



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISA SCF (*STRESS CONCENTRATION FACTOR*)
MENGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK PADA PELAT
DENGAN *FILLET* ASIMETRIS AKIBAT BEBAN TARIK**

**M. Dzaky Bestari
NRP 04111340000057**

**Dosen Pembimbing
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.**

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



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISA SCF (*STRESS CONCENTRATION FACTOR*)
MENGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK PADA PELAT
DENGAN *FILLET* ASIMETRIS AKIBAT BEBAN TARIK**

**M. Dzaky Bestari
NRP 0411134000057**

**Dosen Pembimbing
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.**

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



FINAL PROJECT - MN 184802

**SCF (STRESS CONCENTRATION FACTOR) ANALYSIS
USING NUMERICAL ASSESSMENTS ON PLATES WITH
ASSYMETRIC FILLETS DUE TO TENSILE LOADS**

**M. Dzaky Bestari
NRP 0411134000057**

**Supervisor
Dony Setyawan, S.t., M.Eng.
Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.**

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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA SCF (*STRESS CONCENTRATION FACTOR*) MENGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK PADA PELAT DENGAN *FILLET* ASIMETRIS AKIBAT BEBAN TARIK

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:

M. Dzaky Bestari
NRP 04111340000057

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing II

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



Dosen Pembimbing I

Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
NIP 19750320 199903 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

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

SURABAYA, 17 AGUSTUS 2020

LEMBAR REVISI

ANALISA SCF (*STRESS CONCENTRATION FACTOR*) MENGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK PADA PELAT DENGAN *FILLET* ASIMETRIS AKIBAT BEBAN TARIK

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 06 Agustus 2020

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

Oleh:

M. Dzaky Bestari
NRP 04111340000057

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D
.....
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.
.....
3. Moh. Sholikhhan Arif, S.T., M.T.
.....



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
.....
2. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.
.....

SURABAYA, 17 AGUSTUS 2020

HALAMAN PERUNTUKAN

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 Dony Setyawan, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing pertama atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D, Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T., dan Bapak Moh. Sholikhhan Arif, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan menguji saya pada sidang akhir;
4. Bapak Dr. Ir, Ketut Suastika, selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendidikan baik akademik maupun non akademik sehingga kami sebagai mahasiswa wali dapat belajar bekerja keras, pantang menyerah, dan bekerjasama.
5. Kedua orang tua penulis, Bestari dan Fatma yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis setiap kegiatan dan aktivitas hingga saat ini serta mengingatkan untuk taat beribadah.
6. Saudara penulis, Fathurrahman sebagai kakak kandung yang selalu memberikan semangat bagi penulis.
7. Candra, Jirjiz, Fajar, Andika, Mas Agil, Pak Fairil. Terima kasih banyak atas kebaikan dan bantuan rekan-rekan semua.

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, 17 Agustus 2020

M. Dzaky Bestari

**ANALISA SCF (*STRESS CONCENTRATION FACTOR*)
MENGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK PADA PELAT DENGAN
FILLET ASIMETRIS AKIBAT BEBAN TARIK**

Nama Mahasiswa : M. Dzaky Bestari
NRP : 0411134000057
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
2. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.

ABSTRAK

Tegangan akan terkonsentrasi pada daerah-daerah yang mengalami perubahan geometri yang sangat drastis atau diskontinuitas. Terdapat beberapa macam diskontinuitas pada material seperti *fillet*, *notch*, *hole*, dan lain lain. Diskontinuitas pada material menyebabkan tegangan terkonsentrasi pada daerah tersebut. Dalam penelitian ini model pelat asimetris yang digunakan memiliki diskontinuitas yaitu *fillet*. Bentuk pelat fillet sering dijumpai pada bagian-bagian kapal seperti *bracket*, *Web Frame*, *Cantilever*, dan lain lain. Pada penelitian ini perhitungan nilai SCF menggunakan pendekatan numerik yang dilakukan menggunakan *software* berbasis elemen hingga. Ukuran model pelat SS400 yang akan dianalisa yaitu 300mm x 60 mm x 5 mm. Jumlah spesimen pada penelitian ini berjumlah 9 buah untuk 3 variasi H/h yaitu H/h=2, H/h=2,5, dan H/h=3. Masing – masing rasio H/h memiliki 3 variasi r/h yaitu sebesar r/h=0,4, r/h=0,6, dan r/h=0,8. Besar beban yang digunakan pada penelitian ini adalah 2700 N atau 2,7 KN untuk setiap model berdasarkan dari *yield stress material*. Tahapan konvergensi didapatkan pada ukuran mesh 0,75 mm untuk setiap model. Nilai Faktor Konsentrasi tegangan untuk rasio H/h=2 adalah 1,427 pada radius 12 mm, 1,314 pada radius 18mm, dan 1,253 pada radius 24 mm. Nilai Faktor Konsentrasi tegangan untuk rasio H/h=2,5 adalah 1,436 pada radius 9,6 mm, 1,325 pada radius 14,4 mm, dan 1,253 pada radius 19,2 mm. Nilai Faktor Konsentrasi Tegangan untuk rasio H/h=3 adalah 1,434 pada radius 8 mm, 1,38 pada radius 12 mm, dan 1,27 pada radius 16 mm. Distribusi tegangan terbesar terdapat pada model rasio H/h=3 dengan radius 8 mm. Pada rasio H/h yang sama, semakin besar rasio r/h maka nilai Faktor Konsentrasi Tegangannya semakin kecil. Pada rasio r/h yang sama, semakin besar rasio H/h maka nilai Faktor Konsentrasi Tegangannya semakin besar.

Kata kunci: *SCF*, Tegangan Nominal, Pelat dengan *Fillet*, Metode Numerik

SCF (STRESS CONCENTRATION FACTOR) ANALYSIS USING NUMERICAL ASSESSMENTS ON PLATES WITH ASSYMMETRIC FILLETS DUE TO TENSILE LOADS

Author : M. Dzaky Bestari
Student Number : 04111340000057
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : 1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
2. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.

ABSTRACT

Stress will be concentrated in areas that experience very drastic geometric changes or discontinuities. There are several kinds of discontinuities in the material such as fillets, notches, holes, etc. Discontinuity in the material causes stresses to be concentrated in the area. In this study, the asymmetric plate model used has a fillet discontinuity. Fillet plate shapes are often found on ship parts such as brackets, web frames, cantilevers, and others. In this study, the calculation of the SCF value using numerical approaches was carried out using finite element based software. The size of the SS400 plate model to be analyzed is 300 mm x 60 mm x 5 mm. The number of specimens in this study amounted to 9 pieces for 3 variations of H/h, namely H/h=2, H/h=2,5, and H/h=3. Each H / h ratio has 3 variations of r/h, namely r/h=0,4, r/h=0,6, and r/h=0,8. The amount of load used in this study is 2700 N or 2.7 KN for each model based on the yield stress material. The convergence stage is obtained at a mesh size of 0.75 mm for each model. The value of the stress concentration factor for the ratio H/h=2 is 1,427 at a radius of 12 mm, 1,314 at a radius of 18 mm, and 1,253 at a radius of 24 mm. The stress concentration factor values for the ratio H/h=2,5 are 1,436 at a radius of 9,6 mm, 1,325 at a radius of 14,4 mm, and 1,253 at a radius of 19,2 mm. The value of the Stress Concentration Factor for the ratio H/h=3 is 1,434 at a radius of 8 mm, 1,38 at a radius of 12 mm, and 1,27 at a radius of 16 mm. The largest stress distribution is found in the H/h=3 ratio model with a radius of 8 mm. At the same H / h ratio, the greater the r / h ratio, the smaller the value of the Stress Concentration Factor. At the same r/h ratio, the greater the H/h ratio, the greater the value of the stress concentration factor.

Keywords: SCF, Nominal Stress, Plate with Fillet, Numerical Approach

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR REVISI.....	vii
HALAMAN PERUNTUKAN.....	ix
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	2
1.5. Manfaat	2
1.6. Hipotesis	2
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	3
2.1. Dasar Teori	3
2.1.1. Tegangan.....	3
2.1.2. Regangan.....	4
2.1.3. Diagram Tegangan dan Regangan	5
2.1.4. Hukum hooke's.....	6
2.1.5. Stress Concentration Factor	6
2.1.6. Metode Elemen Hingga	8
2.1.7. Konvergensi	9
2.1.8. Pengujian Tarik.....	9
2.2. Tinjauan Pustaka.....	10
BAB 3 METODOLOGI	11
3.1. Bagan Alir.....	11
3.2. Tahap Persiapan.....	12
3.2.1. Identifikasi masalah	12
3.2.2. Studi literatur	13
3.3. Tahap Pengumpulan Data.....	13
3.3.1. Pengujian Tarik Material	13
3.3.2. Desain model	14
3.3.3. Pemodelan.....	15
3.4. Tahap Analisa dan Pembahasan	32
3.5. Tahap Kesimpulan dan Saran	32
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Analisa Hasil dan Pembahasan Pendekatan Numerik	33
4.1.1. Model Pelat <i>Fillet</i> pada Rasio $H/h=2$ untuk Radius 12 mm	33
4.1.2. Model Pelat <i>Fillet</i> pada Rasio $H/h=2$ untuk Radius 18 mm	34

4.1.3. Model Pelat <i>Fillet</i> pada Rasio H/h=2 untuk Radius 24 mm	34
4.1.4. Model Pelat <i>Fillet</i> pada Rasio H/h=2,5 untuk Radius 9,6 mm	35
4.1.5. Model Pelat <i>Fillet</i> pada Rasio H/h=2,5 untuk Radius 14,4 mm	35
4.1.6. Model Pelat <i>Fillet</i> pada Rasio H/h=2,5 untuk Radius 19,2mm	36
4.1.7. Model Pelat <i>Fillet</i> pada Rasio H/h=3 untuk Radius 8 mm	36
4.1.8. Model Pelat <i>Fillet</i> pada Rasio H/h=3 untuk Radius 12 mm	37
4.1.9. Model Pelat <i>Fillet</i> pada Rasio H/h=3 untuk Radius 16mm	37
4.2. Distribusi Tegangan pada Penampang Melintang Model	38
4.2.1. Model pada rasio H/h=2	39
4.2.2. Model pada rasio H/h=2.5	43
4.2.3. Model pada rasio H/h=3	47
4.3. Faktor Konsentrasi Tegangan dengan Metode Numerik	51
4.4. Pengaruh rasio H/h terhadap distribusi tegangan.....	55
4.5. Distribusi Tegangan Sepanjang Model	56
4.5.1. Rasio H/h=2.....	57
4.5.2. Rasio H/h=2,5.....	58
4.5.3. Rasio H/h=3.....	59
4.6. Faktor Konsentrasi Tegangan dari Eksperimen	60
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1. Kesimpulan	63
5.2. Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64

LAMPIRAN

LAMPIRAN A.	Sertifikat Material SS400
LAMPIRAN B.	Pemasangan Strain Gage
LAMPIRAN C.	Gambar Kertas Pengujian SS400
LAMPIRAN D.	Gambar Kertas Eksperimen Pengujian Tarik
LAMPIRAN E.	Hasil Perhitungan Eksperimen Pengujian Tarik Dengan Strain Gauge
LAMPIRAN F.	Grafik Regangan Eksperimen Pengujian Tarik Hasil Pengukuran Deformasi Spesimen
LAMPIRAN F.	Distribusi Tegangan Melintang
LAMPIRAN F.	Distribusi Tegangan Memanjang

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pembebanan batang secara aksial. (a) beban terpusat, (b) beban merata	3
Gambar 2.2	Tegangan yang terjadi akibat dari <i>bending</i> dan <i>tension</i> pada batang	4
Gambar 2.3	Ilustrasi regangan pada sebuah batang	5
Gambar 2.4	Diagram Tegangan dan Regangan untuk Baja lunak (kiri) dan Baja rapuh (kanan)	5
Gambar 2.5	Grafik SCF pada pelat dengan <i>fillet</i> akibat beban tarik	7
Gambar 2.6	Grafik SCF pada pelat dengan <i>fillet</i> akibat momen <i>bending</i>	8
Gambar 2.7	Hubungan antara jumlah elemen terhadap nilai sebenarnya dari parameter fungsinya	9
Gambar 3.1	Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir	12
Gambar 3.2	<i>Test Specimen Shape C</i>	13
Gambar 3.3	Hasil Pengujian Tarik pelat SS400	14
Gambar 3.4	Desain model pelat dengan <i>fillet</i> asimetri	15
Gambar 3.5	Pemodelan Geometri	16
Gambar 3.6	Model <i>radius fillet</i> 12 mm dengan h 30 mm	16
Gambar 3.7	Model <i>radius fillet</i> 18 mm dengan h 30 mm	17
Gambar 3.8	Model <i>radius fillet</i> 24 mm dengan h 30 mm	17
Gambar 3.9	Model <i>radius fillet</i> 9.6 mm dengan h 24 mm	17
Gambar 3.10	Model <i>radius fillet</i> 14.4 dengan h 24 mm	18
Gambar 3.11	Model <i>radius fillet</i> 19.2 mm dengan h 24 mm	18
Gambar 3.12	Model <i>radius fillet</i> r 8 mm dengan h 20 mm	18
Gambar 3.13	Model <i>radius fillet</i> 12 mm dengan h 20 mm	19
Gambar 3.14	Model <i>radius fillet</i> 16 mm dengan h 20 mm	19
Gambar 3.15	Pendefinisian Material	20
Gambar 3.16	Pengaplikasian kondisi batas pada model	20
Gambar 3.17	Pemberian ukuran mesh	21
Gambar 3.18	Pengaturan Running	21
Gambar 3.19	Grafik konvergensi radius fillet 12 mm dan h30	23
Gambar 3.20	Grafik konvergensi radius fillet 18 mm dan h30	24
Gambar 3.21	Grafik konvergensi radius fillet 24 mm dan h30	25
Gambar 3.22	Grafik konvergensi radius fillet 9,6 mm dan h24	26
Gambar 3.23	Grafik konvergensi radius fillet 14,4 mm dan h24	27
Gambar 3.24	Grafik konvergensi radius fillet 19,2 mm dan h24	28
Gambar 3.25	Grafik konvergensi radius fillet 8mm dan h20	29
Gambar 3.26	Grafik konvergensi radius fillet 12 mm dan h20	30
Gambar 3.27	Grafik konvergensi radius fillet 16 mm dan h20	31
Gambar 4.1	Hasil <i>Running Job</i> FEA pada rasio H/h=2 dan radius 12 mm	33
Gambar 4.2	Hasil <i>Running Job</i> FEA pada rasio H/h=2 dan radius 18 mm	34
Gambar 4.3	Hasil <i>Running Job</i> FEA pada rasio H/h=2 dan radius 24 mm	34
Gambar 4.4	Hasil <i>Running Job</i> FEA pada rasio H/h=2,5 dan radius 9,6 mm	35
Gambar 4.5	Hasil <i>Running Job</i> FEA pada rasio H/h=2,5 dan radius 14,4 mm	35
Gambar 4.6	Hasil <i>Running Job</i> FEA pada rasio H/h=2,5 dan radius 19,2 mm	36
Gambar 4.7	Hasil <i>Running Job</i> FEA pada rasio H/h=3 dan radius 8 mm	36

Gambar 4.8 Hasil <i>Running Job</i> FEA pada rasio $H/h=3$ dan radius 12 mm	37
Gambar 4.9 Hasil <i>Running Job</i> FEA pada rasio $H/h=3$ dan radius 16 mm	37
Gambar 4.10 Proses <i>Create path</i> pada bagian tengah model	38
Gambar 4.11 <i>Tab XY Data from Path</i>	39
Gambar 4.12 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2$ dan r 12 mm	40
Gambar 4.13 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2$ dan r 18 mm	41
Gambar 4.14 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2$ dan r 24 mm	42
Gambar 4.15 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2,5$ dan r 9,6 mm	44
Gambar 4.16 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2,5$ dan r 14,4 mm	45
Gambar 4.17 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2,5$ dan r 19,2 mm	46
Gambar 4.18 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada rasio $H/h=3$ dan r 8 mm ...	48
Gambar 4.19 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=3$ dan r 12 mm	49
Gambar 4.20 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=3$ dan r 16 mm	50
Gambar 4.21 Grafik nilai SCF terhadap perubahan r/h pada model rasio $H/h=2$	53
Gambar 4.22 Grafik nilai SCF terhadap perubahan r/h pada model rasio $H/h=2,5$	53
Gambar 4.23 Grafik nilai SCF terhadap perubahan r/h pada model rasio $H/h=3$	54
Gambar 4.24 Grafik perbandingan nilai SCF antar rasio H/h	55
Gambar 4.25 Proses <i>Create path</i> sepanjang model antara <i>fillet radius</i>	57
Gambar 4.26 Distribusi tegangan sepanjang model $H/h=2$	57
Gambar 4.27 Distribusi tegangan sepanjang model $H/h=2,5$	58
Gambar 4.28 Distribusi tegangan sepanjang model $H/h=3$	59
Gambar 4.29 Grafik SCF pada Pendekatan Eksperimen	61
Gambar 4.30 Perbandingan SCF Numerik dan Eksperimen pada rasio $H/h=3$	61

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Laporan hasil pengujian baja <i>grade</i> KI-D JIS3101 SS400	14
Tabel 3.2 Ukuran detail spesimen	15
Tabel 3.3 Konvergensi <i>radius fillet</i> 12 mm dan h 30	22
Tabel 3.4 Konvergensi radius fillet 18 mm dan h 30	23
Tabel 3.5 Konvergensi radius fillet 24 mm dan h 30	24
Tabel 3.6 Konvergensi radius fillet 9,6 mm dan h 24	25
Tabel 3.7 Konvergensi radius fillet 14,4 mm dan h 24	26
Tabel 3.8 Konvergensi radius fillet 19,2 mm dan h 24	27
Tabel 3.9 Konvergensi radius fillet 8mm dan h 20	28
Tabel 3.10 Konvergensi radius fillet 12mm dan h 20	29
Tabel 3.11 Konvergensi radius fillet 16 mm dan h 20	30
Tabel 3.12 Rekapitulasi Hasil Konvergensi Model Pelat <i>Fillet</i> Asimetris.....	31
Tabel 4.1 Hasil perhitungan Faktor Konsentrasi Tegangan dengan metode numerik.....	52
Tabel 4.2 Nilai Faktor Konsentrasi Tegangan pada pendekatan numeric	52
Tabel 4.3 Perbedaan nilai Tegangan maksimal arah sumbu-x dengan Tegangan mises maksimal.....	56
Tabel 4.4 Faktor konsentrasi tegangan eksperimen.....	60

DAFTAR SIMBOL

SCF	= Faktor konsentrasi tegangan
σ	= Tegangan pada spesimen (MPa)
F	= Gaya (N)
A	= Luas penampang (m ²)
ΔL	= Perubahan panjang pada material (mm)
L ₀	= Panjang mula-mula (m)
E	= Modulus Young (GPa)
ε	= Regangan
σ_{\max}	= tegangan maksimum pada suatu material (MPa)
σ_{nom}	= tegangan nominal (Mpa)
ΔR	= Perubahan hambatan (Ohm)
R	= Hambatan (Ohm)
K _s	= Koefisien gage factor
h	= Lebar spesimen (mm)
P	= Gaya tekan (N/m ²)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam industri perkapalan, hampir semua komponen seperti logam mengalami proses penyambungan (*joining*) dengan komponen lain, pemotongan pelat, proses bending, dll. Proses-proses tersebut menyebabkan material atau pelat berubah bentuk. Seperti yang terjadi pada lubang palka dimana sudut-sudut di sekitar lubang palka berbentuk *fillet*. Teori elastisitas menyebutkan bahwa bila suatu benda pejal dibebani dengan gaya luar, benda tersebut akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) sehingga menimbulkan tegangan dan regangan. Geometri benda akan sangat berpengaruh pada distribusi tegangan. Tegangan akan terkonsentrasi pada daerah-daerah yang mengalami perubahan geometri yang sangat drastis seperti lekukan pada pipa, las-lasan pada pelat *fillet*, pelat yang diberi lubang, dll. Seperti pada penelitian ini, tegangan akan terpusat pada daerah di sekitar *fillet*. Ada banyak sekali konstruksi atau bagian pada kapal yang terdapat *fillet radius* seperti sudut pada lubang palka, bracket, gading besar, gading kecil, *cantilever*, dll. Kapal dikenai beban eksternal akan mengakibatkan terjadinya *stress* di dalam baja atau konstruksi tersebut. Konstruksi kapal yang mempunyai *fillet radius* menyebabkan tegangan terkonsentrasi pada daerah tersebut sehingga menimbulkan sebuah Faktor Konsentrasi Tegangan yang dapat mempengaruhi umur dari konstruksi kapal.

Perubahan geometri material seperti diatas menyebabkan distribusi tegangan yang tidak merata dan terkonsentrasi pada daerah-daerah yang mengalami perubahan geometri yang tiba-tiba. Distribusi tegangan yang tidak merata tersebut dan adanya tegangan yang terkonsentrasi akan menimbulkan suatu faktor yaitu Faktor Konsentrasi Tegangan (*Stress Concentration Factor*). Untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada suatu komponen atau struktur yang diskontinu dapat dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai *Stress Concentration Factor* yang didapat dari pendekatan numerik atau menggunakan FEA (*Finitine Element Analysis*). Metode Elemen Hingga adalah metode numerik yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan penyelesaian pendekatan maka diperlukan berbagai teknik untuk memperoleh harga yang paling mendekati dengan harga eksaknya atau nilai sebenarnya.

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 pelat *fillet* asimetris akibat beban Tarik dengan pendekatan numerik?
2. Bagaimana pengaruh rasio H/h terhadap Faktor Konsentrasi Tegangan pelat dengan *fillet* asimetris dengan pendekatan numerik?
3. Bagaimana distribusi tegangan yang terjadi pada pelat dengan *fillet* asimetris akibat beban tarik dengan pendekatan numerik?

1.3. Tujuan

Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Mengetahui Faktor Konsentrasi Tegangan pelat *fillet* dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga.
2. Mengetahui pengaruh rasio H/h terhadap nilai Faktor Konsentrasi Tegangan pada pelat dengan *fillet* asimetris akibat beban tarik.
3. Menganalisa penyebaran tegangan yang terjadi pada pelat dengan *fillet* asimetris akibat beban tarik dengan pendekatan numerik.

1.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah:

1. Jenis pelat yang digunakan adalah SS400.
2. Tebal pelat yang akan diuji adalah 5 mm.

1.5. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut:

1. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat memberi wawasan baru mengenai Faktor Konsentrasi Tegangan pada pelat *fillet* asimetris.
2. Secara praktis, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi dalam merancang pelat dengan *fillet* asimetris.

1.6. Hipotesis

Rasio $H/h=3$ mempunyai nilai SCF yang paling besar dan rasio $r/h=0.8$ mempunyai nilai SCF yang paling kecil.

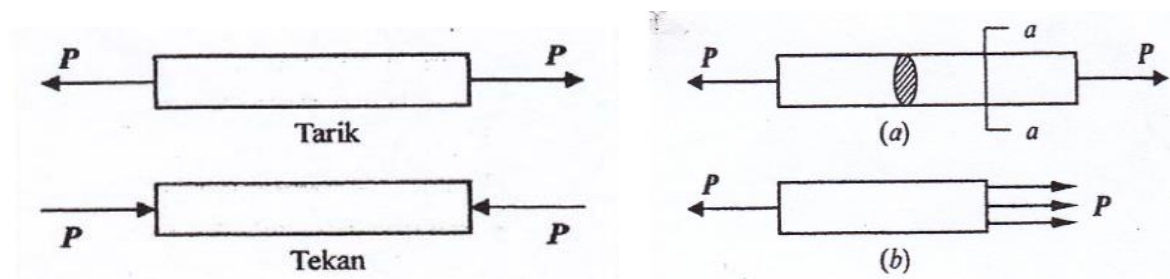
BAB 2 STUDI LITERATUR

2.1. Dasar Teori

Dalam sebuah penelitian dibutuhkan sebuah referensi atau landasan yang mendukung penyelesaian dalam penelitian ini sehingga tujuan dari dilakukannya sebuah penelitian dapat tercapai. Teori-teori tersebut berkaitan tentang mekanika bahan, Hukum Hooke's, dan *Stress Concentration Factor* yang mendukung penelitian ini.

2.1.1. Tegangan

Konsep paling dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan dan regangan. Konsep ini dapat diilustrasikan dalam bentuk yang paling mendasar dengan meninjau sebuah batang prismatis yang mengalami gaya aksial. Batang prismatis adalah sebuah elemen struktur lurus yang mempunyai penampang konstan di seluruh panjangnya, dan gaya aksial adalah beban yang mempunyai arah yang sama dengan sumbu elemen, sehingga mengakibatkan terjadinya tarik atau tekan pada batang. Kondisi tarik atau tekan terjadi pada struktur, misalnya pada elemen di rangka batang di jembatan, dan kondisi tekan terjadi pada struktur, yaitu pada elemen kolom di gedung. Umumnya, gaya dalam yang bekerja pada luas yang kecil tak berhingga sebuah potongan, akan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Gaya-gaya dalam ini merupakan vektor dan bertahan dalam keseimbangan terhadap gaya-gaya luar terpakai. Dalam mekanika bahan kita perlu menentukan intensitas dari gaya-gaya ini dalam berbagai bagian dari potongan, sebagai perlawanan terhadap deformasi sedang kemampuan bahan untuk menahan gaya tersebut tergantung pada intensitas ini (Popov & Astamar, 1984).



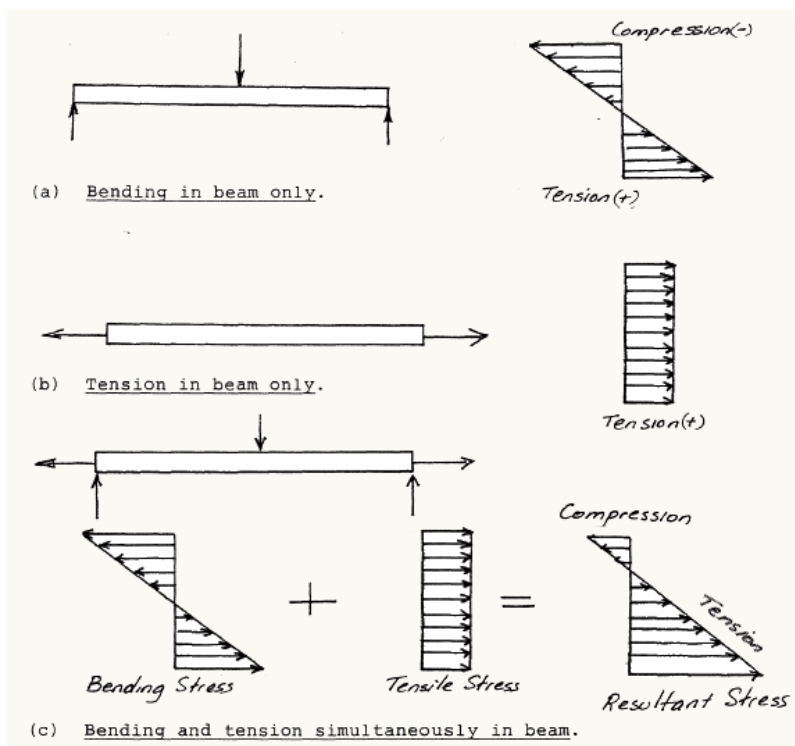
Gambar 2.1 Pembebanan batang secara aksial. (a)beban terpusat, (b) beban merata

Sumber : (Mulyati, 2006)

Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda (*deformasi*). Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda. Secara matematis dituliskan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

dimana σ adalah tegangan dengan satuan N/mm² atau MegaPascal, F adalah gaya yang bekerja dalam satuan Newton, dan A adalah luas penampang benda dalam satuan milimeter kuadrat mm². Pada penelitian ini, tegangan yang terjadi diakibatkan oleh *tension and bending* dikarenakan model pada pelat yang tidak simetri. Ilustrasi tegangan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Tegangan yang terjadi akibat dari *bending* dan *tension* pada batang

2.1.2. Regangan

Regangan didefinisikan sebagai hasil bagi antara pertambahan panjang dengan panjang awal. Contohnya benda yang menggantung pada tali, menimbulkan gaya tarik pada tali, sehingga tali memberikan perlawanan berupa gaya dalam yang sebanding dengan berat beban yang dipikulnya (gaya aksi = reaksi). Respon perlawanan dari tali terhadap beban yang bekerja padanya akan mengakibatkan tali menegang sekaligus juga meregang sebagai efek terjadinya pergeseran internal di tingkat atom pada partikel-partikel yang menyusun tali, sehingga tali mengalami pertambahan panjang. Jika tali mengalami pertambahan sejauh Δl dari yang semula sepanjang L , maka regangan yang terjadi pada tali merupakan perbandingan

antara penambahan panjang yang terjadi terhadap panjang mula-mula dari tali dan dinyatakan sebagai berikut.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

Dimana ϵ (*epsilon*) adalah regangan (*strain*) atau perpanjangan per satuan panjang. Ia adalah besaran yang tidak berdimensi, tetapi lebih baik diberikan dimensi meter per meter atau m/m.. Besaran regangan ϵ sangat kecil, kecuali untuk beberapa bahan seperti karet. ΔL adalah perubahan atau pertambahan panjang suatu benda dalam satuan millimeter, dan L adalah panjang awal suatu benda dalam satuan millimeter. Ilustrasi dari regangan dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah ini.



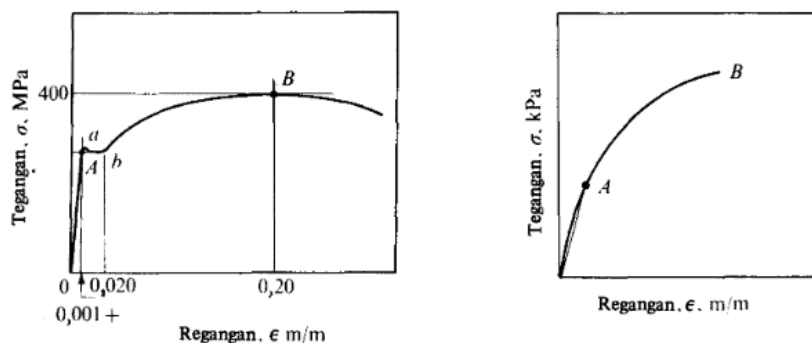
Gambar 2.3 Ilustrasi regangan pada sebuah batang

Sumber : (Riko, 2014)

karena pembilang dan penyebutnya memiliki satuan yang sama, maka regangan adalah sebuah nilai nisbi, yang dapat dinyatakan dalam persen dan tidak mempunyai satuan (Popov & Astamar, 1984).

2.1.3. Diagram Tegangan dan Regangan

Secara eksperimen diterangkan bahwa diagram tegangan-regangan sangat berbeda untuk bahan-bahan yang berbeda. Untuk bahan yang sama diagram ini berbeda pula, tergantung pada suhu pengujian yang dilakukan, kecepatan pengujian dan beberapa variabel lainnya. Tetapi pada umumnya ada 2 jenis diagram yang dikenal seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Diagram Tegangan dan Regangan untuk Baja lunak (kiri) dan Baja rapuh (kanan)

Sumber: (Popov & Astamar, 1984)

Terlihat perbedaan diagram yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 antara baja lunak (*ductile*) dan baja rapuh (*brittle*) bahwa titik A (*yield point*) untuk baja rapuh lebih cepat terjadi dibandingkan dengan baja lunak. Terjadi perubahan tren grafik yang signifikan pada kondisi plastis (setelah titik A) untuk diagram baja lunak sedangkan pada baja rapuh tren grafik yang terjadi pada kondisi plastis tidak jauh berbeda dengan kondisi elastis (sebelum titik A). Berbicara secara numerik, masing-masing bahan mempunyai kurva sendiri-sendiri. Titik batas akhir dari diagram tegangan-regangan menyatakan kegagalan penuh (pecah) dari spesimen (Popov & Astamar, 1984).

2.1.4. Hukum hooke's

Jika suatu benda diberikan suatu gaya yang cukup untuk merubah bentuk benda tersebut maka kondisi benda tersebut dapat menjadi elastis, plastis, ataupun hancur. Hancur merupakan kondisi kegagalan benda karena sudah melewati titik patahnya (*breaking point*). Plastis merupakan kondisi benda yang tidak dapat kembali lagi menjadi kondisi awalnya jika gaya yang diberikan dihilangkan. Elastis adalah kemampuan sebuah benda untuk kembali ke kondisi awalnya ketika gaya yang diberikan pada benda tersebut dihilangkan. Hubungan antara tegangan dan regangan boleh dikatakan berbentuk linier untuk semua bahan. Hal ini menuju kepada idealisasi dan penyamarataan (*generalisasi*) yang berlaku untuk semua bahan, yang dikenal sebagai hukum Hooke. Dalam bentuk lambang, hukum ini dinyatakan oleh persamaan 3 dibawah.

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (3)$$

yang secara mudah berarti bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, di mana tetapan perbandingan adalah E . Tetapan E ini disebut modulus elastisitas atau modulus young. Berhubung e adalah nilai tidak berdimensi, maka dari Persamaan diatas E mempunyai satuan yang sama dengan tegangan. Dalam satuan SI, E diukur dalam newton per meter kuadrat atau Pascal (Popov & Astamar, 1984).

2.1.5. Stress Concentration Factor

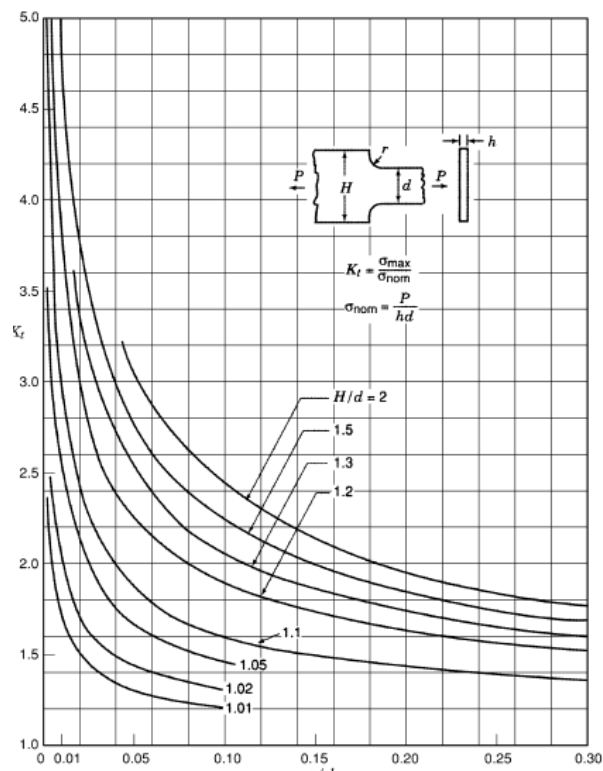
Faktor Konsentrasi Tegangan adalah faktor tanpa dimensi yang digunakan untuk mengukur seberapa terkonsentrasi stress dalam suatu material. Ini didefinisikan sebagai rasio tegangan tertinggi dalam elemen terhadap tegangan referensi.

$$K = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_{ref}} \quad (4)$$

Dimana K adalah Faktor Konsentrasi Tegangan, σ_{maks} adalah tegangan maksimal yang terjadi pada benda dalam satuan Newton per milimeter kuadrat (N/mm²) atau MegaPascal

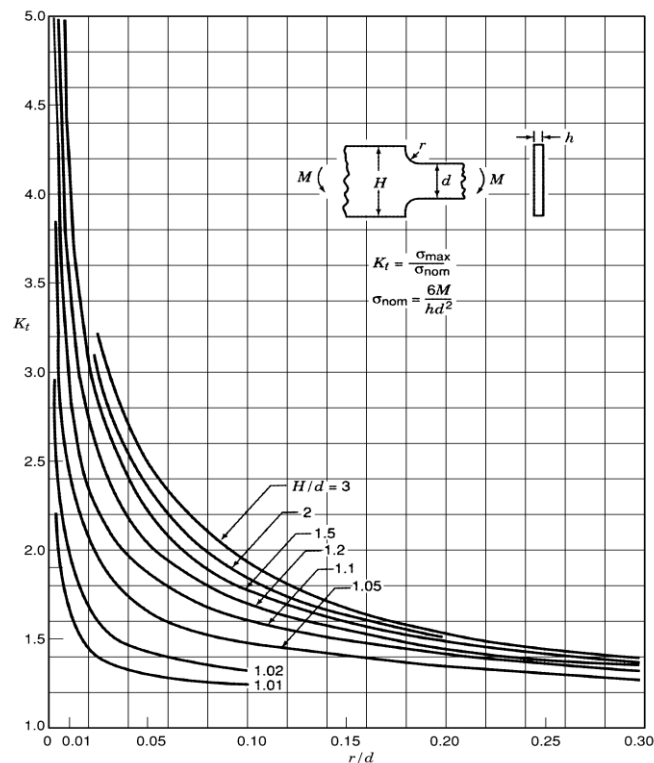
(Mpa), dan σ_{ref} adalah tegangan referensi dalam satuan Newton per milimeter kuadrat (N/mm²) atau MegaPascal (Mpa).

Tegangan referensi atau tegangan nominal 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, 2009). Tegangan pada material yang diskontinu akan menyebabkan distribusi tegangannya tidak merata dan terkonsentrasi pada daerah diskontinu tersebut. Pada pembangunan kapal, banyak sekali material yang diskontinu atau perubahan bentuk yang drastis salah satunya adalah *fillet* pada pelat di daerah sekitar lubang palka. Besarnya faktor konsentrasi tegangan mempengaruhi umur struktur pada suatu bahan atau konstruksi. Semakin besar faktor konsentrasi tegangan, maka kemungkinan terjadinya *initial crack* semakin besar pula. *Initial crack* ini menyebabkan kegagalan pada suatu konstruksi sehingga umur strukturnya berkurang. Semakin kecil nilai Faktor Konsentrasi tegangan maka semakin baik pula material ataupun konstruksi yang akan dirancang. Grafik Faktor konsentrasi tegangan pada pelat dengan *fillet* dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Grafik SCF pada pelat dengan *fillet* akibat beban tarik

Sumber: Gambar 2.5



Gambar 2.6 Grafik SCF pada pelat dengan fillet akibat momen bending

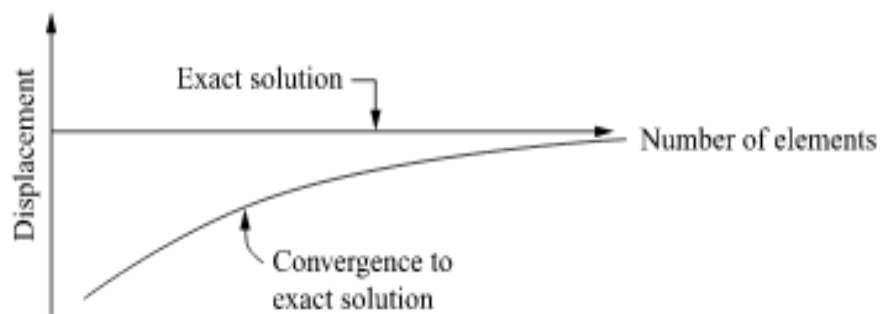
Sumber : (Pilkey, 1997)

2.1.6. Metode Elemen Hingga

Finite Element Method (FEM) atau biasanya disebut *Finite Element Analysis* (FEA), adalah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan pada struktur, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida. Metode ini digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution / analytical solution* tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*. Untuk masalah yang melibatkan geometri yang rumit, pembebanan, dan sifat material, secara umum tidak mungkin untuk mendapatkan solusi matematika analitik. Solusi analitis ini umumnya memerlukan solusi persamaan differensial biasa atau parsial dikarenakan geometri, beban, dan properti material yang rumit. Oleh karena itu perlu mengandalkan metode numerik, seperti metode elemen hingga, untuk solusi yang dapat diterima (Logan, 2007).

2.1.7. Konvergensi

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia, pengertian konvergensi adalah keadaan menuju suatu titik atau memusat. (KBBI, 2020). Dalam konsep elemen hingga, uji konvergensi adalah salah satu cara untuk menentukan ukuran elemen yang tepat dalam pembuatan model sehingga model dapat menghasilkan nilai yang valid. Konvergensi dilakukan dengan membandingkan beberapa hasil analisis tegangan dengan ukuran elemen yang berbeda hingga mencapai hasil paling stabil pada tiap ukuran elemen. Tujuannya adalah menguji ketelitian dari *software* yang digunakan. (Logan, 2007).



Gambar 2.7 Hubungan antara jumlah elemen terhadap nilai sebenarnya dari parameter fungsinya

Sumber : (Logan, 2007)

2.1.8. Pengujian Tarik

Uji Tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*) (Budiman, 2016). *Output* dari pengujian tarik ini adalah diagram *stress strain*.

