**LAMPIRAN B**  
**PERHITUNGAN BEBAN STATIS**



## 2.2.2 Static sea pressure

2.2.2.1 The static sea pressure,  $P_{hys}$ , is to be taken as:

$$P_{hys} = \rho_{sw}g(T_{LC} - z) \quad \text{kN/m}^2$$

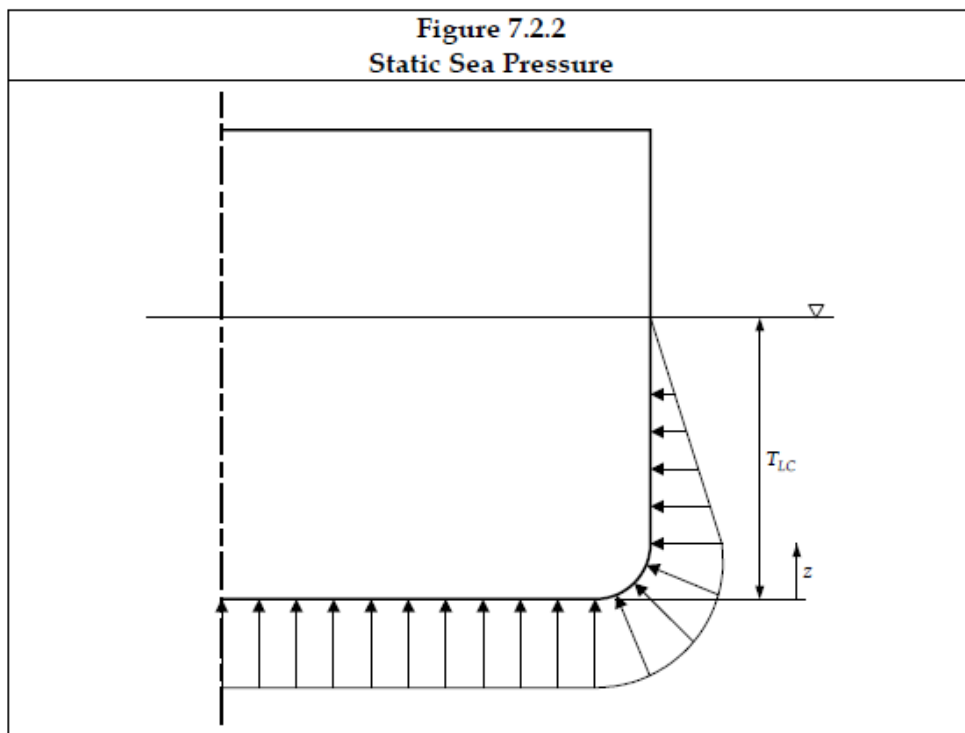
Where:

$z$  vertical coordinate of load point, in m, and is not to be greater than  $T_{LC}$ , see *Figure 7.2.2*

$\rho_{sw}$  density of sea water, 1.025tonnes/m<sup>3</sup>

$T_{LC}$  draught in the loading condition being considered, in m

$g$  acceleration due to gravity, 9.81m/s<sup>2</sup>



## 2.2.3 Static tank pressure

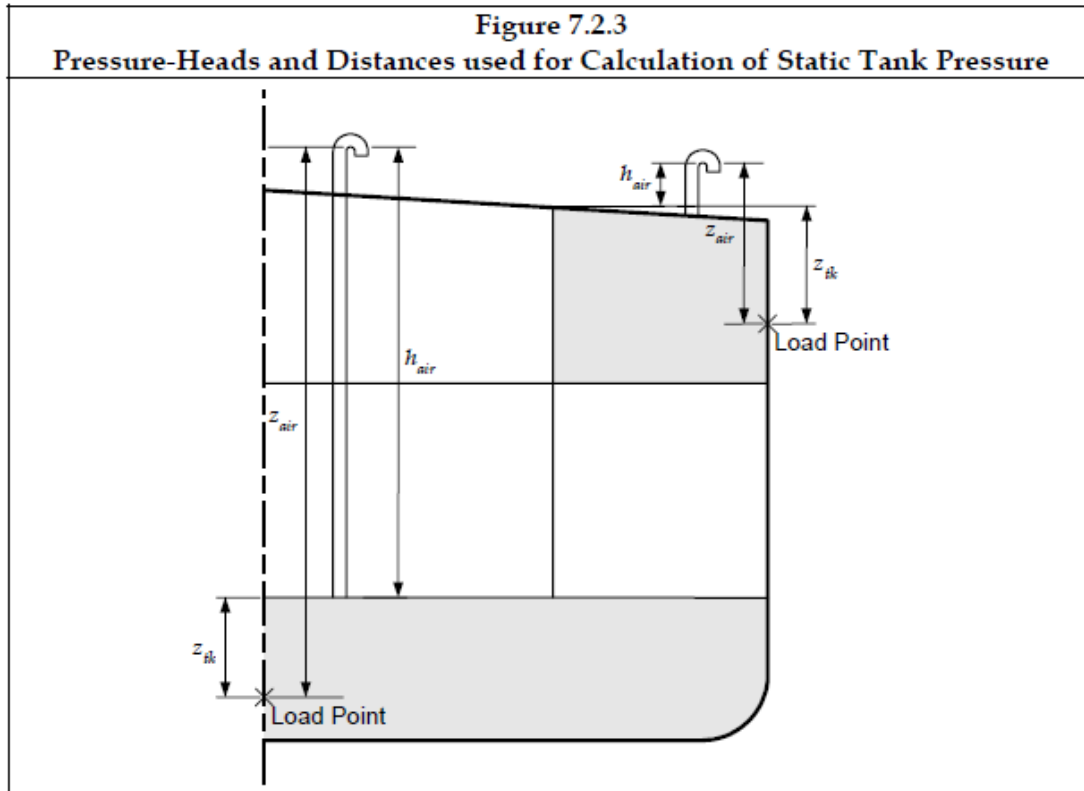
2.2.3.1 The static tank pressure,  $P_{in-tk}$ , is to be taken as:

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

Where:

$z_{tk}$  vertical distance from highest point of tank, excluding small

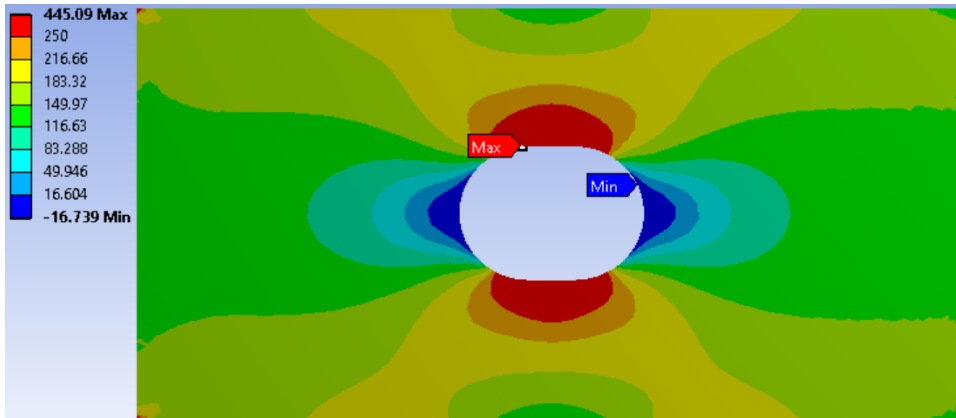
- hatchways, to the load point, see *Figure 7.2.3*, in m
- $\rho$  density of liquid in the tank, is not to be taken as less than 0.9 for liquid cargo for fatigue strength  
1.025 otherwise  
see *Section 2/3.1.8*, in tonnes/m<sup>3</sup>
- $g$  acceleration due to gravity, 9.81m/s<sup>2</sup>



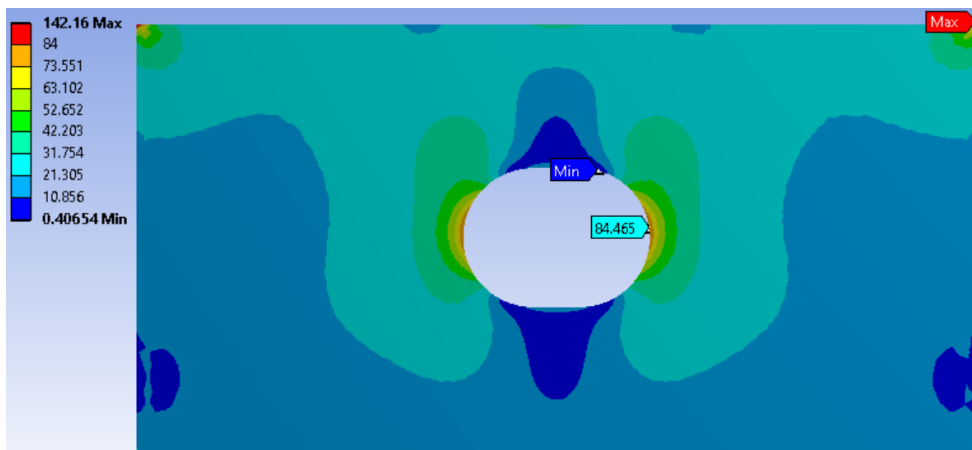
**LAMPIRAN C**  
**GAMBAR RUNNING MODEL**



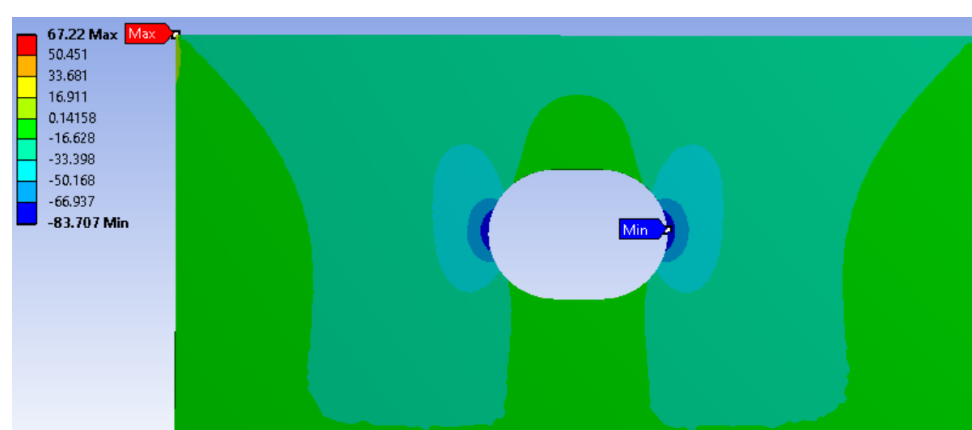
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



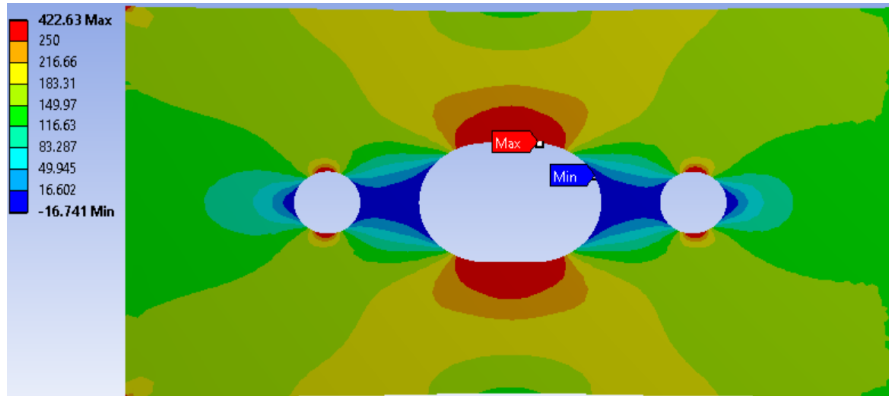
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



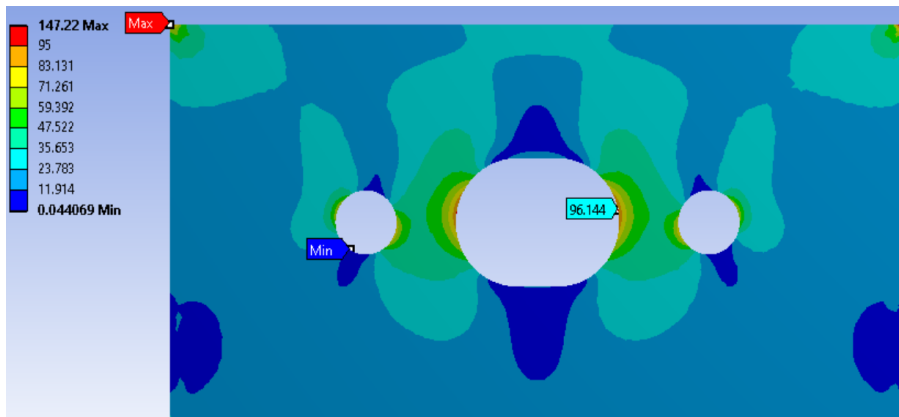




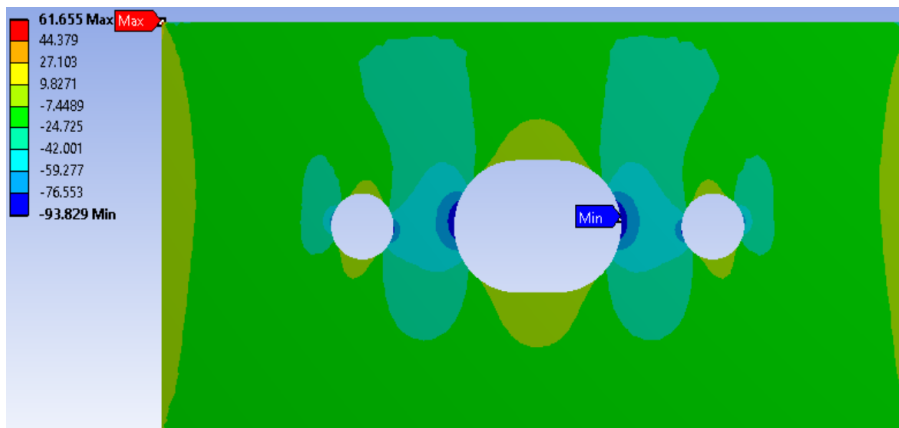
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 300 b 740  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



