



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PELAT
DENGAN FILLET AKIBAT BEBAN TARIK MENGGUNAKAN
PENDEKATAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN**

**Andika Dayongki Siputra
NRP 0411134000050**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D.
Totok Yulianto, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PELAT
DENGAN FILLET AKIBAT BEBAN TARIK MENGGUNAKAN
PENDEKATAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN**

**Andika Dayongki Siputra
NRP 0411134000050**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D.
Totok Yulianto, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALYSIS OF STRESS CONCENTRATION PLATE WITH
FILLET DUE TO TENSIL LOAD BY USING NUMERICAL
APPROACHES AND EXPERIMENT**

**Andika Dayongki Siputra
NRP 0411134000050**

**Supervisor
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D.
Totok Yulianto, S.T., M.T.**

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

2019

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PELAT DENGAN FILLET AKIBAT BEBAN TARIK MENGGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN

TUGAS AKHIR

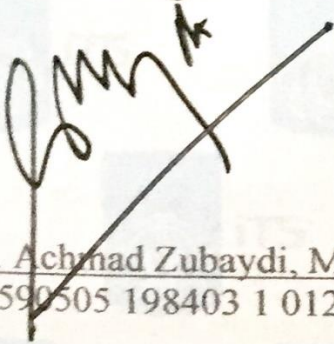
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ANDIKA DAYONGKI SIPUTRA
NRP 04111340000050

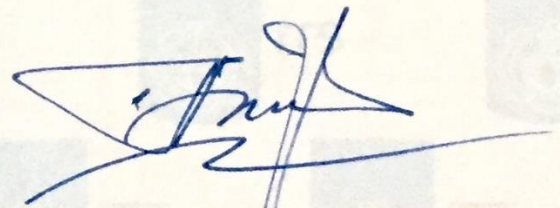
Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



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

Mengetahui
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Ariawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001
SURABAYA, 6 JANUARI 2020

LEMBAR REVISI

ANALISA FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PELAT DENGAN FILLET AKIBAT BEBAN TARIK MENGGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 15 Januari 2020

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

Oleh:

ANDIKA DAYONGKI SIPUTRA
NRP 0411134000050

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

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

3. Danu Utama, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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

5. Totok Yulianto, S.T., M.T.

SURABAYA, 15 Januari 2020

The image shows three sets of handwritten signatures in blue ink on dotted lines. The first signature is at the top, the second is in the middle, and the third is at the bottom. Each signature is written over a horizontal dotted line.

HALAMAN PERUNTUKAN

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Azza Wa Jalla, yang telah memberikan rahmat dan anugerah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir tersebut diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir dan keberhasilan menempuh program studi sarjana, tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, yaitu : Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D., selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir, memberikan motivasi, dan pelajaran baik akademik dan non akademik berupa karakter, etika, dan sikap.
2. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua dan Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium.
3. 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.
4. Kedua orang tua penulis, Dayuk dan Sunarto yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis setiap kegiatan dan aktivitas hingga saat ini serta mengingatkan untuk taat beribadah.
5. Saudara penulis, Zendika Dayongki Siputri sebagai adik terbaik memberikan semangat bagi penulis
6. Dyah Dwi Lestari beserta keluarga yang telah memberikan semangat, doa, saran dan motivasi tiada henti kepada penulis selama menempuh pendidikan di Teknik Perkapalan ITS.
7. Akhmad Roni, Zaki Bestari, Candra Ariesta, Pak Pardi, Mas Joko, Mas Agil, Pak Fairil. Terima kasih banyak atas kebaikan dan bantuan kalian semua.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaatan. Penulis berharap bahwa karya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi seluruh pembaca di kemudian hari.

Surabaya, 9 Januari 2020

Andika Dayongki Siputra

ANALISA FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PELAT DENGAN FILLET AKIBAT BEBAN TARIK MENGGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN

Nama Mahasiswa : Andika Dayongki Siputra
NRP : 04111340000050
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D.
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.

ABSTRAK

Kapal merupakan alat transportasi yang dalam pembangunannya dibutuhkan komponen yaitu baja. Dalam penelitian ini pelat baja yang digunakan memiliki bentuk *fillet*. Bentuk pelat *fillet* sering dijumpai pada bagian-bagian konstruksi kapal seperti pada lubang palkah, bracket, dan lain-lain. Kapal dikenai beban eksternal akan mengakibatkan terjadinya stress di dalam baja tersebut. Stress yang terjadi bisa dihitung dengan mengukur strain yang terjadi pada baja kapal tersebut. Tujuan pada penelitian ini mengetahui nilai faktor konsentrasi tegangan pada setiap material dengan radius *fillet* yang berbeda-beda. Mengetahui nilai faktor konsentrasi tegangan yang paling rendah merupakan tujuan utama dari penelitian ini dikarenakan semakin rendah faktor konsentrasi tegangan pada material tersebut maka untuk terjadi *initial crack* semakin kecil. Pengujian material untuk memperkirakan SCF (*stress concentration factor*) digunakan metode eksperimen dengan *strain gauge* dan metode numerik dengan *Finite Element Analysis*. Faktor konsentrasi tegangan didapatkan dari *Finite Element Analysis* dengan cara dibandingkan antara nilai yang diperoleh secara eksperimen. Hasil analisis model pelat baja SS400 berukuran 300 mm x 60 mm x 6 mm menggunakan variasi bentuk *fillet* dengan rasio r/d dan H/d untuk radius 6 mm, 9 mm, 12 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm, 4 mm, 6 mm, dan 8 mm. Variasi pembebanan gaya dilakukan dengan 30% dan 60% dari yield material. Nilai faktor konsentrasi tegangan numerik 1,97 untuk radius 6 mm, 1,80 untuk radius 9 mm, 1,59 untuk radius 12 mm, 2,04 untuk radius 5 mm, 1,79 untuk radius 7 mm, 1,62 untuk radius 10 mm, 2,14 untuk radius 4 mm, 1,82 untuk radius 6 mm, 1,69 untuk radius 8 mm. Nilai faktor konsentrasi tegangan paling rendah berada pada radius 12 mm dengan nilai SCF 1,59. Dengan pembebanan 30% dan 60% nilai SCF tidak mengalami perubahan. Semakin besar rasio H/d dengan rasio r/d yang sama, maka faktor konsentrasi tegangan semakin besar. Kemudian semakin besar rasio r/d dengan H/d yang sama, maka faktor konsentrasi tegangan semakin rendah.

Kata Kunci: *Stress Consentration Factor, Finite Element Analysis, Pelat dengan Fillet*

ANALYSIS OF STRESS CONCENTRATION PLATE WITH FILLET DUE TO TENSIL LOAD BY USING NUMERICAL APPROACHES AND EXPERIMENT

Author : Andika Dayongki Siputra
ID No : 04111340000050
Dept. / Faculty : Departement of Naval Architecture/Marine Technology
Supervisors : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D.
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.

ABSTRACT

A ship is a types of transportation which are needed, namely steel in its construction. In this research the steel plates used had a fillet shape. Forms of fillet plates are often found in parts of ship constructions such as hatches, brackets, and the others. Ships subject to external loads will cause stress in the steel. Stress which has occurred can be calculated by measuring the strain that occurs in the steel of the ship. The aim of this research is to find out the value of the stress concentration factor for each material tested with different fillet radius. Finding out the lowest value of the stress concentration factor is the main objective of this research because the lower stress concentration factor in the material, the smaller initial crack will occur. Material testing to estimate the SCF (stress consentration factor) is used experimental method with strain gauge and numerical method with Finite Element Analysis. The stress concentration factor is obtained from Finite Element Analysis by comparing the values obtained experimentally. Analyst results of the SS400 steel plate model measuring 300mm x 60mm x 6mm use variations in form fillet with r / d and H / d ratios for radii of 6mm, 9mm, 12mm, 5mm, 7mm, 10mm, 4mm, 6mm, and 8mm. The variation in load force is done with 30% and 60% of the material yield. The stress concentration factor values obtained from experiments, numerical, and empirical are 1.97 for a radius of 6mm, 1.80 for a radius of 9mm, 1.59 for a radius of 12mm, 2.04 for a radius of 5mm, 1.79 for a radius of 7mm, 1.62 for a radius of 10mm, 2.14 for a 4mm radius, 1.82 for a 6mm radius, 1.69 for an 8mm radius. The lowest value of the stress concentration factor is at a radius of 12mm with a SCF value of 1.59. With a load of 30% and 60% of SCF value does not change. The greater ratio H / d with the same ratio of r / d , then the greater the stress concentration factor. And the greater the ratio of r / d with the same H / d , then the lower the stress concentration factor.

Keyword: Stress Consentration Factor, Finite Element Analysis, Plate with Fillet

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
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	3
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. Dasar Teori.....	5
2.2. Tegangan (Stess).....	5
2.2.1. Regangan (<i>Strain</i>)	6
2.2.2. Hubungan Tegangan dan Regangan	7
2.2.3. Elastisitas dan Plastisitas.....	7
2.2.4. Deformasi.....	8
2.2.5. Batas Luluh (Yield Point)	9
2.2.6. Strees concentration factor.....	9
2.2.7. Pengujian Tarik.....	10
2.3. Tinjauan Pustaka	12
2.3.1. Prinsip Kerja <i>Strain gauge</i>	12
2.3.2. Konsep Metode Elemen Hingga	13
2.3.3. Konvergensi	13
2.3.4. Kondisi Batas	14
2.3.5. Jenis Tegangan.....	15
BAB 3 METODOLOGI	17
3.1. Bagan Alir	17
3.2. Studi Literatur	20
3.3. Pengumpulan Data	20
3.3.1. Pengujian Material	20
3.4. Pemodelan.....	22
3.4.1. Langkah Pemodelan.....	22
3.5. Konvergensi	31
3.6. Analisis Tegangan.....	40
3.7. Langkah Pengujian Eksperimen	40

BAB 4 Faktor konsentrasi tegangan	45
4.1. Analisis Hasil dan Pembahasan	45
4.1.1. Model Pelat <i>Fillet</i> Radius 6 mm	45
4.1.2. Model Pelat <i>Fillet</i> Radius 9 mm	46
4.1.3. Model Pelat <i>Fillet</i> Radius 12 mm	47
4.1.4. Model Pelat <i>Fillet</i> Radius 5 mm	48
4.1.5. Model Pelat <i>Fillet</i> Radius 7 mm	49
4.1.6. Model Pelat <i>Fillet</i> Radius 10 mm	50
4.1.7. Model Pelat <i>Fillet</i> Radius 4 mm	51
4.1.8. Model Pelat <i>Fillet</i> Radius 6 mm	52
4.1.9. Model Pelat <i>Fillet</i> Radius 8 mm	53
4.2. Distribusi Tegangan Pengujian Tarik	54
4.3. Faktor Konsentrasi Tegangan Uji Tarik dengan Metode Numerik.....	62
4.3.1. Faktor Konsentrasi Tegangan Uji Tarik Dengan Metode Empiris	64
4.3.2. Faktor Konsentrasi Tegangan Dengan Metode Eksperimen	65
4.3.3. Hasil Perhitungan SCF dari <i>FEA</i> , Rumus Empiris, dan Eksperimen	66
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1. Kesimpulan	83
5.2. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA.....	85

LAMPIRAN

Sertifikat Material SS400
 Pemasangan *Strain Gage*
 Gambar Kertas Pengujian SS400
 Gambar Kertas Eksperimen Pengujian Tarik
 Hasil Perhitungan Eksperimen Pengujian Tarik Dengan *Strain Gauge*
 Grafik Regangan Eksperimen Pengujian Tarik

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram alir Tugas Akhir	19
Gambar 3.2 Specimen shape C	20
Gambar 3.3 Tensile Test Specimen SS400	21
Gambar 3.4 Desain Material Pengujian	22
Gambar 3.5 Create part	23
Gambar 3.6 Model radius 6 mm	24
Gambar 3.7 Model radius 9 mm	24
Gambar 3.8 Model radius 12 mm	24
Gambar 3.9 Model radius 5 mm	25
Gambar 3.10 Model radius 7 mm	24
Gambar 3.11 Model radius 10 mm	25
Gambar 3.12 Model radius 4 mm	25
Gambar 3.13 Model radius 6 mm	25
Gambar 3.14 Model radius 8 mm	26
Gambar 3.15 Pendefinisian Material	27
Gambar 3.16 Produk Assembly	27
Gambar 3.17 Pengaturan Step	28
Gambar 3.18 Pengaplikasian Kondisi Batas Pada Model Uji Tarik	29
Gambar 3.19 Pemberian ukuran elemen	29
Gambar 3.20 Pengaturan running	30
Gambar 3.21 Element 8 Node Bricks	31
Gambar 3.22 Konvergensi Model 1	32
Gambar 3.23 Konvergensi Model 2	33
Gambar 3.24 Konvergensi Model 3	34
Gambar 3.25 Konvergensi Model 4	35
Gambar 3.26 Konvergensi Model 5	36
Gambar 3.27 Konvergensi Model 6	37
Gambar 3.28 Konvergensi Model 7	38
Gambar 3.29 Konvergensi Model 8	39
Gambar 3.30 Konvergensi Model 9	41
Gambar 3.31 Pembentukan pelat dengan mesin CNC	41
Gambar 3.32 Pengamplasan material	42
Gambar 3.33 Pemasangan sensor strain gauge	42
Gambar 3.34 Pengujian spesimen	43
Gambar 4.1 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield	45
Gambar 4.2 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield	45
Gambar 4.3 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield	46
Gambar 4.4 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield	46
Gambar 4.5 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield	46
Gambar 4.6 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield	47
Gambar 4.7 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield	47
Gambar 4.8 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield	47
Gambar 4.9 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield	48

Gambar 4.10 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield.....	48
Gambar 4.11 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield.....	48
Gambar 4.12 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield.....	49
Gambar 4.13 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield.....	49
Gambar 4.14 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield.....	49
Gambar 4.15 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield.....	50
Gambar 4.16 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield.....	50
Gambar 4.17 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield.....	50
Gambar 4.18 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield.....	51
Gambar 4.19 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield.....	51
Gambar 4.20 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield.....	51
Gambar 4.21 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield.....	52
Gambar 4.22 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield.....	52
Gambar 4.23 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield.....	52
Gambar 4.24 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield.....	53
Gambar 4.25 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield.....	53
Gambar 4.26 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield.....	53
Gambar 4.27 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield.....	54
Gambar 4.28 Distribusi Tegangan Tarik radius 6 mm.....	54
Gambar 4.29 Distribusi Tegangan Tarik radius 9 mm.....	55
Gambar 4.30 Distribusi Tegangan Tarik radius 12 mm.....	55
Gambar 4.31 Distribusi Tegangan Tarik radius 5 mm.....	56
Gambar 4.32 Distribusi Tegangan Tarik radius 7 mm.....	56
Gambar 4.33 Distribusi Tegangan Tarik radius 10 mm.....	57
Gambar 4.34 Distribusi Tegangan Tarik radius 4 mm.....	57
Gambar 4.35 Distribusi Tegangan Tarik radius 6 mm.....	58
Gambar 4.36 Distribusi Tegangan Tarik radius 8 mm.....	58
Gambar 4.37 Distribusi Tegangan Pengaruh Variasi Radius Beban 60%.....	59
Gambar 4.38 Distribusi Tegangan Pengaruh Variasi Radius Beban 60%.....	60
Gambar 4.39 Distribusi Tegangan Pengaruh Variasi Radius Beban 60%.....	61
Gambar 4.40 Perbandingan SCF Beban 30% yield.....	67
Gambar 4.41 Perbandingan SCF Beban 30% yield.....	68
Gambar 4.42 Perbandingan SCF Beban 30% yield.....	68
Gambar 4.43 Perbandingan SCF Beban 60% yield.....	69
Gambar 4.44 Perbandingan SCF Beban 60% yield.....	70
Gambar 4.45 Perbandingan SCF Beban 60% yield.....	70
Gambar 4.46 Perbandingan SCF Beban 90% yield.....	71
Gambar 4.47 Perbandingan SCF Beban 90% yield.....	72
Gambar 4.48 Perbandingan SCF Beban 90% yield.....	72
Gambar 4.49 Rata-rata SCF rasio H/d 2.....	74
Gambar 4.50 Rata-rata SCF rasio H/d 2,5.....	75
Gambar 4.51 Rata-rata SCF rasio H/d 3.....	76
Gambar 4.52 SCF Tarik Numerik H/d 2, 2,5, dan 3.....	77
Gambar 4.53 SCF Tarik Eksperimen H/d 2, 2,5, dan 3.....	78
Gambar 4.54 SCF Tarik Empiris H/d 2, 2,5, dan 3.....	79
Gambar 4.55 SCF Tarik Numerik, Empiris, dan Eksperimen r/d 0,2.....	80
Gambar 4.56 SCF Tarik Numerik, Empiris, dan Eksperimen r/d 0,3.....	81
Gambar 4.57 SCF Tarik Numerik, Empiris, dan Eksperimen r/d 0,4.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Tarik Material SS400	21
Tabel 3.2 Konvergensi Model 1	30
Tabel 3.3 Konvergensi model 2.....	31
Tabel 3.4 Konvergensi model 3.....	32
Tabel 3.5 Konvergensi model 4.....	33
Tabel 3.6 Konvergensi model 5.....	34
Tabel 3.7 Konvergensi model 6.....	35
Tabel 3.8 Konvergensi model 7.....	36
Tabel 3.9 Konvergensi model 8.....	37
Tabel 3.10 Konvergensi model 9.....	38
Tabel 4.1 Perbedaan Distribusi Tegangan Numerik dan Eksperimen.....	59
Tabel 4.2 Perbedaan Distribusi Tegangan Numerik dan Eksperimen.....	60
Tabel 4.3 Perbedaan Distribusi Tegangan Numerik dan Eksperimen.....	61
Tabel 4.4 Tegangan Tarik arah Sumbu X beban 30% yield.....	62
Tabel 4.5 Tegangan Tarik arah Sumbu Y beban 60% yield.....	63
Tabel 4.6 Tegangan Tarik arah Sumbu X beban 90% yield.....	63
Tabel 4.7 Perhitungan SCF Tarik Empiris	64
Tabel 4.8 Hasil Tegangan Eksperimen Pengujian Tarik	65
Tabel 4.9 Stress concentration factor eksperimen pengujian tarik	65
Tabel 4.10 Perbandingan Perhitungan SCF.....	66
Tabel 4.11 Faktor Konsentrasi Tegangan beban 30%	67
Tabel 4.12 Faktor Konsentrasi Tegangan beban 60%	69
Tabel 4.13 Faktor Konsentrasi Tegangan beban 90%	71
Tabel 4.14 Rata-rata SCF Metode Numerik, Empiris, dan Eksperimen	73
Tabel 4.15 Rata-rata SCF Metode Numerik, Empiris, dan Eksperimen rasio H/d 2.....	73
Tabel 4.16 Rata-rata SCF Metode Numerik, Empiris, dan Eksperimen rasio H/d 2,5.....	74
Tabel 4.17 Rata-rata SCF Metode Numerik, Empiris, dan Eksperimen rasio H/d 3.....	75
Tabel 4.18 Hasil Nilai SCF untuk rasio H/d 2, 2,5, dan 3 Numerik.....	76
Tabel 4.19 Hasil Nilai SCF untuk rasio H/d 2, 2,5, dan 3 Eksperimen.....	77
Tabel 4.20 Hasil Nilai SCF untuk rasio H/d 2, 2,5, dan 3 Empiris	78
Tabel 4.21 Hasil Nilai SCF untuk r/d 0,2	79
Tabel 4.22 Hasil Nilai SCF untuk r/d 0,3	80
Tabel 4.23 Hasil Nilai SCF untuk r/d 0,4	81

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)
Ks	= Koefisien <i>gage factor</i>
h	= Lebar spesimen (mm)
P	= Gaya tekan (N/m^2)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Struktur pelat sering dijumpai pada konstruksi badan kapal. Struktur pelat tersebut efektif dalam menahan beban dan gaya luar. Dalam kenyataannya pelat merupakan struktur pokok dalam bidang konstruksi rancang bangun.

Kapal dikenai beban eksternal akan mengakibatkan terjadinya stress di dalam baja tersebut. Beban eksternal bisa berupa penggunaan kapal dalam kondisi beroperasi. Stress yang terjadi bisa dihitung dengan mengukur strain yang terjadi pada baja kapal tersebut. Pelat yang digunakan pada tugas akhir ini memiliki bentuk *fillet*. Bentuk pelat *fillet* sering dijumpai pada bagian-bagian konstruksi kapal seperti pada lubang palkah, bracket, dan lain-lain.

Luasnya penggunaan pelat sangat memerlukan peningkatan pengetahuan bahan dan perilaku mekaniknya. Untuk itu berbagai pengujian eksperimen dan perhitungan analitik dan numerik perlu dilakukan. Iterasi-iterasi yang dilakukan akan sangat memakan waktu yang panjang dan berbagai teori matematis yang sulit bahkan hasilnya akan memunculkan suatu unsur penyimpangan atau kesalahan tidak mungkin untuk dilakukan perhitungan analitis. Kesulitan ini sangat mendorong para teknisi untuk menemukan suatu metode yang lebih mendekati dan perbedaan dengan metode perancang terdahulu.

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.

Seiring dengan perkembangan hardware komputer yang sangat cepat, memungkinkan perkembangan software berbasis elemen hingga. Saat ini sudah banyak software komersial berbasis metode elemen hingga dipasarkan. Sebagai contoh adalah ABAQUS, CATIA Elfini, Patran, Nastran, Ansys dan lain-lain, yang dapat menimbulkan pengaruh besar pada perhitungan analisa statis dan dinamis untuk pelat. Fenomena ini akan menyederhanakan persoalan dalam mengatasi masalah kalkulasi dan beberapa iterasi yang panjang.

1.2. Perumusan Masalah

Berkenaan dengan latar belakang diatas, maka didapatkan rumusan permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah, sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan pelat dengan *fillet* menggunakan elemen hingga untuk melakukan analisis konsentrasi tegangan?
2. Bagaimana konsentrasi tegangan pada pelat dengan *fillet* pada tiap variasi yang digunakan?
3. Bagaimana menentukan konsentrasi tegangan pada plat dengan *fillet* menggunakan *strain gauge*?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Dapat mengetahui faktor konsentrasi tegangan paling rendah dari 9 variasi desain pelat
2. Dapat mengetahui faktor konsentrasi tegangan pada setiap pelat
3. Dapat mengetahui faktor konsentrasi tegangan dengan rasio H/d dan r/d

1.4. Batasan Masalah

Pada pengerjaannya penelitian ini diberikan beberapa batasan sebagai berikut:

1. Material yang digunakan yaitu SS400
2. Diberikan 9 variasi desain pelat dengan *fillet* menggunakan radius 6 mm, 9 mm, 12 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm, 4 mm, 6 mm, dan 8 mm
3. Perhitungan dilakukan dengan bantuan *software Finite Element Analysis*

1.5. Manfaat

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai Studi Literatur untuk analisis konsentrasi tegangan pada pelat yang mengalami diskontinuitas (*fillet*)
2. Sebagai contoh analisis konsentrasi tegangan dengan *strain gauge*

1.6. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini akan didapatkan faktor konsentrasi tegangan pada pelat diskontinuitas (*fillet*) dengan metode numerik dan eksperimen (*strain gauge*).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2 STUDI LITERATUR

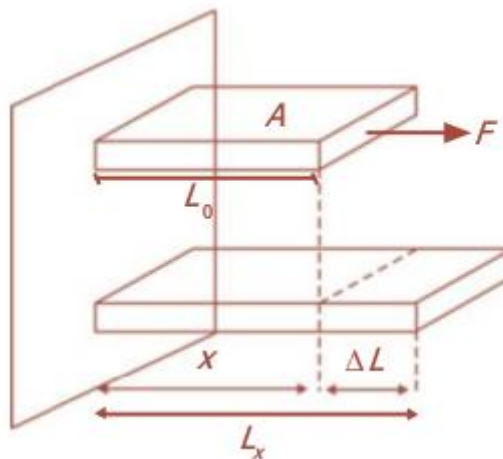
2.1. Dasar Teori

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

2.2. Tegangan (Stess)

Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda. Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda. Dapat dilihat pada Persamaan (2.1).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$



Gambar 2.1 Benda elastis dengan pertambahan panjang ΔL
(Sumber: dosenmipa, 2007)

Pada Gambar 2.1 menunjukkan sebuah benda elastis dengan panjang L_0 dan luas penampang A diberikan gaya F sehingga bertambah panjang ΔL . Dalam keadaan ini,

dikatakan benda mengalami tegangan. Perubahan bentuk dan ukuran benda bergantung pada arah dan letak gaya luar yang diberikan. Ada beberapa jenis deformasi yang bergantung pada sifat elastisitas benda, antara lain tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*). (Singer and Pytel, 1995)

2.2.1. Regangan (*Strain*)

Regangan adalah perubahan ukuran dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau menekan pada material. Apabila suatu spesimen struktur material diikat pada jepitan mesin pengujian dan beban serta pertambahan panjang spesimen diamati serempak, maka dapat digambarkan pengamatan pada grafik dimana ordinat menyatakan beban dan absis menyatakan pertambahan panjang. Batasan sifat elastis perbandingan tegangan regangan akan linier dan akan berakhir sampai pada titik mulur. (Singer and Pytel, 1995)

Pembebanan yang terjadi pada struktur utamanya pada struktur kapal terjadi disebabkan oleh beberapa jenis pembebanan. Jenis jenis pembebanan berikut adalah sebagai berikut:

- **Beban Statis**

Beban statis adalah beban yang tidak berubah besarnya maupun arahnya atau beban yang perubahannya sedikit sekali. Misalnya adalah Gaya tekan air keatas, berat bagian konstruksi kapal, berat muatan dan barang barang lain di dalam kapal, reaksi tumpuan pada waktu kapal kandas atau di dok.

- **Beban Quasi Statis**

Beban statis quasi semu adalah beban yang berubah besarnya maupun arahnya secara lambat. lambat berarti perubahannya tersebut terjadi dalam selang waktu yang jauh lebih besar dari waktu getar badan kapal ataupun bagian-bagiannya.

- **Beban Dinamis**

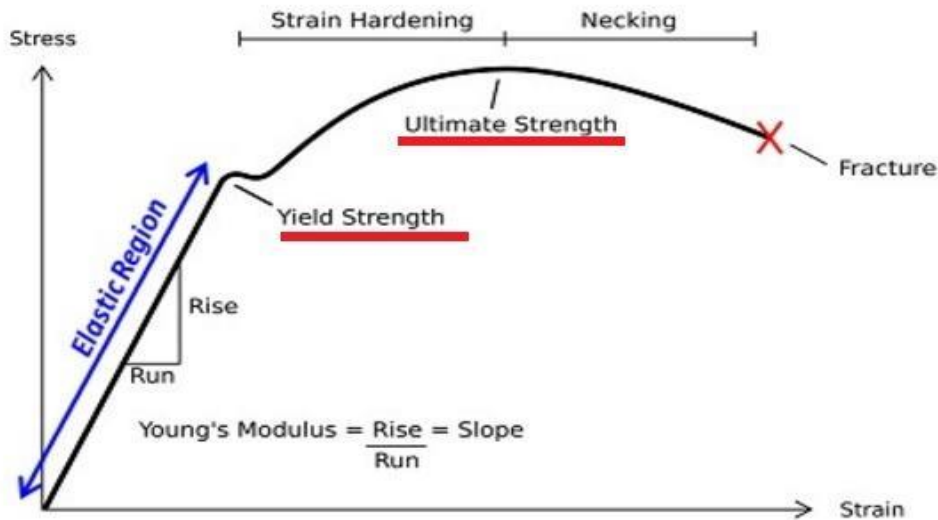
Beban dinamis adalah beban yang berubah besarnya maupun arahnya dapat berubah secara cepat atau lambat dan tidak dapat diperkirakan. Misalnya adalah beban sesaat karena “slamming”, damparan ombak pada dinding-dinding bangunan atas atau haluan yang melebar, beban berat air yang naik ke geladak dan benturan dengan kapal lain, kapal tunda atau dermaga.

2.2.2. Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai batas fase sifat plastis. Dilihat pada Persamaan (2.2) untuk memperoleh satuan deformasi atau regangan (ϵ) yaitu dengan membagi perpanjangan (ΔL) dengan panjang material mula-mula (L_0). (Marciniak et al, 2002)

$$\epsilon_{eng} = \Delta L / L_0 \quad (2.2)$$

Pada Gambar 2.2 menunjukkan bahwa memanfaatkan sifat plastisitas dari material saat pelat diberi gaya luar merupakan hal yang penting dari proses pembentukan. Pada awal pembebanan dimana gaya terus meningkat pelat akan mengalami sifat elastis dan kemudian tahap plastis. Dengan memanfaatkan tahap plastis tersebut maka proses pembentukan material akan tercapai, dimana bentuk pelat akan sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan.



Gambar 2.2 *Stress-Strain* diagram
(Sumber: pthengineering, 2003)

2.2.3. Elastisitas dan Plastisitas

Bila suatu material mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Bila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati suatu batas tertentu (batas elastis) maka akan terjadi perubahan bentuk yang bersifat sementara. Perubahan bentuk akan hilang bersama dengan hilangnya tegangan. Tetapi, bila tegangan yang bekerja telah melampaui batas

tersebut maka sebagian dari perubahan bentuk itu tetap ada walaupun tegangan dihilangkan. Sedangkan plastisitas adalah perubahan bentuk yang permanent tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sering disebut keuletan (*ductile*). Bahan yang mampu mengalami deformasi plastis adalah bahan yang mempunyai keuletan tinggi dan sebaliknya bahan yang tidak deformasi plastis berarti mempunyai keuletan rendah atau getas. (Timoshenko and Woinowsky, 1988)

Jika sebuah material diberi beban dan mengalami regangan tetapi bila beban dihilangkan material tersebut kembali ke bentuk semula maka hal ini dikatakan elastis. Elastisitas ini berada di daerah elastis, sebelum titik luluh (*yield point*). Selama material masih berada di daerah elastis, jika beban dihilangkan maka material akan kembali ke bentuk semula. (Timoshenko and Woinowsky, 1988)

2.2.4. Deformasi

Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi plastis dan deformasi elastis. Deformasi atau perubahan bentuk terjadi apabila bahan dikenai gaya. Selama proses deformasi berlangsung, material menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Sebesar apapun gaya yang bekerja pada material, material akan mengalami perubahan bentuk dan dimensi. Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah. (Singer and Pytel, 1995)

Pada Persamaan (2.3) modulus elastisitas (E) didapatkan melalui membagi tegangan (σ) yang terjadi pada material dengan regangan (ϵ) yang dihasilkan pada material. Pada awal pembebanan akan terjadi deformasi elastis sampai pada kondisi tertentu, sehingga material akan mengalami deformasi plastis. Pada awal pembebanan di bawah kekuatan luluh, material akan kembali ke bentuk semula. Hal ini dikarenakan adanya sifat elastis pada bahan. Peningkatan beban melebihi kekuatan luluh (*yield point*) yang dimiliki plat akan mengakibatkan aliran deformasi plastis sehingga plat tidak akan kembali ke bentuk semula. (Singer and Pytel, 1995)

$$E = \sigma/\epsilon \quad (2.3)$$

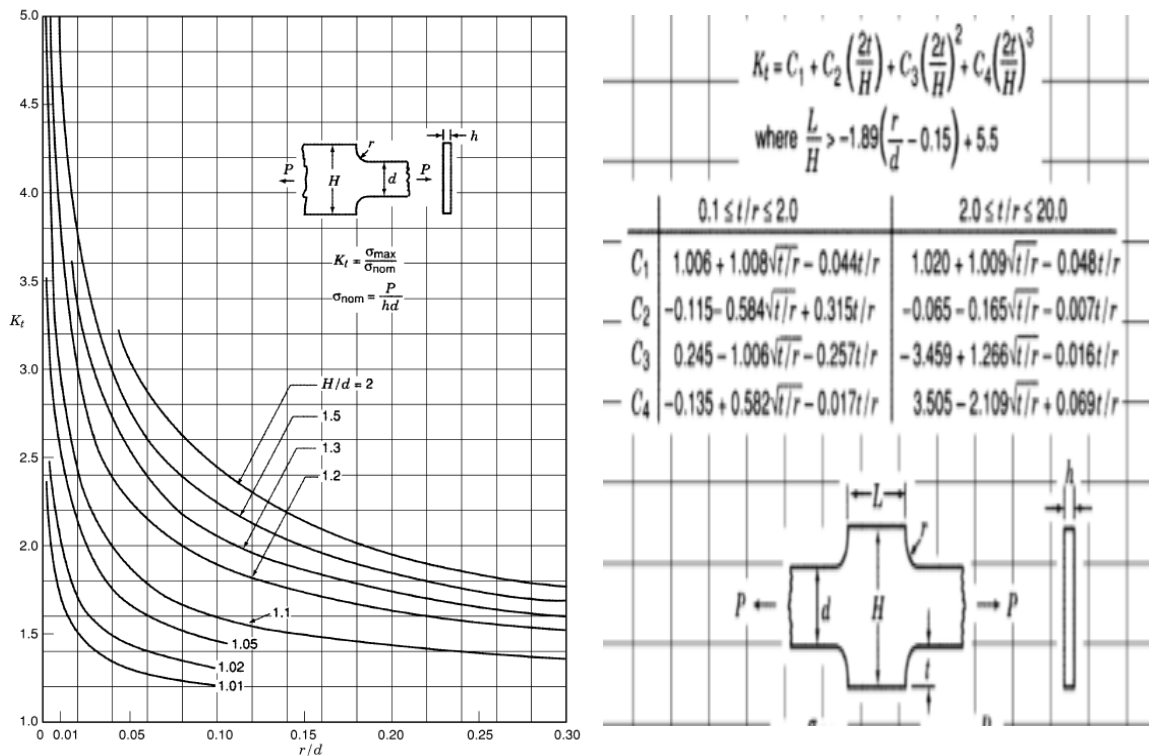
2.2.5. Batas Luluh (Yield Point)

Disebut *yield point* atau batas luluh apabila regangan meningkat sekalipun tiada peningkatan tegangan (hanya terjadi pada baja lunak) dan jika beban yang bekerja pada material diteruskan hingga diluar batas elastis akan terjadi perpanjangan atau pempendekan permanen secara tiba-tiba. Setelah melewati titik ini, material tidak akan kembali ke bentuk semula, atau material sedang berada dalam daerah plastis. (Huda, 2017)

2.2.6. Stress concentration factor

Faktor konsentrasi tegangan adalah faktor tanpa dimensi yang digunakan untuk mengukur seberapa terkonsentrasi *stress* dalam suatu material. Pada Persamaan (2.4) menunjukkan bahwa faktor konsentrasi tegangan didefinisikan sebagai rasio tegangan tertinggi dalam elemen terhadap tegangan nominal.

$$SCF = \sigma_{\max} / \sigma_{\text{nom}} \tag{2.4}$$



Gambar 2.3 Diagram Faktor Konsentrasi Tegangan dan SCF Formula
(Sumber: Peterson, 2005)

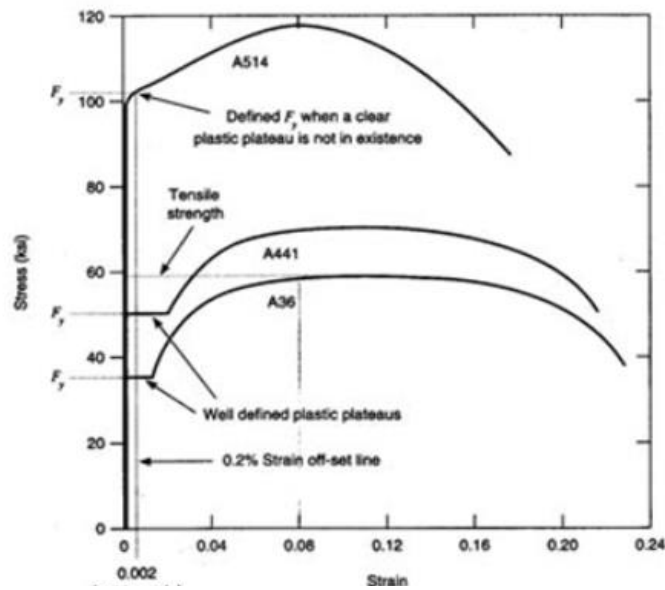
Pada Gambar 2.3 menunjukkan bahwa tegangan pada material yang diskontinu akan menyebabkan distribusi tegangannya tidak merata dan terkonsentrasi pada daerah diskontinu tersebut. Pada pembangunan kapal, banyak sekali material yang diskontinu atau perubahan bentuk yang drastis salah satunya adalah *fillet* pada pelat di daerah sekitar lubang palkah seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah. Tegangan referensi adalah tegangan total dalam suatu unsur dibawah kondisi pembebanan yang sama tanpa tegangan konsentrasi yang berarti tegangan pada material dimana material bebas dari lubang, potongan, takik atau lintasan sempit.

Pada Tugas Akhir ini yang meneliti pelat ber-*fillet*, bentuk dari *fillet* itu sendiri dapat mempengaruhi besarnya nilai SCF. Dikatakan bahwa bentuk *fillet* yang mempengaruhi besarnya nilai SCF yaitu *fillet* berbentuk lingkaran. Berikut adalah contoh nilai SCF *fillet* dengan bentuk *circular arc*. (Saputra, 2019)

2.2.7. Pengujian Tarik

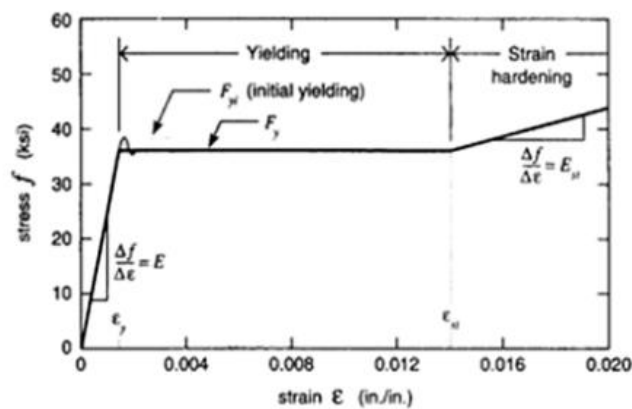
Uji tarik menghasilkan sifat mekanis material baja yang melibatkan pembebanan tarik sampel baja dan bersamaan dengan itu dilakukan pengukuran beban dan perpanjangan sehingga diperoleh tegangan dan regangan yang dihitung dengan menggunakan $\sigma = P/A$ dan $\epsilon = DL/L$. Selama uji tarik, sampel dibebani hingga hancur, dan diperoleh diagram tegangan regangan. Pada awal pembebanan, terlihat hubungan linier antara tegangan dan regangan. Selanjutnya, setelah melewati titik limit proporsional, hubungan tersebut menjadi tidak linier seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.4.

Baja akan bersifat tetap elastis (artinya apabila beban dihilangkan akan kembali ke panjang semula), apabila tegangannya tidak melewati suatu titik yang nilainya sedikit di atas limit proporsional, atau disebut limit elastis. Karena limit proporsional dan limit elastis sangat dekat, maka seringkali dianggap sebagai titik yang sama. Ketika beban bertambah, tercapai suatu titik dimana regangan bertambah namun tegangannya konstan. Tegangan demikian disebut tegangan leleh F_y . (Davis et al, 1955)



Gambar 2.4 Kurva Tegangan Regangan
(Sumber: pthengineering, 2003)

Pada Gambar 2.5 terlihat adanya tegangan leleh awal (initial yielding) yang nilainya sedikit lebih besar dari F_y . Tegangan leleh awal hanya dapat tercapai sesaat dan nilainya tidak stabil. Regangan saat tegangan leleh awal terjadi dinamakan regangan leleh ϵ_y . Pada saat baja terus meregang atau meleleh, yang lama kelamaan akan dicapai suatu titik dimana kapasitas pikul bebannya bertambah. Fenomena bertambahnya kekuatan ini disebut strain hardening. Saat mengalami strain hardening, baja akan mencapai tegangan maksimum yang selanjutnya terjadi penurunan kapasitas pikul beban meskipun regangan terus bertambah hingga baja putus. Tegangan maksimum tersebut dinamakan tegangan. (Davis et al, 1955)



Gambar 2.5 Diagram Tegangan Regangan
(Sumber: pthengineering, 2003)

2.3. Tinjauan Pustaka

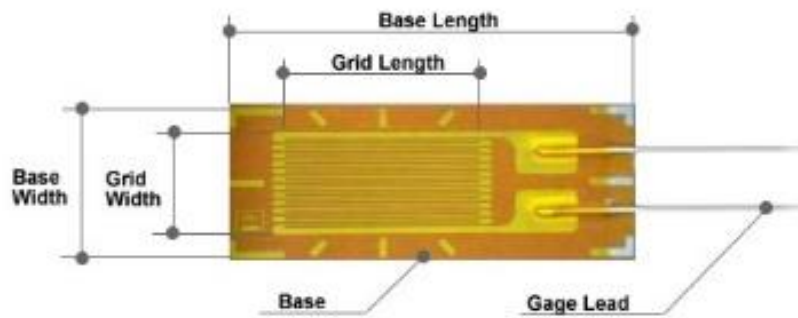
Pada bagian ini dituliskan uraian mengenai penelitian yang dilakukan sebelumnya berkaitan dengan topik Tugas Akhir ini untuk mempermudah memahami konsep Tugas Akhir dan sebagai landasan teori untuk tercapainya tujuan dalam Tugas Akhir ini.

2.3.1. Prinsip Kerja *Strain gauge*

Sebuah gaya tarik (gaya tekan) pada setiap material memiliki hambatan yang spesifik dan akan menambah (mengurangi) hambatan dengan menambah panjang (mengkongraksi) material. Pada Persamaan (2.5) dimisalkan hambatan mula-mula adalah (R) dan strain menginisiasikan perubahan hambatan sebesar (ΔR).

$$\Delta R / R = K_s \times \Delta L / L = K_s \times \varepsilon \quad (2.5)$$

K_s adalah *gage factor*, sebuah koefisien yang mengekspresikan sensitivitas dari strain gage. Pada umumnya strain gage menggunakan *copper-nickel* atau *nickel-chrome alloy* sebagai elemen resistif, dan *gage factor* yang dihasilkan dari alloy ini adalah sekitar 2. Walaupun strain gage mampu mendeteksi besarnya strain yang terjadi pada elemen dan mengkonversi mekanisme strain ini menjadi perubahan hambatan listrik, tetapi karena strain merupakan fenomena infinitesimal yang tak tampak, jadi perubahan hambatan yang terjadi sangat kecil. Agar hambatan listrik yang kecil ini mampu untuk dihitung maka diperlukan suatu amplifier dengan menggunakan sirkuit elektrik yang disebut dengan jembatan Wheatstone. Sebuah foil strain gage memiliki *metal foil photo-etched* dengan pola berliku-liku pada sebuah insulator elektrik yang terbuat dari resin yang tipis dan di bagian pangkalnya juga terdapat *gage leads*.



Gambar 2.6 Bentuk *Strain Gage*
(Sumber: Arief, 2010)

Strain gage direkatkan pada objek yang akan diukur dengan menggunakan bahan adesif tertentu seperti pada gambar 2.6. *Strain* yang terjadi pada bagian objek yang akan diukur ini ditransfer menuju elemen peraba melalui dasar *gage* (*gage base*). Untuk memperoleh pengukuran yang akurat, *strain gage* dan bahan adesifnya harus cocok dengan material yang diukur dan kondisi operasi termasuk suhu. (Arief, 2010)

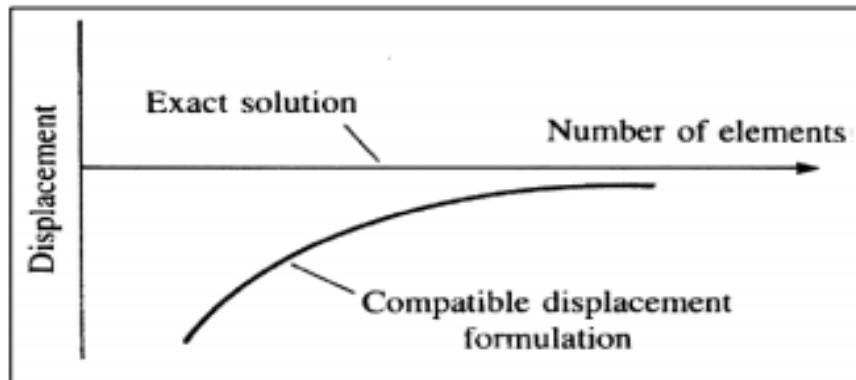
2.3.2. Konsep Metode Elemen Hingga

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*. (Logan, 2011)

2.3.3. Konvergensi

Peningkatan jumlah elemen yang digunakan juga berpengaruh terhadap jumlah waktu dan biaya yang dibutuhkan selama proses analisa dan tingkat keakurasian pada proses

penyelesaian analisa elemen hingga berbanding lurus terhadap bertambahnya jumlah elemen yang digunakan. Pada banyak kasus, permasalahan ini diselesaikan melalui proses gradasi terhadap ukuran elemen untuk memperoleh hasil yang lebih mendetail pada area struktur dimana terjadi konsentrasi akibat adanya bukaan potongan tertentu di sekitar beban yang diberikan.



Gambar 2.7 Hubungan antara jumlah elemen dan parameteranya
(Sumber: Joem, 2010)

Pada Gambar 2.7 dilihat bahwa banyaknya variasi antara struktur dan beban menyebabkan sulitnya menentukan besar ukuran elemen yang dapat memberikan hasil dengan akurasi terbaik. Penentuan ukuran elemen didasari pada pengalaman yang dilakukan pada analisa yang telah dilakukan sebelumnya. (Joem, 2010)

2.3.4. Kondisi Batas

Ada beberapa kondisi tumpuan pada sebuah struktur. Reaksi atau gaya yang timbul pada suatu benda bergantung pada bagaimana benda tersebut ditumpu dan bagaimana benda tersebut disambungkan terhadap benda lain. Pada umumnya tumpuan yang sering dijumpai adalah tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*) dan tumpuan sendi/engsel (*hinge*). Kondisi batas yang sering digunakan pada kekuatan adalah pin yaitu pemberian kondisi dimana translasi di 0 kan sedangkan ada lagi dimana kondisi translasi dan rotasi pada respon struktur di 0 kan. Penentuan kondisi batas sangat diperlukan untuk mendekati kondisi yang terjadi sebenarnya. Kondisi batas (tumpuan) biasa diberikan notasi. Penjelasan dari beberapa tumpuan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel. 2.1. Notasi Kondisi Batas

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

(Sumber: *Abaqus Guildelines*, 2016)

2.3.5. Jenis Tegangan

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

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

Untuk desain bagian-bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan ijin (*allowable stress*) dibuat benar-benar lebih rendah daripada kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian statis. Hal ini penting untuk berbagai pertimbangan. Besar gaya yang dapat bekerja pada bangunan yang dirancang jarang diketahui secara pasti. Karena tegangan dikalikan luas sama dengan gaya, maka tegangan ijin dari *ultimate* dapat diubah dalam bentuk gaya atau beban yang diijinkan dan *ultimate* yang dapat ditahan oleh sebuah batang.