Stress Strain Diagram merupakan hubungan antara tegangan yang terjadi pada material dengan deformasi yang terjadi pada material akibat dari beban. Diagram Stress Strain ini didapatkan dari Pengujian Tarik material (*Tensile Testing*). Uji tarik dilakukan di mesin uji tarik, memberikan gaya tarik yang ditingkatkan secara seragam dan terkontrol yang diterapkan pada spesimen uji. Deformasi spesimen (regangan) adalah rasio peningkatan panjang spesimen (*Gauge length*) dengan panjang aslinya dengan rumus sebagai berikut.

$$\delta = \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad (5)$$

dimana δ adalah regangan, L adalah panjang akhir dalam satuan mm, dan L_0 adalah panjang mula-mula dalam satuan mm.

2.2. Tinjauan Pustaka

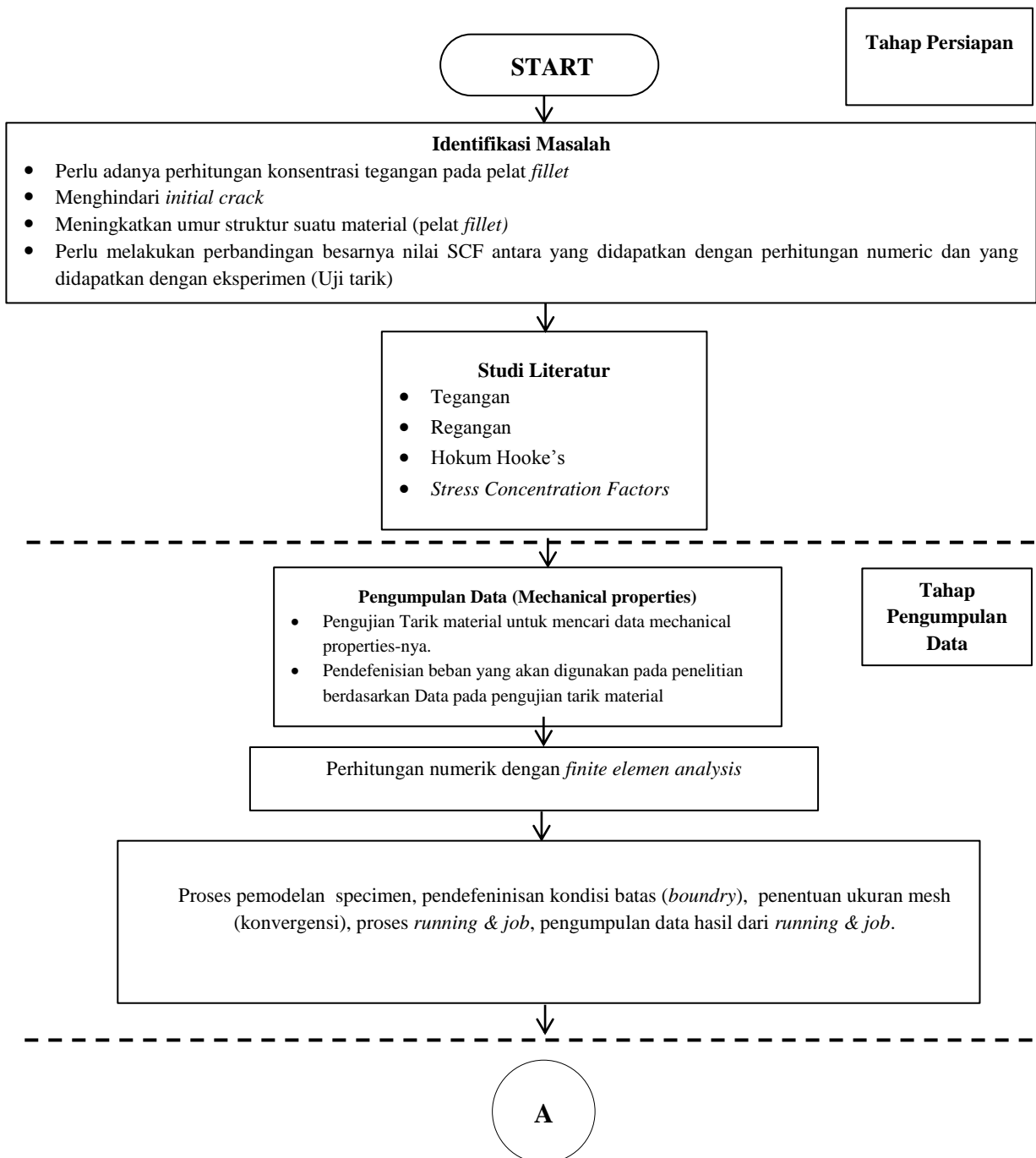
Penelitian oleh (Siputra, 2019) meneliti tentang Faktor Konsentrasi Tegangan sebuah pelat dengan *fillet radius*. Penelitian ini menjelaskan tentang pengaruh dari fillet radius ini terhadap nilai Faktor Konsentrasi Tegangan. Penelitian ini juga membandingkan antara Faktor Konsentrasi Tegangan dari pelat *fillet* yang didapatkan dari *software* berbasis elemen hingga dengan faktor konsentrasi tegangan yang didapatkan pada pengujian tarik material. Penelitian ini menghasilkan nilai SCF yang semakin besar seiring dengan berkurangnya rasio r/d pada H/h yang sama. Penelitian oleh (Roni, 2019) juga meneliti tentang Faktor Konsentrasi Tegangan pada sebuah pelat dengan lubang. Penelitian ini menjelaskan tentang pengaruh diameter lubang pada sebuah pelat terhadap nilai dari Faktor Konsentrasi Tegangan. Penelitian ini menyebutkan bahwa semakin besar diameter lingkaran dengan lebar material yang sama, semakin besar pula nilai SCF. Perbandingan Faktor Konsentrasi Tegangan antara perhitungan numeric dan kajian eksperimen juga pernah diteliti oleh (Palmiyanto, 2008) dimana pada penelitian ini spesimen uji yang digunakan adalah pelat berlubang. Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini adalah nilai tegangan terbesar yang terjadi pada specimen terjadi disekitar lubang dan juga nilai SCF yang didapatkan antara kajian eksperimen dan numerik mempunyai nilai yang relatif sama. Faktor konsentrasi tegangan untuk pelat dengan *fillet radius* juga pernah diteliti oleh (Noda, Takshe, & Monda, 1997) yang menjelaskan tentang Faktor Konsentrasi Tegangan pelat dengan *fillet* yang diakibatkan oleh bermacam variasi beban. Penelitian ini menghasilkan sebuah rumus dalam menentukan Faktor Konsentrasi Tegangan pada *shoulder fillet* yang telah terbukti menghasilkan akurasi yang lebih baik.

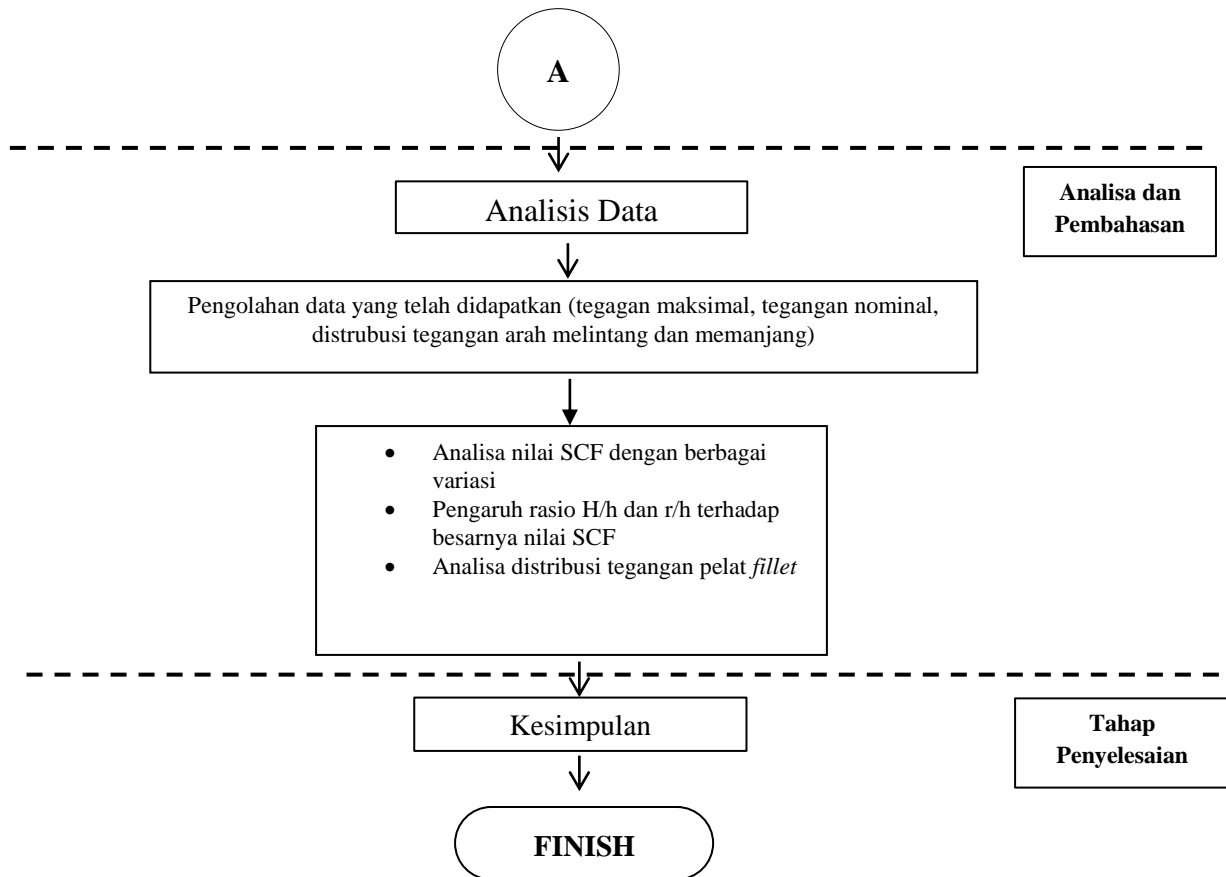
Penelitian-penelitian diatas berkaitan erat dengan Tugas Akhir ini sehingga dapat membantu dalam memahami konsep dalam Tugas Akhir ini. Selain itu, penelitian-penelitian yang pernah dilakukan juga dapat menjadi pembanding atau referensi pada topik mengenai Faktor Konsentrasi Tegangan yang akan diteliti pada Tugas Akhir ini.

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Bagan Alir

Secara umum metodologi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada bagan alir dibawah ini.





Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan beberapa hal seperti mengidentifikasi permasalahan yang melatarbelakangi tugas akhir ini dan mempelajari studi literatur yang menunjang dalam penyelesaian tugas akhir ini

3.2.1. Identifikasi masalah

Berikut adalah hal-hal yang melatar belakangi penelitian Tugas Akhir ini:

- Perlu adanya mengetahui distribusi tegangan pada pelat *fillet* untuk mencari nilai konsentrasi tegangannya.
- Dengan perhitungan SCF tersebut maka dapat mengetahui daerah yang rawan terjadi kegagalan dan menghindari *initial crack*.
- Meningkatkan umur struktur (*plate with fillet*) karena dapat menghindari *initial crack* tersebut.
- Perlu adanya perbandingan antara nilai SCF yang didapatkan dari pendekatan numerik dan eksperimen.

3.2.2. Studi literatur

Pada tahapan ini dilakukan pembelajaran dan pengumpulan teori-teori berkaitan permasalahan pada Tugas Akhir ini. Materi-materi yang dijadikan pokok dalam studi literatur adalah:

- Tegangan
- Regangan
- Hukum Hooke's
- *Stress Concentration Factor*

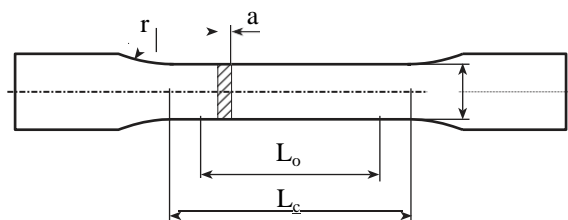
3.3. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada Tugas Akhir ini adalah dengan menggunakan metode pendekatan numerik. *Material properties* baja grade KI-D JIS3101 SS400 yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Modulus elastisitas: 210 Gpa
- Rasio poisson : 0.28
- Massa jenis : 7850 kg/m³

3.3.1. Pengujian Tarik Material

Material yang akan diuji adalah baja grade KI-D JIS3101 SS400 dengan *material properties*-nya seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Pengujian ini untuk mengetahui data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini seperti *ultimate stress*, *yield stress*, dan *elongation* dimana nilai dari *yield stress* ini akan menjadi input beban dari pemodelan dengan numeric dan pengujian eksperimen yang akan dilakukan. Tes spesimen menggunakan standar BKI vol V tahun 2014 seperti pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Test Specimen Shape C

Sumber: (Biro Klasifikasi Indonesia, 2006)

Tes spesimen yang dilakukan berjumlah 3 buah dengan hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. dan **Error! Reference source not found.** dibawah ini.



Gambar 3.3 Hasil Pengujian Tarik pelat SS400

Tabel 3.1 Laporan hasil pengujian baja grade KI-D JIS3101 SS400

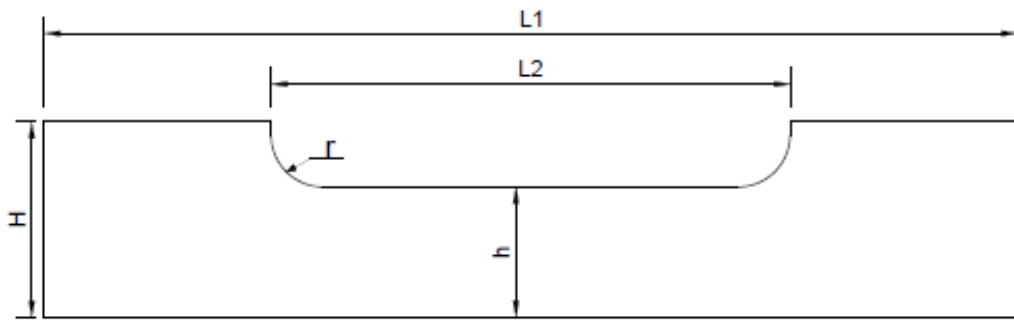
Report on Test JIS G3101SS400								
No	Code Material	Specification Sample			Tensile Test Results			
		Width	Thick	CSA	Yield Stress	Ultimate stress	Elongation	Reduct of area
		mm	mm	mm ²	Mpa	Mpa	%	%
1	SS400	25,35	6	152,1	282,71	335,31	37,94	72,93
2	SS400	25,3	6	151,8	296,44	335,97	37,77	72,62
3	SS400	25,15	6	150,9	304,84	337,97	32,99	77,87
				average	294,66			

No.	F Yield		F Ultimate		Lo	L1	Wd1	Th1	A1
	KN	N	KN	N					
1	43	43000	51	51000	69.68	96.12	17.3	2.38	41.17
2	45	45000	51	51000	64.86	89.36	16.69	2.49	41.56
3	46	46000	51	51000	69.41	92.31	17.04	1.96	33.4
Rata-rata	44.67	44666.67							

Dari hasil pengujian material diatas didapatkan nilai rata-rata dari yield stress materialnya adalah 294.66 MPa. *yield stress material* yang didapatkan dari hasil pengujian tarik material menjadi patokan dalam memasukkan *input* beban pada penelitian ini sehingga distribusi tegangan yang terjadi tidak melebihi dari *yield stress*. Besar input beban pada penelitian ini adalah 2700 N atau 2,7 KN.

3.3.2. Desain model

Sebelum melakukan analisa dengan pendekatan numerik, maka spesimen atau model didesain terlebih dahulu dimana model yang akan dianalisa berjumlah 9 buah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2 dengan ukuran 300 mm x 60 mm x 5 mm.



Gambar 3.4 Desain model pelat dengan fillet asimetri

Pada Gambar 3.4 merupakan desain model yang akan dianalisa dimana H adalah lebar *grip* dalam satuan mm, r adalah *radius fillet* dalam satuan mm, h adalah lebar spesimen uji dalam satuan mm, L1 adalah panjang total spesiman, dan L2 adalah jarak antara *fillet*.

Tabel 3.2 Ukuran detail spesimen

No	H/h	H(mm)	h(mm)	r (mm)		
				r1	r2	r3
1	2	60	30	12	18	24
2	2,5	60	24	9,6	14,4	19,2
3	3	60	20	8	12	16

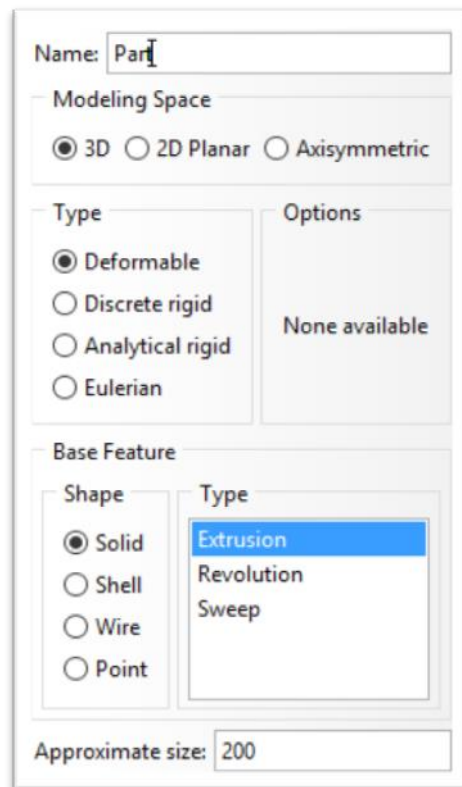
Ukuran spesimen uji yang akan digunakan seperti yang ditunjukkan pada table 3.2 adalah L1= 300 mm dan L2= 160 mm menggunakan rasio H/h berjumlah 3 yaitu H/h=2, H/h=2.5, H/h=3 yang masing-masing mempunyai rasio r/h berjumlah 3 yaitu r/h=0.4, r/h=0.6, dan r/h=0.8 sehingga total model dari penelitian ini adalah 9 buah.

3.3.3. Pemodelan

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* FEA dengan tahapan sebagai berikut:

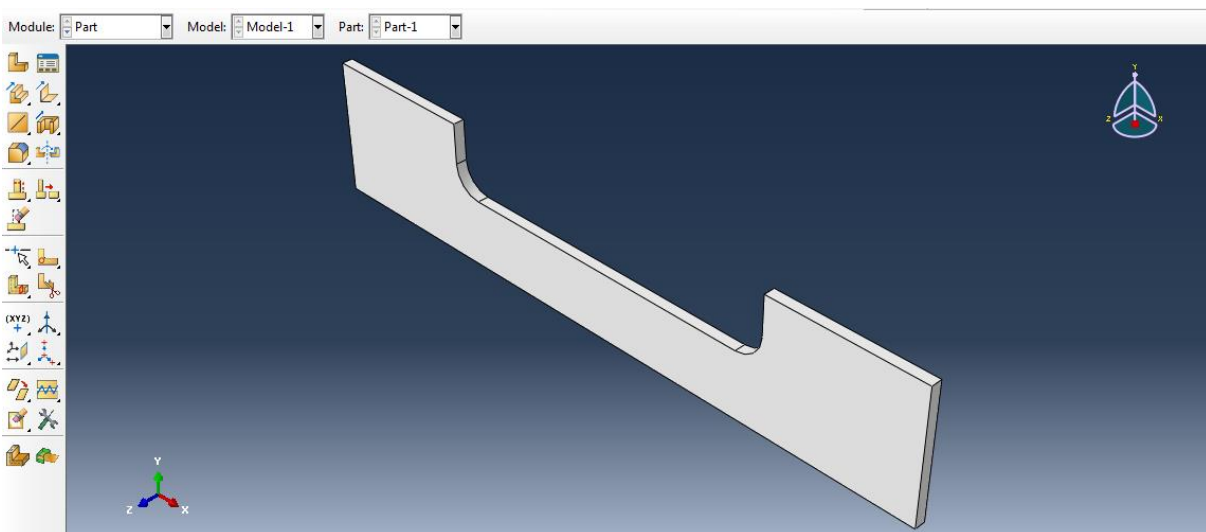
1. Pembuatan Geometri Model

Pada modul **Part > Create Part**, pilih spesifikasi *part* yang ingin dibuat sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.5.

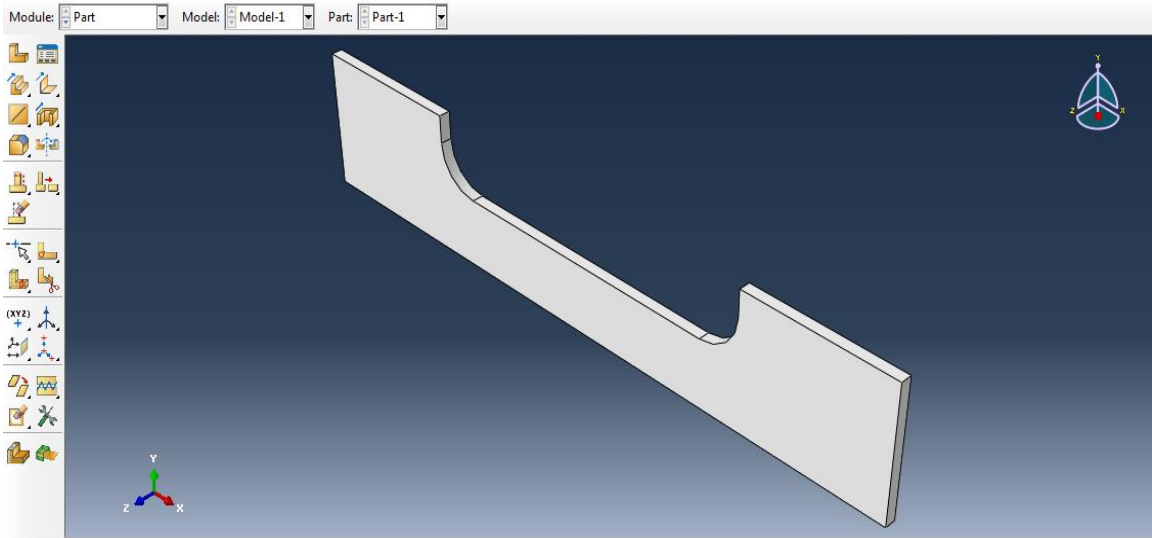


Gambar 3.5 Pemodelan Geometri

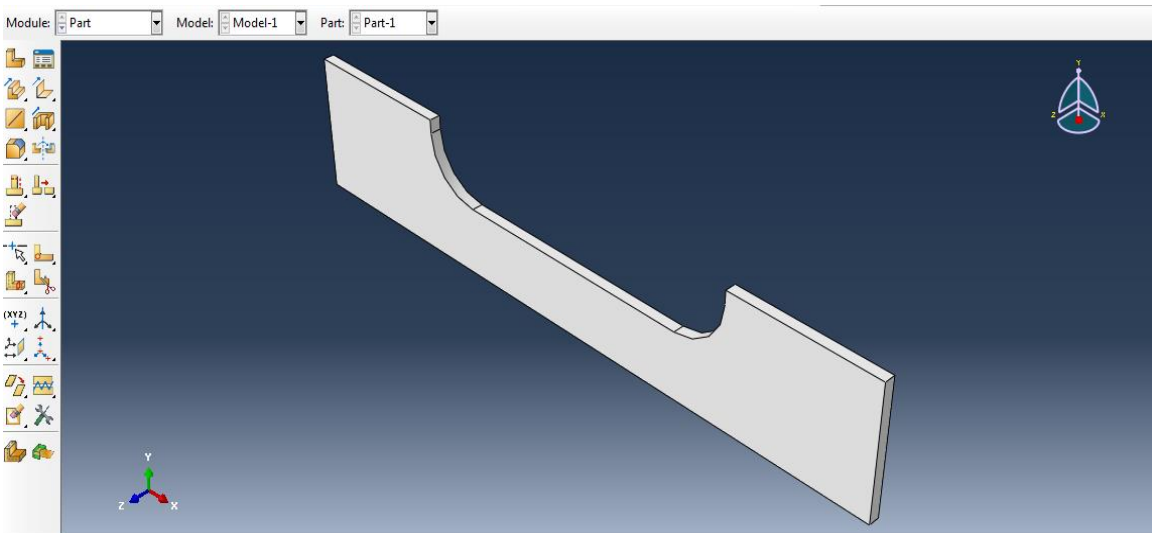
- Pelat yang berfungsi menyalurkan beban berupa pelat 3D (*solid*) dengan dimensi pelat 300 mm x 60 mm x 5 mm.
- Ukuran radius *fillet* untuk rasio $H/h=2$ yaitu 12 mm, 18 mm, dan 24 mm. Untuk rasio $H/h=2.5$ yaitu 9.6 mm, 14.4 mm, dan 19.2 mm. Untuk rasio $H/h=3$ yaitu 8 mm, 12 mm, dan 16 mm. Pemodelan yang dilakukan untuk setiap model dapat dilihat pada Gambar 3.6 sampai dengan Gambar 3.14.



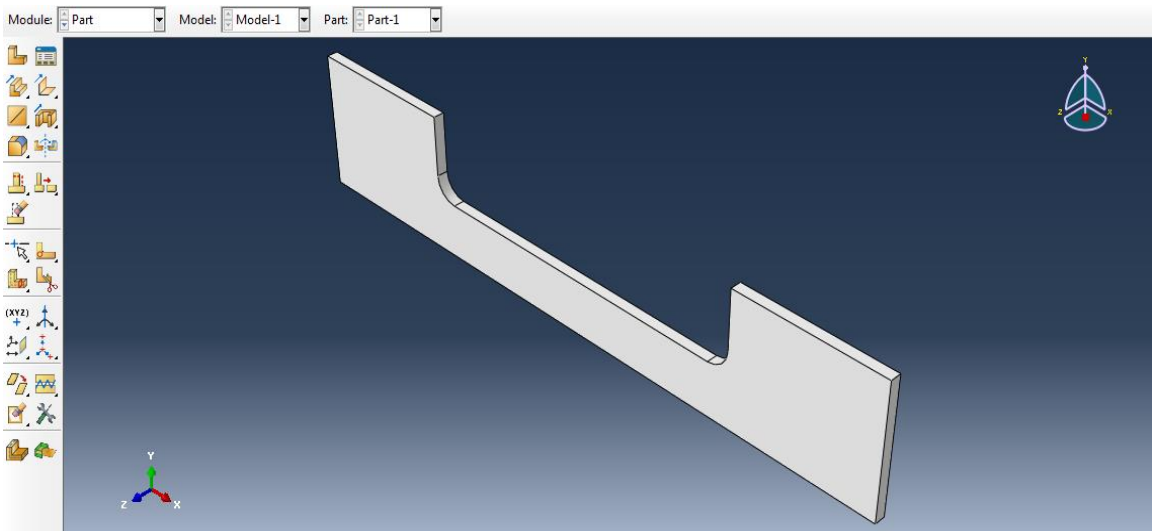
Gambar 3.6 Model *radius fillet* 12 mm dengan h 30 mm



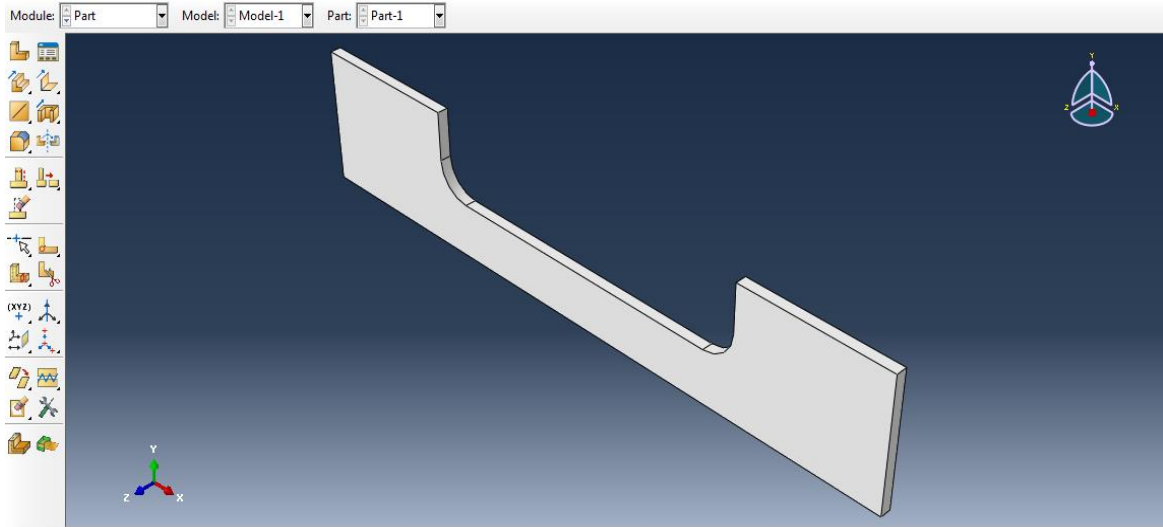
Gambar 3.7 Model *radius fillet* 18 mm dengan h 30 mm



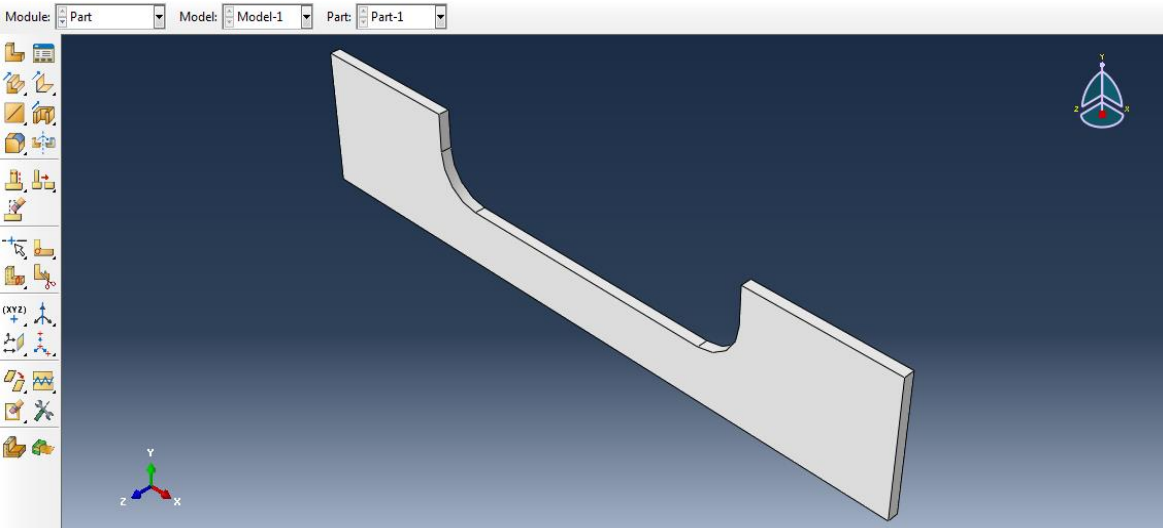
Gambar 3.8 Model *radius fillet* 24 mm dengan h 30 mm



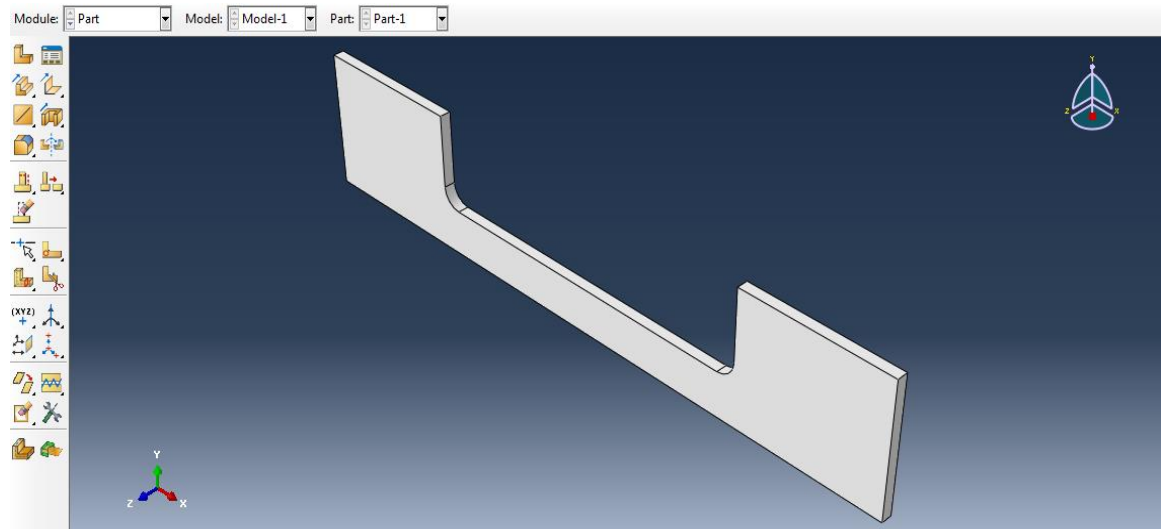
Gambar 3.9 Model *radius fillet* 9.6 mm dengan h 24 mm



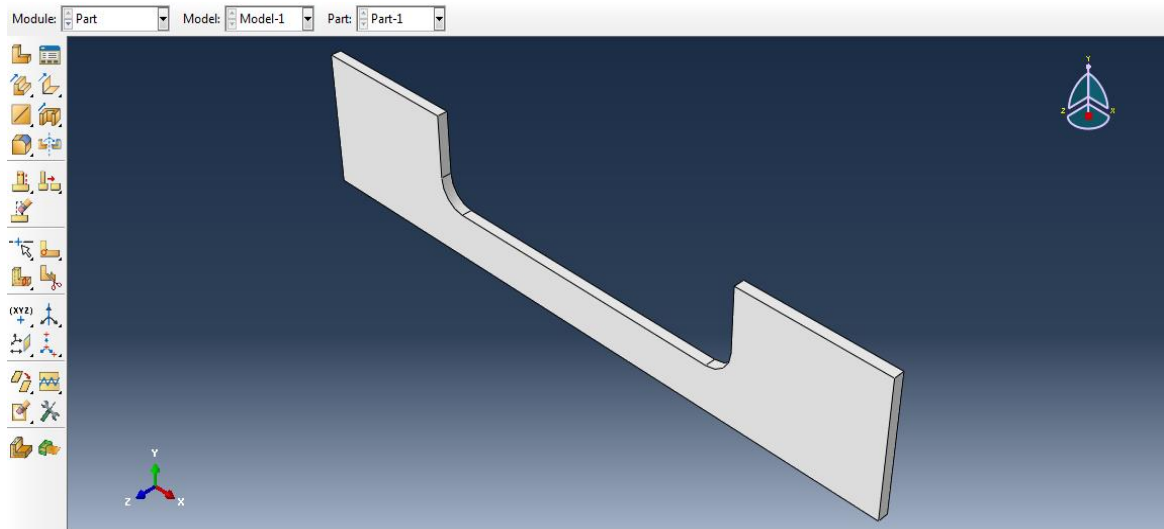
Gambar 3.10 Model *radius fillet* 14.4 dengan h 24 mm



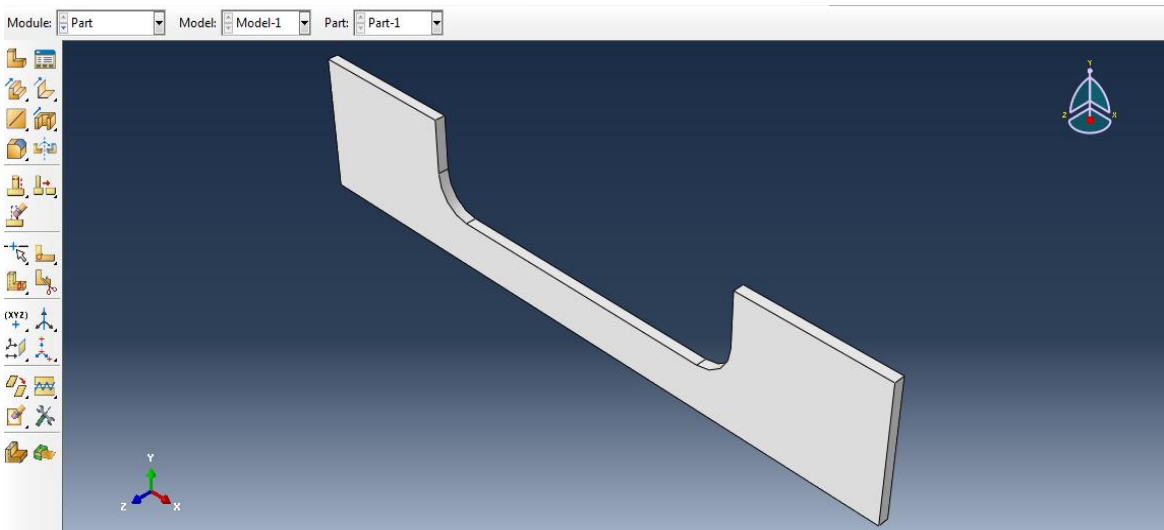
Gambar 3.11 Model *radius fillet* 19.2 mm dengan h 24 mm



Gambar 3.12 Model *radius fillet* r 8 mm dengan h 20 mm



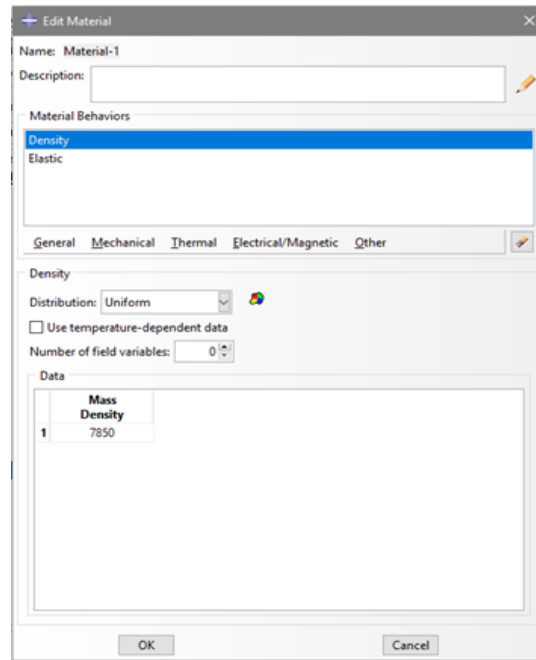
Gambar 3.13 Model radius fillet 12 mm dengan h 20 mm



Gambar 3.14 Model radius fillet 16 mm dengan h 20 mm

2. Pendefinisian Material

Pada modul *Property* > *Material Manager* > *Create*, didefinisikan material SS400 beserta *mechanical properties*-nya yaitu *modulus Young* dan *Poisson ratio*. Satuan yang digunakan dalam model kali ini adalah Mpa dan mm dapat dilihat pada Gambar 3.15 Langkah berikutnya adalah pembuatan *section* dan pendefinisian *section*. Dilakukan dengan cara *Property* > *Create Section* > buat *section* dengan tipe *solid homogeneous* karena hanya menggunakan satu material. Lalu, *Property* > *Assign Section* untuk menentukan daerah aplikasi *section*.

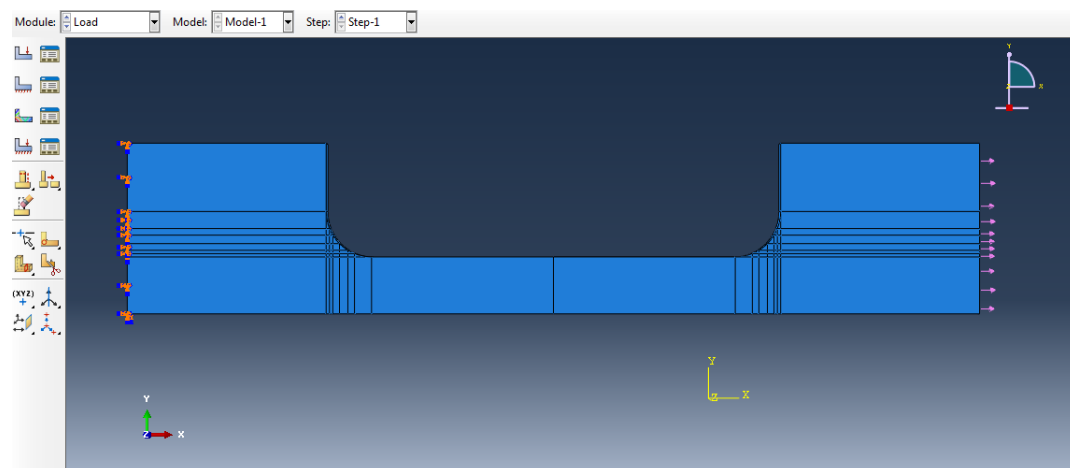


Gambar 3.15 Pendefinisian Material

Assign Section ini untuk mendefinisikan *mechanical properties* dari data yang akan digunakan pada model.