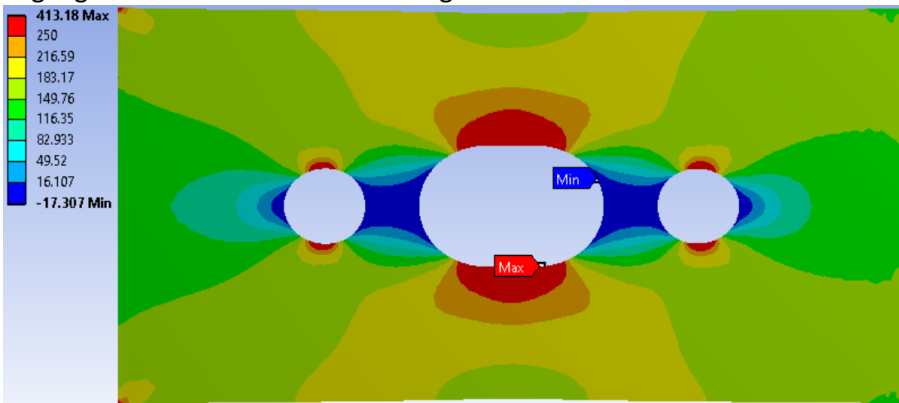
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



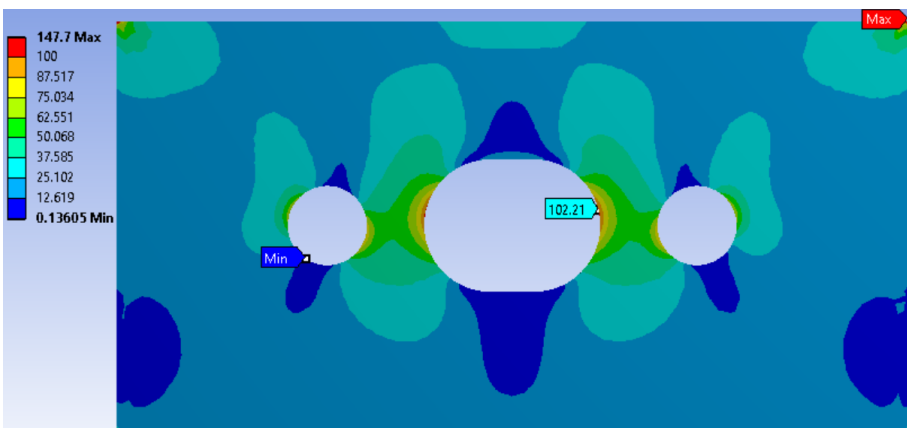
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



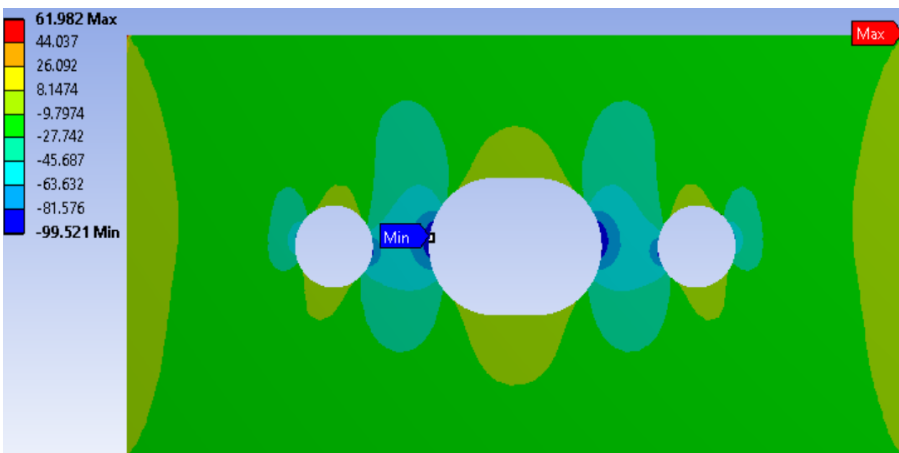
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 360 b 740  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



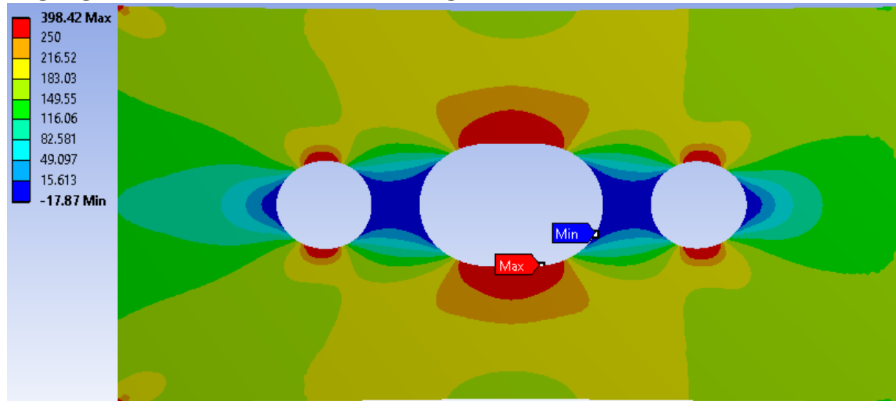
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



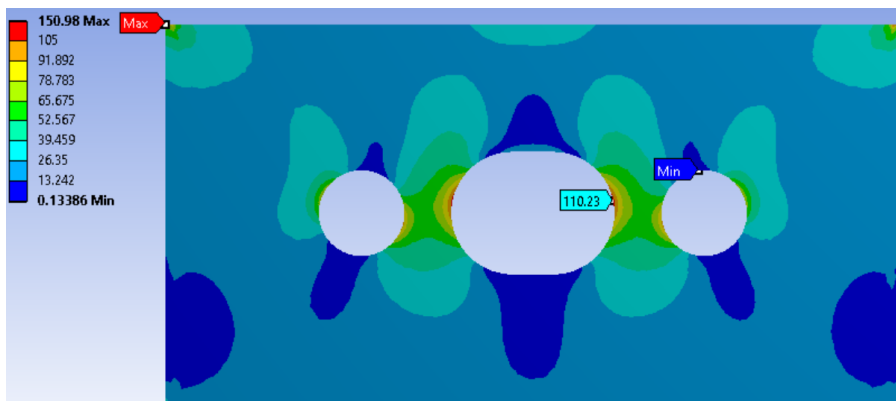
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



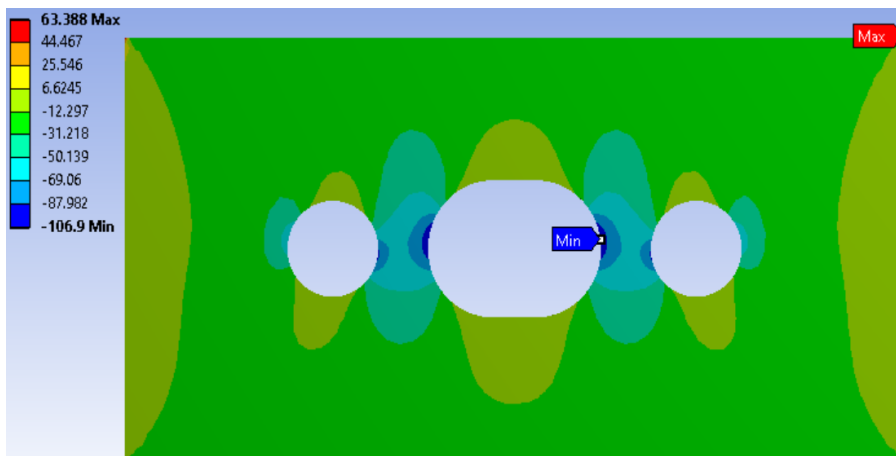
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 420 b 740  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



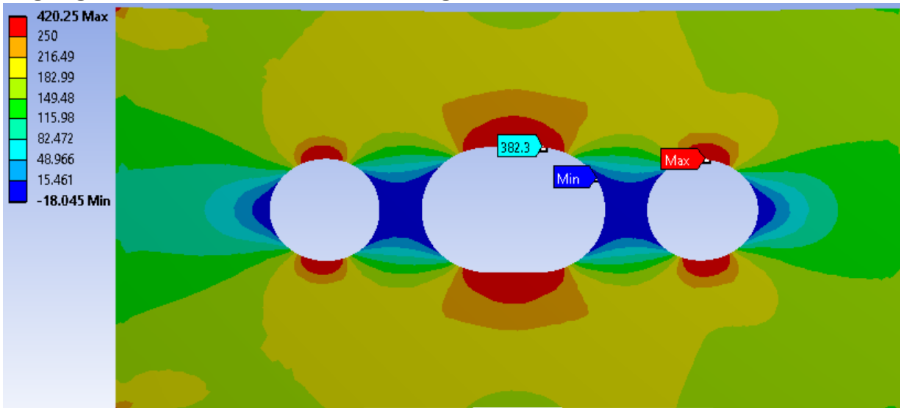
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



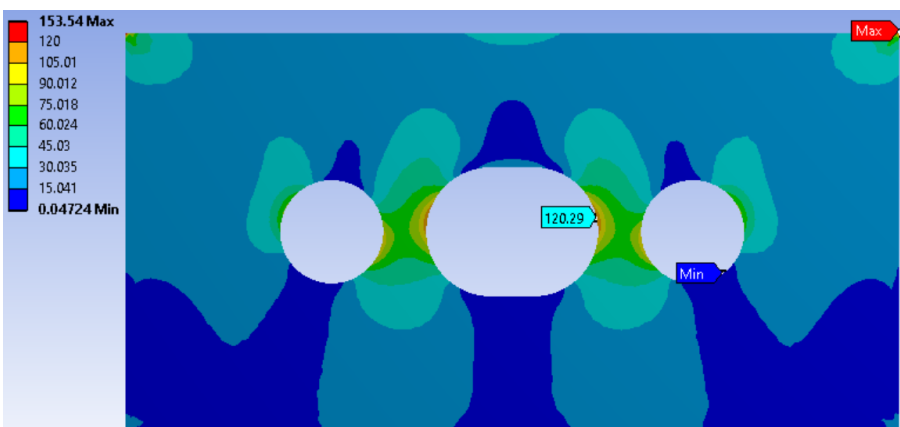
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



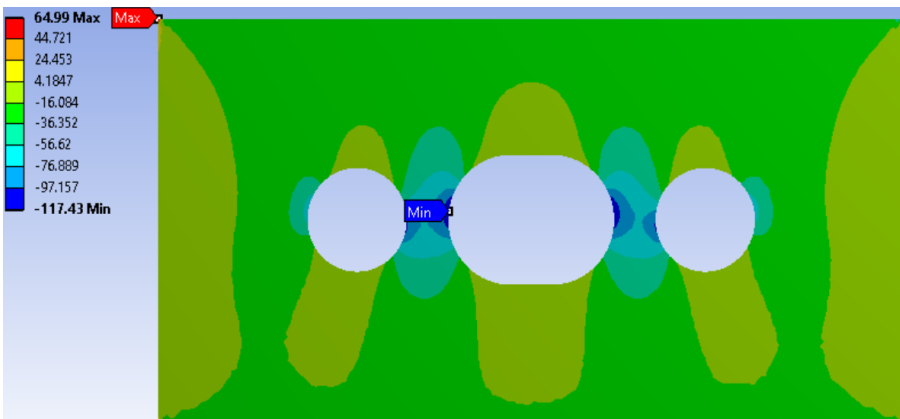
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 480 b 740  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



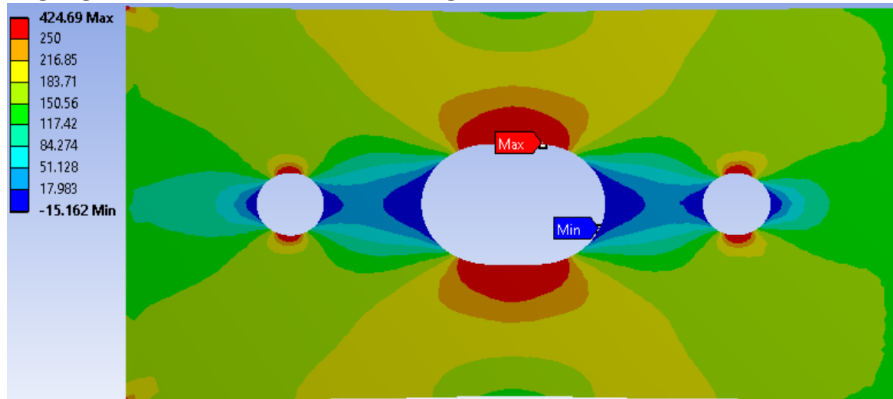
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