Dijelaskan pada BKI II 2014, untuk sambungan las, analisa kelelahan dapat dilakukan berdasarkan tegangan nominal dan tegangan hotspot, dijelaskan sebagai berikut:

1. Tegangan Nominal

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

2. Tegangan Hotspot

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

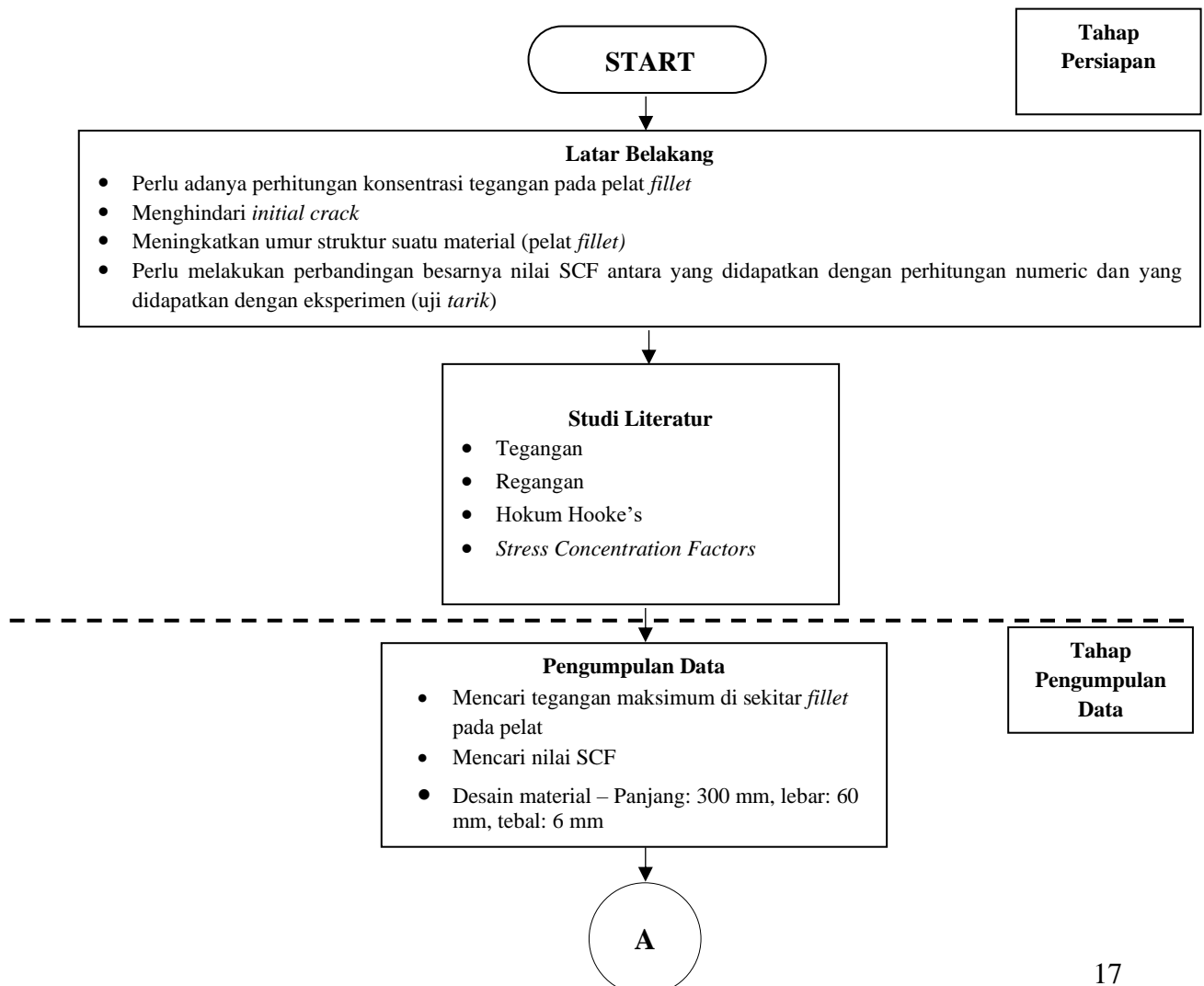
Tegangan nominal digunakan berdasarkan detail yang diperhatikan dan pengklasifikasian detail yang sesuai dengan kategori detail. Untuk sambungan las dimana pengklasifikasian detail tidak mungkin atau terjadi kenaikan tegangan yang tidak diperhatikan oleh klasifikasi detail, maka dilakukan berdasarkan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

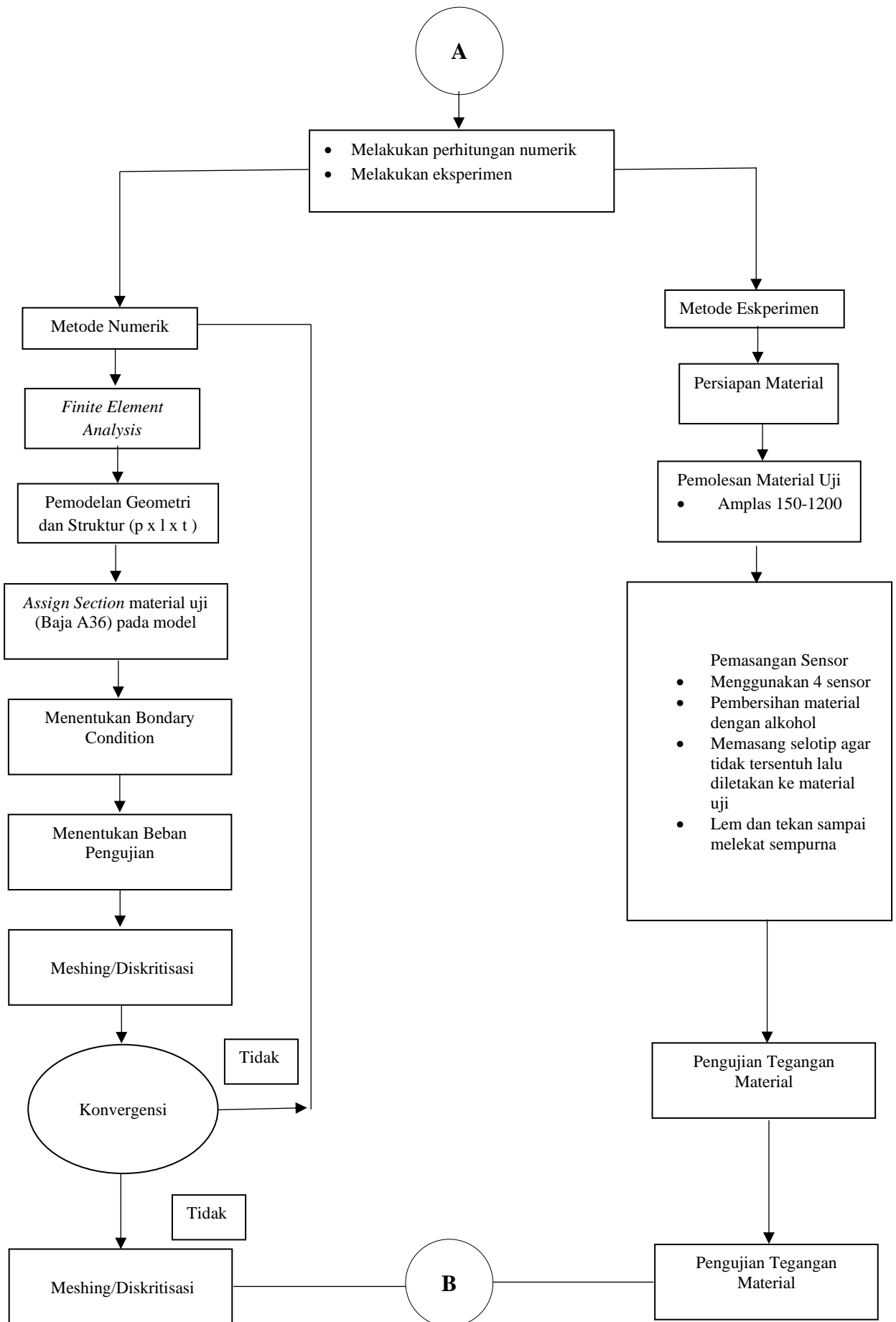
BAB 3 METODOLOGI

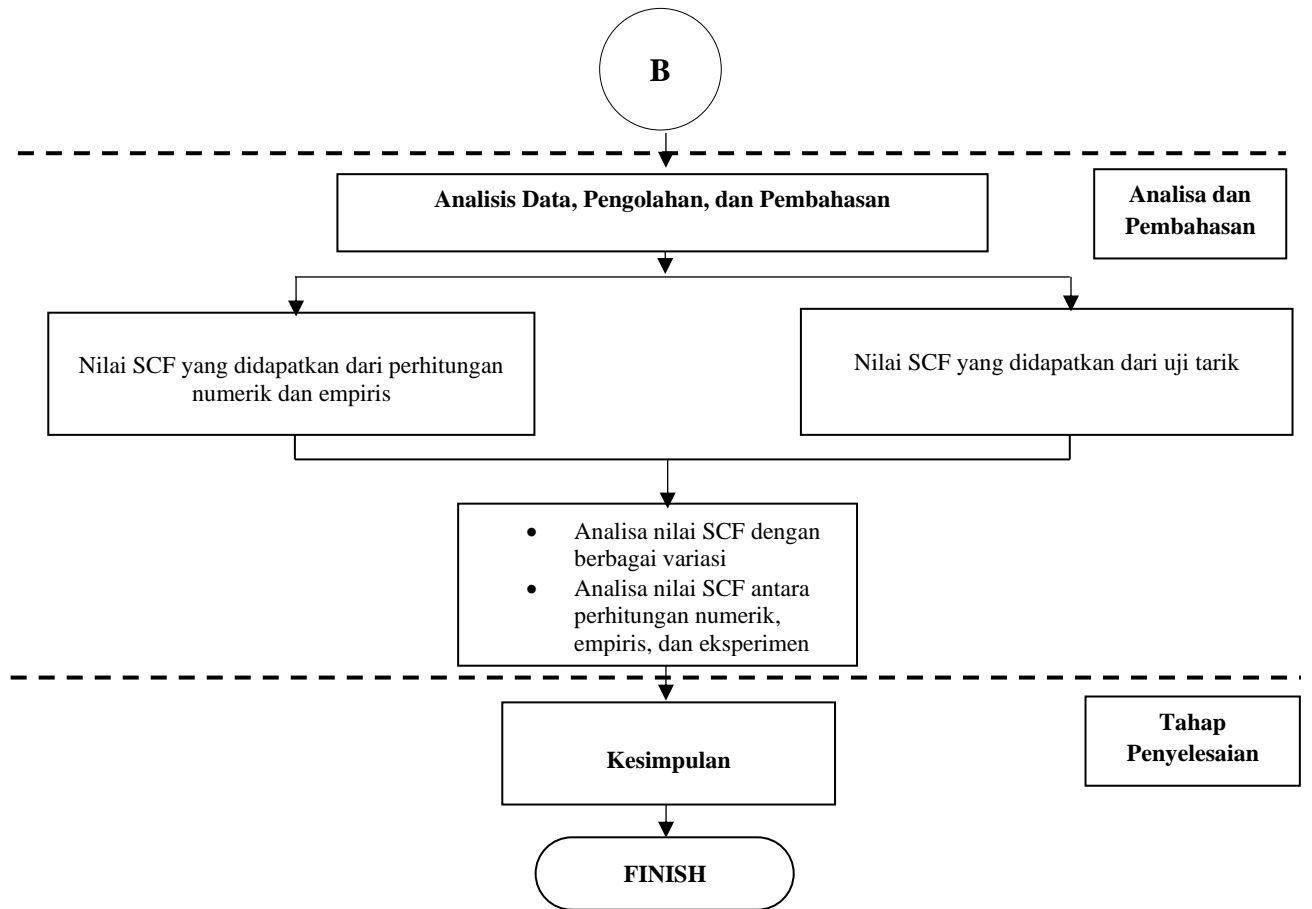
Bab ini merupakan penjelasan mengenai bagaimana cara pengerjaan penelitian ini. Langkah pertama pada pengerjaan adalah mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang telah dilakukan pada BAB 1. Setelah itu dilanjutkan dengan studi literature pada BAB 2. Pada pada bab ini akan dijelaskan data-data yang digunakan untuk menganalisis konsentrasi tegangan pelat *fillet* pada kapal misalnya pada lubang palkah kapal.

3.1. Bagan Alir

Metodologi penelitian menunjukkan metode-metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini. Penggunaan metode ini dilakukan sesuai dengan langkah-langkah pekerjaan seperti di tujukan pada Gambar 3.1.







Gambar 3.1 Diagram alir Tugas Akhir

3.2. Studi Literatur

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

3.3. Pengumpulan Data

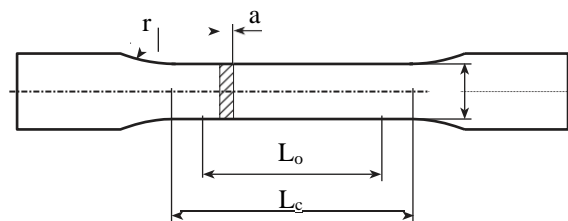
Tahapan pengumpulan data bertujuan untuk memperoleh data pokok atau data sekunder yang berhubungan dengan kondisi yang dibahas dalam Tugas Akhir ini.

Material Properties yang digunakan baja *grade* KI-D JIS3101 SS400 adalah sebagai berikut:

- Modulus Young = 210 GPa
- Tegangan Luluh = 295 MPa
- Rasio Poisson = 0,26
- Massa Jenis Baja = 7850 kg / m²

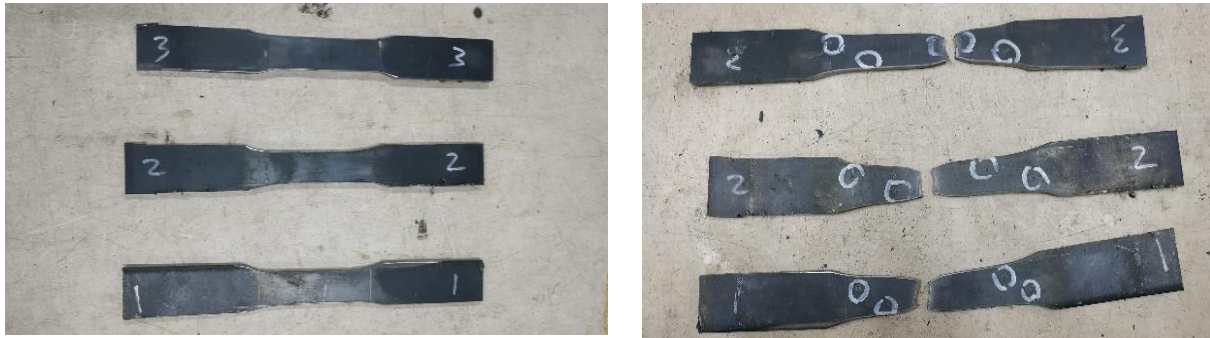
3.3.1. Pengujian Material

Tahapan ini adalah tahap pengujian tarik material SS400, yang bertujuan untuk memperoleh besar gaya yang diperlukan material mencapai batas *yield strength* sehingga dalam pemodelan mengetahui gaya material dalam kondisi plastis. Tes specimen menggunakan standar BKI vol V tahun 2014 seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Specimen shape C*
(Sumber: BKI vol V, 2014)

Material SS400 yang telah dibentuk sesuai standar uji Tarik BKI terdiri dari 3 specimen, kemudian dilakukan pengujian. Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 3.1.



Gambar 3.3 Tensile Test Specimen SS400
(Sumber: Penulis, 2019)

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Tarik Material SS400

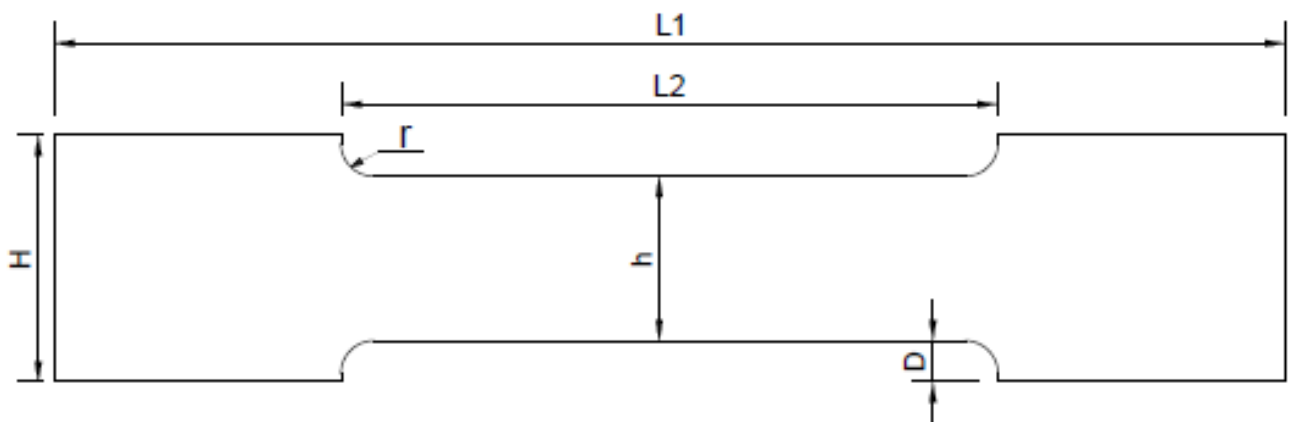
Report on Test JIS G3101SS400								
No	Code Material	Specification Sample			Tensile Test Results			
		Width	Thick	CSA	Yield Stress	Ultimate stress	Elongation	Reduct of area
		mm	mm	mm ²	Mpa	Mpa	%	%
1	SS400	25,35	6	152,1	282,71	335,31	37,94	72,93
2	SS400	25,3	6	151,8	296,44	335,97	37,77	72,62
3	SS400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

Tabel 3.1 merupakan hasil pengujian tarik material didapatkan gaya pada yield material sebesar 44,67 KN, kemudian untuk variasi pembebanan model yaitu 30% yield sebesar 13,4 KN, 60% yield sebesar 26,8 KN dan 90% yield sebesar 40,2 KN.

3.4. Pemodelan

Dalam pengujian material pada Gambar 3.4 yaitu berukuran Panjang 300 mm, Lebar 60 mm, dan Tebal 6mm. Selanjutnya menggunakan radius 6 mm, 9 mm, 12 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm, 4 mm, 6 mm, dan 8 mm.

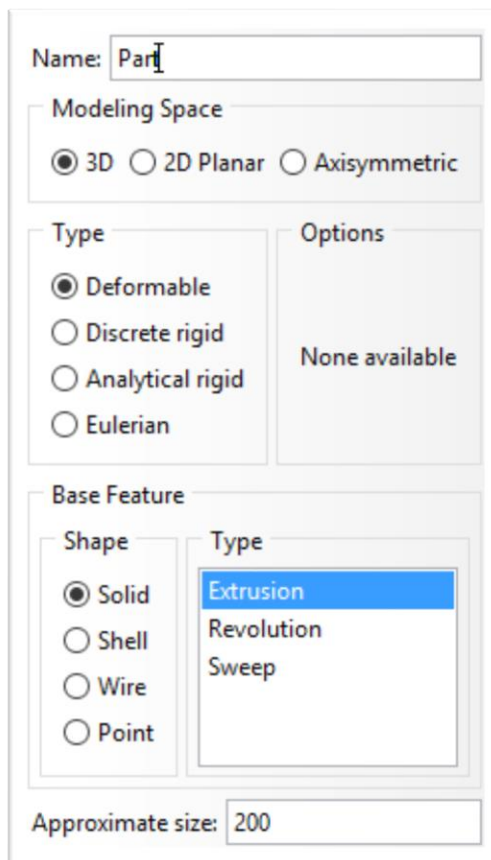


Gambar 3.4 Desain material pengujian

3.4.1. Langkah Pemodelan

1. Pembuatan Geometri Model

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

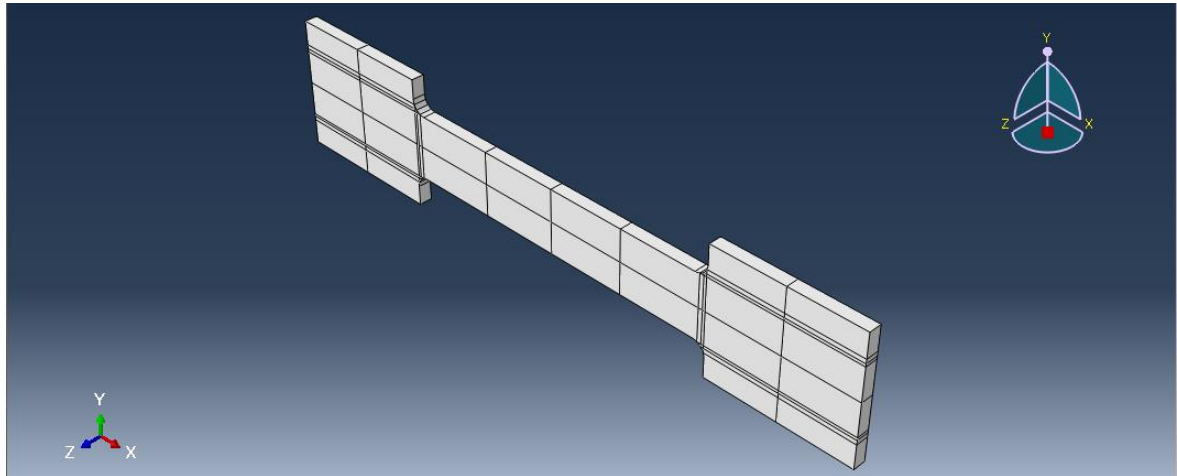


Gambar 3.5 *Create Part*

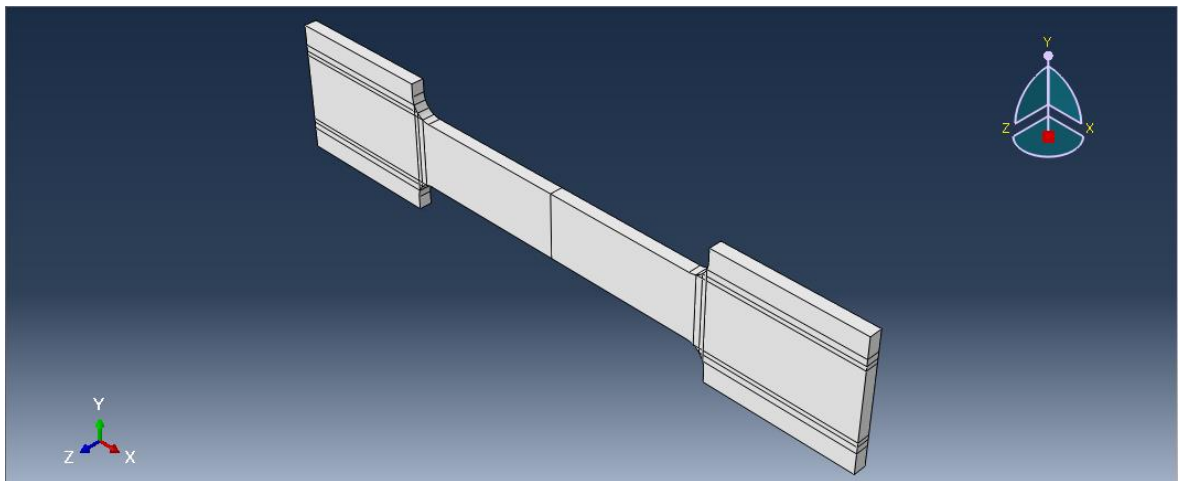
Pada penelitian ini ada 9 part yang dibuat, yaitu:

- a. Pelat yang berfungsi menyalurkan beban berupa pelat 3D (solid) dengan dimensi pelat 300 mm x 60 mm x 6 mm.
- b. Radius lingkaran pada *Fillet* yang dibuat untuk menganalisa konsentrasi tegangan yaitu radius 6, 9, 12, 5, 7, 10, 4, 6, dan 8 mm.

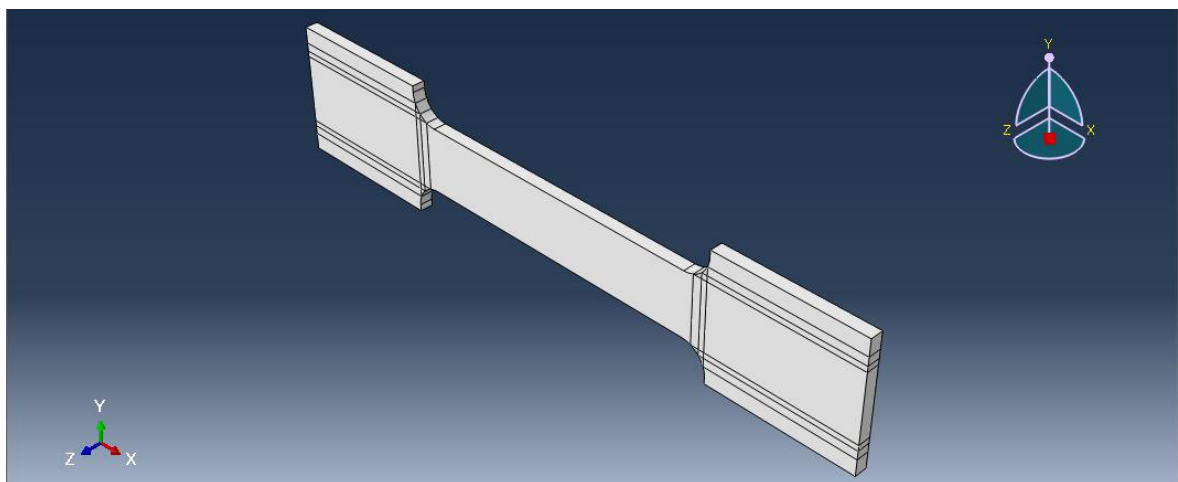
Untuk hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, dan 3.14.



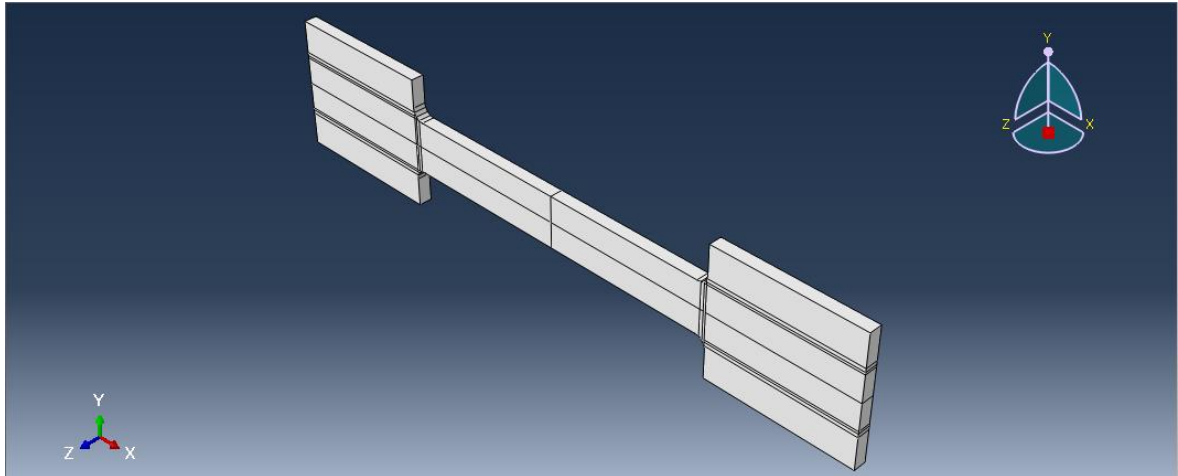
Gambar 3.6 Model radius 6 mm



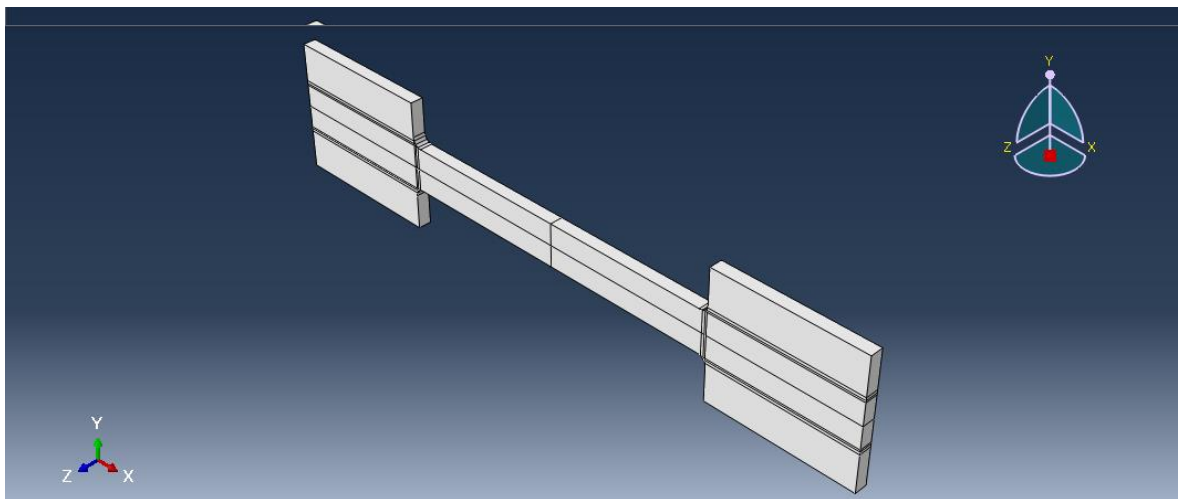
Gambar 3.7 Model radius 9 mm



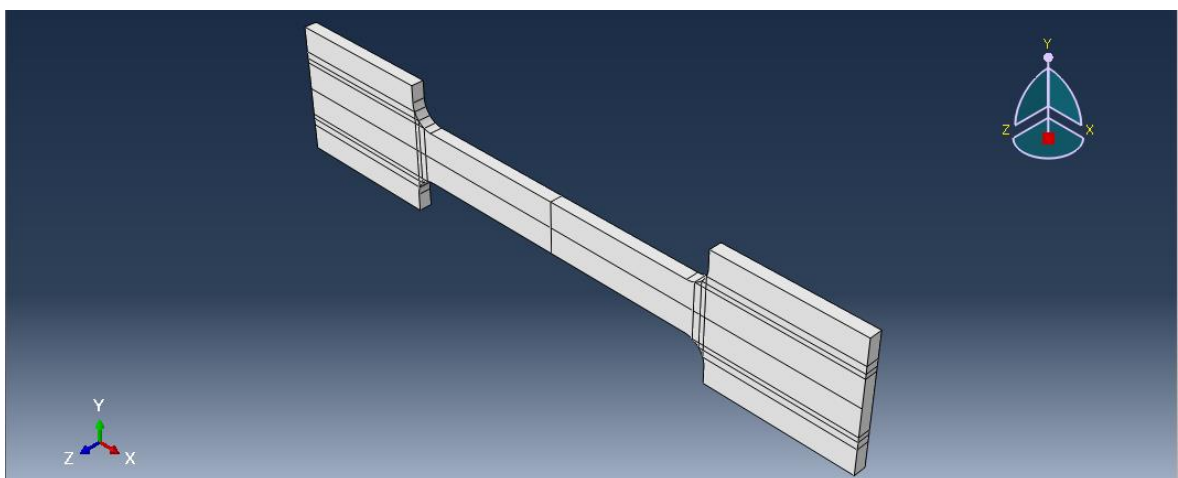
Gambar 3.8 Model radius 12 mm



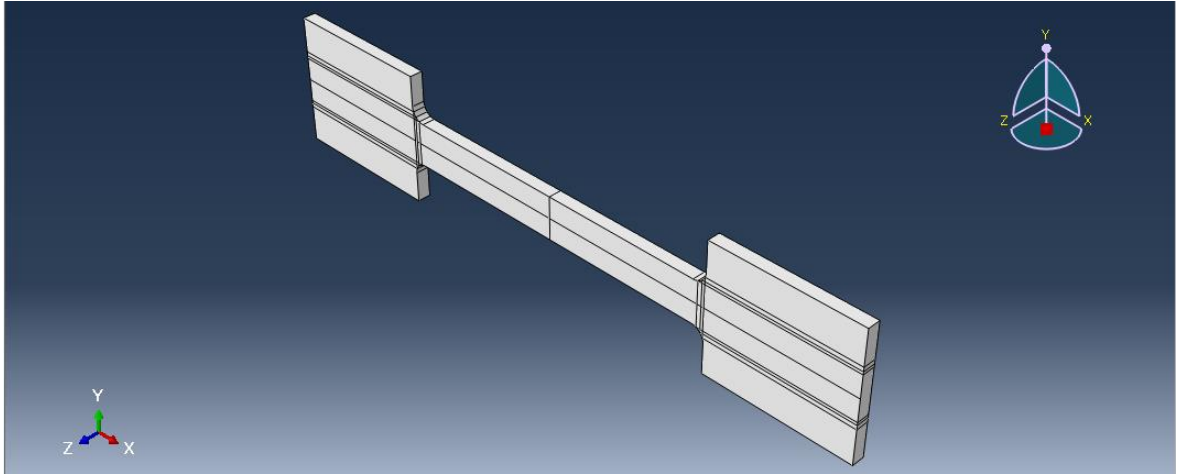
Gambar 3.9 Model radius 5 mm



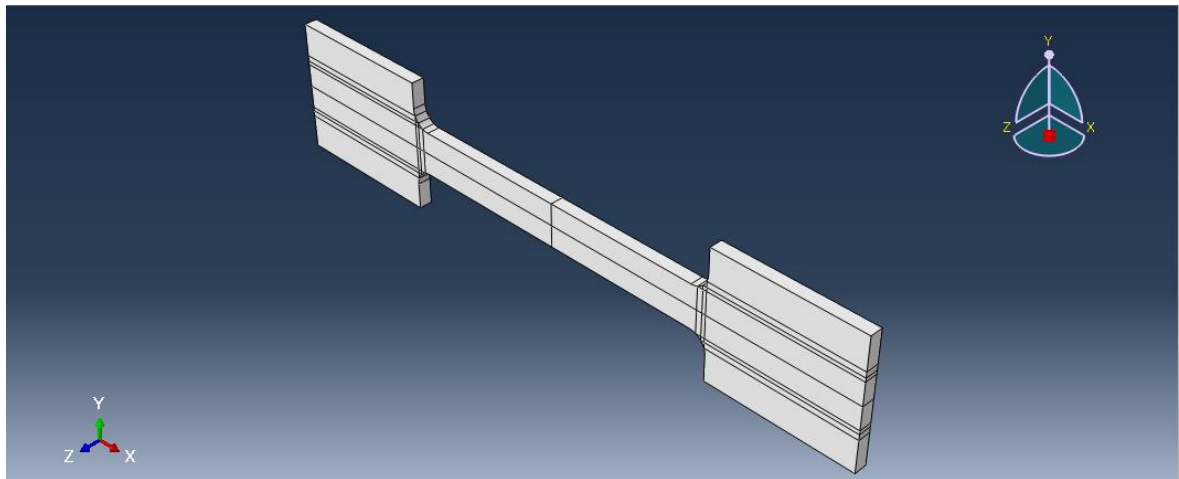
Gambar 3.10 Model radius 7 mm



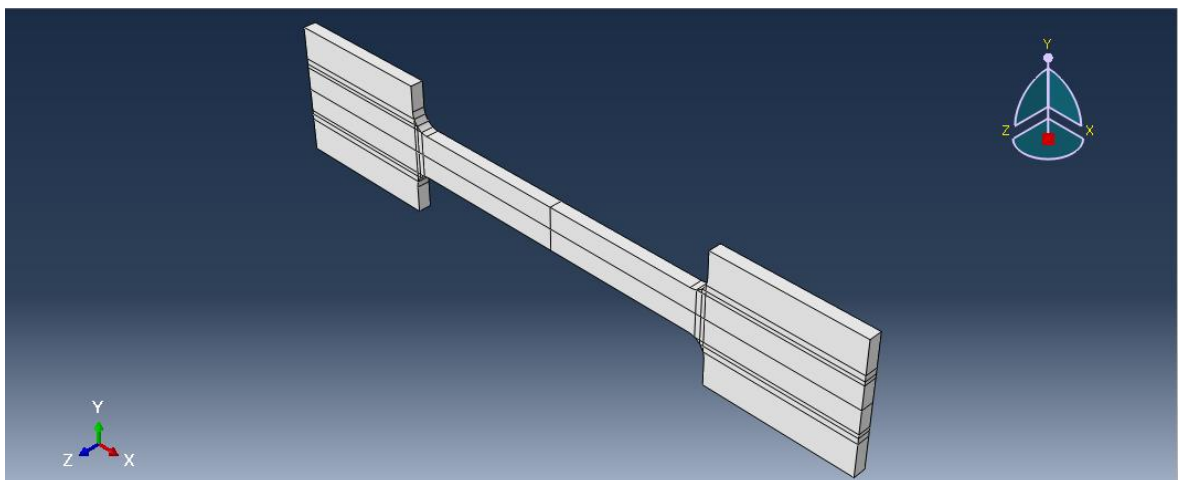
Gambar 3.11 Model radius 10 mm



Gambar 3.12 Model radius 4 mm



Gambar 3.13 Model radius 6 mm

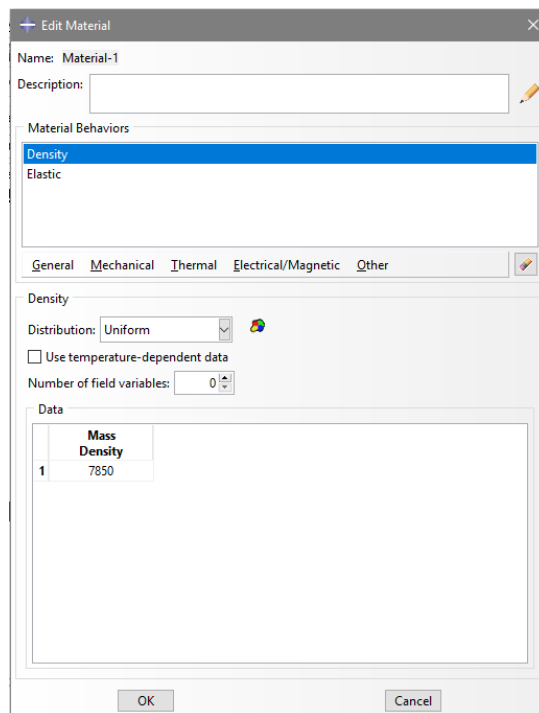


Gambar 3.14 Model radius 8 mm

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.

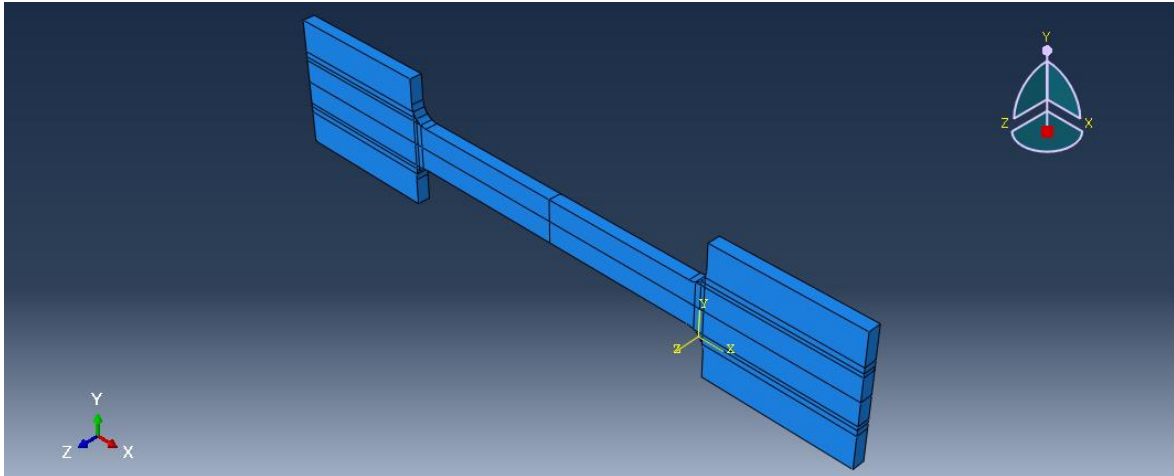
Assign Section ini untuk mendefinisikan mechanical properties dari data yang akan digunakan pada model.



Gambar 3.15 Pendefinisian Material

3. Proses Assembly

Pada modul **Assembly > Create instance** pilih part yang telah dibuat pada langkah sebelumnya untuk dijadikan sebuah produk *Assembly*. Pilih *Dependent*, sehingga proses *meshing* akan dilakukan pada part yang ditunjukkan pada Gambar 3.16.

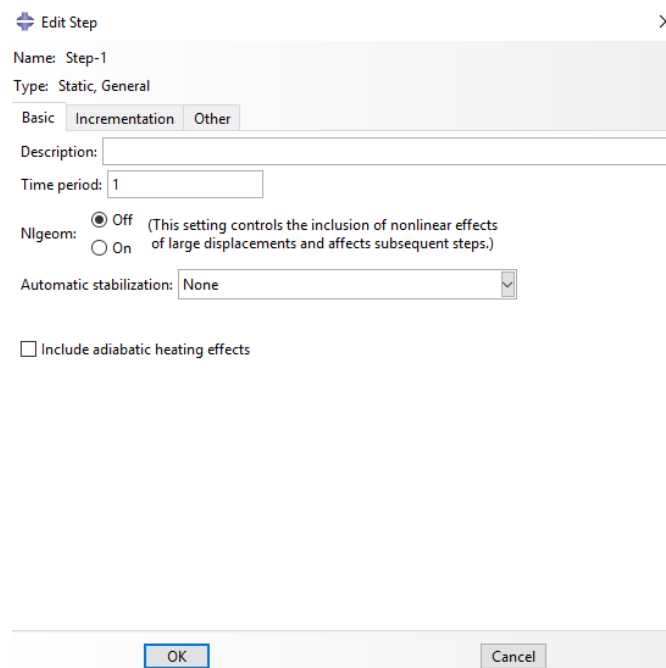


Gambar 3.16 Produk *Assembly*

Tahapan *Assembly* part-part digabungkan mejadi sebuah kesatuan rigid, untuk pendefinisian tahap berikutnya.

4. Pendefinisian Langkah

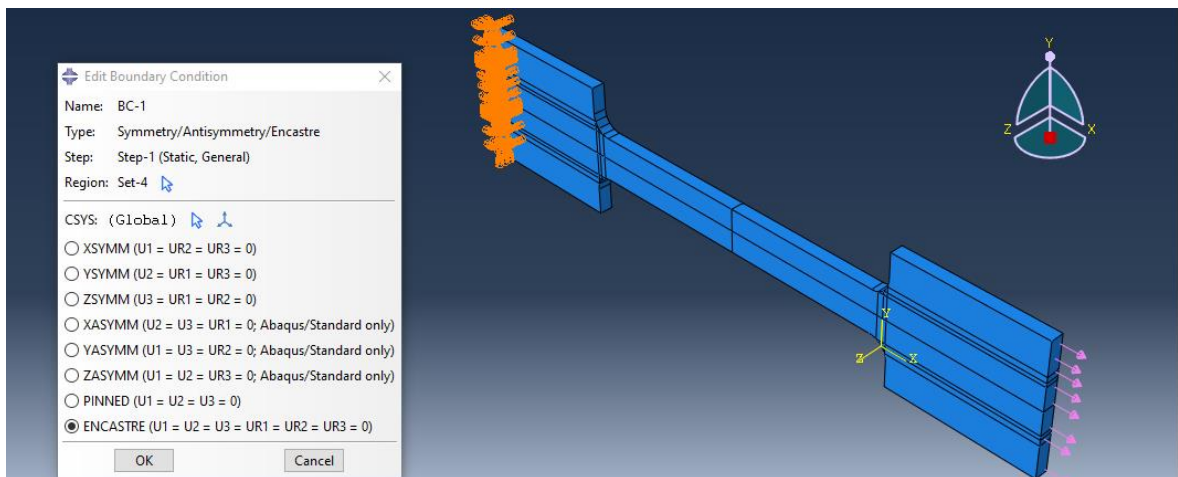
Gambar 3.17 penggunaan pengaturan *Step default* yang ada pada *software FEA* ini adalah *initial step*. Buat *step* baru (*Step-1*) dimana pada step ini untuk melakukan analisis pembebanan statik. Analisis pada tahap ini dapat diatur sesuai dengan langkah yang ingin dianalisis, pada dasarnya *step default* lebih sering digunakan untuk analisis model yang tidak kompleks.



Gambar 3.17 Pengaturan *Step*

5. Pengaplikasian Kondisi Batas

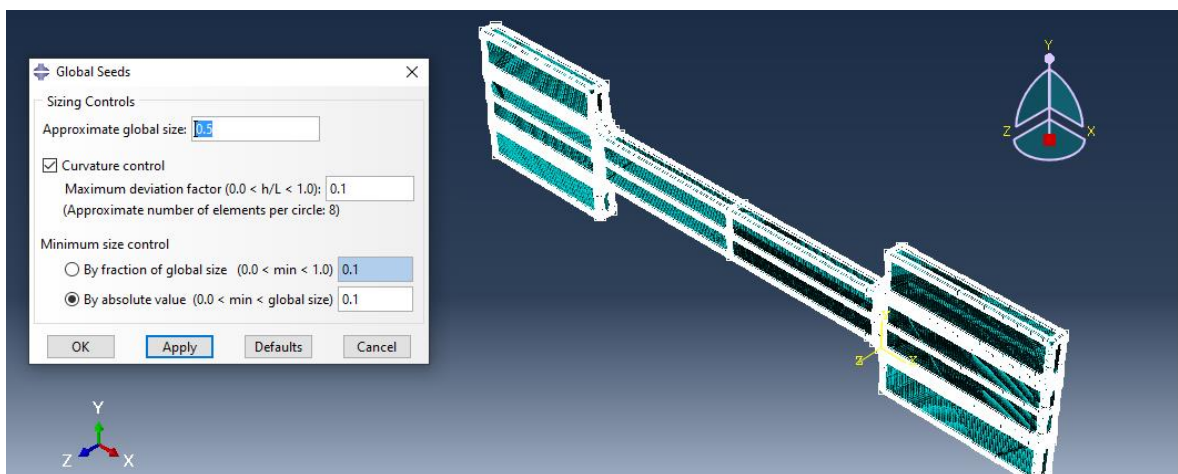
Pada Gambar 3.18 kondisi batas terdiri dari beban dan tumpuan. Beban dengan tipe *pressure* diberikan sebesar beban *pressure* yang telah dihitung. Beban diaplikasikan pada sisi atas model untuk pengujian tarik, tumpuan yang digunakan adalah tipe displacement yang ditahan pada arah translasi x, y, z, tumpuan diberikan pada sisi bawah model. Sedangkan untuk model pengujian bending beban diaplikasikan pada sisi kanan model, tumpuan tipe displacement pada sisi atas dan bawah model uji.