3. Pengaplikasian Kondisi Batas

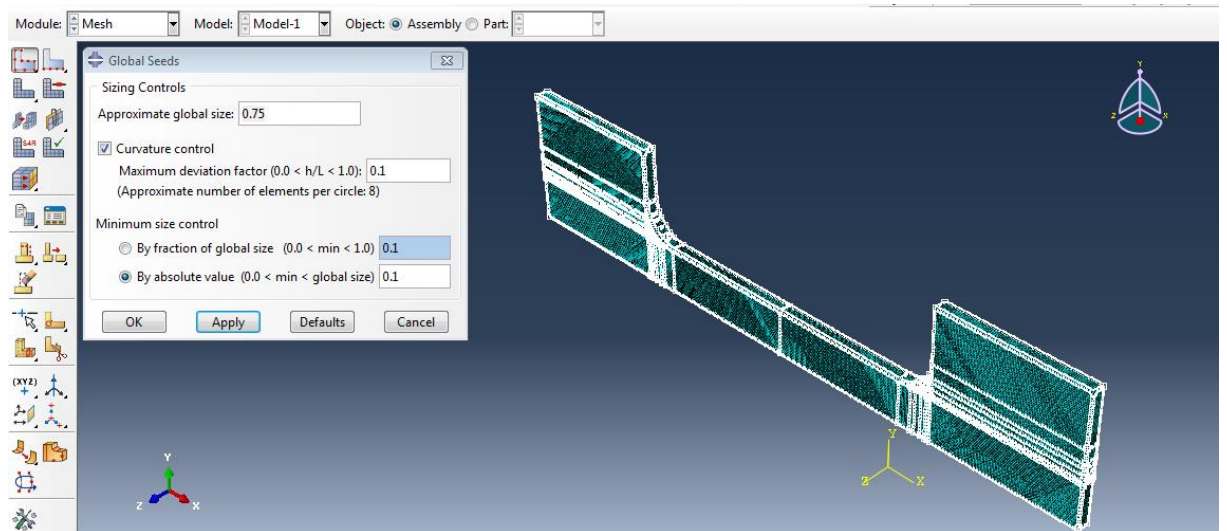
Kondisi batas terdiri dari beban dan tumpuan. Beban dengan tipe *pressure* diberikan sebesar beban *pressure* yang telah dihitung. Beban diaplikasikan pada pelat. Sedangkan tumpuan yang digunakan adalah tipe *pinch* yang ditahan pada arah translasi x, z, tumpuan diberikan pada sisi kiri dan sisi kanan pelat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Pengaplikasian kondisi batas pada model

4. Meshing

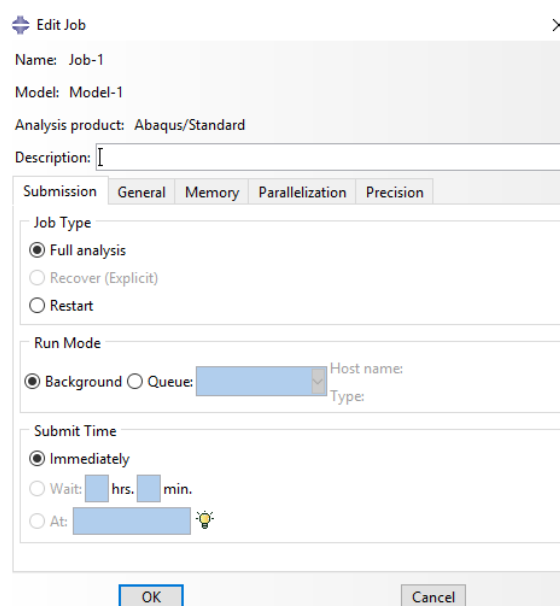
Proses *meshing* hanya didefinisikan pada pelat 3D, pengaplikasiannya menggunakan *mesh seed* secara global dengan jarak (mm) sesuai hasil konvergensi yang di dapat sebelum pemodelan retak. Kemudian untuk keseluruhan model dipilih untuk dilakukan *mesh control* untuk memilih jenis elemen yang diinginkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Pemberian ukuran mesh

5. Membuat Job dan Running

Pada Gambar 3.18 modul *Job* > *Create Job* dan gunakan *setting default* kemudian tunggu proses *running* hingga status yang ditampilkan “*completed*”.



Gambar 3.18 Pengaturan Running

Tahapan ini dapat digunakan untuk melakukan percepatan *running* dengan mengatur jumlah *processor* yang ada pada komputer yang digunakan untuk mengoptimalkan kerjanya.

6. Visualisasi Hasil

Pada modul *Visualization* pilih *deformed shape* dan lakukan beberapa pengaturan seperlunya sehingga diperoleh visualisasi terbaik. Pada bagian ini dapat dilihat hasil dari *job* yang telah dilakukan. Hasil tersebut dapat berupa tegangan arah, tegangan mises, tegangan geser, dan hasil lainnya yang diinginkan.

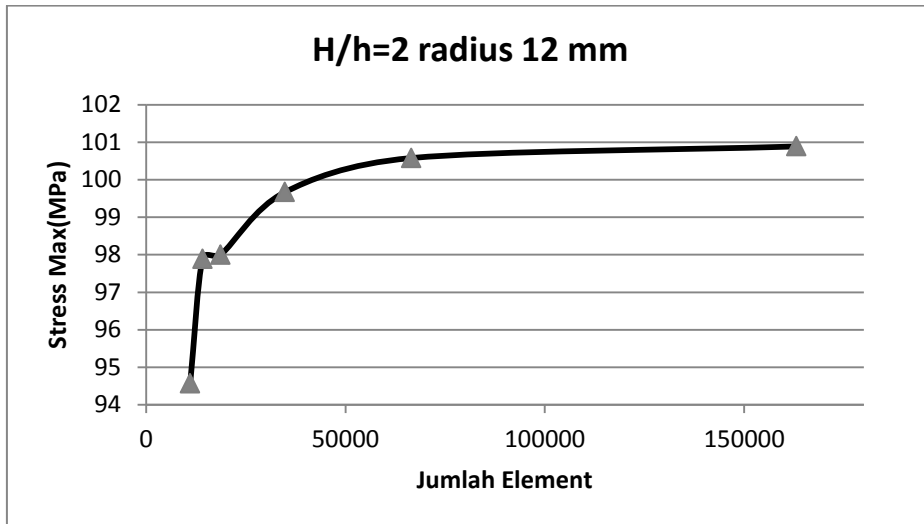
7. Konvergensi

Menentukan kondisi nilai tegangan konstan ketika ukuran *meshing* dirubah. Uji konvergensi adalah salah satu cara untuk menentukan ukuran elemen yang tepat dalam pembuatan model sehingga model dapat menghasilkan nilai yang valid. Konvergensi dilakukan dengan membandingkan beberapa hasil analisis tegangan dengan ukuran elemen yang berbeda hingga mencapai hasil paling stabil pada tiap ukuran elemen. Tujuannya adalah menguji ketelitian dari *software* yang digunakan (Logan, 2007). Berikut adalah hasil konvergensi yang telah dilakukan.

Tabel 3.3 Konvergensi *radius fillet* 12 mm dan h 30

UJI MODEL H/h=2 radius 12		
Stress (MPa)	Ukuran meshing	Jumlah Element
100,89	0,75	163170
100,58	1	66520
99,67	1,25	34816
98,00	1,5	18708
97,89	1,75	14142
94,57	2	11040

Untuk konvergensi model *radius fillet* 12 mm dengan rasio H/h=2 didapatkan pada ukuran *mesh* 0,75 mm dengan nilai tegangan maksimalnya 100.89 MPa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3 dimana proses konvergensi dimulai pada ukuran *mesh* 2 mm dengan besar tegangan 94,57 MPa sampai dengan ukuran *mesh* 0.75mm.



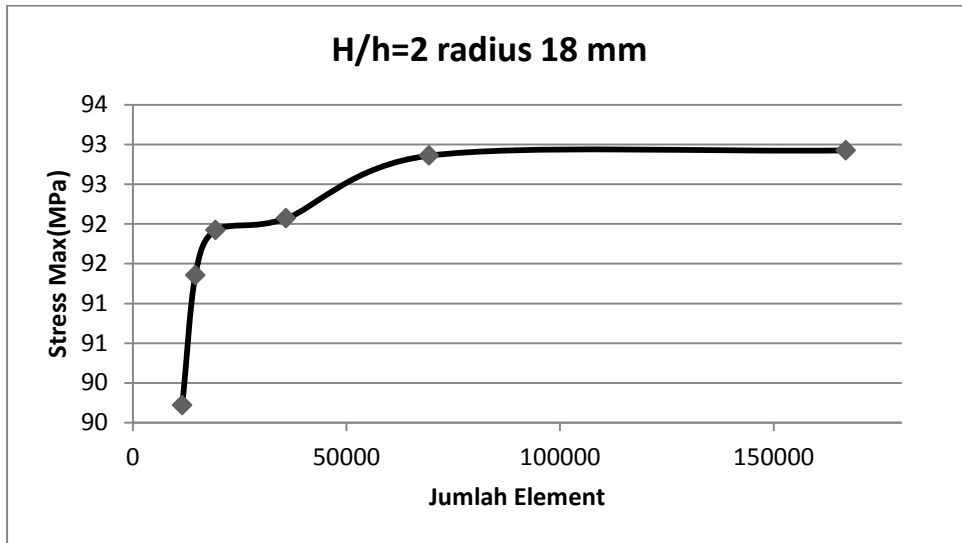
Gambar 3.19 Grafik konvergensi radius fillet 12 mm dan h30

Pada Gambar 3.19 terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan tegangan sampai pada suatu titik dimana tegangan yang dihasilkan sudah dapat dikatakan stabil. Sumbu-y pada grafik ini adalah tegangan maksimal dalam satuan MPa dan sumbu-x adalah jumlah elemen.

Tabel 3.4 Konvergensi radius fillet 18 mm dan h 30

UJI MODEL H/h=2 radius 18		
Stress (MPa)	Ukuran meshing	Jumlah Element
92,926	0,75	166936
92,86	1	69370
92,070	1,25	35888
91,920	1,5	19386
91,350	1,75	14634
89,720	2	11592

Untuk konvergensi model *radius fillet* 18mm dengan rasio H/h=2 didapatkan pada ukuran *mesh* 0,75 mm dengan nilai tegangan maksimalnya 92,926 MPa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.4 dimana proses konvergensi dimulai pada ukuran *mesh* 2mm dengan besar tegangan 89,72 MPa sampai dengan ukuran *mesh* 0.75 mm.



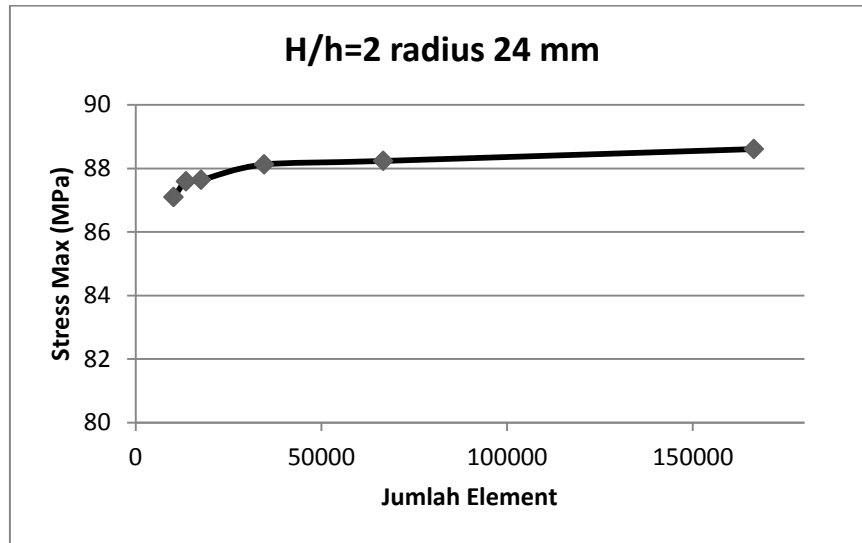
Gambar 3.20 Grafik konvergensi radius fillet 18 mm dan h30

Pada Gambar 3.20 terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan tegangan sampai pada suatu titik dimana tegangan yang dihasilkan sudah dapat dikatakan stabil. Sumbu-y pada grafik ini adalah tegangan maksimal dalam satuan MPa dan sumbu-x adalah jumlah elemen.

Tabel 3.5 Konvergensi radius fillet 24 mm dan h 30

UJI MODEL H/h=2 radius 24		
Stress (MPa)	Ukuran meshing	Jumlah Element
88,61	0,75	166453
88,23	1	66685
88,12	1,25	34600
87,64	1,5	17646
87,59	1,75	13602
87,09	2	10212

Untuk konvergensi model *radius fillet* 24 mm dengan rasio H/h=2 didapatkan pada ukuran mesh 0,75 mm dengan nilai tegangan maksimalnya 88,61 MPa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.5 dimana proses konvergensi dimulai pada ukuran *mesh* 2mm dengan besar tegangan 87,09 MPa sampai dengan ukuran *mesh* 0.75 mm.



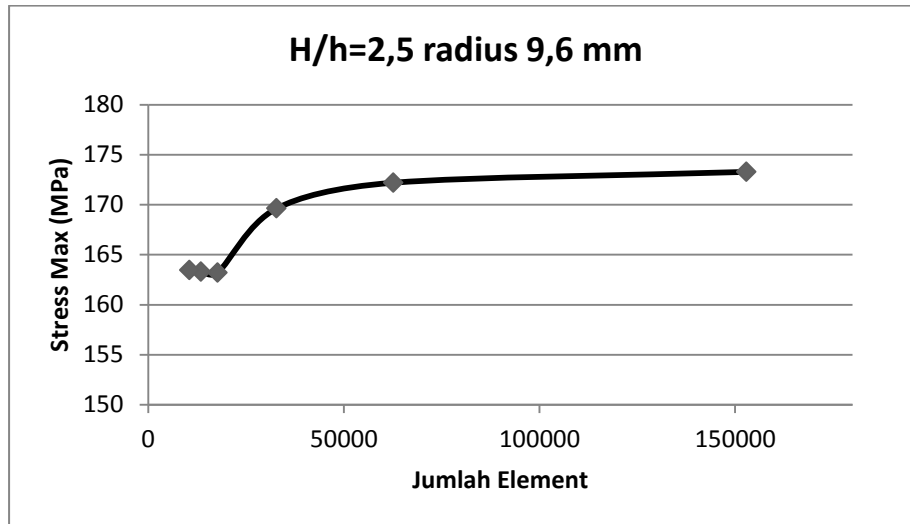
Gambar 3.21 Grafik konvergensi radius fillet 24 mm dan h30

Pada Gambar 3.21 terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan tegangan sampai pada suatu titik dimana tegangan yang dihasilkan sudah dapat dikatakan stabil. Sumbu-y pada grafik ini adalah tegangan maksimal dalam satuan MPa dan sumbu-x adalah jumlah elemen.

Tabel 3.6 Konvergensi radius fillet 9,6 mm dan h 24

UJI MODEL H/h=2,5 radius 9,6		
Stress (MPa)	Ukuran meshing	Jumlah Element
173,291	0,75	152880
172,21	1	62620
169,63	1,25	32784
163,22	1,5	17742
163,32	1,75	13476
163,47	2	10548

Untuk konvergensi model *radius fillet* 9,6 mm dengan rasio H/h=2,5 didapatkan pada ukuran *mesh* 0,75 mm dengan tegangan maksimalnya 173,291 MPa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6 dimana proses konvergensi dimulai pada ukuran *mesh* 2mm dengan besar tegangan 163,47 MPa sampai dengan ukuran *mesh* 0,75 mm. Tegangan yang dihasilkan pada model ini adalah tegangan arah sumbu-x (searah beban) maksimal yang terjadi pada model .



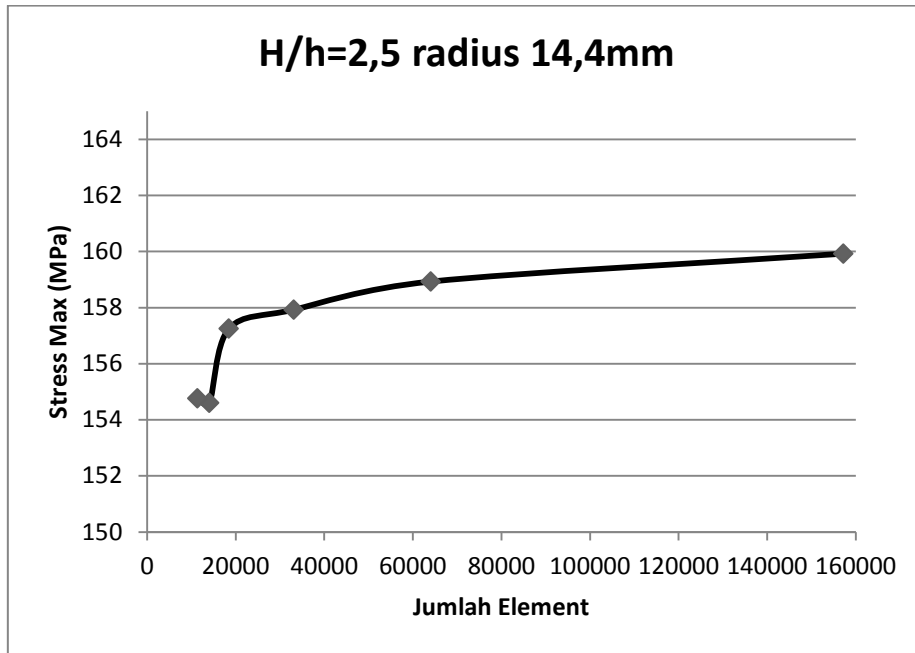
Gambar 3.22 Grafik konvergensi radius fillet 9,6 mm dan h24

Pada Gambar 3.22 terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan tegangan sampai pada suatu titik dimana tegangan yang dihasilkan sudah dapat dikatakan stabil. Sumbu-y pada grafik ini adalah tegangan maksimal dalam satuan MPa dan sumbu-x adalah jumlah elemen.

Tabel 3.7 Konvergensi radius fillet 14,4 mm dan h 24

UJI MODEL H/h=2,5 radius 14,4		
Stress (MPa)	Ukuran meshing	Jumlah Element
159,924	0,75	157262
158,93	1	64100
157,93	1,25	33120
157,25	1,5	18492
154,60	1,75	14052
154,76	2	11364

Untuk konvergensi model *radius fillet* 14,4 mm dengan rasio H/h=2,5 didapatkan pada ukuran *mesh* 0,75 mm dengan tegangan maksimalnya 159,924 MPa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.7 dimana proses konvergensi dimulai pada ukuran *mesh* 2 mm dengan besar tegangan 15476 MPa sampai dengan ukuran *mesh* 0,75 mm. Tegangan yang dihasilkan pada model ini adalah tegangan arah sumbu-x (searah beban) maksimal yang terjadi pada model rasio H/h=2,5 dan r/h=0,6. .



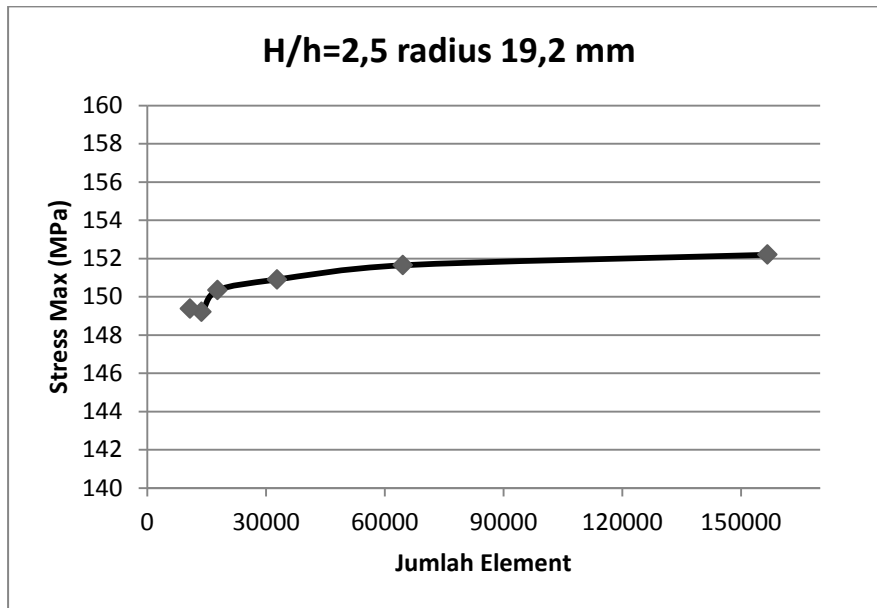
Gambar 3.23 Grafik konvergensi radius fillet 14,4 mm dan h24

Pada gambar Gambar 3.23 terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan tegangan sampai pada suatu titik dimana tegangan yang dihasilkan sudah dapat dikatakan stabil. Sumbu-y pada grafik ini adalah tegangan maksimal dalam satuan MPa dan sumbu-x adalah jumlah elemen.

Tabel 3.8 Konvergensi radius fillet 19,2 mm dan h 24

UJI MODEL H/h=2.5 radius 19.2		
Stress (MPa)	Ukuran meshing	Jumlah Element
152,20	0,75	156702
151,65	1	64590
150,91	1,25	32832
150,35	1,5	17760
149,21	1,75	13752
149,38	2	10824

Untuk konvergensi model *radius fillet* 19,2mm dengan rasio $H/h=2,5$ didapatkan pada ukuran *mesh* 0,75 dengan nilai tegangan maksimalnya 152,2 MPa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.8 dimana proses konvergensi dimulai pada ukuran *mesh* 2 mm dengan besar tegangan 149,38 MPa sampai dengan ukuran *mesh* 0,75 mm. Tegangan yang dihasilkan pada model ini adalah tegangan arah sumbu-x (searah beban) maksimal yang terjadi pada model rasio $H/h=2,5$ dan $r/h=0,8$.



Gambar 3.24 Grafik konvergensi radius fillet 19,2 mm dan h24

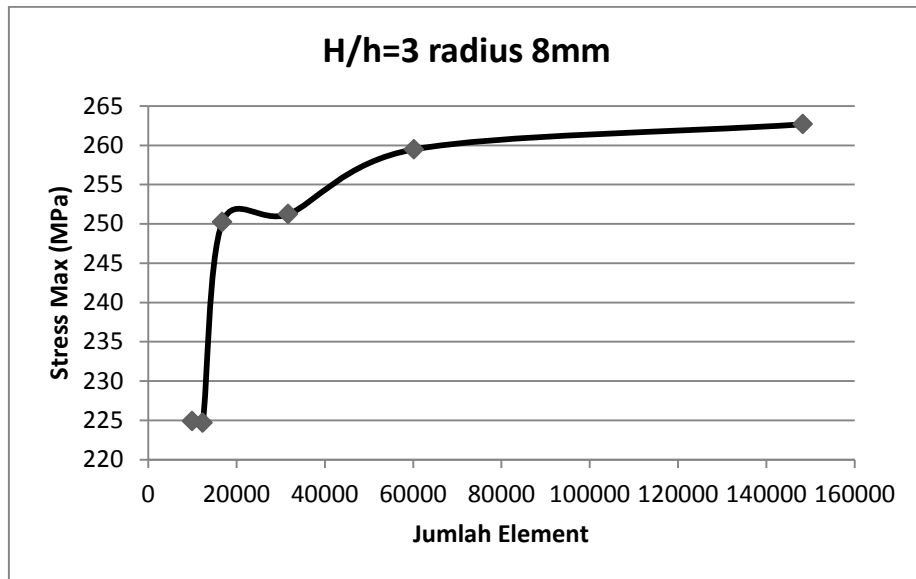
Pada Gambar 3.24 terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan tegangan sampai pada suatu titik dimana tegangan yang dihasilkan sudah dapat dikatakan stabil. Sumbu-y pada grafik ini adalah tegangan maksimal dalam satuan MPa dan sumbu-x adalah jumlah elemen.

Tabel 3.9 Konvergensi radius fillet 8mm dan h 20

UJI MODEL H/h=3 radius 8		
Stress (MPa)	Ukuran meshing	Jumlah Element
262,67	0,75	148316
259,49	1	60240
251,24	1,25	31744
250,23	1,5	16812
224,69	1,75	12330
224,90	2	9996

Untuk konvergensi model *radius fillet* 8 mm dengan rasio H/h=3 didapatkan pada ukuran *mesh* 0,75 mm dengan nilai tegangan maksimalnya 262,676 MPa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.9 dimana proses konvergensi dimulai pada ukuran *mesh* 2mm dengan besar tegangan 224,90 MPa sampai dengan ukuran *mesh* 0,75 mm.

Tegangan yang dihasilkan pada model ini adalah tegangan arah sumbu-x (searah beban) maksimal yang terjadi pada model rasio $H/h=3$ dan $r/h=0,4$.



Gambar 3.25 Grafik konvergensi radius fillet 8mm dan h20

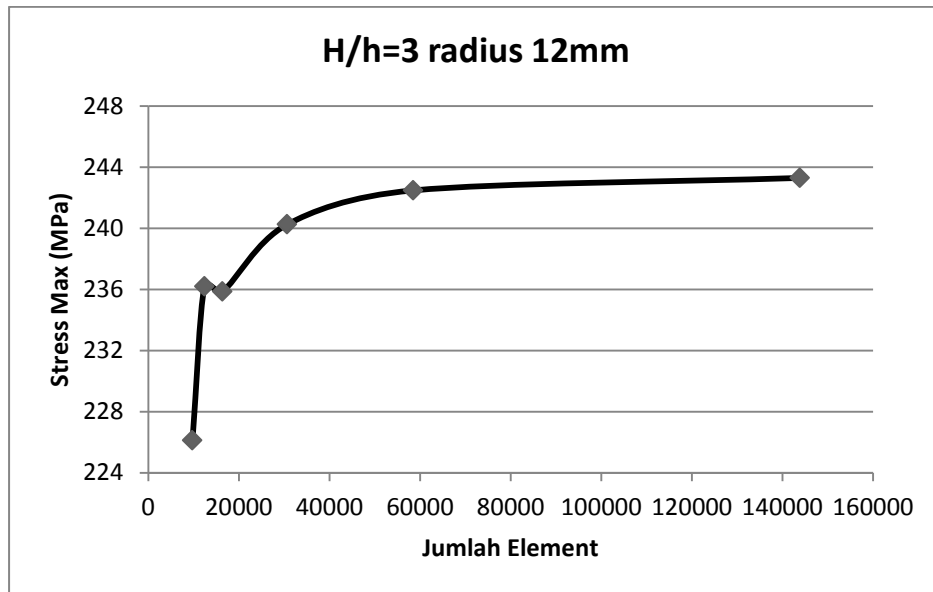
Pada Gambar 3.25 terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan tegangan sampai pada suatu titik dimana tegangan yang dihasilkan sudah dapat dikatakan stabil. Sumbu-y pada grafik ini adalah tegangan maksimal dalam satuan MPa dan sumbu-x adalah jumlah elemen.

Tabel 3.10 Konvergensi radius fillet 12mm dan h 20

UJI MODEL $H/h=3$ radius 12		
Stress (MPa)	Ukuran meshing	Jumlah Element
243.30	0.75	143878
242.48	1	58520
240.25	1.25	30656
235.87	1.5	16398
236.20	1.75	12378
226.12	2	9750

Untuk konvergensi model *radius fillet* 12 mm dengan rasio $H/h=3$ didapatkan pada ukuran *mesh* 0,75 mm dengan nilai tegangan maksimalnya 243,30 MPa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.10 dimana proses konvergensi dimulai pada ukuran *mesh* 2 mm dengan besar tegangan 226,12 MPa sampai dengan ukuran *mesh* 0,75 mm.

Tegangan yang dihasilkan pada model ini adalah tegangan arah sumbu-x (searah beban) maksimal yang terjadi pada model rasio $H/h=3$ dan $r/h=0,6$.



Gambar 3.26 Grafik konvergensi radius fillet 12 mm dan h20

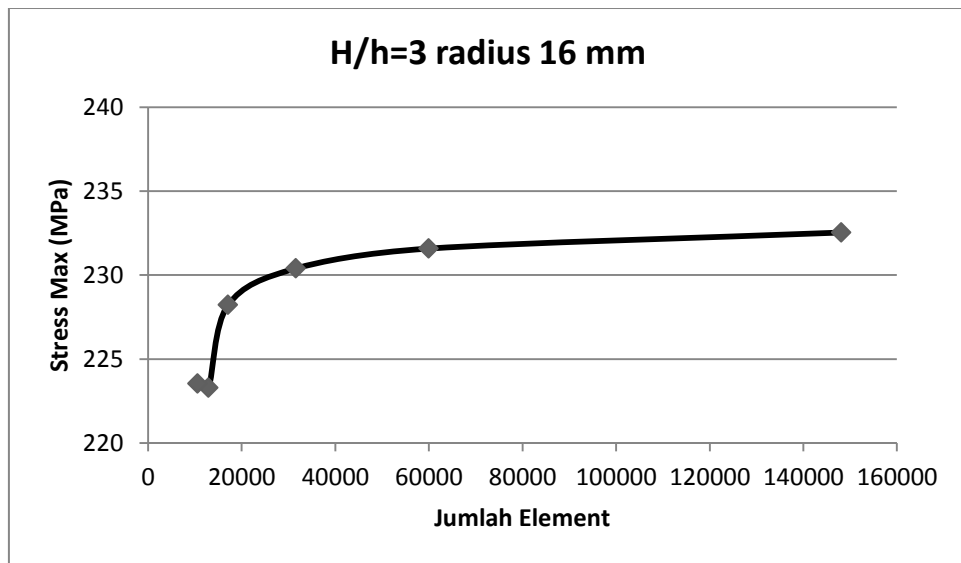
Pada Gambar 3.26 terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan tegangan sampai pada suatu titik dimana tegangan yang dihasilkan sudah dapat dikatakan stabil. Sumbu-y pada grafik ini adalah tegangan maksimal dalam satuan MPa dan sumbu-x adalah jumlah elemen.

Tabel 3.11 Konvergensi radius fillet 16 mm dan h 20

UJI MODEL $H/h=3$ radius 16		
Stress (MPa)	Ukuran meshing	Jumlah Element
232,54	0,75	148078
231,58	1	59960
230,39	1,25	31568
228,22	1,5	17088
223,29	1,75	12912
223,54	2	10542

Untuk konvergensi model *radius fillet* 16mm dengan rasio $H/h=3$ didapatkan pada ukuran *mesh* 0,75 mm dengan nilai tegangan maksimalnya 232,54 MPa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.11 dimana proses konvergensi dimulai pada ukuran *mesh* 2 mm dengan besar tegangan 223,54 MPa sampai dengan ukuran *mesh* 0,75 mm.

Tegangan yang dihasilkan pada model ini adalah tegangan arah sumbu-x (searah beban) maksimal yang terjadi pada model rasio $H/h=3$ dan $r/h=0,8$.



Gambar 3.27 Grafik konvergensi radius fillet 16 mm dan h20

Pada Gambar 3.27 terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan tegangan sampai pada suatu titik dimana tegangan yang dihasilkan sudah dapat dikatakan stabil. Sumbu-y pada grafik ini adalah tegangan maksimal dalam satuan MPa dan sumbu-x adalah jumlah elemen.

Tabel 3.12 Rekapitulasi Hasil Konvergensi Model Pelat *Fillet* Asimetris

No.	H/h	r/h	Stress (MPa)	Ukuran Meshing (mm)
1	2	0,4	100,890	0,75
2	2	0,6	92,926	0,75
3	2	0,8	88,607	0,75
4	2,5	0,4	173,291	0,75
5	2,5	0,6	159,924	0,75
6	2,5	0,8	152,200	0,75
7	3	0,4	262,676	0,75
8	3	0,6	243,296	0,75
9	3	0,8	232,536	0,75

Rekapitulasi dari seluruh konvergensi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.12 dengan ukuran meshing 0,75mm untuk setiap model.

8. Analisa Tegangan

Berdasarkan hasil *running* dari tiap-tiap model yang telah dilakukan konvergensi didapatkan hasil nilai tegangan pada tiap-tiap model, tegangan yang diperoleh akan

direkap untuk dilakukan perhitungan nilai faktor konsentrasi tegangan yang akan dijelaskan lebih detail pada bab 4.

3.4. Tahap Analisa dan Pembahasan

Pada tahapan ini dilakukan beberapa analisa dari nilai SCF yang didapatkan yaitu:

- Analisa nilai SCF antara variasi yang digunakan.
- Analisa distribusi tegangan yang terjadi pada model.

Tahapan analisa dan pembahasan ini dilakaukan pada bab 4 pada tugas akhir ini.

3.5. Tahap Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dirangkum hasil analisis dan evaluasi yang didapat serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut. Tahapan kesimpulan dan saran ini dapat dilihat pada bab 5 tugas akhir ini.

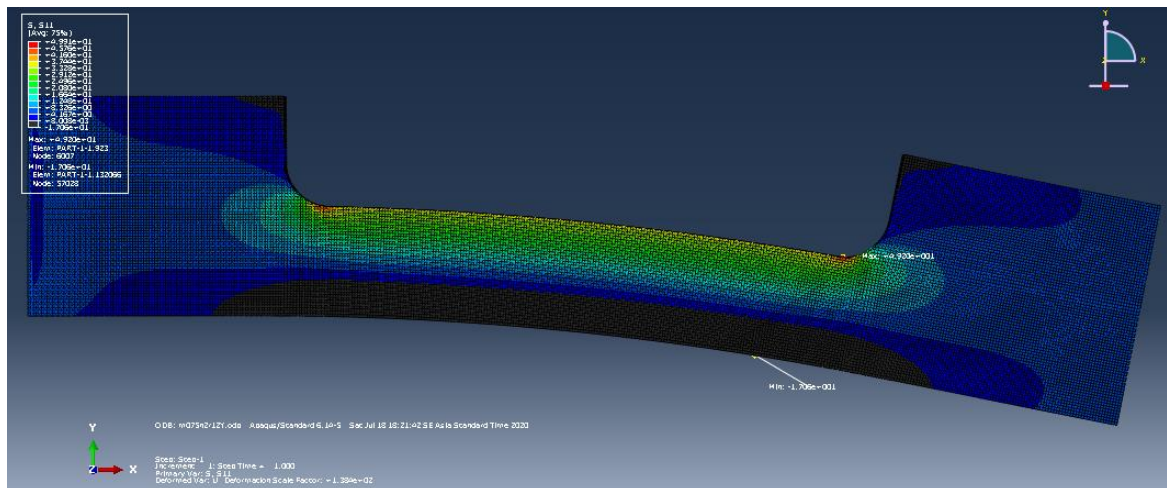
BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Hasil dan Pembahasan Pendekatan Numerik

Setelah melakukan langkah-langkah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya maka model yang telah dibuat dilakukan *running* dan *output* dari pekerjaan ini adalah dapat berupa tegangan von mises, regangan, tegangan arah, dll. Pada penelitian ini *output* yang dibutuhkan adalah tegangan arah sumbu-x. Hasil ini merupakan hasil akhir dari proses *running job* yang telah dilakukan pada semua model. Dari hasil akhir ini dapat dilihat bentuk model setelah diberi beban atau setelah simulasi apakah terjadi perubahan bentuk atau tidak. Selain itu, penyebaran tegangan yang terjadi pada model dapat dilihat pada hasil simulasi ini. Penyebaran tegangan yang disajikan dibedakan dengan warna dimana warna merah merupakan nilai tertinggi pada model, warna biru tua merupakan nilai yang hampir mendekati nol, dan warna hitam merupakan nilai yang bertanda minus (berlawanan arah beban).

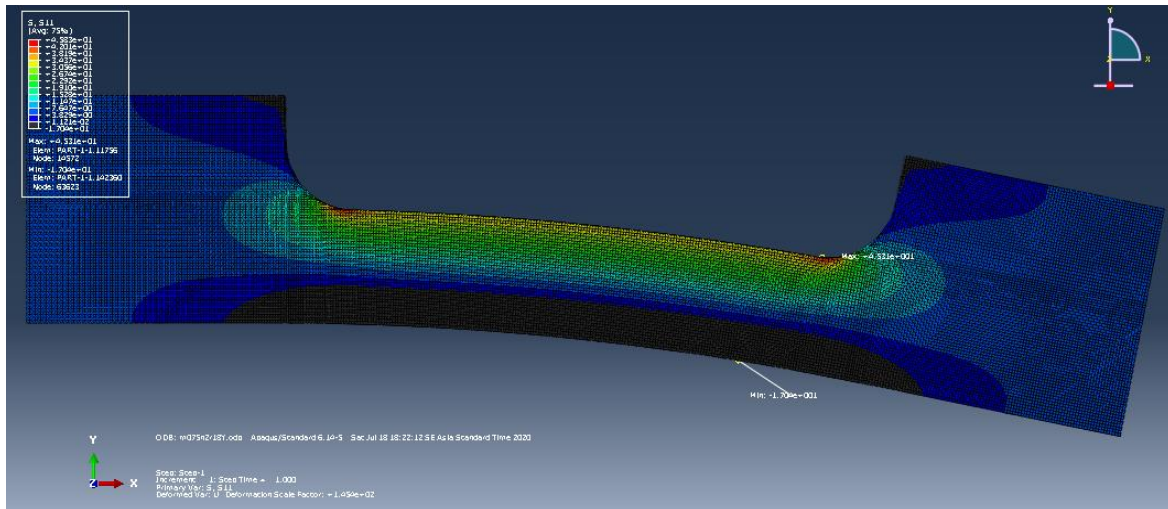
4.1.1. Model Pelat *Fillet* pada Rasio $H/h=2$ untuk Radius 12 mm



Gambar 4.1 Hasil *Running Job* FEA pada rasio $H/h=2$ dan radius 12 mm

Pada Gambar 4.1 terlihat penyebaran beban yang terjadi pada model tersebut (dibedakan dengan warna). Terlihat bahwa daerah sekitar *fillet* mempunyai warna yang merah dalam artian mempunyai nilai tegangan tertinggi pada model tersebut. Terlihat juga bahwa model tersebut terjadi lekukan pada bagian tengah yang berarti adanya momen *bending* yang terjadi pada model. Tegangan maksimal yang dihasilkan dari model ini adalah 100,89 MPa.

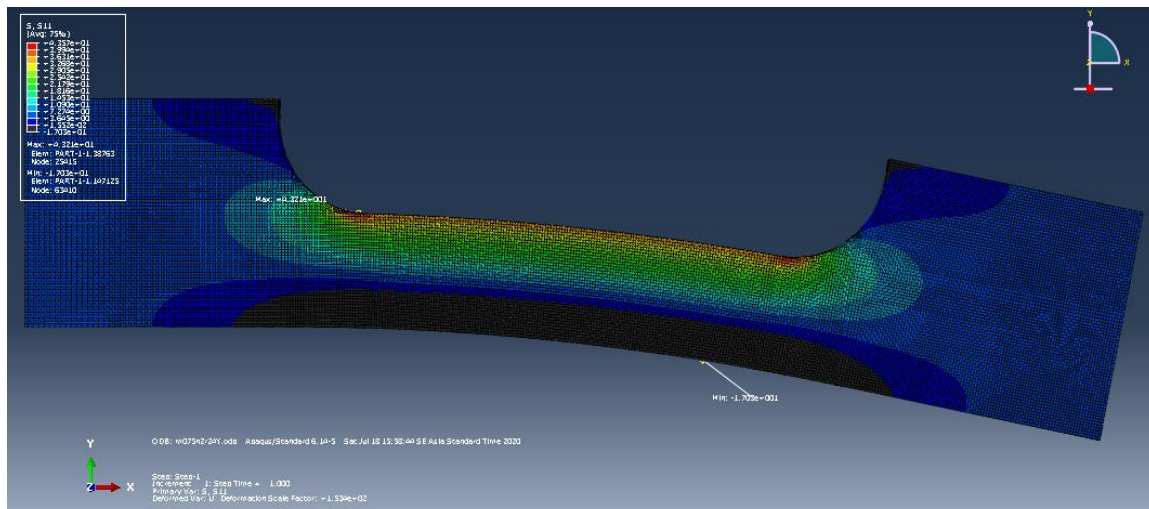
4.1.2. Model Pelat *Fillet* pada Rasio H/h=2 untuk Radius 18 mm



Gambar 4.2 Hasil *Running Job* FEA pada rasio H/h=2 dan radius 18 mm

Pada Gambar 4.2 terlihat penyebaran beban yang terjadi pada model tersebut (dibedakan dengan warna). Terlihat bahwa daerah sekitar *fillet* mempunyai warna yang merah dalam artian mempunyai nilai tegangan tertinggi pada model tersebut. Terlihat juga bahwa model tersebut terjadi lekukan pada bagian tengah yang berarti adanya momen *bending* yang terjadi pada model. Tegangan maksimal yang dihasilkan dari model ini adalah 92,926 MPa.