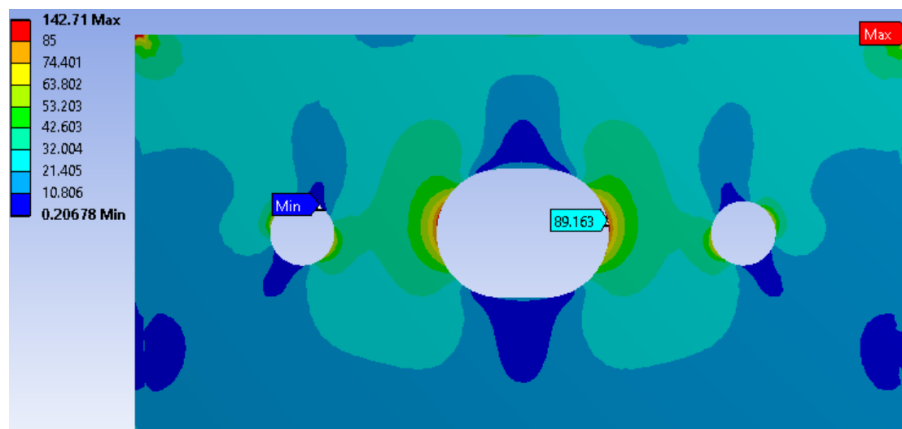
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



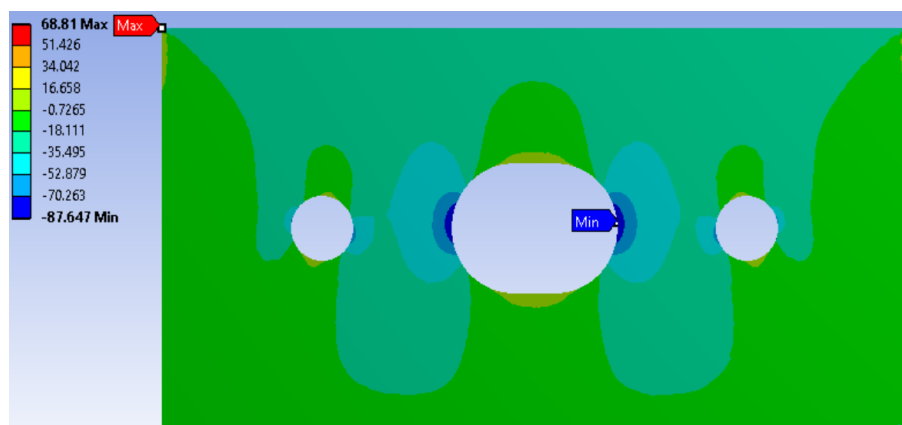
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 300 b 925  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



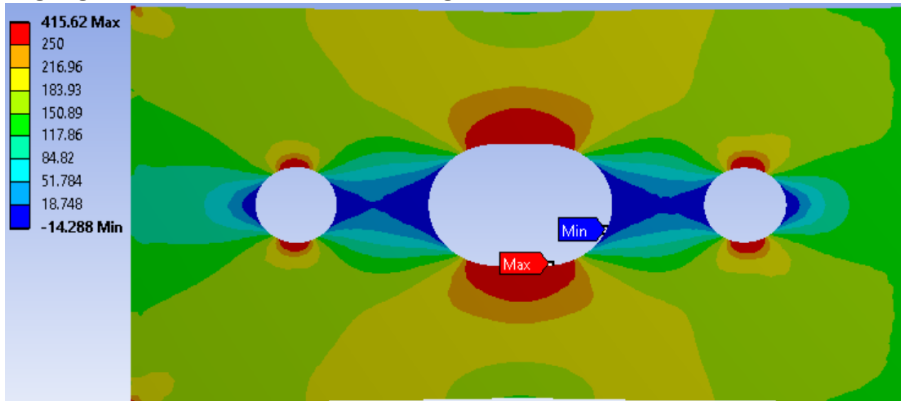
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



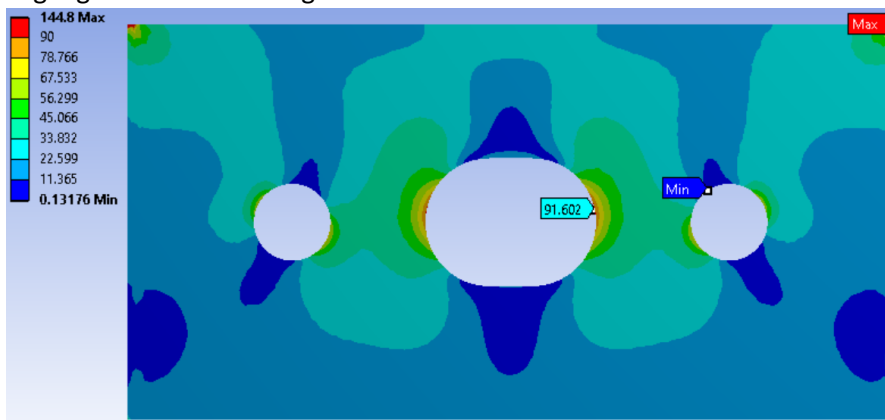
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



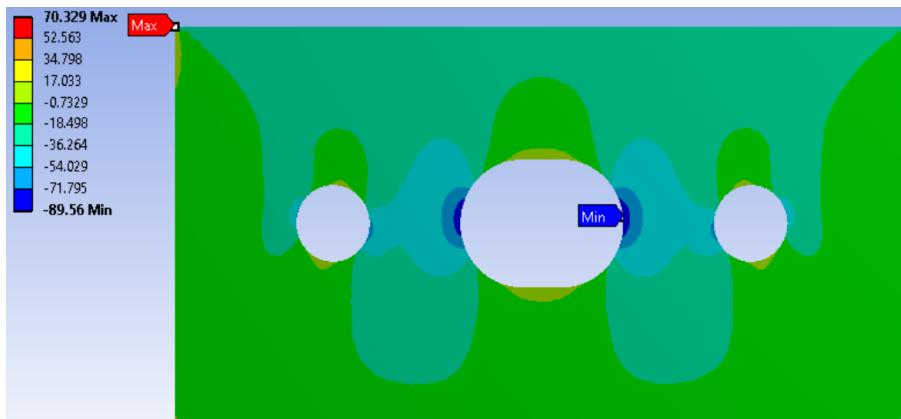
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 360 b 925  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



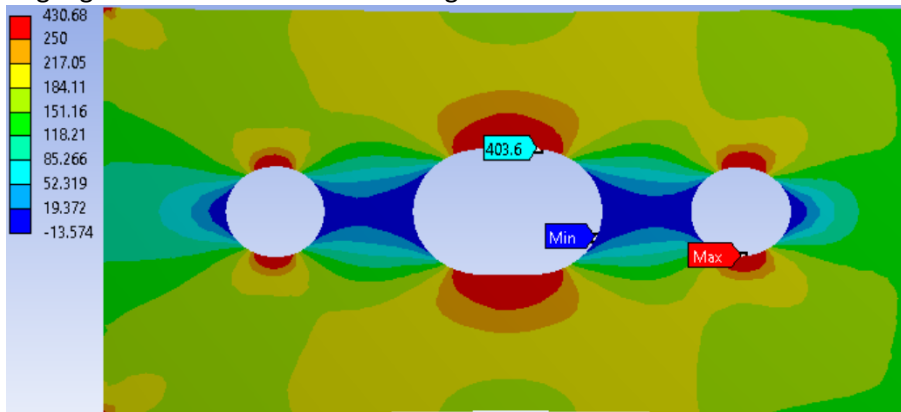
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



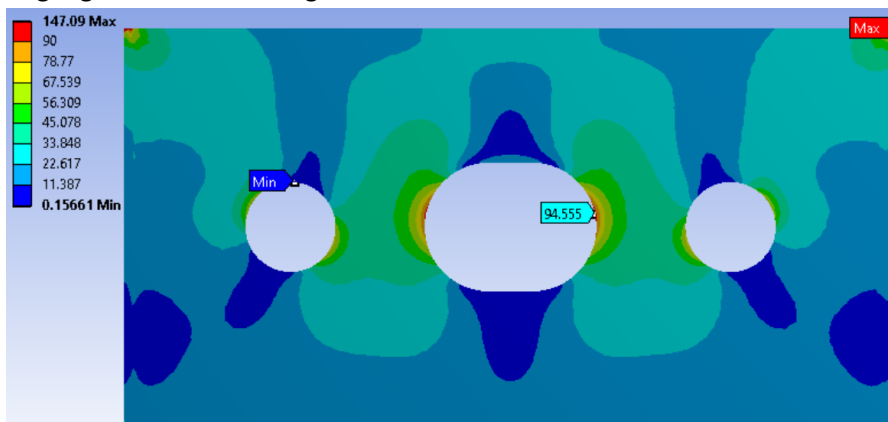
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



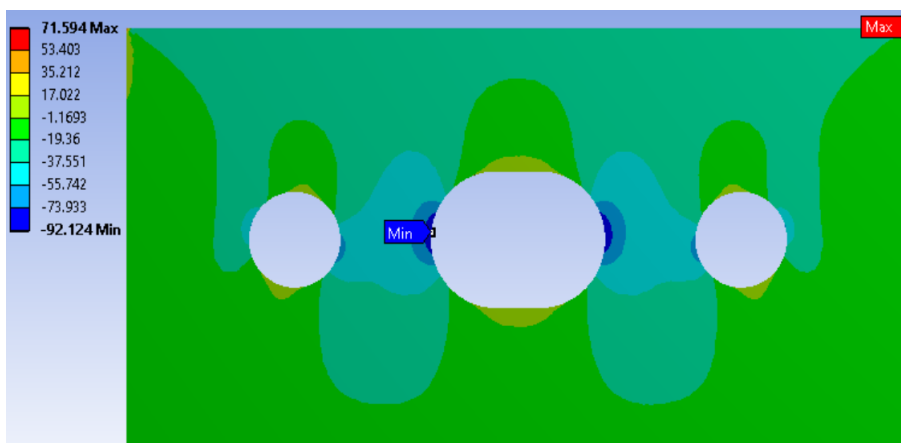
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 420 b 925  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



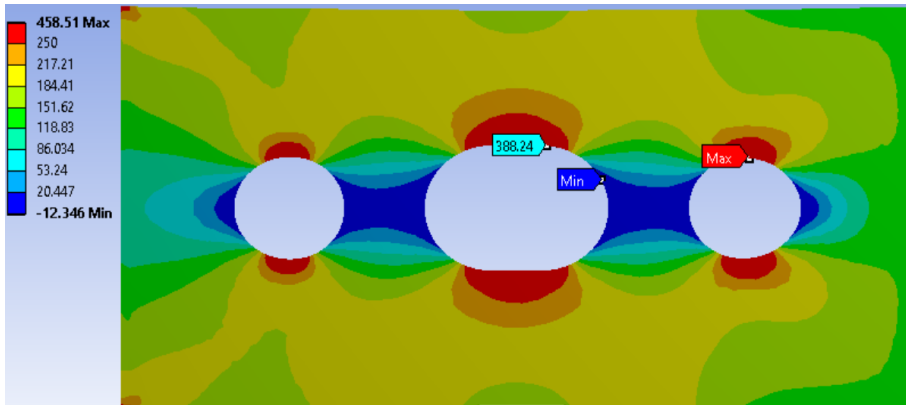
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



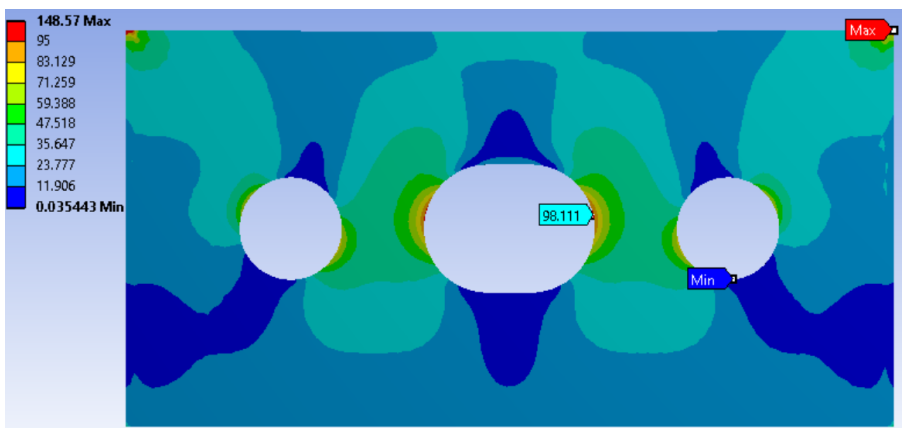
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