Gambar 3.18 Pengaplikasian Kondisi Batas Pada Model Uji Tarik

6. Meshing

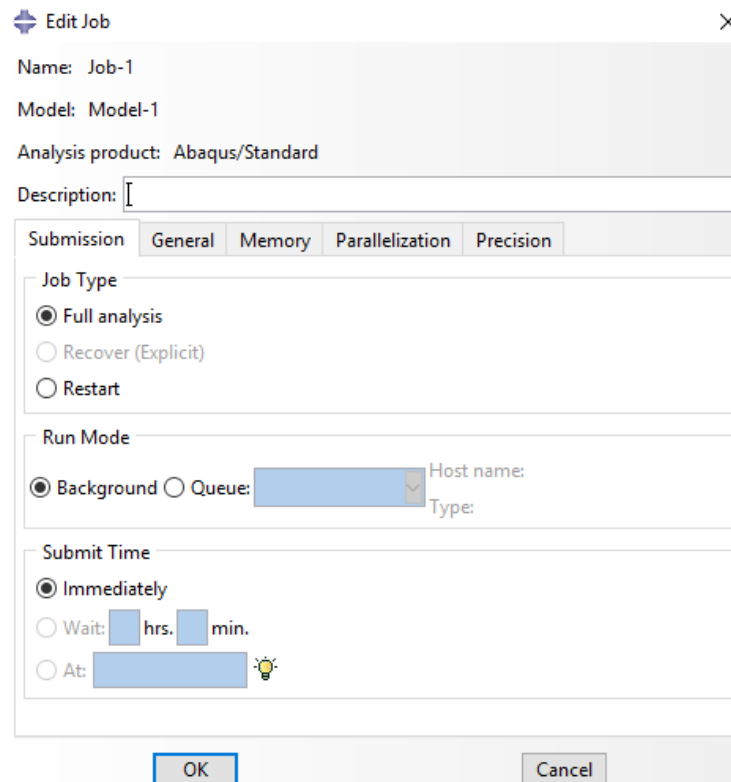
Pada Gambar 3.19 proses meshing hanya didefinisikan pada pelat 3D, pengaplikasiannya menggunakan mesh seed secara global dengan jarak 1 mm sesuai hasil konvergensi yang di dapat sebelum pemodelan retak. Kemudian untuk keseluruhan model dipilih untuk dilakukan mesh control untuk memilih jenis elemen yang diinginkan.



Gambar 3.19 Pemberian ukuran elemen

7. Membuat *Job* dan *Running*

Pada Gambar 3.20 modul **Job > Create Job** dan gunakan *setting default* kemudian tunggu proses *running* hingga status yang ditampilkan “*completed*”.



Gambar 3.20 Pengaturan *running*

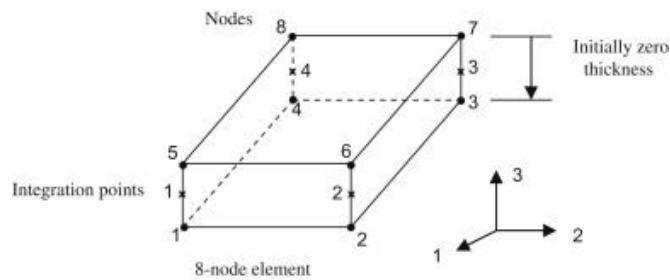
Tahapan ini dapat digunakan untuk melakukan percepatan running dengan mengatur jumlah processor yang ada pada komputer yang digunakan untuk mengoptimalkan kerjanya.

8. Visualisasi Hasil

Pada modul *Visualization* pilih *deformed shape* dan lakukan beberapa pengaturan seperlunya sehingga diperoleh visualisasi terbaik.

3.5. Konvergensi

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. Pada Gambar 3.21 Elemen yang digunakan untuk konvergensi adalah node 8 bricks.

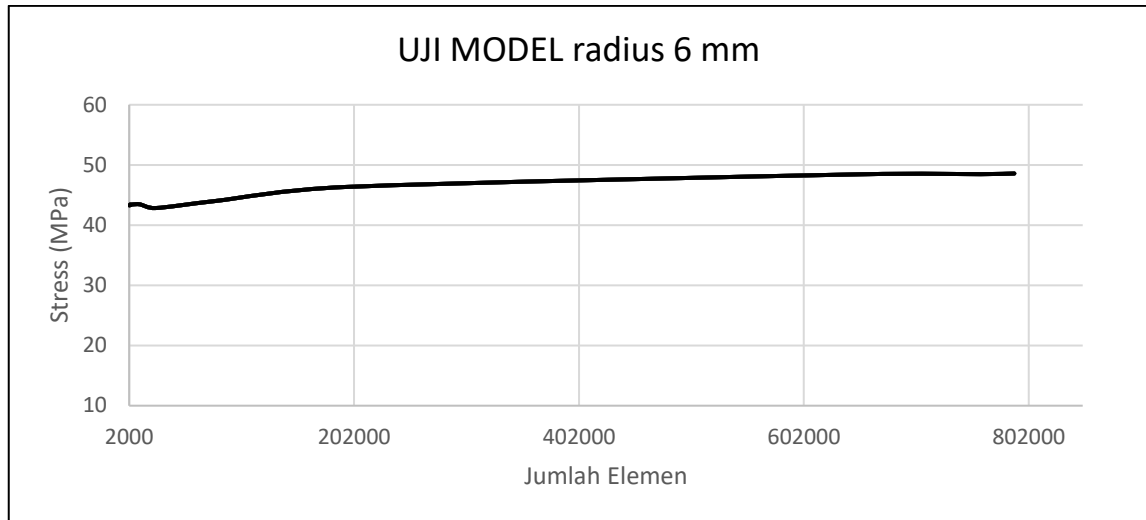


Gambar 3.21 *Element 8 Node Bricks*

Berdasarkan hasil konvergensi yang dilakukan pada model 1 didapatkan hasil konvergensi yang dapat dilihat pada Tabel 3.2. dan Gambar 3.22. untuk grafik konvergensi yang dicapai.

Tabel 3.2 Konvergensi Model 1

UJI MODEL radius 6 mm			
Jumlah elemen	Ukuran meshing (mm)	Stress (MPa)	error (%)
2296	4	42,84	0,424
2752	3,5	43,22	0,428
3604	3	43,39	0,430
4968	2,5	43,44	0,430
11736	2	43,44	0,430
25176	1,5	43,45	0,430
81240	1	44,07	0,436
195008	0,75	46,35	0,459
652392	0,5	48,45	0,480
759382	0,48	48,47	0,480
789178	0,47	48,58	0,486



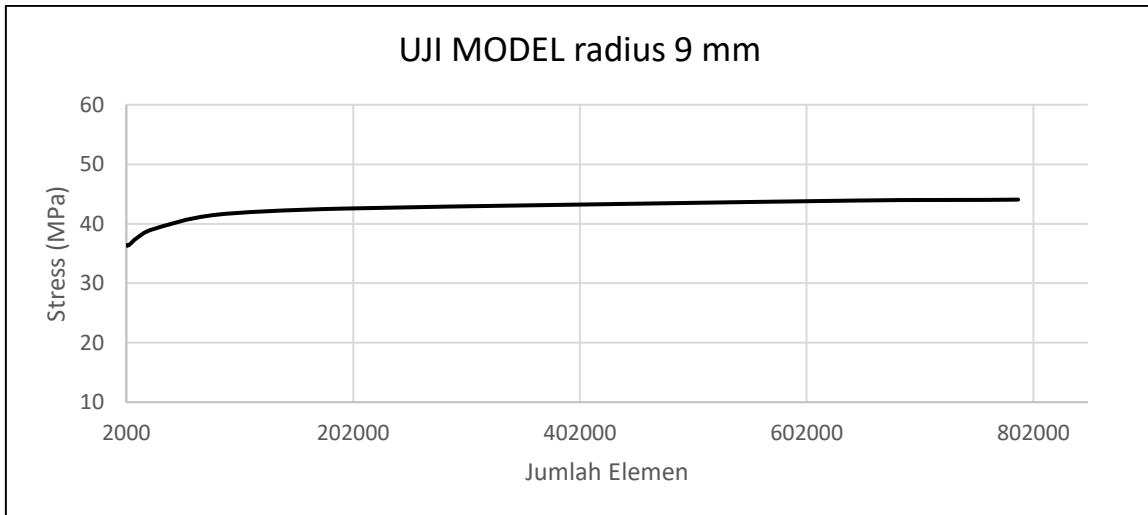
Gambar 3.22 Konvergensi Model 1

Berdasarkan dari grafik konvergensi yang diperoleh, proses perhitungan analisa tegangan dilakukan pada ukuran meshing 0.5m atau setara dengan 0.5 mm dengan jumlah elemen 652392.

Untuk konvergensi model kedua didapatkan pada ukuran mesh yang sama yaitu pada ukuran meshing 0,5 m atau 0,5 mm dengan jumlah elemen 643968. Dapat dilihat pada Tabel 3.3. dan Gambar 3.23.

Tabel 3.3 Konvergensi model 2

UJI MODEL radius 9 mm			
Jumlah elemen	Ukuran meshing (mm)	Stress (MPa)	error (%)
2400	4	36,34	0,360
2820	3,5	36,34	0,360
3544	3	36,41	0,360
5096	2.5	36,55	0,362
11292	2	37,60	0,372
24480	1,5	39,02	0,386
82488	1	41,54	0,411
196224	0,75	42,56	0,421
643968	0,5	43,90	0,435
757926	0,48	44,01	0,436
788528	0,47	44,06	0,441

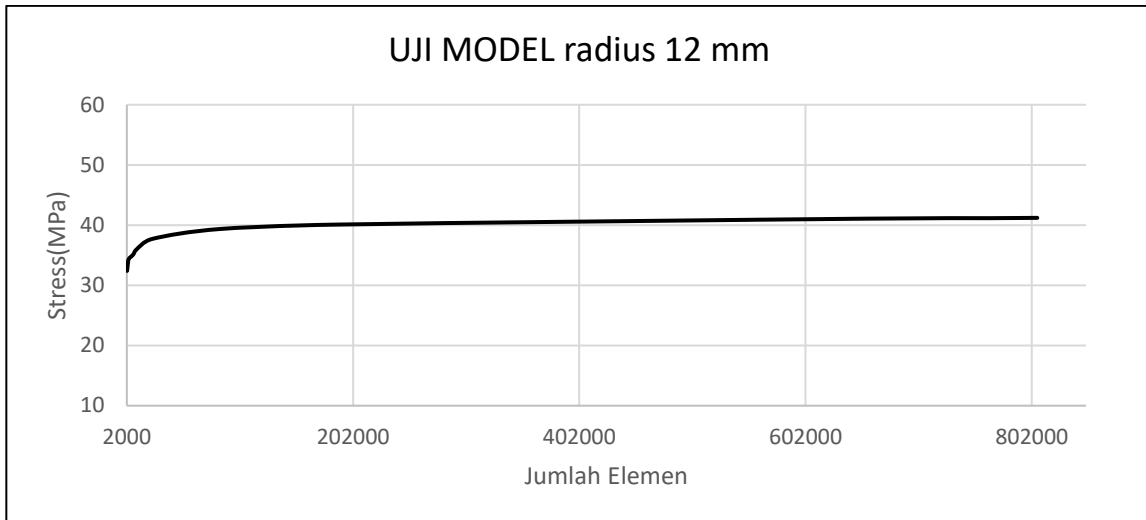


Gambar 3.23 Konvergensi Model 2

Untuk konvergensi model ketiga didapatkan pada ukuran mesh yang sama yaitu pada ukuran meshing 0,5 m atau 0,5 mm dengan jumlah elemen 656304. Dapat dilihat pada Tabel 3.4. dan Gambar 3.24.

Tabel 3.2 Konvergensi model 3

UJI MODEL radius 12 mm			
Jumlah elemen	Ukuran meshing (mm)	Stress (MPa)	error (%)
2224	4	32,40	0,321
2838	3,5	33,45	0,331
3734	3	34,37	0,340
7671	2,5	35,12	0,348
10680	2	35,98	0,356
24628	1,5	37,72	0,373
84288	1	39,36	0,390
189968	0,75	40,10	0,397
656304	0,5	41,08	0,407
763685	0,48	41,16	0,407
806884	0,47	41,21	0,412

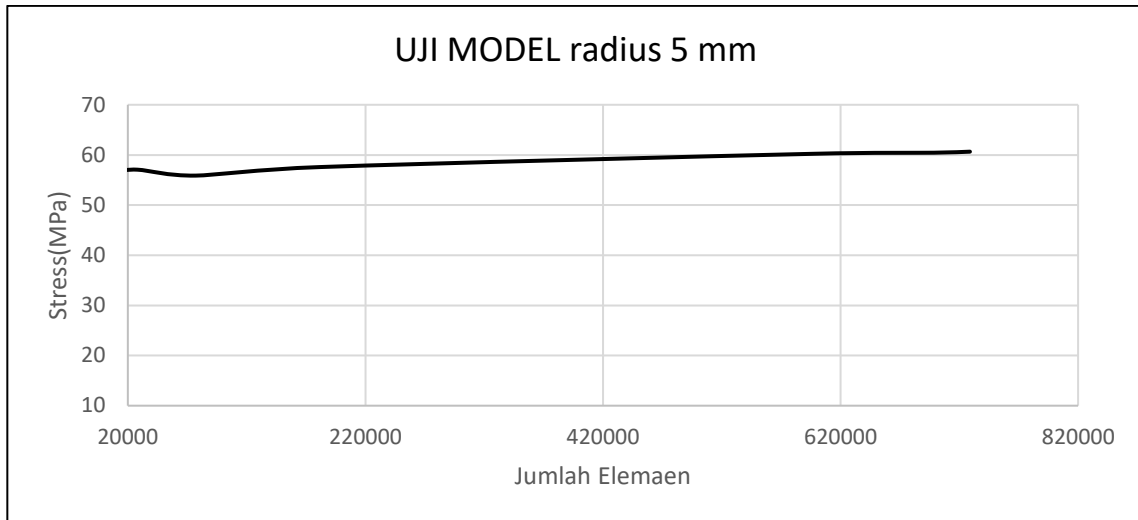


Gambar 3.24 Konvergensi Model 3

Untuk konvergensi model keempat didapatkan pada ukuran mesh yang sama yaitu pada ukuran meshing 0,5 m atau 0,5 mm dengan jumlah elemen 597600. Dapat dilihat pada Tabel 3.5. dan Gambar 3.25.

Tabel 3.5 Konvergensi model 4

UJI MODEL radius 5 mm			
Jumlah elemen	Ukuran meshing (mm)	Stress (MPa)	error (%)
2140	4	55,63	0,550
2896	3,5	55,88	0,553
3308	3	56,54	0,559
4692	2,5	56,55	0,559
10506	2	56,70	0,561
28084	1,5	56,71	0,561
77298	1	57,06	0,564
181568	0,75	57,58	0,569
597600	0,5	60,23	0,596
698464	0,48	60,44	0,598
728962	0,47	60,65	0,606

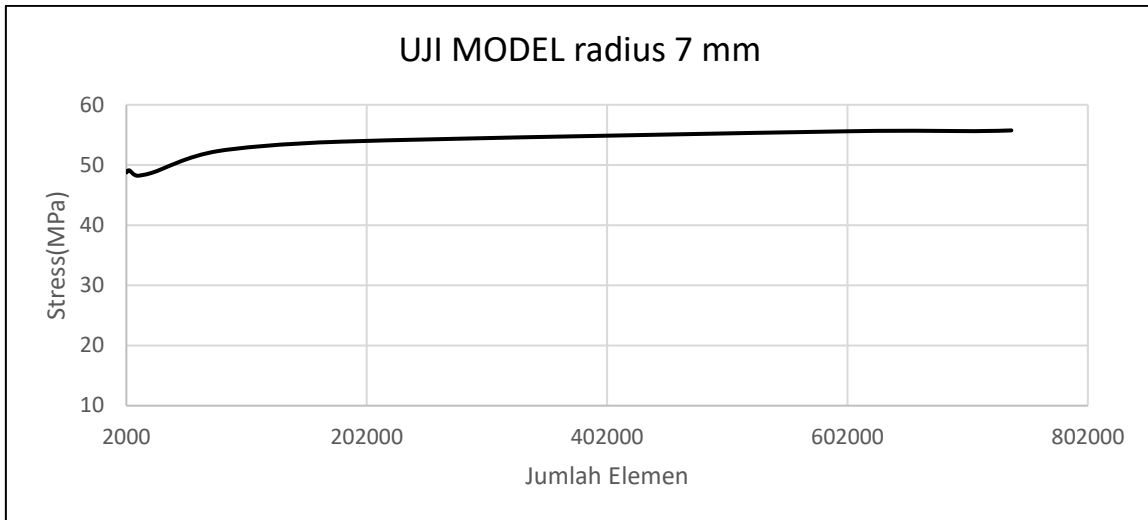


Gambar 3.25 Konvergensi Model 4

Untuk konvergensi model kelima didapatkan pada ukuran mesh yang sama yaitu pada ukuran meshing 0,5 m atau 0,5 mm dengan jumlah elemen 606624. Dapat dilihat pada Tabel 3.6. dan Gambar 3.26.

Tabel 3.6 Konvergensi model 5

UJI MODEL radius 7 mm			
Jumlah elemen	Ukuran meshing (mm)	Stress (MPa)	error (%)
2216	4	48,22	0,477
2832	3,5	48,68	0,482
3504	3	48,76	0,483
4576	2,5	49,02	0,485
10776	2	49,06	0,486
22992	1,5	49,10	0,486
78024	1	52,30	0,518
181440	0,75	53,88	0,533
606624	0,5	55,61	0,551
707928	0,48	55,62	0,551
738400	0,47	55,74	0,557

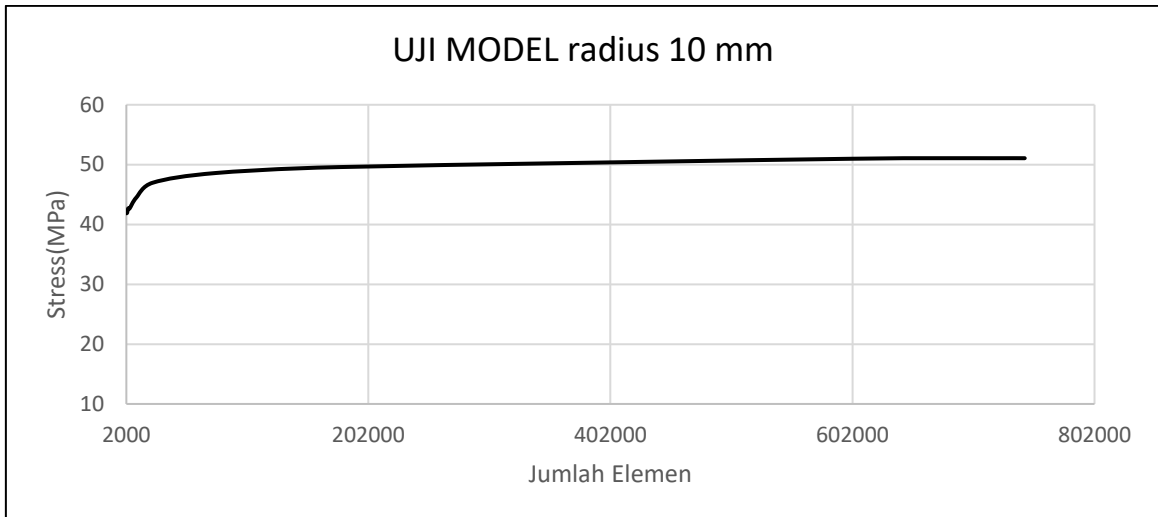


Gambar 3.26 Konvergensi Model 5

Untuk konvergensi model keenam didapatkan pada ukuran mesh yang sama yaitu pada ukuran meshing 0,5 m atau 0,5 mm dengan jumlah elemen 601920. Dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Gambar 3.27.

Tabel 3.7 Konvergensi model 6

UJI MODEL radius 10 mm			
Jumlah elemen	Ukuran meshing (mm)	Stress (MPa)	error (%)
2072	4	41,87	0,414
2640	3,5	41,94	0,415
3524	3	42,64	0,422
4576	2,5	42,70	0,422
10248	2	44,50	0,440
23728	1,5	46,97	0,465
76104	1	48,60	0,481
178432	0,75	49,59	0,491
601920	0,5	50,98	0,505
718666	0,48	51,07	0,511
744328	0,47	51,07	0,511

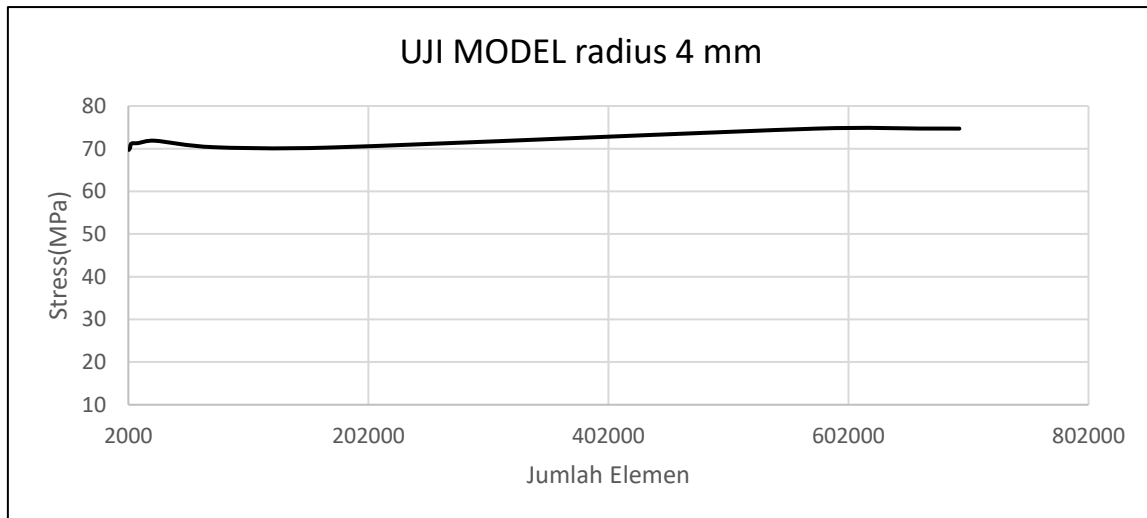


Gambar 3.27 Konvergensi Model 6

Untuk konvergensi model ketujuh didapatkan pada ukuran mesh yang sama yaitu pada ukuran meshing 0,5 m atau 0,5 mm dengan jumlah elemen 574800. Dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Gambar 3.28.

Tabel 3.8 Konvergensi model 7

UJI MODEL radius 4 mm			
Jumlah elemen	Ukuran meshing (mm)	Stress (MPa)	error (%)
2392	4	69,71	0,690
2820	3,5	69,92	0,692
3348	3	70,15	0,695
4560	2,5	70,28	0,696
10260	2	70,34	0,696
23728	1,5	71,19	0,705
73680	1	71,31	0,706
171584	0,75	71,87	0,711
574800	0,5	74,70	0,740
661388	0,48	74,70	0,740
694408	0,47	74,71	0,747

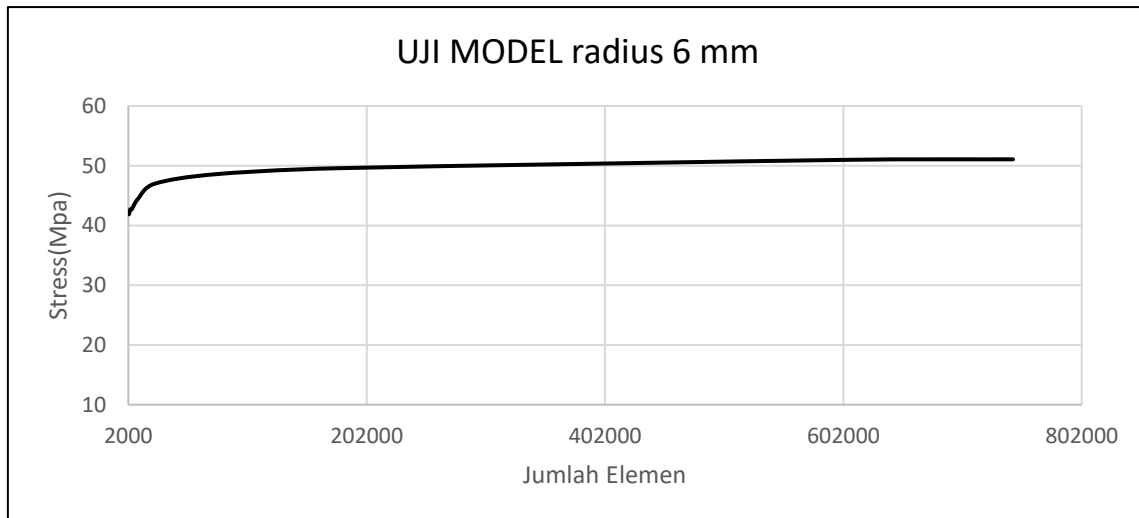


Gambar 3.28 Konvergensi Model 7

Untuk konvergensi model kedelapan didapatkan pada ukuran mesh yang sama yaitu pada ukuran meshing 0,5 m atau 0,5 mm dengan jumlah elemen 575616. Dapat dilihat pada Tabel 3.9 dan Gambar 3.29.

Tabel 3.9 Konvergensi model 8

UJI MODEL radius 6 mm			
Jumlah elemen	Ukuran meshing (mm)	Stress (MPa)	error (%)
2384	4	59,35	0,591
2624	3,5	59,67	0,591
3192	3	59,73	0,592
4560	2,5	59,84	0,594
9780	2	60,00	0,595
22864	1,5	60,11	0,595
69840	1	60,16	0,630
171712	0,75	63,59	0,640
575616	0,5	64,61	0,658
673088	0,48	66,42	0,664
694148	0,47	66,42	0,669

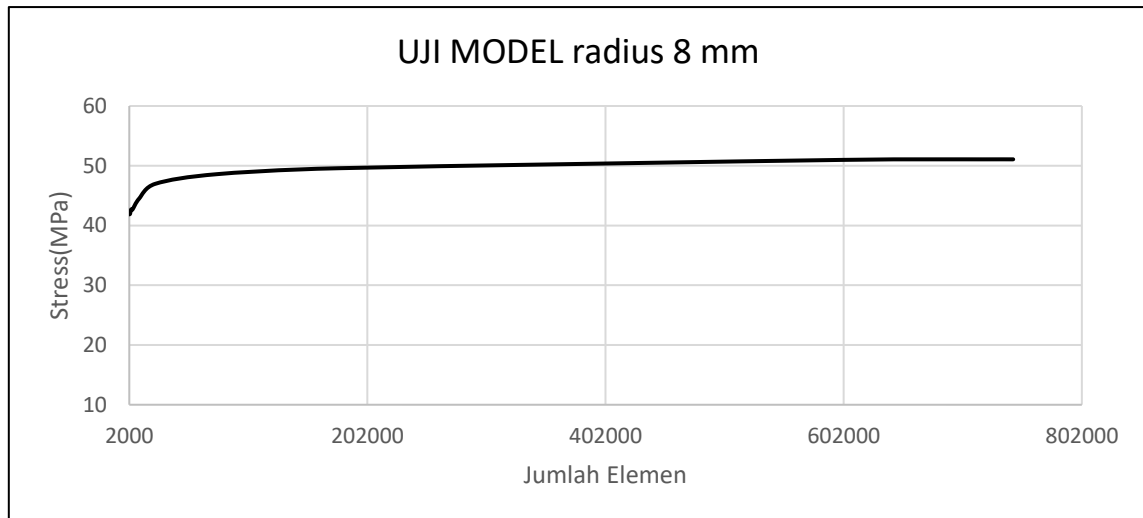


Gambar 3.29 Konvergensi Model 8

Untuk konvergensi model kesembilan didapatkan pada ukuran mesh yang sama yaitu pada ukuran meshing 0,5 m atau 0,5 mm dengan jumlah elemen 560352. Dapat dilihat pada Tabel 3.10 dan Gambar 3.30.

Tabel 3.10 Konvergensi model 9

UJI MODEL radius 8 mm			
Jumlah elemen	Ukuran meshing (mm)	Stress (MPa)	error (%)
2216	4	52,12	0,516
2464	3,5	52,86	0,523
3504	3	52,91	0,524
4304	2,5	53,04	0,525
9780	2	53,07	0,525
22000	1,5	54,21	0,536
74280	1	58,01	0,574
164800	0,75	59,63	0,590
560352	0,5	61,32	0,607
674284	0,48	61,53	0,609
719316	0,47	61,67	0,617



Gambar 3.30 Konvergensi Model 9

3.6. Analisis Tegangan

Berdasarkan hasil *running* dari tiap-tiap model yang telah dilakukan konvergensi didapatkan hasil nilai tegangan berikut pada tiap-tiap model, tegangan yang diperoleh akan direkap untuk dibandingkan dengan tegangan hasil perhitungan dan pengujian material. Tegangan yang dihasilkan untuk analisis ini untuk menjawab rumusan masalah untuk menentukan konsentrasi tegangan. Tegangan yang digunakan untuk analisis tegangan pada material yang mengalami diskontinuitas (*Fillet*) dengan menggunakan variasi beban 30%, 60% dan 90% dari *yield* material yang digunakan untuk pengujian.

Tegangan yang dihasilkan akan dibagi dengan tegangan nominal dari perhitungan matematis untuk mendapatkan SCF pada material. Sehingga dihasilkan perbandingan *stress constration factor* pada variasi beban.

3.7. Langkah Pengujian Eksperimen

1. Persiapan Material

Persiapan material dilakukan untuk mendukung validasi pada tugas akhir, sehingga pada akhir percobaan didapatkan hasil yang mendekati sempurna. Adapun persiapan material ini meliputi: penyediaan material utama yaitu baja SS400 dan alat-alat kerja seperti gerinda, amplas, jangka sorong, gunting, selotip, kikir besi, dan lain-lain

2. Penentuan Ukuran Material

Dalam pengujian material yang digunakan yaitu berukuran panjang = 300 mm, lebar = 60 mm, tebal = 6 mm dan material uji menggunakan radius 6 mm, 9 mm, 12 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm, 4 mm, 6 mm, dan 8 mm.

3. Pembentukan pelat

Pada Gambar 3.31 dilihat material yang dalam bentuk persegi lalu di bentuk sesuai yang diinginkan (*Fillet*). Pembuatan pelat SS400 ini menggunakan mesin CNC supaya hasilnya presisi. Jika menggunakan alat yang manual seperti mesin scarb, dikawatirkan pembentukan pelat tidak presisi dan hasilnya pun kasar atau kurang detail.



Gambar 3.31 Pembentukan pelat dengan mesin CNC

4. Pemasangan Sensor Strain Gage

Pada Gambar 3.32 dilihat material yang sudah dibentuk dan siap untuk dilakukan pengujian menggunakan strain gage terlebih dahulu daerah pemasangan sensor strain dipoles dengan amplas dari grade 150 sampai dengan 1200 untuk mendapatkan permukaan yang mengkilat.



Gambar 3.32 Pengamplasan material

Pemasangan sensor strain direncanakan menggunakan 4 sensor yaitu 1 sensor untuk tegangan normal dan 3 sensor konversi tegangan.

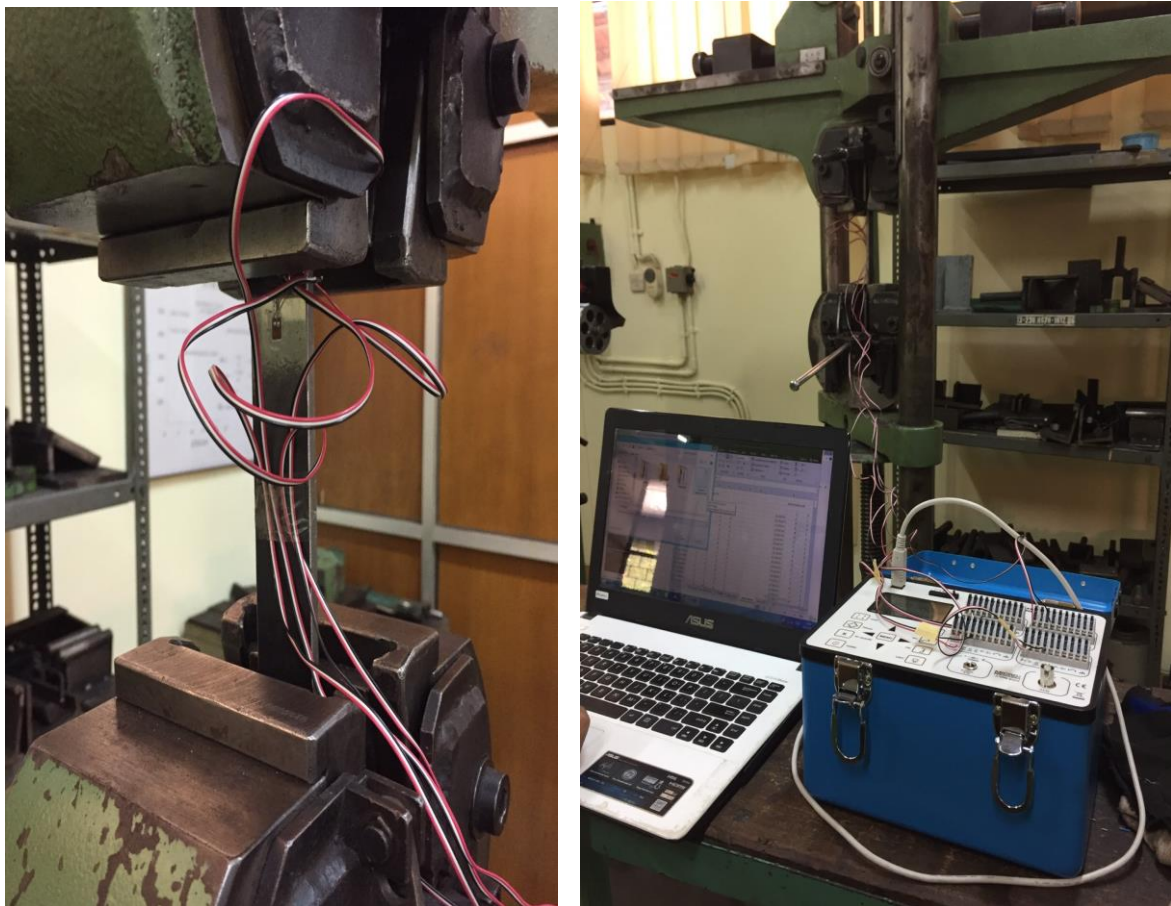
Pada Gambar 3.33 dilihat material dibersihkan dengan alkohol sebelum pemasangan sensor, kemudian dilap usahkan permukaan jangan sampai tersentuh jari tangan kemudian pemasangan sensor dengan selotip supaya tidak tersentuh langsung dan direkatkan ke material uji menggunakan lem, tekan selama 30detik.



Gambar 3.33 Pemasangan sensor *strain gauge*

5. Pengujian

Pada Gambar 3.34 dilihat bahwa pengujian ini merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang diletakkan terhadap specimen dan bahan, baik bahan yang akan digunakan pada kontraksi atau komponen yang akan menerima pembebanan terhadap suatu bahan pada satu titik tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan. Material yang sudah siap dan telah dipasang sensor strain gage maka diuji tarik yang diharapkan hasilnya sama dengan metode numerik (*FEA*).



Gambar 3.34 Pengujian spesimen

Halaman sengaja dikosongkan

BAB 4

FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN

4.1. Analisis Hasil dan Pembahasan

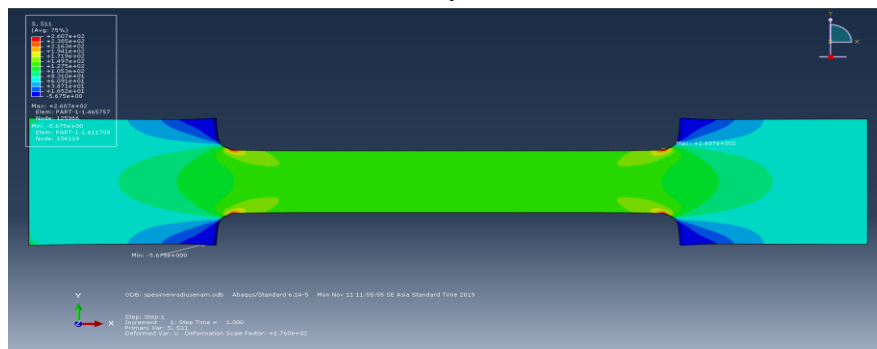
Setelah melakukan tahap-tahap yang telah dijelaskan pada BAB 3 maka akan didapatkan hasil berupa tegangan pada setiap model. Tegangan yang dihasilkan adalah tegangan von mises, tegangan arah sumbu Y dan tegangan arah sumbu X. Hasil tersebut berupa tegangan maksimal yang akan digunakan untuk mengetahui perhitungan *stress concentration factor*. Berikut ini adalah hasil tegangan arah sumbu X yang searah dengan gaya pengujian tarik setiap model.

4.1.1. Model Pelat *Fillet* Radius 6 mm

Gambar 4.1 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu X maksimum pada model radius 6 mm sebesar 146,88 MPa yang terletak pada bagian dekat *fillet*.

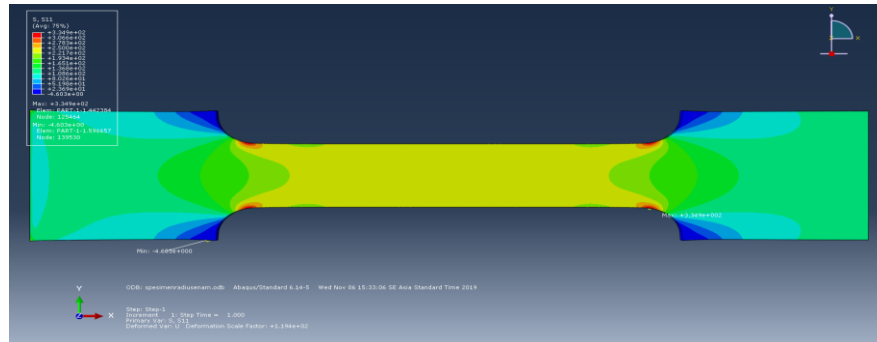


Gambar 4.1 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield



Gambar 4.2 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield

Pada Gambar 4.2 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 293,75 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

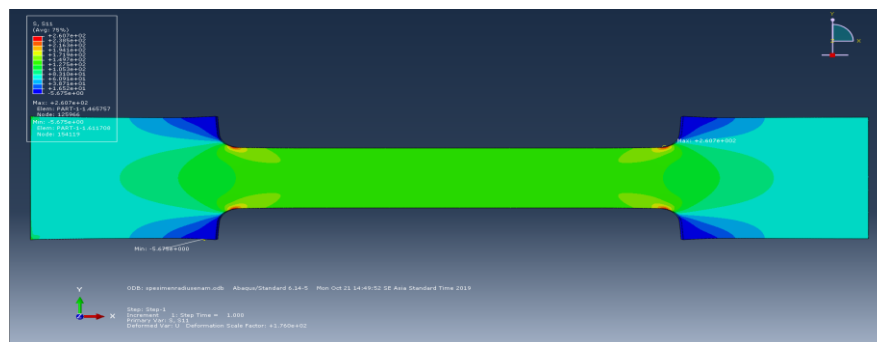


Gambar 4.3 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield

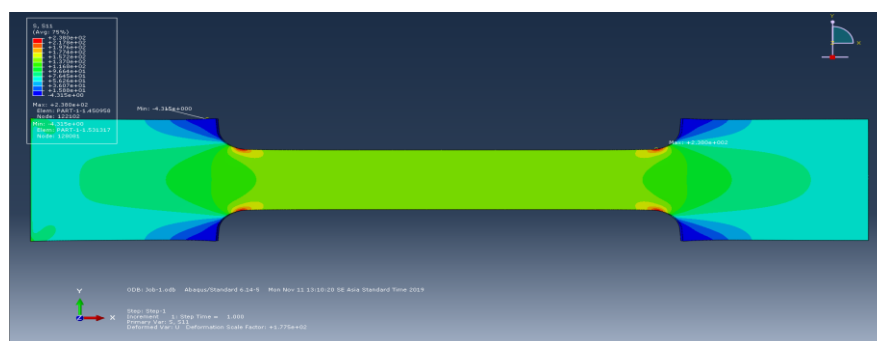
Pada Gambar 4.3 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 374,66 Mpa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

4.1.2. Model Pelat *Fillet* Radius 9 mm

Gambar 4.4 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu X maksimum pada model radius 9mm sebesar 133,72 MPa yang terletak pada bagian dekat *Fillet*.

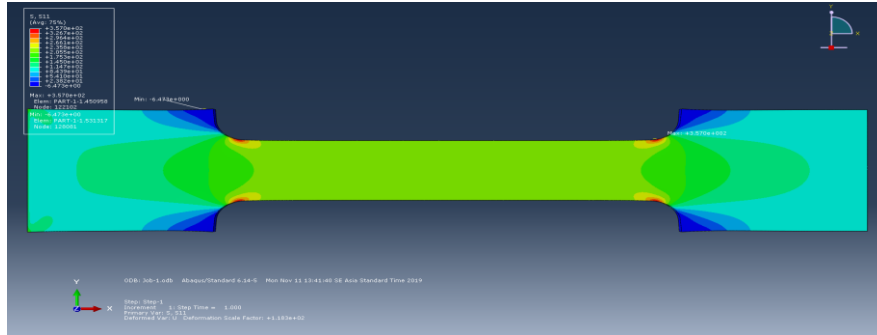


Gambar 4.4 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield



Gambar 4.5 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield

Pada Gambar 4.5 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 267,43 Mpa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

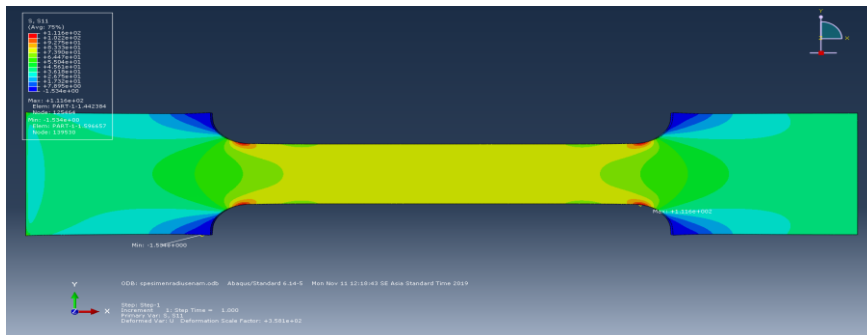


Gambar 4.6 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield

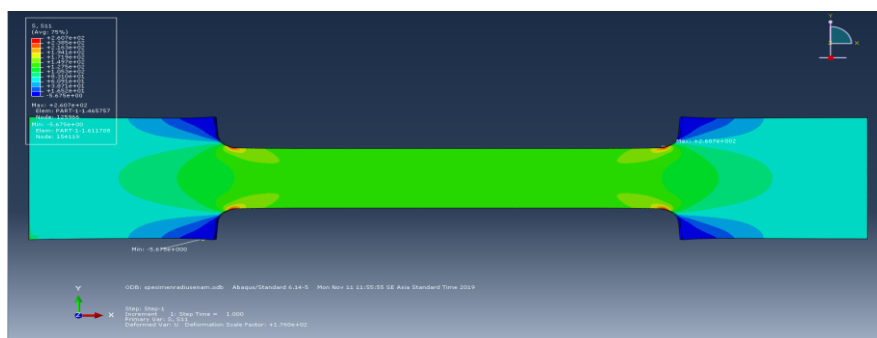
Pada Gambar 4.6 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 347,18 Mpa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

4.1.3. Model Pelat *Fillet* Radius 12 mm

Gambar 4.7 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu X maksimum pada model radius 12 mm sebesar 118,26 MPa yang terletak pada bagian dekat *Fillet*.

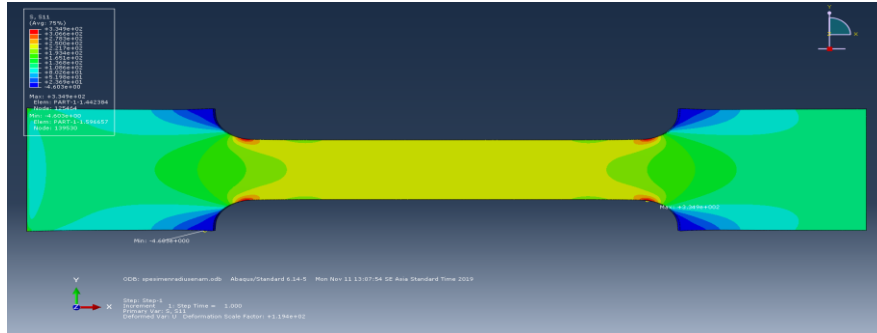


Gambar 4.7 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield



Gambar 4.8 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield

Pada Gambar 4.8 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 236,52 Mpa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bawa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

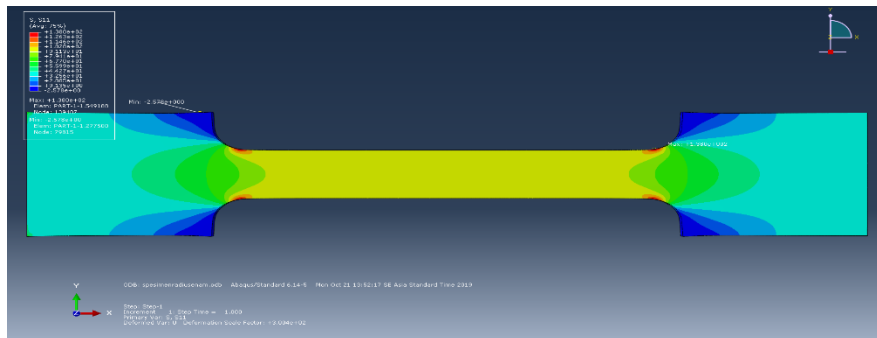


Gambar 4.9 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield

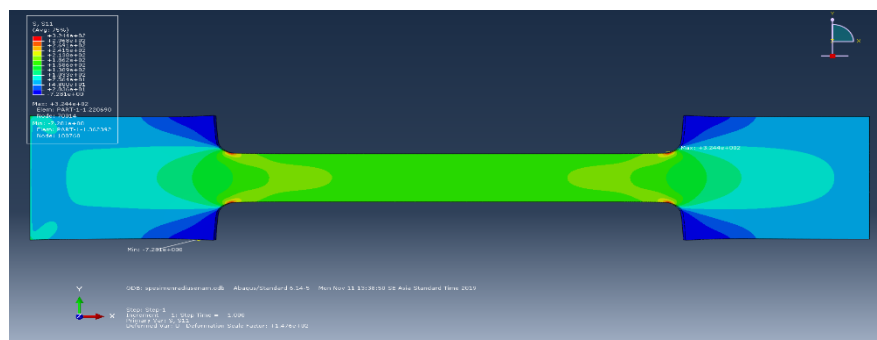
Pada Gambar 4.9 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 327,80 Mpa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bawa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

4.1.4. Model Pelat *Fillet* Radius 5 mm

Gambar 4.10 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu X maksimum pada model radius 5 mm sebesar 189,93 MPa yang terletak pada bagian dekat *Fillet*.