4.1.3. Model Pelat *Fillet* pada Rasio H/h=2 untuk Radius 24 mm

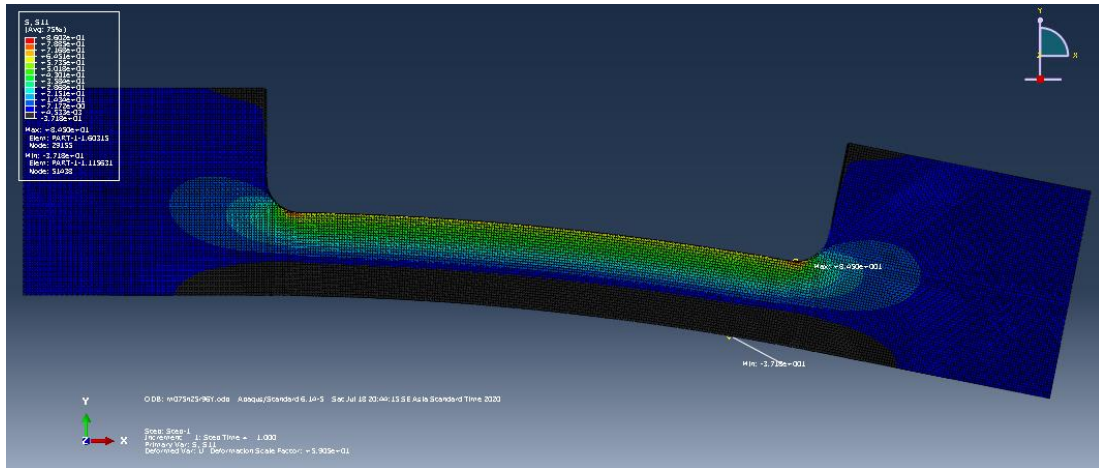


Gambar 4.3 Hasil *Running Job* FEA pada rasio H/h=2 dan radius 24 mm

Pada Gambar 4.3 terlihat penyebaran beban yang terjadi pada model tersebut (dibedakan dengan warna). Terlihat bahwa daerah sekitar *fillet* mempunyai warna yang merah dalam artian mempunyai nilai tegangan tertinggi pada model tersebut. Terlihat juga bahwa

model tersebut terjadi lekukan pada bagian tengah yang berarti adanya momen *bending* yang terjadi pada model. Tegangan maksimal yang dihasilkan dari model ini adalah 88,61 MPa..

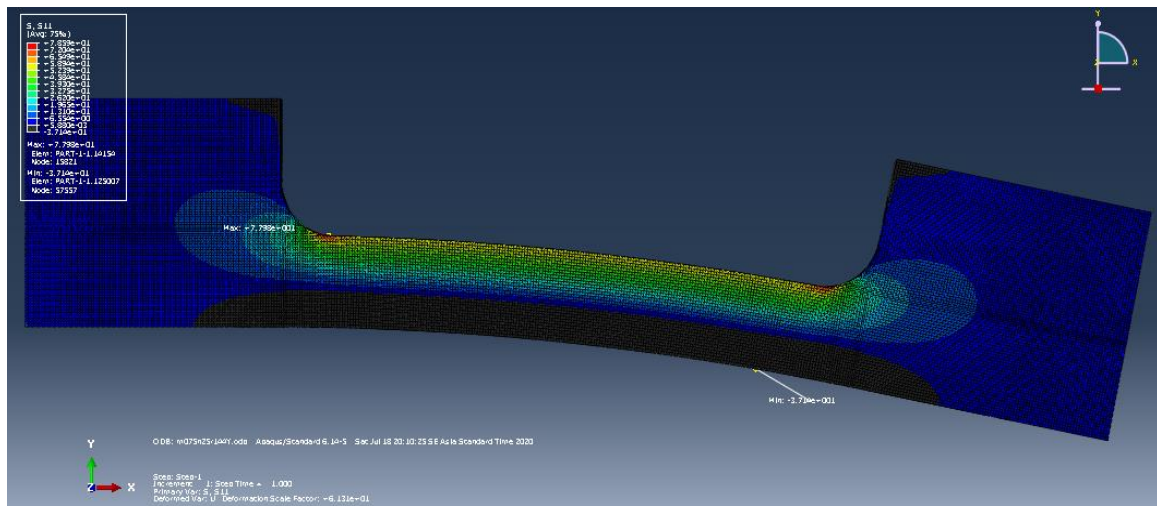
4.1.4. Model Pelat *Fillet* pada Rasio H/h=2,5 untuk Radius 9,6 mm



Gambar 4.4 Hasil *Running Job* FEA pada rasio H/h=2,5 dan radius 9,6 mm

Pada Gambar 4.4 terlihat penyebaran beban yang terjadi pada model tersebut (dibedakan dengan warna). Terlihat bahwa daerah sekitar *fillet* mempunyai warna yang merah dalam artian mempunyai nilai tegangan tertinggi pada model tersebut. Terlihat juga bahwa model tersebut terjadi lekukan pada bagian tengah yang berarti adanya momen *bending* yang terjadi pada model. Tegangan maksimal yang dihasilkan dari model ini adalah 173,291 MPa.

4.1.5. Model Pelat *Fillet* pada Rasio H/h=2,5 untuk Radius 14,4 mm

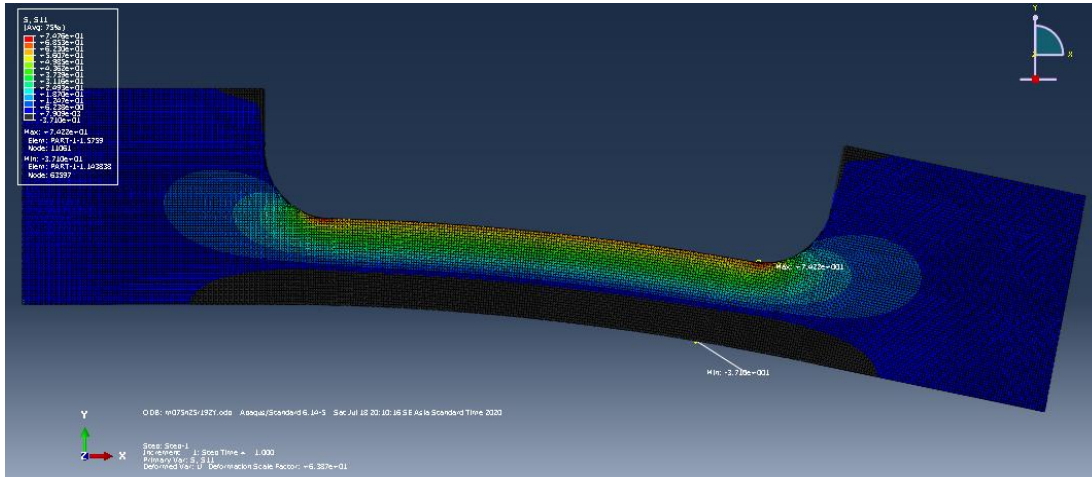


Gambar 4.5 Hasil *Running Job* FEA pada rasio H/h=2,5 dan radius 14,4 mm

Pada Gambar 4.5 terlihat penyebaran beban yang terjadi pada model tersebut (dibedakan dengan warna). Terlihat bahwa daerah sekitar *fillet* mempunyai warna yang merah

dalam artian mempunyai nilai tegangan tertinggi pada model tersebut. Terlihat juga bahwa model tersebut terjadi lekukan pada bagian tengah yang berarti adanya *bending moment* yang terjadi pada model. Tegangan maksimal yang dihasilkan dari model ini adalah 159,924 MPa.

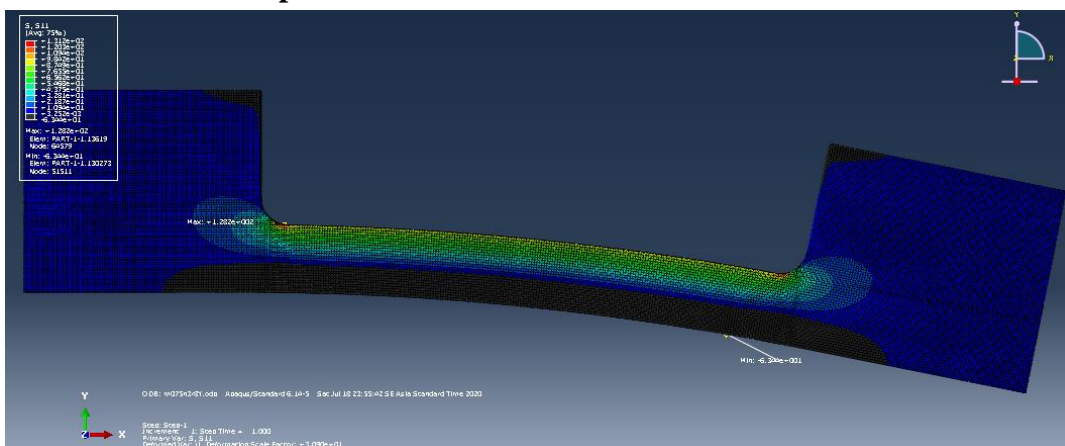
4.1.6. Model Pelat *Fillet* pada Rasio H/h=2,5 untuk Radius 19,2 mm



Gambar 4.6 Hasil *Running Job* FEA pada rasio H/h=2,5 dan radius 19,2 mm

Pada Gambar 4.6 terlihat penyebaran beban yang terjadi pada model tersebut (dibedakan dengan warna). Terlihat bahwa daerah sekitar *fillet* mempunyai warna yang merah dalam artian mempunyai nilai tegangan tertinggi pada model tersebut. Terlihat juga bahwa model tersebut terjadi lekukan pada bagian tengah yang berarti adanya momen *bending* yang terjadi pada model. Tegangan maksimal yang dihasilkan dari model ini adalah 152,20 MPa.

4.1.7. Model Pelat *Fillet* pada Rasio H/h=3 untuk Radius 8 mm

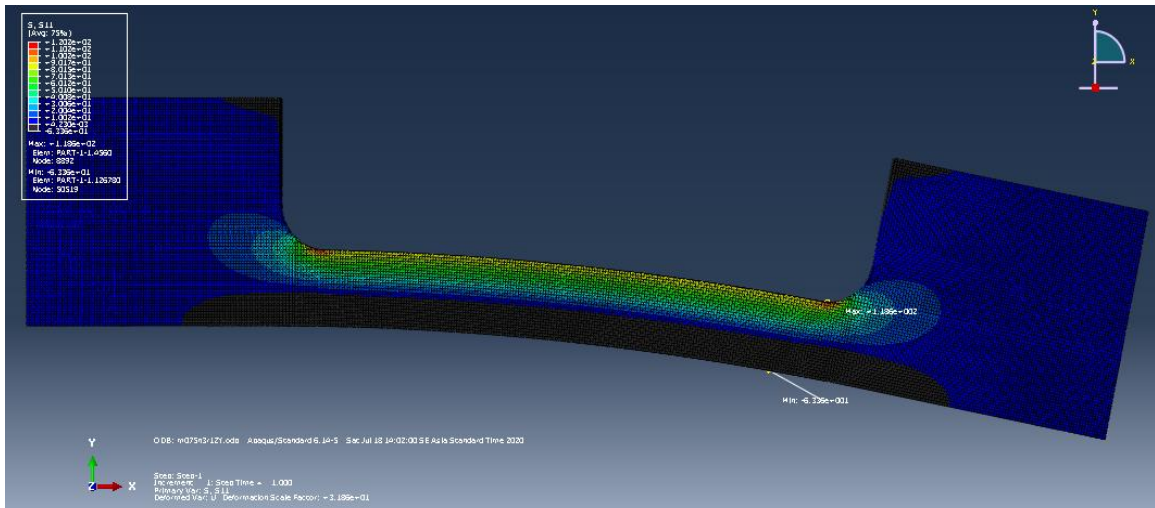


Gambar 4.7 Hasil *Running Job* FEA pada rasio H/h=3 dan radius 8 mm

Pada Gambar 4.7 terlihat penyebaran beban yang terjadi pada model tersebut (dibedakan dengan warna). Terlihat bahwa daerah sekitar *fillet* mempunyai warna yang merah dalam artian mempunyai nilai tegangan tertinggi pada model tersebut. Terlihat juga bahwa

model tersebut terjadi lekukan pada bagian tengah yang berarti tegangan arah sumbu-Y mempunyai nilai yang cukup besar. Tegangan maksimal yang dihasilkan dari model ini adalah 262,676 MPa.

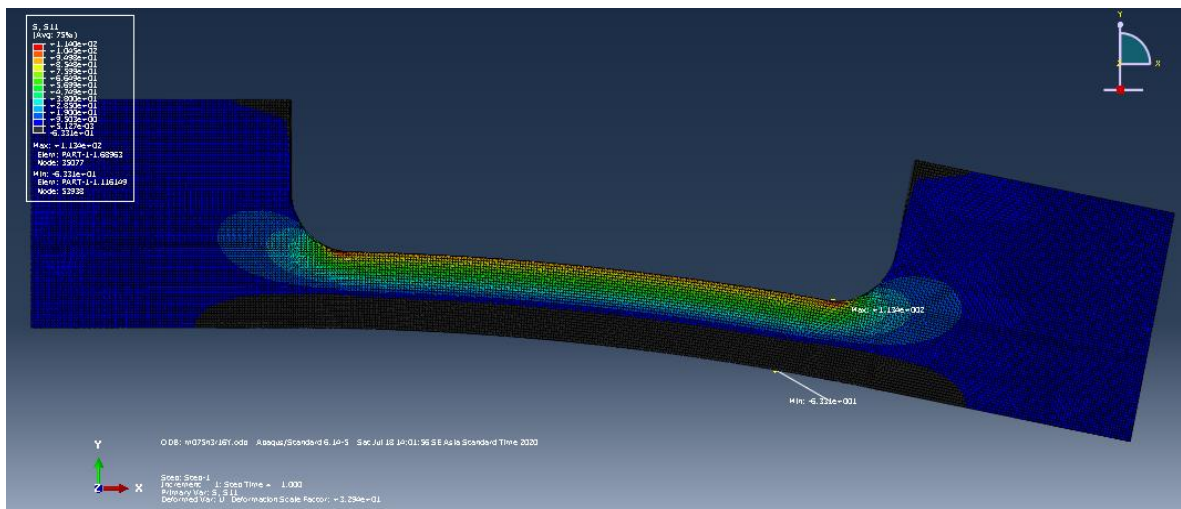
4.1.8. Model Pelat *Fillet* pada Rasio H/h=3 untuk Radius 12 mm



Gambar 4.8 Hasil *Running Job* FEA pada rasio H/h=3 dan radius 12 mm

Pada Gambar 4.8 terlihat penyebaran beban yang terjadi pada model tersebut (dibedakan dengan warna). Terlihat bahwa daerah sekitar *fillet* mempunyai warna yang merah dalam artian mempunyai nilai tegangan tertinggi pada model tersebut. Terlihat juga bahwa model tersebut terjadi lekukan pada bagian tengah yang berarti adanya momen *bending* yang terjadi pada model. Tegangan maksimal yang dihasilkan dari model ini adalah 243,30 MPa.

4.1.9. Model Pelat *Fillet* pada Rasio H/h=3 untuk Radius 16 mm

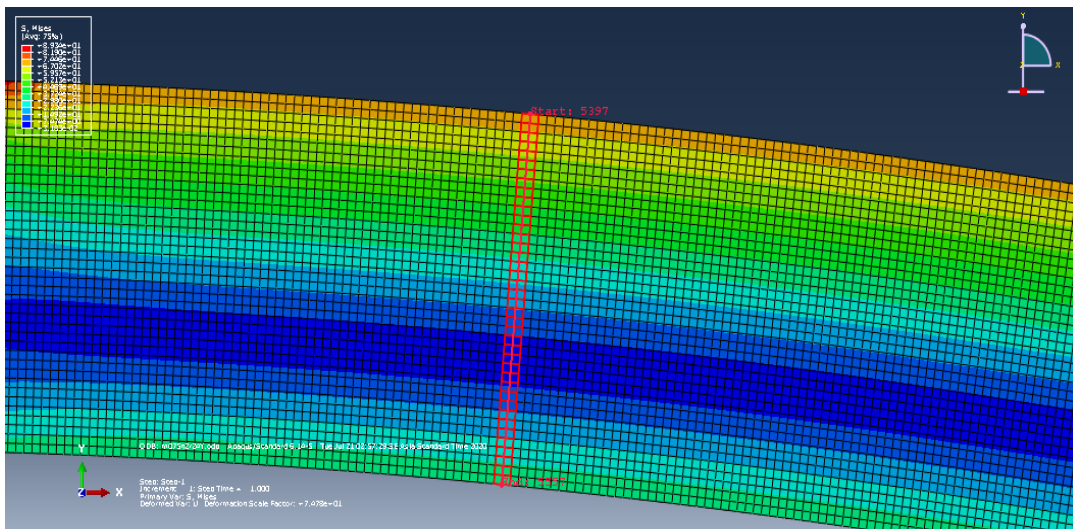


Gambar 4.9 Hasil *Running Job* FEA pada rasio H/h=3 dan radius 16 mm

Pada Gambar 4.9 terlihat penyebaran beban yang terjadi pada model tersebut (dibedakan dengan warna). Terlihat bahwa daerah sekitar *fillet* mempunyai warna yang merah dalam artian mempunyai nilai tegangan tertinggi pada model tersebut. Terlihat juga bahwa model tersebut terjadi lekukan pada bagian tengah yang berarti adanya momen *bending* yang terjadi pada model. Tegangan maksimal yang dihasilkan dari model ini adalah 232,54 MPa.

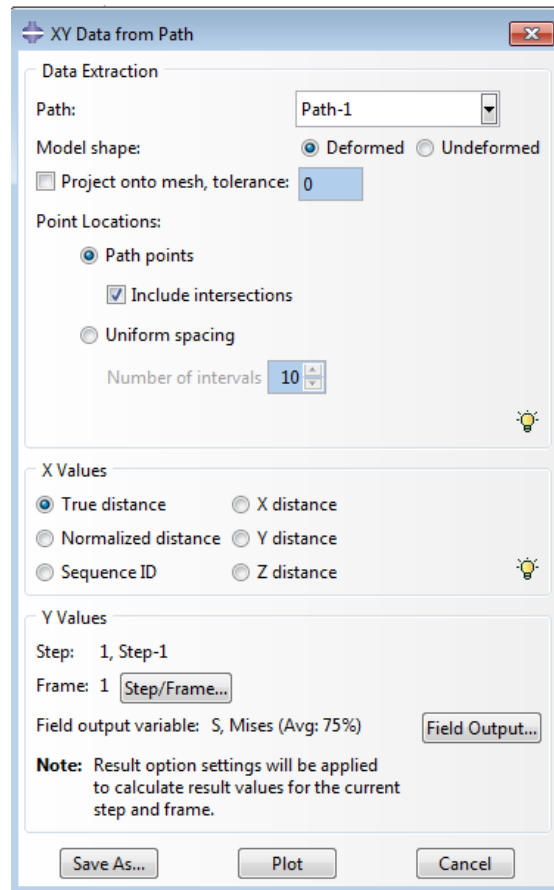
4.2. Distribusi Tegangan pada Penampang Melintang Model

Untuk melihat distribusi tegangan yang terjadi pada model, maka sebelumnya dilakukan proses plotting pada daerah yang akan dilihat distribusinya. Proses awalnya adalah *Tool > path > create path (node list)*. Setelah itu plot daerah yang akan dicari distribusinya yaitu bagian tengah model antara *fillet radius* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 dibawah ini.



Gambar 4.10 Proses *Create path* pada bagian tengah model

Setelah *path* terbentuk maka dilakukan proses berikutnya pada tab *XY Data from Path*. Tab ini adalah untuk memilih data-data apa saja yang akan dikeluarkan seperti *true distance* untuk nilai pada sumbu-x dan tegangan arah untuk nilai pada sumbu-y.



Gambar 4.11 Tab XY Data from Path

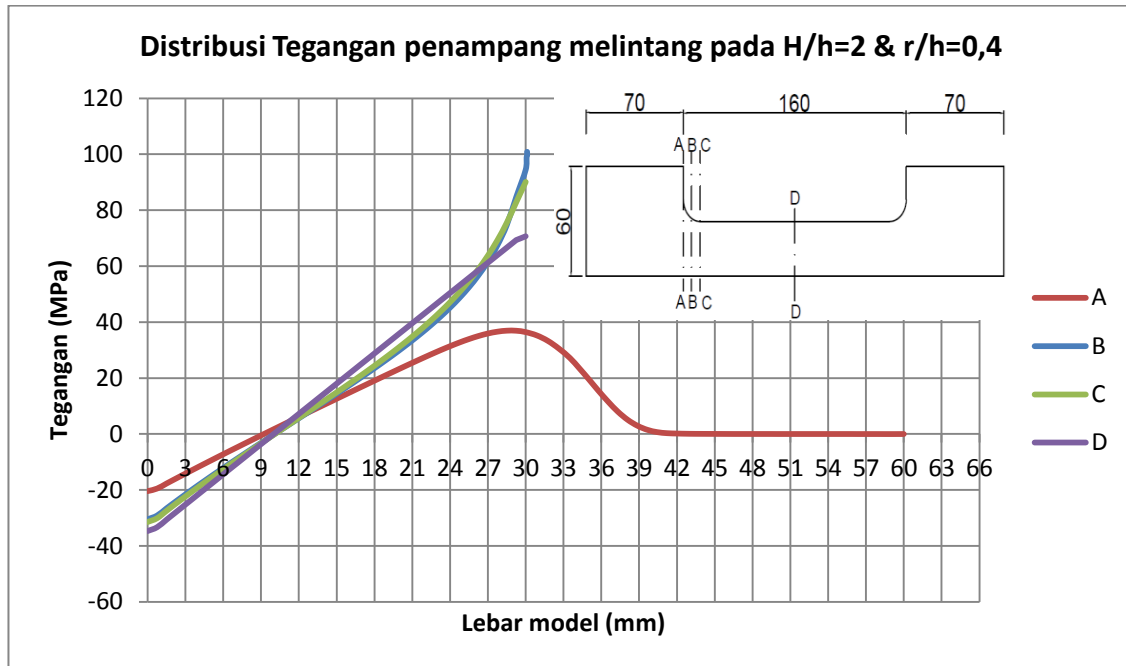
Gambar 4.11 terlihat opsi dari *output* yang akan dikeluarkan dari proses ini. *Output* dari proses diatas dapat dilihat pada subbab berikut ini.

4.2.1. Model pada rasio $H/h=2$

Berikut adalah hasil dari penyebaran tegangan arah sumbu-x yang terjadi pada model $H/h=2$ untuk rasio $r/h=0,4$, $r/h=0,6$, dan $r/h=0,8$ yang didapatkan dari langkah-langkah yang telah dijelaskan dari subbab 4.2.

- **Radius 12 mm**

Dari proses yang telah dilakukan sebelumnya maka didapatkan data tegangan dan *true distance* untuk model rasio $H/h=2$ dengan rasio $r/h=0.4$ sehingga data tersebut dapat diubah menjadi sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 dibawah ini.



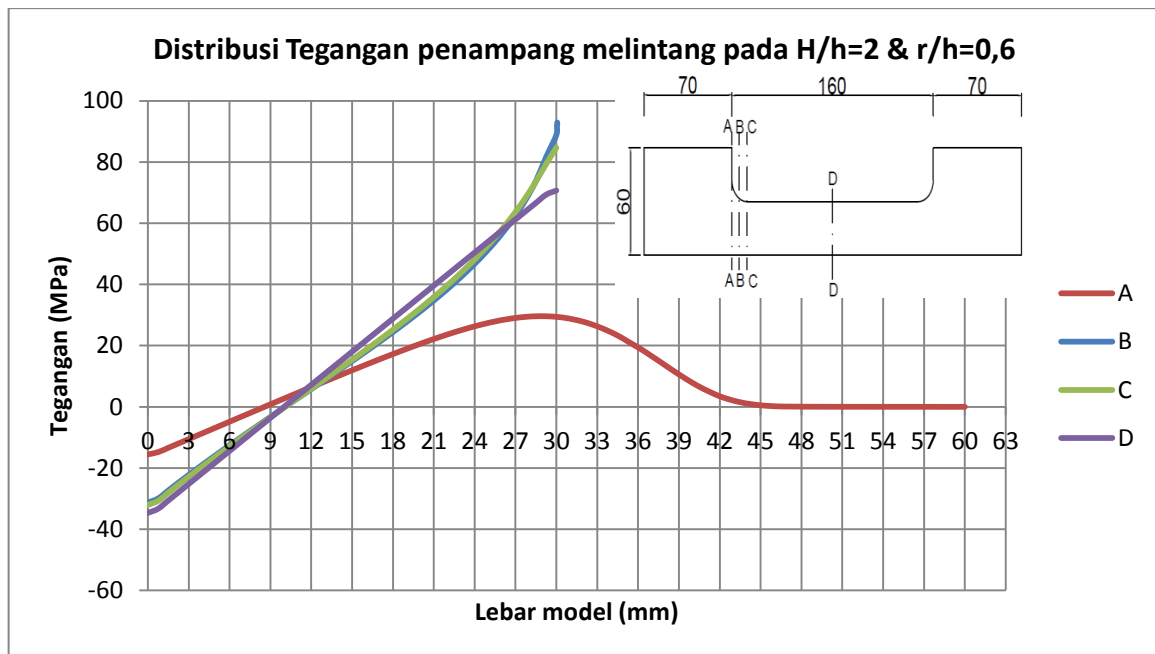
Gambar 4.12 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2$ dan $r/h=0,4$

Gambar 4.12 adalah penyebaran tegangan yang terjadi selebar model $H/h=2$ dengan $r/h=0,4$. Sumbu-x dalam grafik ini adalah jarak lebar model dari bagian bawah ($s_b-x=0$) sampai dengan bagian atas model dalam satuan milimeter (mm). Terlihat bahwa penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan A (merah) mempunyai nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan membentuk sebuah bukit hingga mencapai puncak pada pada suatu titik tertentu lalu tegangan turun kembali hingga mencapai nilai tegangan sama dengan nol. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan B (biru) dan potongan C (hijau) mempunyai tren grafik yang relatif sama. Potongan B berada pada lebar model yang sejajar nilai tegangan maksimum dalam arah vertikal. Potongan C berada pada lebar model sama dengan 30 mm (h) yang paling dekat dengan *fillet radius* 12 mm. Tren grafik yang terjadi antara potongan B dan Potongan C dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan terjadi lengkungan kearah sumbu-y hingga mencapai nilai maksimal pada suatu titik tertentu. Nilai maksimal pada potongan B merupakan nilai tegangan maksimal yang terjadi pada model $H/h=2$ dengan $r/h=0,4$ yaitu sebesar 100,89 MPa. Distribusi tegangan yang terjadi pada potongan D (ungu) mempunyai tren grafik linier atau pertambahan nilai tegangannya konstan sepanjang lebar model. Potongan D berada pada tengah antara radius *fillet* sepanjang lebar model atau $h=30$ mm. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan D dimulai pada nilai tegangan yang bertanda minus (berlawanan arah beban) dan bertambah secara konstan

hingga mencapai nilai tegangan maksimal pada bagian atas model. Nilai maksimal pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal yaitu sebesar 70,68347 MPa.

- **Radius 18 mm**

Dari proses yang telah dilakukan sebelumnya maka didapatkan data tegangan dan *true distance* untuk model rasio $H/h=2$ dengan rasio $r/h=0.6$ sehingga data tersebut dapat diubah menjadi sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 dibawah ini.



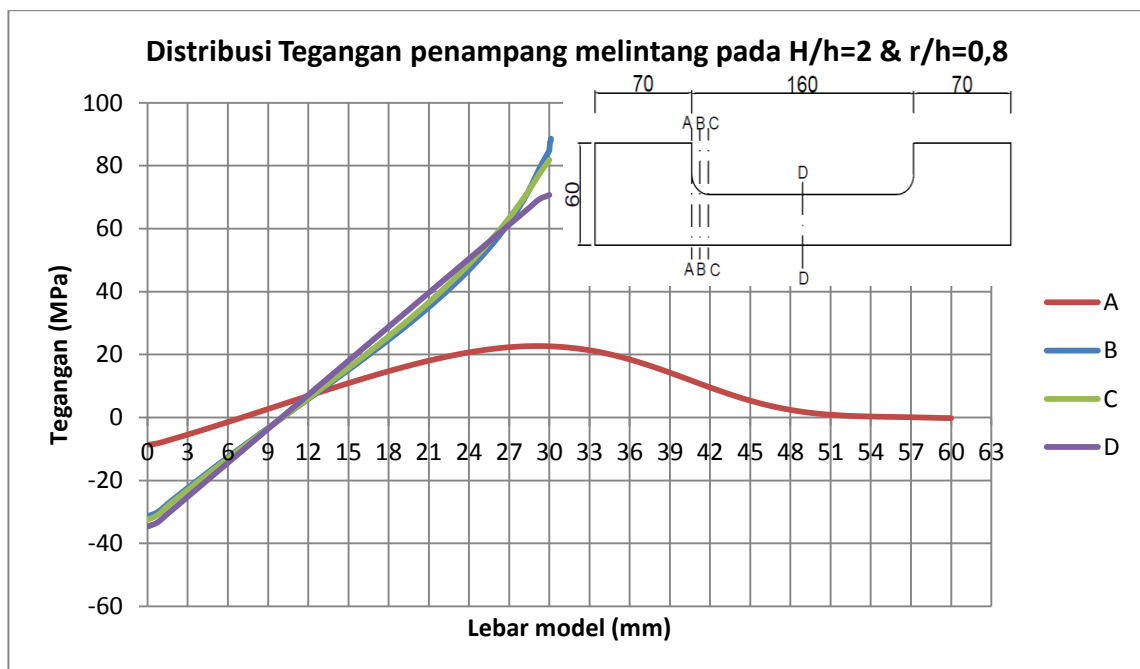
Gambar 4.13 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2$ dan r 18 mm

Gambar 4.13 adalah penyebaran tegangan yang terjadi selebar model $H/h=2$ dengan $r/h=0.6$. Sumbu-x dalam grafik ini adalah jarak lebar model dari bagian bawah ($sb-x=0$) sampai dengan bagian atas model dalam satuan milimeter (mm). Terlihat bahwa penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan A (merah) mempunyai nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan membentuk sebuah bukit hingga mencapai puncak pada pada suatu titik tertentu lalu tegangan turun kembali hingga mencapai nilai tegangan sama dengan nol. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan B (biru) dan potongan C (hijau) mempunyai tren grafik yang relatif sama. Potongan B berada adalah lebar model yang sejajar nilai tegangan maksimum dalam arah vertikal. Potongan C berada pada lebar model sama dengan 30 mm (h) yang paling dekat dengan *fillet radius* 18 mm. Tren grafik yang terjadi antara potongan B dan Potongan C dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan terjadi lengkungan kearah sumbu-y hingga mencapai nilai maksimal pada suatu titik tertentu. Nilai maksimal pada potongan B merupakan nilai tegangan maksimal yang terjadi pada model $H/h=2$ dengan $r/h=0.6$

yaitu sebesar 92,926 MPa. Distribusi tegangan yang terjadi pada potongan D (ungu) mempunyai tren grafik linier atau pertambahan nilai tegangannya konstan sepanjang lebar model. Potongan D berada pada tengah antara radius *fillet* sepanjang lebar model atau $h=30$ mm. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan D dimulai pada nilai tegangan yang bertanda minus (berlawanan arah beban) dan bertambah secara konstan hingga mencapai nilai tegangan maksimal pada bagian atas model. Nilai maksimal pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal yaitu sebesar 70,6841 MPa.

- **Radius 24 mm**

Dari proses yang telah dilakukan sebelumnya maka didapatkan data tegangan dan *true distance* untuk model rasio $H/h=2$ dengan rasio $r/h=0.8$ sehingga data tersebut dapat diubah menjadi sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 dibawah ini.



Gambar 4.14 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2$ dan r 24 mm

Pada Gambar 4.14 adalah penyebaran tegangan yang terjadi selebar model $H/h=2$ dengan $r/h=0.8$. Sumbu-x dalam grafik ini adalah jarak lebar model dari bagian bawah ($s_b-x=0$) sampai dengan bagian atas model dalam satuan milimeter (mm). Terlihat bahwa penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan A (merah) mempunyai nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan membentuk sebuah bukit hingga mencapai puncak pada pada suatu titik tertentu lalu tegangan turun kembali hingga mencapai nilai tegangan sama dengan nol. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan B (biru) dan potongan C (hijau) mempunyai tren grafik yang relatif sama. Potongan B berada adalah lebar model yang sejajar nilai tegangan maksimum dalam arah vertikal. Potongan C

berada pada lebar model sama dengan 30 mm (h) yang paling dekat dengan *fillet radius* 24 mm. Tren grafik yang terjadi antara potongan B dan Potongan C dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan terjadi lengkungan kearah sumbu-y hingga mencapai nilai maksimal pada suatu titik tertentu. Nilai maksimal pada potongan B merupakan nilai tegangan maksimal yang terjadi pada model $H/h=2$ dengan $r/h=0,8$ yaitu sebesar 88,61 MPa. Distribusi tegangan yang terjadi pada potongan D (ungu) mempunyai tren grafik linier atau pertambahan nilai tegangannya konstan sepanjang lebar model. Potongan D berada pada tengah antara radius *fillet* sepanjang lebar model atau $h=30\text{mm}$. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan D dimulai pada nilai tegangan yang bertanda minus (berlawanan arah beban) dan bertambah secara konstan hingga mencapai nilai tegangan maksimal pada bagian atas model. Nilai maksimal pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal yaitu sebesar 70,6841 MPa.

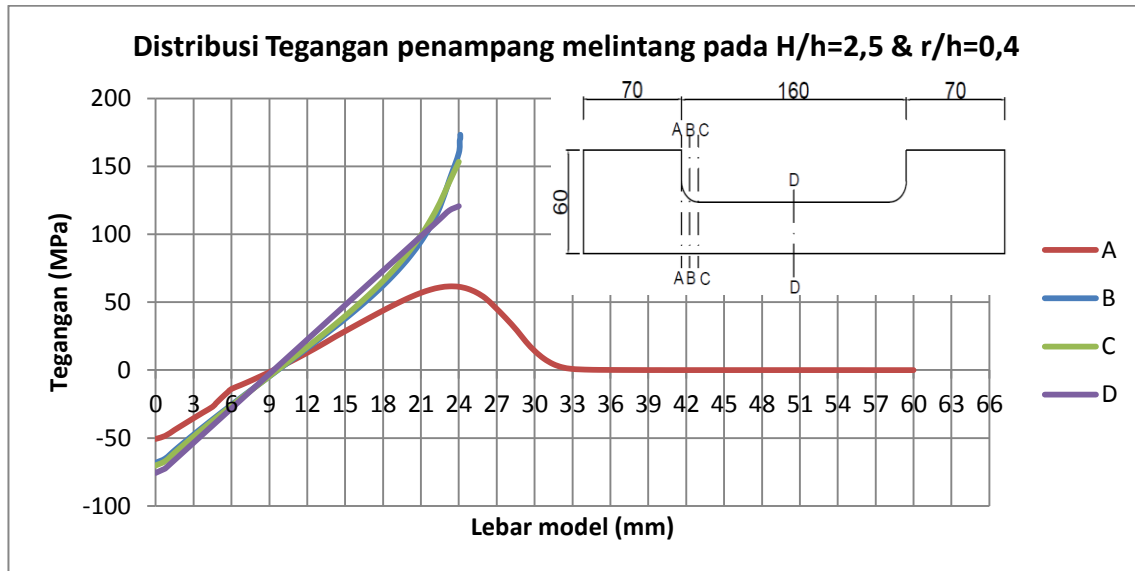
Distribusi tegangan yang terjadi pada rasio $H/h=2$ mempunyai tren grafik yang relatif sama untuk semua potongan. Pada jarak 70mm dari ujung model (potongan A), tren grafik antara radius 12 mm, 18 mm, dan 24 mm berada pada puncak yang sama terhadap sumbu-x atau 30mm dari bagian bawah model (h). Sedangkan dari grafik antara potongan A,B,C, dan D mempunyai titik temu yang dapat dikatakan sama yaitu pada jarak 12mm terhadap sumbu-x dengan nilai tegangan 6 MPa untuk $r/h=0,4$, untuk $r/h=0,6$ sebesar 6,5 MPa, dan 6,85 MPa untuk $r/h=0,8$. Selain itu, tren grafik antara semua potongan selalu dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) atau dapat dikatakan bahwa sepanjang model $H/h=2$ distribusi tegangan yang terjadi pada bagian bawah mempunyai nilai tegangan berlawanan arah beban. Sedangkan distribusi tegangan pada potongan D untuk $r/h=0,4$, $r/h=0,6$, dan $r/h=0,8$ mempunyai nilai tegangan yang relatif sama sepanjang sumbu-x pada model $H/h=2$ ini. Tegangan yang berlawanan arah beban terbesar berada bagian tengah sepanjang model (potongan D) yaitu -34,68 MPa.

4.2.2. Model pada rasio $H/h=2,5$

Berikut adalah hasil dari penyebaran tegangan arah sumbu-x yang terjadi pada model $H/h=2,5$ untuk rasio $r/h=0,4$, $r/h=0,6$, dan $r/h=0,8$ yang didapatkan dari langkah-langkah yang telah dijelaskan dari subbab 4.2.

- **Radius 9.6 mm**

Dari proses yang telah dilakukan sebelumnya maka didapatkan data tegangan dan *true distance* untuk model rasio $H/h=2.5$ dengan rasio $r/h=0.4$ sehingga data tersebut dapat diubah menjadi sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 dibawah ini.



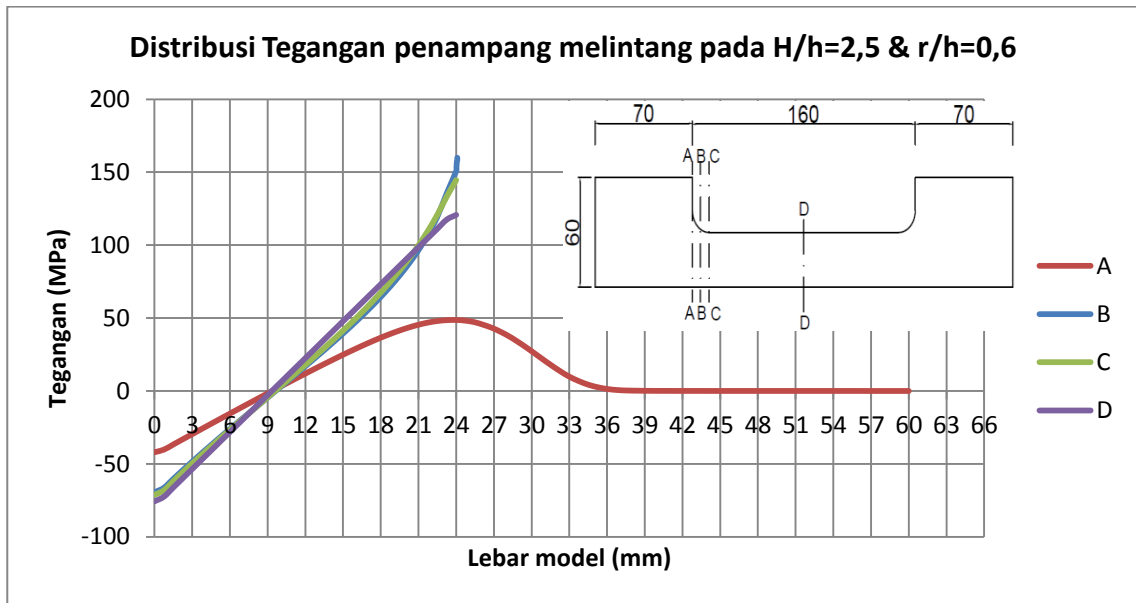
Gambar 4.15 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2,5$ dan r 9,6 mm

Gambar 4.15 adalah penyebaran tegangan yang terjadi selebar model $H/h=2,5$ dengan $r/h=0,4$. Sumbu-x dalam grafik ini adalah jarak lebar model dari bagian bawah ($sb-x=0$) sampai dengan bagian atas model dalam satuan milimeter (mm). Terlihat bahwa penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan A (merah) mempunyai nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan membentuk sebuah bukit hingga mencapai puncak pada pada suatu titik tertentu lalu tegangan turun kembali hingga mencapai nilai tegangan sama dengan nol. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan B (biru) dan potongan C (hijau) mempunyai tren grafik yang relatif sama. Potongan B berada adalah lebar model yang sejajar nilai tegangan maksimum dalam arah vertikal. Potongan C berada pada lebar model sama dengan 24 mm (h) yang paling dekat dengan *fillet radius* 9,6 mm. Tren grafik yang terjadi antara potongan B dan Potongan C dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan terjadi lengkungan kearah sumbu-y hingga mencapai nilai maksimal pada suatu titik tertentu. Nilai maksimal pada potongan B merupakan nilai tegangan maksimal yang terjadi pada model $H/h=2,5$ dengan $r/h=0,4$ yaitu sebesar 173,291 MPa. Distribusi tegangan yang terjadi pada potongan D (ungu) mempunyai tren grafik linier atau penambahan nilai tegangannya konstan sepanjang lebar model. Potongan D berada pada tengah antara radius *fillet* sepanjang lebar model atau

$h=24$ mm. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan D dimulai pada nilai tegangan yang bertanda minus (berlawanan arah beban) dan bertambah secara konstan hingga mencapai nilai tegangan maksimal pada bagian atas model. Nilai maksimal pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal yaitu sebesar 120,681 MPa.