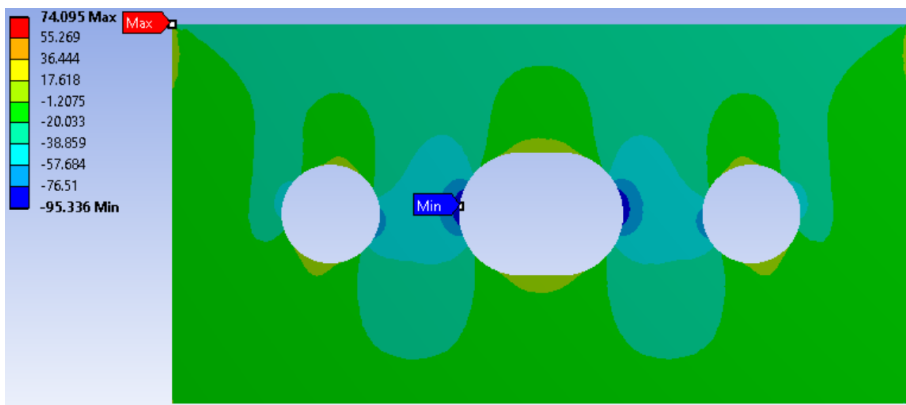
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 480 b 925  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan

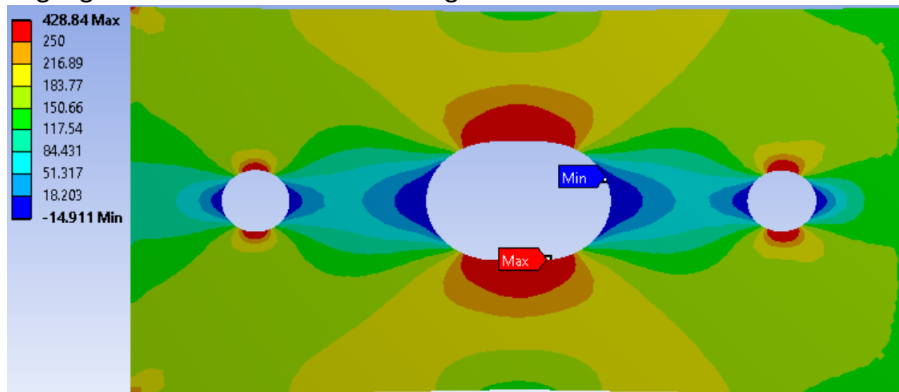


Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan

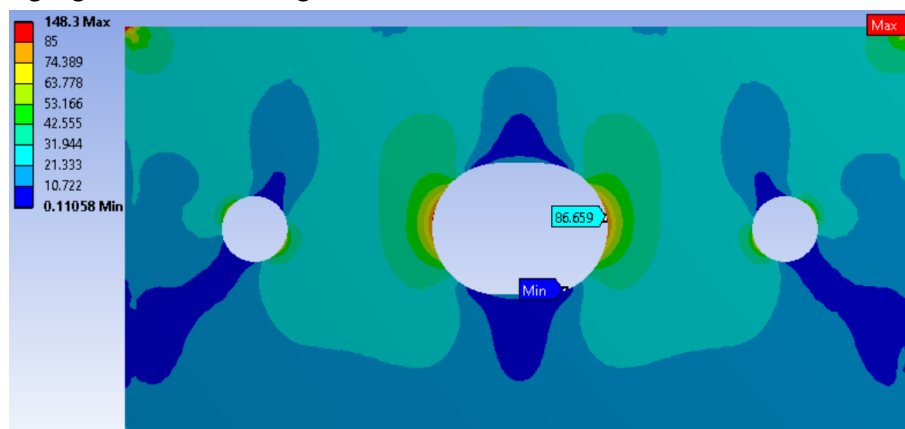




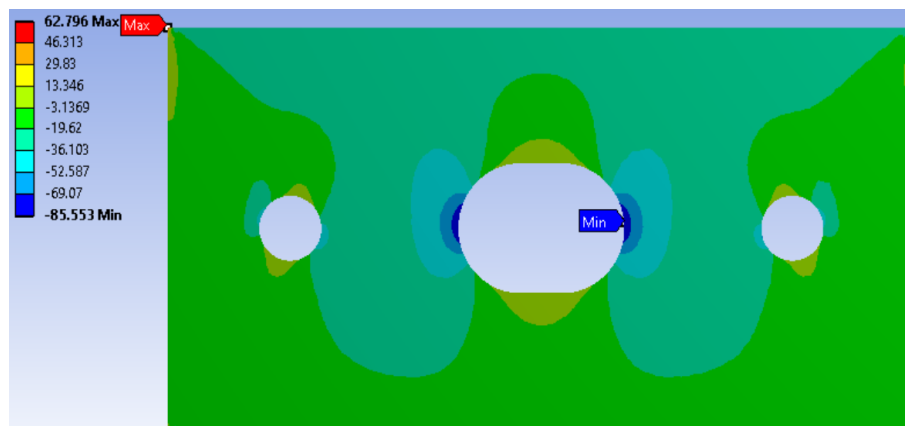
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 300 b 1110  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan

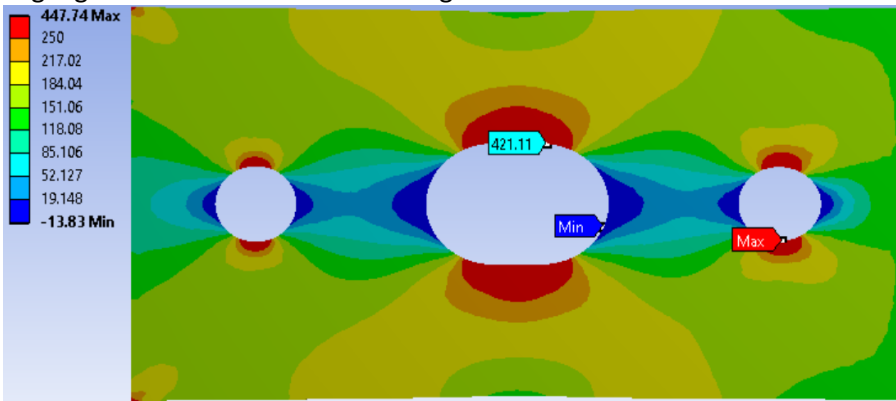


Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan

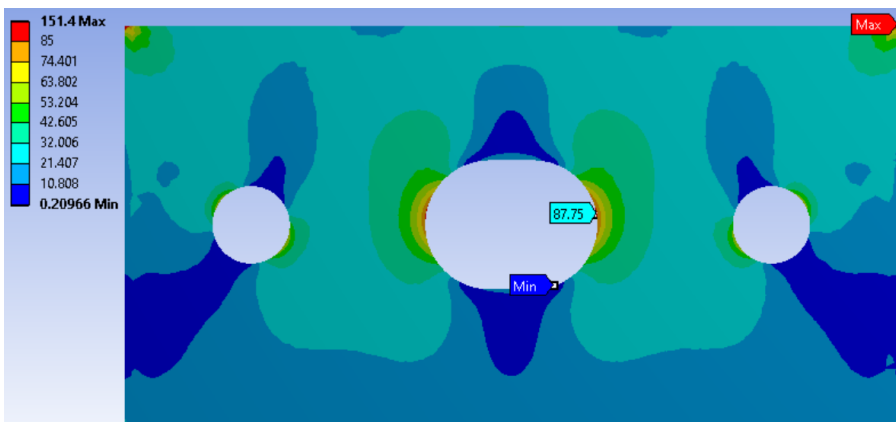


### Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 360 b 1110

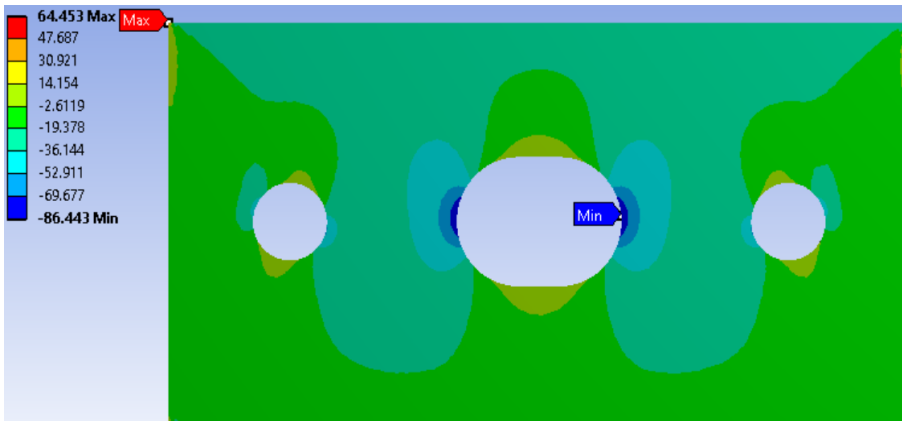
#### Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



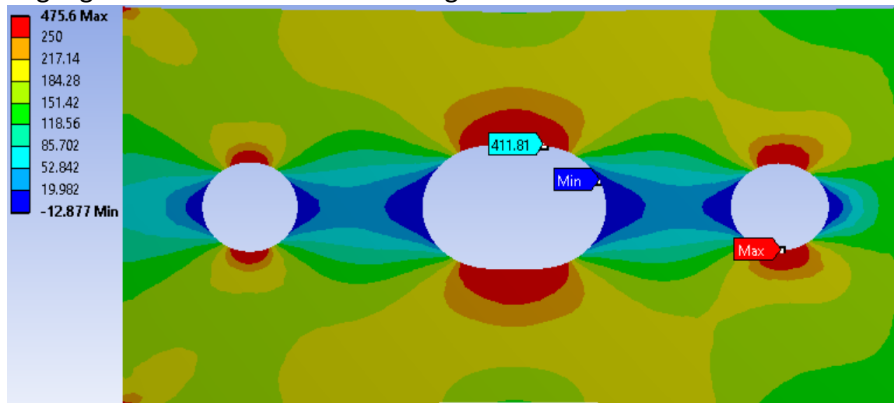
#### Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



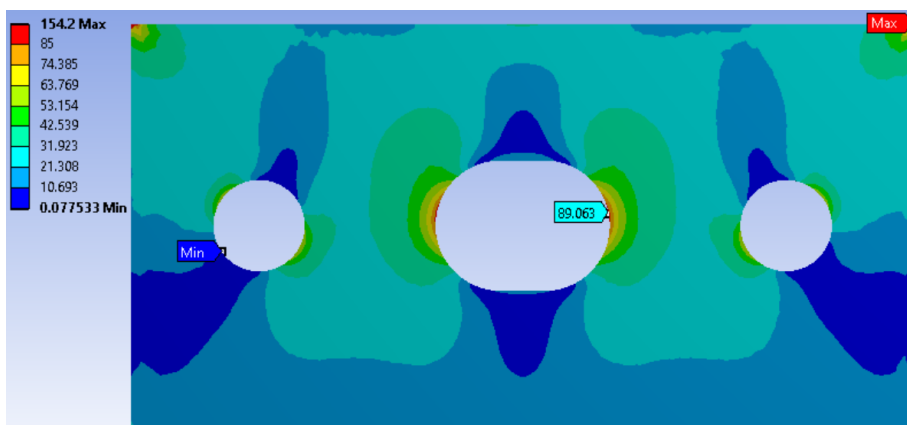
#### Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



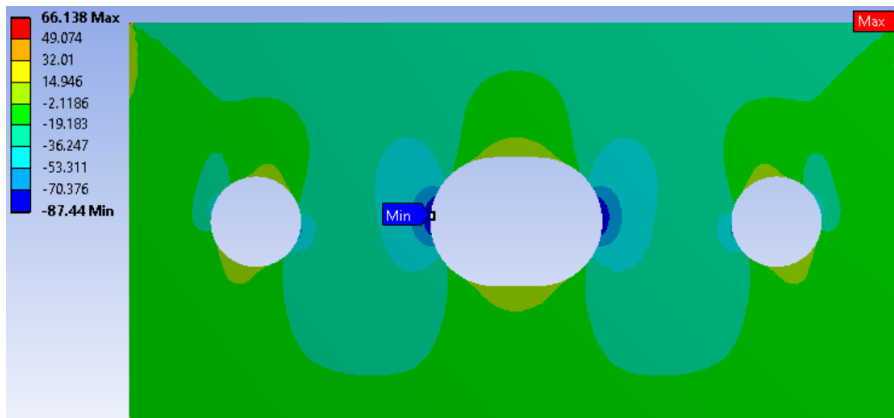
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 420 b 1110  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



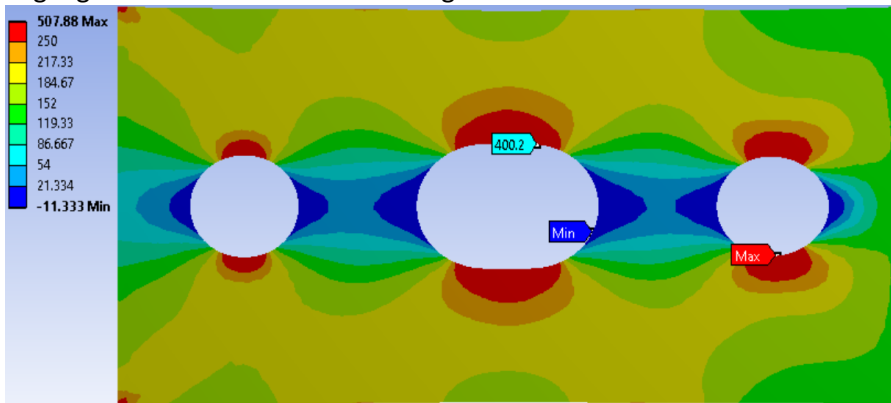
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