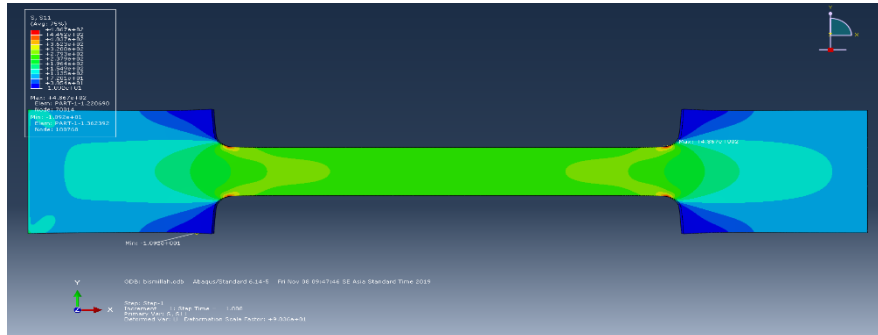


Gambar 4.10 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield



Gambar 4.11 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield

Pada Gambar 4.11 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 379,86 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

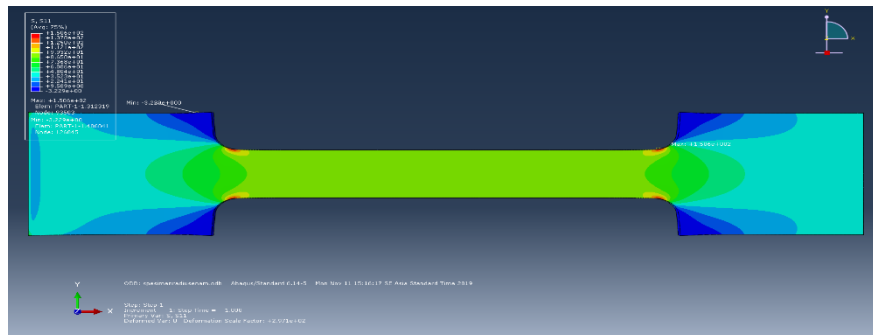


Gambar 4.12 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield

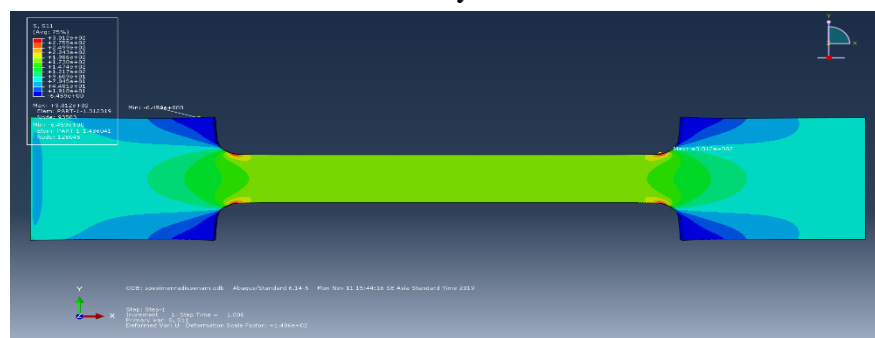
Pada Gambar 4.12 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 464,82 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

4.1.5. Model Pelat *Fillet* Radius 7 mm

Gambar 4.13 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu X maksimum pada model radius 7 mm sebesar 166,79 MPa yang terletak pada bagian dekat *Fillet*.

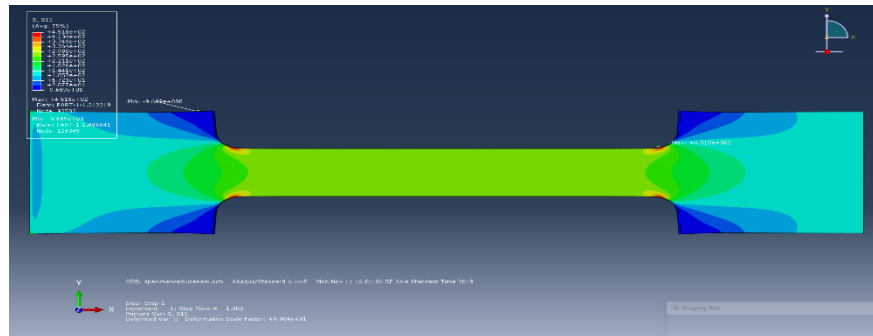


Gambar 4.13 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield



Gambar 4.14 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield

Pada Gambar 4.14 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 333,57 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.



Gambar 4.15 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield

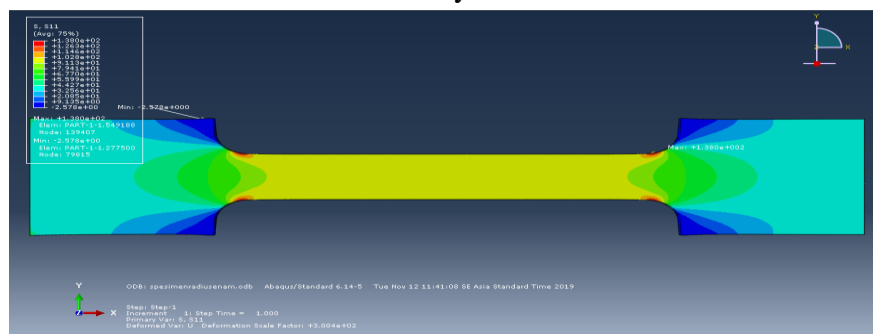
Pada Gambar 4.15 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 434,40 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

4.1.6. Model Pelat *Fillet* Radius 10 mm

Gambar 4.16 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu X maksimum pada model radius 10 mm sebesar 150,56 MPa yang terletak pada bagian dekat *Fillet* beban 30%.



Gambar 4.16 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield



Gambar 4.17 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield

Pada Gambar 4.17 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 301,11 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

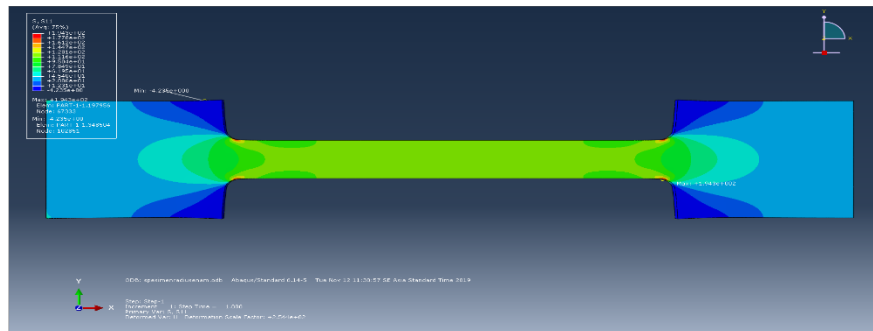


Gambar 4.18 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield

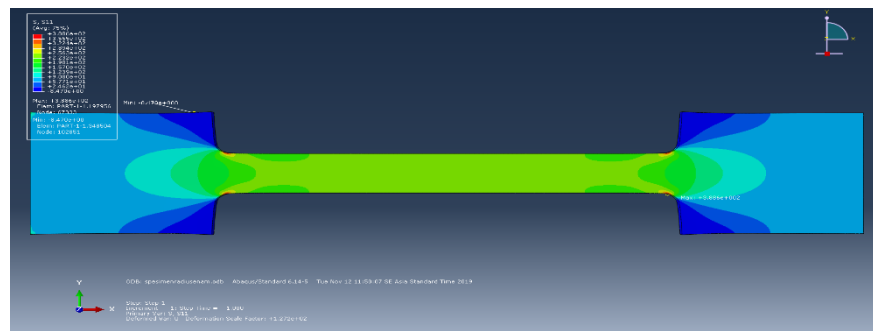
Pada Gambar 4.18 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 403,71 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

4.1.7. Model Pelat *Fillet* Radius 4 mm

Gambar 4.19 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu X maksimum pada model radius 4 mm sebesar 238,76 MPa yang terletak pada bagian dekat *Fillet* beban 30%.

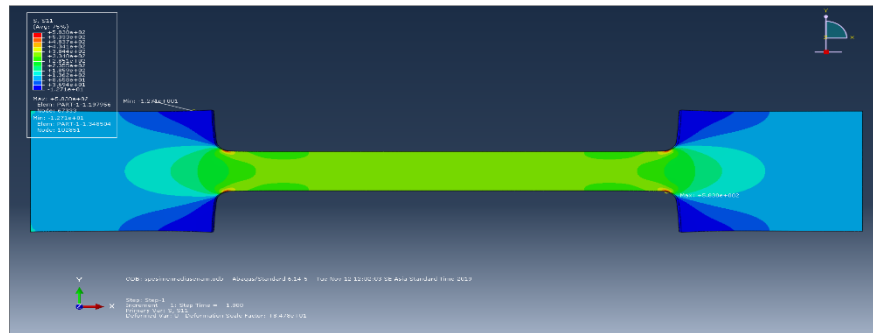


Gambar 4.19 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield



Gambar 4.20 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield

Pada Gambar 4.20 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 477,51 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

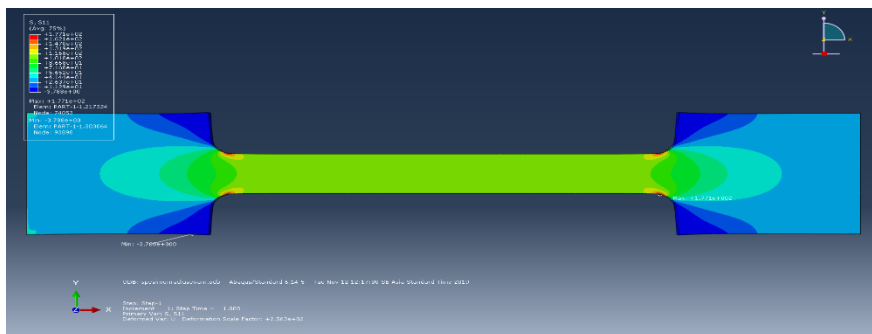


Gambar 4.21 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield

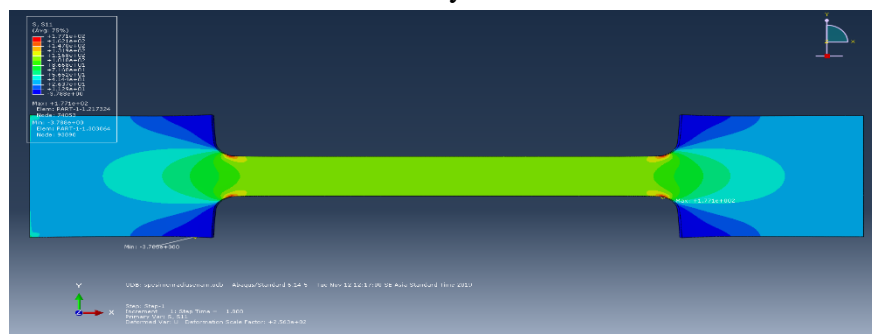
Pada Gambar 4.21 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 551,32 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

4.1.8. Model Pelat *Fillet* Radius 6 mm

Gambar 4.22 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu X maksimum pada model radius 6 mm sebesar 203,10 MPa yang terletak pada bagian dekat *Fillet* beban 30%.

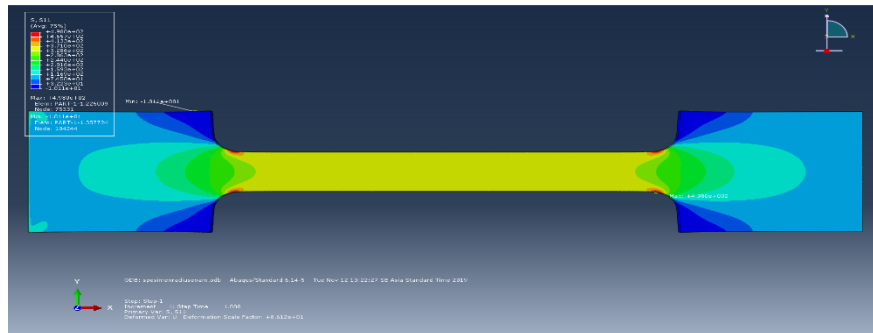


Gambar 4.22 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield



Gambar 4.23 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield

Pada Gambar 4.23 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 406,20 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

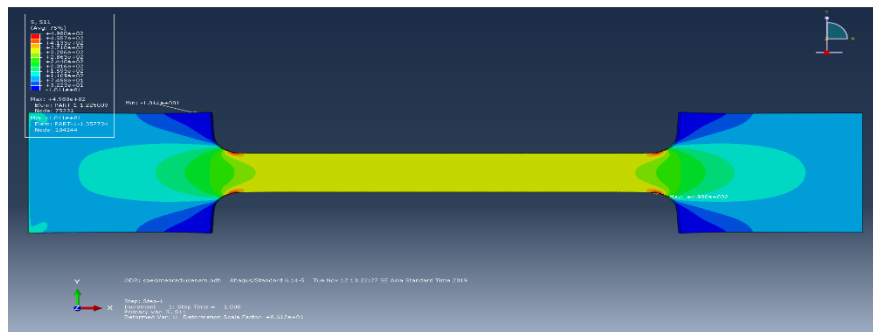


Gambar 4.24 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield

Pada Gambar 4.24 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 510,35 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

4.1.9. Model Pelat *Fillet* Radius 8 mm

Gambar 4.25 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu X maksimum pada model radius 8 mm sebesar 189,06 MPa yang terletak pada bagian dekat *Fillet* beban 30%.

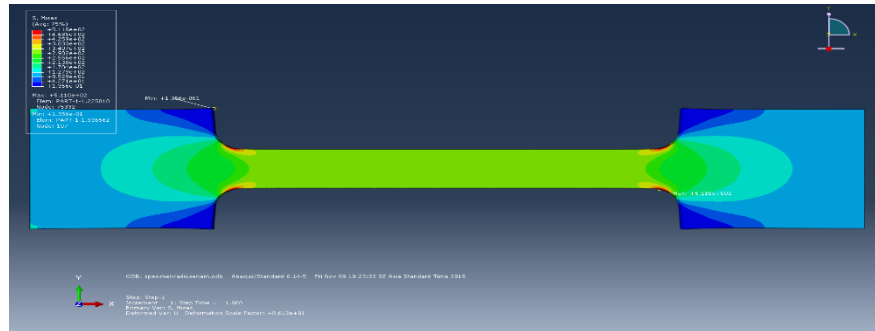


Gambar 4.25 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 30% yield



Gambar 4.26 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 60% yield

Pada Gambar 4.26 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 378,12 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

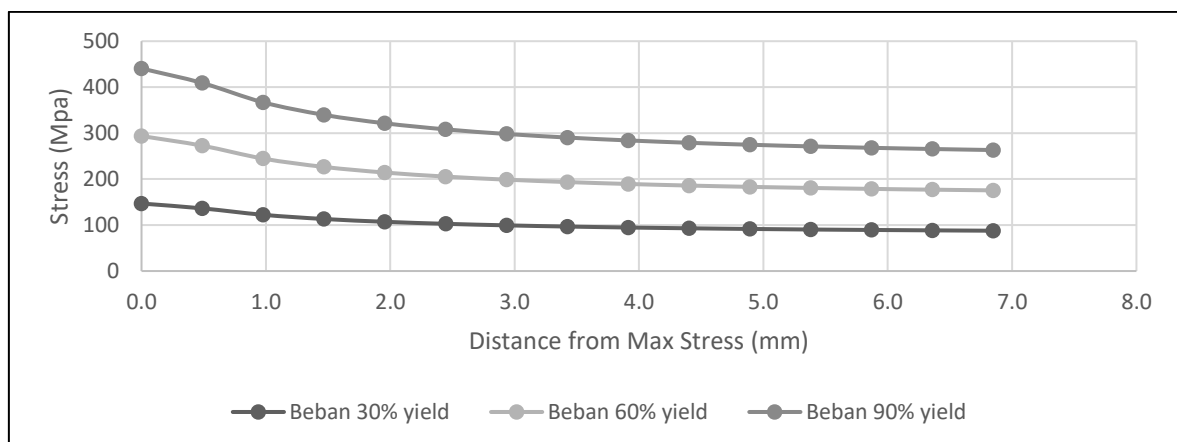


Gambar 4.27 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu X beban 90% yield

Pada Gambar 4.27 tegangan arah sumbu X maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 483,22 MPa yang terletak pada bagian sekitar *fillet*. Warna merah menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada daerah tersebut.

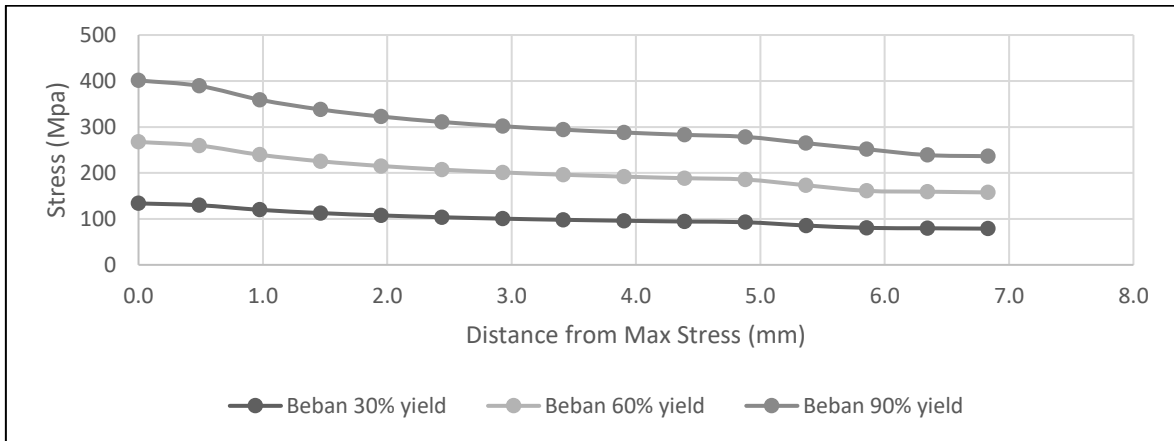
4.2. Distribusi Tegangan Pengujian Tarik

Berdasarkan hasil dari simulasi yang dilakukan yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya terkait tegangan yang didapatkan, maka dapat ditampilkan distribusi tegangan pada bentuk grafik pada Gambar 4.28 sampai 4.36.



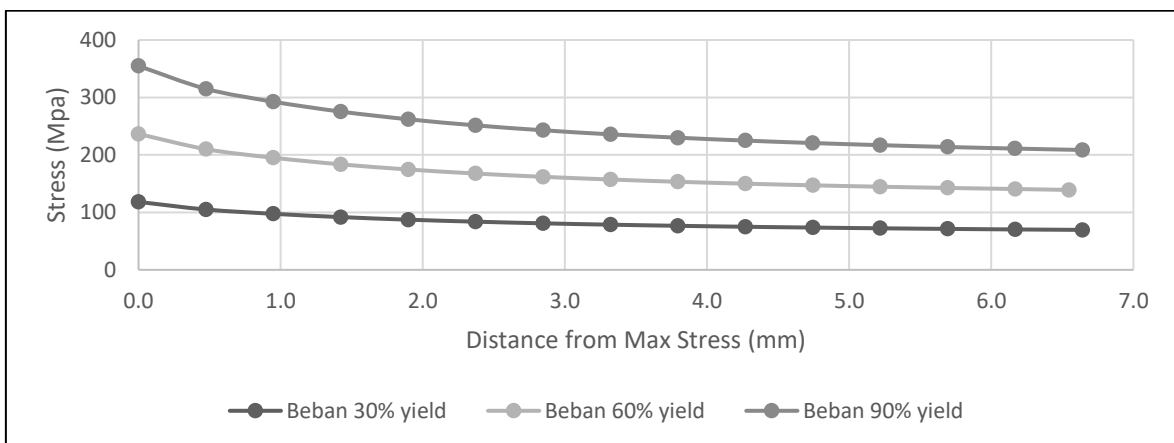
Gambar 4.28 Distribusi Tegangan Tarik radius 6mm

Pada Gambar 4.28 diatas beban 30% yield (13400 N) tegangan maksimal 146,88 MPa dan tegangan terkecil 87,74 MPa. Beban 60% (26800 N) tegangan maksimal 293,75 MPa dan tegangan terkecil 175,49 MPa dan beban 90% yield (40200 N) tegangan maksimal 440,62 MPa dan tegangan terkecil 263,23 MPa.



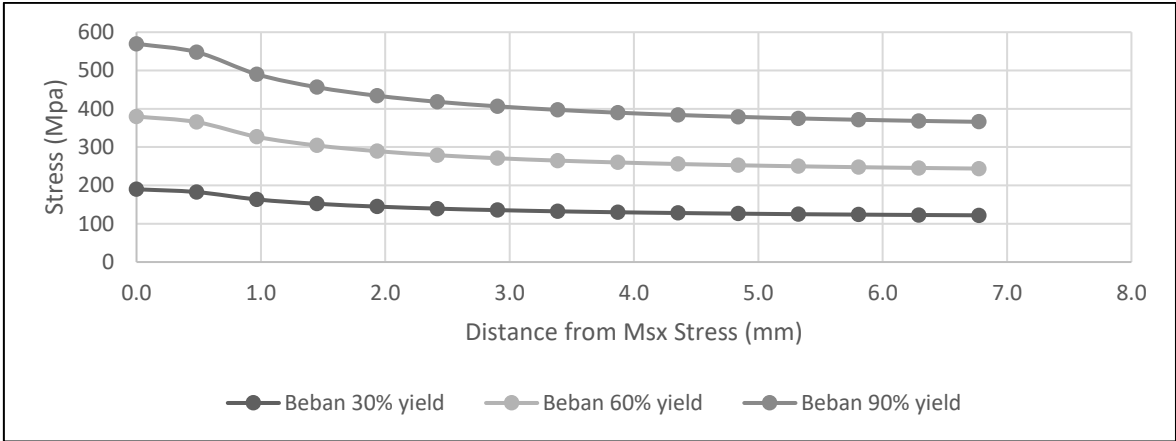
Gambar 4.29 Distribusi Tegangan Tarik radius 9mm

Pada Gambar 4.29 diatas beban 30% yield (13400 N) tegangan maksimal 133,72 MPa dan tegangan terkecil 78,81 MPa. Beban 60% (26800 N) tegangan maksimal 267,43 MPa dan tegangan terkecil 157,63 MPa dan beban 90% yield (40200 N) tegangan maksimal 401,15 MPa dan tegangan terkecil 236,44 MPa.



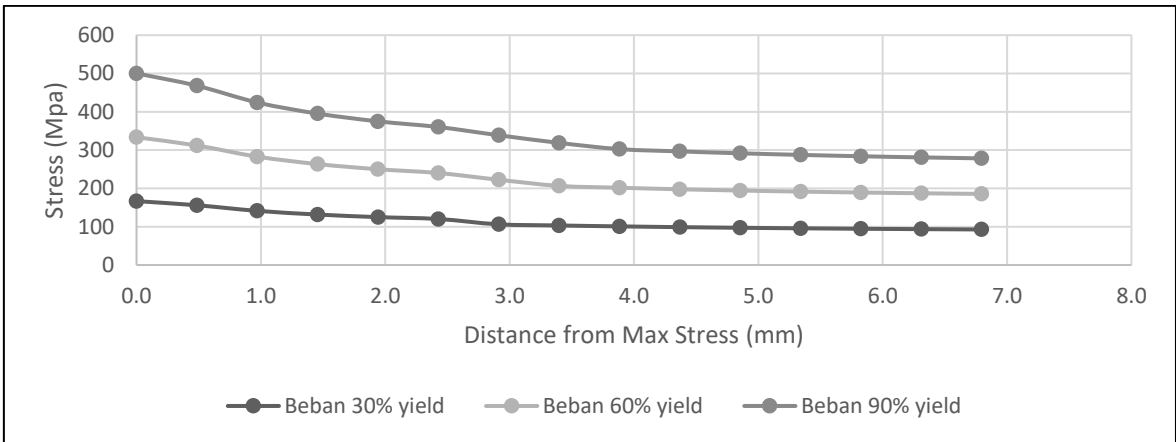
Gambar 4.30 Distribusi Tegangan Tarik radius 12mm

Pada Gambar 4.30 diatas beban 30% yield (13400 N) tegangan maksimal 118,26 MPa dan tegangan terkecil 69,53 MPa. Beban 60% (26800 N) tegangan maksimal 236,51 MPa dan tegangan terkecil 139,08 MPa dan beban 90% yield (40200 N) tegangan maksimal 354,78 MPa dan tegangan terkecil 208,61 MPa.



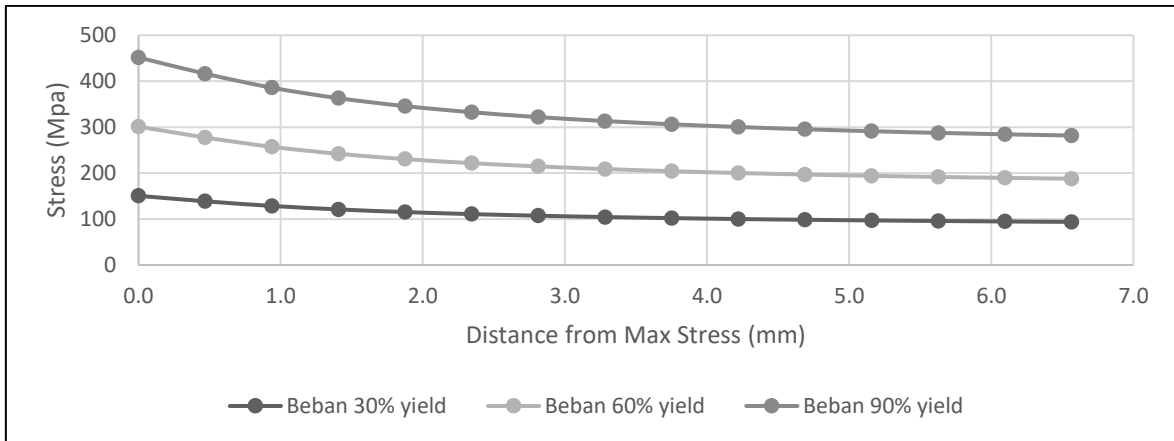
Gambar 4.31 Distribusi Tegangan Tarik radius 5mm

Pada Gambar 4.31 diatas beban 30% yield (13400 N) tegangan maksimal 189,92 MPa dan tegangan terkecil 121,10 MPa. Beban 60% (26800 N) tegangan maksimal 379,86 MPa dan tegangan terkecil 243,99 MPa dan beban 90% yield (40200 N) tegangan maksimal 569,79 MPa dan tegangan terkecil 365,99 MPa.



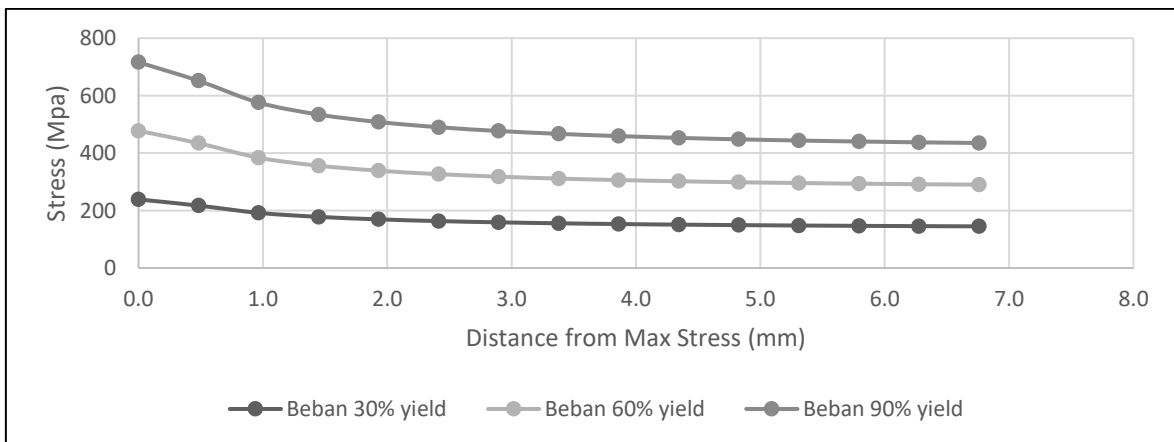
Gambar 4.32 Distribusi Tegangan Tarik radius 7mm

Pada Gambar 4.32 diatas beban 30% yield (13400 N) tegangan maksimal 166,79 MPa dan tegangan terkecil 92,80 MPa. Beban 60% (26800 N) tegangan maksimal 333,58 MPa dan tegangan terkecil 185,60 MPa dan beban 90% yield (40200 N) tegangan maksimal 500,36 MPa dan tegangan terkecil 278,40 MPa.



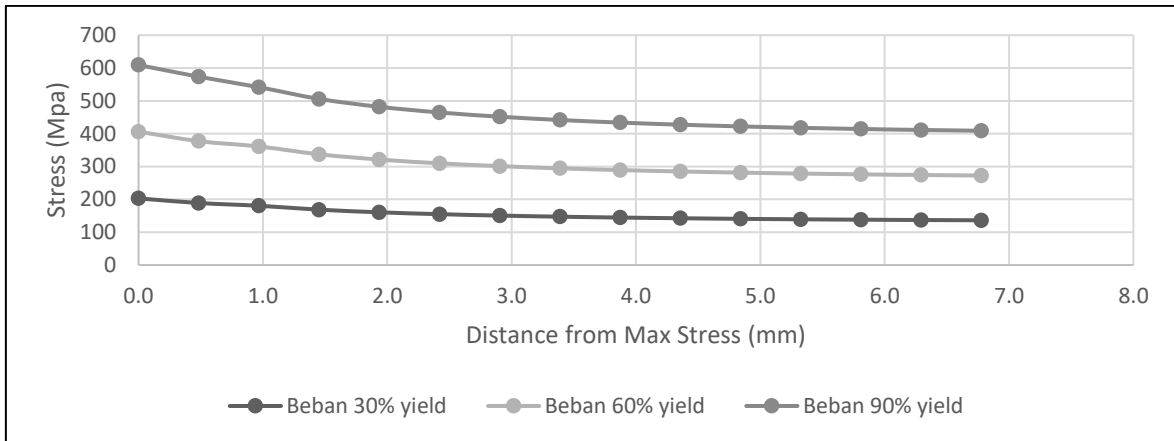
Gambar 4.33 Distribusi Tegangan Tarik radius 10mm

Pada Gambar 4.33 diatas beban 30% yield (13400 N) tegangan maksimal 150,56 MPa dan tegangan terkecil 93,91 MPa. Beban 60% (26800 N) tegangan maksimal 301,11 MPa dan tegangan terkecil 187,82 MPa dan beban 90% yield (40200 N) tegangan maksimal 451,68 MPa dan tegangan terkecil 281,73 MPa.



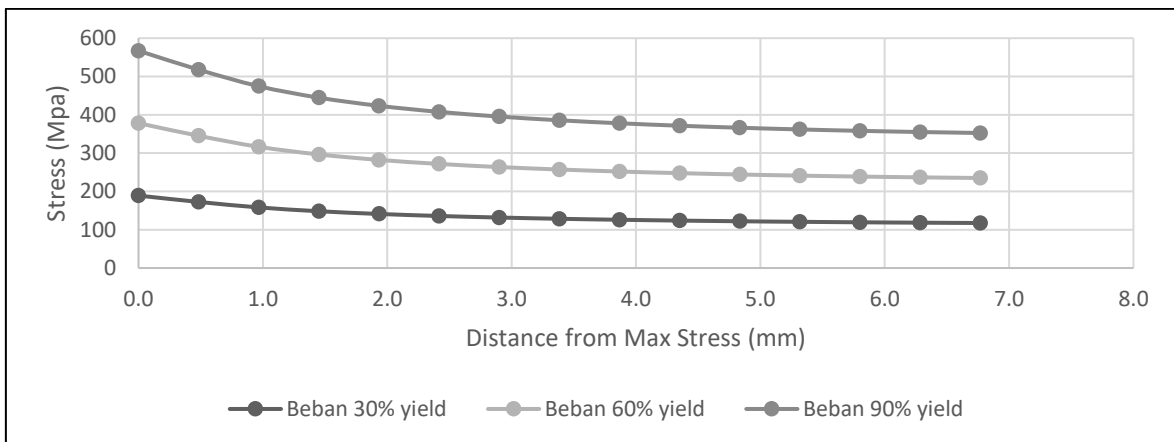
Gambar 4.34 Distribusi Tegangan Tarik radius 4mm

Pada Gambar 4.34 diatas beban 30% yield (13400 N) tegangan maksimal 238,76 MPa dan tegangan terkecil 145,04 MPa. Beban 60% (26800 N) tegangan maksimal 477,51 MPa dan tegangan terkecil 290,09 MPa dan beban 90% yield (40200 N) tegangan maksimal 716,27 MPa dan tegangan terkecil 435,13 MPa.



Gambar 4.35 Distribusi Tegangan Tarik radius 6mm

Pada Gambar 4.35 diatas beban 30% yield (13400 N) tegangan maksimal 203,10 MPa dan tegangan terkecil 136,30 MPa. Beban 60% (26800 N) tegangan maksimal 406,20 MPa dan tegangan terkecil 272,61 MPa dan beban 90% yield (40200 N) tegangan maksimal 609,30 MPa dan tegangan terkecil 408,91 MPa.



Gambar 4.36 Distribusi Tegangan Tarik radius 8mm

Pada Gambar 4.36 diatas beban 30% yield (13400 N) tegangan maksimal 189,06 MPa dan tegangan terkecil 117,50 MPa. Beban 60% (26800 N) tegangan maksimal 378,12 MPa dan tegangan terkecil 234,99 MPa dan beban 90% yield (40200 N) tegangan maksimal 567,18 MPa dan tegangan terkecil 352,49 MPa.

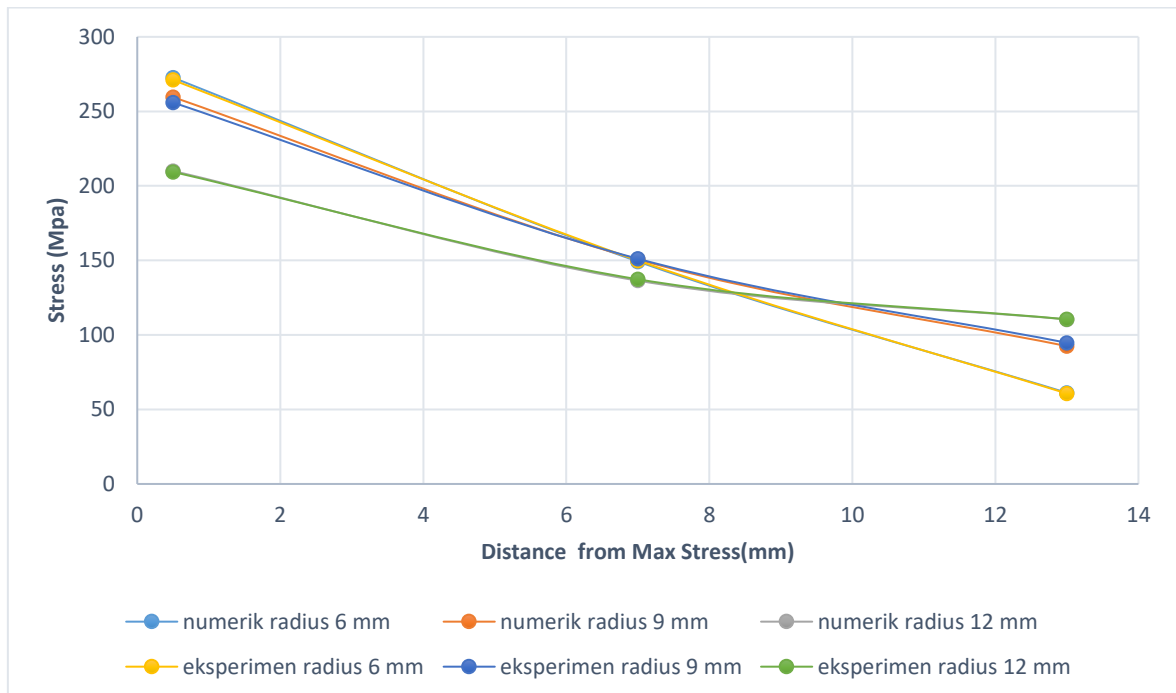
4.3. Pengaruh Variasi Diameter terhadap Distribusi Tegangan Pengujian Tarik

Distribusi tegangan akibat pengaruh perbedaan pembebanan telah dijelaskan pada sub bab 4.2 kemudian akan diuraikan lebih lanjut tentang pengaruh variasi radius *fillet* terhadap distribusi tegangan.

Tabel 4.1 Perbedaan Distribusi Tegangan Numerik dan Eksperimen

Radius (mm)	r/d	H/d	Jarak x (mm)	Tegangan (Mpa)	
				Numerik	Eksperimen
6	0,2	2	0,5	272,68	271,11
			7	149,27	149,94
			13	61,16	60,69
9	0,3	2,5	0,5	259,59	255,96
			7	150,65	151,11
			13	92,47	94,71
12	0,4	3	0,5	210,05	209,37
			7	136,42	137,34
			13	110,39	110,46

Tabel 4.1 menjelaskan distribusi tegangan pembebanan tarik metode eksperimen, yaitu hasil pembacaan sensor strain gauge pada posisi letak pemasangan sensor kemudian dibandingkan dengan hasil distribusi tegangan metode numerik.



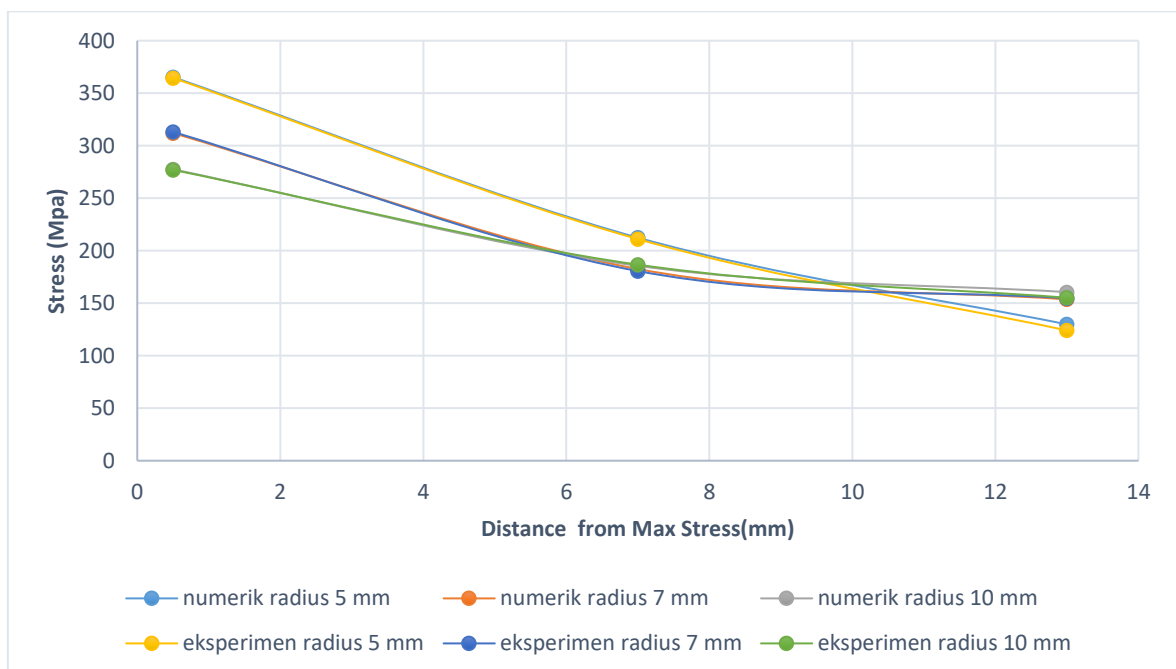
Gambar 4.37 Distribusi Tegangan Pengaruh Variasi Radius Beban 60%

Pada Gambar 4.37 menjelaskan pengaruh distribusi tegangan terhadap variasi radius *fillet* dengan pembebanan tarik 60% yield material, tepi *fillet* tiap variasi radius *fillet* mengalami konsentrasi tegangan terbesar dan berkurang menuju tepi material pelat. Semakin besar radius *fillet*, distribusi tegangan menuju tepi material akan mengalami kemiringan (sloping) hal ini disebabkan luasan yang ditumpu berkurang maka tegangan hampir sama besar.

Tabel 4.2 Perbedaan Distribusi Tegangan Numerik dan Eksperimen

Radius (mm)	r/d	H/d	Jarak x (mm)	Tegangan (Mpa)	
				Numerik	Eksperimen
5	0,2	2	0,5	365,28	364,49
			7	212,41	211,05
			13	129,86	124,11
7	0,3	2,5	0,5	312,00	313,17
			7	182,56	180,60
			13	153,63	154,77
10	0,4	3	0,5	277,50	276,99
			7	185,58	186,69
			13	160,55	155,19

Tabel 4.2 menjelaskan distribusi tegangan pembebanan tarik metode eksperimen, yaitu hasil pembacaan sensor strain gauge pada posisi letak pemasangan sensor kemudian dibandingkan dengan hasil distribusi tegangan metode numerik.



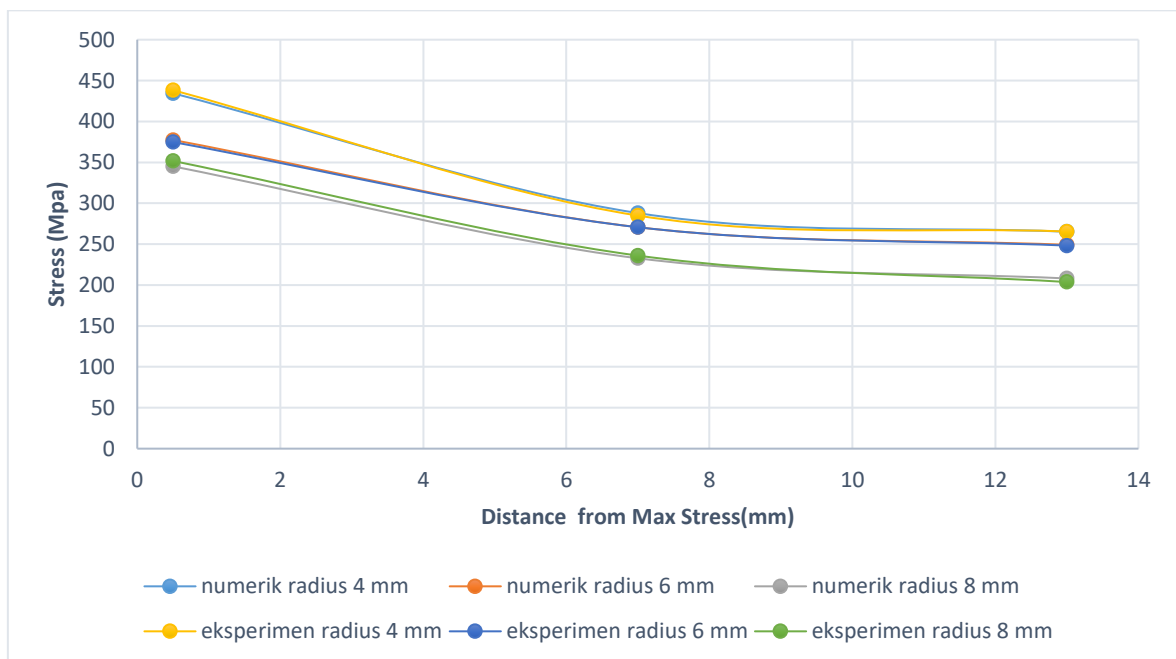
Gambar 4.38 Distribusi Tegangan Pengaruh Variasi Radius Beban 60%

Pada Gambar 4.38 menjelaskan pengaruh distribusi tegangan terhadap variasi radius *fillet* dengan pembebanan tarik 60% yield material, tepi *fillet* tiap variasi radius *fillet* mengalami konsentrasi tegangan terbesar dan berkurang menuju tepi material pelat. Semakin besar radius *fillet*, distribusi tegangan menuju tepi material akan mengalami kemiringan (sloping) hal ini disebabkan luasan yang ditumpu berkurang maka tegangan hampir sama besar.

Tabel 4.3 Perbedaan Distribusi Tegangan Numerik dan Eksperimen

Radius (mm)	r/d	H/d	Jarak x (mm)	Tegangan (Mpa)	
				Numerik	Eksperimen
4	0,2	2	0,5	434,43	438,27
			7	288,01	284,97
			13	265,15	265,44
6	0,3	2,5	0,5	377,36	374,85
			7	270,75	270,69
			13	249,14	248,22
8	0,4	3	0,5	345,11	351,75
			7	232,75	236,04
			13	208,05	203,70

Tabel 4.3 menjelaskan distribusi tegangan pembebanan tarik metode eksperimen, yaitu hasil pembacaan sensor strain gauge pada posisi letak pemasangan sensor kemudian dibandingkan dengan hasil distribusi tegangan metode numerik.



Gambar 4.39 Distribusi Tegangan Pengaruh Variasi Radius Beban 60%

Pada Gambar 4.39 menjelaskan pengaruh distribusi tegangan terhadap variasi radius *fillet* dengan pembebanan tarik 60% yield material, tepi *fillet* tiap variasi radius *fillet* mengalami konsentrasi tegangan terbesar dan berkurang menuju tepi material pelat. Semakin besar radius *fillet*, distribusi tegangan menuju tepi material akan mengalami kemiringan (sloping) hal ini disebabkan luasan yang ditumpu berkurang maka tegangan hampir sama besar.

4.4. Faktor Konsentrasi Tegangan Uji Tarik dengan Metode Numerik

Faktor konsentrasi tegangan adalah faktor tanpa dimensi yang digunakan untuk mengukur seberapa terkonsentrasi *stress* dalam suatu material. Persamaan (4.1) didefinisikan sebagai rasio tegangan tertinggi dalam elemen terhadap tegangan nominal.

$$SCF = \sigma_{\max} / \sigma_{\text{nom}} \quad (4.1)$$

Pada Persamaan (4.2) dilihat bahwa tegangan nominal adalah tegangan total dalam suatu elemen di bawah kondisi pembebanan yang sama tanpa konsentrator tegangan.

$$\sigma_{\text{nominal}} = \frac{P}{hxd} \quad (4.2)$$

Tabel 4.4 Tegangan Tarik arah Sumbu X beban 30% yield

P 13400 (30% yield)								
Model	Radius (mm)	H (mm)	d (mm)	h (mm)	Tegangan nominal	SCF(max/Nom)	r/d	H/d
1	3	60	30	6	74,444	2,43	0,1	2
2	6	60	30	6	74,444	1,97	0,2	2
3	9	60	30	6	74,444	1,80	0,3	2
4	12	60	30	6	74,444	1,59	0,4	2
5	2,4	60	24	6	93,056	2,59	0,1	2,5
6	5	60	24	6	93,056	2,04	0,2	2,5
7	7	60	24	6	93,056	1,79	0,3	2,5
8	10	60	24	6	93,056	1,62	0,4	2,5
9	2	60	20	6	111,667	2,68	0,1	3
10	4	60	20	6	111,667	2,14	0,2	3
11	6	60	20	6	111,667	1,82	0,3	3
12	8	60	20	6	111,667	1,69	0,4	3

Pada Tabel 4.4 diatas yaitu hasil faktor konsentrasi tegangan arah sumbu X dengan variasi radius *fillet* dan beban 30% yield sebesar 13,4 KN yang diberikan pada model. Dapat dilihat bahwa radius semkain besar maka faktor konsentrasi tegangan juga semakin rendah.

Tabel 4.5 Tegangan Tarik arah Sumbu X beban 60% yield

P 26800 (60% yield)								
Model	Radius (mm)	H (mm)	d (mm)	h (mm)	Tegangan nominal	SCF(max/Nom)	r/d	H/d
1	3	60	30	6	148,889	2,43	0,1	2
2	6	60	30	6	148,889	1,97	0,2	2
3	9	60	30	6	148,889	1,80	0,3	2
4	12	60	30	6	148,889	1,59	0,4	2
5	2,4	60	24	6	186,111	2,59	0,1	2,5
6	5	60	24	6	186,111	2,04	0,2	2,5
7	7	60	24	6	186,111	1,79	0,3	2,5
8	10	60	24	6	186,111	1,62	0,4	2,5
9	2	60	20	6	223,333	2,68	0,1	3
10	4	60	20	6	223,333	2,14	0,2	3
11	6	60	20	6	223,333	1,82	0,3	3
12	8	60	20	6	223,333	1,69	0,4	3

Pada Tabel 4.5 diatas yaitu hasil faktor konsentrasi tegangan arah sumbu X dengan variasi radius *fillet* dan beban 60% yield sebesar 26,8 KN yang diberikan pada model. Dapat dilihat bahwa radius semkain besar maka faktor konsentrasi tegangan juga semakin rendah.