- **Radius 14.4 mm**

Dari proses yang telah dilakukan sebelumnya maka didapatkan data tegangan dan *true distance* untuk model rasio $H/h=2.5$ dengan rasio $r/h=0.6$ sehingga data tersebut dapat diubah menjadi sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 dibawah ini.



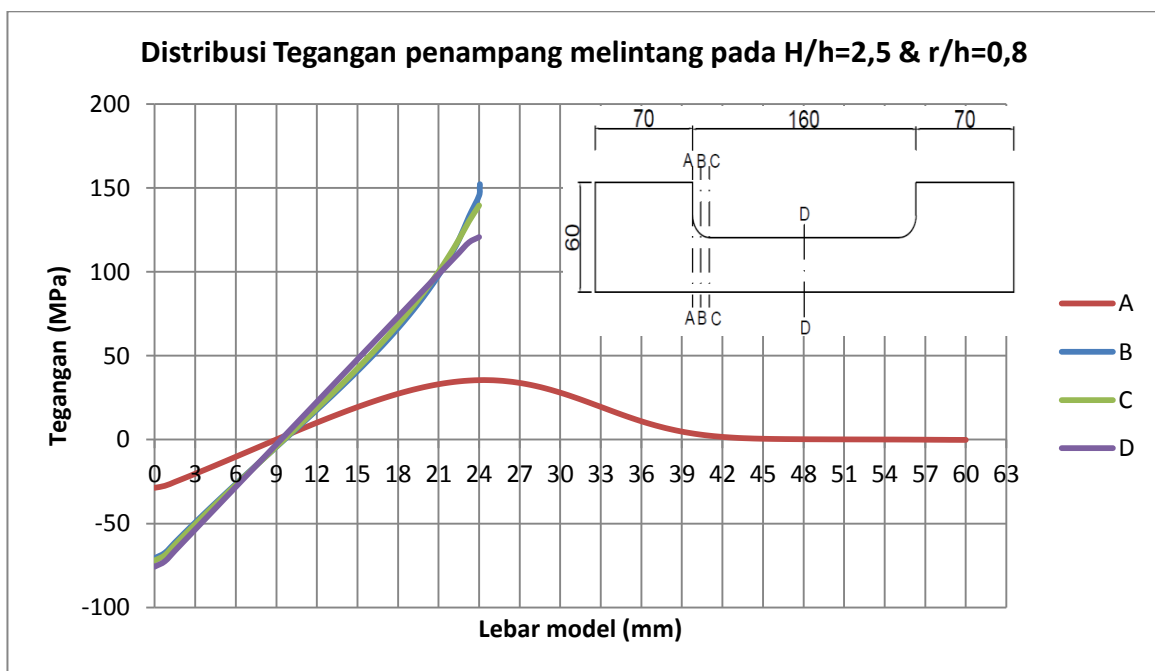
Gambar 4.16 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2,5$ dan r 14.4 mm

Gambar 4.16 adalah penyebaran tegangan yang terjadi selebar model $H/h=2,5$ dengan $r/h=0,6$. Sumbu-x dalam grafik ini adalah jarak lebar model dari bagian bawah ($sb-x=0$) sampai dengan bagian atas model dalam satuan milimeter (mm). Terlihat bahwa penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan A (merah) mempunyai nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan membentuk sebuah bukit hingga mencapai puncak pada pada suatu titik tertentu lalu tegangan turun kembali hingga mencapai nilai tegangan sama dengan nol. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan B (biru) dan potongan C (hijau) mempunyai tren grafik yang relatif sama. Potongan B berada adalah lebar model yang sejajar nilai tegangan maksimum dalam arah vertikal. Potongan C berada pada lebar model sama dengan 24 mm (h) yang paling dekat dengan *fillet radius* 14,4 mm. Tren grafik yang terjadi antara potongan B dan Potongan C dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan terjadi lengkungan kearah sumbu-y

hingga mencapai nilai maksimal pada suatu titik tertentu. Nilai maksimal pada potongan B merupakan nilai tegangan maksimal yang terjadi pada model $H/h=2,5$ dengan $r/h=0,6$ yaitu sebesar 159,924 MPa. Distribusi tegangan yang terjadi pada potongan D (ungu) mempunyai tren grafik linier atau pertambahan nilai tegangannya konstan sepanjang lebar model. Potongan D berada pada tengah antara radius *fillet* sepanjang lebar model atau $h=24$ mm. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan D dimulai pada nilai tegangan yang bertanda minus (berlawanan arah beban) dan bertambah secara konstan hingga mencapai nilai tegangan maksimal pada bagian atas model. Nilai maksimal pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal yaitu sebesar 120,681 MPa.

○ **Radius 19.2 mm**

Dari proses yang telah dilakukan sebelumnya maka didapatkan data tegangan dan *true distance* untuk model rasio $H/h=2.5$ dengan rasio $r/h=0.8$ sehingga data tersebut dapat diubah menjadi sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 dibawah ini.



Gambar 4.17 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=2,5$ dan r 19,2 mm

Gambar 4.17 adalah penyebaran tegangan yang terjadi selebar model $H/h=2,5$ dengan $r/h=0,8$. Sumbu-x dalam grafik ini adalah jarak lebar model dari bagian bawah ($sb-x=0$) sampai dengan bagian atas model dalam satuan milimeter (mm). Terlihat bahwa penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan A (merah) mempunyai nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan membentuk sebuah bukit hingga mencapai puncak pada pada suatu titik tertentu lalu tegangan turun kembali hingga mencapai nilai tegangan sama dengan nol. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan B (biru) dan

potongan C (hijau) mempunyai tren grafik yang relatif sama. Potongan B berada adalah lebar model yang sejajar nilai tegangan maksimum dalam arah vertikal. Potongan C berada pada lebar model sama dengan 24 mm (h) yang paling dekat dengan *fillet radius* 19,2 mm. Tren grafik yang terjadi antara potongan B dan Potongan C dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan terjadi lengkungan kearah sumbu-y hingga mencapai nilai maksimal pada suatu titik tertentu. Nilai maksimal pada potongan B merupakan nilai tegangan maksimal yang terjadi pada model $H/h=2,5$ dengan $r/h=0,8$ yaitu sebesar 152,2 MPa. Distribusi tegangan yang terjadi pada potongan D (ungu) mempunyai tren grafik linier atau pertambahan nilai tegangannya konstan sepanjang lebar model. Potongan D berada pada tengah antara radius *fillet* sepanjang lebar model atau $h=24$ mm. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan D dimulai pada nilai tegangan yang bertanda minus (berlawanan arah beban) dan bertambah secara konstan hingga mencapai nilai tegangan maksimal pada bagian atas model. Nilai maksimal pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal yaitu sebesar 120,682 MPa.

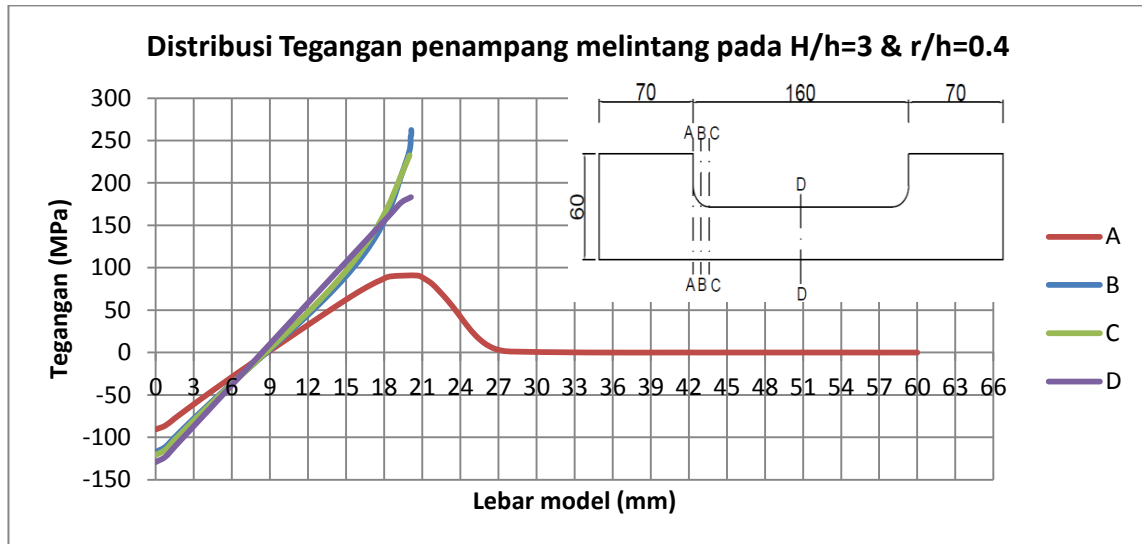
Distribusi tegangan yang terjadi pada melintang model $H/h=2,5$ secara keseluruhan lebih besar dibandingkan dengan model $H/h=2$. Distribusi tegangan yang terjadi pada rasio $H/h=2,5$ mempunyai tren grafik yang relatif sama untuk semua potongan. Pada jarak 70mm dari ujung model (potongan A), tren grafik antara radius 9,6 mm, 14,4 mm, dan 19,2 mm berada pada puncak yang sama terhadap sumbu-x atau 24mm dari bagian bawah model (h). Sedangkan dari grafik antara potongan A,B,C, dan D mempunyai titik temu yang dapat dikatakan sama yaitu pada jarak 9mm terhadap sumbu-x dengan nilai tegangan hampir mendekati nol. Selain itu, tren grafik antara semua potongan selalu dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) atau dapat dikatakan bahwa sepanjang model $H/h=2,5$ distribusi tegangan yang terjadi pada bagian bawah model mempunyai nilai tegangan berlawanan arah beban. Sedangkan distribusi tegangan pada potongan D untuk $r/h=0,4$, $r/h=0,6$, dan $r/h=0,8$ mempunyai nilai tegangan yang relatif sama sepanjang sumbu-x pada model $H/h=2,5$ ini. Tegangan yang berlawanan arah beban terbesar berada bagian tengah sepanjang model (potongan D) yaitu -75,681 MPa.

4.2.3. Model pada rasio $H/h=3$

Berikut adalah hasil dari penyebaran tegangan arah sumbu-x yang terjadi pada model $H/h=3$ untuk rasio $r/h=0,4$, $r/h=0,6$, dan $r/h=0,8$ yang didapatkan dari langkah-langkah yang telah dijelaskan dari subbab 4.2.

o **Radius 8 mm**

Dari proses yang telah dilakukan sebelumnya maka didapatkan data tegangan dan *true distance* untuk model rasio $H/h=3$ dengan rasio $r/h=0.4$ sehingga data tersebut dapat diubah menjadi sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18 dibawah ini.



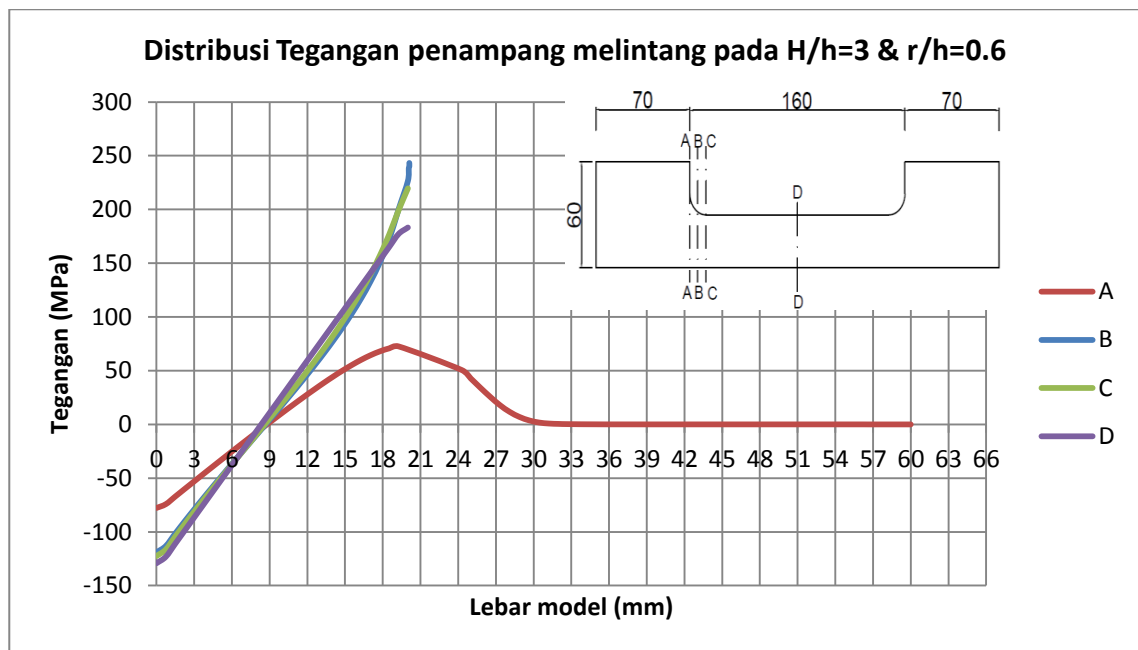
Gambar 4.18 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada rasio $H/h=3$ dan $r/h=0.4$

Gambar 4.18 adalah penyebaran tegangan yang terjadi selebar model $H/h=3$ dengan $r/h=0.4$. Sumbu-x dalam grafik ini adalah jarak lebar model dari bagian bawah ($sb-x=0$) sampai dengan bagian atas model dalam satuan milimeter (mm). Terlihat bahwa penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan A (merah) mempunyai nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan membentuk sebuah bukit hingga mencapai puncak pada pada suatu titik tertentu lalu tegangan turun kembali hingga mencapai nilai tegangan sama dengan nol. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan B (biru) dan potongan C (hijau) mempunyai tren grafik yang relatif sama. Potongan B berada adalah lebar model yang sejajar nilai tegangan maksimum dalam arah vertikal. Potongan C berada pada lebar model sama dengan 20 mm (h) yang paling dekat dengan *fillet radius* 8 mm. Tren grafik yang terjadi antara potongan B dan Potongan C dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan terjadi lengkungan kearah sumbu-y hingga mencapai nilai maksimal pada suatu titik tertentu. Nilai maksimal pada potongan B merupakan nilai tegangan maksimal yang terjadi pada model $H/h=3$ dengan $r/h=0.4$ yaitu sebesar 262,676 MPa. Distribusi tegangan yang terjadi pada potongan D (ungu) mempunyai tren grafik linier atau pertambahan nilai tegangannya konstan sepanjang lebar model. Potongan D berada pada tengah antara radius *fillet* sepanjang lebar model atau

$h=20$ mm. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan D dimulai pada nilai tegangan yang bertanda minus (berlawanan arah beban) dan bertambah secara konstan hingga mencapai nilai tegangan maksimal pada bagian atas model. Nilai maksimal pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal yaitu sebesar 183,213 MPa.

○ **Radius 12 mm**

Dari proses yang telah dilakukan sebelumnya maka didapatkan data tegangan dan *true distance* untuk model rasio $H/h=3$ dengan rasio $r/h=0.6$ sehingga data tersebut dapat diubah menjadi sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19 dibawah ini.



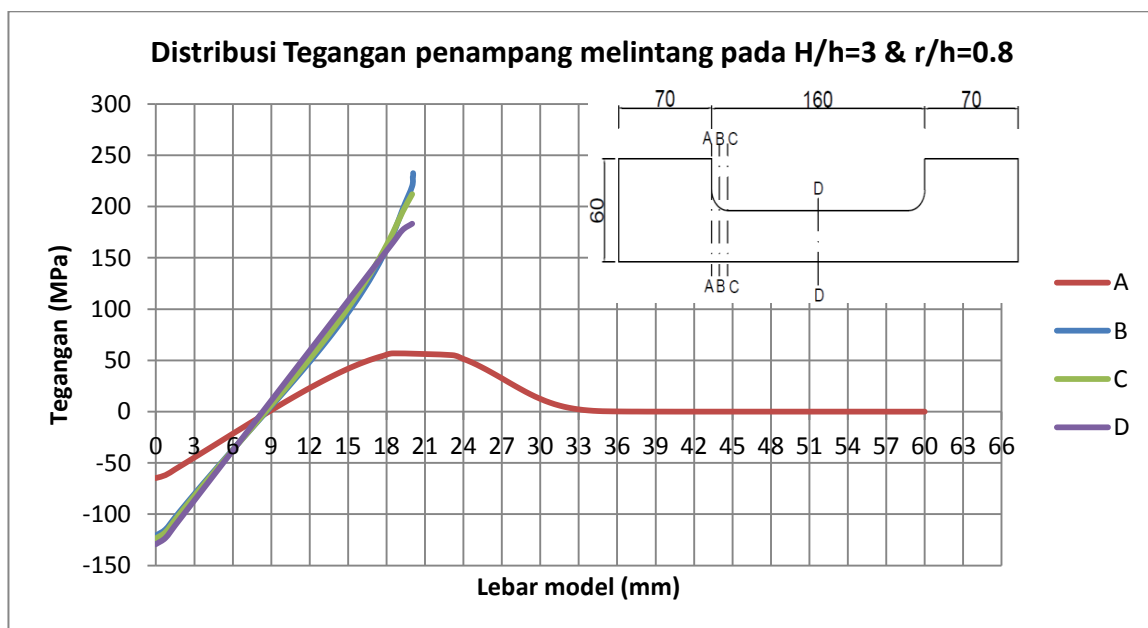
Gambar 4.19 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=3$ dan r 12 mm

Gambar 4.19 adalah penyebaran tegangan yang terjadi selebar model $H/h=3$ dengan $r/h=0.6$. Sumbu-x dalam grafik ini adalah jarak lebar model dari bagian bawah ($sb-x=0$) sampai dengan bagian atas model dalam satuan milimeter (mm). Terlihat bahwa penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan A (merah) mempunyai nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan membentuk sebuah bukit hingga mencapai puncak pada pada suatu titik tertentu lalu tegangan turun kembali hingga mencapai nilai tegangan sama dengan nol. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan B (biru) dan potongan C (hijau) mempunyai tren grafik yang relatif sama. Potongan B berada adalah lebar model yang sejajar nilai tegangan maksimum dalam arah vertikal. Potongan C berada pada lebar model sama dengan 20 mm (h) yang paling dekat dengan *fillet radius* 12 mm. Tren grafik yang terjadi antara potongan B dan Potongan C dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan terjadi lengkungan kearah sumbu-y

hingga mencapai nilai maksimal pada suatu titik tertentu. Nilai maksimal pada potongan B merupakan nilai tegangan maksimal yang terjadi pada model $H/h=3$ dengan $r/h=0,6$ yaitu sebesar 243,30 MPa. Distribusi tegangan yang terjadi pada potongan D (ungu) mempunyai tren grafik linier atau pertambahan nilai tegangannya konstan sepanjang lebar model. Potongan D berada pada tengah antara radius *fillet* sepanjang lebar model atau $h=20$ mm. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan D dimulai pada nilai tegangan yang bertanda minus (berlawanan arah beban) dan bertambah secara konstan hingga mencapai nilai tegangan maksimal pada bagian atas model. Nilai maksimal pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal yaitu sebesar 183,213 MPa.

o **Radius 16 mm**

Dari proses yang telah dilakukan sebelumnya maka didapatkan data tegangan dan *true distance* untuk model rasio $H/h=3$ dengan rasio $r/h=0.8$ sehingga data tersebut dapat diubah menjadi sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.20 dibawah ini.



Gambar 4.20 Penyebaran Tegangan Penampang Melintang pada $H/h=3$ dan r 16 mm

Gambar 4.20 adalah penyebaran tegangan yang terjadi selebar model $H/h=3$ dengan $r/h=0,8$. Sumbu-x dalam grafik ini adalah jarak lebar model dari bagian bawah ($sb-x=0$) sampai dengan bagian atas model dalam satuan milimeter (mm). Terlihat bahwa penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan A (merah) mempunyai nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan membentuk sebuah bukit hingga mencapai puncak pada pada suatu titik tertentu lalu tegangan turun kembali hingga mencapai nilai

tegangan sama dengan nol. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan B (biru) dan potongan C (hijau) mempunyai tren grafik yang relatif sama. Potongan B berada adalah lebar model yang sejajar nilai tegangan maksimum dalam arah vertikal. Potongan C berada pada lebar model sama dengan 20 mm (h) yang paling dekat dengan *fillet radius* 16 mm. Tren grafik yang terjadi antara potongan B dan Potongan C dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) dan terjadi lengkungan kearah sumbu-y hingga mencapai nilai maksimal pada suatu titik tertentu. Nilai maksimal pada potongan B merupakan nilai tegangan maksimal yang terjadi pada model $H/h=3$ dengan $r/h=0,8$ yaitu sebesar 232,54 MPa. Distribusi tegangan yang terjadi pada potongan D (ungu) mempunyai tren grafik linier atau penambahan nilai tegangannya konstan sepanjang lebar model. Potongan D berada pada tengah antara radius *fillet* sepanjang lebar model atau $h=20$ mm. Penyebaran tegangan yang terjadi pada potongan D dimulai pada nilai tegangan yang bertanda minus (berlawanan arah beban) dan bertambah secara konstan hingga mencapai nilai tegangan maksimal pada bagian atas model. Nilai maksimal pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal yaitu sebesar 183,213 MPa.

Distribusi tegangan yang terjadi pada melintang model $H/h=3$ secara keseluruhan lebih besar dibandingkan dengan model $H/h=2$ dan $H/h=2,5$. Distribusi tegangan yang terjadi pada rasio $H/h=3$ mempunyai tren grafik yang relatif sama untuk semua potongan. Pada jarak 70mm dari ujung model (potongan A), tren grafik antara radius 8 mm, 12 mm, dan 16 mm berada pada puncak yang sama terhadap sumbu-x atau 20 mm dari bagian bawah model (h). Sedangkan dari grafik antara potongan A,B,C, dan D mempunyai titik temu yang dapat dikatakan sama yaitu pada jarak 9 mm terhadap sumbu-x dengan nilai tegangan hampir mendekati nol. Selain itu, tren grafik antara semua potongan selalu dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) atau dapat dikatakan bahwa sepanjang model $H/h=3$ distribusi tegangan yang terjadi pada bagian bawah model mempunyai nilai tegangan berlawanan arah beban. Sedangkan distribusi tegangan pada potongan D untuk $r/h=0,4$, $r/h=0,6$, dan $r/h=0,8$ mempunyai nilai tegangan yang relatif sama sepanjang sumbu-x pada model $H/h=3$ ini. Tegangan yang berlawanan arah beban terbesar berada bagian tengah sepanjang model (potongan D) yaitu -129,213 MPa.

4.3. Faktor Konsentrasi Tegangan dengan Metode Numerik

Setelah tegangan maksimal dan tegangan nominal didapatkan melalui permodelan oleh *software* berbasis elemen hingga, maka data tersebut digunakan untuk menghitung Faktor

Konsentrasi Tegangan. Berikut adalah data Faktor Konsentrasi Tegangan yang didapatkan dengan metode numerik pada penerapan beban 9 Mpa.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan Faktor Konsentrasi Tegangan dengan metode numerik

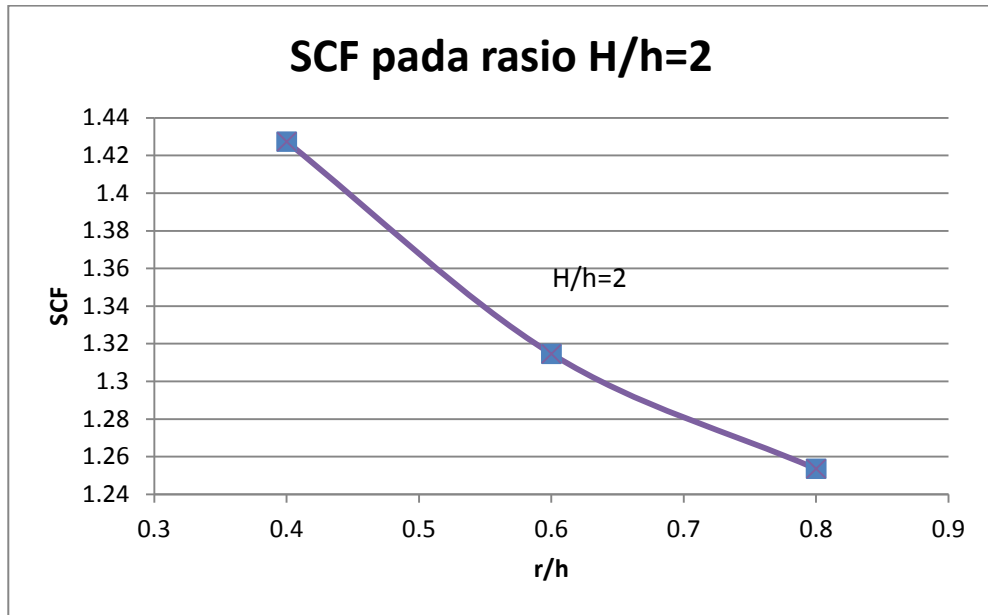
H/h	radius	Tegangan Maks (Sb-x)	Tegangan Maks (mises)	Tegangan nominal
	(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
2	12	100,89	102,36	70,6837
	18	92,926	93,9796	70,6841
	24	88,61	89,3434	70,6841
2,5	9,6	173,291	176,396	120,681
	14,4	159,924	161,16	120,681
	19,2	152,2	153,32	120,682
3	8	262,676	269,122	183,213
	12	243,30	246,555	183,213
	16	232,54	233,734	183,213

Terlihat pada Tabel 4.1 bahwa tegangan maksimal maupun tegangan nominal yang dihasilkan pada beban 2,7 KN ini tidak melebihi nilai dari *yield stress* material sehingga Faktor Konsentrasi Tegangan dapat dianalisa pada beban ini. Sedangkan nilai dari Faktor Konsentrasi Tegangannya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Faktor Konsentrasi Tegangan pada pendekatan numeric

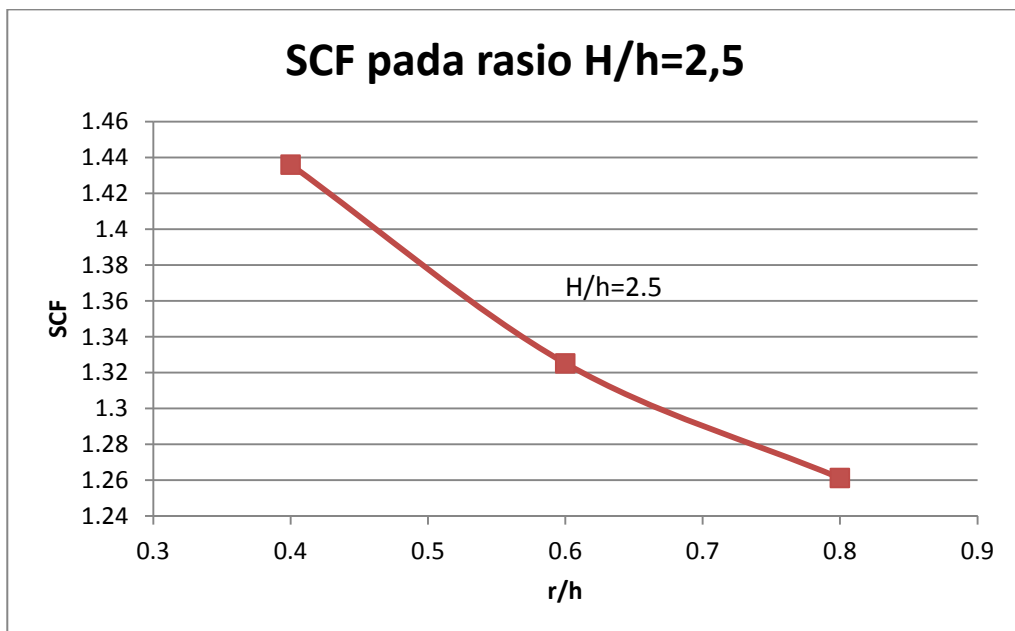
No.	H/h	r/h	SCF
1	2	0.4	1.42734464
2	2	0.6	1.31466624
3	2	0.8	1.25356056
4	2.5	0.4	1.43594269
5	2.5	0.6	1.32517961
6	2.5	0.8	1.26116571
7	3	0.4	1.43371922
8	3	0.6	1.3279407
9	3	0.8	1.26921125

Dari data yang telah dikumpulkan pada Tabel 4.2 maka dapat dibuat sebuah grafik dengan sumbu-x adalah rasio r/h dan sumbu-y adalah nilai SCF. Grafik ini berguna untuk melihat tren yang dihasilkan dari perhitungan yang telah dilakukan.



Gambar 4.21 Grafik nilai SCF terhadap perubahan r/h pada model rasio H/h=2

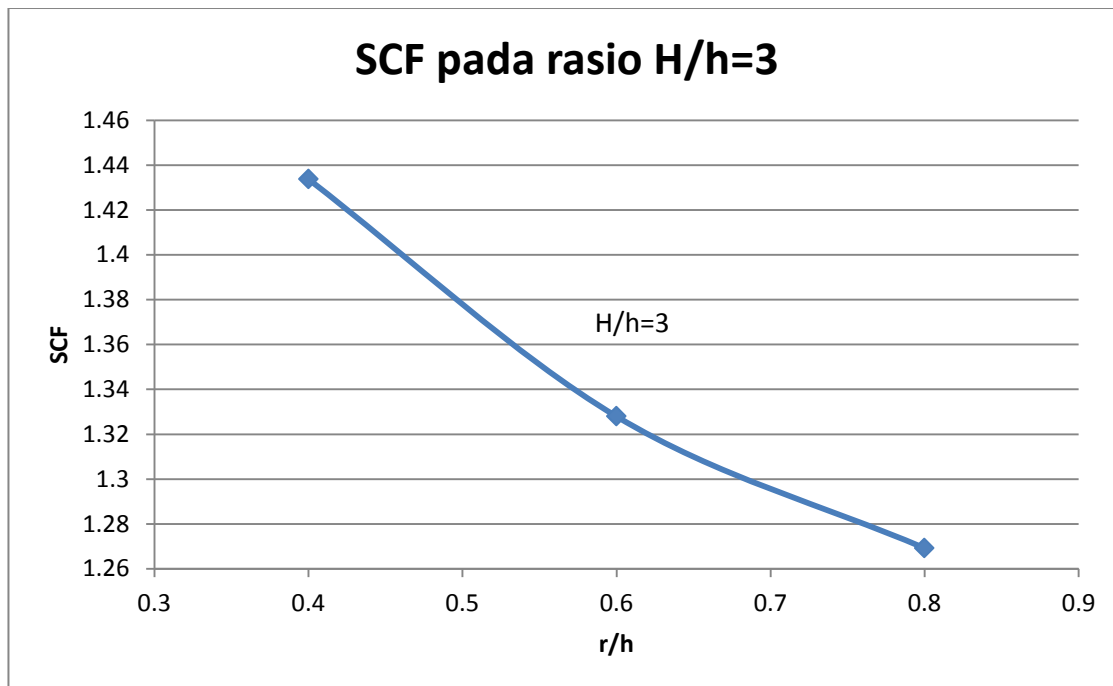
Pada Gambar 4.21 dapat dilihat tren dari grafik model rasio H/h=2 dimana nilai SCF yang didapatkan semakin kecil dengan r/h yang semakin besar. Besarnya nilai SCF pada r/h=0,4 adalah 1,427. Nilai SCF pada r/h=0,6 adalah 1,3146. Nilai SCF pada r/h=0,8 adalah 1,2535. Grafik tersebut juga dapat dikatakan bahwa semakin besar *radius fillet* pada model, maka semakin kecil Faktor Konsentrasi Tegangannya (pada rasio H/h yang sama).



Gambar 4.22 Grafik nilai SCF terhadap perubahan r/h pada model rasio H/h=2,5

Pada Gambar 4.22 dapat dilihat tren dari grafik model rasio H/h=2,5 dimana nilai SCF yang didapatkan semakin kecil dengan r/h yang semakin besar. Besarnya nilai SCF pada r/h=0,4 adalah 1,435. Nilai SCF pada r/h=0,6 adalah 1,325. Nilai SCF pada r/h=0,8 adalah 1,2611.

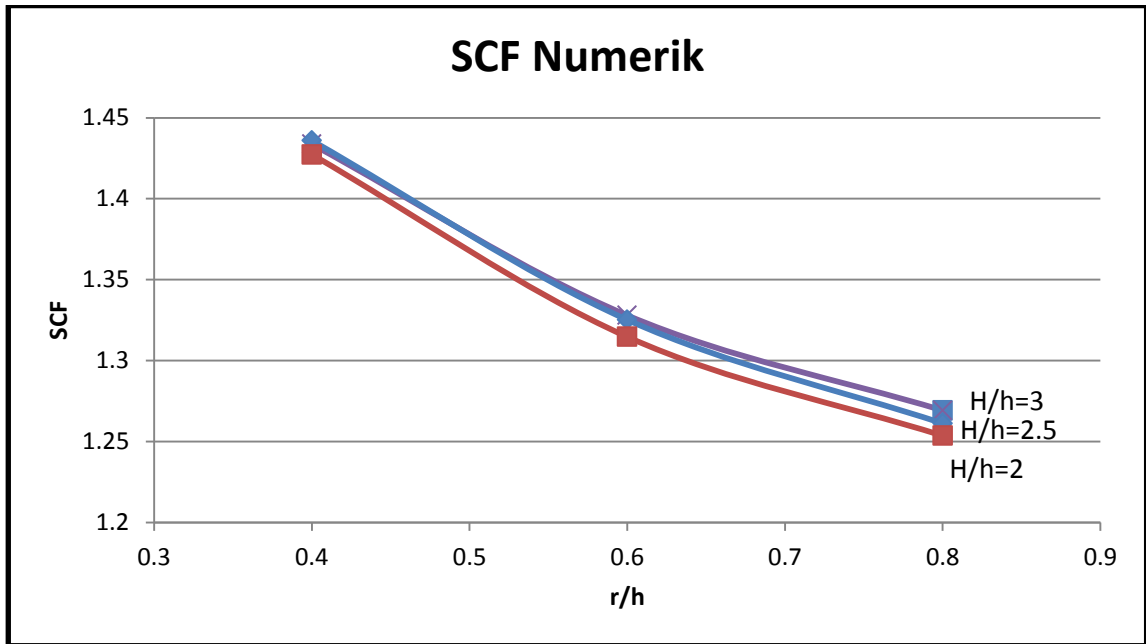
Grafik tersebut juga dapat dikatakan bahwa semakin besar *radius fillet* pada model, maka semakin kecil Faktor Konsentrasi Tegangannya (pada rasio H/h yang sama).



Gambar 4.23 Grafik nilai SCF terhadap perubahan r/h pada model rasio H/h=3

Pada Gambar 4.23 dapat dilihat tren dari grafik model rasio H/h 3 dimana nilai SCF yang didapatkan semakin kecil dengan r/h yang semakin besar. Besarnya nilai SCF pada r/h 0,4 adalah 1,434. Nilai SCF pada r/h=0,6 adalah 1,328. Nilai SCF pada r/h 0,8 adalah 1,269. Grafik tersebut juga dapat dikatakan bahwa semakin besar *radius fillet* pada model, maka semakin kecil Faktor Konsentrasi Tegangannya (pada rasio H/h yang sama).

Dari ketiga grafik diatas dapat dilihat bahwa untuk rasio H/h yang sama maka nilai Faktor Konsentrasi Tegangan terbesar berada pada r/h=0,4 dan nilai Faktor Konsentrasi Tegangan terkecil berada pada r/h=0.8. Setelah nilai Faktor Konsentrasi Tegangan didapatkan antara masing-masing rasio H/h, maka dilakukan perbandingan nilai antara rasio H/h tersebut untuk melihat rasio H/h mana yang mempunyai nilai Faktor Konsentrasi Tegangan terbesar ataupun terkecil. Perbandingan nilai Faktor Konsentrasi Tegangan antara rasio H/h dapat dilihat pada Gambar 4.24 dibawah ini.



Gambar 4.24 Grafik perbandingan nilai SCF antar rasio H/h

Terlihat pada Gambar 4.24 bahwa secara umum nilai SCF terbesar berada pada rasio $H/h=3$ yang berarti bahwa semakin kecil *radius fillet* material, semakin besar nilai SCF-nya dan semakin besar perbandingan rasio lebar grip dan lebar spesimen (H/h), semakin besar pula nilai SCF-nya. Distribusi tegangan terbesar dari 9 model berada pada rasio $H/h=3$ radius 8mm yang menghasilkan tegangan maksimal arah sumbu-x sebesar 262,676 Mpa dan tegangan nominal arah sumbu-x sebesar 183,213 Mpa.

4.4. Pengaruh rasio H/h terhadap distribusi tegangan

Ketika tegangan yang terjadi pada sebuah material hanya tegangan normal, maka nilai tegangan yang dihasilkan antara tegangan arah (searah beban) dengan tegangan mises tidak terdapat perbedaan. Pada pelat dengan *fillet* asimetris, ketika beban tarik diberikan pada pelat tersebut maka terdapat perbedaan nilai antara tegangan arah sumbu-x dengan tegangan mises dikarenakan adanya pengaruh momen *bending* akibat dari pelat yang tidak simetri. Penelitian ini hanya melihat perbedaan besar tegangan makimal yang terjadi antara tegangan maksimal arah sumbu-x dan tegangan mises maksimal yang didapatkan dari pendekatan numerik atau menggunakan *Finite Element Analysis (FEA)*. Perbedaan tegangan maksimal anatar keduanya dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

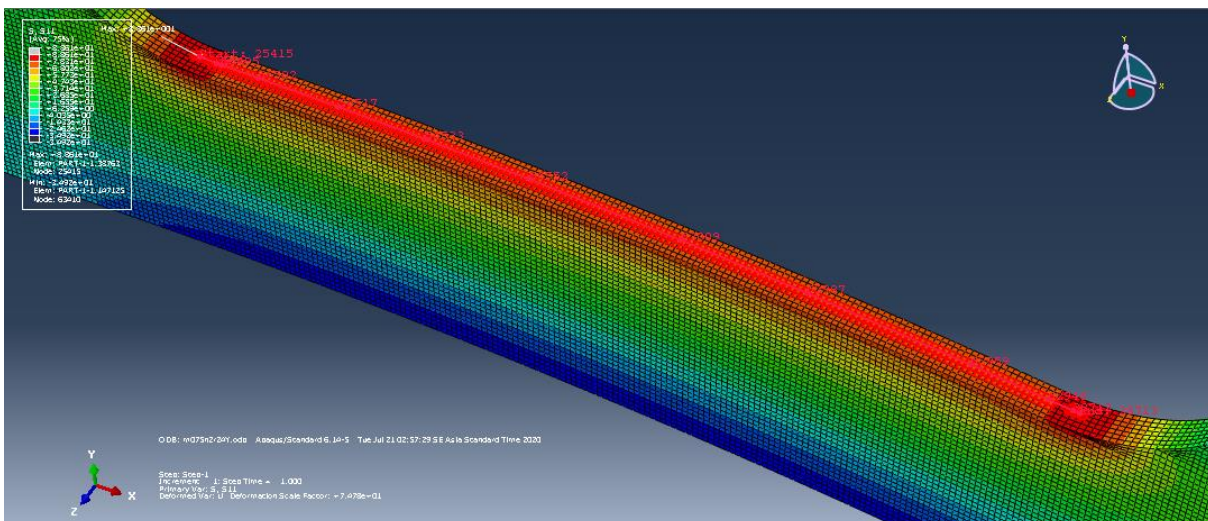
Tabel 4.3 Perbedaan nilai Tegangan maksimal arah sumbu-x dengan Tegangan mises maksimal

H/h	r/h	Tegangan max (Sb-x)	Tegangan Max	(Teg.mises – Teg.arah sb-x) /
		(MPa)	(MPa)	Teg.mises %
2	0,4	100,890	102,360	1.436107855
2	0,6	92,926	93,979	1.121094365
2	0,8	88,607	89,3434	0.824459333
2,5	0,4	173,291	176,396	1.760243996
2,5	0,6	159,924	161,160	0.766939687
2,5	0,8	152,200	153,320	0.730498304
3	0,4	262,676	269,122	2.395196231
3	0,6	243,296	246,555	1.321814605
3	0,8	232,536	233,734	0.512548453

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa perbedaan terbesar berada pada rasio H/h=3 dan r/h=0.4. perbedaan nilai disajikan dalam persen. Dapat dikatakan bahwa semakin besar rasio H/h pada r/h yang sama, maka perbedaan nilai juga semakin besar dalam artian pengaruh momen bending juga semakin besar. Sedangkan semakin besar rasio r/h pada H/h yang sama, maka perbedaan nilai semakin kecil dalam artian pengaruh momen bending juga semakin kecil.