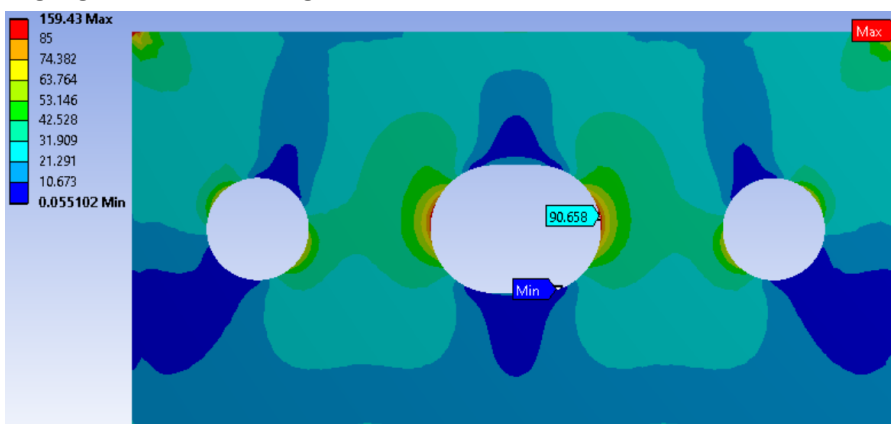
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



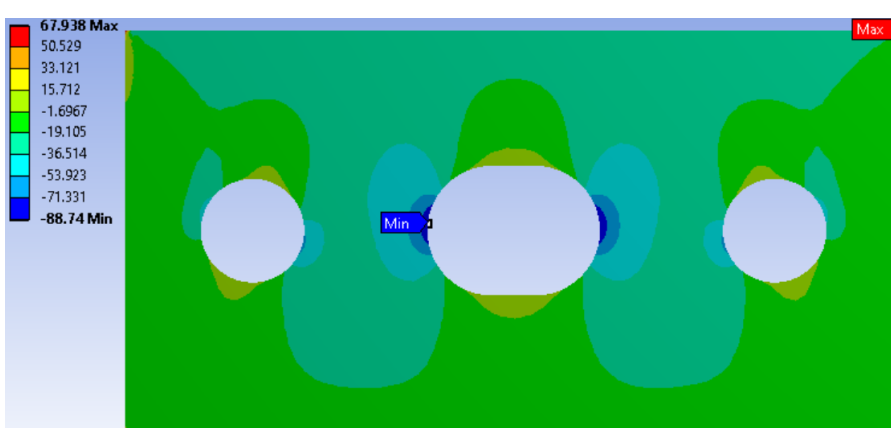
Wrang pelat dengan Horizontal Manhole a 480 b 1110  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



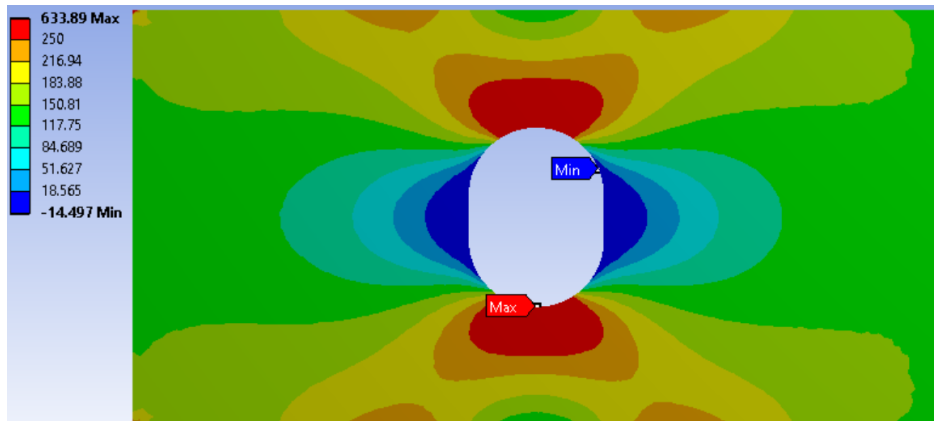
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



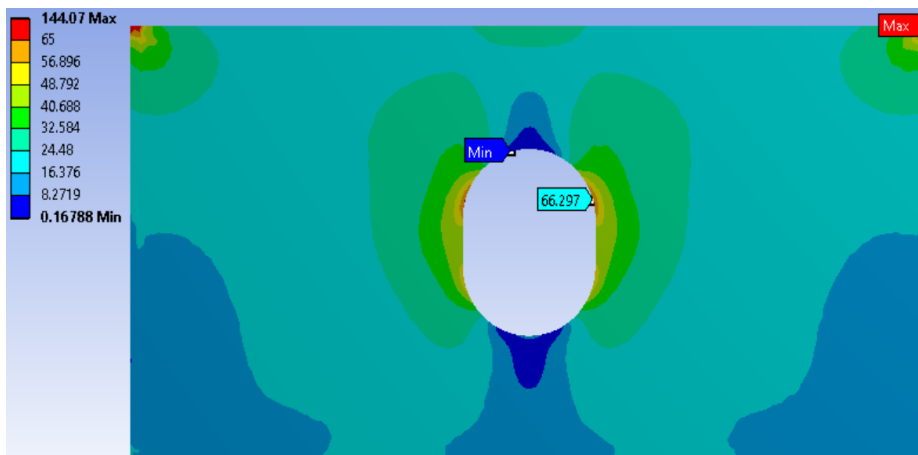
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



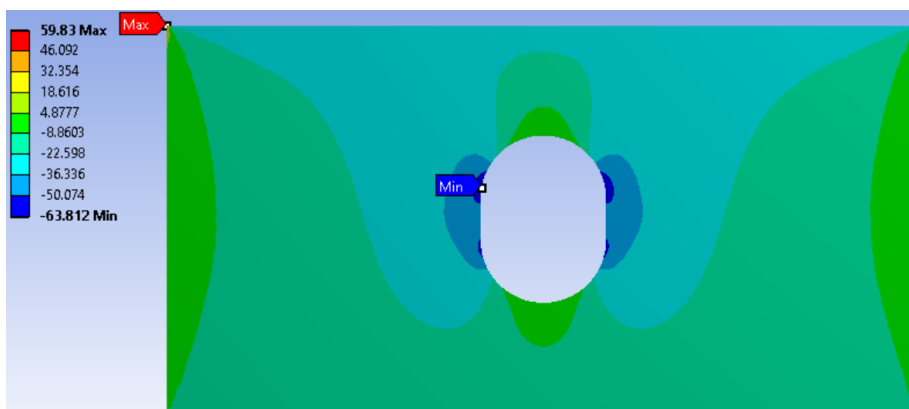
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan

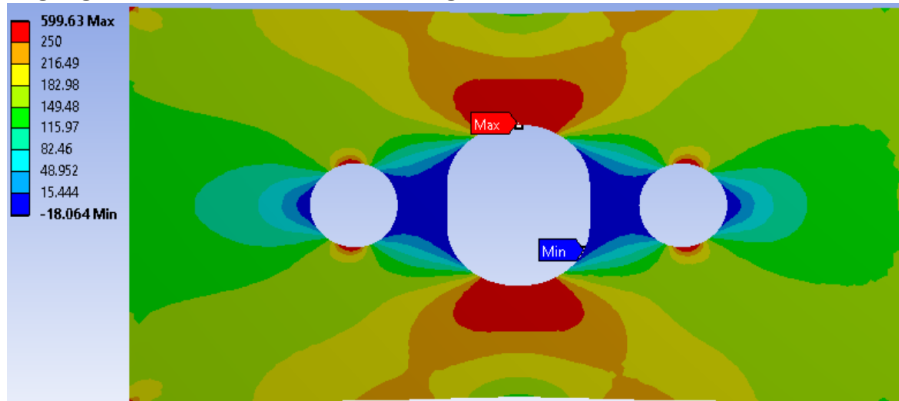


Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan

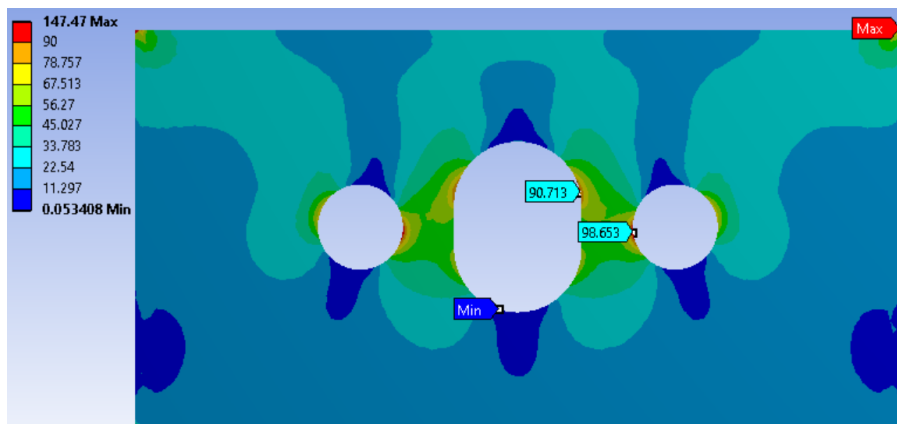




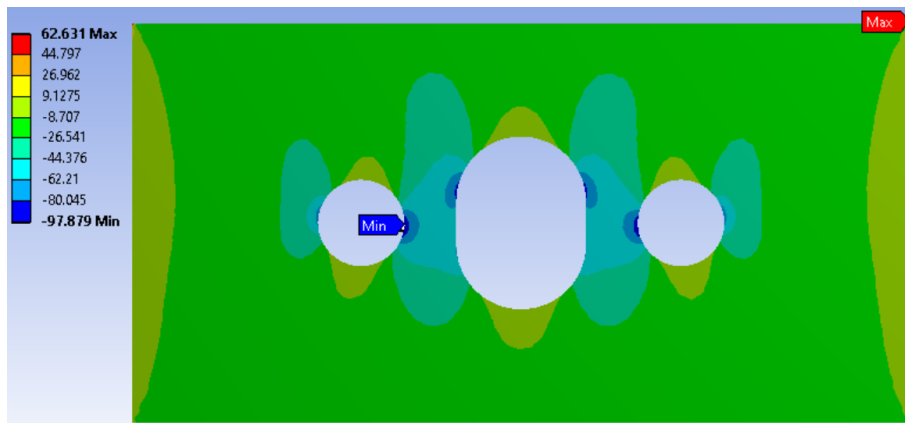
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 400 b 740  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



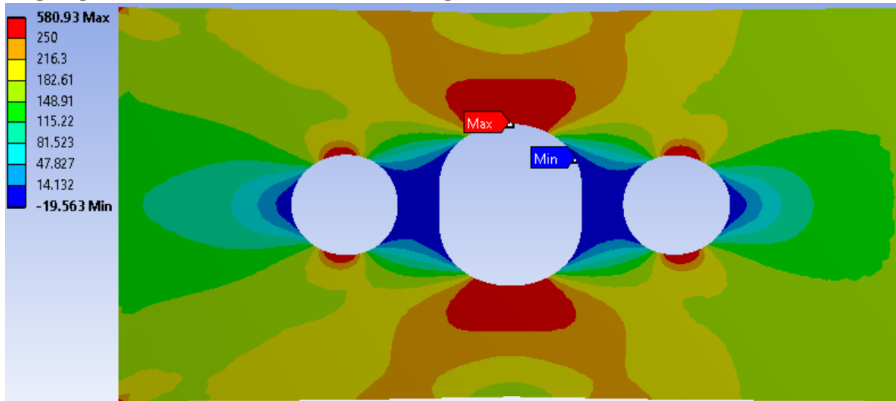
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



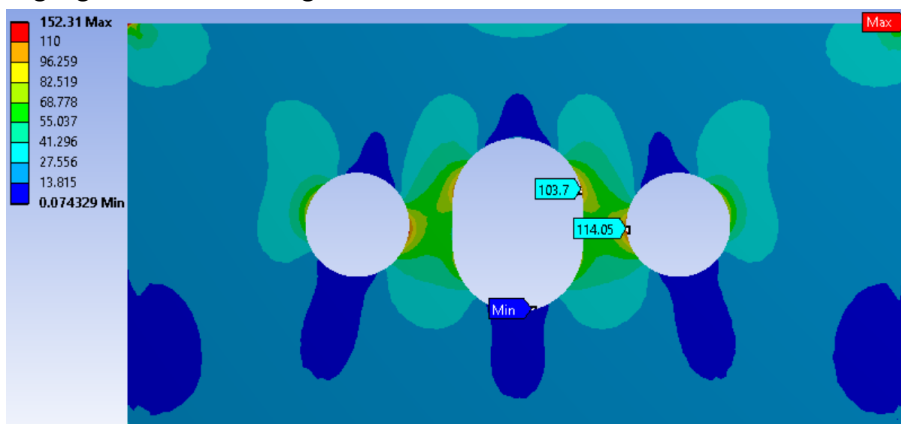
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