Tabel 4.6 Tegangan Tarik arah Sumbu X beban 90% yield

P 40200 (90% yield)								
Mode l	Radius (mm)	H (mm)	d (mm)	h (mm)	Tegangan nominal	SCF(max/Nom)	r/d	H/d
1	3	60	30	6	223,333	2,43	0,1	2
2	6	60	30	6	223,333	1,97	0,2	2
3	9	60	30	6	223,333	1,80	0,3	2
4	12	60	30	6	223,333	1,59	0,4	2
5	2,4	60	24	6	279,167	2,59	0,1	2,5
6	5	60	24	6	279,167	2,04	0,2	2,5
7	7	60	24	6	279,167	1,79	0,3	2,5
8	10	60	24	6	279,167	1,62	0,4	2,5
9	2	60	20	6	335,000	2,68	0,1	3
10	4	60	20	6	335,000	2,14	0,2	3
11	6	60	20	6	335,000	1,82	0,3	3
12	8	60	20	6	335,000	1,69	0,4	3

Pada Tabel 4.6 diatas yaitu hasil faktor konsentrasi tegangan arah sumbu X dengan variasi radius *fillet* dan beban 90% yield sebesar 40,2 KN yang diberikan pada model. Dapat dilihat bahwa radius semkain besar maka faktor konsentrasi tegangan juga semakin rendah.

4.4.1. Faktor Konsentrasi Tegangan Uji Tarik Dengan Metode Empiris

Pada Tabel 4.7 Setelah menjalankan pekerjaan di *FEA* dan didapatkan nilai SCF masing-masing model uji dengan menggunakan tegangan arah X. Kemudian dilakukan perhitungan empiris dengan menggunakan Persamaan (4.3).

$$SCF = C1 + C2 \left(\frac{2t}{H}\right) + C3 \left(\frac{2t}{H}\right)^2 + C4 \left(\frac{2t}{H}\right)^3$$

	$2.0 \leq t/r \leq 20.0$	
C1	$1.020 + 1.009 \sqrt{t/r} - 0.048 t/r$	(4.3)
C2	$- 0.065 - 1.165 \sqrt{t/r} - 0.007 t/r$	
C3	$- 3.459 + 1.266 \sqrt{t/r} - 0.016 t/r$	
C4	$3.505 - 2.109 \sqrt{t/r} + 0.069 t/r$	

Tabel 4.7 Perhitungan SCF Tarik Empiris

SCF Rumus Peterson			
Radius (mm)	SCF	r/d	H/d
3	2,52	0,1	2
6	1,99	0,2	2
9	1,84	0,3	2
12	1,60	0,4	2
2,4	2,66	0,1	2,5
5	2,06	0,2	2,5
7	1,84	0,3	2,5
10	1,64	0,4	2,5
2	2,73	0,1	3
4	2,15	0,2	3
6	1,87	0,3	3
8	1,70	0,4	3

4.4.2. Faktor Konsentrasi Tegangan Dengan Metode Eksperimen

Pada metode eksperimen sudah di jelaskan pemasangan sensor untuk pengujian tarik. Setelah itu di hubungkan ke alat Micro untuk mendapatkan tegangan dalam stuan *micro strain* (10^{-6}) dikalikan Modulus material (E) untuk mendapatkan tegangan.

Tabel 4.8 Hasil Tegangan Eksperimen Pengujian Tarik

Radius	strain 30%	strain 60%	σ		strain 30%	strain 60%	σ	
6	0,000360	0,000712	75,60	149,52	0,000692	0,001401	145,32	294,21
9	0,000357	0,000706	74,97	148,29	0,000635	0,001278	133,35	268,42
12	0,000349	0,000714	73,36	149,94	0,000573	0,001133	120,33	237,93
5	0,000448	0,000893	94,08	187,53	0,000911	0,001812	191,31	380,52
7	0,000449	0,000895	94,22	187,95	0,000789	0,001593	165,76	334,61
10	0,000448	0,000891	94,08	187,11	0,000712	0,001445	149,52	303,45
4	0,000532	0,001084	111,72	227,57	0,001146	0,002278	240,66	478,38
6	0,000551	0,001073	115,71	225,33	0,000981	0,001960	206,01	411,60
8	0,000547	0,001088	114,87	228,48	0,000896	0,001791	188,16	376,11

Pada Tabel 4.8 didapatkan tegangan maksimal dan tegangan nominal untuk faktor konsentrasi tegangan pada material uji dengan menggunakan sensor.

Tabel 4.9 *Stress Consentration Factor* Eksperimen Pengujian Tarik

Radius (mm)	r/d	Tegangan Nominal Eksperimen		Tegangan Maksimal Eksperimen		SCF 30%	SCF 30%	H/d
		Beban 30% yield	Beban 60% yield	Beban 30% yield	Beban 60% yield			
6	0,2	75,60	149,52	145,32	294,21	1,92	1,97	2
9	0,3	74,97	148,29	133,35	268,42	1,78	1,81	2
12	0,4	73,36	149,94	120,33	237,93	1,64	1,59	2
5	0,2	94,08	187,53	191,31	380,52	2,03	2,03	2,5
7	0,3	94,22	187,95	165,76	333,14	1,76	1,77	2,5
10	0,4	94,08	187,11	149,52	303,45	1,59	1,62	2,5
4	0,2	111,72	227,57	240,66	478,38	2,15	2,10	3
6	0,3	115,71	225,33	206,01	411,60	1,78	1,83	3
8	0,4	114,87	228,48	188,16	376,11	1,64	1,65	3

Pada Tabel 4.9 diatas yaitu hasil faktor konsentrasi tegangan metode eksperimen pengujian tarik arah tegangan sumbu X dengan variasi radius *fillet* dengan pembebanan beban 30%, 60% yield yang diberikan pada material uji. Bisa dilihat bahwa nilai faktor konsentrasi tegangan dengan pembebanan 30% dan 60% menunjukkan hasil yang identik sama. Pembebanan 90% tidak dilakukan untuk metode eksperimen.

4.4.3. Hasil Perhitungan SCF dari *FEA*, Rumus Empiris, dan Eksperimen

Faktor konsentrasi tegangan pada model didapatkan dengan menggunakan tegangan maksimal dibagi tegangan nominal dan perhitungan dengan rumus empiris. Perbandingan perhitungan SCF masing-masing model uji dapat dilihat pada Tabel 4.10.

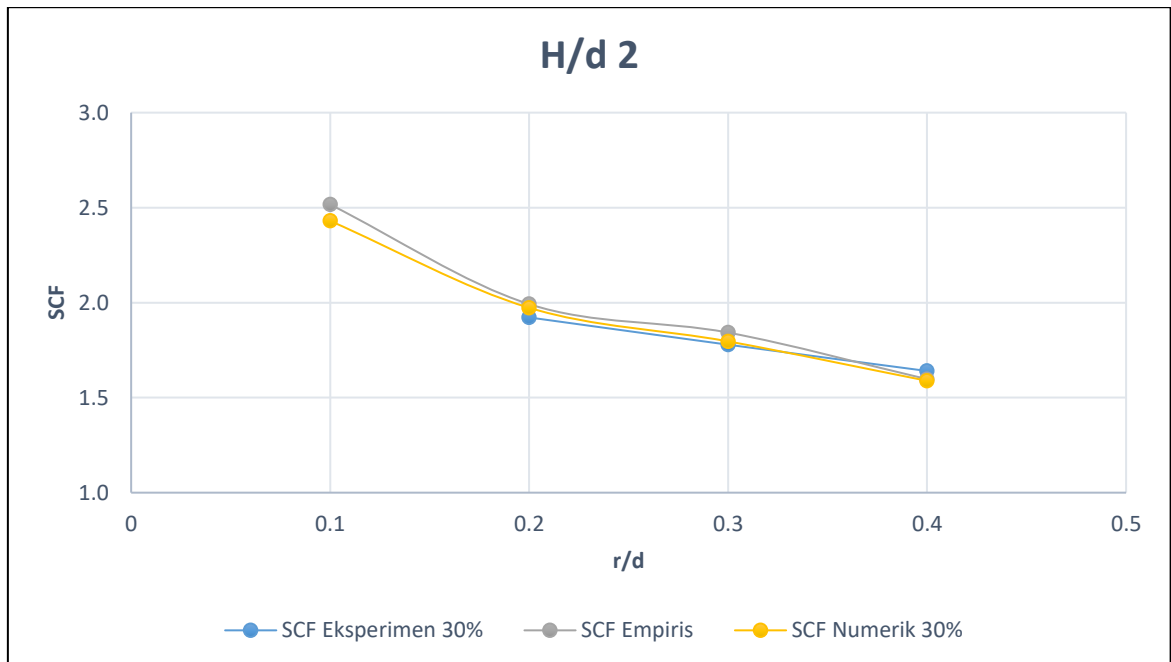
Tabel 4.10 Perbandingan Perhitungan SCF

Radius (mm)	r/d	SCF Numerik			SCF Eksperimen		SCF Empiris	Selisih Numerik- Empiris (%)	Selisih Numerik- Eksperimen (%)	H/d
		30%	60%	90%	30%	60%				
3	0,1	2,43	2,43	2,43	-	-	2,52	3,43	-	2
6	0,2	1,97	1,97	1,97	1,92	1,97	1,99	0,97	2,57	2
9	0,3	1,80	1,80	1,80	1,78	1,81	1,84	2,51	0,97	2
12	0,4	1,59	1,59	1,59	1,64	1,59	1,60	0,55	3,15	2
2,4	0,1	2,59	2,59	2,59	-	-	2,66	2,83	-	2,5
5	0,2	2,04	2,04	2,04	2,03	2,03	2,06	1,15	0,37	2,5
7	0,3	1,79	1,79	1,79	1,76	1,77	1,84	2,68	1,84	2,5
10	0,4	1,62	1,62	1,62	1,59	1,62	1,64	1,14	1,77	2,5
2	0,1	2,68	2,68	2,68	-	-	2,73	1,97	-	3
4	0,2	2,14	2,14	2,14	2,15	2,10	2,15	0,66	0,74	3
6	0,3	1,82	1,82	1,82	1,78	1,83	1,87	2,97	2,11	3
8	0,4	1,69	1,69	1,69	1,64	1,65	1,70	0,56	3,25	3

Tabel 4.11 Faktor Konsentrasi Tegangan beban 30%

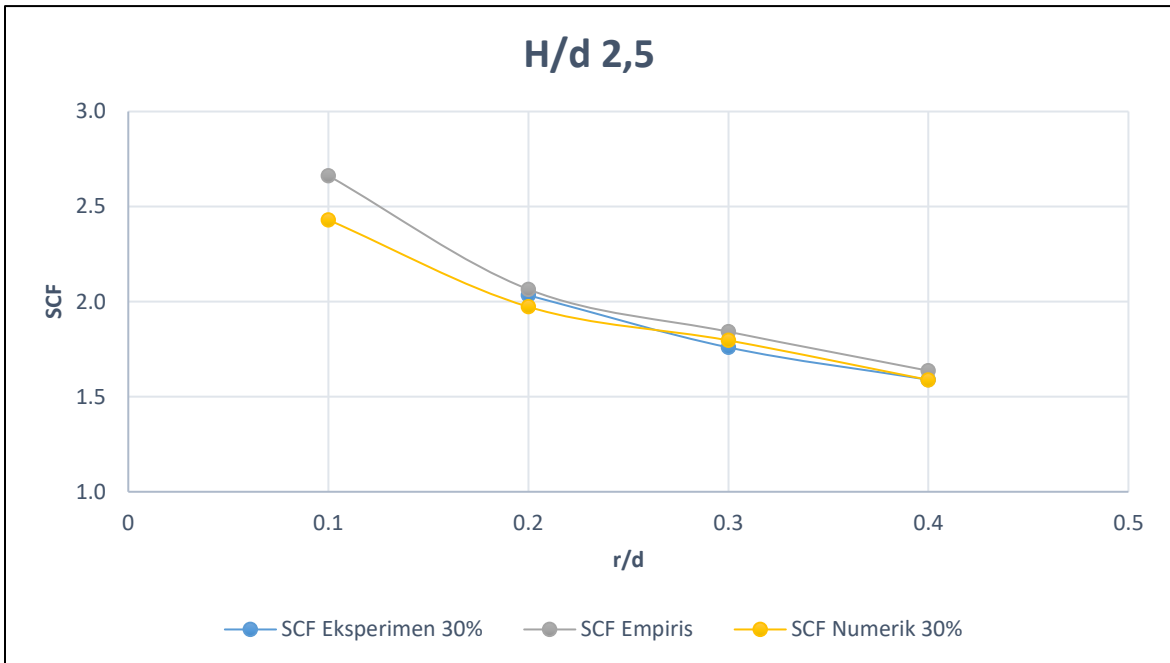
Radius (mm)	r/d	SCF Numerik	SCF Eksperimen	SCF Empiris	H/d
		30%	30%		
3	0,1	2,43	-	2,52	2
6	0,2	1,97	1,92	1,99	2
9	0,3	1,80	1,78	1,84	2
12	0,4	1,59	1,64	1,60	2
2,4	0,1	2,59	-	2,66	2,5
5	0,2	2,04	2,03	2,06	2,5
7	0,3	1,79	1,76	1,84	2,5
10	0,4	1,62	1,59	1,64	2,5
2	0,1	2,68	-	2,73	3
4	0,2	2,14	2,15	2,15	3
6	0,3	1,82	1,78	1,87	3
8	0,4	1,69	1,64	1,70	3

Pada Tabel 4.11 merupakan hasil dari nilai faktor konsentrasi tegangan dengan beban 30% dari metode numerik, empiris, dan eksperimen. Dengan rasio H/d yang sama dan r/d yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin rendah.



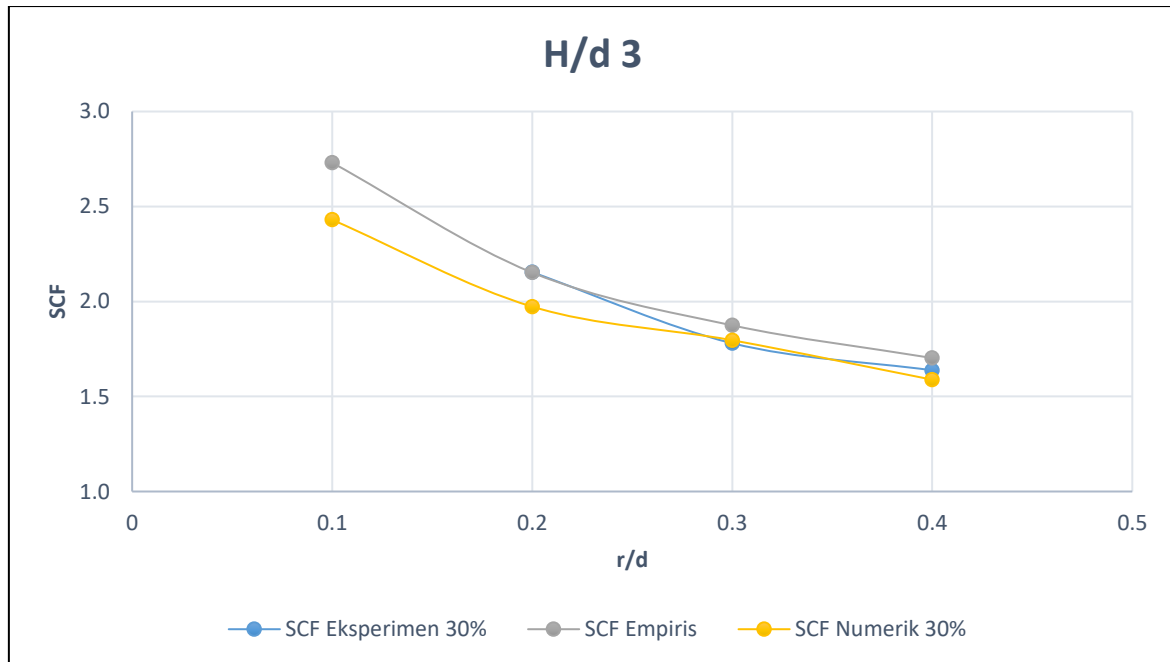
Gambar 4.40 Perbandingan SCF Beban 30% yield

Pada Gambar 4.40 beban 30% yield (13400 N) yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik, empiris dan eksperimen.



Gambar 4.41 Perbandingan SCF Beban 30% yield

Pada Gambar 4.41 beban 30% yield (13400 N) yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik, empiris dan eksperimen.



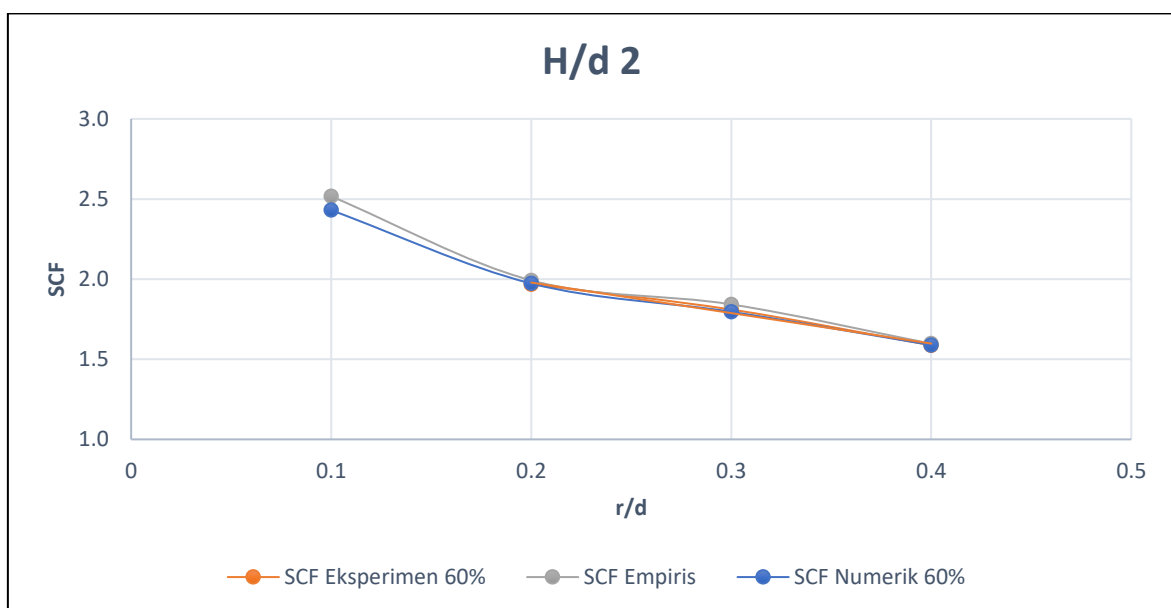
Gambar 4.42 Perbandingan SCF Beban 30% yield

Pada Gambar 4.42 beban 30% yield (13400 N) yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik, empiris dan eksperimen.

Tabel 4.12 Faktor Konsentrasi Tegangan beban 60%

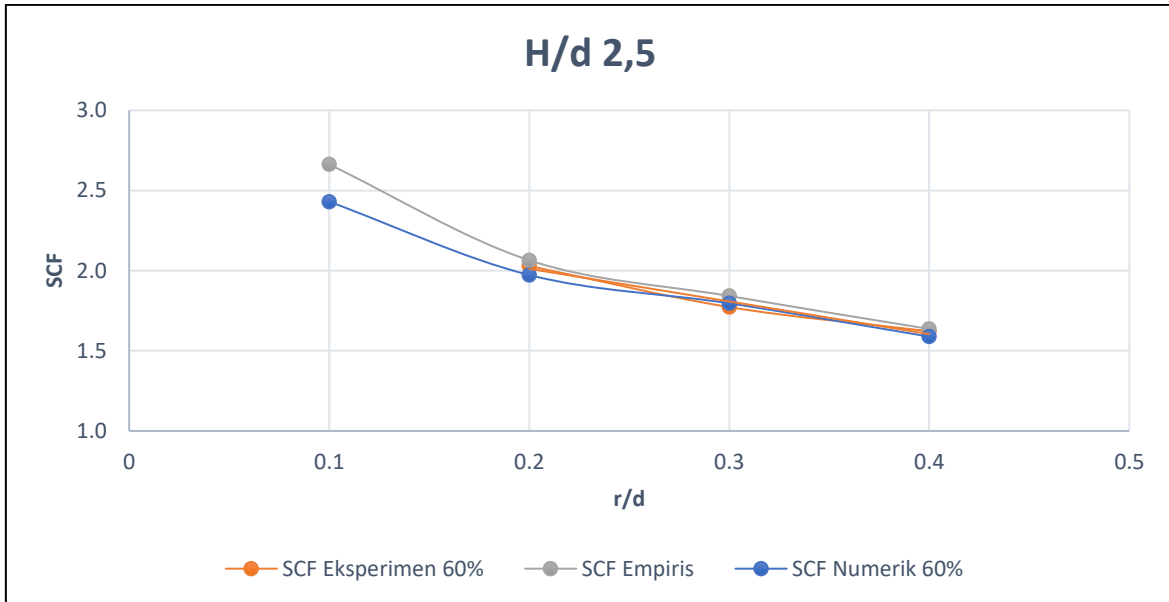
Radius (mm)	r/d	SCF Numerik	SCF Eksperimen	SCF Empiris	H/d
		60%	60%		
3	0,1	2,43	-	2,52	2
6	0,2	1,97	1,97	1,99	2
9	0,3	1,80	1,81	1,84	2
12	0,4	1,59	1,59	1,60	2
2.4	0,1	2,59	-	2,66	2,5
5	0,2	2,04	2,03	2,06	2,5
7	0,3	1,79	1,77	1,84	2,5
10	0,4	1,62	1,62	1,64	2,5
2	0,1	2,68	-	2,73	3
4	0,2	2,14	2,10	2,15	3
6	0,3	1,82	1,83	1,87	3
8	0,4	1,69	1,65	1,70	3

Pada Tabel 4.12 merupakan hasil dari nilai faktor konsentrasi tegangan dengan beban 60% dari metode numerik, empiris, dan eksperimen. Dengan rasio H/d yang sama dan r/d yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin rendah.



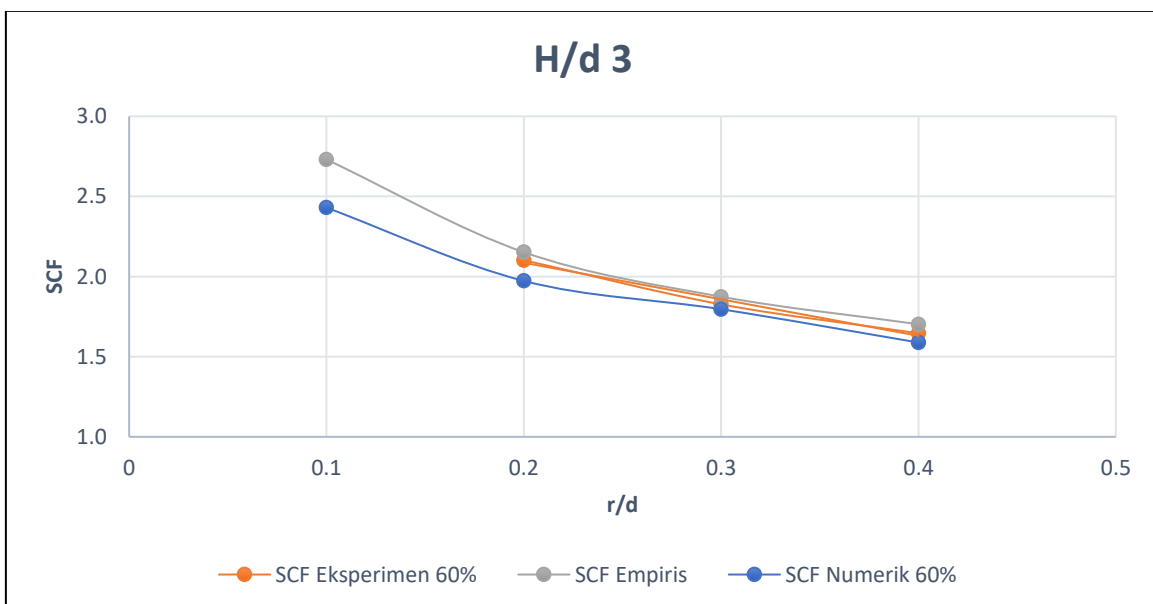
Gambar 4.43 Perbandingan SCF Beban 60% yield

Pada Gambar 4.43 beban 60% yield (26800 N) yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik, empiris dan eksperimen.



Gambar 4.44 Perbandingan SCF Beban 60% yield

Pada Gambar 4.44 beban 60% yield (26800 N) yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik, empiris dan eksperimen.



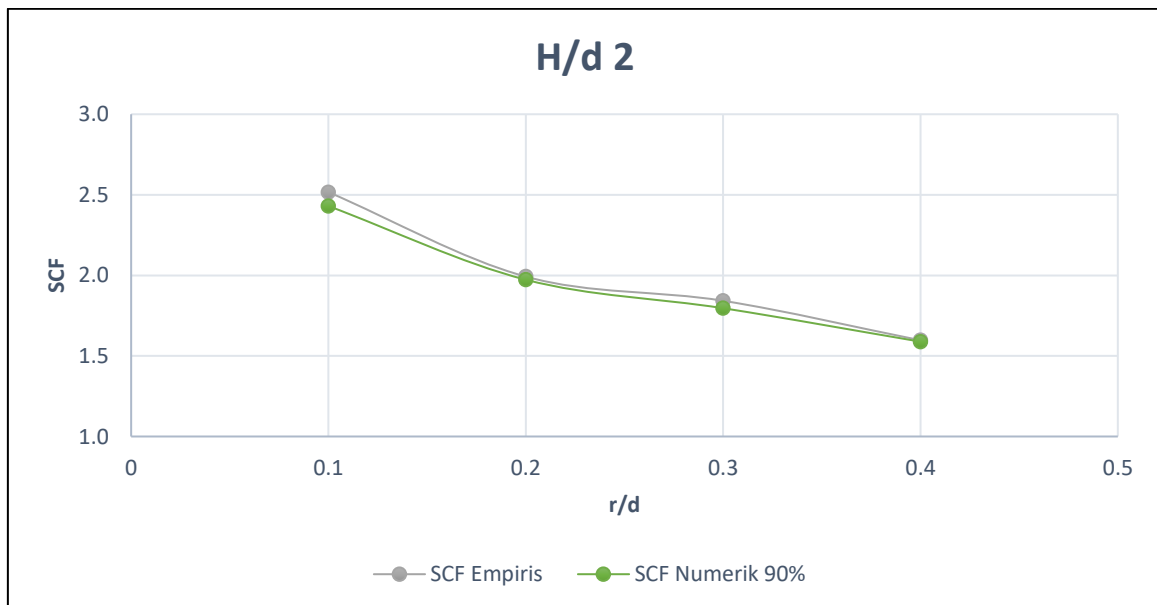
Gambar 4.45 Perbandingan SCF Beban 60% yield

Pada Gambar 4.45 beban 60% yield (26800 N) yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik, empiris dan eksperimen.

Tabel 4.13 Faktor Konsentrasi Tegangan beban 90%

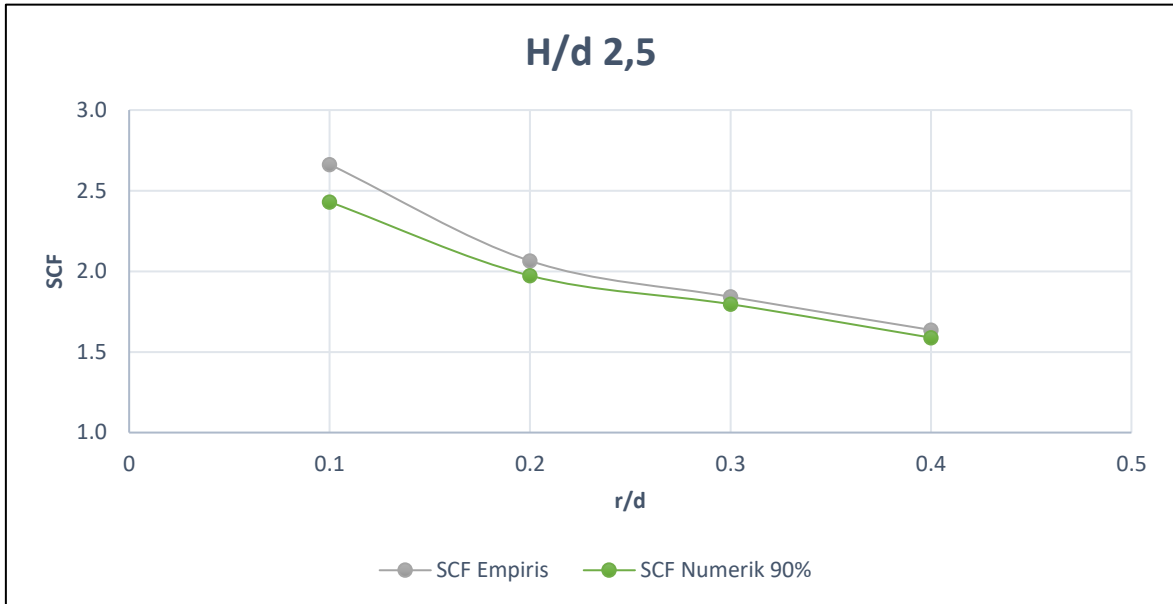
Radius (mm)	r/d	SCF Numerik	SCF Empiris	H/d
		90%		
3	0,1	2,43	2,52	2
6	0,2	1,97	1,99	2
9	0,3	1,80	1,84	2
12	0,4	1,59	1,60	2
2.4	0,1	2,59	2,66	2,5
5	0,2	2,04	2,06	2,5
7	0,3	1,79	1,84	2,5
10	0,4	1,62	1,64	2,5
2	0,1	2,68	2,73	3
4	0,2	2,14	2,15	3
6	0,3	1,82	1,87	3
8	0,4	1,69	1,70	3

Pada Tabel 4.13 merupakan hasil dari nilai faktor konsentrasi tegangan dengan beban 90% dari metode numerik, dan empiris. Pada metode eksperimen tidak dilakukan pembebanan 90%. dengan rasio H/d yang sama dan r/d yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin rendah.



Gambar 4.46 Perbandingan SCF Beban 90% yield

Pada Gambar 4.46 beban 90% yield (40200 N) yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik dan empiris karena tidak dilakukan pengujian eksperimen dengan beban tersebut.



Gambar 4.47 Perbandingan SCF Beban 90% yield

Pada Gambar 4.47 beban 90% yield (40200 N) yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik dan empiris karena tidak dilakukan pengujian eksperimen dengan beban tersebut.



Gambar 4.48 Perbandingan SCF Beban 90% yield

Pada Gambar 4.48 beban 90% yield (40200 N) yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik dan empiris karena tidak dilakukan pengujian eksperimen dengan beban tersebut.

Tabel 4.14 Rata-rata SCF Metode Numerik, Empiris, dan Eksperimen

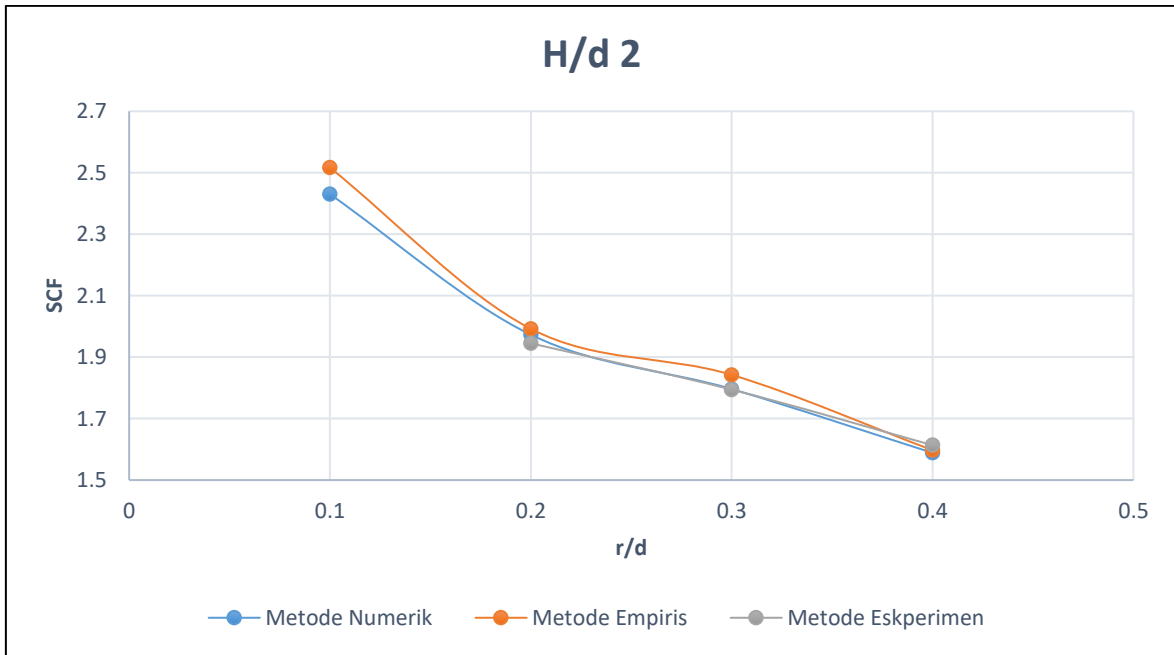
Radius (mm)	r/d	H/d	SCF Numerik	SCF Empiris	SCF Eksperimen
3	0,1	2	2,43	2,52	-
6	0,2	2	1,97	1,99	1,94
9	0,3	2	1,80	1,84	1,79
12	0,4	2	1,59	1,60	1,61
2.4	0,1	2,5	2,59	2,66	-
5	0,2	2,5	2,04	2,06	2,03
7	0,3	2,5	1,79	1,84	1,77
10	0,4	2,5	1,62	1,64	1,61
2	0,1	3	2,68	2,73	-
4	0,2	3	2,14	2,15	2,13
6	0,3	3	1,82	1,87	1,80
8	0,4	3	1,69	1,70	1,64

Pada Tabel 4.14 yaitu nilai rata-rata SCF dengan variasi pembebanan yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Pada metode numerik tidak terdapat perubahan nilai sedangkan metode eskperimen nilai SCF terdapat perbedaan dapat dilihat pada Gambar 4.20.

Tabel 4.15 Rata-rata SCF Metode Numerik, Empiris, dan Eksperimen rasio H/d 2

Radius (mm)	r/d	H/d	SCF Numerik	SCF Empiris	SCF Eksperimen
3	0,1	2	2,43	2,52	-
6	0,2	2	1,97	1,99	1,94
9	0,3	2	1,80	1,84	1,79
12	0,4	2	1,59	1,60	1,61

Pada Tabel 4.15 hasil rata-rata SCF untuk rasio H/d 2. Dengan rasio H/d 2 dan r/d 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,4 yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin rendah.



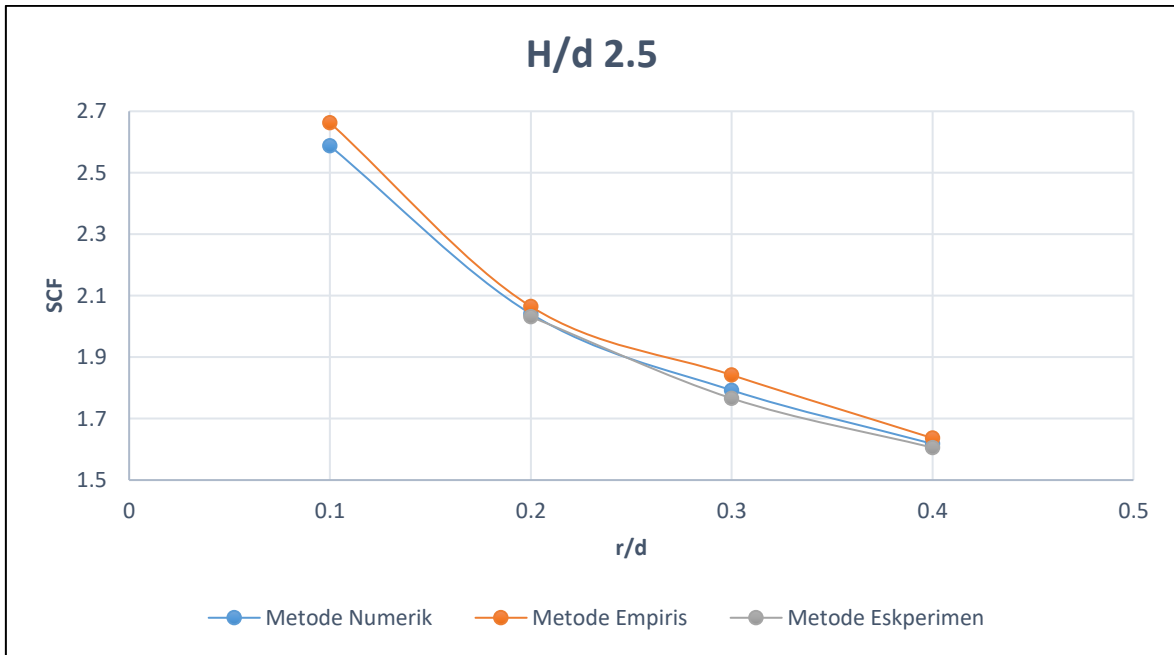
Gambar 4.49 Rata-rata SCF rasio H/d 2

Pada Gambar 4.49 dengan rasio H/d 2 dan r/d yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin rendah. Dapat dilihat bahwa dari ketiga hasil faktor konsentrasi tegangan metode numerik, empiris, dan eksperimen menunjukkan hasil yang identik sama.

Tabel 4.16 Rata-rata SCF Metode Numerik, Empiris, dan Eksperimen rasio H/d 2,5

Radius (mm)	r/d	H/d	SCF Numerik	SCF Empiris	SCF Eksperimen
2.4	0,1	2,5	2,59	2,66	-
5	0,2	2,5	2,04	2,06	2,03
7	0,3	2,5	1,79	1,84	1,77
10	0,4	2,5	1,62	1,64	1,61

Pada Tabel 4.16 hasil rata-rata SCF untuk rasio H/d 2,5. Dengan rasio H/d 3 dan r/d 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,4 yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin rendah.



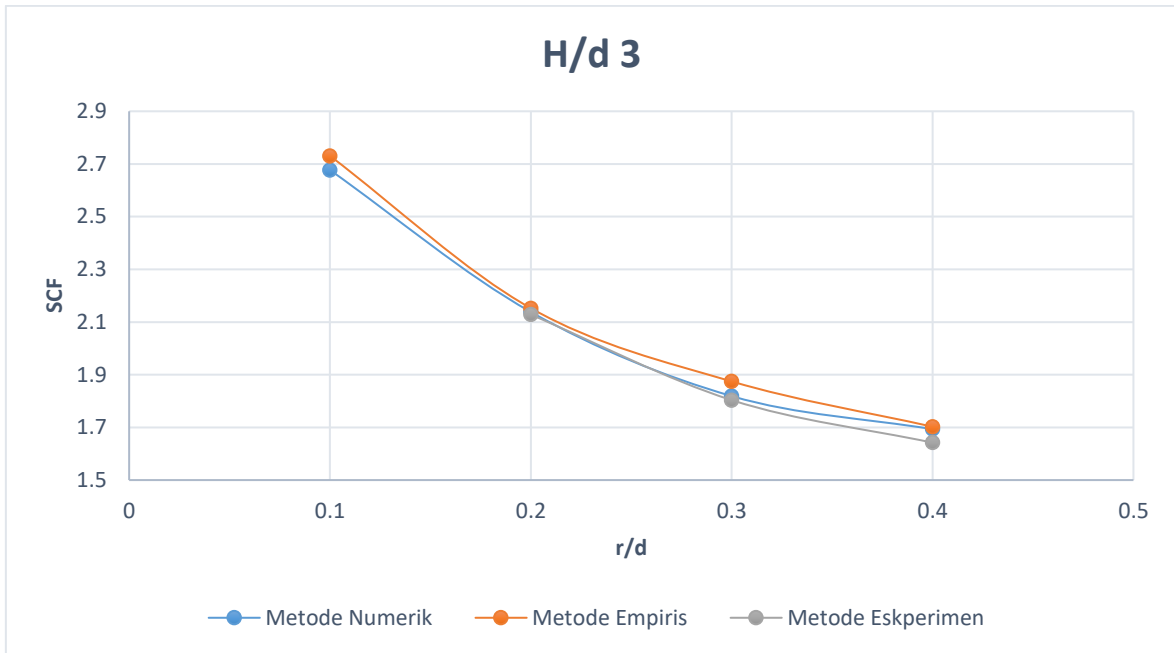
Gambar 4.50 Rata-rata SCF rasio H/d 2,5

Pada Gambar 4.50 dengan rasio H/d 2,5 dan r/d yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin rendah. Dapat dilihat bahwa dari ketiga hasil faktor konsentrasi tegangan metode numerik, empiris, dan eksperimen menunjukkan hasil yang identik sama.

Tabel 4.17 Rata-rata SCF Metode Numerik, Empiris, dan Eksperimen rasio H/d 3

Radius (mm)	r/d	H/d	SCF Numerik	SCF Empiris	SCF Eksperimen
2	0,1	3	2,59	2,66	-
4	0,2	3	2,04	2,06	2,03
6	0,3	3	1,79	1,84	1,77
8	0,4	3	1,62	1,64	1,61

Pada Tabel 4.17 hasil rata-rata SCF untuk rasio H/d 3. Dengan rasio H/d 3 dan r/d 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,4 yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin rendah.



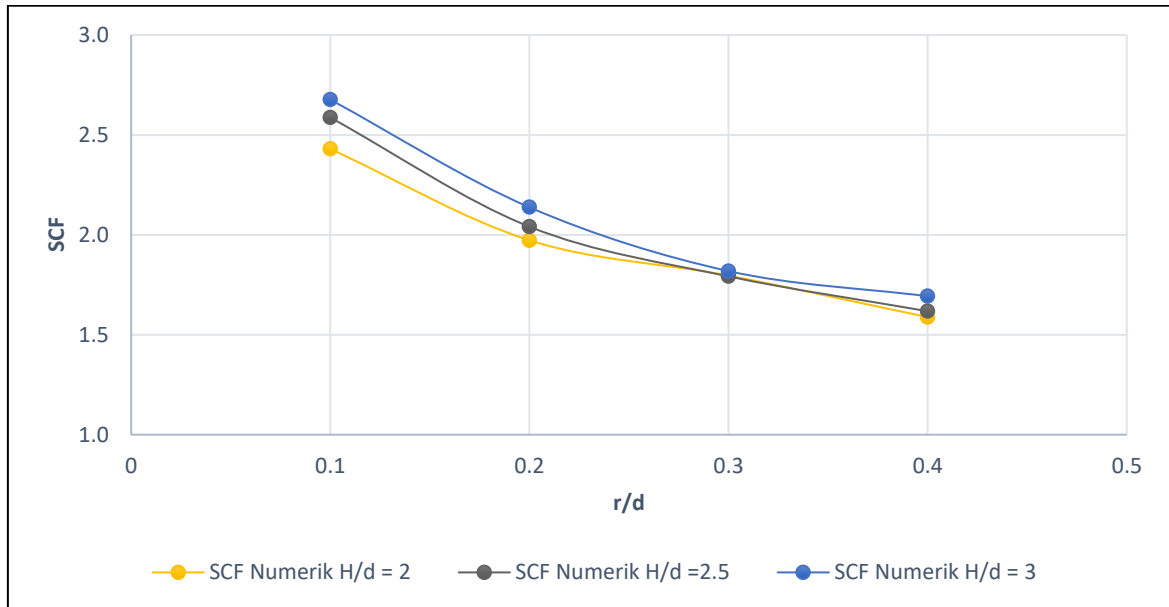
Gambar 4.51 Rata-rata SCF rasio H/d 3

Pada Gambar 4.51 dengan rasio H/d 3 dan r/d yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin rendah. Dapat dilihat bahwa dari ketiga hasil faktor konsentrasi tegangan metode numerik, empiris, dan eksperimen menunjukkan hasil yang identik sama.

Tabel 4.18 Hasil Nilai SCF untuk rasio H/d 2, 2,5, dan 3 Numerik

Radius (mm)	r/d	H/d	SCF Numerik
3	0,1	2	2,43
6	0,2	2	1,97
9	0,3	2	1,80
12	0,4	2	1,59
2,4	0,1	2,5	2,59
5	0,2	2,5	2,04
7	0,3	2,5	1,79
10	0,4	2,5	1,62
2	0,1	3	2,68
4	0,2	3	2,14
6	0,3	3	1,82
8	0,4	3	1,69

Pada Tabel 4.18 merupakan hasil nilai SCF untuk rasio H/d 2, 2,5, dan 3 dari faktor konsentrasi tegangan numerik. Bisa dilihat bahwa semakin kecil radiusnya maka akan semakin besar faktor konsentrasi tegangannya. Dengan rasio H/d yang semakin besar 2, 2,5, 3 dengan rasio r/d yang sama maka nilai SCF semakin besar.



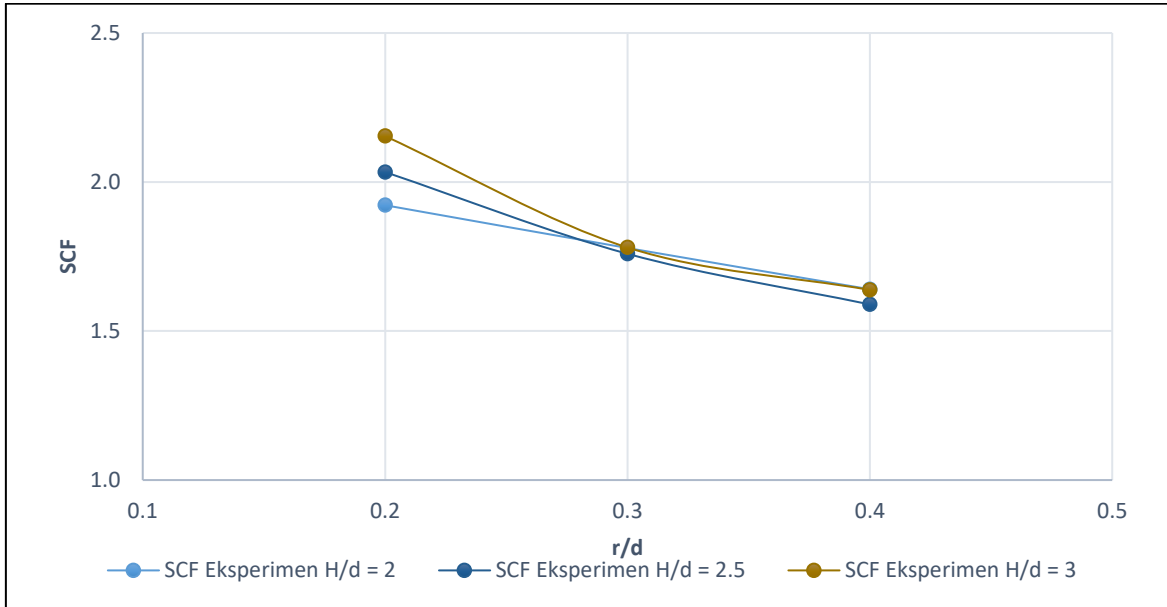
Gambar 4.52 SCF Tarik Numerik H/d 2, 2,5, dan 3

Pada Gambar 4.52 Merupakan perbandingan H/d 2, 2,5, dan 3 dari faktor konsentrasi tegangan numerik. Bisa dilihat bahwa semakin kecil radiusnya maka akan semakin besar faktor konsentrasi tegangannya.