4.5. Distribusi Tegangan Sepanjang Model

Untuk melihat distribusi tegangan memanjang model maka dilakukan proses yang sama seperti yang telah dijelaskan pada subbab 4.2 sebelumnya. Proses plotting dilakukan sepanjang model antara *radius fillet* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.1 dibawah ini.

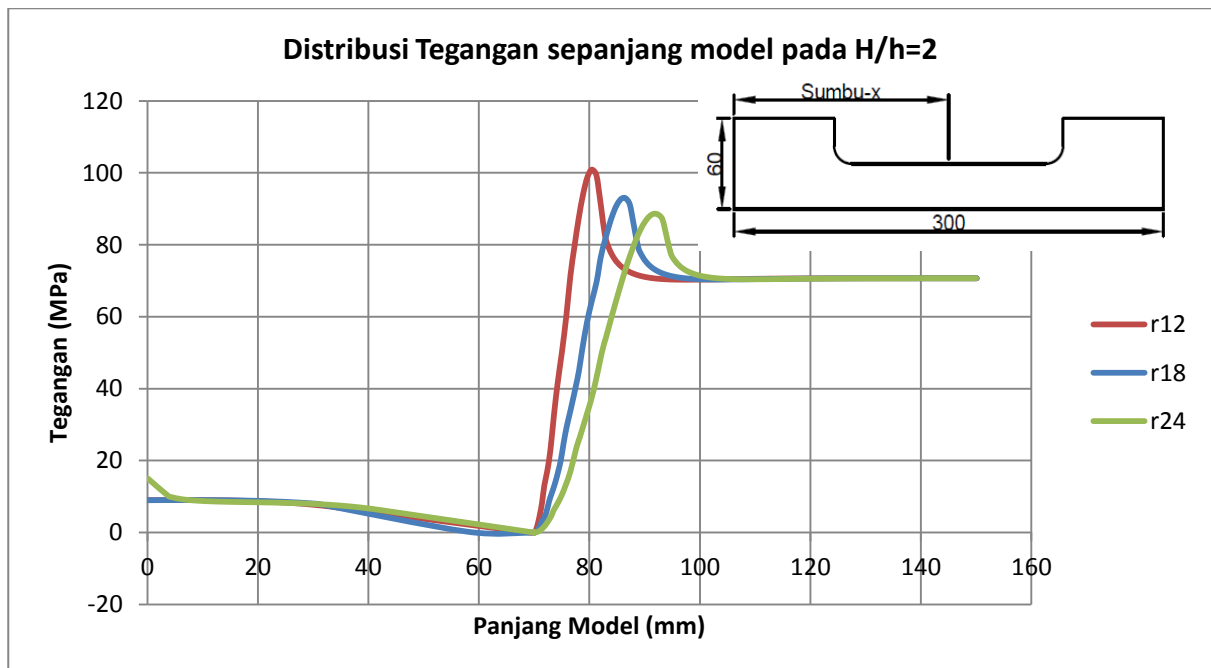


Gambar 4.25 Proses *Create path* sepanjang model antara *fillet radius*

Pada Gambar 4.25 *plotting* dimulai pada titik dengan nilai tegangan tertinggi yaitu berada pada *radius fillet* dan *plotting* berakhir juga di titik yang sama pada *radius fillet* sisi lainnya. Sedangkan hasil distribusi tegangannya dapat dilihat pada subbab berikut ini.

4.5.1. Rasio $H/h=2$

Berikut adalah grafik tegangan yang terjadi sepanjang model pada rasio $H/h=2$ antara *fillet radius* dimana sumbu-x dari grafik ini adalah setengah dari panjang model dalam satuan milimeter (mm) dan sumbu-y pada grafik ini adalah besarnya Tegangan dalam satuan MegaPascal (MPa). Nilai sumbu-x=0 pada grafik yang akan disajikan berada pada ujung sisi model.



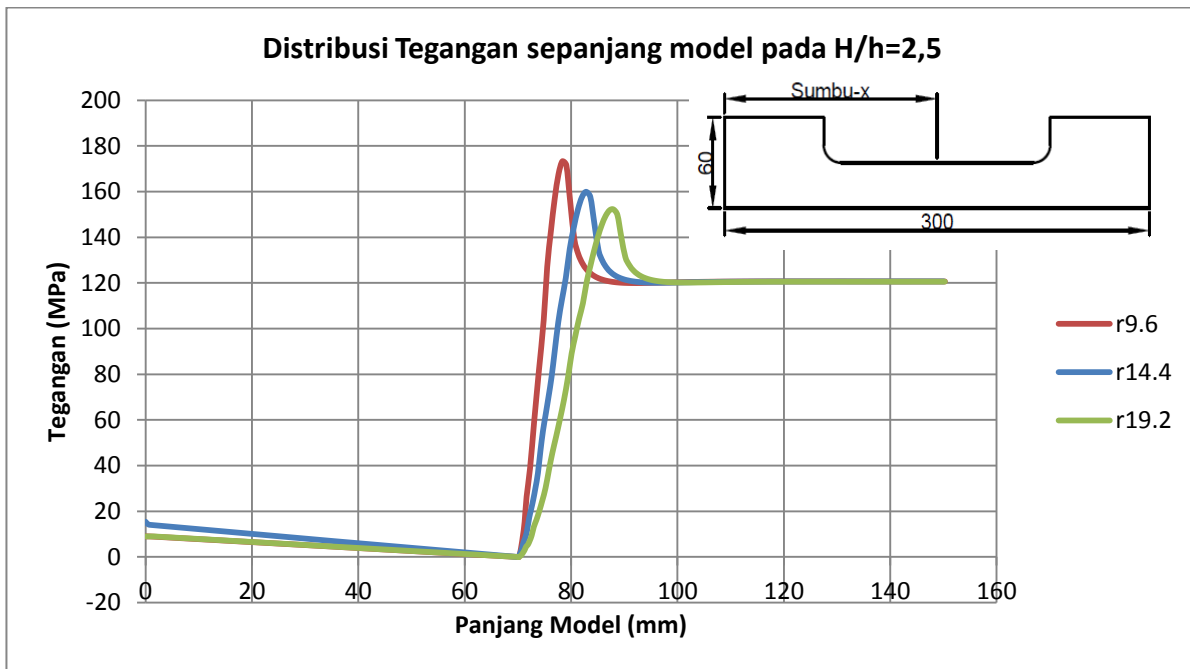
Gambar 4.26 Distribusi tegangan sepanjang model $H/h=2$

Gambar 4.26 adalah distribusi tegangan yang terjadi sepanjang model $H/h=2$. Penyajian tegangan hanya setengah dari panjang model keseluruhan yaitu 150 mm dari ujung lebar *grip* dikarenakan bentuk yang sama antara sisi kanan dan sisi kiri pada model yang didesain. Terlihat pada Gambar 4.26 bahwa tren grafik antara radius fillet 12 mm, 18 mm, dan 24 mm mempunyai nilai yang relatif sama mulai dari sumbu-x= 0 mm sampai dengan sumbu-x= 70 mm. Titik ini merupakan perubahan lebar *grip* pada model. Dari titik ini, distribus tegangan naik sampai pada nilai sumbu-y tertinggi pada masing-masing model. Terlihat bahwa tren grafik pada radius 12 mm mempunyai kenaikan yang paling tajam dibandingkan dengan radius 18 mm dan radius 24 mm. Terlihat juga bahwa nilai tegangan tertinggi

terhadap sumbu-x dan sumbu-y mempunyai titik yang berbeda untuk masing-masing model. Hal ini dikarenakan perbedaan *radius fillet* pada masing-masing model. Dari titik tegangan tertinggi, tren grafiknya mulai turun hingga mencapai nilai tegangan yang konstan. Nilai tegangan yang konstan ini merupakan tegangan nominal pada masing-masing model. Dapat dilihat bahwa tegangan nominal sepanjang bagian atas untuk $r/h=0,4$, $r/h=0,6$, dan $r/h=0,8$ mempunyai nilai yang identik sama yaitu 70,684 MPa.

4.5.2. Rasio $H/h=2,5$

Berikut adalah grafik tegangan yang terjadi sepanjang model pada rasio $H/h=2,5$ antara *fillet radius* dimana sumbu-x dari grafik ini adalah setengah dari panjang model dalam satuan milimeter (mm) dan sumbu-y pada grafik ini adalah besarnya Tegangan dalam satuan MegaPascal (MPa).



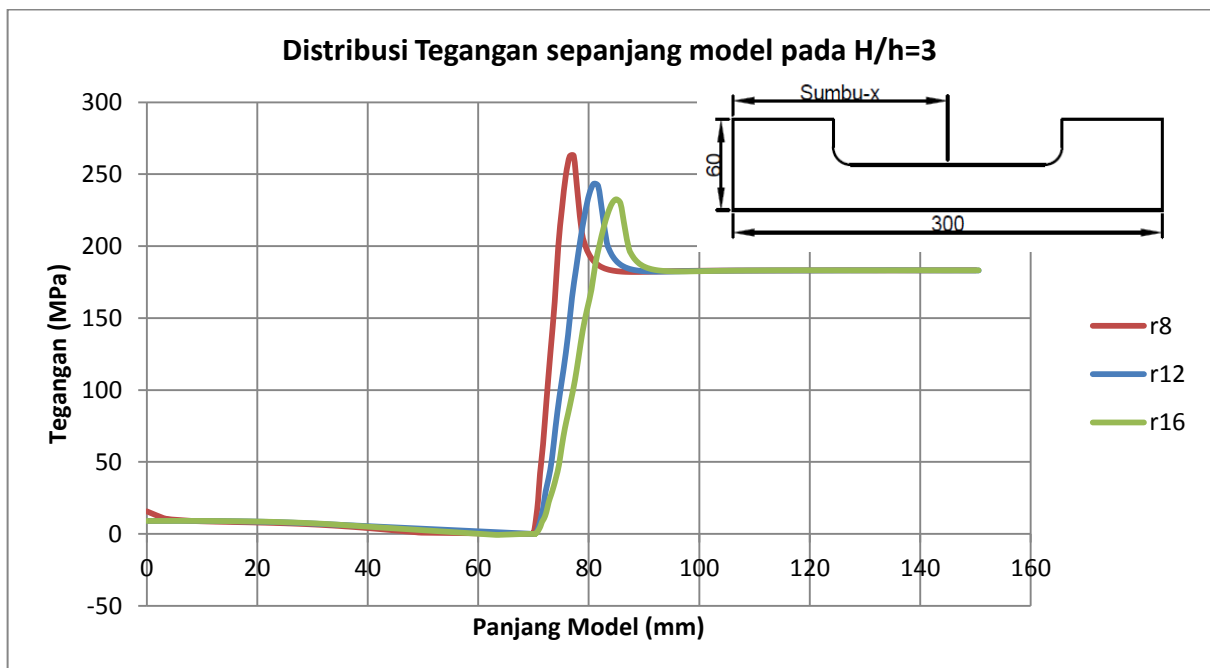
Gambar 4.27 Distribusi tegangan sepanjang model $H/h=2,5$

Gambar 4.27 adalah distribusi tegangan yang terjadi sepanjang model $H/h=2,5$. Penyajian tegangan hanya setengah dari panjang model keseluruhan yaitu 150mm dari ujung lebar *grip* dikarenakan bentuk yang sama antara sisi kanan dan sisi kiri pada model yang didesain. Terlihat pada Gambar 4.27 bahwa tren grafik antara radius fillet 9,6 mm, 14,4 mm, dan 19,6 mm mempunyai nilai yang relatif sama mulai dari sumbu-x= 0mm sampai dengan sumbu-x= 70 mm. Titik ini merupakan perubahan lebar *grip* pada model. Dari titik ini, distribus tegangan naik sampai pada nilai sumbu-y tertinggi pada masing-masing model. Terlihat bahwa tren grafik pada radius 9,6 mm mempunyai kenaikan yang paling tajam

dibandingkan dengan radius 14,4 mm dan radius 19,2 mm. Terlihat juga bahwa nilai tegangan tertinggi terhadap sumbu-x dan sumbu-y mempunyai titik yang berbeda untuk masing-masing model. Hal ini dikarenakan perbedaan *radius fillet* pada masing-masing model. Dari titik tegangan tertinggi, tren grafiknya mulai turun hingga mencapai nilai tegangan yang konstan. Nilai tegangan yang konstan ini merupakan tegangan nominal pada masing-masing model. Dapat dilihat bahwa tegangan nominal sepanjang bagian atas untuk $r/h=0,4$, $r/h=0,6$, dan $r/h=0,8$ mempunyai nilai yang identik sama yaitu 120,681MPa.

4.5.3. Rasio H/h=3

Berikut adalah grafik tegangan yang terjadi sepanjang model pada rasio H/h=3 antara *fillet radius* dimana sumbu-x dari grafik ini adalah *true distance* dalam satuan milimeter (mm) dan sumbu-y pada grafik ini adalah besarnya Tegangan dalam satuan MegaPascal (MPa).



Gambar 4.28 Distribusi tegangan sepanjang model H/h=3

Gambar 4.28 adalah distribusi tegangan yang terjadi sepanjang model H/h=3. Penyajian tegangan hanya setengah dari panjang model keseluruhan yaitu 150mm dari ujung lebar *grip* dikarenakan bentuk yang sama antara sisi kanan dan sisi kiri pada model yang didesain. Terlihat pada Gambar 4.28 bahwa tren grafik antara radius fillet 8mm, 12mm, dan 16mm mempunyai nilai yang relatif sama mulai dari sumbu-x= 0mm sampai dengan sumbu-x= 70 mm. Titik ini merupakan perubahan lebar *grip* pada model. Dari titik ini, distribusi tegangan naik sampai pada nilai sumbu-y tertinggi pada masing-masing model. Terlihat bahwa tren grafik pada radius 8mm mempunyai kenaikan yang paling tajam dibandingkan

dengan radius 12mm dan radius 16mm. Terlihat juga bahwa nilai tegangan tertinggi terhadap sumbu-x dan sumbu-y mempunyai titik yang berbeda untuk masing-masing model. Hal ini dikarenakan perbedaan *radius fillet* pada masing-masing model. Dari titik tegangan tertinggi, tren grafiknya mulai turun hingga mencapai nilai tegangan yang konstan. Nilai tegangan yang konstan ini merupakan tegangan nominal pada masing-masing model. Dapat dilihat bahwa tegangan nominal sepanjang bagian atas untuk $r/h=0,4$, $r/h=0,6$, dan $r/h=0,8$ mempunyai nilai yang identik sama yaitu 183,213 MPa.

Dari hasil distribusi tegangan sepanjang model diatas dapat dilihat bahwa distribusi tegangan tertinggi berada pada rasio $H/h=3$ untuk r/h yang sama. Sedangkan untuk H/h yang sama, distribusi tegangan tertinggi berada pada rasio $r/h=0,4$. Dari Sembilan model, dapat dilihat bahwa distribusi tegangan sepanjang model tertinggi berada pada model $H/h=3$ dengan $r/h=0,4$ atau *radius fillet* 8 mm. Tren grafik yang paling curam kenaikan tegangannya berada pada $r/h=0,4$ kemudian $r/h=0,6$ dengan kenaikan tegangan yang lebih landai, dan $r/h=0,8$ yang kenaikan tegangannya paling landai. Adapun tegangan pada bagian atas sepanjang model dapat dikatakan sama untuk rasio H/h yang sama.

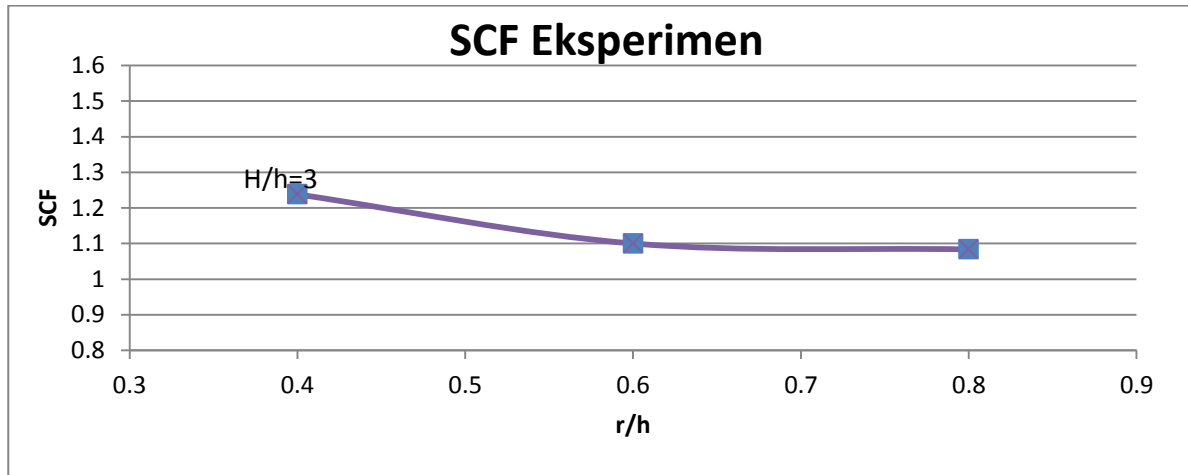
4.6. Faktor Konsentrasi Tegangan dari Eksperimen

Hasil dari eksperimen yang dilakukan pada tugas akhir ini berupa regangan yang didapatkan dari *strain gauge* dimana regangan ini nantinya akan dikalikan dengan modulus elastisitas material untuk mendapatkan nilai dari tegangan nominal dan tegangan maksimal.

Tabel 4.4 Faktor konsentrasi tegangan eksperimen

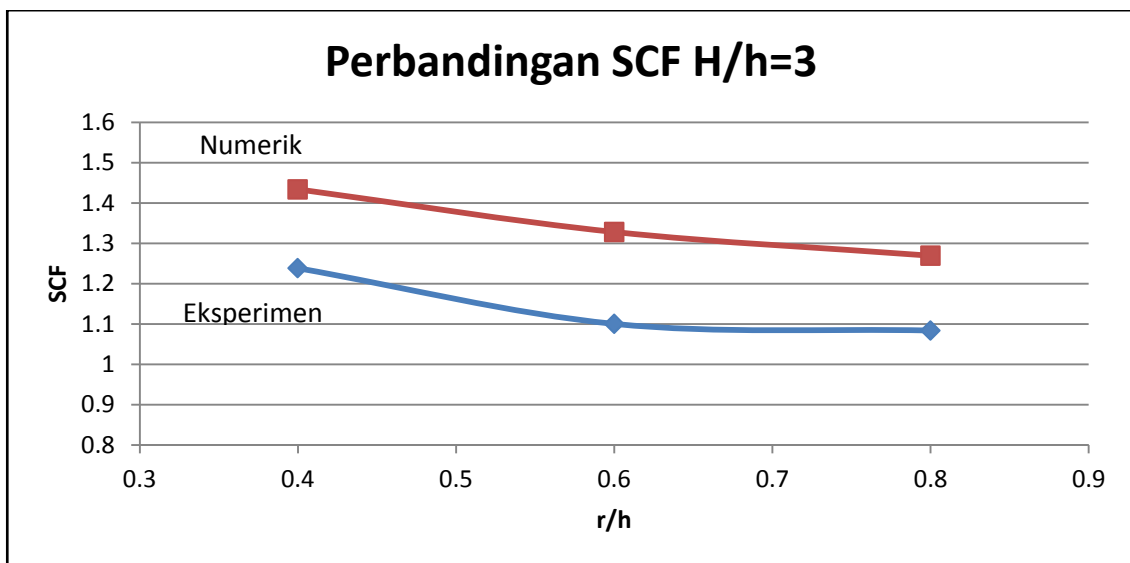
H/h	radius (mm)	Tegangan maks (MPa)	Tegangan ref (MPa)	SCF
3	8	259,635	209.694	1,238
	12	249,988	227.226	1,100
	16	227,942	210.347	1,084

Pada Tabel 4.4 terlihat bahwa nilai SCF terbesar berada pada radius 8mm atau pada $r/h=0.4$ dan nilai SCF terkecil berada pada radius 16 mm atau pada $r/h=0.8$ yang berarti bahwa semakin besar *radius fillet*, semakin besar nilai SCF-nya. Grafik SCF dengan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 4.29 dibawah ini dengan sumbu-x adalah rasio radius terhadap lebar spesimen (r/h) dan sumbu-y adalah nilai Faktor Konsentrasi Tegangan.



Gambar 4.29 Grafik SCF pada Pendekatan Eksperimen

Hasil dari eksperimen ini hanya untuk melihat tren grafik dari nilai SCF terhadap r/h . Terlihat pada Gambar 4.29 bahwa semakin besar r/h , maka nilai SCF juga semakin besar. Sedangkan perbedaan Faktor Konsentrasi Tegangan yang didapatkan antara perhitungan numerik dan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 4.30 dibawah ini.



Gambar 4.30 Perbandingan SCF Numerik dan Eksperimen pada rasio $H/h=3$

Pada Gambar 4.30 terlihat bahwa nilai SCF yang didapatkan antara perhitungan numerik dan eksperimen mempunyai tren grafik yang sama. Dapat dilihat bahwa tren grafik antara keduanya terjadi penurunan nilai SCF seiring dengan pertambahan rasio r/h .

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis oleh penulis terkait Faktor Konsentrasi Tegangan pada pelat *fillet* asimetris akibat beban tarik maka dapat disimpulkan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan numerik didapatkan nilai SCF pada rasio $H/h=2$ yaitu 1.427 untuk $r/h=0.4$, 1.315 untuk $r/h=0.6$, dan 1.254 untuk $r/h=0.8$. Nilai SCF pada rasio $H/h=2.5$ yaitu 1.436 untuk $r/h=0.4$, 1.325 untuk $r/h=0.6$, dan 1.261 untuk $r/h=0.8$. Nilai SCF pada rasio $H/h=3$ yaitu 1.434 untuk $r/h=0.4$, 1.328 untuk $r/h=0.6$, dan 1.269 untuk $r/h=0.8$.
2. Dari hasil perhitungan menggunakan FEA dapat disimpulkan bahwa untuk rasio H/h yang sama, semakin besar rasio r/h maka semakin kecil Faktor Konsentrasi Tegangannya, sedangkan untuk rasio r/h yang sama, semakin besar H/h maka Faktor Konsentrasi Tegangannya semakin besar pula.
3. Distribusi tegangan melintang yang terjadi pada pelat dengan *fillet* asimetri mempunyai tren grafik yang sama yaitu linier dimana tegangan nominal pada H/h yang sama, mempunyai nilai yang sama besar. Selain itu distribusi tegangan melintang model juga terdapat tegangan bernilai negatif (berlawanan arah beban) disepanjang dikarenakan adanya momen *bending* pada model. Distribusi tegangan yang terjadi sepanjang model memiliki tren grafik yang sama untuk semua model dimana tegangan yang terjadi sepanjang model pada bagian atas mempunyai nilai yang relatif sama (tegangan nominal) dan terjadi kenaikan nilai tegangan pada daerah *radius fillet*.

5.2. Saran

Diperlukan perhitungan Faktor Konsentrasi Tegangan dengan menggunakan pendekatan empiris dan eksperimen sebagai pembandingan Faktor Konsentrasi Tegangan pada pendekatan numerik. Selain itu disarankan desain spesimennya menggunakan rasio H/h yang lebih kecil dari penelitian ini dikarenakan adanya momen *bending* pada pelat asimetris seperti yang didesain pada penelitian kali ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Biro Klasifikasi Indonesia. (2006). Rules for the Classification and Construction of Seagoing Steel Ships. In *BKI VOLUME V* (p. Section 2). Jakarta.
- Budiman, H. (2016). Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) pada Baja ST37 dengan Alat Bantu Ukur Load Cell. *Jurnal J-Ensitem*, 9-12.
- KBBI. (2020, April). <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/konvergensi>. Retrieved from kbbi.kemdikbud.go.id.
- Logan, D. L. (2007). Chapter 3, Development Of Truss Equations. In D. L. Logan, *A First Course in the Finite Element Method, Fourth Edition* (pp. 73-74). Canada: Chris Carson.
- Mulyati. (2006). Bahan Ajar Terseleksi Mekanika Bahan. sisfo.itp.ac.id, 1-20.
- Noda, N.-A., Takshe, Y., & Monda, K. (1997). Stress concentration factors for shoulder fillets in round and flat bars under various loads. *International Journal of Fatigue*, 75-84.
- Palmiyanto, M. H. (2008). Perbandingan Hasil Analisa Konsentrasi Tegangan Pada Pelat Berlubang Akibat Beban Tarik dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga dan Kajian Eksperimen. *Jurnal Teknik ATW Surakarta*, 26-33.
- Pangguru, I. B. (2014). *Metode Elemen Hingga: Teori dan Konsep Dasar*. Makassar: Yayasan John Hi-Tech Idetama.
- Pilkey, W. D. (1997). *Peterson's Stress Concentration Factors-2nd Ed*. New York: A Wiley-Interscience Publication.
- Popov, E., & Astamar, z. (1984). *Mekanika Teknik (Mechanics of Materials)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Riko, J. H. (2014). *Tegangan Regangan dan Modulus*. Malang: Universitas Katolik Widya Karya.
- Roni, A. (2019). Analisis Konsentrasi Tegangan pada Isotropic Circular Hole dengan Metode Numerik dan Eksperimen. *Jurnal Teknik ITS*, 1-6.
- Saputra, H. A. (2009). Konsep Konsentrasi Tegangan (Stress). *Teknik Metalurgi dan Material*.
- Siputra, A. D. (2019). Analisa Faktor Konsentrasi Tegangan Pelat dengan Fillet Akibat Beban Tarik Menggunakan Pendekatan Numerik dan Eksperimen. *Jurnal Teknik ITS*, 1-6.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

- a. Sertifikat Material SS400
- b. Pemasangan *Strain Gage*
- c. Gambar Kertas Pengujian SS400
- d. Gambar Kertas Eksperimen Pengujian Tarik
- e. Hasil Perhitungan Eksperimen Pengujian Tarik Dengan *Strain Gauge*
- f. Grafik Regangan Eksperimen Pengujian Tarik
- g. Distribusi Tegangan melintang
- h. Distribusi Tegangan memanjang

a. Sertifikat material SS400

PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL
Surabaya - Indonesia

MILL CERTIFICATE

HEAD OFFICE :
Jl. Margomulyo No. 29 A P.O. Box. 1978
Tandes - Surabaya 60183
Phone : (62-31) 7490598 (Hunting)
Fax : (62-31) 7490581
E-mail : gunawan@gds.co.id



Certificate : GDS/QC/2003/1233 (B)
Date : 01st September 2003
Despatch Advice No. : 315/LDQ08/2003
Cert. No. : 5

Purchaser :
Purchaser's Order No. :
Material : MILD STEEL PLATES
Specification : JIS G3101SS400

Dimensional Tolerance to JIS G3193

Heat Number	Plate Number	Quantity	Dimensions			Weight (MT)	Test No.	Ladle Analysis (%)				Tensile Test			Bend Test 180°/3T	Impact Value in Joule (°C)				Refer	
			T mm	W mm	L mm			C	Si	Mn	P	S	Y.S N/mm ²	T.S N/mm ²		EL% 200mm	I	II	III		IV
Z 523339	S 21-23 3	3	6	1524	6096	1.749	Q1	0.20	0.02	0.41	0.011	0.030	307	413	25						
	S 31-83 3			1.749		H2	0.15	0.02	0.39	0.010	0.033	331	402	29	OK	OK					
Z 1013279	K 21-24 4	4	"	"	"	2.332															
	S 21-22 2					1.186															
						6.996															

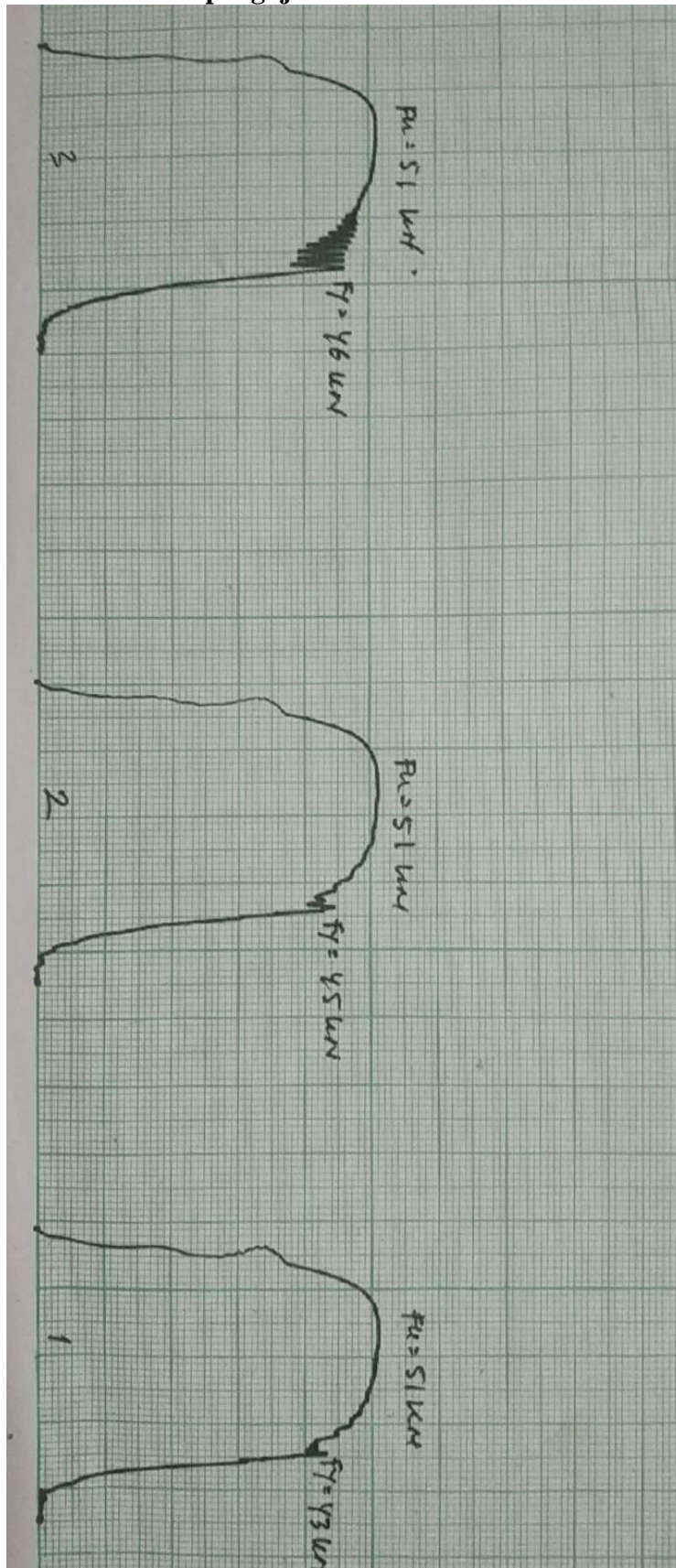
WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HERE IN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE ABOVE SPECIFICATION AND ALSO WITH THE REQUIREMENT CALLED FOR BY THE ABOVE ORDER

[Signature]
Ir. Pitak H Panja
Manager Quality Cont

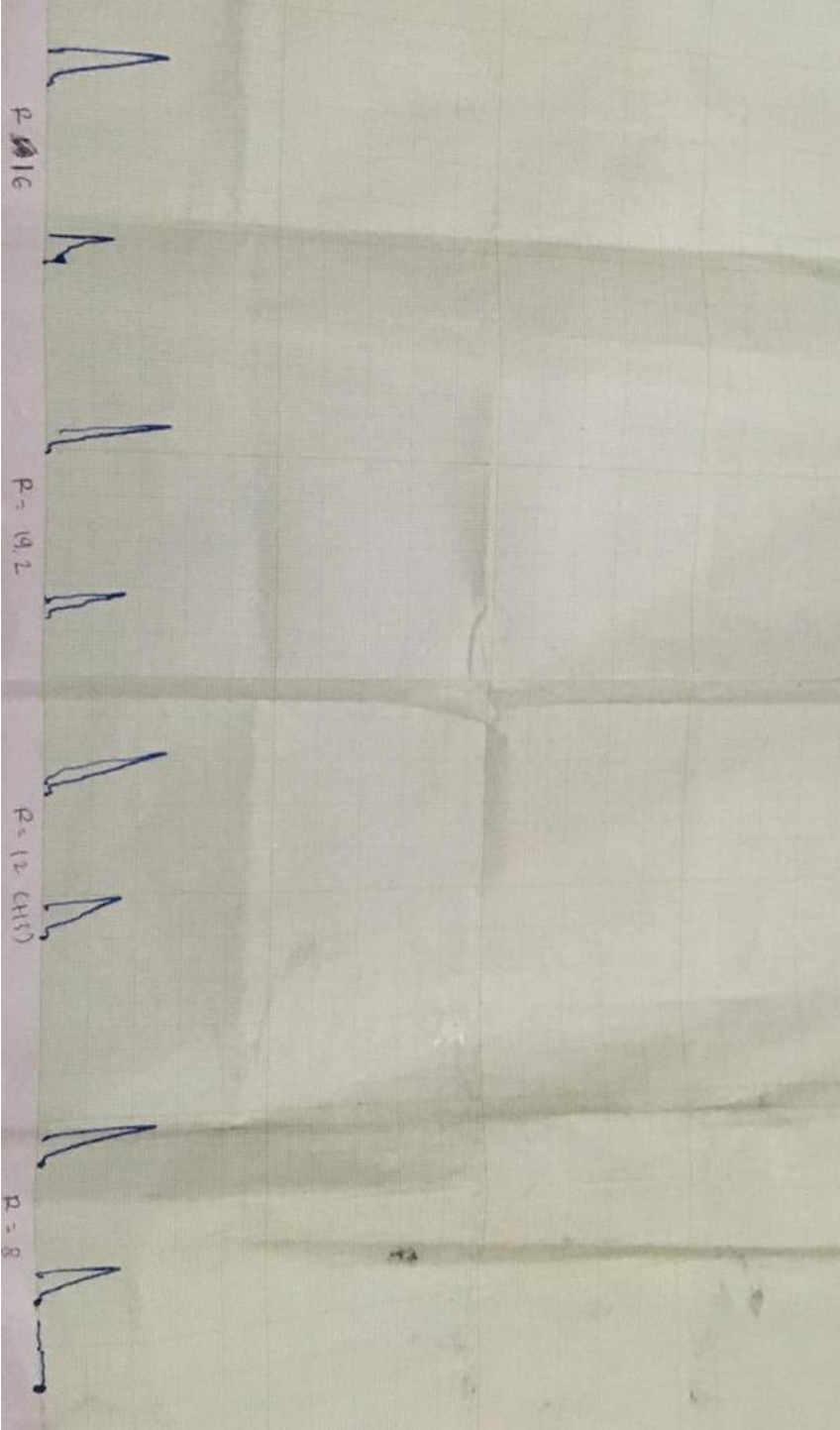
b. Pemasangan Strain Gauge
Rasio H/h 3 radius fillet 8 mm, 12 mm, dan 16 mm



c. Gambar kertas pengujian SS400



d. Gambar kertas hasil pengujian eksperimen



e. Hasil perhitungan eksperimen

MODEL r 8 mm h20

8 mm h20													E	210000
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001	micro strain			Tegangan					
1	355	127	300	0	0.000355	0.000127	0.0003	0	74.55	26.67	63.00	0.00		
2	359	141	303	0	0.000359	0.000141	0.000303	0	75.39	29.61	63.63	0.00		
3	369	133	314	0	0.000369	0.000133	0.000314	0	77.49	27.93	65.94	0.00		
4	493	164	429	0	0.000493	0.000164	0.000429	0	103.53	34.44	90.09	0.00		
5	734	198	611	0	0.000734	0.000198	0.000611	0	154.14	41.58	128.31	0.00		
6	1047	247	802	0	0.001047	0.000247	0.000802	0	219.87	51.87	168.42	0.00		
7	1337	278	1103	0	0.001337	0.000278	0.001103	0	280.77	58.38	231.63	0.00		
8	1607	310	1380	0	0.001607	0.00031	0.00138	0	337.47	65.10	289.80	0.00		
9	1887	335	1690	0	0.001887	0.000335	0.00169	0	396.27	70.35	354.90	0.00		
10	2160	376	1898	0	0.00216	0.000376	0.001898	0	453.60	78.96	398.58	0.00		
11	2488	415	2110	0	0.002488	0.000415	0.00211	0	522.48	87.15	443.10	0.00		
12	2826	465	2331	0	0.002826	0.000465	0.002331	0	593.46	97.65	489.51	0.00		
13	3201	533	2568	0	0.003201	0.000533	0.002568	0	672.21	111.93	539.28	0.00		
14	3619	616	2821	0	0.003619	0.000616	0.002821	0	759.99	129.36	592.41	0.00		
15	4084	717	3088	0	0.004084	0.000717	0.003088	0	857.64	150.57	648.48	0.00		
16	4569	824	3408	0	0.004569	0.000824	0.003408	0	959.49	173.04	715.68	0.00		
17	5087	949	3699	0	0.005087	0.000949	0.003699	0	1068.27	199.29	776.79	0.00		
18	5609	1072	4046	0	0.005609	0.001072	0.004046	0	1177.89	225.12	849.66	0.00		
19	6133	1181	4300	0	0.006133	0.001181	0.0043	0	1287.93	248.01	903.00	0.00		
20	6136	1159	4276	0	0.006136	0.001159	0.004276	0	1288.56	243.39	897.96	0.00		
21	6114	1149	4253	0	0.006114	0.001149	0.004253	0	1283.94	241.29	893.13	0.00		
22	6080	1129	4226	0	0.00608	0.001129	0.004226	0	1276.80	237.09	887.46	0.00		
23	6045	1117	4200	0	0.006045	0.001117	0.0042	0	1269.45	234.57	882.00	0.00		
24	6018	1099	4180	0	0.006018	0.001099	0.00418	0	1263.78	230.79	877.80	0.00		
25	5988	1089	4155	1	0.005988	0.001089	0.004155	0	1257.48	228.69	872.55	0.00		
26	5952	1069	4130	2	0.005952	0.001069	0.00413	0	1249.92	224.49	867.30	0.00		
27	5923	1060	4111	3	0.005923	0.00106	0.004111	0	1243.83	222.60	863.31	0.00		
28	5896	1042	4088	4	0.005896	0.001042	0.004088	0	1238.16	218.82	858.48	0.00		
29	5864	1031	4066	5	0.005864	0.001031	0.004066	0	1231.44	216.51	853.86	0.00		