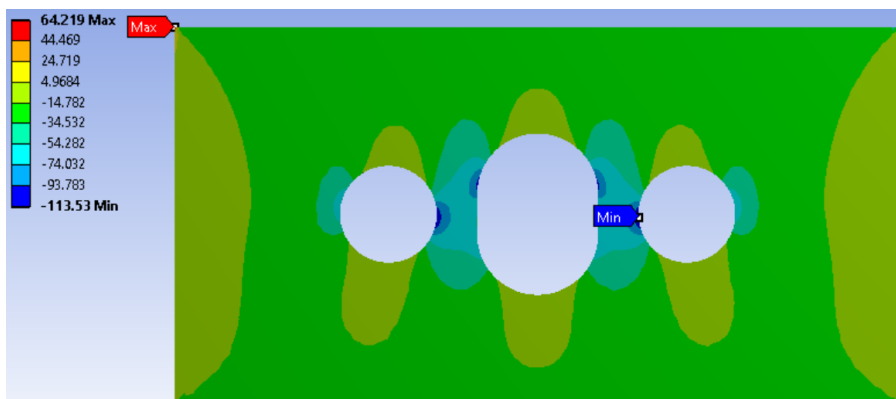
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 480 b 740  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan

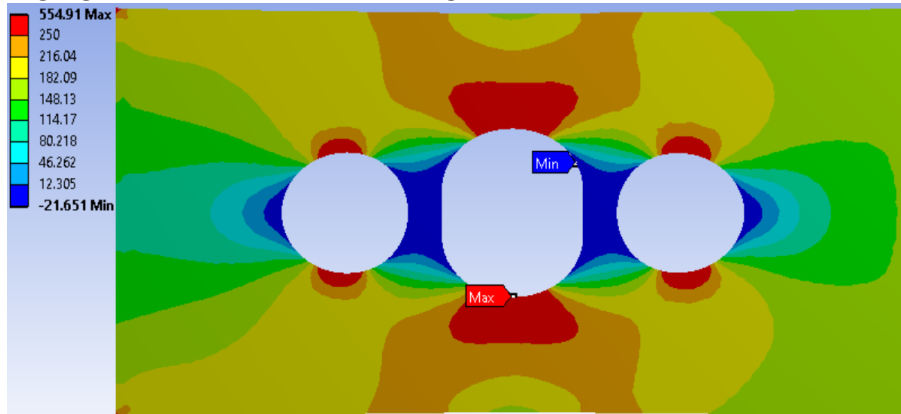


Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan

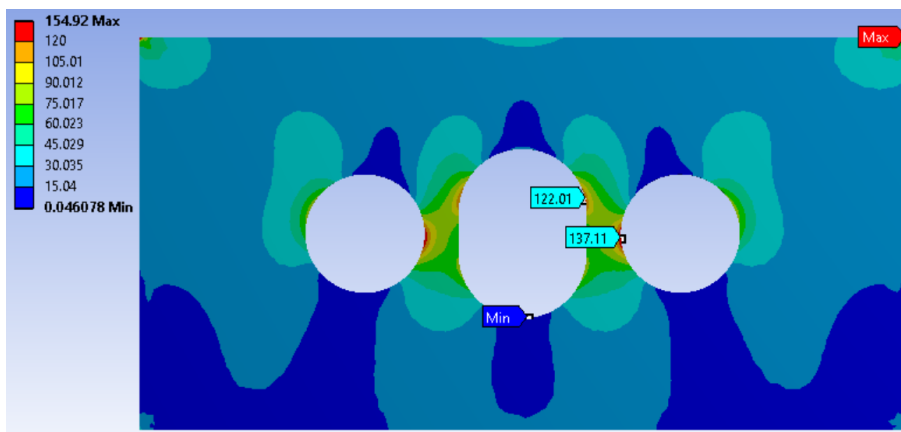




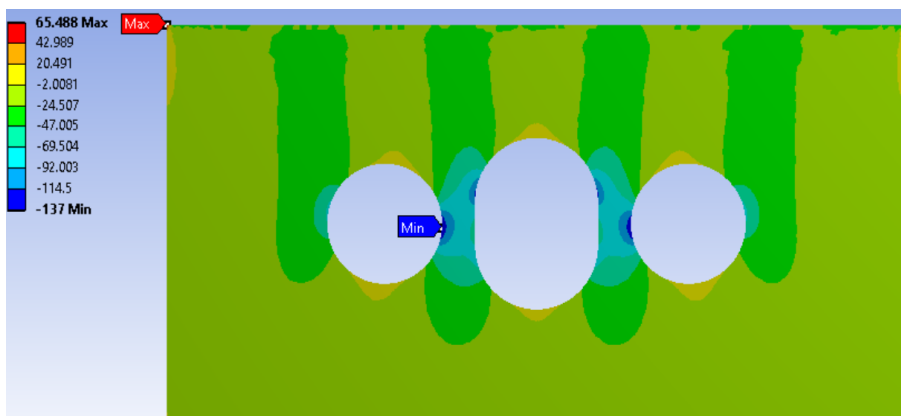
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 560 b 740  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



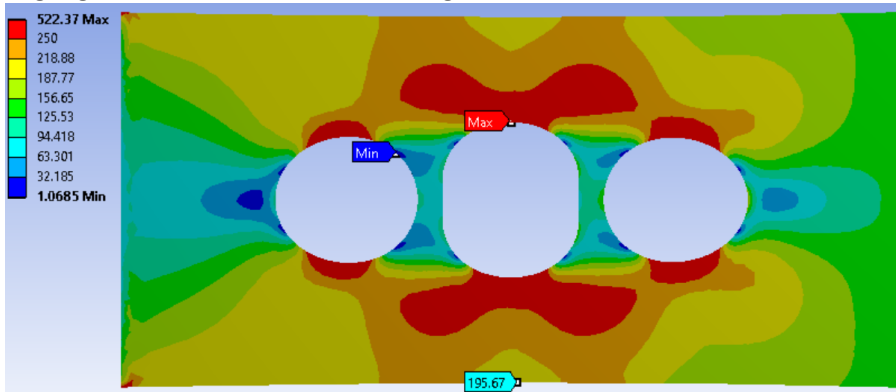
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



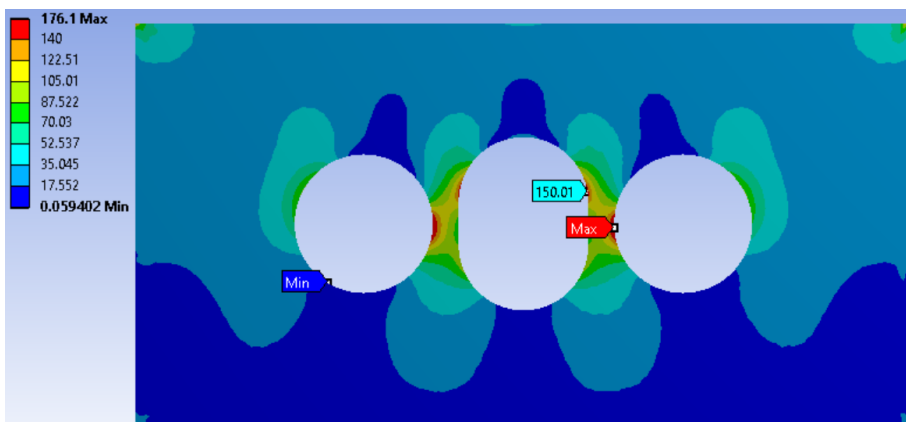
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



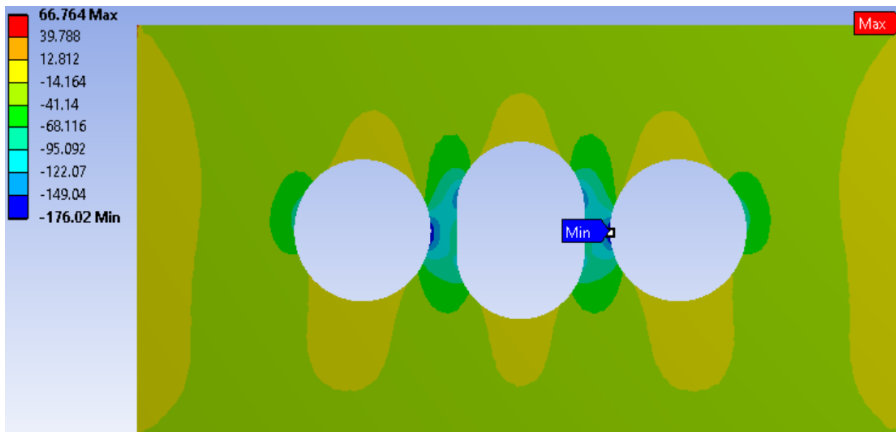
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 640 b 740  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



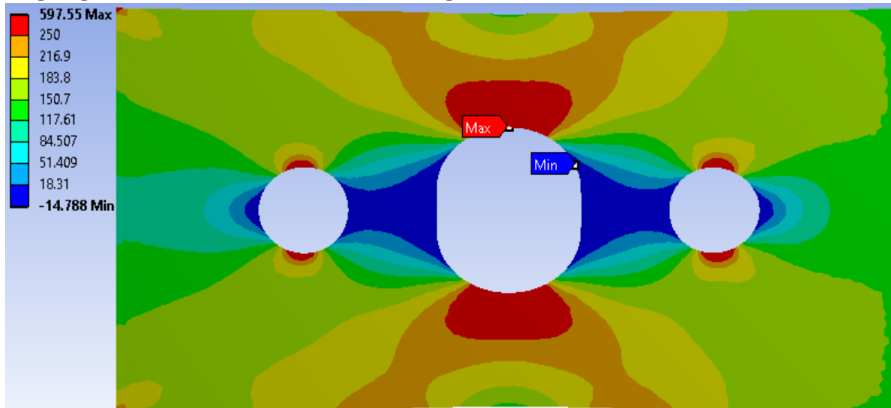
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



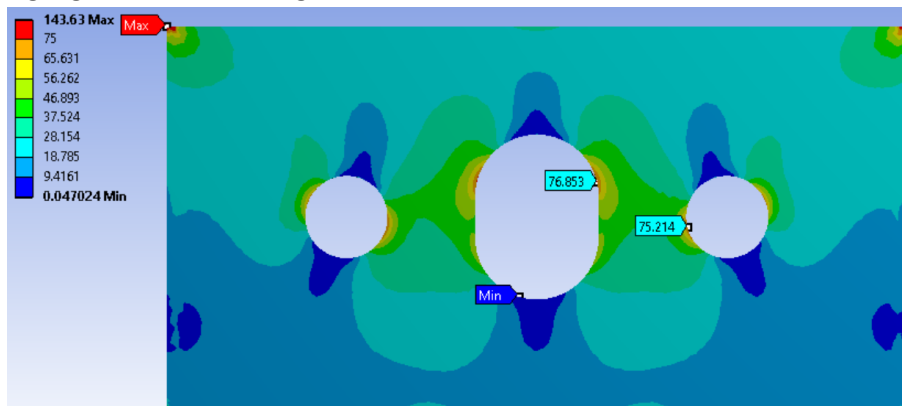
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



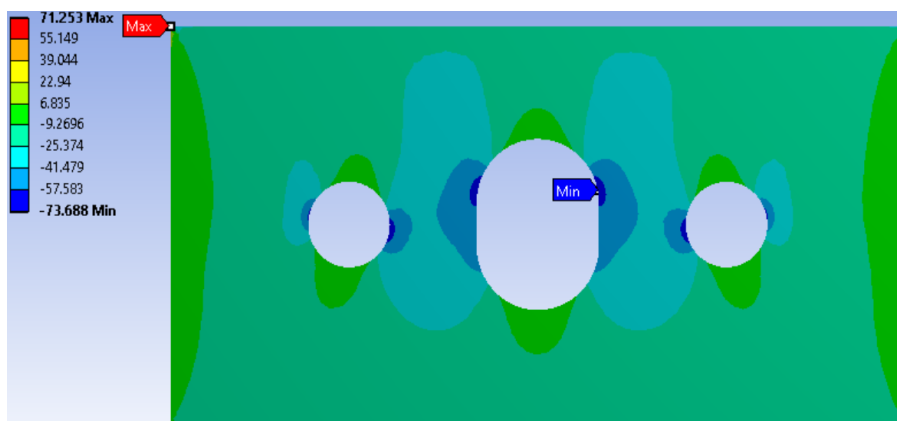
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 400 b 925  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



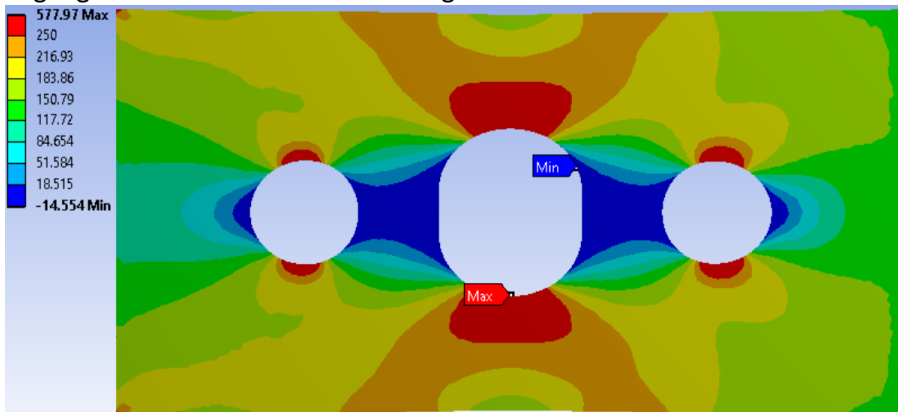
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