Tabel 4.19 Hasil Nilai SCF untuk rasio H/d 2, 2,5, dan 3 Eksperimen

Radius (mm)	r/d	H/d	SCF Eksperimen
3	0,1	2	-
6	0,2	2	1,94
9	0,3	2	1,79
12	0,4	2	1,61
2,4	0,1	2,5	-
5	0,2	2,5	2,03
7	0,3	2,5	1,77
10	0,4	2,5	1,61
2	0,1	3	-
4	0,2	3	2,13
6	0,3	3	1,80
8	0,4	3	1,64

Pada Tabel 4.19 merupakan hasil nilai SCF untuk rasio H/d 2, 2,5, dan 3 dari faktor konsentrasi tegangan numerik. Bisa dilihat bahwa semakin kecil radiusnya maka akan semakin besar faktor konsentrasi tegangannya. Dengan rasio H/d yang semakin besar 2, 2,5, 3 dengan rasio r/d yang sama maka nilai SCF semakin besar.



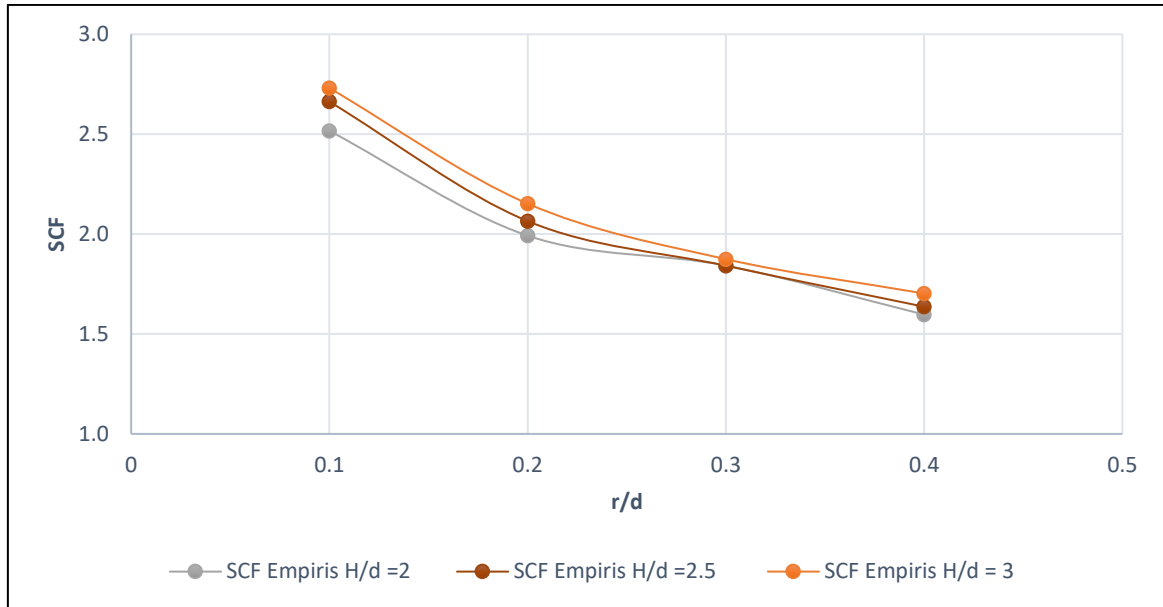
Gambar 4.53 SCF Tarik Eksperimen H/d 2, 2,5, dan 3

Pada Gambar 4.53 Merupakan perbandingan H/d 2, 2,5, dan 3 dari faktor konsentrasi tegangan eksperimen. Bisa dilihat bahwa semakin kecil radiusnya maka akan semakin besar faktor konsentrasi tegangannya.

Tabel 4.20 Hasil Nilai SCF untuk rasio H/d 2, 2.5, dan 3 Eksperimen

Radius (mm)	r/d	H/d	SCF Empiris
3	0,1	2	2,52
6	0,2	2	1,99
9	0,3	2	1,84
12	0,4	2	1,60
2,4	0,1	2,5	2,66
5	0,2	2,5	2,06
7	0,3	2,5	1,84
10	0,4	2,5	1,64
2	0,1	3	2,73
4	0,2	3	2,15
6	0,3	3	1,87
8	0,4	3	1,70

Pada Tabel 4.20 merupakan hasil nilai SCF untuk rasio H/d 2, 2,5, dan 3 dari faktor konsentrasi tegangan numerik. Bisa dilihat bahwa semakin kecil radiusnya maka akan semakin besar faktor konsentrasi tegangannya. Dengan rasio H/d yang semakin besar 2, 2,5, 3 dengan rasio r/d yang sama maka nilai SCF semakin besar.



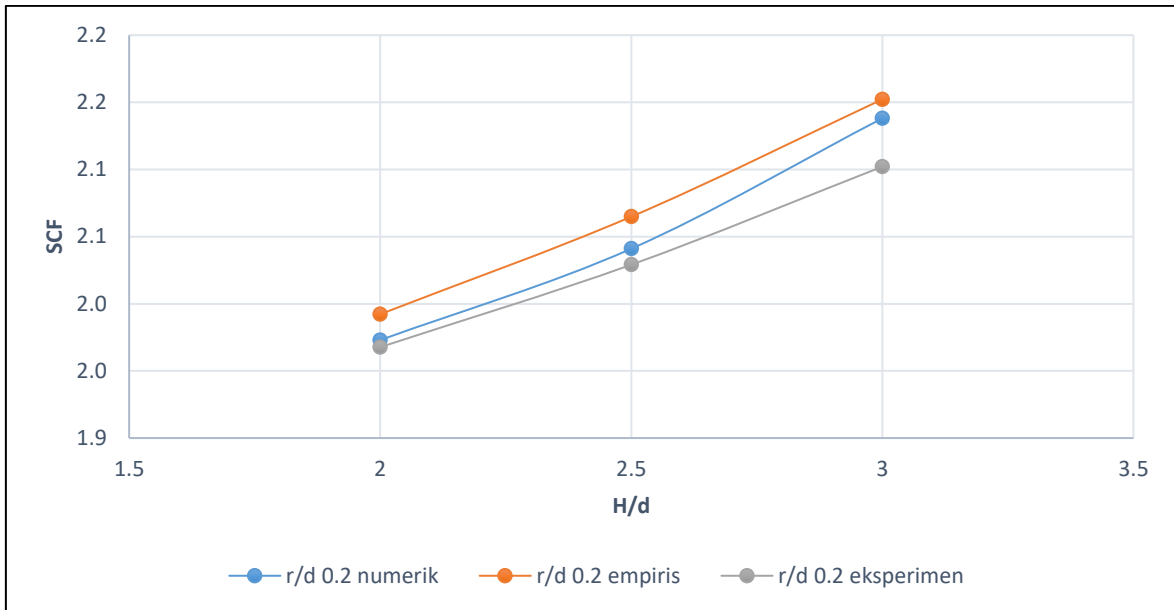
Gambar 4.54 SCF Tarik Empiris H/d 2, 2,5, dan 3

Pada Gambar 4.54 Merupakan perbandingan H/d 2, 2,5, dan 3 dari faktor konsentrasi tegangan empiris. Pada grafik di atas bisa dilihat bahwa semakin kecil radius pada model maka semakin besar faktor konsentrasi tegangannya dan jika semakin besar radius pada model maka semakin kecil faktor konsentrasi tegangannya.

Tabel 4.21 Hasil Nilai SCF untuk r/d 0.2

Radius (mm)	r/d	H/d	SCF Numerik	SCF Empiris	SCF Eksperimen
6	0,2	2	1,97	1,99	1,94
5	0,2	2,5	2,04	2,06	2,03
4	0,2	3	2,14	2,15	2,13

Pada Tabel 4.21 merupakan perbandingan untuk rasio r/d 0,2 dengan rasio H/d 2, 2,5, dan 3. Rasio r/d yang sama dengan rasio H/d yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin besar.



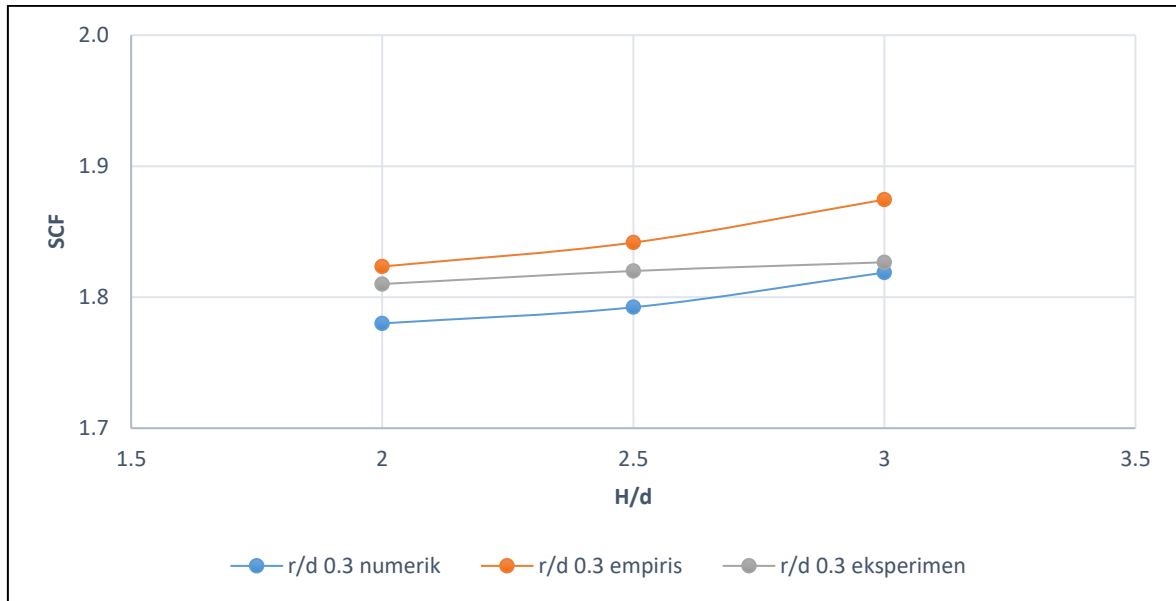
Gambar 4.55 SCF Tarik Numerik, Empiris, dan Eksperimen r/d 0,2

Pada Gambar 4.55 Merupakan perbandingan H/d 2, 2,5, dan 3 dari faktor konsentrasi tegangan eksperimen. Bisa dilihat bahwa semakin kecil radiusnya maka akan semakin besar faktor konsentrasi tegangannya.

Tabel 4.22 Hasil Nilai SCF untuk r/d 0.3

Radius (mm)	r/d	H/d	SCF Numerik	SCF Empiris	SCF Eksperimen
9	0,3	2	1,78	1,84	1,80
7	0,3	2,5	1,79	1,84	1,81
6	0,3	3	1,82	1,87	1,81

Pada Tabel 4.22 merupakan perbandingan untuk rasio r/d 0,3 dengan rasio H/d 2, 2,5, dan 3. Rasio r/d yang sama dengan rasio H/d yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin besar.



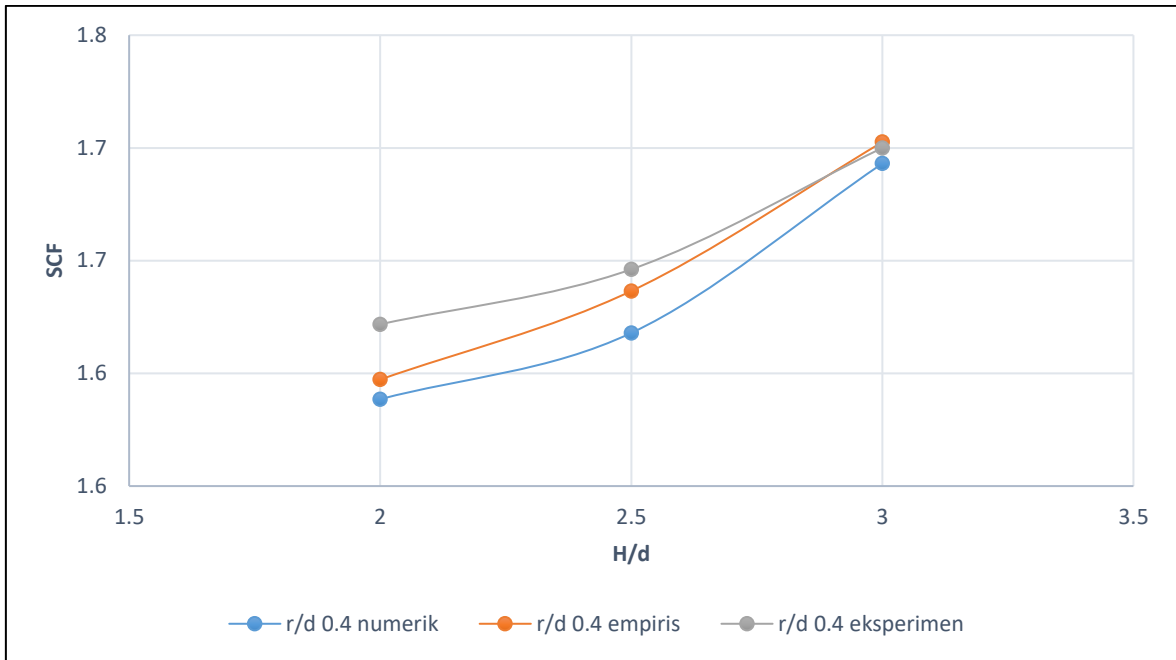
Gambar 4. 56 SCF Tarik Numerik, Empiris, dan Eksperimen r/d 0,3

Pada Gambar 4.56 Merupakan perbandingan rasio r/d 0,3. Bisa dilihat bahwa semakin besar rasio H/d dengan rasio r/d yang sama, maka faktor konsentrasi tegangan semakin besar.

Tabel 4.23 Hasil Nilai SCF untuk r/d 0,4

Radius (mm)	r/d	H/d	SCF Numerik	SCF Empiris	SCF Eksperimen
12	0,4	2	1,59	1,60	1,61
10	0,4	2,5	1,62	1,64	1,64
8	0,4	3	1,69	1,70	1,70

Pada Tabel 4.23 merupakan perbandingan untuk rasio r/d 0,4 dengan rasio H/d 2, 2,5, dan 3. Rasio r/d yang sama dengan rasio H/d yang semakin besar nilai faktor konsentrasi tegangan semakin besar.



Gambar 4.57 SCF Tarik Numerik, Empiris, dan Eksperimen r/d 0,4

Pada Gambar 4.57 Merupakan perbandingan rasio r/d 0,4 numerik, empiris, dan eksperimen. Bisa dilihat pada grafik di atas bahwa semakin besar rasio H/d dengan rasio r/d yang sama, maka faktor konsentrasi tegangan semakin besar.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis oleh penulis terkait faktor konsentrasi tegangan pada pelat *fillet* akibat beban tarik maka dapat disimpulkan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian eksperimen dan perhitungan numerik serta empiris didapatkan bahwa pelat dengan *fillet* radius 12 mm dengan faktor konsentrasi tegangan sebesar 1,59 dari hasil numerik, 1,60 dari hasil perhitungan empiris, dan 1,64 dari hasil eksperimen. Pelat radius 12 mm memiliki faktor konsentrasi tegangan yang paling rendah di banding pelat dengan *fillet* radius lainnya.
2. Dari hasil perhitungan numerik, empiris dan pengujian eksperimen didapatkan nilai faktor konsentrasi tegangan pada setiap radius material. 1,97 untuk radius 6 mm, 1,80 untuk radius 9 mm, 1,59 untuk radius 12 mm, 2,04 untuk radius 5 mm, 1,79 untuk radius 7 mm, 1,62 untuk radius 10 mm, 2,14 untuk radius 4 mm, 1,82 untuk radius 6 mm, 1,69 untuk radius 8 mm. Dengan pembebanan 30%, 60%, dan 90% faktor konsentrasi tegangan tidak mengalami perubahan.
3. Dari hasil perhitungan numerik, empiris, dan pengujian eksperimen dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio H/d dengan rasio r/d yang sama, maka faktor konsentrasi tegangan semakin besar. Kemudian semakin besar rasio r/d dengan H/d yang sama, maka faktor konsentrasi tegangan semakin rendah.

5.2. Saran

Berdasarkan dari analisis dan seluruh proses yang telah dilakukan penulis dalam melakukan terkait analisis faktor konsentrasi tegangan pelat dengan *fillet* akibat beban tarik menggunakan pendekatan numerik dan eksperimen, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan demi kesempurnaan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Dalam pembuatan dan pembentukan spesimen untuk pengujian tarik ada baiknya untuk memperhatikan alat dalam pembentukan spesimen dikarenakan hasil pembentukan spesimen khususnya di bagian *fillet* diharuskan untuk semaksimal dan sedetail mungkin.

2. Dalam melakukan pengujian model ada baiknya lebih memperhatikan letak *strain gage* dikarekan letak dari sensor sangat berpengaruh untuk hasil tegangan yang lebih akurat.
3. Penelitian pelat dengan *fillet* dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan jenis dari bahan material lain agar mendapatkan hasil yang lebih baik khususnya untuk mengetahui faktor konsentrasi tegangan pada material tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abaqus-Guidelines. (2016). *Abaqus Guidelines*. ABAQUS 6.14.
- Arief, B.A. (2010). Perhitungan Ekuivalen Stress Rangka Utama Sepeda Lipat “Student Version” menggunakan strain gage dengan Kombinasi Konfigurasi 2-gage dan 4-gage, FT UI, 2010.
- BKI. (2014). Rules for the Classification and Volume V Rules for Materials 2014 Edition Biro Klasifikasi Indonesia. *Biro Klasifikasi Indonesia, V*.
- Davis, H.E., Troxell, G.E., Wiskocil, C.T. (1955). The Testing and Inspection of Engineering Materias, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Logan, L. (2011). Finite Element Method, Boston, Canada.
- Heru, M. (2008). Perbandingan Hasil Analisa Konsentrasi Tegangan Pada Plat Berlubang Akibat Beban Tarik Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ATW_Edisi 08*, 28.
- Huda, H.R. (2017). Analisa Rekondisi Baja Pegas Dengan Metode Quench-Temper terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik.
- Niemi, E., Fricke, W., and Maddox, S. J. (2018). Case Study 2: Hatch Corner Design for Container Ships. Dalam E. Niemi, W. Fricke, & S. J. Maddox, *Structural Hot-Spot Stress Approach to Fatigue Analysis of Welded Components* (hal. 55-59). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Marciniak, Z., Brzezczynska, J., Gwozdzinski, K., Jeiger, A. (2002). *Mechanics Of Sheet Metal Forming*, Butterworth–Heinemann, London.
- Jeom, F.O. (2010). Ship Structural Analysis and Design. Ney-Jersey: The Society of Naval Architectur and Marine Engineer.
- Peterson. (2005). *Stress Concentrasion Factor*.
- Singer, F.L., and Pytel, A. (1995). *Ilmu Kekuatan Bahan (Teori Kokoh strength Of Material)* Alih Bahasa Darwin Sebayang, edisi II, Erlangga, Jakarta.
- Saputra, H. A. (2019). KONSEP KONSENTRASI TEGANGAN (STRESS). Teknik Metalurgi dan Material.

- Timoshenko, S and Woinowsky, S. (1988). *Teori Pelat dan cangkang*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Tupper, E. C. (2013). Stress Concentration. Dalam E. C. Tupper, *Introduction to Naval Architecture (Fifth Edition)*. Butterworth-Heinemann.
- Djoko, Y.S. (2005). TINJAUAN KONDISI BATAS REGANGAN MAKSIMUM PADA PELAR TARIK BAJA BERLUBANG.

DAFTAR 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

a. Sertifikat Material SS400

PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL
Surabaya - Indonesia

MILL CERTIFICATE

HEAD OFFICE :
Jl. Mergomulyo 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

Purchaser :
Purchaser's Order No. :
Material :
Specification :

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

Dimensional Tolerance to JIS G3193

Heat Number	Plate Number	Quantity	Dimensions			Weight (MT)	Test No.	Ladle Analysis (%)				Tensile Test		Bend Test	Impact Value in Joule	Refer	
			T mm	W mm	L mm			C	Si	Mn	P	S	Y.S N/mm ²				T.S N/mm ²
Z 523339	S 21-83 3	3	6	1524	6096	1.749	Q1	0.20	0.02	0.41	0.011	0.030	307	413	25	OK	
Z 1013279	S 31-83 3	3	"	"	"	1.749	H2	0.15	0.02	0.39	0.010	0.033	331	402	28	OK	
	K 21-84 4	4	"	"	"	2.382											
	S 21-82 2	2	"	"	"	1.186											
		12				6.996											

Ir. Pitak Panja
Manager Quality Cont

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

b. Pemasangan *Strain Gage*

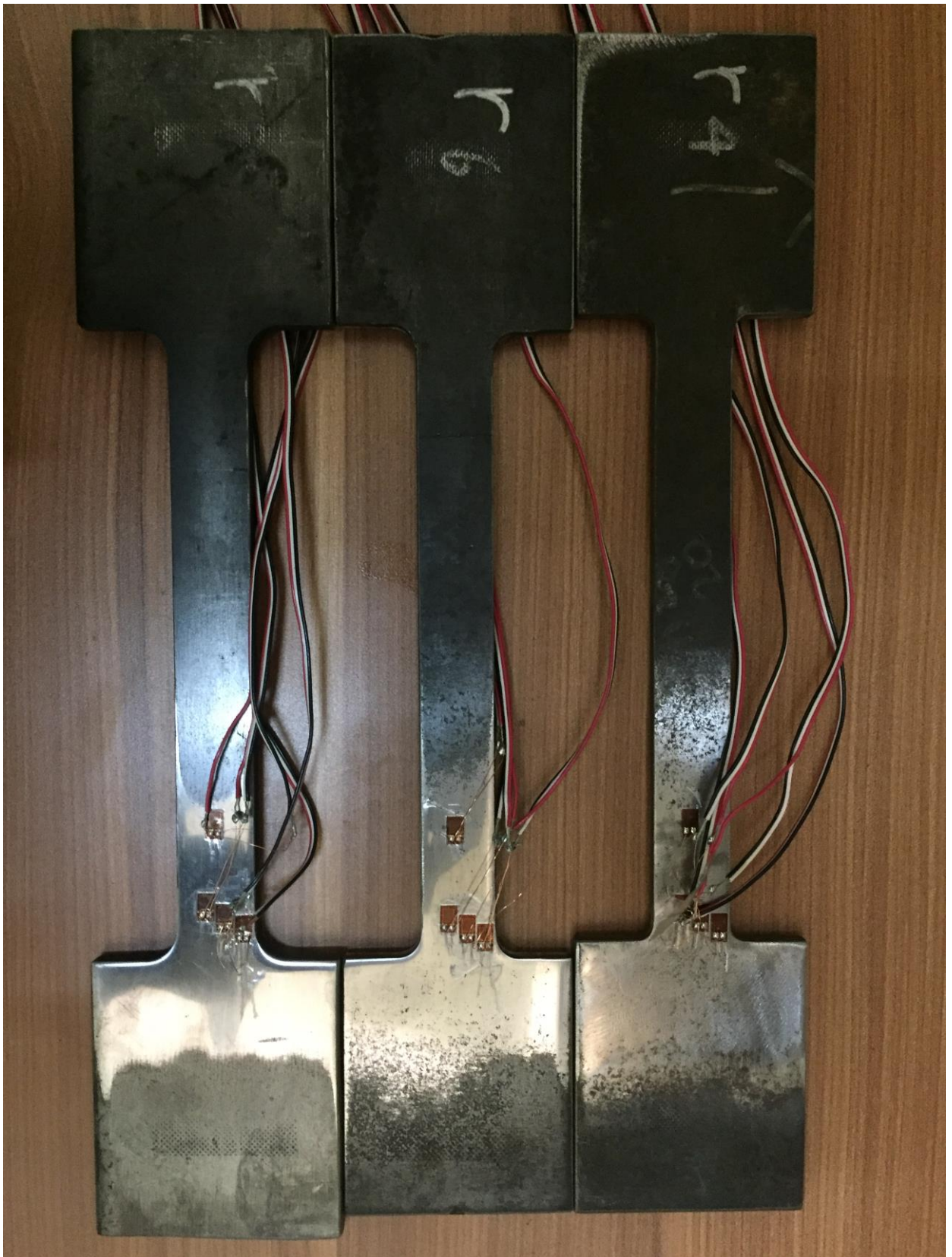
Radius 6 mm, 9 mm, dan 12 mm



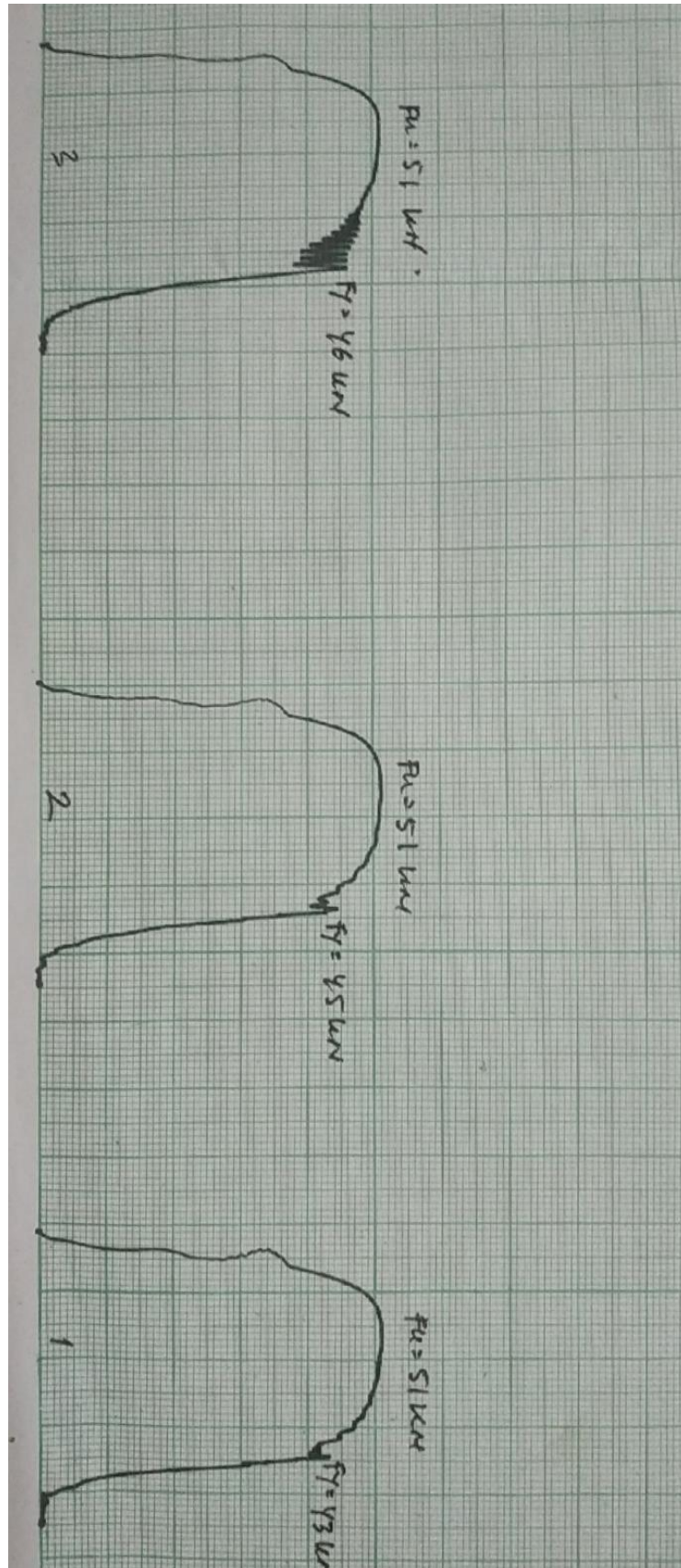
Radius 5 mm, 7 mm, dan 10 mm



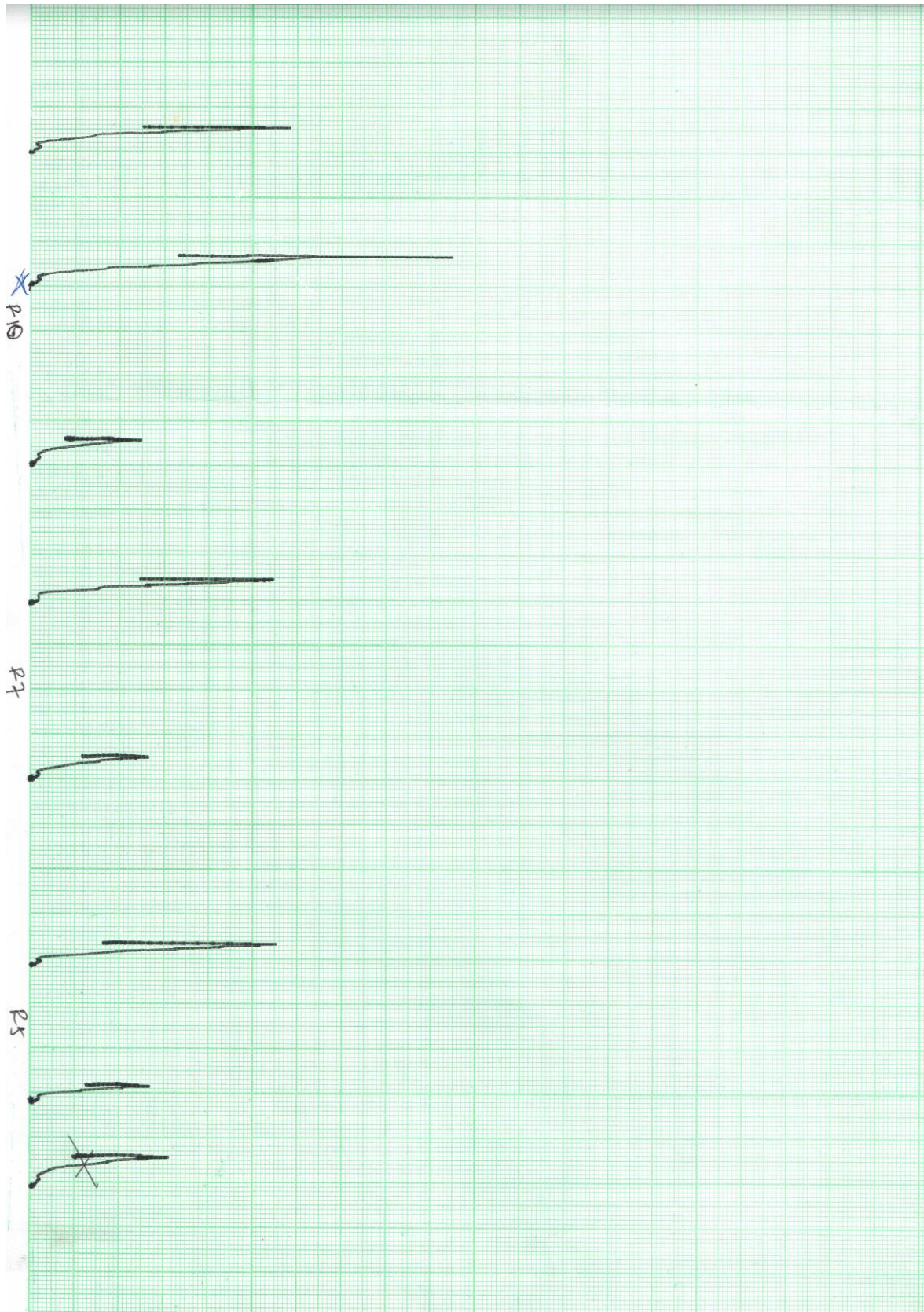
Radius 4 mm, 6 mm, dan 8 mm

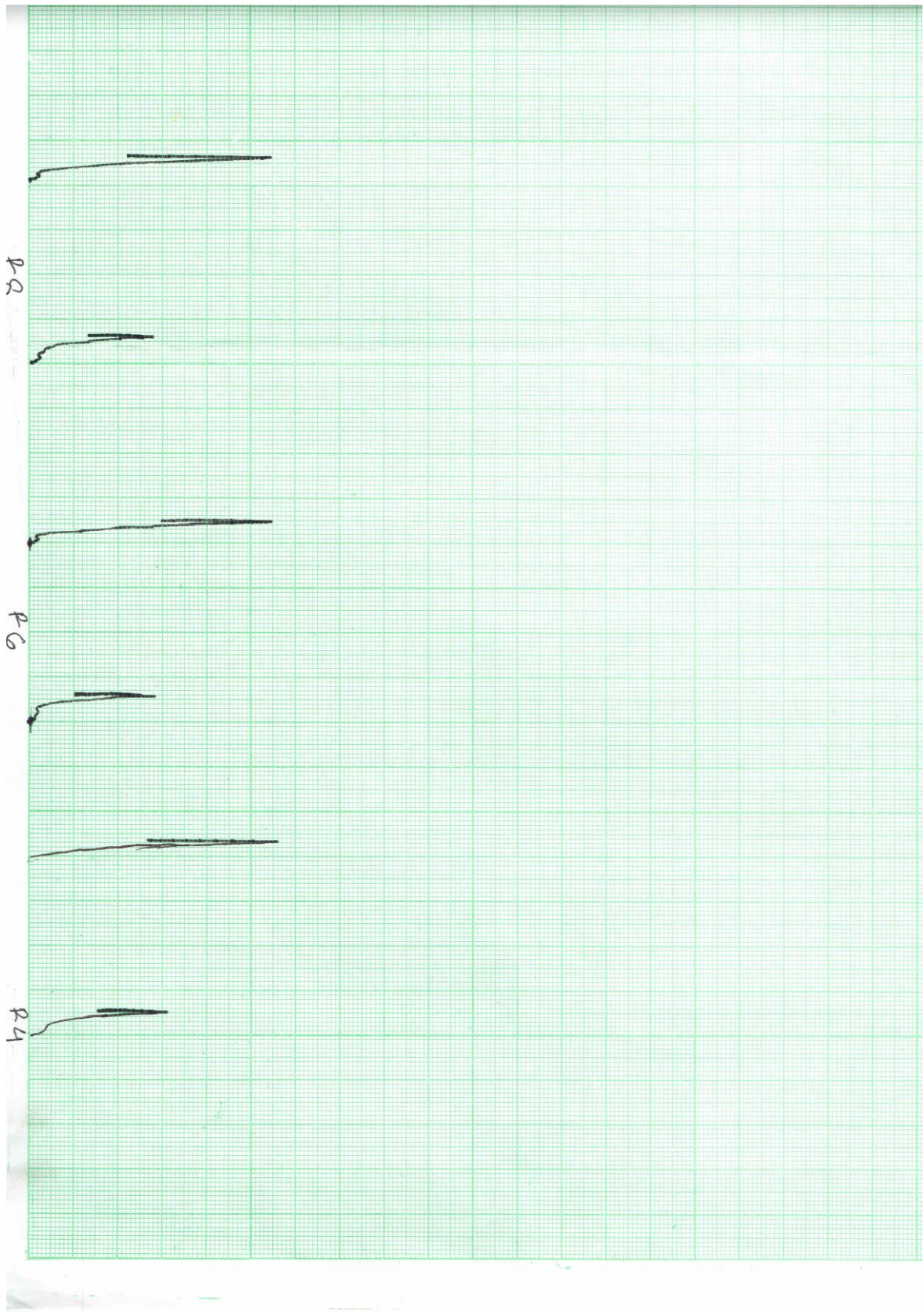


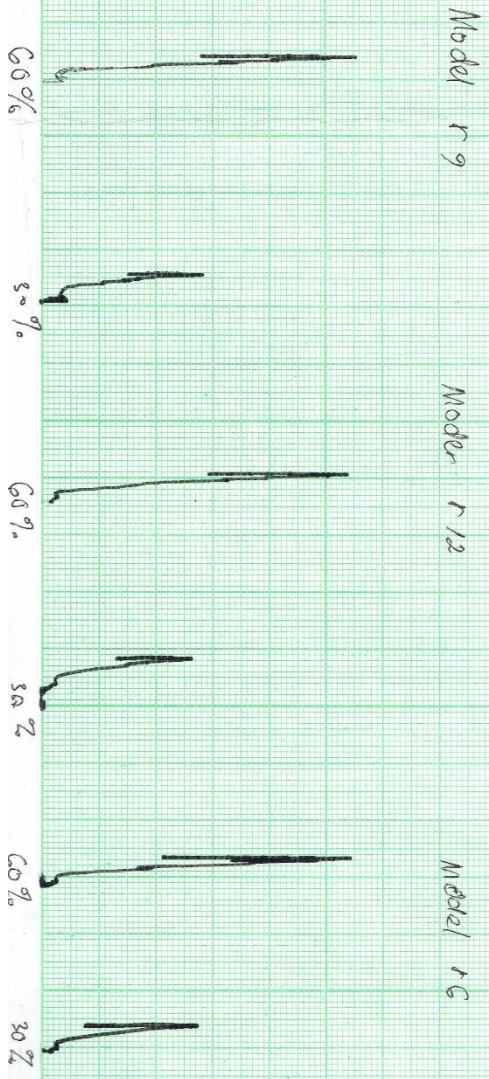
c. Gambar Kertas Pengujian SS400



d. Gambar Kertas Eksperimen Pengujian Tarik







e. Hasil Perhitungan Eksperimen Pengujian Tarik Dengan *Strain Gauge*

Radius 6 mm 30% yield

6 mm gaya 30% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	2	2	3	0.000003	0.000002	0.000002	0.000003	0.63	0.42	0.42	0.63
6	14	15	16	18	0.000014	0.000015	0.000016	0.000018	2.94	3.15	3.36	3.78
7	26	24	24	24	0.000026	0.000024	0.000024	0.000024	5.46	5.04	5.04	5.04
8	28	26	25	25	0.000028	0.000026	0.000025	0.000025	5.88	5.46	5.25	5.25
9	29	27	26	26	0.000029	0.000027	0.000026	0.000026	6.09	5.67	5.46	5.46
10	32	30	30	31	0.000032	0.000030	0.000030	0.000031	6.72	6.3	6.3	6.51
11	40	39	40	43	0.000040	0.000039	0.000040	0.000043	8.4	8.19	8.4	9.03
12	63	60	62	65	0.000063	0.000060	0.000062	0.000065	13.23	12.6	13.02	13.65
13	73	67	67	68	0.000073	0.000067	0.000067	0.000068	15.33	14.07	14.07	14.28
14	76	70	70	68	0.000076	0.000070	0.000070	0.000068	15.96	14.7	14.7	14.28
15	68	64	64	65	0.000068	0.000064	0.000064	0.000065	14.28	13.44	13.44	13.65
16	68	64	65	65	0.000068	0.000064	0.000065	0.000065	14.28	13.44	13.65	13.65
17	63	61	63	64	0.000063	0.000061	0.000063	0.000064	13.23	12.81	13.23	13.44
18	69	64	65	66	0.000069	0.000064	0.000065	0.000066	14.49	13.44	13.65	13.86
19	68	63	62	63	0.000068	0.000063	0.000062	0.000063	14.28	13.23	13.02	13.23
20	60	55	54	59	0.000060	0.000055	0.000054	0.000059	12.6	11.55	11.34	12.39
21	58	53	51	58	0.000058	0.000053	0.000051	0.000058	12.18	11.13	10.71	12.18
22	57	54	54	60	0.000057	0.000054	0.000054	0.000060	11.97	11.34	11.34	12.6
23	59	55	55	62	0.000059	0.000055	0.000055	0.000062	12.39	11.55	11.55	13.02
24	61	57	57	63	0.000061	0.000057	0.000057	0.000063	12.81	11.97	11.97	13.23
25	60	56	58	63	0.000060	0.000056	0.000058	0.000063	12.6	11.76	12.18	13.23
26	62	58	58	64	0.000062	0.000058	0.000058	0.000064	13.02	12.18	12.18	13.44
27	62	60	61	67	0.000062	0.000060	0.000061	0.000067	13.02	12.6	12.81	14.07
28	73	71	72	78	0.000073	0.000071	0.000072	0.000078	15.33	14.91	15.12	16.38
29	86	80	81	87	0.000086	0.000080	0.000081	0.000087	18.06	16.8	17.01	18.27
30	99	92	93	100	0.000099	0.000092	0.000093	0.000100	20.79	19.32	19.53	21
31	113	104	105	113	0.000113	0.000104	0.000105	0.000113	23.73	21.84	22.05	23.73
32	129	118	119	129	0.000129	0.000118	0.000119	0.000129	27.09	24.78	24.99	27.09
33	148	135	137	148	0.000148	0.000135	0.000137	0.000148	31.08	28.35	28.77	31.08
34	169	155	156	168	0.000169	0.000155	0.000156	0.000168	35.49	32.55	32.76	35.28
35	191	174	175	189	0.000191	0.000174	0.000175	0.000189	40.11	36.54	36.75	39.69
36	215	195	196	211	0.000215	0.000195	0.000196	0.000211	45.15	40.95	41.16	44.31
37	240	217	217	234	0.000240	0.000217	0.000217	0.000234	50.4	45.57	45.57	49.14
38	264	237	237	255	0.000264	0.000237	0.000237	0.000255	55.44	49.77	49.77	53.55
39	294	263	262	280	0.000294	0.000263	0.000262	0.000280	61.74	55.23	55.02	58.8
40	324	289	287	306	0.000324	0.000289	0.000287	0.000306	68.04	60.69	60.27	64.26
41	357	316	314	333	0.000357	0.000316	0.000314	0.000333	74.97	66.36	65.94	69.93
42	391	344	340	360	0.000391	0.000344	0.000344	0.000360	82.11	72.24	71.4	75.6
43	415	364	358	377	0.000415	0.000364	0.000358	0.000377	87.15	76.44	75.18	79.17
44	435	379	373	393	0.000435	0.000379	0.000373	0.000393	91.35	79.59	78.33	82.53
45	454	395	388	407	0.000454	0.000395	0.000388	0.000407	95.34	82.95	81.48	85.47
46	461	400	392	411	0.000461	0.000400	0.000392	0.000411	96.81	84	82.32	86.31
47	469	406	399	417	0.000469	0.000406	0.000399	0.000417	98.49	85.26	83.79	87.57
48	477	412	404	423	0.000477	0.000412	0.000404	0.000423	100.17	86.52	84.84	88.83
49	483	418	409	428	0.000483	0.000418	0.000409	0.000428	101.43	87.78	85.89	89.88
50	489	423	414	434	0.000489	0.000423	0.000414	0.000434	102.69	88.83	86.94	91.14
51	497	429	420	440	0.000497	0.000429	0.000420	0.000440	104.37	90.09	88.2	92.4
52	503	434	425	445	0.000503	0.000434	0.000425	0.000445	105.63	91.14	89.25	93.45
53	510	441	430	451	0.000510	0.000441	0.000430	0.000451	107.1	92.61	90.3	94.71
54	519	448	439	459	0.000519	0.000448	0.000439	0.000459	108.99	94.08	92.19	96.39
55	528	457	450	467	0.000528	0.000457	0.000450	0.000467	110.88	95.97	94.5	98.07
56	535	464	457	473	0.000535	0.000464	0.000457	0.000473	112.35	97.44	95.97	99.33
57	541	469	461	477	0.000541	0.000469	0.000461	0.000477	113.61	98.49	96.81	100.17
58	549	476	467	484	0.000549	0.000476	0.000467	0.000484	115.29	99.96	98.07	101.64
59	556	481	468	485	0.000556	0.000481	0.000468	0.000485	116.76	101.01	98.28	101.85
60	582	493	479	494	0.000582	0.000493	0.000479	0.000494	122.22	103.53	100.59	103.74
61	613	521	493	542	0.000613	0.000521	0.000493	0.000542	128.73	109.41	103.53	113.82
62	644	544	531	566	0.000644	0.000544	0.000531	0.000566	135.24	114.24	111.51	118.86
63	692	560	553	578	0.000692	0.000560	0.000553	0.000578	145.32	117.6	116.13	121.38