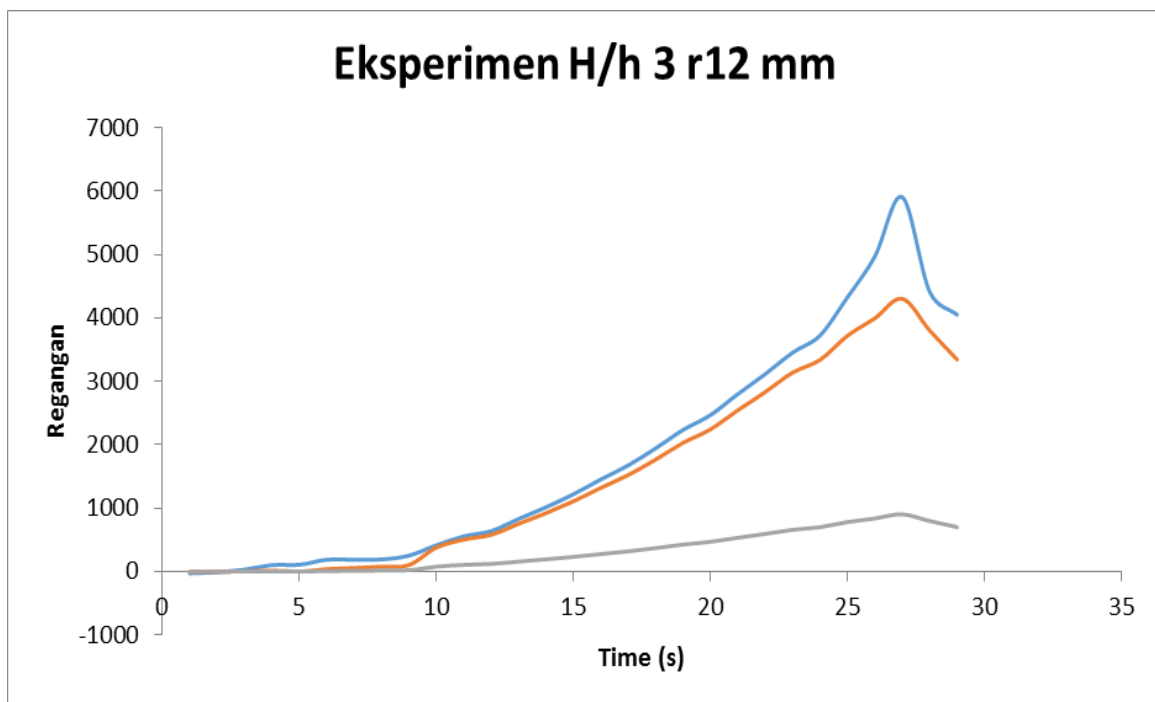
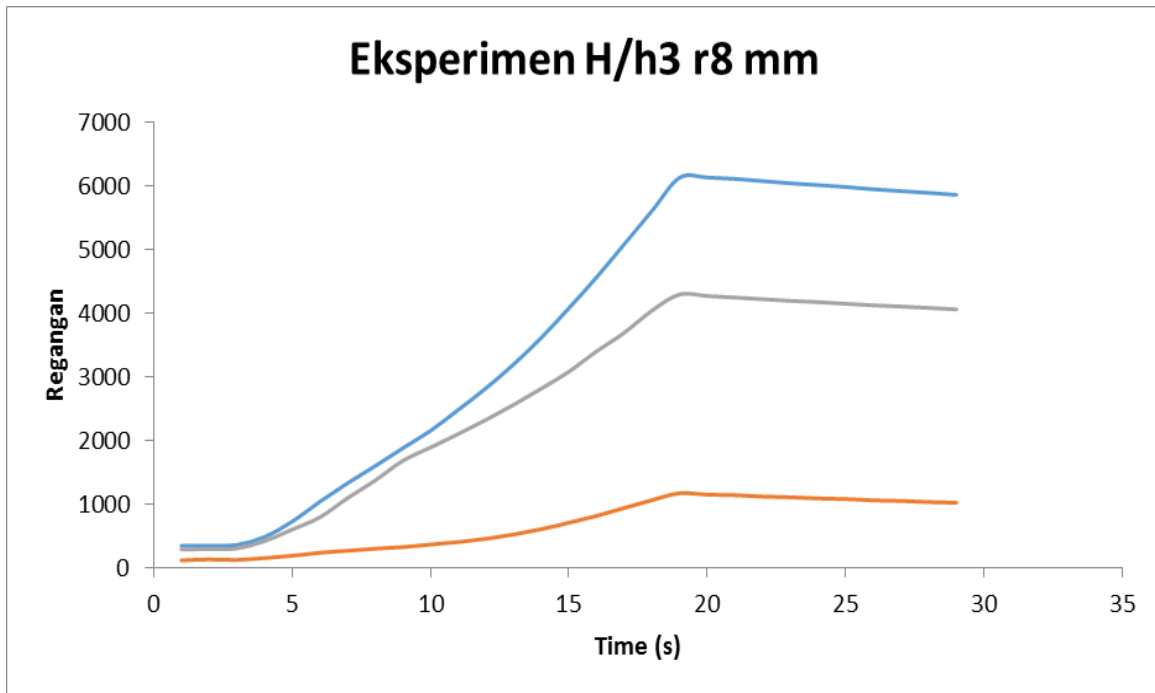
MODEL r 12 mm h20

12 mm h20												
E 210000												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001	micro strain			Tegangan			
1	-28	2	-4	0	-2.8E-05	0.000002	-4E-06	0	-5.88	0.42	-0.84	0.00
2	-12	3	-6	0	-1.2E-05	0.000003	-6E-06	0	-2.52	0.63	-1.26	0.00
3	32	11	5	0	0.000032	0.000011	0.000005	0	6.72	2.31	1.05	0.00
4	103	10	15	0	0.000103	0.00001	0.000015	0	21.63	2.10	3.15	0.00
5	108	-29	1	0	0.000108	-2.9E-05	0.000001	0	22.68	-6.09	0.21	0.00
6	187	-4	41	0	0.000187	-4E-06	0.000041	0	39.27	-0.84	8.61	0.00
7	187	-36	55	0	0.000187	-3.6E-05	0.000055	0	39.27	-7.56	11.55	0.00
8	192	-31	78	0	0.000192	-3.1E-05	0.000078	0	40.32	-6.51	16.38	0.00
9	252	-34	103	0	0.000252	-3.4E-05	0.000103	0	52.92	-7.14	21.63	0.00
10	417	-2	379	0	0.000417	-2E-06	0.000379	0	87.57	-0.42	79.59	0.00
11	556	17	505	0	0.000556	0.000017	0.000505	0	116.76	3.57	106.05	0.00
12	639	30	580	0	0.000639	0.00003	0.00058	0	134.19	6.30	121.80	0.00
13	831	17	755	0	0.000831	0.000017	0.000755	0	174.51	3.57	158.55	0.00
14	1016	28	923	0	0.001016	0.000028	0.000923	0	213.36	5.88	193.83	0.00
15	1220	47	1109	0	0.00122	0.000047	0.001109	0	256.20	9.87	232.89	0.00
16	1454	74	1321	1	0.001454	0.000074	0.001321	0	305.34	15.54	277.41	0.00
17	1676	103	1523	2	0.001676	0.000103	0.001523	0	351.96	21.63	319.83	0.00
18	1944	150	1767	3	0.001944	0.00015	0.001767	0	408.24	31.50	371.07	0.00
19	2235	209	2031	4	0.002235	0.000209	0.002031	0	469.35	43.89	426.51	0.00
20	2468	309	2243	5	0.002468	0.000309	0.002243	0	518.28	64.89	471.03	0.00
21	2800	452	2545	6	0.0028	0.000452	0.002545	0	588.00	94.92	534.45	0.00
22	3115	641	2831	7	0.003115	0.000641	0.002831	0	654.15	134.61	594.51	0.00
23	3454	891	3140	8	0.003454	0.000891	0.00314	0	725.34	187.11	659.40	0.00
24	3724	1132	3339	9	0.003724	0.001132	0.003339	0	782.04	237.72	701.19	0.00
25	4327	1278	3720	10	0.004327	0.001278	0.00372	0	908.67	268.38	781.20	0.00
26	4970	1431	3995	11	0.00497	0.001431	0.003995	0	1043.70	300.51	838.95	0.00
27	5908	1554	4305	12	0.005908	0.001554	0.004305	0	1240.68	326.34	904.05	0.00
28	4415	1678	3803	13	0.004415	0.001678	0.003803	0	927.15	352.38	798.63	0.00
29	4052	1847	3346	14	0.004052	0.001847	0.003346	0	850.92	387.87	702.66	0.00

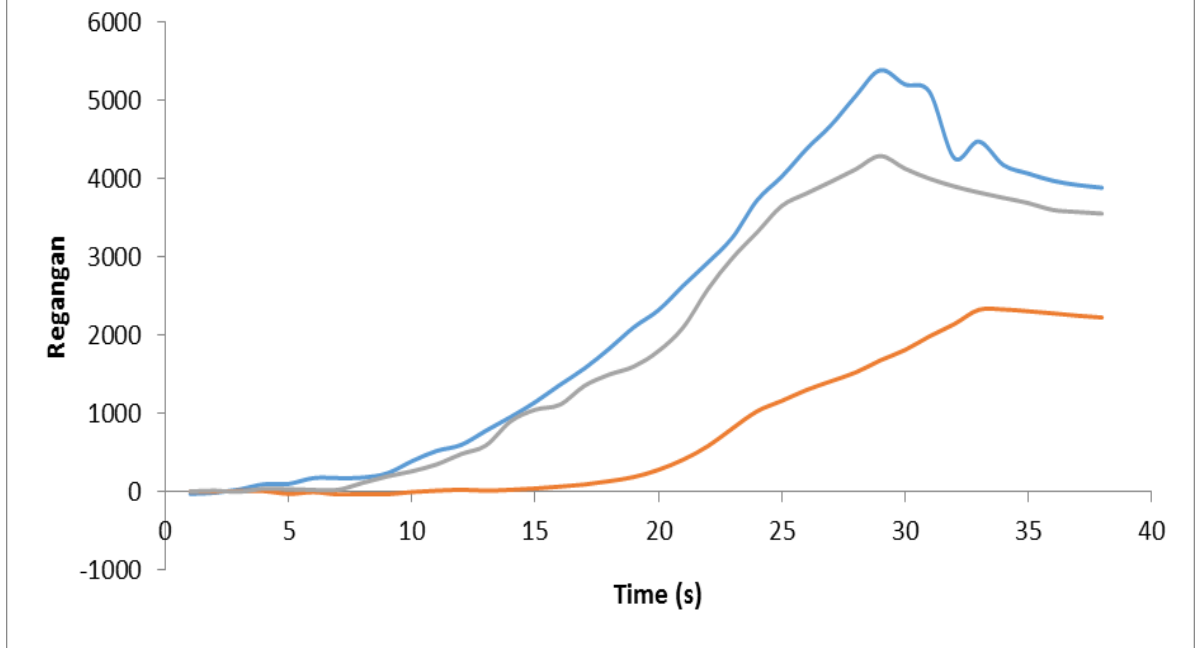
MODEL r 16 mm h20

16 mm h20													E	210000
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001	micro strain			Tegangan					
1	-26	2	5	0	-2.6E-05	0.000002	0.000005	0	-5.46	0.42	1.05	0.00		
2	-12	3	15	0	-1.2E-05	0.000003	0.000015	0	-2.52	0.63	3.15	0.00		
3	30	10	1	0	0.000003	0.000001	0.000001	0	6.30	2.10	0.21	0.00		
4	97	9	41	0	0.000097	0.000009	0.000041	0	20.37	1.89	8.61	0.00		
5	102	-26	34	0	0.000102	-2.6E-05	0.000034	0	21.42	-5.46	7.14	0.00		
6	176	-4	24	0	0.000176	-4E-06	0.000024	0	36.96	-0.84	5.04	0.00		
7	176	-33	26	0	0.000176	-3.3E-05	0.000026	0	36.96	-6.93	5.46	0.00		
8	181	-28	116	0	0.000181	-2.8E-05	0.000116	0	38.01	-5.88	24.36	0.00		
9	237	-31	198	0	0.000237	-3.1E-05	0.000198	0	49.77	-6.51	41.58	0.00		
10	392	-2	263	0	0.000392	-2E-06	0.000263	0	82.32	-0.42	55.23	0.00		
11	523	15	351	0	0.000523	0.000015	0.000351	0	109.83	3.15	73.71	0.00		
12	600	27	484	0	0.0006	0.000027	0.000484	0	126.00	5.67	101.64	0.00		
13	781	15	592	0	0.000781	0.000015	0.000592	0	164.01	3.15	124.32	0.00		
14	956	25	900	0	0.000956	0.000025	0.0009	0	200.76	5.25	189.00	0.00		
15	1147	43	1050	0	0.001147	0.000043	0.00105	0	240.87	9.03	220.50	0.00		
16	1367	67	1113	0	0.001367	0.000067	0.001113	0	287.07	14.07	233.73	0.00		
17	1577	94	1355	0	0.001577	0.000094	0.001355	0	331.17	19.74	284.55	0.00		
18	1828	136	1498	0	0.001828	0.000136	0.001498	0	383.88	28.56	314.58	0.00		
19	2102	190	1601	0	0.002102	0.00019	0.001601	0	441.42	39.90	336.21	0.00		
20	2321	281	1798	0	0.002321	0.000281	0.001798	0	487.41	59.01	377.58	0.00		
21	2633	411	2100	0	0.002633	0.000411	0.0021	0	552.93	86.31	441.00	0.00		
22	2929	583	2586	0	0.002929	0.000583	0.002586	0	615.09	122.43	543.06	0.00		
23	3248	810	2987	0	0.003248	0.00081	0.002987	0	682.08	170.10	627.27	0.00		
24	3724	1029	3314	0	0.003724	0.001029	0.003314	0	782.04	216.09	695.94	0.00		
25	4027	1162	3652	0	0.004027	0.001162	0.003652	0	845.67	244.02	766.92	0.00		
26	4378	1301	3812	0	0.004378	0.001301	0.003812	0	919.38	273.21	800.52	0.00		
27	4683	1413	3962	0	0.004683	0.001413	0.003962	0	983.43	296.73	832.02	0.00		
28	5056	1525	4120	0	0.005056	0.001525	0.00412	0	1061.76	320.25	865.20	0.00		
29	5387	1679	4291	0	0.005387	0.001679	0.004291	0	1131.27	352.59	901.11	0.00		
30	5206	1812	4130	1	0.005206	0.001812	0.00413	0	1093.26	380.52	867.30	0.00		
31	5111	1987	4002	2	0.005111	0.001987	0.004002	0	1073.31	417.27	840.42	0.00		
32	4266	2142	3903	3	0.004266	0.002142	0.003903	0	895.86	449.82	819.63	0.00		
33	4477	2326	3824	4	0.004477	0.002326	0.003824	0	940.17	488.46	803.04	0.00		
34	4175	2331	3756	5	0.004175	0.002331	0.003756	0	876.75	489.51	788.76	0.00		
35	4068	2307	3690	6	0.004068	0.002307	0.00369	0	854.28	484.47	774.90	0.00		
36	3975	2281	3602	7	0.003975	0.002281	0.003602	0	834.75	479.01	756.42	0.00		
37	3920	2251	3576	8	0.00392	0.002251	0.003576	0	823.20	472.71	750.96	0.00		
38	3886	2228	3555	9	0.003886	0.002228	0.003555	0	816.06	467.88	746.55	0.00		

f. Grafik Regangan eksperimen pengujian tarik



Eksperimen H/h3 r16 mm



g. Distribusi tegangan melintang model

○ **H/h 2**

R 12							
A		B		C		D	
X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)
60.000	-0.008	30.112	100.890	30.000	90.110	30.000	70.684
59.250	-0.011	30.112	99.494	29.250	82.869	29.250	69.333
58.500	-0.011	30.071	98.913	28.500	75.525	29.250	69.333
57.750	-0.007	30.000	94.469	27.750	69.233	28.500	66.631
57.000	-0.003	29.250	84.707	27.000	63.779	27.750	63.929
56.250	-0.001	28.500	74.702	26.250	58.970	27.000	61.227
55.500	0.001	27.750	67.428	25.500	54.661	26.250	58.525
54.750	0.003	27.000	61.629	24.750	50.746	25.500	55.824
54.000	0.004	26.250	56.738	24.000	47.143	24.750	53.122
53.250	0.005	25.500	52.477	23.250	43.793	24.000	50.420
52.500	0.005	24.750	48.668	22.500	40.646	23.250	47.718
51.750	0.006	24.000	45.200	21.750	37.665	22.500	45.017
51.000	0.007	23.250	41.994	21.000	34.822	22.500	45.017
50.250	0.008	22.500	38.994	20.250	32.092	21.750	42.315
49.500	0.009	21.750	36.157	19.500	29.455	21.000	39.613
48.750	0.010	21.000	33.452	18.750	26.897	20.250	36.911
48.000	0.012	20.250	30.854	18.000	24.404	19.500	34.210
47.250	0.014	19.500	28.343	17.250	21.965	18.750	31.508
46.500	0.018	18.750	25.905	16.500	19.570	18.750	31.508
43.500	0.062	18.000	23.525	15.750	17.212	18.000	28.806
42.750	0.097	17.250	21.194	15.000	14.883	17.250	26.105
42.000	0.172	16.500	18.902	14.250	12.577	16.500	23.403
41.219	0.304	15.750	16.642	13.500	10.289	15.750	20.701
40.437	0.670	15.000	14.407	12.750	8.012	15.000	17.999
39.656	1.499	14.250	12.191	12.000	5.744	14.250	15.298
38.874	2.939	13.500	9.990	11.250	3.479	13.500	12.596
38.093	5.080	12.750	7.798	10.500	1.214	12.750	9.894
37.311	7.993	12.000	5.612	9.750	-1.056	12.000	7.193
36.530	11.618	11.250	3.427	9.000	-3.334	11.250	4.491
35.748	15.596	10.500	1.239	8.250	-5.625	10.500	1.790
35.004	19.597	10.500	1.239	7.500	-7.931	9.750	-0.912
34.259	23.478	9.750	-0.954	6.750	-10.258	9.000	-3.614
33.515	27.155	9.000	-3.158	6.000	-12.608	8.250	-6.315
32.636	30.534	8.250	-5.375	5.250	-14.987	7.500	-9.017
31.757	33.300	7.500	-7.609	4.500	-17.398	6.750	-11.718
30.879	35.256	6.750	-9.864	3.750	-19.845	6.000	-14.420
30.000	36.424	6.000	-12.143	3.000	-22.335	5.250	-17.122
29.250	36.924	5.250	-14.452	2.250	-24.871	4.500	-19.823
28.500	36.936	4.500	-16.793	1.500	-27.460	3.750	-22.525
27.750	36.581	3.750	-19.171	0.750	-30.110	3.000	-25.226
27.000	35.926	3.000	-21.592	0.000	-31.451	2.250	-27.928
26.250	35.032	2.250	-24.060			1.500	-30.629
25.500	33.950	1.500	-26.582			0.750	-33.331
24.750	32.725	0.750	-29.165			0.000	-34.682
24.000	31.391	0.000	-30.473				
23.250	29.976						
22.500	28.501						
21.750	26.983						
21.000	25.435						
20.250	23.864						
19.500	22.277						
18.750	20.680						
18.000	19.075						
17.250	17.464						
16.500	15.849						
15.750	14.230						
15.000	12.608						
14.250	10.983						

13.500	9.355
12.750	7.724
12.188	6.497
12.000	6.088
11.250	4.448
10.500	2.802
9.750	1.150
9.000	-0.509
8.250	-2.176
7.500	-3.851
6.750	-5.536
6.000	-7.232
5.250	-8.940
4.500	-10.661
3.750	-12.396
3.000	-14.146
2.250	-15.914
1.500	-17.699
0.750	-19.505
0.000	-20.413

R 18							
A		B		C		D	
X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)
60.000	-0.010	30.066	92.926	30.000	84.667	30.000	70.684
59.250	-0.012	30.066	92.121	29.250	79.369	29.250	69.333
58.500	-0.011	30.042	91.855	28.500	73.605	28.500	66.631
57.750	-0.005	30.000	88.830	27.750	68.398	27.750	63.929
57.000	-0.001	29.250	81.614	27.000	63.674	27.000	61.227
56.250	0.002	28.500	73.802	26.250	59.353	26.250	58.525
55.500	0.004	27.750	67.684	25.500	55.362	25.500	55.824
52.500	0.010	27.000	62.522	24.750	51.647	24.750	53.122
51.000	0.015	26.250	57.989	24.000	48.162	24.000	50.420
50.250	0.016	25.500	53.915	23.250	44.870	23.250	47.718
49.500	0.024	24.750	50.189	22.500	41.739	23.250	47.718
48.750	0.028	24.000	46.736	21.750	38.745	22.500	45.016
48.000	0.049	23.250	43.501	21.000	35.867	22.500	45.016
47.249	0.075	22.500	40.444	20.250	33.088	21.750	42.315
46.498	0.113	21.750	37.533	19.500	30.392	21.000	39.613
45.746	0.248	21.000	34.742	18.750	27.766	20.250	36.911
44.995	0.505	20.250	32.051	18.000	25.201	19.500	34.210
44.244	0.902	19.500	29.444	17.250	22.687	18.750	31.508
43.493	1.513	18.750	26.907	16.500	20.216	18.000	28.806
42.741	2.357	18.000	24.429	15.750	17.780	17.250	26.105
41.990	3.469	17.250	22.000	15.000	15.373	16.500	23.403
41.239	4.940	16.500	19.611	14.250	12.990	15.750	20.701
40.366	6.881	15.750	17.256	13.500	10.625	15.000	18.000
39.494	9.206	15.000	14.928	12.750	8.274	14.250	15.298
38.622	11.695	14.250	12.622	12.000	5.932	13.500	12.596
37.784	14.215	13.500	10.332	11.250	3.595	13.500	12.596
36.947	16.715	12.750	8.053	10.500	1.259	12.750	9.894
36.109	19.137	12.000	5.782	9.750	-1.080	12.000	7.193
35.272	21.291	11.250	3.515	9.000	-3.425	11.250	4.491
34.613	23.040	10.500	1.247	8.250	-5.781	10.500	1.790
33.954	24.501	9.750	-1.025	7.500	-8.150	9.750	-0.912
33.295	25.786	9.000	-3.305	6.750	-10.537	9.000	-3.614
32.636	26.885	8.250	-5.596	6.000	-12.945	8.250	-6.315
31.977	27.795	7.500	-7.902	5.250	-15.378	7.500	-9.017
31.318	28.514	6.750	-10.226	4.500	-17.840	7.500	-9.017
30.659	29.048	6.000	-12.573	3.750	-20.335	6.750	-11.719
30.000	29.407	5.250	-14.946	3.000	-22.868	6.000	-14.420
29.250	29.592	4.500	-17.349	2.250	-25.443	5.250	-17.122
28.500	29.589	3.750	-19.786	1.500	-28.066	4.500	-19.823
27.750	29.401	3.000	-22.262	0.750	-30.743	3.750	-22.525
27.000	29.046	2.250	-24.782	0.000	-32.096	3.000	-25.226

26.250	28.542	1.500	-27.351			2.250	-27.928
25.500	27.906	0.750	-29.975			1.500	-30.629
24.750	27.154	0.000	-31.303			0.750	-33.330
24.000	26.303	0.000	-30.473			0.000	-34.681
23.250	25.365						
22.500	24.354						
21.750	23.278						
21.000	22.149						
20.250	20.974						
19.500	19.760						
18.750	18.513						
18.000	17.239						
17.250	15.940						
16.500	14.622						
16.500	14.622						
15.750	13.286						
15.000	11.936						
14.250	10.574						
13.500	9.201						
12.750	7.819						
12.000	6.430						
11.250	5.033						
10.500	3.631						
9.750	2.224						
9.000	0.812						
8.250	-0.603						
7.500	-2.021						
6.750	-3.442						
6.000	-4.865						
5.250	-6.289						
4.500	-7.713						
3.750	-9.138						
3.000	-10.562						
2.250	-11.984						
1.500	-13.403						
0.750	-14.818						
0.000	-15.524						

R 24							
A		B		C		D	
X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)
59.999	-0.206	30.117	88.607	30.000	81.850	30.000	70.684
59.249	-0.161	30.117	87.995	29.250	77.309	29.250	69.333
58.499	-0.073	30.093	87.800	28.500	72.318	28.500	66.631
58.499	-0.073	30.068	87.636	27.750	67.709	27.750	63.929
57.749	0.007	30.042	87.231	27.000	63.419	27.000	61.227
57.299	0.048	30.004	85.088	26.250	59.416	26.250	58.525
56.999	0.074	30.000	84.829	25.500	55.654	25.500	55.823
56.999	0.074	29.250	79.061	24.750	52.100	24.750	53.121
56.249	0.130	28.500	72.372	24.000	48.723	24.000	50.420
56.249	0.130	27.750	66.805	23.250	45.500	23.250	47.718
55.499	0.180	27.000	61.994	22.500	42.408	22.500	45.016
54.749	0.233	26.250	57.713	21.750	39.429	21.750	42.315
53.999	0.299	25.500	53.817	21.000	36.549	21.000	39.613
53.218	0.389	24.750	50.221	20.250	33.753	20.250	36.911
52.436	0.512	24.000	46.859	19.500	31.030	19.500	34.210
51.655	0.681	23.250	43.688	18.750	28.370	18.750	31.508
50.873	0.907	22.500	40.673	18.000	25.764	18.000	28.807
50.092	1.202	21.750	37.788	17.250	23.205	17.250	26.105
49.310	1.578	21.000	35.010	16.500	20.685	16.500	23.403
48.529	2.040	20.250	32.323	15.750	18.186	15.750	20.702
47.747	2.597	19.500	29.712	15.000	15.719	15.000	18.000
46.966	3.253	18.750	27.166	14.250	13.277	14.250	15.298
46.184	4.009	18.000	24.674	13.500	10.857	13.500	12.597
45.403	4.866	17.250	22.228	12.750	8.453	12.750	9.895
45.182	5.135	16.500	19.820	12.000	6.061	12.000	7.193

44.621	5.817	15.750	17.444	11.250	3.679	11.250	4.492
43.840	6.853	15.000	15.094	10.500	1.301	10.500	1.790
43.058	7.962	14.250	12.765	9.750	-1.076	9.750	-0.912
43.058	7.962	13.500	10.452	9.000	-3.455	9.000	-3.614
42.794	8.357	12.750	8.150	8.250	-5.840	8.250	-6.315
42.277	9.127	12.000	5.856	7.500	-8.235	7.500	-9.017
41.495	10.316	11.250	3.565	6.750	-10.642	6.750	-11.719
40.751	11.499	10.500	1.275	6.000	-13.066	6.000	-14.421
40.006	12.673	9.750	-1.018	5.250	-15.510	5.250	-17.122
39.262	13.836	9.000	-3.318	4.500	-17.979	4.500	-19.824
38.518	14.974	8.250	-5.629	3.750	-20.475	3.750	-22.525
37.773	16.070	7.500	-7.953	3.000	-23.003	3.000	-25.227
37.029	17.097	6.750	-10.293	2.250	-25.568	2.250	-27.928
36.326	18.034	6.000	-12.655	1.500	-28.175	1.500	-30.629
35.623	18.886	5.250	-15.040	0.750	-31.006	0.750	-33.331
34.920	19.662	4.500	-17.454	0.000	-32.525	0.000	-34.681
34.217	20.356	3.750	-19.899				
33.514	20.992	3.000	-22.380				
32.635	21.582	2.250	-24.901				
31.757	22.071	1.500	-27.468				
30.878	22.416	0.750	-30.086				
29.999	22.619	0.000	-31.409				
29.250	22.693						
28.500	22.660						
27.750	22.534						
27.000	22.320						
26.250	22.022						
25.500	21.645						
24.750	21.196						
24.000	20.679						
23.250	20.099						
22.500	19.462						
21.750	18.773						
21.000	18.035						
20.250	17.255						
19.500	16.435						
18.750	15.580						
18.000	14.694						
17.250	13.780						
16.500	12.841						
15.750	11.881						
15.000	10.902						
14.250	9.907						
13.500	8.898						
12.750	7.879						
12.000	6.851						
11.250	5.816						
10.500	4.776						
9.750	3.733						
9.000	2.690						
8.250	1.649						
7.500	0.610						
6.750	-0.423						
6.000	-1.449						
5.250	-2.466						
4.500	-3.471						
3.750	-4.462						
3.000	-5.436						
2.250	-6.392						
1.500	-7.325						
0.750	-8.233						
0.000	-8.680						

○ H/h 2.5

R 9.6							
A		B		C		D	
X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)
60.001	-0.005	24.117	173.291	24.000	153.359	24.000	120.681
59.247	-0.008	24.117	170.289	23.250	138.531	23.250	117.514
58.493	-0.010	24.070	169.079	22.500	123.173	22.500	111.179
57.738	-0.007	24.000	159.796	21.750	110.298	21.750	104.845
56.984	-0.004	23.250	139.916	21.000	99.264	21.000	98.511
56.230	-0.002	22.501	120.002	20.250	89.575	21.000	98.511
55.475	-0.001	21.751	105.862	19.500	80.881	20.250	92.177
54.721	0.001	21.001	94.625	18.751	72.945	19.500	85.842
53.967	0.002	20.251	85.108	18.001	65.589	18.750	79.508
52.458	0.003	19.501	76.738	17.251	58.685	18.000	73.174
51.704	0.003	18.751	69.171	16.501	52.137	17.250	66.840
50.195	0.004	18.001	62.193	15.751	45.872	16.500	60.505
48.687	0.005	17.251	55.657	15.001	39.830	15.750	54.171
47.933	0.005	16.501	49.458	14.251	33.967	15.000	47.837
47.178	0.006	15.751	43.521	13.501	28.245	14.250	41.503
46.424	0.006	15.001	37.788	12.751	22.633	13.501	35.168
45.670	0.007	14.251	32.214	12.001	17.106	12.751	28.834
43.407	0.009	13.501	26.764	11.251	11.642	12.001	22.500
42.653	0.011	12.751	21.410	10.501	6.222	11.251	16.166
40.390	0.017	12.001	16.127	9.751	0.828	10.501	9.831
39.635	0.022	11.251	10.895	9.001	-4.554	9.751	3.497
38.881	0.026	10.501	5.698	8.250	-9.940	9.001	-2.837
35.110	0.156	9.751	0.518	7.500	-15.343	8.251	-9.171
34.355	0.290	9.001	-4.657	6.750	-20.776	7.501	-15.505
33.601	0.514	8.250	-9.842	6.676	-21.317	6.751	-21.840
32.886	0.942	7.500	-15.049	6.000	-26.253	6.000	-28.174
32.172	2.108	6.750	-20.291	5.250	-31.787	5.250	-34.508
31.457	4.495	6.000	-25.581	4.500	-37.393	4.500	-40.842
30.743	8.399	5.250	-30.930	3.750	-43.084	4.500	-40.842
30.028	13.883	4.500	-36.354	3.000	-48.877	3.750	-47.177
29.313	20.900	3.750	-41.866	2.250	-54.788	3.000	-53.511
28.599	29.205	3.000	-47.481	1.500	-60.836	2.250	-59.845
27.705	38.408	2.250	-53.218	0.750	-67.046	1.500	-66.179
26.812	46.824	1.500	-59.093	0.000	-70.194	0.750	-72.514
26.109	52.909	0.750	-65.133			0.750	-72.514
25.406	57.059	0.000	-68.197			0.000	-75.681
24.703	59.855						
24.000	61.341						
23.250	61.620						
22.500	60.842						
21.750	59.182						
21.000	56.850						
20.250	54.018						
19.500	50.834						
18.750	47.403						
18.000	43.804						
17.250	40.094						
16.500	36.311						
15.750	32.480						
15.000	28.619						
14.250	24.739						
13.501	20.625						
12.875	17.296						
12.751	16.644						
12.601	15.861						
12.001	12.785						
11.500	10.274						
11.251	9.044						
10.951	7.579						
10.501	5.420						
10.125	3.646						
9.751	1.909						

9.301	-0.145
9.001	-1.488
8.751	-2.598
8.251	-4.770
7.651	-7.311
7.501	-7.933
7.376	-8.450
6.751	-10.973
6.001	-13.882
5.751	-15.865
5.701	-16.272
5.501	-17.937
5.401	-18.790
5.251	-20.095
5.251	-20.095
5.101	-21.432
5.001	-22.341
4.800	-24.193
4.750	-24.666
4.500	-27.047
3.750	-31.218
3.000	-35.437
2.250	-39.707
1.500	-44.036
0.750	-48.430
0.000	-50.644

R 14,4							
A		B		C		D	
X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)
60.001	-0.006	24.087	159.924	24.000	144.569	24.000	120.681
59.256	-0.009	24.087	158.106	23.250	133.291	23.250	117.514
58.511	-0.010	24.052	157.308	22.500	120.841	22.500	111.179
57.766	-0.007	24.020	153.192	21.750	109.794	21.750	104.845
57.021	-0.004	24.000	150.664	21.000	99.876	21.000	98.511
56.276	-0.001	23.250	135.603	20.250	90.851	20.250	92.177
55.532	0.000	22.500	119.486	19.500	82.531	19.500	85.842
54.787	0.002	21.750	107.031	18.751	74.777	18.750	79.508
54.042	0.002	21.000	96.604	18.001	67.477	18.000	73.174
52.552	0.004	20.251	87.440	17.251	60.547	17.250	66.840
51.807	0.005	19.501	79.184	16.501	53.917	17.250	66.840
50.318	0.006	18.751	71.596	15.751	47.532	16.500	60.505
48.828	0.007	18.001	64.515	15.001	41.349	16.500	60.505
47.339	0.008	17.251	57.830	14.251	35.328	15.750	54.171
46.594	0.009	16.501	51.455	13.501	29.441	15.000	47.837
45.849	0.010	15.751	45.328	12.751	23.660	15.000	47.837
44.359	0.014	15.001	39.398	12.001	17.962	14.250	41.503
43.614	0.016	14.251	33.625	11.251	12.328	13.501	35.168
42.125	0.024	13.501	27.979	10.501	6.740	12.751	28.834
41.380	0.034	12.751	22.430	9.751	1.182	12.001	22.500
40.635	0.044	12.001	16.958	9.001	-4.361	11.251	16.166
39.890	0.069	11.251	11.543	8.251	-9.902	10.501	9.831
39.145	0.106	10.501	6.166	7.501	-15.454	9.751	3.497
38.401	0.184	9.751	0.813	6.751	-21.030	9.001	-2.837
37.628	0.306	9.001	-4.529	6.000	-26.644	8.251	-9.171
36.855	0.603	8.251	-9.876	5.250	-32.306	7.501	-15.506
36.082	1.282	7.501	-15.238	4.500	-38.032	6.751	-21.840
35.310	2.457	6.750	-20.630	3.750	-43.833	6.001	-28.174
34.537	4.223	6.000	-26.062	3.000	-49.724	6.000	-28.174
33.764	6.729	5.250	-31.547	2.250	-55.720	5.250	-34.508
32.991	9.843	4.500	-37.099	1.500	-61.837	4.500	-40.842
32.293	13.426	3.750	-42.731	0.750	-68.097	3.750	-47.177
31.595	17.433	3.000	-48.456	0.000	-71.266	3.750	-47.177
30.897	21.643	2.250	-54.292			3.000	-53.511
30.227	25.834	1.500	-60.254			2.250	-59.845
29.557	29.922	0.750	-66.365			1.500	-66.179

28.887	33.812	0.000	-69.461			0.750	-72.513
28.217	37.410					0.000	-75.681
27.515	40.646						
26.812	43.396						
26.109	45.489						
25.581	46.887						
25.054	47.805						
24.527	48.401						
24.000	48.671						
23.250	48.545						
22.500	47.945						
21.750	46.877						
21.000	45.401						
20.250	43.577						
19.500	41.458						
18.750	39.092						
18.000	36.522						
17.250	33.784						
16.500	30.908						
15.750	27.919						
15.000	24.839						
14.250	21.684						
13.500	18.467						
12.750	15.200						
12.000	11.891						
11.250	8.547						
10.500	5.173						
9.750	1.773						
9.000	-1.648						
8.250	-5.089						
7.500	-8.548						
6.750	-12.023						
6.000	-15.512						
5.250	-19.014						
4.500	-22.528						
3.750	-26.053						
3.000	-29.586						
2.250	-33.127						
1.500	-36.674						
0.750	-40.222						
0.000	-41.996						

R 19,2							
A		B		C		D	
X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)
60.000	-0.156	24.057	152.200	24.000	139.507	24.000	120.682
59.236	-0.144	24.057	150.916	23.250	130.079	23.250	117.514
58.473	-0.110	24.034	150.352	22.500	119.189	22.500	111.179
58.473	-0.110	24.034	150.352	21.750	109.217	22.500	111.179
57.709	-0.065	24.000	145.417	21.000	100.023	21.750	104.845
56.945	-0.024	23.250	132.877	20.250	91.477	21.000	98.511
56.182	0.011	22.500	118.967	19.500	83.461	20.250	92.177
55.418	0.040	21.750	107.695	18.750	75.887	19.500	85.842
54.654	0.063	21.000	97.912	18.000	68.679	18.750	79.508
53.891	0.083	20.250	89.111	17.251	61.776	18.000	73.174
53.127	0.100	19.500	81.030	16.501	55.128	17.250	66.840
52.363	0.116	18.751	73.497	15.751	48.691	16.500	60.505
51.600	0.133	18.001	66.394	15.001	42.432	15.750	54.171
50.836	0.150	17.251	59.634	14.251	36.319	15.000	47.837
50.072	0.170	16.501	53.150	13.501	30.326	14.250	41.503
49.309	0.193	15.751	46.892	12.751	24.433	13.501	35.168
48.545	0.221	15.001	40.816	12.001	18.617	12.751	28.834
47.782	0.257	14.251	34.890	11.251	12.863	12.001	22.500
47.018	0.304	13.501	29.084	10.501	7.154	11.251	16.166
46.254	0.367	12.751	23.375	9.751	1.475	10.501	9.831
45.491	0.455	12.001	17.741	9.001	-4.186	9.751	3.497

44.727	0.580	11.251	12.165	8.251	-9.844	9.001	-2.837
43.963	0.762	10.501	6.631	7.501	-15.509	8.251	-9.171
43.200	1.015	9.751	1.123	6.751	-21.194	7.501	-15.506
42.479	1.354	9.001	-4.371	6.000	-26.910	6.751	-21.840
41.757	1.797	8.251	-9.864	5.250	-32.670	6.001	-28.174
41.036	2.364	7.501	-15.370	4.500	-38.485	6.001	-28.174
40.315	3.072	6.751	-20.898	3.750	-44.367	5.250	-34.508
39.594	3.941	6.000	-26.462	3.000	-50.329	4.500	-40.842
38.873	4.985	5.250	-32.073	2.250	-56.385	3.750	-47.176
38.151	6.213	4.500	-37.743	1.500	-62.549	3.000	-53.511
37.430	7.628	3.750	-43.485	0.750	-68.840	2.250	-59.845
36.709	9.224	3.000	-49.312	0.000	-72.019	1.500	-66.179
35.988	10.971	2.250	-55.238			0.750	-72.513
35.290	12.830	1.500	-61.279			0.000	-75.681
34.592	14.788	0.750	-67.454				
33.894	16.829	0.000	-70.578				
33.894	16.829						
33.196	18.929						
32.481	21.062						
31.767	23.175						
31.052	25.214						
30.338	27.142						
29.623	28.918						
28.920	30.508						
28.217	31.896						
27.514	33.071						
26.811	34.020						
26.108	34.734						
25.405	35.210						
24.703	35.447						
24.000	35.443						
23.250	35.191						
22.500	34.694						
21.750	33.961						
21.000	33.008						
20.250	31.852						
19.500	30.508						
18.750	28.993						
18.000	27.324						
17.250	25.516						
16.500	23.584						
15.750	21.542						
15.000	19.404						
14.250	17.180						
14.250	17.180						
13.500	14.883						
12.750	12.523						
12.000	10.108						
11.250	7.649						
10.500	5.153						
9.750	2.627						
9.000	0.079						
8.250	-2.484						
7.500	-5.057						
6.750	-7.632						
6.000	-10.204						
5.250	-12.765						
4.500	-15.310						
3.750	-17.831						
3.000	-20.322						
2.250	-22.773						
1.500	-25.177						
0.750	-27.523						
0.000	-28.680						