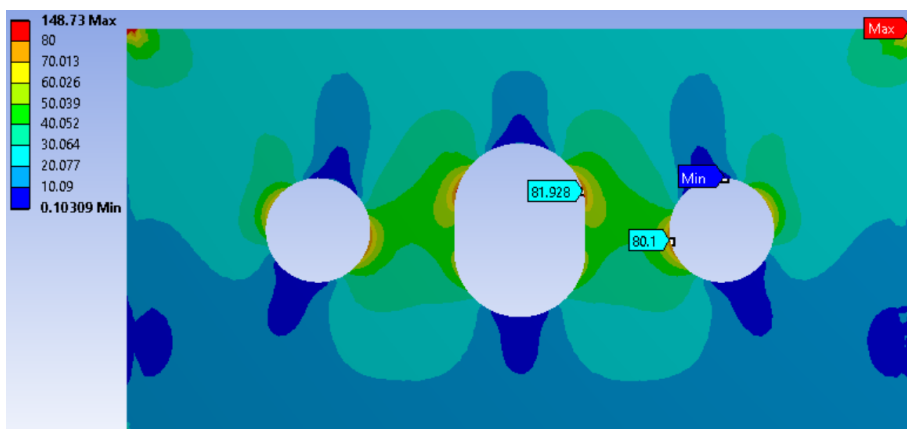
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



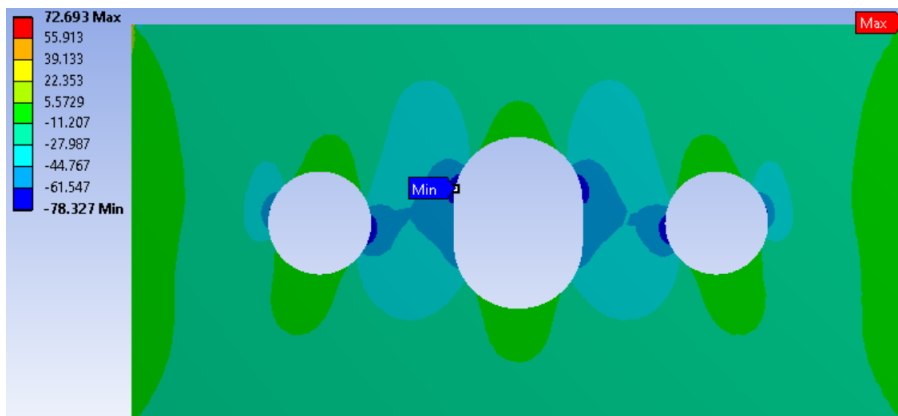
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 480 b 925  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



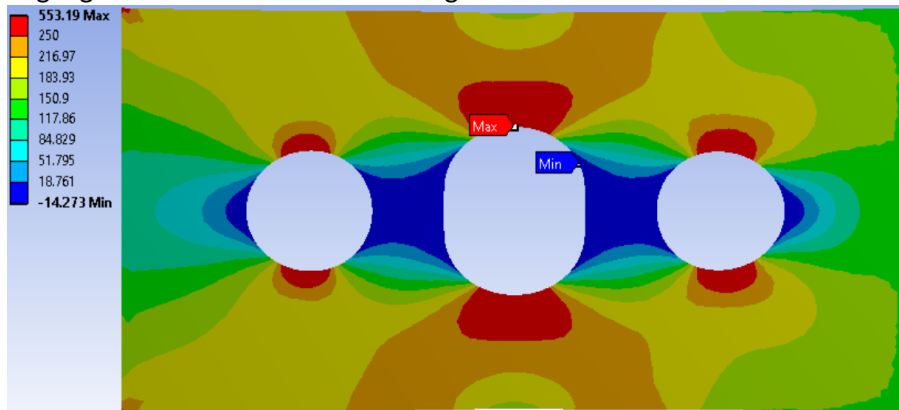
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



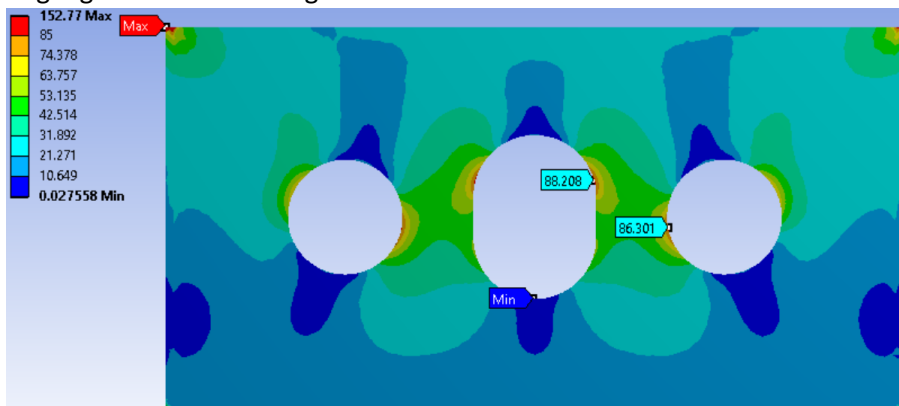
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



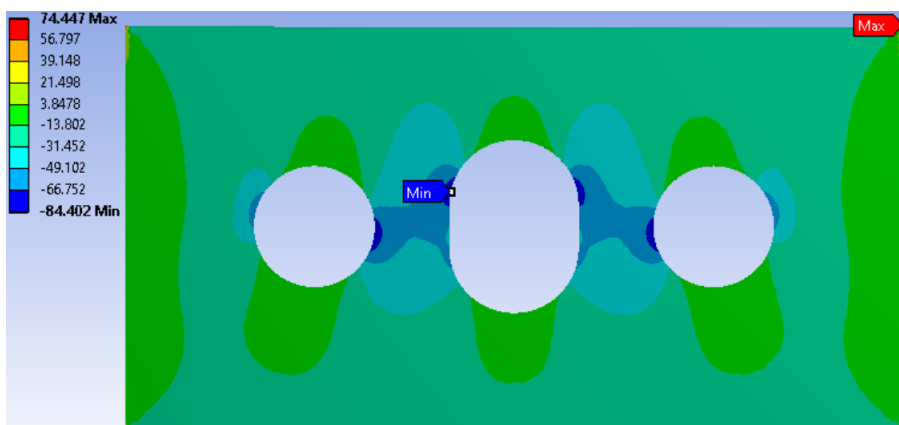
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 560 b 925  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



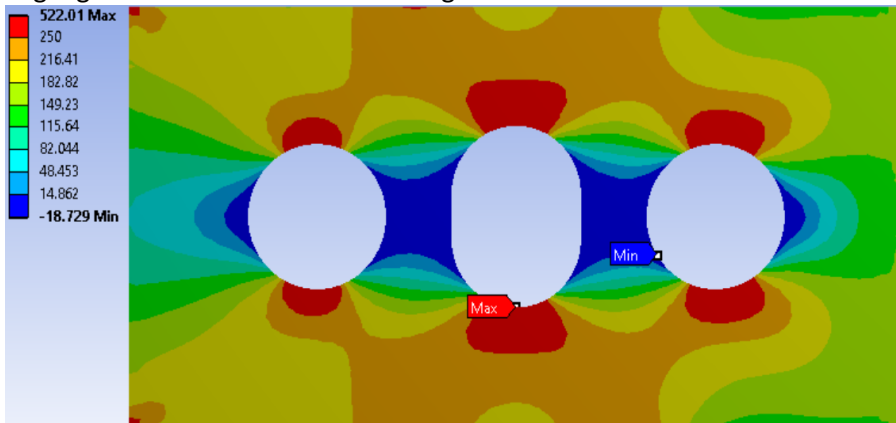
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



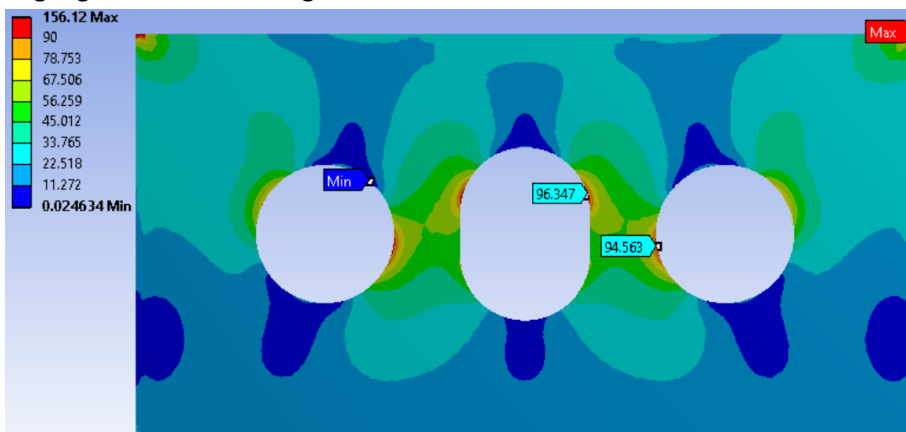
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



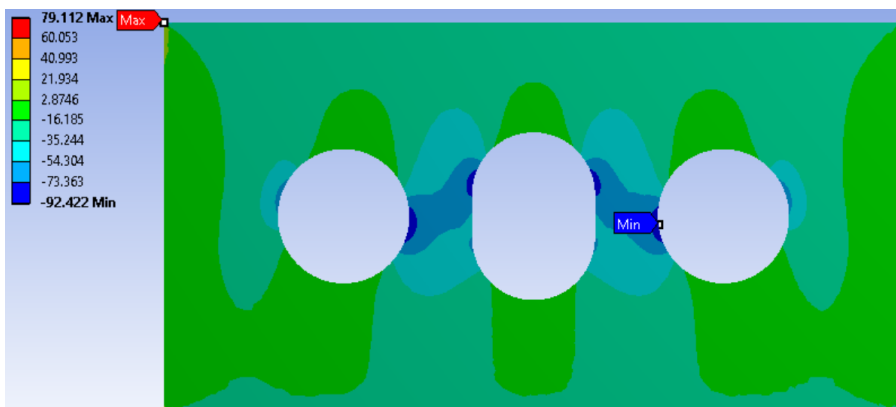
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 640 b 925  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



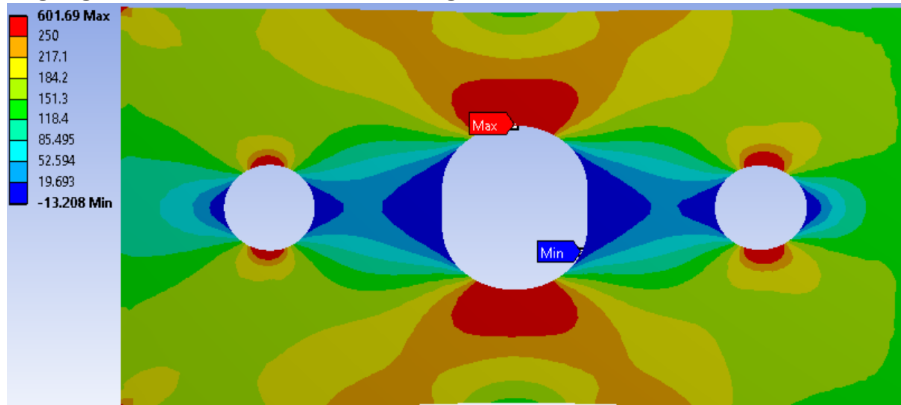
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



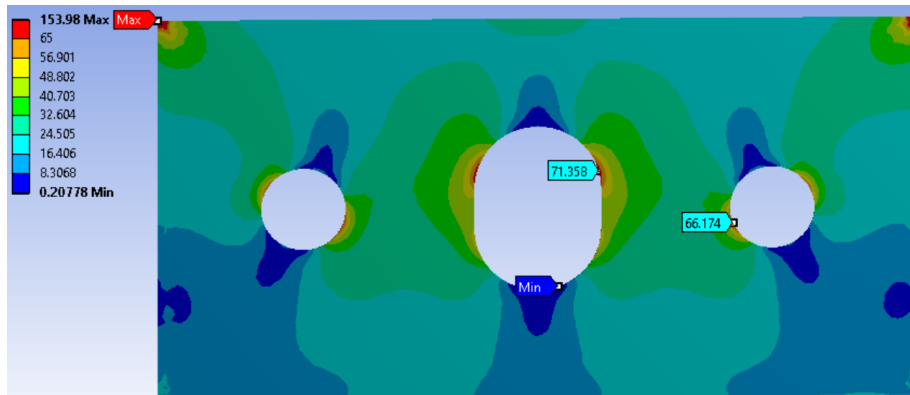
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