Radius 6 mm 60% yield

6 mm gaya 60% yield													
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001	0.000002	0.000003	E	210000				
1	-4	-4	-4	-3	-4E-06	-4E-06	-4E-06	-3E-06	-0.84	-0.84	-0.84	-0.63	
2	2	2	2	2	0.000002	0.000002	0.000002	0.000002	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
3	-3	-4	-3	1	-3E-06	-4E-06	-3E-06	0.000001	-0.63	-0.84	-0.63	0.21	
4	-1	-2	1	0	-1E-06	-2E-06	0.000001	0	-0.21	-0.42	0.21	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	4	5	5	5	0.000004	0.000005	0.000005	0.000005	0.84	1.05	1.05	1.05	1.05
7	0	2	3	6	0	0.000002	0.000003	0.000006	0	0.42	0.63	1.26	
8	9	9	9	13	0.000009	0.000009	0.000009	0.000013	1.89	1.89	1.89	2.73	
9	16	16	16	20	0.000016	0.000016	0.000016	0.00002	3.36	3.36	3.36	4.2	
10	19	19	19	23	0.000019	0.000019	0.000019	0.000023	3.99	3.99	3.99	4.83	
11	23	22	22	25	0.000023	0.000022	0.000022	0.000025	4.83	4.62	4.62	5.25	
12	24	23	22	25	0.000024	0.000023	0.000022	0.000025	5.04	4.83	4.62	5.25	
13	25	23	23	25	0.000025	0.000023	0.000023	0.000025	5.25	4.83	4.83	5.25	
14	24	23	23	25	0.000024	0.000023	0.000023	0.000025	5.04	4.83	4.83	5.25	
15	24	23	22	25	0.000024	0.000023	0.000022	0.000025	5.04	4.83	4.62	5.25	
16	25	24	24	27	0.000025	0.000024	0.000024	0.000027	5.25	5.04	5.04	5.67	
17	32	31	31	32	0.000032	0.000031	0.000031	0.000032	6.72	6.51	6.51	6.72	
18	36	36	36	38	0.000036	0.000036	0.000036	0.000038	7.56	7.56	7.56	7.98	
19	42	41	42	43	0.000042	0.000041	0.000042	0.000043	8.82	8.61	8.82	9.03	
20	47	47	48	50	0.000047	0.000047	0.000048	0.00005	9.87	9.87	10.08	10.5	
21	49	52	56	59	0.000049	0.000052	0.000056	0.000059	10.29	10.92	11.76	12.39	
22	62	64	67	67	0.000062	0.000064	0.000067	0.000067	13.02	13.44	14.07	14.07	
23	63	64	66	66	0.000063	0.000064	0.000066	0.000066	13.23	13.44	13.86	13.86	
24	70	73	76	77	0.00007	0.000073	0.000076	0.000077	14.7	15.33	15.96	16.17	
25	71	71	74	74	0.000071	0.000071	0.000074	0.000074	14.91	14.91	15.54	15.54	
26	71	71	73	74	0.000071	0.000071	0.000073	0.000074	14.91	14.91	15.33	15.54	
27	72	74	76	78	0.000072	0.000074	0.000076	0.000078	15.12	15.54	15.96	16.38	
28	82	82	85	88	0.000082	0.000082	0.000085	0.000088	17.22	17.22	17.85	18.48	
29	92	91	94	96	0.000092	0.000091	0.000094	0.000096	19.32	19.11	19.74	20.16	
30	95	93	95	96	0.000095	0.000093	0.000095	0.000096	19.95	19.53	19.95	20.16	
31	93	91	94	95	0.000093	0.000091	0.000094	0.000095	19.53	19.11	19.74	19.95	
32	91	91	92	94	0.000091	0.000091	0.000092	0.000094	19.11	19.11	19.32	19.74	
33	84	86	92	94	0.000084	0.000086	0.000092	0.000094	17.64	18.06	19.32	19.74	
34	91	93	97	100	0.000091	0.000093	0.000097	0.0001	19.11	19.53	20.37	21	
35	123	131	153	170	0.000123	0.000131	0.000153	0.00017	25.83	27.51	32.13	35.7	
36	225	223	243	265	0.000225	0.000223	0.000243	0.000265	47.25	46.83	51.03	55.65	
37	300	278	289	310	0.0003	0.000278	0.000289	0.00031	63	58.38	60.69	65.1	
38	360	329	338	359	0.00036	0.000329	0.000338	0.000359	75.6	69.09	70.98	75.39	
39	424	384	393	423	0.000424	0.000384	0.000393	0.000423	89.04	80.64	82.53	88.83	
40	537	482	489	523	0.000537	0.000482	0.000489	0.000523	112.77	101.22	102.69	109.83	
41	703	578	580	615	0.000703	0.000578	0.00058	0.000615	147.63	121.38	121.8	129.15	
42	777	677	675	710	0.000777	0.000677	0.000675	0.00071	163.17	142.17	141.75	149.1	
43	884	756	742	766	0.000884	0.000756	0.000742	0.000766	185.64	158.76	155.82	160.86	
44	887	747	728	749	0.000887	0.000747	0.000728	0.000749	186.27	156.87	152.88	157.29	
45	878	741	723	745	0.000878	0.000741	0.000723	0.000745	184.38	155.61	151.83	156.45	
46	875	737	715	732	0.000875	0.000737	0.000715	0.000732	183.75	154.77	150.15	153.72	
47	842	708	689	708	0.000842	0.000708	0.000689	0.000708	176.82	148.68	144.69	148.68	
48	828	699	682	702	0.000828	0.000699	0.000682	0.000702	173.88	146.79	143.22	147.42	
49	816	687	668	685	0.000816	0.000687	0.000668	0.000685	171.36	144.27	140.28	143.85	
50	790	665	648	666	0.00079	0.000665	0.000648	0.000666	165.9	139.65	136.08	139.86	
51	781	661	645	665	0.000781	0.000661	0.000645	0.000665	164.01	138.81	135.45	139.65	
52	783	661	646	665	0.000783	0.000661	0.000646	0.000665	164.43	138.81	135.66	139.65	
53	783	662	646	665	0.000783	0.000662	0.000646	0.000665	164.43	139.02	135.66	139.65	
54	794	676	665	691	0.000794	0.000676	0.000665	0.000691	166.74	141.96	139.65	145.11	
55	840	714	702	712	0.00084	0.000714	0.000702	0.000712	176.4	149.94	147.42	149.52	
56	879	746	721	758	0.000879	0.000746	0.000721	0.000758	184.59	156.66	151.41	159.18	
57	911	772	730	785	0.000911	0.000772	0.00073	0.000785	191.31	162.12	153.3	164.85	
58	946	800	736	812	0.000946	0.0008	0.000736	0.000812	198.66	168	154.56	170.52	
59	978	825	741	836	0.000978	0.000825	0.000741	0.000836	205.38	173.25	155.61	175.56	
60	1010	851	742	862	0.00101	0.000851	0.000742	0.000862	212.1	178.71	155.82	181.02	
61	1047	879	743	888	0.001047	0.000879	0.000743	0.000888	219.87	184.59	156.03	186.48	
62	1082	906	774	913	0.001082	0.000906	0.000774	0.000913	227.22	190.26	162.54	191.73	
63	1086	909	794	899	0.001086	0.000909	0.000794	0.000899	228.06	190.89	166.81	188.79	
64	1167	920	823	937	0.001167	0.00092	0.000823	0.000937	245.07	193.2	172.9	196.77	
65	1194	954	852	973	0.001194	0.000954	0.000852	0.000973	250.74	200.34	178.99	204.26	
66	1243	967	881	1033	0.001243	0.000967	0.000881	0.001033	261.03	203.07	185.08	216.86	
67	1275	994	910	1093	0.001275	0.000994	0.00091	0.001093	267.75	208.74	191.17	229.46	
68	1291	1017	939	1153	0.001291	0.001017	0.000939	0.001153	271.11	213.57	197.26	242.06	
69	1356	1041	974	1221	0.001356	0.001041	0.000974	0.001221	284.76	218.61	204.54	256.41	
70	1384	1064	986	1256	0.001384	0.001064	0.000986	0.001256	290.64	223.44	207.06	263.76	
71	1401	1088	1032	1341	0.001401	0.001088	0.001032	0.001341	294.21	228.48	216.72	281.61	

Radius 9 mm 30% yield

9 mm gaya 30% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	2	-3	-3	4	0.000002	-3E-06	-3E-06	0.000004	0.42	-0.63	-0.63	0.84
2	-1	-5	-3	4	-1E-06	-5E-06	-3E-06	0.000004	-0.21	-1.05	-0.63	0.84
3	0	-5	-4	5	0	-5E-06	-4E-06	0.000005	0	-1.05	-0.84	1.05
4	1	-3	-2	5	0.000001	-3E-06	-2E-06	0.000005	0.21	-0.63	-0.42	1.05
5	2	-3	-2	6	0.000002	-3E-06	-2E-06	0.000006	0.42	-0.63	-0.42	1.26
6	4	-1	0	8	0.000004	-1E-06	0	0.000008	0.84	-0.21	0	1.68
7	8	4	5	15	0.000008	0.000004	0.000005	0.000015	1.68	0.84	1.05	3.15
8	8	5	5	14	0.000008	0.000005	0.000005	0.000014	1.68	1.05	1.05	2.94
9	9	6	7	19	0.000009	0.000006	0.000007	0.000019	1.89	1.26	1.47	3.99
10	11	7	7	19	0.000011	0.000007	0.000007	0.000019	2.31	1.47	1.47	3.99
11	12	9	10	26	0.000012	0.000009	0.00001	0.000026	2.52	1.89	2.1	5.46
12	16	12	12	30	0.000016	0.000012	0.000012	0.00003	3.36	2.52	2.52	6.3
13	14	10	6	24	0.000014	0.00001	0.000006	0.000024	2.94	2.1	1.26	5.04
14	13	16	17	37	0.000013	0.000016	0.000017	0.000037	2.73	3.36	3.57	7.77
15	40	44	41	67	0.00004	0.000044	0.000041	0.000067	8.4	9.24	8.61	14.07
16	70	75	64	91	0.00007	0.000075	0.000064	0.000091	14.7	15.75	13.44	19.11
17	88	95	81	111	0.000088	0.000095	0.000081	0.000111	18.48	19.95	17.01	23.31
18	109	119	102	134	0.000109	0.000119	0.000102	0.000134	22.89	24.99	21.42	28.14
19	133	144	121	152	0.000133	0.000144	0.000121	0.000152	27.93	30.24	25.41	31.92
20	142	155	131	163	0.000142	0.000155	0.000131	0.000163	29.82	32.55	27.51	34.23
21	152	167	141	173	0.000152	0.000167	0.000141	0.000173	31.92	35.07	29.61	36.33
22	162	179	151	183	0.000162	0.000179	0.000151	0.000183	34.02	37.59	31.71	38.43
23	169	186	157	189	0.000169	0.000186	0.000157	0.000189	35.49	39.06	32.97	39.69
24	176	194	164	196	0.000176	0.000194	0.000164	0.000196	36.96	40.74	34.44	41.16
25	181	200	170	203	0.000181	0.0002	0.00017	0.000203	38.01	42	35.7	42.63
26	194	216	183	217	0.000194	0.000216	0.000183	0.000217	40.74	45.36	38.43	45.57
27	206	232	199	235	0.000206	0.000232	0.000199	0.000235	43.26	48.72	41.79	49.35
28	227	255	219	357	0.000227	0.000255	0.000219	0.000357	47.67	53.55	45.99	74.97
29	243	274	235	372	0.000243	0.000274	0.000235	0.000372	51.03	57.54	49.35	78.12
30	258	291	250	423	0.000258	0.000291	0.00025	0.000423	54.18	61.11	52.5	88.872
31	272	307	265	436	0.000272	0.000307	0.000265	0.000436	57.12	64.47	55.65	91.497
32	286	324	278	448	0.000286	0.000324	0.000278	0.000448	60.06	68.04	58.38	94.122
33	294	334	288	461	0.000294	0.000334	0.000288	0.000461	61.74	70.14	60.48	96.747
34	304	345	297	473	0.000304	0.000345	0.000297	0.000473	63.84	72.45	62.37	99.372
35	312	357	307	486	0.000312	0.000357	0.000307	0.000486	65.52	74.97	64.47	101.997
36	317	358	305	498	0.000317	0.000358	0.000305	0.000498	66.57	75.18	64.05	104.622
37	313	359	305	511	0.000313	0.000359	0.000305	0.000511	65.73	75.39	64.05	107.247
38	326	371	317	523	0.000326	0.000371	0.000317	0.000523	68.46	77.91	66.57	109.872
39	367	372	318	536	0.000367	0.000372	0.000318	0.000536	77.07	78.12	66.696	112.497
40	443	376	321	548	0.000443	0.000376	0.000321	0.000548	93.03	79.023	67.494	115.122
41	489	381	325	561	0.000489	0.000381	0.000325	0.000561	102.69	79.926	68.292	117.747
42	547	385	329	574	0.000547	0.000385	0.000329	0.000574	114.87	80.829	69.09	120.54
43	594	389	333	585	0.000594	0.000389	0.000333	0.000585	124.74	81.732	69.888	122.85
44	620	394	337	597	0.00062	0.000394	0.000337	0.000597	130.2	82.635	70.686	125.37
45	624	398	340	612	0.000624	0.000398	0.00034	0.000612	131.04	83.538	71.484	128.52
46	635	402	356	623	0.000635	0.000402	0.000356	0.000623	133.35	84.441	74.76	130.83

Radius 9 mm 60% yield

9 mm gaya 60% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001	0.000001	0.000001	E	210000	0.21	0.21	1.05
1	3	1	1	5	0.000003	0.000001	0.000001	0.000005	0.63	0.21	0.21	1.05
2	-1	-4	-4	3	-1E-06	-4E-06	-4E-06	0.000003	-0.21	-0.84	-0.84	0.63
3	0	-4	-3	4	0	-4E-06	-3E-06	0.000004	0	-0.84	-0.63	0.84
4	0	-3	-1	6	0	-3E-06	-1E-06	0.000006	0	-0.63	-0.21	1.26
5	2	-2	-1	6	0.000002	-2E-06	-1E-06	0.000006	0.42	-0.42	-0.21	1.26
6	5	3	3	10	0.000005	0.000003	0.000003	0.00001	1.05	0.63	0.63	2.1
7	8	5	5	12	0.000008	0.000005	0.000005	0.000012	1.68	1.05	1.05	2.52
8	11	10	10	20	0.000011	0.00001	0.00001	0.00002	2.31	2.1	2.1	4.2
9	17	19	20	28	0.000017	0.000019	0.00002	0.000028	3.57	3.99	4.2	5.88
10	18	19	18	27	0.000018	0.000019	0.000018	0.000027	3.78	3.99	3.78	5.67
11	20	21	21	33	0.00002	0.000021	0.000021	0.000033	4.2	4.41	4.41	6.93
12	24	28	27	42	0.000024	0.000028	0.000027	0.000042	5.04	5.88	5.67	8.82
13	26	28	28	41	0.000026	0.000028	0.000028	0.000041	5.46	5.88	5.88	8.61
14	23	26	26	39	0.000023	0.000026	0.000026	0.000039	4.83	5.46	5.46	8.19
15	25	25	26	41	0.000025	0.000025	0.000026	0.000041	5.25	5.25	5.46	8.61
16	25	28	33	53	0.000025	0.000028	0.000033	0.000053	5.25	5.88	6.93	11.13
17	57	71	72	103	0.000057	0.000071	0.000072	0.000103	11.97	14.91	15.12	21.63
18	112	140	136	174	0.000112	0.00014	0.000136	0.000174	23.52	29.4	28.56	36.54
19	166	202	193	235	0.000166	0.000202	0.000193	0.000235	34.86	42.42	40.53	49.35
20	223	274	259	305	0.000223	0.000274	0.000259	0.000305	46.83	57.54	54.39	64.05
21	289	354	332	321	0.000289	0.000354	0.000332	0.000321	60.69	74.34	69.72	67.41
22	344	412	375	344	0.000344	0.000412	0.000375	0.000344	72.24	86.52	78.75	72.24
23	379	454	415	359	0.000379	0.000454	0.000415	0.000359	79.59	95.34	87.15	75.39
24	413	496	451	363	0.000413	0.000496	0.000451	0.000363	86.73	104.16	94.71	76.23
25	441	501	483	377	0.000441	0.000501	0.000483	0.000377	92.61	105.21	101.43	79.17
26	474	507	507	423	0.000474	0.000507	0.000507	0.000423	99.54	106.47	106.47	88.83
27	508	511	511	564	0.000508	0.000511	0.000511	0.000564	106.68	107.31	107.31	118.44
28	541	512	520	598	0.000541	0.000512	0.00052	0.000598	113.61	107.52	109.2	125.58
29	573	523	522	601	0.000573	0.000523	0.000522	0.000601	120.33	109.83	109.62	126.21
30	606	541	532	607	0.000606	0.000541	0.000532	0.000607	127.26	113.61	111.72	127.47
31	634	582	563	622	0.000634	0.000582	0.000563	0.000622	133.14	122.22	118.23	130.62
32	636	623	587	631	0.000636	0.000623	0.000587	0.000631	133.56	130.83	123.27	132.51
33	685	609	605	684	0.000685	0.000609	0.000605	0.000684	143.865	127.8375	127.0996	143.6368
34	715	625	623	706	0.000715	0.000625	0.000623	0.000706	150.0925	131.1625	130.8911	148.2913
35	744	640	641	728	0.000744	0.00064	0.000641	0.000728	156.32	134.4875	134.6825	152.9458
36	774	656	659	750	0.000774	0.000656	0.000659	0.00075	162.5475	137.8125	138.474	157.6003
37	804	672	677	773	0.000804	0.000672	0.000677	0.000773	168.775	141.1375	142.2655	162.2549
38	833	688	696	795	0.000833	0.000688	0.000696	0.000795	175.0025	144.4625	146.0569	166.9094
39	863	704	714	817	0.000863	0.000704	0.000714	0.000817	181.23	147.7875	149.8484	171.5639
40	893	720	732	839	0.000893	0.00072	0.000732	0.000839	187.4575	151.1125	153.6398	176.2184
41	922	735	750	861	0.000922	0.000735	0.00075	0.000861	193.685	154.4375	157.4313	180.8729
42	952	751	768	883	0.000952	0.000751	0.000768	0.000883	199.9125	157.7625	161.2227	185.5274
43	982	767	786	906	0.000982	0.000767	0.000786	0.000906	206.14	161.0875	165.0142	190.1819
44	1011	783	804	928	0.001011	0.000783	0.000804	0.000928	212.3675	164.4125	168.8056	194.8364
45	1041	799	822	950	0.001041	0.000799	0.000822	0.00095	218.595	167.7375	172.5971	199.4909
46	1071	815	840	972	0.001071	0.000815	0.00084	0.000972	224.8225	171.0625	176.3885	204.1455
47	1100	830	858	994	0.0011	0.00083	0.000858	0.000994	231.05	174.3875	180.18	208.8
48	1130	846	876	1016	0.00113	0.000846	0.000876	0.001016	237.2775	177.7125	183.9715	213.4545
49	1160	862	894	1039	0.00116	0.000862	0.000894	0.001039	243.505	181.0375	187.7629	218.109
50	1189	878	912	1061	0.001189	0.000878	0.000912	0.001061	249.7325	184.3625	191.5544	222.7635
51	1219	894	807	1083	0.001219	0.000894	0.000807	0.001083	255.96	187.6875	169.47	227.418
52	1249	910	832	1105	0.001249	0.00091	0.000832	0.001105	262.1875	191.0125	174.72	232.0725
53	1278	925	852	1127	0.001278	0.000925	0.000852	0.001127	268.42	194.3375	178.92	236.727

Radius 12 mm 30% yield

12 mm gaya 30% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	-2	-1	-1	0	-0.000002	-1E-06	-1E-06	0	-0.42	-0.21	-0.21	0
2	-2	-1	0	0	-0.000002	-1E-06	0	0	-0.42	-0.21	0	0
3	-2	-1	0	0	-0.000002	-1E-06	0	0	-0.42	-0.21	0	0
4	-2	-1	0	0	-0.000002	-1E-06	0	0	-0.42	-0.21	0	0
5	-2	0	0	1	-0.000002	0	0	0.000001	-0.42	0	0	0.21
6	0	0	0	2	0	0	0	0.000002	0	0	0	0.42
7	2	2	2	3	0.000002	0.000002	0.000002	0.000003	0.42	0.42	0.42	0.63
8	4	4	3	5	0.000004	0.000004	0.000003	0.000005	0.84	0.84	0.63	1.05
9	8	6	5	9	0.000008	0.000006	0.000005	0.000009	1.68	1.26	1.05	1.89
10	13	9	6	10	0.000013	0.000009	0.000006	0.00001	2.73	1.89	1.26	2.1
11	13	9	6	12	0.000013	0.000009	0.000006	0.000012	2.73	1.89	1.26	2.52
12	15	12	9	14	0.000015	0.000012	0.000009	0.000014	3.15	2.52	1.89	2.94
13	18	13	10	15	0.000018	0.000013	0.00001	0.000015	3.78	2.73	2.1	3.15
14	29	22	17	23	0.000029	0.000022	0.000017	0.000023	6.09	4.62	3.57	4.83
15	33	24	18	25	0.000033	0.000024	0.000018	0.000025	6.93	5.04	3.78	5.25
16	37	23	16	20	0.000037	0.000023	0.000016	0.00002	7.77	4.83	3.36	4.2
17	30	21	15	20	0.00003	0.000021	0.000015	0.00002	6.3	4.41	3.15	4.2
18	32	23	19	26	0.000032	0.000023	0.000019	0.000026	6.72	4.83	3.99	5.46
19	50	38	30	37	0.00005	0.000038	0.00003	0.000037	10.5	7.98	6.3	7.77
20	77	60	48	60	0.000077	0.00006	0.000048	0.00006	16.17	12.6	10.08	12.6
21	127	100	84	102	0.000127	0.0001	0.000084	0.000102	26.67	21	17.64	21.42
22	202	160	134	156	0.000202	0.00016	0.000134	0.000156	42.42	33.6	28.14	32.76
23	277	215	174	191	0.000277	0.000215	0.000174	0.000191	58.17	45.15	36.54	40.11
24	304	234	190	207	0.000304	0.000234	0.00019	0.000207	63.84	49.14	39.9	43.47
25	329	253	206	225	0.000329	0.000253	0.000206	0.000225	69.09	53.13	43.26	47.25
26	359	278	226	244	0.000359	0.000278	0.000226	0.000244	75.39	58.38	47.46	51.24
27	381	293	239	257	0.000381	0.000293	0.000239	0.000257	80.01	61.53	50.19	53.97
28	400	309	252	270	0.0004	0.000309	0.000252	0.00027	84	64.89	52.92	56.7
29	420	324	264	237	0.00042	0.000324	0.000264	0.000237	88.2	68.04	55.44	49.84
30	438	338	276	265	0.000438	0.000338	0.000276	0.000265	91.98	70.98	57.96	55.72
31	455	352	287	293	0.000455	0.000352	0.000287	0.000293	95.55	73.92	60.27	61.6
32	473	366	299	321	0.000473	0.000366	0.000299	0.000321	99.33	76.86	62.79	67.48
33	490	379	310	349	0.00049	0.000379	0.00031	0.000349	102.9	79.59	65.1	73.36
34	505	389	319	377	0.000505	0.000389	0.000319	0.000377	106.05	81.69	66.99	79.24
35	517	399	327	405	0.000517	0.000399	0.000327	0.000405	108.57	83.79	68.67	85.12
36	531	409	336	433	0.000531	0.000409	0.000336	0.000433	111.51	85.89	70.56	91
37	543	421	345	461	0.000543	0.000421	0.000345	0.000461	114.03	88.41	72.45	96.88
38	557	431	354	487	0.000557	0.000431	0.000354	0.000487	116.97	90.51	74.34	102.27
39	570	442	363	522	0.00057	0.000442	0.000363	0.000522	119.7	92.82	76.23	109.62
40	573	443	367	543	0.000573	0.000443	0.000367	0.000543	120.33	93.03	77.07	114.03

Radius 12 mm 60% yield

12 mm gaya 60% yield													
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000				
1	-7	-6	-5	-2	-0.000007	-6E-06	-5E-06	-2E-06	-1.47	-1.26	-1.05	-0.42	
2	-8	-6	-5	-2	-0.000008	-6E-06	-5E-06	-2E-06	-1.68	-1.26	-1.05	-0.42	
3	-8	-6	-5	-1	-0.000008	-6E-06	-5E-06	-1E-06	-1.68	-1.26	-1.05	-0.21	
4	-3	-2	0	4	-0.000003	-2E-06	0	0.000004	-0.63	-0.42	0	0.84	
5	6	7	9	15	0.000006	0.000007	0.000009	0.000015	1.26	1.47	1.89	3.15	
6	25	23	23	27	0.000025	0.000023	0.000023	0.000027	5.25	4.83	4.83	5.67	
7	31	27	25	30	0.000031	0.000027	0.000025	0.00003	6.51	5.67	5.25	6.3	
8	33	28	26	36	0.000033	0.000028	0.000026	0.000036	6.93	5.88	5.46	7.56	
9	52	46	53	61	0.000052	0.000046	0.000053	0.000061	10.92	9.66	11.13	12.81	
10	49	43	44	52	0.000049	0.000043	0.000044	0.000052	10.29	9.03	9.24	10.92	
11	58	57	58	72	0.000058	0.000057	0.000058	0.000072	12.18	11.97	12.18	15.12	
12	117	107	102	120	0.000117	0.000107	0.000102	0.00012	24.57	22.47	21.42	25.2	
13	207	180	166	193	0.000207	0.00018	0.000166	0.000193	43.47	37.8	34.86	40.53	
14	333	282	252	283	0.000333	0.000282	0.000252	0.000283	69.93	59.22	52.92	59.43	
15	473	392	346	382	0.000473	0.000392	0.000346	0.000382	99.33	82.32	72.66	80.22	
16	531	488	420	451	0.000531	0.000488	0.00042	0.000451	111.51	102.48	88.2	94.71	
17	670	535	457	488	0.00067	0.000535	0.000457	0.000488	140.7	112.35	95.97	102.48	
18	719	576	493	525	0.000719	0.000576	0.000493	0.000525	150.99	120.96	103.53	110.25	
19	771	616	526	560	0.000771	0.000616	0.000526	0.00056	161.91	129.36	110.46	117.6	
20	818	654	560	593	0.000818	0.000654	0.00056	0.000593	171.78	137.34	117.6	124.53	
21	864	691	592	627	0.000864	0.000691	0.000592	0.000627	181.44	145.11	124.32	131.67	
22	909	728	624	659	0.000909	0.000728	0.000624	0.000659	190.89	152.88	131.04	138.39	
23	955	763	655	690	0.000955	0.000763	0.000655	0.00069	200.55	160.23	137.55	144.9	
24	997	796	684	714	0.000997	0.000796	0.000684	0.000714	209.37	167.16	143.64	149.94	
25	1037	827	712	748	0.001037	0.000827	0.000712	0.000748	217.77	173.67	149.52	157.08	
26	1073	856	735	769	0.001073	0.000856	0.000735	0.000769	225.33	179.76	154.35	161.49	
27	1086	862	738	771	0.001086	0.000862	0.000738	0.000771	228.06	181.02	154.98	161.91	
28	1092	867	743	775	0.001092	0.000867	0.000743	0.000775	229.32	182.07	156.03	162.75	
29	1095	870	744	777	0.001095	0.00087	0.000744	0.000777	229.95	182.7	156.24	163.17	
30	1098	872	745	779	0.001098	0.000872	0.000745	0.000779	230.58	183.12	156.45	163.59	
31	1103	875	752	787	0.001103	0.000875	0.000752	0.000787	231.63	183.75	157.92	165.27	
32	1133	904	780	818	0.001133	0.000904	0.00078	0.000818	237.93	189.84	163.8	171.78	

Radius 5 mm 30% yield

5 mm gaya 30% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	-2	-2	-4	-3	-0.000002	-2E-06	-4E-06	-3E-06	-0.42	-0.42	-0.84	-0.63
2	-2	-3	-3	-3	-0.000002	-3E-06	-3E-06	-3E-06	-0.42	-0.63	-0.63	-0.63
3	-2	-3	-3	-4	-0.000002	-3E-06	-3E-06	-4E-06	-0.42	-0.63	-0.63	-0.84
4	-2	-3	-4	-4	-0.000002	-3E-06	-4E-06	-4E-06	-0.42	-0.63	-0.84	-0.84
5	-2	-3	-3	-4	-0.000002	-3E-06	-3E-06	-4E-06	-0.42	-0.63	-0.63	-0.84
6	-2	-3	-4	-4	-0.000002	-3E-06	-4E-06	-4E-06	-0.42	-0.63	-0.84	-0.84
7	-2	-3	-4	-4	-0.000002	-3E-06	-4E-06	-4E-06	-0.42	-0.63	-0.84	-0.84
8	-2	-3	-4	-4	-0.000002	-3E-06	-4E-06	-4E-06	-0.42	-0.63	-0.84	-0.84
9	-2	-3	-4	-4	-0.000002	-3E-06	-4E-06	-4E-06	-0.42	-0.63	-0.84	-0.84
10	-2	-3	-4	-4	-0.000002	-3E-06	-4E-06	-4E-06	-0.42	-0.63	-0.84	-0.84
11	-3	-3	-4	-4	-0.000003	-3E-06	-4E-06	-4E-06	-0.63	-0.63	-0.84	-0.84
12	-3	-3	-4	-4	-0.000003	-3E-06	-4E-06	-4E-06	-0.63	-0.63	-0.84	-0.84
13	-3	-3	-3	-3	-0.000003	-3E-06	-3E-06	-3E-06	-0.63	-0.63	-0.63	-0.63
14	-2	-3	-3	-3	-0.000002	-3E-06	-3E-06	-3E-06	-0.42	-0.63	-0.63	-0.63
15	6	5	5	4	0.000006	0.000005	0.000005	0.000004	1.26	1.05	1.05	0.84
16	7	6	7	9	0.000007	0.000006	0.000007	0.000009	1.47	1.26	1.47	1.89
17	9	7	5	6	0.000009	0.000007	0.000005	0.000006	1.89	1.47	1.05	1.26
18	32	33	33	32	0.000032	0.000033	0.000033	0.000032	6.72	6.93	6.93	6.72
19	48	46	45	42	0.000048	0.000046	0.000045	0.000042	10.08	9.66	9.45	8.82
20	48	46	46	43	0.000048	0.000046	0.000046	0.000043	10.08	9.66	9.66	9.03
21	49	46	46	44	0.000049	0.000046	0.000046	0.000044	10.29	9.66	9.66	9.24
22	50	49	50	46	0.00005	0.000049	0.00005	0.000046	10.5	10.29	10.5	9.66
23	58	57	58	54	0.000058	0.000057	0.000058	0.000054	12.18	11.97	12.18	11.34
24	70	68	69	64	0.00007	0.000068	0.000069	0.000064	14.7	14.28	14.49	13.44
25	85	85	88	79	0.000085	0.000085	0.000088	0.000079	17.85	17.85	18.48	16.59
26	104	101	102	88	0.000104	0.000101	0.000102	0.000088	21.84	21.21	21.42	18.48
27	115	108	107	93	0.000115	0.000108	0.000107	0.000093	24.15	22.68	22.47	19.53
28	119	111	111	96	0.000119	0.000111	0.000111	0.000096	24.99	23.31	23.31	20.16
29	123	119	119	103	0.000123	0.000119	0.000119	0.000103	25.83	24.99	24.99	21.63
30	124	120	119	100	0.000124	0.00012	0.000119	0.0001	26.04	25.2	24.99	21
31	124	116	116	100	0.000124	0.000116	0.000116	0.0001	26.04	24.36	24.36	21
32	124	118	117	102	0.000124	0.000118	0.000117	0.000102	26.04	24.78	24.57	21.42
33	131	128	130	127	0.000131	0.000128	0.00013	0.000127	27.51	26.88	27.3	26.67
34	205	188	183	185	0.000205	0.000188	0.000183	0.000185	43.05	39.48	38.43	38.85
35	279	244	231	231	0.000279	0.000244	0.000231	0.000231	58.59	51.24	48.51	48.51
36	414	358	336	341	0.000414	0.000358	0.000336	0.000341	86.94	75.18	70.56	71.61
37	482	412	383	389	0.000482	0.000412	0.000383	0.000389	101.22	86.52	80.43	81.69
38	536	457	425	435	0.000536	0.000457	0.000425	0.000435	112.56	95.97	89.25	91.35
39	596	507	472	448	0.000596	0.000507	0.000472	0.000448	125.16	106.47	99.12	94.08
40	642	537	491	498	0.000642	0.000537	0.000491	0.000498	134.82	112.77	103.11	104.58
41	678	567	510	546.5	0.000678	0.000567	0.00051	0.000547	142.38	119.07	107.1	114.765
42	689	597	529	584.3	0.000689	0.000597	0.000529	0.000584	144.69	125.37	111.09	122.703
43	704	627	548	622.1	0.000704	0.000627	0.000548	0.000622	147.84	131.67	115.08	130.641
44	733	657	567	659.9	0.000733	0.000657	0.000567	0.00066	153.93	137.97	119.07	138.579
45	782	687	586	697.7	0.000782	0.000687	0.000586	0.000698	164.22	144.27	123.06	146.517
46	792	717	605	735.5	0.000792	0.000717	0.000605	0.000736	166.32	150.57	127.05	154.455
47	821	747	624	773.3	0.000821	0.000747	0.000624	0.000773	172.41	156.87	131.04	162.393
48	853	777	643	811.1	0.000853	0.000777	0.000643	0.000811	179.13	163.17	135.03	170.331
49	895	807	662	848.9	0.000895	0.000807	0.000662	0.000849	187.95	169.47	139.02	178.269
50	904	837	681	886.7	0.000904	0.000837	0.000681	0.000887	189.84	175.77	143.01	186.207
51	911	867	798	924.5	0.000911	0.000867	0.000798	0.000925	191.31	182.07	167.58	194.145

Radius 5 mm 60% yield

5 mm gaya 60% yield													
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	-1	0	0	0	-1E-06	0	0	0	0	-0.21	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	1	1	0	0.000001	0.000001	0.000001	0	0.21	0.21	0.21	0.21
6	6	6	4	4	0.000006	0.000006	0.000004	0.000004	1.26	1.26	0.84	0.84	0.84
7	5	4	4	3	0.000005	0.000004	0.000004	0.000003	1.05	0.84	0.84	0.84	0.63
8	4	5	8	8	0.000004	0.000005	0.000008	0.000008	0.84	1.05	1.68	1.68	1.68
9	9	8	8	6	0.000009	0.000008	0.000008	0.000006	1.89	1.68	1.68	1.68	1.26
10	-6	-9	-16	-12	-6E-06	-9E-06	-1.6E-05	-1.2E-05	-1.26	-1.89	-3.36	-2.52	-2.52
11	-15	-15	-16	-14	-1.5E-05	-1.5E-05	-1.6E-05	-1.4E-05	-3.15	-3.15	-3.36	-2.94	-2.94
12	-17	-17	-18	-15	-1.7E-05	-1.7E-05	-1.8E-05	-1.5E-05	-3.57	-3.57	-3.78	-3.15	-3.15
13	-18	-18	-18	-16	-1.8E-05	-1.8E-05	-1.8E-05	-1.6E-05	-3.78	-3.78	-3.78	-3.36	-3.36
14	-18	-18	-19	-16	-1.8E-05	-1.8E-05	-1.9E-05	-1.6E-05	-3.78	-3.78	-3.99	-3.36	-3.36
15	-18	-18	-19	-16	-1.8E-05	-1.8E-05	-1.9E-05	-1.6E-05	-3.78	-3.78	-3.99	-3.36	-3.36
16	-19	-18	-19	-16	-1.9E-05	-1.8E-05	-1.9E-05	-1.6E-05	-3.99	-3.78	-3.99	-3.36	-3.36
17	-19	-18	-19	-17	-1.9E-05	-1.8E-05	-1.9E-05	-1.7E-05	-3.99	-3.78	-3.99	-3.57	-3.57
18	-20	-20	-20	-17	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-1.7E-05	-4.2	-4.2	-4.2	-3.57	-3.57
19	-20	-20	-20	-17	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-1.7E-05	-4.2	-4.2	-4.2	-3.57	-3.57
20	-20	-19	-21	-17	-0.00002	-1.9E-05	-2.1E-05	-1.7E-05	-4.2	-3.99	-4.41	-3.57	-3.57
21	-15	-16	-17	-12	-1.5E-05	-1.6E-05	-1.7E-05	-1.2E-05	-3.15	-3.36	-3.57	-2.52	-2.52
22	-19	-19	-18	-14	-1.9E-05	-1.9E-05	-1.8E-05	-1.4E-05	-3.99	-3.99	-3.78	-2.94	-2.94
23	12	14	15	14	0.000012	0.000014	0.000015	0.000014	2.52	2.94	3.15	2.94	2.94
24	17	17	16	15	0.000017	0.000017	0.000016	0.000015	3.57	3.57	3.36	3.15	3.15
25	18	18	17	15	0.000018	0.000018	0.000017	0.000015	3.78	3.78	3.57	3.15	3.15
26	19	20	21	21	0.000019	0.00002	0.000021	0.000021	3.99	4.2	4.41	4.41	4.41
27	33	35	38	36	0.000033	0.000035	0.000038	0.000036	6.93	7.35	7.98	7.56	7.56
28	60	60	63	59	0.00006	0.00006	0.000063	0.000059	12.6	12.6	13.23	12.39	12.39
29	83	80	80	70	0.000083	0.00008	0.00008	0.00007	17.43	16.8	16.8	14.7	14.7
30	85	82	81	71	0.000085	0.000082	0.000081	0.000071	17.85	17.22	17.01	14.91	14.91
31	83	84	89	86	0.000083	0.000084	0.000089	0.000086	17.43	17.64	18.69	18.06	18.06
32	97	94	96	93	0.000097	0.000094	0.000096	0.000093	20.37	19.74	20.16	19.53	19.53
33	95	93	95	87	0.000095	0.000093	0.000095	0.000087	19.95	19.53	19.95	18.27	18.27
34	94	92	96	89	0.000094	0.000092	0.000096	0.000089	19.74	19.32	20.16	18.69	18.69
35	95	95	100	98	0.000095	0.000095	0.0001	0.000098	19.95	19.95	21	20.58	20.58
36	144	145	156	155	0.000144	0.000145	0.000156	0.000155	30.24	30.45	32.76	32.55	32.55
37	244	231	238	239	0.000244	0.000231	0.000238	0.000239	51.24	48.51	49.98	50.19	50.19
38	359	327	328	331	0.000359	0.000327	0.000328	0.000331	75.39	68.67	68.88	69.51	69.51
39	458	407	401	408	0.000458	0.000407	0.000401	0.000408	96.18	85.47	84.21	85.68	85.68
40	547	482	472	445	0.000547	0.000482	0.000472	0.000445	114.87	101.22	99.12	93.45	93.45
41	633	553	538	553	0.000633	0.000553	0.000538	0.000553	132.93	116.13	112.98	116.13	116.13
42	704	613	591	613	0.000704	0.000613	0.000591	0.000613	147.84	128.73	124.11	128.73	128.73
43	777	673	646	673	0.000777	0.000673	0.000646	0.000673	163.17	141.33	135.66	141.33	141.33
44	852	733	699	728	0.000852	0.000733	0.000699	0.000728	178.92	153.93	146.79	152.88	152.88
45	910	779	744	776	0.00091	0.000779	0.000744	0.000776	191.1	163.59	156.24	162.96	162.96
46	968	829	793	828	0.000968	0.000829	0.000793	0.000828	203.28	174.09	166.53	173.88	173.88
47	1027	879	841	893	0.001027	0.000879	0.000841	0.000893	215.67	184.59	176.61	187.53	187.53
48	1081	925	883	911	0.001081	0.000925	0.000883	0.000911	227.01	194.25	185.43	191.31	191.31
49	1117	952	906	941	0.001117	0.000952	0.000906	0.000941	234.57	199.92	190.26	197.61	197.61
50	1144	975	929	965	0.001144	0.000975	0.000929	0.000965	240.24	204.75	195.09	202.65	202.65
51	1179	1005	957	990	0.001179	0.001005	0.000957	0.00099	247.59	211.05	200.97	207.9	207.9
52	1209	1030	980	1045	0.001209	0.00103	0.00098	0.001045	253.82	216.3	205.8	219.45	219.45
53	1240	1056	1005	1120	0.00124	0.001056	0.001005	0.00112	260.33	221.823	210.945	235.2	235.2
54	1271	1083	1029	1128	0.001271	0.001083	0.001029	0.001128	266.84	227.346	216.09	236.8425	236.8425
55	1302	1109	1054	1165	0.001302	0.001109	0.001054	0.001165	273.35	232.869	221.235	244.645	244.645
56	1333	1135	1078	1202	0.001333	0.001135	0.001078	0.001202	279.86	238.392	226.38	252.4475	252.4475
57	1364	1162	1103	1239	0.001364	0.001162	0.001103	0.001239	286.37	243.915	231.525	260.25	260.25
58	1395	1188	1127	1276	0.001395	0.001188	0.001127	0.001276	292.88	249.438	236.67	268.0525	268.0525
59	1426	1214	1152	1314	0.001426	0.001214	0.001152	0.001314	299.39	254.961	241.815	275.855	275.855
60	1457	1240	1176	1351	0.001457	0.00124	0.001176	0.001351	305.9	260.484	246.96	283.6575	283.6575
61	1488	1267	1201	1388	0.001488	0.001267	0.001201	0.001388	312.41	266.007	252.105	291.46	291.46
62	1519	1293	1225	1425	0.001519	0.001293	0.001225	0.001425	318.92	271.53	257.25	299.2625	299.2625
63	1550	1319	1250	1462	0.00155	0.001319	0.00125	0.001462	325.43	277.053	262.395	307.065	307.065
64	1581	1346	1274	1499	0.001581	0.001346	0.001274	0.001499	331.94	282.576	267.54	314.8675	314.8675
65	1612	1372	1299	1537	0.001612	0.001372	0.001299	0.001537	338.45	288.099	272.685	322.67	322.67
66	1643	1398	1323	1574	0.001643	0.001398	0.001323	0.001574	344.96	293.622	277.83	330.4725	330.4725
67	1674	1425	1348	1611	0.001674	0.001425	0.001348	0.001611	351.47	299.145	282.975	338.275	338.275
68	1705	1451	1372	1648	0.001705	0.001451	0.001372	0.001648	357.98	304.668	288.12	346.0775	346.0775
69	1736	1477	1397	1685	0.001736	0.001477	0.001397	0.001685	364.49	310.191	293.265	353.88	353.88
70	1767	1503	1421	1722	0.001767	0.001503	0.001421	0.001722	371	315.714	298.41	361.6825	361.6825
71	1798	1530	1446	1759	0.001798	0.00153	0.001446	0.001759	377.51	321.237	303.555	369.485	369.485

Radius 7 mm 30% yield

7 mm gaya 30% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0.000001	0	0	0	0.21	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-1	0	0	0	-1E-06	0	0	0	-0.21	0
5	0	0	-1	0	0	0	-1E-06	0	0	0	-0.21	0
6	0	0	-1	0	0	0	-1E-06	0	0	0	-0.21	0
7	0	0	-1	0	0	0	-1E-06	0	0	0	-0.21	0
8	1	1	0	1	0.000001	0.000001	0	0.000001	0.21	0.21	0	0.21
9	1	1	0	1	0.000001	0.000001	0	0.000001	0.21	0.21	0	0.21
10	1	1	1	1	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.21	0.21	0.21	0.21
11	1	1	1	1	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.21	0.21	0.21	0.21
12	1	1	0	1	0.000001	0.000001	0	0.000001	0.21	0.21	0	0.21
13	1	1	1	1	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.21	0.21	0.21	0.21
14	1	1	1	1	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.21	0.21	0.21	0.21
15	1	1	1	1	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.21	0.21	0.21	0.21
16	1	1	0	1	0.000001	0.000001	0	0.000001	0.21	0.21	0	0.21
17	0	1	1	1	0	0.000001	0.000001	0.000001	0	0.21	0.21	0.21
18	0	1	1	1	0	0.000001	0.000001	0.000001	0	0.21	0.21	0.21
19	30	1	0	1	0.00003	0.000001	0	0.000001	6.3	0.21	0	0.21
20	8	125	0	0	0.000008	0.000125	0	0	1.68	26.25	0	0
21	1	0	-1	1	0.000001	0	-1E-06	0.000001	0.21	0	-0.21	0.21
22	3	4	2	3	0.000003	0.000004	0.000002	0.000003	0.63	0.84	0.42	0.63
23	365	330	2	0	0.000365	0.00033	0.000002	0	76.65	69.3	0.42	0
24	338	157	5	1	0.000338	0.000157	0.000005	0.000001	70.98	32.97	1.05	0.21
25	2	0	1	4	0.000002	0	0.000001	0.000004	0.42	0	0.21	0.84
26	1	4	12	23	0.000001	0.000004	0.000012	0.000023	0.21	0.84	2.52	4.83
27	35	33	34	33	0.000035	0.000033	0.000034	0.000033	7.35	6.93	7.14	6.93
28	49	52	53	55	0.000049	0.000052	0.000053	0.000055	10.29	10.92	11.13	11.55
29	63	63	65	61	0.000063	0.000063	0.000065	0.000061	13.23	13.23	13.65	12.81
30	66	65	66	61	0.000066	0.000065	0.000066	0.000061	13.86	13.65	13.86	12.81
31	66	65	66	60	0.000066	0.000065	0.000066	0.00006	13.86	13.65	13.86	12.6
32	62	63	64	59	0.000062	0.000063	0.000064	0.000059	13.02	13.23	13.44	12.39
33	47	48	47	50	0.000047	0.000048	0.000047	0.00005	9.87	10.08	9.87	10.5
34	70	75	78	74	0.00007	0.000075	0.000078	0.000074	14.7	15.75	16.38	15.54
35	91	92	92	86	0.000091	0.000092	0.000092	0.000086	19.11	19.32	19.32	18.06
36	105	105	102	93	0.000105	0.000105	0.000102	0.000093	22.05	22.05	21.42	19.53
37	119	119	116	108	0.000119	0.000119	0.000116	0.000108	24.99	24.99	24.36	22.68
38	145	141	136	123	0.000145	0.000141	0.000136	0.000123	30.45	29.61	28.56	25.83
39	159	152	145	131	0.000159	0.000152	0.000145	0.000131	33.39	31.92	30.45	27.51
40	171	162	152	137	0.000171	0.000162	0.000152	0.000137	35.91	34.02	31.92	28.77
41	179	170	158	143	0.000179	0.00017	0.000158	0.000143	37.59	35.7	33.18	30.03
42	199	184	169	151	0.000199	0.000184	0.000169	0.000151	41.79	38.64	35.49	31.71
43	211	194	179	160	0.000211	0.000194	0.000179	0.00016	44.31	40.74	37.59	33.6
44	228	212	178	189	0.000228	0.000212	0.000178	0.000189	47.88	44.52	37.38	39.69
45	229	212	175	202	0.000229	0.000212	0.000175	0.000202	48.09	44.52	36.75	42.42
46	245	226	201	226	0.000245	0.000226	0.000201	0.000226	51.45	47.46	42.21	47.39
47	285	256	219	247	0.000285	0.000256	0.000219	0.000247	59.85	53.76	45.99	51.8
48	326	282	227	268	0.000326	0.000282	0.000227	0.000268	68.46	59.22	47.67	56.21
49	353	293	243	289	0.000353	0.000293	0.000243	0.000289	74.13	61.53	50.946	60.62
50	373	298	257	310	0.000373	0.000298	0.000257	0.00031	78.33	62.58	53.928	65.03
51	384	294	271	331	0.000384	0.000294	0.000271	0.000331	80.64	61.74	56.91	69.44
52	389	316	285	352	0.000389	0.000316	0.000285	0.000352	81.69	66.36	59.892	73.85
53	401	432	299	373	0.000401	0.000432	0.000299	0.000373	84.21	90.72	62.874	78.26
54	435	456	314	394	0.000435	0.000456	0.000314	0.000394	91.35	95.76	65.856	82.67
55	454	480	328	415	0.000454	0.00048	0.000328	0.000415	95.41	100.8	68.838	87.08
56	477	504	342	436	0.000477	0.000504	0.000342	0.000436	100.24	105.84	71.82	91.49
57	500	528	356	449	0.0005	0.000528	0.000356	0.000449	105.07	110.88	74.802	94.22
58	523	552	370	478	0.000523	0.000552	0.00037	0.000478	109.9	115.92	77.784	100.31
59	546	576	385	499	0.000546	0.000576	0.000385	0.000499	114.73	120.96	80.766	104.72
60	569	600	399	520	0.000569	0.0006	0.000399	0.00052	119.56	126	83.748	109.13
61	592	624	413	541	0.000592	0.000624	0.000413	0.000541	124.39	131.04	86.73	113.54
62	615	648	427	562	0.000615	0.000648	0.000427	0.000562	129.22	136.08	89.712	117.95
63	638	672	441	583	0.000638	0.000672	0.000441	0.000583	134.05	141.12	92.694	122.36
64	661	696	456	604	0.000661	0.000696	0.000456	0.000604	138.88	146.16	95.676	126.77
65	684	720	470	625	0.000684	0.00072	0.00047	0.000625	143.71	151.2	98.658	131.18
66	707	722	484	646	0.000707	0.000722	0.000484	0.000646	148.54	151.62	101.64	135.59
67	730	724	498	667	0.00073	0.000724	0.000498	0.000667	153.37	152.04	104.622	140
68	753	733	512	688	0.000753	0.000733	0.000512	0.000688	158.2	153.93	107.604	144.41
69	776	756	527	709	0.000776	0.000756	0.000527	0.000709	163.03	158.76	110.586	148.82
70	789	757	541	730	0.000789	0.000757	0.000541	0.00073	165.76	158.97	113.568	153.23