○ H/h 3

R 8							
A		B		C		D	
X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)
60.002	-0.004	20.134	262.473	20.000	232.556	20.108	183.213
59.258	-0.007	20.134	257.001	19.260	206.310	19.362	177.204
58.514	-0.009	20.080	255.024	18.519	179.268	18.617	165.187
57.770	-0.006	20.080	255.024	17.779	157.055	17.871	153.171
57.025	-0.004	20.001	238.623	17.038	138.192	17.126	141.155
56.281	-0.002	19.260	204.955	16.297	121.643	16.380	129.138
55.537	-0.001	18.519	171.637	15.556	106.753	15.634	117.122
54.793	0.000	17.779	148.309	14.816	93.073	14.889	105.106
54.049	0.001	17.038	129.780	14.075	80.301	14.143	93.090
53.304	0.002	16.297	113.962	13.334	68.213	13.397	81.073
52.560	0.002	15.557	99.917	12.594	56.647	12.652	69.057
51.816	0.003	14.816	87.074	11.853	45.480	11.906	57.041
50.328	0.003	14.075	75.092	11.112	34.615	11.160	45.024
49.584	0.004	13.334	63.739	10.371	23.976	10.416	33.008
48.343	0.004	12.594	52.854	9.631	13.500	9.672	20.992
48.095	0.004	11.853	42.316	8.890	3.134	8.928	8.976
47.351	0.004	11.112	32.037	8.149	-7.167	8.184	-3.041
46.607	0.005	10.371	21.946	7.408	-17.445	7.440	-15.057
45.863	0.005	9.631	11.986	6.667	-27.736	6.696	-27.073
45.118	0.005	8.890	2.109	5.927	-38.077	5.952	-39.090
44.374	0.006	8.149	-7.727	5.186	-48.501	5.208	-51.106
42.886	0.007	7.408	-17.557	4.445	-59.043	4.464	-63.122
41.398	0.008	6.667	-27.416	3.704	-69.740	3.720	-75.138
40.653	0.008	5.927	-37.337	2.963	-80.629	2.976	-87.155
33.956	0.036	5.186	-47.352	2.223	-91.751	2.232	-99.171
28.002	1.147	4.445	-57.495	1.482	-103.152	1.488	-111.187
27.307	2.147	3.704	-67.798	0.741	-114.890	0.744	-123.204
26.612	5.057	2.963	-78.300	0.000	-120.852	0.000	-129.213
25.917	10.771	2.223	-89.042				
25.222	19.706	1.482	-100.069				
24.528	31.775	0.741	-111.441				
23.833	45.695	0.000	-117.223				
23.088	59.892						
22.344	72.300						
21.758	81.126						
21.172	86.999						
20.586	90.795						
18.519	89.812						
17.778	85.727						
17.038	80.424						
16.297	74.291						
15.556	67.621						
14.816	60.607						
14.075	53.386						
13.334	46.038						
12.593	38.617						
11.853	31.151						
11.112	23.655						
10.371	16.136						
9.630	8.594						
8.890	1.026						
8.149	-6.573						
7.408	-14.210						
6.667	-21.893						
5.927	-29.632						
5.186	-37.436						
4.445	-45.316						

3.704	-53.284
2.963	-61.352
2.223	-69.536
1.482	-77.850
0.741	-86.314
0.000	-90.587

R 12							
A		B		C		D	
X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)
60.001	-0.005	20.112	243.296	20.000	219.625	20.000	183.213
59.244	-0.007	20.112	239.792	19.260	199.346	19.259	177.203
58.488	-0.009	20.067	238.427	18.519	176.928	18.519	165.187
57.731	-0.006	20.000	226.582	17.778	157.353	17.778	153.171
56.974	-0.004	19.260	200.247	17.038	139.926	17.037	141.155
56.217	-0.002	18.519	172.364	16.297	124.122	16.297	129.138
55.461	0.000	17.779	151.028	15.556	109.554	15.556	117.122
54.704	0.001	17.038	133.240	14.816	95.944	14.816	105.106
53.947	0.002	16.297	117.626	14.075	83.082	14.075	93.090
53.190	0.002	15.556	103.504	13.334	70.807	13.334	81.073
52.434	0.003	14.816	90.442	12.593	58.996	12.593	69.057
51.677	0.003	14.075	78.167	11.853	47.548	11.853	57.041
50.920	0.004	13.334	66.484	11.112	36.383	11.112	45.024
43.353	0.008	12.594	55.252	10.371	25.436	10.371	33.008
35.785	0.045	11.853	44.366	9.631	14.651	9.631	20.992
32.758	0.249	11.112	33.742	8.890	3.979	8.890	8.976
32.001	0.446	10.371	23.314	8.149	-6.622	8.149	-3.041
31.219	0.793	9.631	13.027	7.408	-17.190	7.408	-15.057
30.438	1.727	8.890	2.834	6.667	-27.761	6.668	-27.073
29.656	3.684	8.149	-7.305	5.927	-38.367	5.927	-39.090
28.875	6.943	7.408	-17.426	5.186	-49.042	5.186	-51.106
28.093	11.667	6.667	-27.563	4.445	-59.818	4.445	-63.122
27.311	18.002	5.927	-37.749	3.704	-70.728	3.704	-75.138
26.530	25.815	5.186	-48.014	2.963	-81.807	2.964	-87.155
25.748	34.296	4.445	-58.392	2.223	-93.092	2.223	-99.171
25.004	42.705	3.704	-68.913	1.482	-104.623	1.482	-111.187
24.259	50.717	2.963	-79.614	0.741	-116.452	0.741	-123.204
19.259	72.593	2.223	-90.533	0.000	-122.448	0.000	-129.213
18.519	70.776	1.482	-101.710				
17.778	67.998	0.741	-113.201				
17.037	64.415	0.000	-119.032				
16.296	60.171						
15.556	55.394						
14.815	50.191						
14.074	44.651						
13.334	38.848						
12.593	32.836						
11.852	26.662						
11.112	20.357						
10.371	13.949						
9.630	7.456						
8.889	0.893						
8.149	-5.729						
7.408	-12.403						
6.667	-19.125						
5.926	-25.888						
5.186	-32.692						
4.445	-39.533						
3.704	-46.411						
2.963	-53.322						
2.222	-60.265						
1.482	-67.237						
0.741	-74.232						
0.000	-77.736						

R 16

A		B		C		D	
X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)	X (mm)	Stress (MPa)
60.001	-0.005	20.074	232.536	20.000	211.986	20.000	183.213
59.251	-0.008	20.074	230.063	19.259	194.927	19.259	177.203
58.501	-0.009	20.043	229.069	18.519	175.111	18.519	165.187
57.751	-0.006	20.043	229.069	17.778	157.184	17.778	153.171
57.001	-0.004	20.000	219.856	17.038	140.771	17.037	141.155
56.251	-0.002	19.260	197.498	16.297	125.567	16.297	129.138
55.501	0.000	18.519	172.879	15.556	111.323	15.556	117.122
54.751	0.001	17.778	153.102	14.816	97.850	14.815	105.106
54.001	0.002	17.038	136.035	14.075	84.998	14.075	93.090
53.251	0.003	16.297	120.706	13.334	72.649	13.334	81.073
52.501	0.003	15.556	106.617	12.593	60.704	12.593	69.057
51.001	0.004	14.816	93.443	11.853	49.084	11.853	57.041
50.251	0.005	14.075	80.968	11.112	37.722	11.112	45.024
49.001	0.005	13.334	69.032	10.371	26.562	10.371	33.008
48.751	0.006	12.593	57.518	9.630	15.555	9.631	20.992
48.001	0.006	11.853	46.334	8.890	4.658	8.890	8.976
47.251	0.006	11.112	35.404	8.149	-6.167	8.149	-3.041
46.501	0.007	10.371	24.670	7.408	-16.955	7.408	-15.057
44.251	0.010	9.631	14.079	6.667	-27.739	7.408	-15.057
43.501	0.011	8.890	3.589	5.927	-38.550	6.668	-27.073
40.501	0.023	8.149	-6.840	5.186	-49.418	5.927	-39.090
39.001	0.038	7.408	-17.243	4.445	-60.373	5.186	-51.106
38.251	0.049	6.667	-27.652	3.704	-71.447	4.445	-63.122
37.501	0.076	5.927	-38.099	2.963	-82.669	3.704	-75.138
36.751	0.118	5.186	-48.612	2.223	-94.074	2.963	-87.155
36.001	0.204	4.445	-59.224	1.482	-105.698	2.223	-99.171
35.249	0.317	3.704	-69.964	0.741	-117.585	1.482	-111.187
34.498	0.582	2.963	-80.865	0.000	-123.600	0.741	-123.204
33.747	1.182	2.223	-91.963			0.000	-129.213
32.996	2.205	1.482	-103.295				
32.244	3.738	0.741	-114.909				
31.493	5.926	0.000	-120.794				
30.742	8.838						
29.990	12.515						
29.215	17.008						
28.439	22.176						
27.664	27.617						
26.919	33.034						
26.175	38.303						
25.430	43.282						
24.686	47.824						
23.905	51.814						
23.124	55.072						
18.518	56.794						

17.778	54.558						
17.037	51.780						
16.296	48.523						
15.556	44.848						
14.815	40.810						
14.074	36.461						
13.334	31.847						
12.593	27.008						
11.852	21.980						
11.111	16.794						
10.371	11.476						
9.630	6.049						
8.893	0.556						
8.889	0.532						
8.149	-5.055						
7.408	-10.700						
6.667	-16.387						
5.926	-22.104						
5.186	-27.840						
4.445	-33.582						
3.704	-39.319						
2.963	-45.038						
2.222	-50.727						
1.482	-56.368						
0.741	-61.944						
0.000	-64.714						

○ Distribusi tegangan memanjang

○ H/h 2

r 12		r 18		r 24	
X (mm)	Stress (Mpa)	X (mm)	Stress (Mpa)	X (mm)	Stress (Mpa)
0.000	9.000	0.000	9.000	0.000	15.112
0.753	9.001	0.753	9.001	3.764	10.165
1.505	9.004	1.505	9.003	4.516	9.792
2.258	9.008	2.258	9.006	5.269	9.516
3.011	9.012	3.011	9.010	5.269	9.516
3.764	9.017	3.011	9.010	6.022	9.311
4.516	9.020	3.764	9.014	6.775	9.154
5.269	9.023	3.764	9.014	7.527	9.031
6.022	9.025	4.516	9.018	8.280	8.932
6.775	9.026	5.269	9.021	9.033	8.850
7.527	9.024	6.022	9.023	9.785	8.783
8.280	9.021	6.775	9.025	10.538	8.725
9.033	9.017	7.527	9.026	11.291	8.677
9.785	9.010	8.280	9.025	12.044	8.635
10.538	9.002	8.280	9.025	12.796	8.600
11.291	8.992	9.033	9.024	13.549	8.569
12.044	8.979	9.785	9.020	14.302	8.542
12.796	8.964	10.538	9.016	15.055	8.519
13.549	8.948	11.291	9.010	15.807	8.497
14.302	8.928	12.044	9.003	16.560	8.478
15.055	8.906	12.796	8.993	17.313	8.459
15.807	8.882	13.549	8.982	17.313	8.459
16.560	8.855	13.549	8.982	18.065	8.442
17.313	8.825	14.302	8.970	18.065	8.442
18.065	8.792	14.302	8.970	18.818	8.424
18.818	8.756	15.055	8.955	19.571	8.407
19.571	8.716	15.807	8.938	19.571	8.407
20.324	8.674	16.560	8.920	20.324	8.389
21.076	8.627	17.313	8.899	21.076	8.370
21.829	8.577	17.313	8.899	21.076	8.370
22.582	8.522	18.065	8.875	21.829	8.350
23.334	8.464	18.818	8.849	21.829	8.350
24.087	8.401	19.571	8.821	22.582	8.329
24.840	8.333	20.324	8.789	23.335	8.305
25.593	8.261	21.076	8.755	24.087	8.279
26.345	8.183	21.829	8.717	24.087	8.279
27.098	8.100	22.582	8.676	24.840	8.251
27.851	8.011	23.335	8.632	24.840	8.251
28.604	7.917	24.087	8.584	25.593	8.220
29.356	7.817	24.840	8.532	26.345	8.187
30.109	7.710	25.593	8.476	27.098	8.149
30.862	7.597	26.345	8.416	27.098	8.149
31.614	7.477	27.098	8.351	27.851	8.108
32.367	7.350	27.851	8.281	28.604	8.063
33.120	7.216	28.604	8.207	29.356	8.014
33.873	7.074	29.356	8.127	29.356	8.014
34.625	6.925	30.109	8.041	30.109	7.961
35.378	6.767	30.862	7.950	30.109	7.961
69.249	-0.023	57.959	0.218	30.862	7.902
70.002	-0.007	69.249	-0.030	30.862	7.902
70.004	-0.009	70.002	-0.009	31.615	7.839
70.006	-0.010	70.004	-0.011	31.615	7.839
70.009	-0.006	70.006	-0.010	32.367	7.770
70.011	-0.003	70.009	-0.005	33.120	7.695
70.013	0.000	70.011	0.000	33.873	7.614
70.015	0.002	70.013	0.002	33.873	7.614
70.018	0.003	70.015	0.005	34.625	7.527
70.020	0.005	70.017	0.007	34.626	7.527
70.022	0.006	70.028	0.019	35.378	7.434
70.024	0.007	70.030	0.021	36.131	7.333

70.027	0.008	70.107	0.023	36.131	7.333
70.029	0.009	70.191	0.078	36.884	7.226
70.031	0.010	70.308	0.197	37.636	7.110
70.038	0.016	70.458	0.408	37.636	7.110
70.040	0.019	70.640	0.748	38.389	6.988
70.043	0.024	70.853	1.254	39.142	6.857
70.045	0.028	71.098	1.940	39.142	6.857
70.047	0.038	71.374	3.067	39.895	6.717
70.049	0.048	71.769	3.913	40.647	6.570
70.052	0.073	72.211	5.674	41.400	6.413
70.054	0.107	72.700	8.641	41.400	6.413
70.056	0.171	73.085	10.501	42.153	6.247
70.087	0.109	73.493	12.315	70.002	-0.012
70.174	0.253	73.924	14.466	70.002	-0.013
70.316	0.708	74.377	17.135	70.002	-0.008
70.514	1.611	74.851	20.288	70.003	-0.001
70.766	3.079	75.347	24.975	70.003	0.005
71.071	5.251	75.861	29.222	70.003	0.007
71.427	8.264	76.395	32.745	70.003	0.013
71.833	12.999	76.948	36.456	70.003	0.008
72.362	17.019	77.517	40.491	70.016	0.052
72.952	23.036	78.103	44.880	70.120	0.005
73.598	32.868	78.705	50.882	70.328	0.042
74.298	42.066	79.555	58.362	70.638	0.193
75.046	50.361	80.429	64.288	71.069	0.574
75.837	60.401	81.327	69.847	71.629	1.339
76.555	71.297	82.047	76.492	72.303	2.626
77.298	79.507	82.779	80.981	73.087	4.584
78.063	87.295	83.521	85.101	73.519	6.147
78.847	93.958	84.270	88.613	74.206	7.994
79.647	98.829	85.027	91.253	74.950	10.248
80.457	100.890	85.789	92.790	75.746	13.331
81.276	99.321	86.555	92.926	76.592	17.123
82.098	90.724	87.324	91.151	77.619	23.427
82.845	82.407	88.094	85.004	78.224	26.311
83.593	78.838	88.841	79.267	79.486	32.647
84.340	76.569	89.589	76.760	80.814	39.791
85.088	75.004	90.336	75.120	82.238	49.948
85.835	73.879	91.083	73.963	82.990	54.175
86.583	73.041	91.830	73.117	83.755	58.473
87.330	72.403	92.578	72.480	84.533	62.781
88.078	71.909	93.325	71.990	85.323	67.033
88.825	71.522	94.072	71.607	86.125	71.158
89.573	71.218	94.819	71.307	86.936	75.086
90.320	70.979	95.567	71.070	87.756	78.644
91.068	70.792	96.314	70.883	88.523	81.733
91.815	70.647	97.061	70.737	89.296	84.342
92.563	70.535	97.808	70.623	90.074	86.419
93.310	70.450	98.556	70.536	90.856	87.893
94.058	70.387	99.303	70.470	91.642	88.607
94.805	70.342	100.050	70.422	92.430	88.393
95.553	70.312	100.797	70.387	93.220	87.066
96.300	70.293	101.545	70.365	94.011	82.085
97.048	70.284	102.292	70.351	94.758	77.476
97.795	70.282	103.039	70.345	95.504	75.532
98.543	70.286	103.786	70.344	96.251	74.244
99.290	70.295	104.534	70.349	96.998	73.325
100.038	70.307	105.281	70.356	97.745	72.647
100.785	70.321	106.028	70.367	98.492	72.132
101.533	70.338	106.775	70.380	99.239	71.734
102.280	70.356	107.523	70.394	99.986	71.422
103.028	70.375	108.270	70.409	100.733	71.177
103.775	70.394	109.017	70.425	101.480	70.983
104.523	70.413	109.764	70.441	102.227	70.831
105.270	70.432	110.512	70.457	102.974	70.711
106.018	70.451	111.259	70.472	103.721	70.618

106.765	70.469	112.006	70.488	104.468	70.547
107.513	70.486	112.753	70.502	105.214	70.494
108.260	70.502	113.501	70.517	105.961	70.455
109.008	70.517	114.248	70.530	106.708	70.427
109.755	70.532	114.995	70.543	107.455	70.409
110.503	70.545	115.742	70.555	108.202	70.399
111.250	70.558	116.490	70.567	108.202	70.399
111.998	70.570	117.237	70.578	108.949	70.395
112.745	70.581	117.984	70.588	109.696	70.395
113.493	70.591	118.731	70.597	110.443	70.400
114.240	70.601	119.478	70.605	111.190	70.407
114.988	70.609	120.226	70.613	111.190	70.407
115.735	70.617	120.973	70.621	111.937	70.417
116.483	70.624	121.720	70.627	112.684	70.428
117.230	70.631	122.467	70.634	113.431	70.441
117.978	70.637	123.215	70.639	114.178	70.454
118.726	70.642	123.962	70.644	114.178	70.454
119.473	70.647	124.709	70.649	114.925	70.468
120.221	70.652	125.456	70.653	115.671	70.482
120.968	70.656	126.204	70.657	116.418	70.495
121.716	70.659	126.951	70.661	117.165	70.509
122.463	70.662	127.698	70.664	117.912	70.522
123.211	70.665	128.445	70.667	118.659	70.534
123.958	70.668	129.193	70.669	119.406	70.546
124.706	70.670	129.940	70.672	120.153	70.558
125.453	70.672	130.687	70.674	120.900	70.568
126.201	70.674	131.434	70.675	121.647	70.579
126.948	70.676	132.182	70.676	122.394	70.588
127.696	70.677	132.929	70.677	123.141	70.597
128.443	70.678	133.676	70.678	123.888	70.605
129.191	70.680	134.423	70.678	124.635	70.613
129.938	70.680	135.171	70.679	125.381	70.620
130.686	70.681	135.918	70.679	125.381	70.620
131.433	70.681	136.665	70.679	126.128	70.627
132.181	70.682	137.412	70.680	126.875	70.633
132.928	70.682	138.160	70.680	127.622	70.638
133.676	70.682	138.907	70.680	128.369	70.644
134.423	70.683	139.654	70.680	129.116	70.648
135.171	70.683	140.401	70.680	129.863	70.652
135.918	70.683	141.149	70.680	130.610	70.656
136.666	70.683	141.896	70.681	131.357	70.660
137.413	70.683	142.643	70.681	132.104	70.663
138.161	70.683	143.390	70.681	132.851	70.666
138.908	70.683	144.138	70.681	133.598	70.668
139.656	70.684	144.885	70.681	134.345	70.671
140.403	70.684	145.632	70.681	135.091	70.672
141.151	70.684	146.379	70.681	135.838	70.674
141.898	70.684	147.126	70.681	136.585	70.675
142.646	70.683	147.874	70.681	137.332	70.676
143.393	70.683	148.621	70.681	138.079	70.677
144.141	70.683	149.368	70.681	138.826	70.678
144.888	70.683	150.115	70.681	139.573	70.679
145.636	70.682			140.320	70.679
146.383	70.682			141.067	70.680
147.131	70.682			141.814	70.680
147.878	70.682			142.561	70.681
148.626	70.682			143.308	70.681
149.373	70.682			144.055	70.681
150.121	70.682			144.801	70.682
				145.548	70.682
				146.295	70.682
				147.042	70.682
				147.789	70.683
				148.536	70.683
				149.283	70.683
				150.030	70.683

○ H/h 2.5

r 9,6		r 14,4		r 19,2	
X (mm)	Stress (Mpa)	X (mm)	Stress (Mpa)	X (mm)	Stress (Mpa)
0.000	9.001	0.000	15.439	0.000	9.000
0.753	9.002	0.753	14.088	0.753	9.001
70.002	-0.004	70.002	-0.005	1.505	9.004
70.007	-0.007	70.002	-0.008	1.505	9.004
70.012	-0.009	70.002	-0.009	70.002	-0.007
70.017	-0.006	70.002	-0.006	70.007	-0.009
70.023	-0.004	70.002	-0.003	70.012	-0.009
70.028	-0.002	70.002	-0.001	70.017	-0.005
70.033	0.000	70.002	0.012	70.022	-0.002
70.039	0.001	70.002	0.016	70.026	0.000
70.044	0.002	70.003	0.022	70.031	0.002
70.049	0.003	70.003	0.027	70.036	0.004
70.054	0.004	70.003	0.027	70.041	0.005
70.060	0.004	70.003	0.186	70.046	0.006
70.065	0.005	70.025	0.116	70.081	0.016
70.070	0.005	70.090	0.206	70.086	0.019
70.075	0.006	70.199	0.562	70.091	0.024
70.081	0.007	70.351	1.240	70.096	0.028
70.086	0.007	70.545	2.340	70.101	0.041
70.091	0.008	70.781	3.998	70.106	0.051
70.097	0.008	71.059	6.585	70.111	0.084
70.102	0.009	71.372	8.394	70.130	0.052
70.107	0.010	71.724	11.674	70.177	0.043
70.112	0.012	72.114	17.114	70.253	0.114
70.118	0.013	72.484	20.890	70.357	0.265
70.123	0.015	72.881	25.086	70.489	0.512
70.128	0.018	73.304	30.330	70.649	0.901
70.134	0.021	73.752	36.591	70.837	1.455
70.139	0.025	74.224	46.287	71.052	2.226
70.144	0.031	74.719	55.304	71.295	3.231
70.150	0.037	75.235	62.627	71.564	4.613
70.155	0.048	75.773	70.405	71.877	5.391
70.176	0.178	76.330	78.927	72.219	7.126
70.182	0.305	76.905	89.834	72.590	9.441
70.187	0.505	77.584	102.782	72.988	13.148
70.222	0.354	78.283	112.751	73.487	16.283
70.315	0.914	79.000	122.173	74.021	20.154
70.467	2.429	79.742	134.880	74.589	24.757
70.675	5.149	80.499	144.199	75.191	30.126
70.940	9.332	81.267	152.066	75.824	38.037
71.258	15.312	82.045	157.608	76.488	45.699
71.629	26.341	82.830	159.924	77.181	52.680
72.286	38.939	83.620	157.622	77.901	60.306
73.048	59.124	84.412	145.411	78.647	68.638
73.906	80.639	85.167	134.162	79.417	78.668
74.846	103.667	85.921	129.537	80.096	89.063
75.505	127.024	86.676	126.666	80.790	96.769
76.191	142.447	87.430	124.740	81.498	104.379
76.898	156.526	88.185	123.403	82.219	111.081
77.623	167.503	88.939	122.449	82.911	120.273
78.362	173.291	89.694	121.755	83.613	127.362
79.110	171.473	90.448	121.245	84.324	134.124
79.861	154.834	91.203	120.871	85.042	140.216
80.611	139.098	91.203	120.871	85.766	145.425
81.360	132.574	91.957	120.598	86.495	149.365
82.109	128.638	92.712	120.403	87.229	151.806
82.859	126.049	93.466	120.266	87.966	152.200
83.608	124.280	94.221	120.175	88.705	149.793
84.358	123.031	94.975	120.118	89.444	140.081
85.107	122.129	95.729	120.089	90.195	131.354
85.856	121.470	96.484	120.079	90.947	127.778
86.606	120.986	97.238	120.085	91.698	125.517
87.355	120.632	97.238	120.085	92.449	123.980

88.105	120.377	97.993	120.102	93.200	122.902
88.854	120.197	98.747	120.127	93.951	122.126
89.603	120.075	99.502	120.157	94.702	121.558
90.353	119.998	99.502	120.157	95.453	121.139
91.102	119.955	100.256	120.191	96.204	120.831
91.851	119.938	101.011	120.227	96.955	120.606
92.601	119.940	101.765	120.264	97.706	120.444
93.350	119.957	102.520	120.300	98.457	120.331
94.100	119.984	103.274	120.336	99.208	120.255
94.849	120.018	103.274	120.336	99.959	120.209
95.598	120.057	104.029	120.370	100.710	120.180
96.348	120.099	104.029	120.370	101.461	120.168
97.097	120.142	104.783	120.403	102.212	120.168
97.846	120.185	105.538	120.434	102.964	120.178
98.596	120.227	106.292	120.459	103.715	120.195
99.345	120.268	107.046	120.483	104.466	120.216
100.094	120.307	107.801	120.504	105.217	120.240
100.844	120.344	108.555	120.523	105.968	120.266
101.593	120.378	109.310	120.541	106.719	120.293
102.343	120.410	110.064	120.557	107.470	120.319
103.092	120.439	110.819	120.571	108.221	120.345
103.841	120.467	110.819	120.571	108.972	120.369
104.591	120.491	111.573	120.583	109.723	120.392
105.340	120.514	112.328	120.594	110.474	120.414
106.089	120.534	113.082	120.603	111.225	120.434
106.839	120.552	113.837	120.612	111.976	120.452
107.588	120.569	114.591	120.619	112.727	120.469
108.338	120.584	115.346	120.625	113.478	120.484
109.087	120.597	116.100	120.631	114.229	120.497
109.836	120.609	116.855	120.635	114.980	120.509
110.586	120.619	117.609	120.639	115.732	120.520
111.335	120.629	118.364	120.642	116.483	120.529
112.084	120.637	119.118	120.645	117.234	120.536
112.834	120.645	119.872	120.648	117.985	120.543
113.583	120.652	120.627	120.650	118.736	120.549
114.333	120.658	121.381	120.651	119.487	120.554
115.082	120.664	122.136	120.653	120.238	120.557
115.831	120.669	122.890	120.654	120.989	120.561
116.581	120.673	123.645	120.655	121.740	120.563
117.330	120.675	124.399	120.656	122.491	120.565
118.079	120.676	125.154	120.657	123.242	120.567
118.829	120.677	125.908	120.658	123.993	120.568
119.578	120.677	126.663	120.659	124.744	120.569
120.328	120.678	127.417	120.660	125.495	120.569
121.077	120.678	128.172	120.661	126.246	120.569
121.826	120.678	128.926	120.661	126.997	120.569
122.576	120.679	129.681	120.662	127.749	120.569
123.325	120.679	130.435	120.663	128.500	120.569
124.075	120.679	131.189	120.664	129.251	120.569
124.824	120.680	131.944	120.666	130.002	120.568
125.573	120.680	132.698	120.667	130.753	120.568
126.323	120.680	133.453	120.668	131.504	120.567
127.072	120.681	134.207	120.669	132.255	120.567
127.821	120.681	134.962	120.671	133.006	120.566
128.571	120.682	135.716	120.672	133.757	120.566
129.320	120.683	136.471	120.674	134.508	120.566
130.070	120.680	137.225	120.676	135.259	120.565
130.819	120.677	137.980	120.678	136.010	120.565
131.568	120.674	138.734	120.680	136.761	120.565
132.318	120.671	139.489	120.682	137.512	120.565
133.067	120.669	140.243	120.681	138.263	120.565
133.816	120.666	140.998	120.680	139.014	120.565
134.566	120.664	141.752	120.679	139.765	120.565
135.315	120.662	142.507	120.678	140.516	120.566
136.065	120.660	143.261	120.678	141.268	120.566
136.814	120.658	144.015	120.677	142.019	120.567

137.563	120.656	144.770	120.677	142.770	120.567
138.313	120.654	145.524	120.677	143.521	120.568
139.062	120.652	146.279	120.676	144.272	120.569
139.811	120.651	147.033	120.676	145.023	120.570
140.561	120.649	147.788	120.676	145.774	120.571
141.310	120.648	148.542	120.676	146.525	120.572
142.060	120.646	149.297	120.677	147.276	120.573
142.809	120.645	150.051	120.677	148.027	120.574
143.558	120.644			148.778	120.576
144.308	120.643			149.529	120.577
145.057	120.642			150.280	120.579
145.806	120.641				
146.556	120.640				
147.305	120.640				
148.055	120.639				
148.804	120.639				
149.553	120.639				
150.303	120.638				

○ H/h 3

r 8		r 12		r 16	
X (mm)	Stress (Mpa)	X (mm)	Stress (Mpa)	X (mm)	Stress (Mpa)
0.000	15.666	0.000	9.001	0.000	9.001
3.011	10.959	0.753	9.002	0.753	9.002
3.764	10.407	1.505	9.005	1.505	9.005
4.516	9.997	2.258	9.011	2.258	9.010
4.516	9.997	3.011	9.017	2.258	9.010
8.280	8.986	3.764	9.024	3.011	9.016
9.033	8.877	4.516	9.029	3.764	9.022
9.785	8.782	5.269	9.033	4.516	9.027
10.538	8.697	6.022	9.035	5.269	9.031
10.538	8.697	6.775	9.034	6.022	9.033
11.291	8.620	7.527	9.032	6.775	9.034
12.044	8.550	8.280	9.027	7.527	9.033
12.796	8.484	9.033	9.019	8.280	9.029
13.549	8.422	9.785	9.008	9.033	9.023
13.549	8.422	10.538	8.995	9.785	9.015
14.302	8.363	11.291	8.979	10.538	9.004
15.055	8.306	12.044	8.959	11.291	8.991
15.055	8.306	12.796	8.937	12.044	8.975
15.807	8.249	13.549	8.911	12.796	8.956
16.560	8.192	14.302	8.882	13.549	8.934
17.313	8.134	15.055	8.849	14.302	8.909
18.066	8.075	15.807	8.812	15.055	8.880
18.066	8.075	15.807	8.812	15.807	8.849
18.818	8.014	16.560	8.772	16.560	8.814
19.571	7.951	17.313	8.727	17.313	8.775
20.324	7.885	18.065	8.679	18.065	8.732
20.324	7.885	18.818	8.626	18.818	8.686
21.076	7.815	19.571	8.568	19.571	8.635
21.829	7.742	20.324	8.506	20.324	8.580
22.582	7.664	21.076	8.438	21.076	8.520
23.335	7.582	21.829	8.366	21.829	8.456
24.087	7.494	22.582	8.288	22.582	8.386
24.840	7.401	23.334	8.205	23.334	8.311
25.593	7.302	24.087	8.116	24.087	8.231
26.345	7.198	24.840	8.021	24.840	8.146
27.098	7.087	25.593	7.920	25.593	8.054
27.851	6.969	26.345	7.812	26.345	7.956
28.604	6.844	27.098	7.698	27.098	7.852
29.356	6.713	27.851	7.577	27.851	7.742
29.356	6.713	28.603	7.449	28.604	7.625
30.109	6.574	70.002	-0.004	29.356	7.501
30.109	6.574	70.012	-0.006	30.109	7.370
30.862	6.428	70.021	-0.008	30.862	7.231
30.862	6.428	70.031	-0.006	31.614	7.085

31.615	6.274	70.041	-0.004	32.367	6.932
32.367	6.112	70.051	-0.002	33.120	6.771
33.120	5.943	70.060	0.000	63.228	-0.698
33.120	5.943	70.129	0.005	63.980	-0.623
33.873	5.766	70.139	0.006	64.733	-0.532
33.873	5.766	70.256	0.018	65.486	-0.429
34.625	5.581	70.354	0.264	66.238	-0.321
34.625	5.581	70.403	0.291	66.991	-0.217
35.378	5.389	70.498	0.734	67.744	-0.124
35.378	5.389	70.649	1.926	68.496	-0.055
36.131	5.189	70.855	4.102	69.249	-0.016
36.131	5.189	71.114	7.495	70.002	-0.005
36.131	5.189	71.427	12.374	70.011	-0.007
36.884	4.982	71.791	19.076	70.021	-0.008
36.884	4.982	72.204	29.638	70.030	-0.006
37.636	4.768	72.741	38.826	70.039	-0.003
38.389	4.547	73.338	52.225	70.049	-0.001
39.142	4.319	73.992	74.240	70.058	0.000
39.894	4.086	74.698	95.455	70.067	0.002
42.153	3.356	75.452	114.719	70.077	0.003
42.905	3.105	76.249	138.041	70.086	0.004
43.658	2.851	76.971	164.263	70.096	0.004
44.411	2.595	77.718	184.571	70.105	0.005
44.411	2.595	78.487	204.417	70.114	0.006
45.163	2.339	79.274	222.090	70.124	0.006
45.163	2.339	80.075	235.959	70.133	0.007
45.163	2.339	80.888	243.296	70.142	0.007
45.916	2.083	81.707	241.733	70.152	0.008
45.916	2.083	82.530	221.345	70.161	0.009
46.669	1.829	83.278	202.399	70.171	0.010
46.669	1.829	84.026	195.001	70.180	0.010
47.421	1.578	84.774	190.613	70.189	0.012
48.174	1.331	85.522	187.797	70.199	0.013
48.927	1.089	86.270	185.938	70.208	0.015
49.680	0.855	87.018	184.681	70.217	0.017
70.002	-0.003	87.766	183.822	70.227	0.021
70.002	-0.006	88.514	183.234	70.236	0.024
70.002	-0.008	89.261	182.837	70.255	0.036
70.002	-0.006	90.009	182.578	70.265	0.048
70.002	-0.004	90.757	182.418	70.274	0.060
70.002	-0.002	91.505	182.331	70.283	0.089
70.002	-0.001	92.253	182.286	70.293	0.129
70.002	0.004	93.001	182.279	70.302	0.207
70.002	0.005	93.749	182.298	70.330	0.112
70.003	0.005	94.497	182.334	70.396	0.195
70.003	0.007	95.245	182.383	70.498	0.503
70.003	0.008	95.993	182.438	70.637	1.092
70.004	0.052	96.741	182.496	70.812	2.024
70.005	0.346	97.489	182.554	71.022	3.426
70.005	0.633	98.237	182.611	71.269	5.371
70.005	1.100	98.985	182.665	71.550	8.453
70.039	0.772	99.733	182.715	71.908	10.739
70.139	2.404	100.480	182.762	72.309	14.981
70.304	6.253	101.228	182.804	72.751	22.063
70.534	12.992	101.976	182.842	73.170	26.994
70.826	23.364	102.724	182.875	73.619	32.544
71.178	41.948	103.472	182.905	74.097	39.484
71.721	61.974	104.220	182.931	74.602	47.877
72.351	92.896	104.968	182.953	75.133	61.130
73.062	126.000	105.716	182.972	75.689	73.525
73.841	161.334	106.464	182.989	76.270	83.680
74.482	199.738	107.212	183.002	76.873	94.589
75.153	226.226	107.960	183.014	77.497	106.667
75.847	249.037	108.708	183.024	78.142	122.287
76.559	262.473	109.456	183.032	78.901	141.099
77.284	262.679	110.203	183.039	79.683	155.798

78.014	235.494	110.951	183.045	80.484	169.634
78.765	209.191	111.699	183.049	81.209	187.733
79.516	198.812	112.447	183.053	81.945	200.780
80.266	192.855	113.195	183.057	82.691	212.789
81.017	189.123	113.943	183.060	83.446	222.638
81.768	186.706	114.691	183.063	84.208	229.682
82.519	185.094	115.439	183.065	84.974	232.536
83.269	184.004	116.187	183.068	85.744	229.740
84.020	183.263	116.935	183.070	86.514	213.138
84.771	182.757	117.683	183.073	87.268	198.302
85.521	182.423	118.431	183.076	88.022	192.557
86.272	182.214	119.179	183.079	88.775	189.099
87.023	182.096	119.927	183.082	89.529	186.858
87.773	182.044	120.674	183.085	90.283	185.368
88.524	182.038	121.422	183.089	91.036	184.355
89.275	182.065	122.170	183.093	91.790	183.661
90.025	182.114	122.918	183.097	92.543	183.180
90.776	182.178	123.666	183.102	93.297	182.855
91.527	182.249	124.414	183.106	94.051	182.643
91.527	182.249	125.162	183.112	94.804	182.511
92.277	182.324	125.910	183.117	95.558	182.439
93.028	182.399	126.658	183.123	96.312	182.410
93.028	182.399	127.406	183.130	97.065	182.412
93.779	182.472	128.154	183.136	97.819	182.436
94.529	182.542	128.902	183.143	98.572	182.473
95.280	182.608	129.649	183.151	99.326	182.520
96.031	182.668	130.397	183.158	100.080	182.572
96.781	182.723	131.145	183.166	100.833	182.626
97.532	182.773	131.893	183.175	101.587	182.680
98.283	182.817	132.641	183.184	102.341	182.733
99.033	182.857	133.389	183.193	103.094	182.783
99.784	182.891	134.137	183.203	103.848	182.830
100.535	182.921	134.885	183.213	104.601	182.873
101.285	182.948	135.633	183.203	105.355	182.913
101.285	182.948	136.381	183.195	106.109	182.950
102.036	182.970	137.129	183.186	106.862	182.982
102.036	182.970	137.877	183.178	107.616	183.012
102.787	182.99	138.625	183.17	108.369	183.038
103.537	183.007	139.372	183.163	109.123	183.061
103.537	183.007	140.12	183.156	109.877	183.082
104.288	183.021	140.868	183.149	110.63	183.101
104.288	183.021	141.616	183.143	111.384	183.117
105.039	183.033	142.364	183.137	112.138	183.132
105.039	183.033	143.112	183.131	112.891	183.146
105.789	183.044	143.86	183.126	113.645	183.158
106.54	183.053	144.608	183.121	114.398	183.169
106.54	183.053	145.356	183.117	115.152	183.179
107.291	183.061	146.104	183.113	115.906	183.189
107.291	183.061	146.852	183.109	116.659	183.198
108.042	183.068	147.6	183.105	117.413	183.206
108.792	183.074	148.348	183.102	118.166	183.203
108.792	183.074	149.096	183.099	118.92	183.2
109.543	183.08	149.843	183.097	119.674	183.197
110.294	183.085	150.591	183.095	120.427	183.194
111.044	183.09			121.181	183.191
111.795	183.095			121.935	183.188
112.546	183.1			122.688	183.185
113.296	183.104			123.442	183.183
114.047	183.109			124.195	183.181
114.798	183.114			124.949	183.179
115.548	183.119			125.703	183.177
116.299	183.124			126.456	183.176
117.05	183.13			127.21	183.175
117.8	183.136			127.964	183.174
118.551	183.142			128.717	183.174
119.302	183.149			129.471	183.174

120.052	183.155			130.224	183.174
120.803	183.163			130.978	183.175
121.554	183.17			131.732	183.176
122.304	183.178			132.485	183.178
123.055	183.186			133.239	183.179
123.806	183.195			133.992	183.182
124.557	183.204			134.746	183.184
125.307	183.213			135.5	183.187
126.058	183.208			136.253	183.19
126.809	183.203			137.007	183.194
127.559	183.199			137.761	183.198
128.31	183.194			138.514	183.203
129.061	183.191			139.268	183.207
129.811	183.187			140.021	183.212
130.562	183.184			140.775	183.209
131.313	183.181			141.529	183.205
132.063	183.179			142.282	183.202
132.814	183.177			143.036	183.2
133.565	183.176			143.79	183.197
134.315	183.174			144.543	183.195
135.066	183.173			145.297	183.194
135.817	183.173			146.05	183.192
136.567	183.173			146.804	183.192
137.318	183.173			147.558	183.191
138.069	183.173			148.311	183.191
138.819	183.174			149.065	183.191
139.57	183.175			149.818	183.192
140.321	183.177			150.572	183.192
141.071	183.179				
141.822	183.181				
142.573	183.184				
143.323	183.187				
144.074	183.19				
144.825	183.194				
145.575	183.198				
146.326	183.202				
147.077	183.207				
147.827	183.212				
148.578	183.209				
149.329	183.206				
150.079	183.203				

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Muhammad Dzaky Bestari merupakan anak kedua dari 4 bersaudara, Ayah dari penulis bernama Ahmad Bestari dan ibu dari penulis bernama Fatma Maulida. Lahir pada tanggal 25 September 1995, di Kota Batam, Kepulauan Riau. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal dasar selama 6 tahun di SDN 006 Lubuk Baja Kota Batam, jenjang menengah pertama di SMP Ar-risalah Padang, jenjang menengah atas di MAS Ar-risalah Padang, dan melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Perkapalan Program Reguler, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di bidang Konstruksi Perkapalan.

Penulis pernah menjalankan on the job training di perusahaan yaitu PT. Batamec. Selain aktivitas akademik, penulis berpengalaman dan aktif tergabung dalam beberapa aktivitas organisasi dan unit kegiatan mahasiswa. Penulis pernah bergabung dalam Himpunan Teknik Perkapalan pada tahun 2015-2016 sebagai anggota KWU Himatekpal. Penulis dapat dihubungi melalui dzaky.bestari@gmail.com.