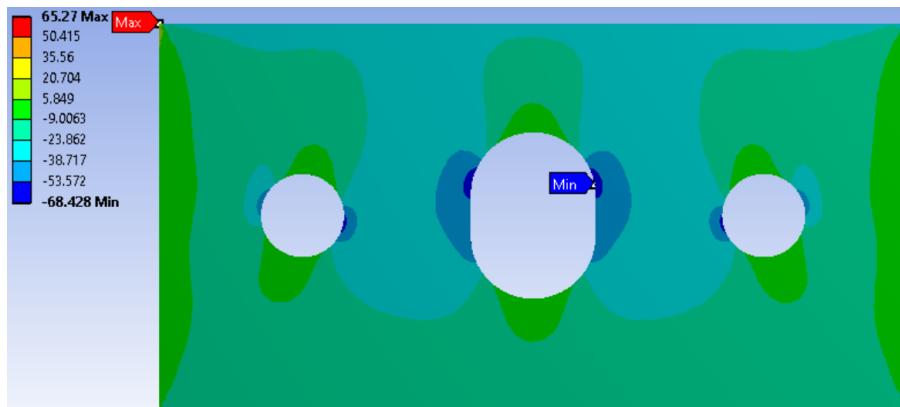
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 400 b 1110  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



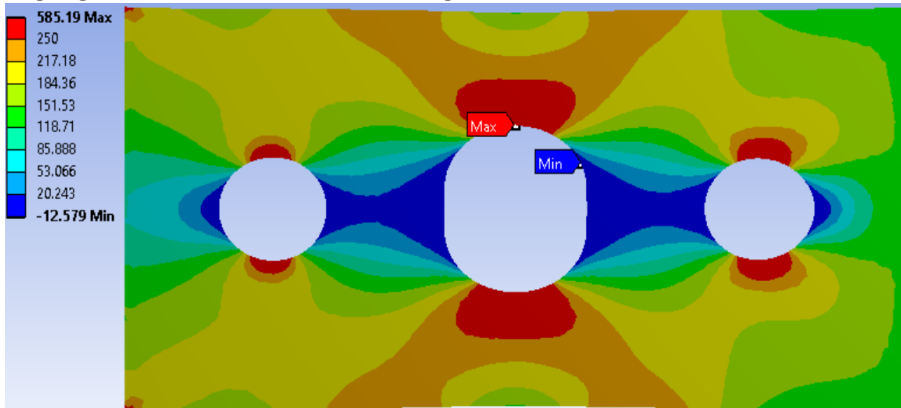
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



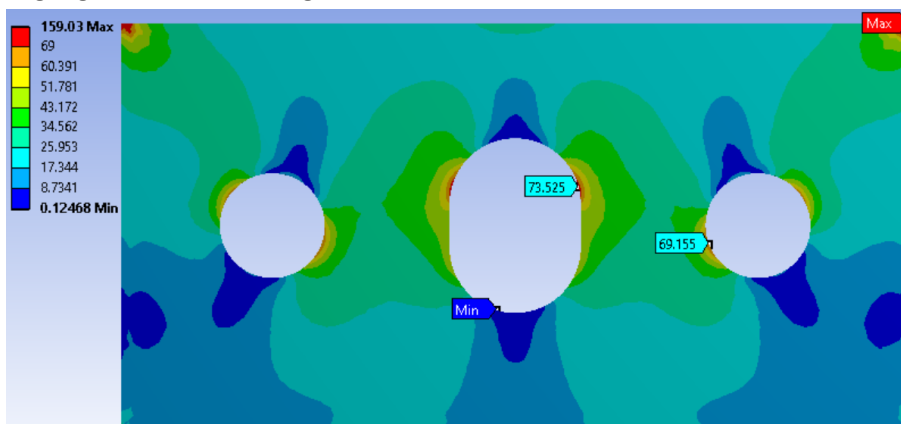
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



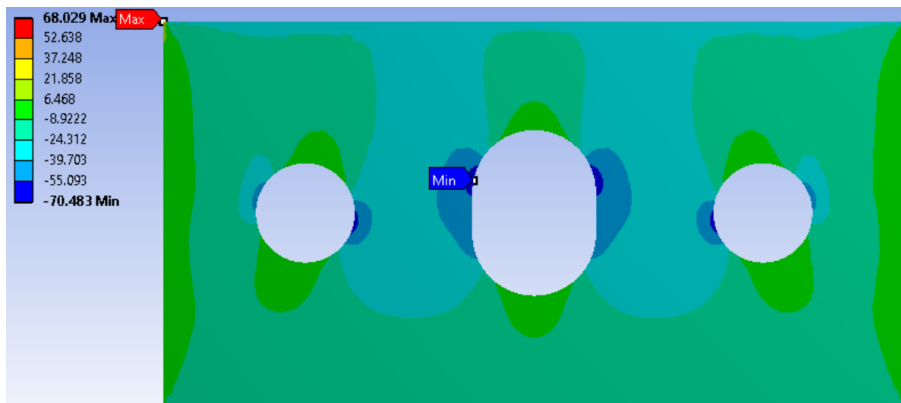
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 480 b 1110  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan

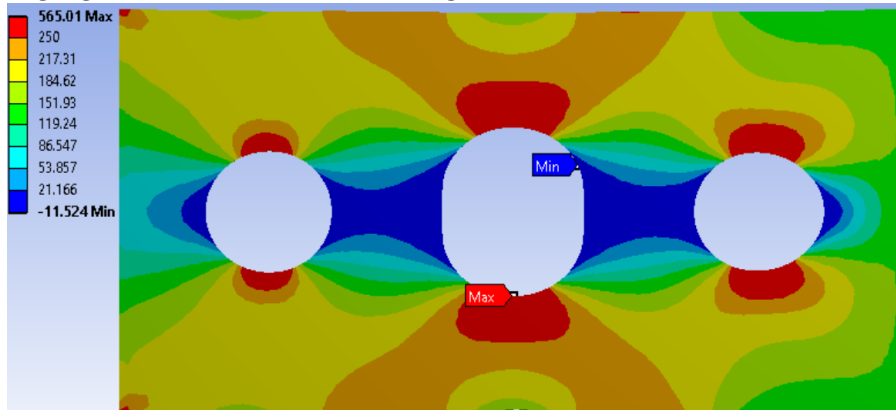


Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan

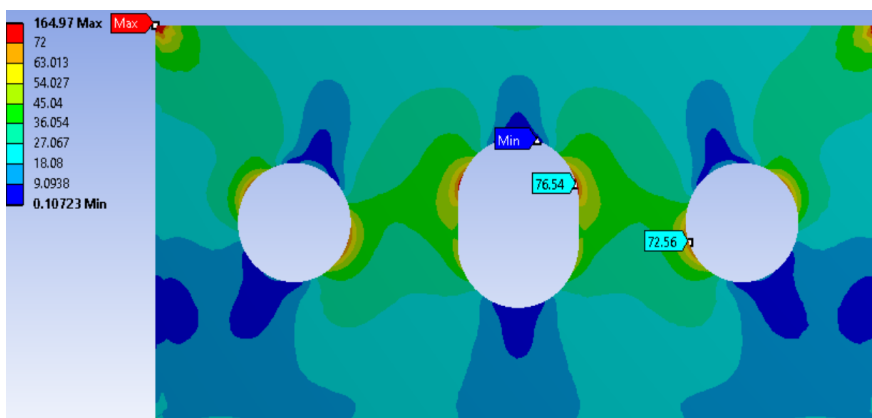




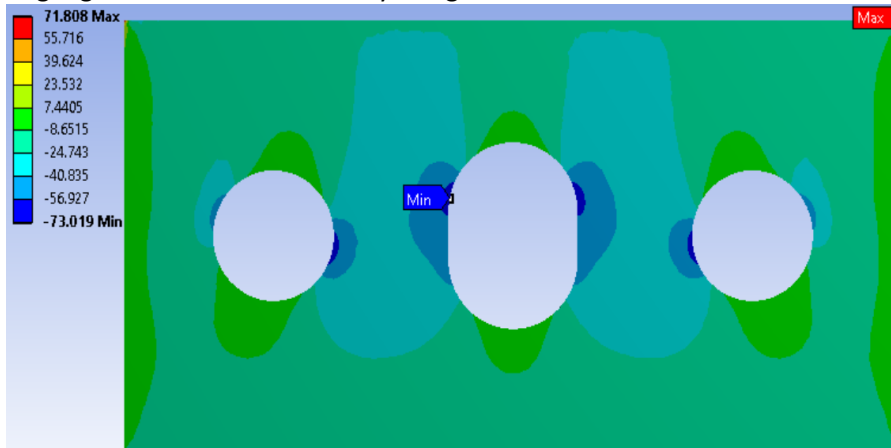
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 560 b 1110  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



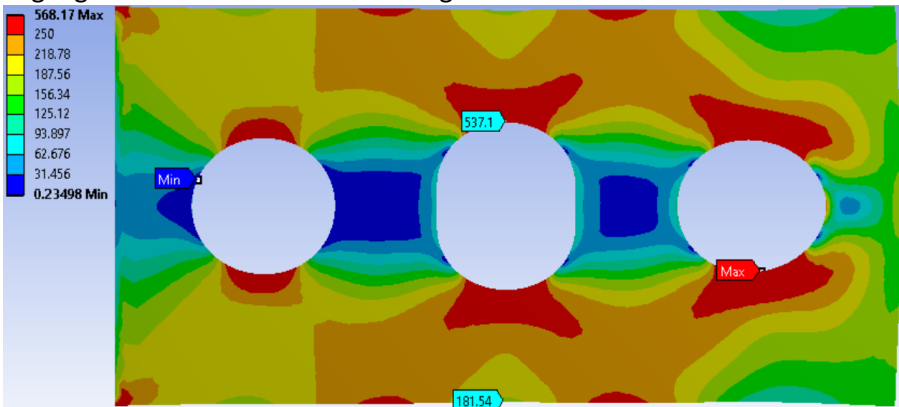
Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



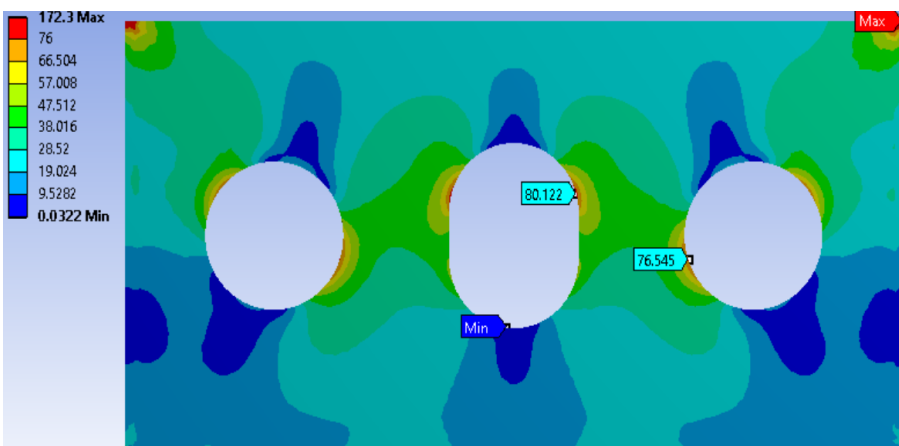
Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



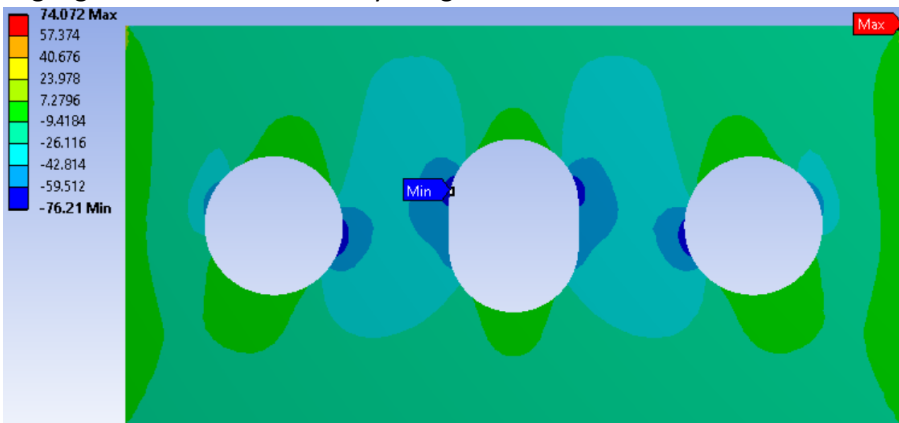
Wrang pelat dengan Vertikal Manhole a 640 b 1110  
Tegangan Normal Arah Sumbu x Dengan Beban Tarik



Tegangan Von Mises dengan Beban Tekan



Tegangan Normal Arah Sumbu y Dengan Beban Tekan



## BIODATA PENULIS



Nama saya Pramodana Haekal Ruhyadi. lahir di Jakarta, 3 Oktober 1997. Penulis merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Pernah menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Al-fauzien Depok, kemudian melanjutkan ke SDIT Nurul Fikri, SMPIT Nurul Fikri dan SMA Labschool Kebayoran. Kemudian melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Kelautan pada tahun 2015 Di Departemen Teknik Perkapalan penulis mengambil bidang studi rekayasa perkapalan – Konstruksi Kapal.

Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah mengikuti kepanitiaan GERIGI 2016 dan PETROLIDA 2018. Selan itu, Penulis juga pernah melakukan magang di galangan IKI (Industri Kapal Indonesia) yang terletak di Makassar, dan juga di KAKANOO MARITIME dalam bidang *ship design consultant*.

Penulis dapat dihubungi pada:

Email: [haepram@gmail.com](mailto:haepram@gmail.com)