Radius 7 mm 60% yield

7 mm gaya 60% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001	-1E-06	0.000037	E	210000	-0.21	7.77	6.72
1	1	-1	37	32	0.000001	-1E-06	0.000037	0.000032	0.21	-0.21	7.77	6.72
2	1	0	37	32	0.000001	0	0.000037	0.000032	0.21	0	7.77	6.72
3	0	-1	37	32	0	-1E-06	0.000037	0.000032	0	-0.21	7.77	6.72
4	5	3	33	30	0.000005	0.000003	0.000033	0.00003	1.05	0.63	6.93	6.3
5	19	26	39	35	0.000019	0.000026	0.000039	0.000035	3.99	5.46	8.19	7.35
6	68	64	51	54	0.000068	0.000064	0.000051	0.000054	14.28	13.44	10.71	11.34
7	145	154	106	-98	0.000145	0.000154	0.000106	-9.8E-05	30.45	32.34	22.26	-20.58
8	181	182	110	97	0.000181	0.000182	0.00011	0.000097	38.01	38.22	23.1	20.37
9	213	206	111	98	0.000213	0.000206	0.000111	0.000098	44.73	43.26	23.31	20.58
10	220	213	112	98	0.00022	0.000213	0.000112	0.000098	46.2	44.73	23.52	20.58
11	207	165	113	101	0.000207	0.000165	0.000113	0.000101	43.47	34.65	23.73	21.21
12	252	260	128	114	0.000252	0.00026	0.000128	0.000114	52.92	54.6	26.88	23.94
13	284	277	143	-127	0.000284	0.000277	0.000143	-0.00013	59.64	58.17	30.03	-26.67
14	312	302	165	147	0.000312	0.000302	0.000165	0.000147	65.52	63.42	34.65	30.87
15	343	331	190	167	0.000343	0.000331	0.00019	0.000167	72.03	69.51	39.9	35.07
16	368	354	205	180	0.000368	0.000354	0.000205	0.00018	77.28	74.34	43.05	37.8
17	379	363	211	186	0.000379	0.000363	0.000211	0.000186	79.59	76.23	44.31	39.06
18	385	374	223	196	0.000385	0.000374	0.000223	0.000196	80.85	78.54	46.83	41.16
19	403	349	234	201	0.000403	0.000349	0.000234	0.000201	84.63	73.29	49.14	42.21
20	339	330	245	214	0.000339	0.00033	0.000245	0.000214	71.19	69.3	51.45	44.94
21	465	442	245	-13	0.000465	0.000442	0.000245	-1.3E-05	97.65	92.82	51.45	-2.73
22	473	439	261	228	0.000473	0.000439	0.000261	0.000228	99.33	92.19	54.81	47.88
23	503	467	285	220	0.000503	0.000467	0.000285	0.00022	105.63	98.07	59.85	46.2
24	521	464	262	181	0.000521	0.000464	0.000262	0.000181	109.41	97.44	55.02	38.01
25	489	428	216	125	0.000489	0.000428	0.000216	0.000125	102.69	89.88	45.36	26.25
26	452	379	154	58	0.000452	0.000379	0.000154	0.000058	94.92	79.59	32.34	12.18
27	615	244	99	4	0.000615	0.000244	0.000099	0.000004	129.15	51.24	20.79	0.84
28	468	373	53	45	0.000468	0.000373	0.000053	0.000045	98.28	78.33	11.13	9.45
29	525	403	4	95	0.000525	0.000403	0.000004	0.000095	110.25	84.63	0.84	19.95
30	529	259	45	145	0.000529	0.000259	0.000045	0.000145	111.09	54.39	9.45	30.45
31	410	253	100	200	0.00041	0.000253	0.0001	0.0002	86.1	53.13	21	42
32	395	219	162	261	0.000395	0.000219	0.000162	0.000261	82.95	45.99	34.02	54.81
33	383	185	226	322	0.000383	0.000185	0.000226	0.000322	80.43	38.85	47.46	67.62
34	368	149	295	388	0.000368	0.000149	0.000295	0.000388	77.28	31.29	61.95	81.48
35	383	161	377	463	0.000383	0.000161	0.000377	0.000463	80.43	33.81	79.17	97.23
36	385	82	465	536	0.000385	0.000082	0.000465	0.000536	80.85	17.22	97.65	112.56
37	380	85	515	573	0.00038	0.000085	0.000515	0.000573	79.8	17.85	108.15	120.33
38	419	106	561	610	0.000419	0.000106	0.000561	0.00061	87.99	22.26	117.81	128.1
39	424	96	596	635	0.000424	0.000096	0.000596	0.000635	89.04	20.16	125.16	133.35
40	424	88	619	652	0.000424	0.000088	0.000619	0.000652	89.04	18.48	129.99	136.92
41	423	78	640	668	0.000423	0.000078	0.00064	0.000668	88.83	16.38	134.4	140.28
42	420	67	663	685	0.00042	0.000067	0.000663	0.000685	88.2	14.07	139.23	143.85
43	418	58	682	699	0.000418	0.000058	0.000682	0.000699	87.78	12.18	143.22	146.79
44	416	49	703	715	0.000416	0.000049	0.000703	0.000715	87.36	10.29	147.63	150.15
45	412	38	726	731	0.000412	0.000038	0.000726	0.000731	86.52	7.98	152.46	153.51
46	413	32	737	733	0.000413	0.000032	0.000737	0.000733	86.73	6.72	154.77	153.93
47	426	48	759	744	0.000426	0.000048	0.000759	0.000744	89.46	10.08	159.39	156.31
48	445	69	777.8	753	0.000445	0.000069	0.000778	0.000753	93.45	14.49	163.338	158.2
49	464	92	797	762	0.000464	0.000092	0.000797	0.000762	97.44	19.32	167.286	160.09
50	485	116	815	771	0.000485	0.000116	0.000815	0.000771	101.85	24.36	171.234	161.98
51	502	134	834	780	0.000502	0.000134	0.000834	0.00078	105.42	28.14	175.182	163.87
52	518	154	853	789	0.000518	0.000154	0.000853	0.000789	108.78	32.34	179.13	165.76
53	537	175	872	798	0.000537	0.000175	0.000872	0.000798	112.77	36.75	183.078	167.65
54	553	193	891	807	0.000553	0.000193	0.000891	0.000807	116.13	40.53	187.026	169.54
55	567	210	909	816	0.000567	0.00021	0.000909	0.000816	119.07	44.1	190.974	171.43
56	583	229	928	895	0.000583	0.000229	0.000928	0.000895	122.43	48.09	194.922	187.95
57	640	387	947	1189	0.00064	0.000387	0.000947	0.001189	134.4	81.27	198.87	249.69
58	721	388	966	1223	0.000721	0.000388	0.000966	0.001223	151.41	81.48	202.818	256.83
59	797	396	985	1244	0.000797	0.000396	0.000985	0.001244	167.37	83.16	206.766	261.24
60	865	405	1003	1298	0.000865	0.000405	0.001003	0.001298	181.65	85.05	210.714	272.58
61	938	406	1022	1302	0.000938	0.000406	0.001022	0.001302	196.875	85.26	214.662	273.42
62	1010	422	1041	1344	0.001010	0.000422	0.001041	0.001344	212.016	88.62	218.61	282.24
63	1082	432	1060	1377	0.001082	0.000432	0.00106	0.001377	227.157	90.72	222.558	289.24
64	1154	533	1079	1394	0.001154	0.000533	0.001079	0.001394	242.298	111.93	226.506	292.81
65	1226	761	1097	1411	0.001226	0.000761	0.001097	0.001411	257.439	159.81	230.454	296.38
66	1298	860	1116	1428	0.001298	0.00086	0.001116	0.001428	272.58	180.6	234.402	299.95
67	1370	959	1135	1445	0.001370	0.000959	0.001135	0.001445	287.721	201.39	238.35	303.52
68	1442	1058	1154	1458	0.001442	0.001058	0.001154	0.001458	302.862	222.18	242.298	306.18
69	1491	1157	1173	1488	0.001491	0.001157	0.001173	0.001488	313.173	242.97	246.246	312.48
70	1593	1256	1191	1492	0.001593	0.001256	0.001191	0.001492	334.614	263.76	250.194	313.32

Radius 10 mm 30% yield

10 mm gaya 30% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	-18	-23	-21	-23	-0.000018	-2.3E-05	-2.1E-05	-2.3E-05	-3.78	-4.83	-4.41	-4.83
2	-25	-25	-25	-25	-0.000025	-2.5E-05	-2.5E-05	-2.5E-05	-5.25	-5.25	-5.25	-5.25
3	-24	-27	-23	-27	-0.000024	-2.7E-05	-2.3E-05	-2.7E-05	-5.04	-5.67	-4.83	-5.67
4	-23	-26	-23	-26	-0.000023	-2.6E-05	-2.3E-05	-2.6E-05	-4.83	-5.46	-4.83	-5.46
5	-22	-26	-23	-26	-0.000022	-2.6E-05	-2.3E-05	-2.6E-05	-4.62	-5.46	-4.83	-5.46
6	-22	-26	-23	-26	-0.000022	-2.6E-05	-2.3E-05	-2.6E-05	-4.62	-5.46	-4.83	-5.46
7	-21	-24	-23	-24	-0.000021	-2.4E-05	-2.3E-05	-2.4E-05	-4.41	-5.04	-4.83	-5.04
8	-21	-24	-24	-24	-0.000021	-2.4E-05	-2.4E-05	-2.4E-05	-4.41	-5.04	-5.04	-5.04
9	-20	-23	-24	-23	-0.00002	-2.3E-05	-2.4E-05	-2.3E-05	-4.2	-4.83	-5.04	-4.83
10	-20	-23	-24	-23	-0.00002	-2.3E-05	-2.4E-05	-2.3E-05	-4.2	-4.83	-5.04	-4.83
11	-20	-23	-25	-23	-0.00002	-2.3E-05	-2.5E-05	-2.3E-05	-4.2	-4.83	-5.25	-4.83
12	-20	-23	-26	-23	-0.00002	-2.3E-05	-2.6E-05	-2.3E-05	-4.2	-4.83	-5.46	-4.83
13	-21	-23	-27	-23	-0.000021	-2.3E-05	-2.7E-05	-2.3E-05	-4.41	-4.83	-5.67	-4.83
14	-21	-25	-28	-25	-0.000021	-2.5E-05	-2.8E-05	-2.5E-05	-4.41	-5.25	-5.88	-5.25
15	-21	-27	-30	-27	-0.000021	-2.7E-05	-0.00003	-2.7E-05	-4.41	-5.67	-6.3	-5.67
16	-21	-26	-30	-26	-0.000021	-2.6E-05	-0.00003	-2.6E-05	-4.41	-5.46	-6.3	-5.46
17	-20	-26	-30	-26	-0.00002	-2.6E-05	-0.00003	-2.6E-05	-4.2	-5.46	-6.3	-5.46
18	-11	-18	-23	-18	-0.000011	-1.8E-05	-2.3E-05	-1.8E-05	-2.31	-3.78	-4.83	-3.78
19	12	-8	-26	6	0.000012	-8E-06	-2.6E-05	0.000006	2.52	-1.68	-5.46	1.26
20	3	-15	-25	56	0.000003	-1.5E-05	-2.5E-05	0.000056	0.63	-3.15	-5.25	11.76
21	4	-12	-22	112	0.000004	-1.2E-05	-2.2E-05	0.000112	0.84	-2.52	-4.62	23.52
22	15	-3	-22	132	0.000015	-3E-06	-2.2E-05	0.000132	3.15	-0.63	-4.62	27.72
23	36	5	-26	252	0.000036	0.000005	-2.6E-05	0.000252	7.56	1.05	-5.46	52.92
24	73	26	-17	267	0.000073	0.000026	-1.7E-05	0.000267	15.33	5.46	-3.57	56.07
25	132	64	5	298	0.000132	0.000064	0.000005	0.000298	27.72	13.44	1.05	62.58
26	197	109	37	310	0.000197	0.000109	0.000037	0.00031	41.37	22.89	7.77	65.1
27	278	168	80	334	0.000278	0.000168	0.00008	0.000334	58.38	35.28	16.8	70.14
28	355	222	118	345	0.000355	0.000222	0.000118	0.000345	74.55	46.62	24.78	72.45
29	412	263	151	367	0.000412	0.000263	0.000151	0.000367	86.52	55.23	31.71	77.07
30	468	305	183	448	0.000468	0.000305	0.000183	0.000448	98.28	64.05	38.43	94.08
31	514	332	198	490	0.000514	0.000332	0.000198	0.00049	107.94	69.72	41.58	102.83
32	573	369	231	541	0.000573	0.000369	0.000231	0.000541	120.33	77.49	48.405	113.645
33	580	404	258	593	0.00058	0.000404	0.000258	0.000593	121.8	84.735	54.117	124.46
34	589	438	285	598	0.000589	0.000438	0.000285	0.000598	123.69	91.98	59.829	125.58
35	615	473	312	621	0.000615	0.000473	0.000312	0.000621	129.15	99.225	65.541	130.41
36	649	507	339	645	0.000649	0.000507	0.000339	0.000645	136.29	106.47	71.253	135.45
37	696	542	367	655	0.000696	0.000542	0.000367	0.000655	146.16	113.715	76.965	137.55
38	712	576	394	678	0.000712	0.000576	0.000394	0.000678	149.52	120.96	82.677	142.38

Radius 10 mm 60% yield

10 mm gaya 60% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	-12	-12	-11	-5	-0.000012	-1.2E-05	-1.1E-05	-5E-06	-2.52	-2.52	-2.31	-1.05
2	-11	-12	-11	-6	-0.000011	-1.2E-05	-1.1E-05	-6E-06	-2.31	-2.52	-2.31	-1.26
3	-12	-12	-11	-6	-0.000012	-1.2E-05	-1.1E-05	-6E-06	-2.52	-2.52	-2.31	-1.26
4	-11	-12	-11	-7	-0.000011	-1.2E-05	-1.1E-05	-7E-06	-2.31	-2.52	-2.31	-1.47
5	-11	-12	-11	-7	-0.000011	-1.2E-05	-1.1E-05	-7E-06	-2.31	-2.52	-2.31	-1.47
6	-11	-12	-11	-7	-0.000011	-1.2E-05	-1.1E-05	-7E-06	-2.31	-2.52	-2.31	-1.47
7	-11	-12	-11	-7	-0.000011	-1.2E-05	-1.1E-05	-7E-06	-2.31	-2.52	-2.31	-1.47
8	-15	-15	-15	-9	-0.000015	-1.5E-05	-1.5E-05	-9E-06	-3.15	-3.15	-3.15	-1.89
9	-24	Offscale	-33	-27	-0.000024	Offscale	-3.3E-05	-2.7E-05	-5.04	Offscale	-6.93	-5.67
10	-49	Offscale	-45	-33	-0.000049	Offscale	-4.5E-05	-3.3E-05	-10.29	Offscale	-9.45	-6.93
11	-50	Offscale	-45	-33	-0.00005	Offscale	-4.5E-05	-3.3E-05	-10.5	Offscale	-9.45	-6.93
12	-49	Offscale	-44	-33	-0.000049	Offscale	-4.4E-05	-3.3E-05	-10.29	Offscale	-9.24	-6.93
13	-49	Offscale	-40	-27	-0.000049	Offscale	-0.00004	-2.7E-05	-10.29	Offscale	-8.4	-5.67
14	-32	Offscale	-36	-23	-0.000032	Offscale	-3.6E-05	-2.3E-05	-6.72	Offscale	-7.56	-4.83
15	-30	-35	-38	-25	-0.00003	-3.5E-05	-3.8E-05	-2.5E-05	-6.3	-7.35	-7.98	-5.25
16	-27	-33	-37	-22	-0.000027	-3.3E-05	-3.7E-05	-2.2E-05	-5.67	-6.93	-7.77	-4.62
17	-26	Offscale	-39	-24	-0.000026	Offscale	-3.9E-05	-2.4E-05	-5.46	Offscale	-8.19	-5.04
18	-24	Offscale	-42	-27	-0.000024	Offscale	-4.2E-05	-2.7E-05	-5.04	Offscale	-8.82	-5.67
19	-27	Offscale	-35	-19	-0.000027	Offscale	-3.5E-05	-1.9E-05	-5.67	Offscale	-7.35	-3.99
20	2	14	-30	-3	0.000002	0.000014	-0.00003	-3E-06	0.42	2.94	-6.3	-0.63
21	80	Offscale	0	45	0.00008	Offscale	0	0.000045	16.8	Offscale	0	9.45
22	212	Offscale	59	111	0.000212	Offscale	0.000059	0.000111	44.52	Offscale	12.39	23.31
23	302	189	104	165	0.000302	0.000189	0.000104	0.000165	63.42	39.69	21.84	34.65
24	385	Offscale	152	220	0.000385	Offscale	0.000152	0.00022	80.85	Offscale	31.92	46.2
25	470	311	198	273	0.00047	0.000311	0.000198	0.000273	98.7	65.31	41.58	57.33
26	541	Offscale	240	320	0.000541	Offscale	0.00024	0.00032	113.61	Offscale	50.4	67.2
27	614	420	285	372	0.000614	0.00042	0.000285	0.000372	128.94	88.2	59.85	78.12
28	690	737	334	425	0.00069	0.000737	0.000334	0.000425	144.9	154.77	70.14	89.25
29	766	543	387	485	0.000766	0.000543	0.000387	0.000485	160.86	114.03	81.27	101.85
30	851	Offscale	444	549	0.000851	Offscale	0.000444	0.000549	178.71	Offscale	93.24	115.29
31	933	672	501	610	0.000933	0.000672	0.000501	0.00061	195.93	141.12	105.21	128.1
32	1013	738	559	672	0.001013	0.000738	0.000559	0.000672	212.73	154.98	117.39	141.12
33	1092	806	622	739	0.001092	0.000806	0.000622	0.000739	229.32	169.26	130.62	155.19
34	1182	880	689	801	0.001182	0.00088	0.000689	0.000801	248.22	184.8	144.69	168.21
35	1210	889	686	795	0.00121	0.000889	0.000686	0.000795	254.1	186.69	144.06	166.95
36	1213	893	691	802	0.001213	0.000893	0.000691	0.000802	254.73	187.53	145.11	168.42
37	1221	898	694	804	0.001221	0.000898	0.000694	0.000804	256.41	188.58	145.74	168.84
38	1221	897	694	803	0.001221	0.000897	0.000694	0.000803	256.41	188.37	145.74	168.63
39	1226	902	700	810	0.001226	0.000902	0.0007	0.00081	257.46	189.42	147	170.1
40	1235	911	709	820	0.001235	0.000911	0.000709	0.00082	259.35	191.31	148.89	172.2
41	1246	919	716	827	0.001246	0.000919	0.000716	0.000827	261.66	192.99	150.36	173.67
42	1255	927	724	836	0.001255	0.000927	0.000724	0.000836	263.55	194.67	152.04	175.56
43	1266	936	733	843	0.001266	0.000936	0.000733	0.000843	265.86	196.56	153.93	177.03
44	1275	943	739	850	0.001275	0.000943	0.000739	0.00085	267.75	198.03	155.19	178.5
45	1284	951	747	858	0.001284	0.000951	0.000747	0.000858	269.64	199.71	156.87	180.18
46	1295	960	755	866	0.001295	0.00096	0.000755	0.000866	271.95	201.6	158.55	181.86
47	1305	967	762	891	0.001305	0.000967	0.000762	0.000891	274.05	203.07	160.02	187.11
48	1319	999	827	993	0.001319	0.000999	0.000827	0.000993	276.99	209.79	173.67	208.53
49	1333	1031	892	1113	0.001333	0.001031	0.000892	0.001113	279.93	216.51	187.32	233.73
50	1347	1063	957	1233	0.001347	0.001063	0.000957	0.001233	282.87	223.23	200.97	258.93
51	1361	1095	1022	1353	0.001361	0.001095	0.001022	0.001353	285.81	229.95	214.62	284.13
52	1375	1127	1087	1473	0.001375	0.001127	0.001087	0.001473	288.75	236.67	228.27	309.33
53	1389	1159	1152	1593	0.001389	0.001159	0.001152	0.001593	291.69	243.39	241.92	334.53
54	1403	1191	1217	1713	0.001403	0.001191	0.001217	0.001713	294.63	250.11	255.57	359.73
55	1417	1223	1282	1833	0.001417	0.001223	0.001282	0.001833	297.57	256.83	269.22	384.93
56	1431	1255	1347	1953	0.001431	0.001255	0.001347	0.001953	300.51	263.55	282.87	410.13
57	1445	1287	1412	2073	0.001445	0.001287	0.001412	0.002073	303.45	270.27	296.52	435.33

Radius 4 mm 30% yield

4 mm gaya 30% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
2	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
3	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
4	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
5	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
6	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
7	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
8	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
9	0	1	1	1	0	0.000001	0.000001	0.000001	0	0.21	0.21	0.21
10	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
11	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
12	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
13	0	1	1	2	0	0.000001	0.000001	0.000002	0	0.21	0.21	0.42
14	-1	-4	-3	-4	-1E-06	-4E-06	-3E-06	-4E-06	-0.21	-0.84	-0.63	-0.84
15	-4	-2	-2	-1	-4E-06	-2E-06	-2E-06	-1E-06	-0.84	-0.42	-0.42	-0.21
16	-10	-5	-2	2	-0.00001	-5E-06	-2E-06	0.000002	-2.1	-1.05	-0.42	0.42
17	-15	-10	-4	2	-1.5E-05	-0.00001	-4E-06	0.000002	-3.15	-2.1	-0.84	0.42
18	-20	-12	-5	2	-0.00002	-1.2E-05	-5E-06	0.000002	-4.2	-2.52	-1.05	0.42
19	-20	-12	-5	2	-0.00002	-1.2E-05	-5E-06	0.000002	-4.2	-2.52	-1.05	0.42
20	-8	-1	3	10	-8E-06	-1E-06	0.000003	0.00001	-1.68	-0.21	0.63	2.1
21	4	5	5	10	0.000004	0.000005	0.000005	0.00001	0.84	1.05	1.05	2.1
22	4	5	5	10	0.000004	0.000005	0.000005	0.00001	0.84	1.05	1.05	2.1
23	5	6	5	10	0.000005	0.000006	0.000005	0.00001	1.05	1.26	1.05	2.1
24	5	6	5	10	0.000005	0.000006	0.000005	0.00001	1.05	1.26	1.05	2.1
25	5	6	5	10	0.000005	0.000006	0.000005	0.00001	1.05	1.26	1.05	2.1
26	-18	-9	-5	2	-1.8E-05	-9E-06	-5E-06	0.000002	-3.78	-1.89	-1.05	0.42
27	-18	-9	-5	2	-1.8E-05	-9E-06	-5E-06	0.000002	-3.78	-1.89	-1.05	0.42
28	-18	-9	-5	1	-1.8E-05	-9E-06	-5E-06	0.000001	-3.78	-1.89	-1.05	0.21
29	-17	-9	-5	2	-1.7E-05	-9E-06	-5E-06	0.000002	-3.57	-1.89	-1.05	0.42
30	-17	-8	-5	2	-1.7E-05	-8E-06	-5E-06	0.000002	-3.57	-1.68	-1.05	0.42
31	-17	-8	-5	2	-1.7E-05	-8E-06	-5E-06	0.000002	-3.57	-1.68	-1.05	0.42
32	-17	-8	-4	3	-1.7E-05	-8E-06	-4E-06	0.000003	-3.57	-1.68	-0.84	0.63
33	-17	-8	-4	3	-1.7E-05	-8E-06	-4E-06	0.000003	-3.57	-1.68	-0.84	0.63
34	-14	-6	-3	5	-1.4E-05	-6E-06	-3E-06	0.000005	-2.94	-1.26	-0.63	1.05
35	-10	-4	-2	7	-0.00001	-4E-06	-2E-06	0.000007	-2.1	-0.84	-0.42	1.47
36	-7	-2	-1	9	-7E-06	-2E-06	-1E-06	0.000009	-1.47	-0.42	-0.21	1.89
37	-4	0	0	12	-4E-06	0	0	0.000012	-0.84	0	0	2.52
38	3	2	0	13	0.000003	0.000002	0	0.000013	0.63	0.42	0	2.73
39	6	4	0	15	0.000006	0.000004	0	0.000015	1.26	0.84	0	3.15
40	14	8	0	18	0.000014	0.000008	0	0.000018	2.94	1.68	0	3.78
41	24	13	0	20	0.000024	0.000013	0	0.00002	5.04	2.73	0	4.2
42	33	17	0	65	0.000033	0.000017	0	0.000065	6.93	3.57	0	13.65
43	36	18	1	73	0.000036	0.000018	0.000001	0.000073	7.56	3.78	0.21	15.33
44	49	26	1	77	0.000049	0.000026	0.000001	0.000077	10.29	5.46	0.21	16.17
45	65	31	2	103	0.000065	0.000031	0.000002	0.000103	13.65	6.51	0.42	21.63
46	63	30	3	145	0.000063	0.00003	0.000003	0.000145	13.23	6.3	0.63	30.45
47	73	31	-4	187	0.000073	0.000031	-4E-06	0.000187	15.33	6.51	-0.84	39.27
48	61	30	0	229	0.000061	0.00003	0	0.000229	12.81	6.3	0	48.09
49	65	31	2	271	0.000065	0.000031	0.000002	0.000271	13.65	6.51	0.42	56.91
50	65	35	6	313	0.000065	0.000035	0.000006	0.000313	13.65	7.35	1.26	65.73
51	66	39	14	355	0.000066	0.000039	0.000014	0.000355	13.86	8.19	2.94	74.55
52	77	56	27	397	0.000077	0.000056	0.000027	0.000397	16.17	11.76	5.67	83.37
53	103	61	22	439	0.000103	0.000061	0.000022	0.000439	21.63	12.81	4.62	92.19
54	119	69	21	481	0.000119	0.000069	0.000021	0.000481	24.99	14.49	4.41	101.01
55	147	79	20	523	0.000147	0.000079	0.00002	0.000523	30.87	16.59	4.2	109.83
56	181	98	23	532	0.000181	0.000098	0.000023	0.000532	38.01	20.58	4.83	111.72
57	235	123	24	607	0.000235	0.000123	0.000024	0.000607	49.35	25.83	5.04	127.47
58	294	155	36	649	0.000294	0.000155	0.000036	0.000649	61.74	32.55	7.56	136.29
59	371	198	51	691	0.000371	0.000198	0.000051	0.000691	77.91	41.58	10.71	145.11
60	450	244	69	733	0.00045	0.000244	0.000069	0.000733	94.5	51.24	14.49	153.93
61	533	289	88	775	0.000533	0.000289	0.000088	0.000775	111.93	60.69	18.48	162.75
62	619	340	110	817	0.000619	0.00034	0.00011	0.000817	129.99	71.4	23.1	171.57
63	708	390	225	859	0.000708	0.00039	0.000225	0.000859	148.68	81.9	47.25	180.39
64	800	445	321	901	0.0008	0.000445	0.000321	0.000901	168	93.45	67.41	189.21
65	892	500	532	943	0.000892	0.0005	0.000532	0.000943	187.32	105	111.72	198.03
66	988	558	612	985	0.000988	0.000558	0.000612	0.000985	207.48	117.18	128.52	206.85
67	1036	678	632	1027	0.001036	0.000678	0.000632	0.001027	217.56	142.38	132.72	215.67
68	1146	754	652	1069	0.001146	0.000754	0.000652	0.001069	240.66	158.34	136.92	224.49

Radius 4 mm 60% yield

4mm gaya 60% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	-5	-7	-7	-5	-0.000005	-7E-06	-7E-06	-5E-06	-1.05	-1.47	-1.47	-1.05
2	-17	-16	-16	-9	-0.000017	-1.6E-05	-1.6E-05	-9E-06	-3.57	-3.36	-3.36	-1.89
3	-20	-16	-16	-7	-0.00002	-1.6E-05	-1.6E-05	-7E-06	-4.2	-3.36	-3.36	-1.47
4	-20	-15	-15	-6	-0.00002	-1.5E-05	-1.5E-05	-6E-06	-4.2	-3.15	-3.15	-1.26
5	-18	-14	-13	-3	-0.000018	-1.4E-05	-1.3E-05	-3E-06	-3.78	-2.94	-2.73	-0.63
6	-12	-11	-12	2	-0.000012	-1.1E-05	-1.2E-05	0.000002	-2.52	-2.31	-2.52	0.42
7	-2	-5	-7	11	-0.000002	-5E-06	-7E-06	0.000011	-0.42	-1.05	-1.47	2.31
8	21	11	3	23	0.000021	0.000011	0.000003	0.000023	4.41	2.31	0.63	4.83
9	35	21	10	31	0.000035	0.000021	0.00001	0.000031	7.35	4.41	2.1	6.51
10	48	32	19	37	0.000048	0.000032	0.000019	0.000037	10.08	6.72	3.99	7.77
11	44	27	14	34	0.000044	0.000027	0.000014	0.000034	9.24	5.67	2.94	7.14
12	41	18	5	28	0.000041	0.000018	0.000005	0.000028	8.61	3.78	1.05	5.88
13	39	19	4	29	0.000039	0.000019	0.000004	0.000029	8.19	3.99	0.84	6.09
14	38	19	8	32	0.000038	0.000019	0.000008	0.000032	7.98	3.99	1.68	6.72
15	64	37	12	47	0.000064	0.000037	0.000012	0.000047	13.44	7.77	2.52	9.87
16	127	69	22	73	0.000127	0.000069	0.000022	0.000073	26.67	14.49	4.62	15.33
17	201	111	42	104	0.000201	0.000111	0.000042	0.000104	42.21	23.31	8.82	21.84
18	257	148	68	132	0.000257	0.000148	0.000068	0.000132	53.97	31.08	14.28	27.72
19	311	178	73	152	0.000311	0.000178	0.000073	0.000152	65.31	37.38	15.33	31.92
20	373	218	106	228	0.000373	0.000218	0.000106	0.000228	78.33	45.78	22.26	47.88
21	457	267	128	321	0.000457	0.000267	0.000128	0.000321	95.97	56.07	26.88	67.41
22	535	321	167	523	0.000535	0.000321	0.000167	0.000523	112.35	67.41	35.07	109.83
23	621	378	206	723	0.000621	0.000378	0.000206	0.000723	130.41	79.38	43.26	151.83
24	708	439	250	979	0.000708	0.000439	0.00025	0.000979	148.68	92.19	52.5	205.52
25	805	504	296	1084	0.000805	0.000504	0.000296	0.001084	169.05	105.84	62.16	227.57
26	911	575	532	1189	0.000911	0.000575	0.000532	0.001189	191.31	120.75	111.72	249.62
27	1028	649	612	1294	0.001028	0.000649	0.000612	0.001294	215.88	136.29	128.52	271.67
28	1150	727	623	1399	0.00115	0.000727	0.000623	0.001399	241.5	152.67	130.83	293.72
29	1281	809	756	1492	0.001281	0.000809	0.000756	0.001492	269.01	169.89	158.76	313.32
30	1448	905	967	1632	0.001448	0.000905	0.000967	0.001632	304.08	190.05	203.07	342.72
31	1646	1014	1156	1702	0.001646	0.001014	0.001156	0.001702	345.66	212.94	242.76	357.42
32	1785	1138	1264	1907	0.001785	0.001138	0.001264	0.001907	374.85	238.98	265.44	400.47
33	2087	1357	1287	1943	0.002087	0.001357	0.001287	0.001943	438.27	284.97	270.27	408.03
34	2278	1415	1324	2045	0.002278	0.001415	0.001324	0.002045	478.38	297.15	278.04	429.45

Radius 6 mm 30% yield

6 mm gaya 30% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	9	11	15	11	0.000009	0.000011	0.000015	0.000011	1.89	2.31	3.15	2.31
2	20	22	25	18	0.00002	0.000022	0.000025	0.000018	4.2	4.62	5.25	3.78
3	28	31	34	26	0.000028	0.000031	0.000034	0.000026	5.88	6.51	7.14	5.46
4	55	59	61	48	0.000055	0.000059	0.000061	0.000048	11.55	12.39	12.81	10.08
5	70	68	72	57	0.00007	0.000068	0.000072	0.000057	14.7	14.28	15.12	11.97
6	88	86	91	71	0.000088	0.000086	0.000091	0.000071	18.48	18.06	19.11	14.91
7	95	94	98	79	0.000095	0.000094	0.000098	0.000079	19.95	19.74	20.58	16.59
8	105	97	97	75	0.000105	0.000097	0.000097	0.000075	22.05	20.37	20.37	15.75
9	103	103	114	92	0.000103	0.000103	0.000114	0.000092	21.63	21.63	23.94	19.32
10	141	141	149	127	0.000141	0.000141	0.000149	0.000127	29.61	29.61	31.29	26.67
11	206	201	212	189	0.000206	0.000201	0.000212	0.000189	43.26	42.21	44.52	39.69
12	321	309	326	301	0.000321	0.000309	0.000326	0.000301	67.41	64.89	68.46	63.21
13	448	422	439	402	0.000448	0.000422	0.000439	0.000402	94.08	88.62	92.19	84.42
14	546	512	535	494	0.000546	0.000512	0.000535	0.000494	114.66	107.52	112.35	103.74
15	641	602	537	551	0.000641	0.000602	0.000537	0.000551	134.61	126.42	112.77	115.71
16	726	643	539	657	0.000726	0.000643	0.000539	0.000657	152.46	135.03	113.19	137.97
17	739	681	541	743	0.000739	0.000681	0.000541	0.000743	155.19	143.01	113.61	156.03
18	829	685	583	798	0.000829	0.000685	0.000583	0.000798	174.09	143.85	122.43	167.58
19	895	689	623	910	0.000895	0.000689	0.000623	0.00091	188.034	144.69	130.83	191.1
20	981	693	621	915	0.000981	0.000693	0.000621	0.000915	206.01	145.53	130.41	192.15

Radius 6 mm 60% yield

6 mm gaya 60% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	45	39	34	32	0.000045	0.000039	0.000034	0.000032	9.45	8.19	7.14	6.72
2	54	45	35	31	0.000054	0.000045	0.000035	0.000031	11.34	9.45	7.35	6.51
3	38	33	27	25	0.000038	0.000033	0.000027	0.000025	7.98	6.93	5.67	5.25
4	45	42	36	33	0.000045	0.000042	0.000036	0.000033	9.45	8.82	7.56	6.93
5	75	69	61	55	0.000075	0.000069	0.000061	0.000055	15.75	14.49	12.81	11.55
6	96	91	88	78	0.000096	0.000091	0.000088	0.000078	20.16	19.11	18.48	16.38
7	123	111	107	87	0.000123	0.000111	0.000107	0.000087	25.83	23.31	22.47	18.27
8	134	125	123	100	0.000134	0.000125	0.000123	0.0001	28.14	26.25	25.83	21
9	140	129	127	105	0.00014	0.000129	0.000127	0.000105	29.4	27.09	26.67	22.05
10	146	131	121	96	0.000146	0.000131	0.000121	0.000096	30.66	27.51	25.41	20.16
11	145	133	126	99	0.000145	0.000133	0.000126	0.000099	30.45	27.93	26.46	20.79
12	157	145	140	118	0.000157	0.000145	0.00014	0.000118	32.97	30.45	29.4	24.78
13	220	202	192	177	0.00022	0.000202	0.000192	0.000177	46.2	42.42	40.32	37.17
14	317	282	273	249	0.000317	0.000282	0.000273	0.000249	66.57	59.22	57.33	52.29
15	378	339	334	304	0.000378	0.000339	0.000334	0.000304	79.38	71.19	70.14	63.84
16	431	391	392	358	0.000431	0.000391	0.000392	0.000358	90.51	82.11	82.32	75.18
17	484	443	452	413	0.000484	0.000443	0.000452	0.000413	101.64	93.03	94.92	86.73
18	536	496	513	471	0.000536	0.000496	0.000513	0.000471	112.56	104.16	107.73	98.91
19	589	548	578	532	0.000589	0.000548	0.000578	0.000532	123.69	115.08	121.38	111.72
20	640	601	642	593	0.00064	0.000601	0.000642	0.000593	134.4	126.21	134.82	124.53
21	690	654	705	655	0.00069	0.000654	0.000705	0.000655	144.9	137.34	148.05	137.55
22	747	714	778	727	0.000747	0.000714	0.000778	0.000727	156.87	149.94	163.38	152.67
23	805	772	851	797	0.000805	0.000772	0.000851	0.000797	169.05	162.12	178.71	167.37
24	858	825	913	855	0.000858	0.000825	0.000913	0.000855	180.18	173.25	191.73	179.55
25	903	870	968	905	0.000903	0.00087	0.000968	0.000905	189.63	182.7	203.28	190.05
26	946	915	1022	957	0.000946	0.000915	0.001022	0.000957	198.66	192.15	214.62	200.97
27	986	954	1071	999	0.000986	0.000954	0.001071	0.000999	207.06	200.34	224.91	209.79
28	1015	984	1109	1035	0.001015	0.000984	0.001109	0.001035	213.15	206.64	232.89	217.35
29	1045	1017	1151	1073	0.001045	0.001017	0.001151	0.001073	219.45	213.57	241.71	225.33
30	1071	1043	1182	1099	0.001071	0.001043	0.001182	0.001099	224.91	219.03	248.22	230.79
31	1087	1062	1208	1123	0.001087	0.001062	0.001208	0.001123	228.27	223.02	253.68	235.83
32	1106	1083	1236	1148	0.001106	0.001083	0.001236	0.001148	232.26	227.43	259.56	241.08
33	1124	1103	1262	1168	0.001124	0.001103	0.001262	0.001168	236.04	231.63	265.02	245.28
34	1134	1114	1277	1182	0.001134	0.001114	0.001277	0.001182	238.14	233.94	268.17	248.22
35	1146	1128	1297	1199	0.001146	0.001128	0.001297	0.001199	240.66	236.88	272.37	251.79
36	1158	1141	1316	1214	0.001158	0.001141	0.001316	0.001214	243.18	239.61	276.36	254.94
37	1168	1154	1334	1230	0.001168	0.001154	0.001334	0.00123	245.28	242.34	280.14	258.3
38	1180	1168	1354	1246	0.00118	0.001168	0.001354	0.001246	247.8	245.28	284.34	261.66
39	1191	1181	1372	1261	0.001191	0.001181	0.001372	0.001261	250.11	248.01	288.12	264.81
40	1201	1194	1392	1277	0.001201	0.001194	0.001392	0.001277	252.21	250.74	292.32	268.17
41	1212	1207	1411	1293	0.001212	0.001207	0.001411	0.001293	254.52	253.47	296.31	271.53
42	1223	1220	1431	1308	0.001223	0.00122	0.001431	0.001308	256.83	256.2	300.51	274.68
43	1233	1233	1451	1324	0.001233	0.001233	0.001451	0.001324	258.93	258.93	304.71	278.04
44	1243	1247	1472	1339	0.001243	0.001247	0.001472	0.001339	261.03	261.87	309.12	281.19
45	1253	1259	1492	1355	0.001253	0.001259	0.001492	0.001355	263.13	264.39	313.32	284.55
46	1263	1273	1514	1370	0.001263	0.001273	0.001514	0.00137	265.23	267.33	317.94	287.7
47	1267	1276	1516	1361	0.001267	0.001276	0.001516	0.001361	266.07	267.96	318.36	285.81
48	1423	1289	1541	1433	0.001423	0.001289	0.001541	0.001433	298.83	270.69	323.526	300.93
49	1623	1299	1558	1633	0.001623	0.001299	0.001558	0.001633	340.83	272.811	327.138	342.93
50	1667	1309	1575	1772	0.001667	0.001309	0.001575	0.001772	350.07	274.932	330.75	372.12
51	1688	1319	1592	1785	0.001688	0.001319	0.001592	0.001785	354.48	277.053	334.362	374.85
52	1812	1577	1609	1834	0.001812	0.001577	0.001609	0.001834	380.52	331.17	337.974	385.14
53	1960	1734	1627	1895	0.00196	0.001734	0.001627	0.001895	411.6	364.14	341.586	397.95

Radius 8 mm 30% yield

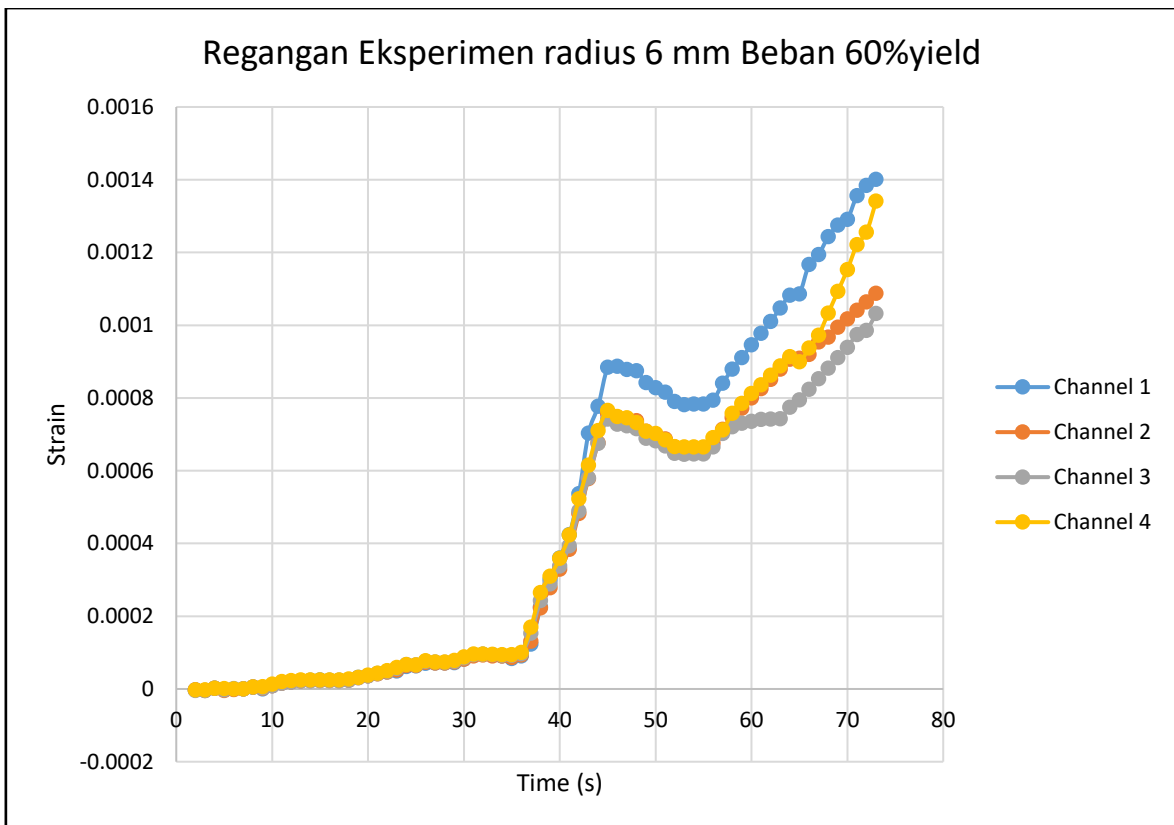
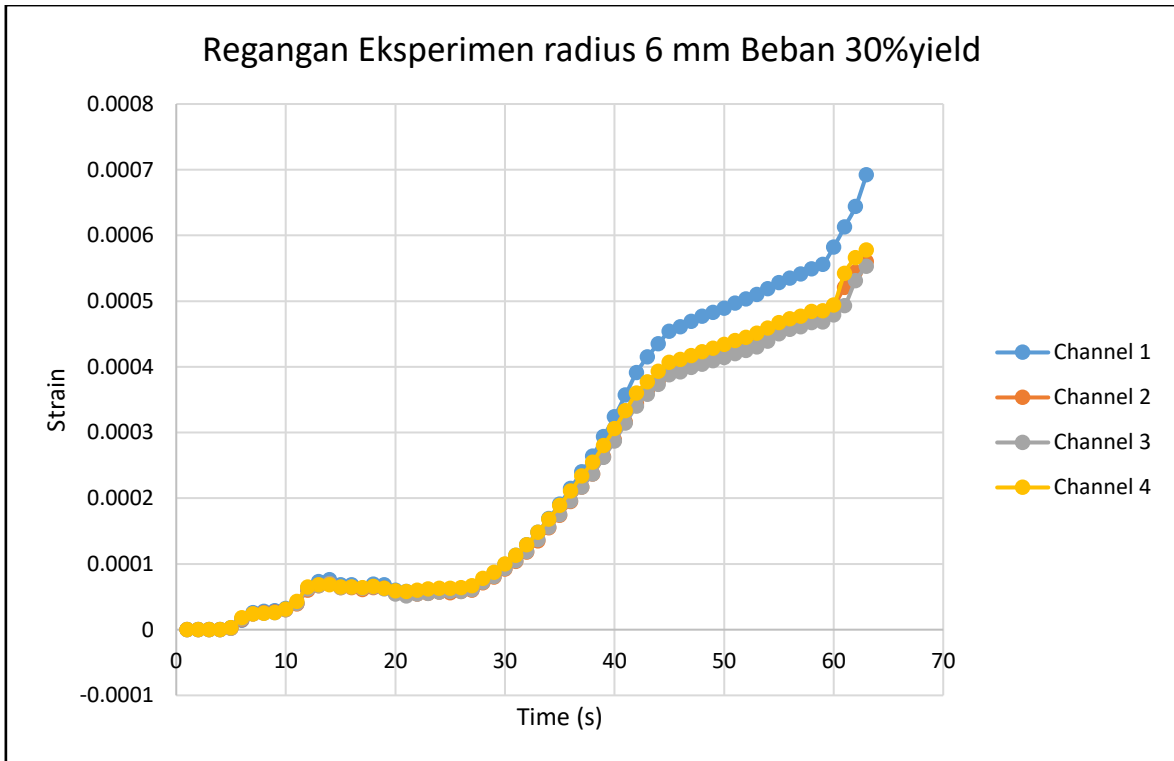
8 mm gaya 30% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	3	3	-1	-2	0.000003	0.000003	-1E-06	-2E-06	0.63	0.63	-0.21	-0.42
2	3	3	3	3	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003	0.63	0.63	0.63	0.63
3	3	3	3	3	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003	0.63	0.63	0.63	0.63
4	8	10	12	12	0.000008	0.00001	0.000012	0.000012	1.68	2.1	2.52	2.52
5	16	20	23	25	0.000016	0.00002	0.000023	0.000025	3.36	4.2	4.83	5.25
6	16	21	24	26	0.000016	0.000021	0.000024	0.000026	3.36	4.41	5.04	5.46
7	17	22	26	28	0.000017	0.000022	0.000026	0.000028	3.57	4.62	5.46	5.88
8	18	21	25	37	0.000018	0.000021	0.000025	3.69E-05	3.78	4.41	5.25	7.742
9	20	25	30	43	0.00002	0.000025	0.00003	4.28E-05	4.2	5.25	6.3	8.984
10	32	37	41	49	0.000032	0.000037	0.000041	4.87E-05	6.72	7.77	8.61	10.226
11	46	48	49	55	0.000046	0.000048	0.000049	5.46E-05	9.66	10.08	10.29	11.468
12	61	58	56	61	0.000061	0.000058	0.000056	6.05E-05	12.81	12.18	11.76	12.71
13	74	67	62	115	0.000074	0.000067	0.000062	0.000115	15.54	14.07	13.02	24.15
14	91	78	68	245	0.000091	0.000078	0.000068	0.000245	19.11	16.38	14.28	51.45
15	93	82	73	286	0.000093	0.000082	0.000073	0.000286	19.53	17.22	15.33	60.06
16	118	101	86	356	0.000118	0.000101	0.000086	0.000356	24.78	21.21	18.06	74.76
17	134	110	92	423	0.000134	0.00011	0.000092	0.000423	28.14	23.1	19.32	88.83
18	139	111	88	456	0.000139	0.000111	0.000088	0.000456	29.19	23.31	18.48	95.76
19	136	111	89	547	0.000136	0.000111	0.000089	0.000547	28.56	23.31	18.69	114.87
20	134	112	99	556	0.000134	0.000112	0.000099	0.000556	28.14	23.52	20.79	116.76
21	169	138	112	576	0.000169	0.000138	0.000112	0.000576	35.49	28.98	23.52	120.96
22	197	158	125	589	0.000197	0.000158	0.000125	0.000589	41.37	33.18	26.25	123.62
23	236	184	138	603	0.000236	0.000184	0.000138	0.000603	49.56	38.64	28.98	126.665
24	267	205	151	618	0.000267	0.000205	0.000151	0.000618	56.07	43.05	31.71	129.71
25	337	254	181	632	0.000337	0.000254	0.000181	0.000632	70.77	53.34	38.01	132.755
26	446	330	228	647	0.000446	0.00033	0.000228	0.000647	93.66	69.3	47.88	135.8
27	547	399	274	661	0.000547	0.000399	0.000274	0.000661	114.87	83.79	57.54	138.845
28	640	466	322	676	0.00064	0.000466	0.000322	0.000676	134.4	97.86	67.62	141.89
29	738	538	374	690	0.000738	0.000538	0.000374	0.00069	154.98	112.98	78.54	144.935
30	825	601	420	756	0.000825	0.000601	0.00042	0.000756	173.25	126.21	88.2	158.76
31	896	655	462	783	0.000896	0.000655	0.000462	0.000783	188.16	137.55	97.02	164.43

Radius 8 mm 60% yield

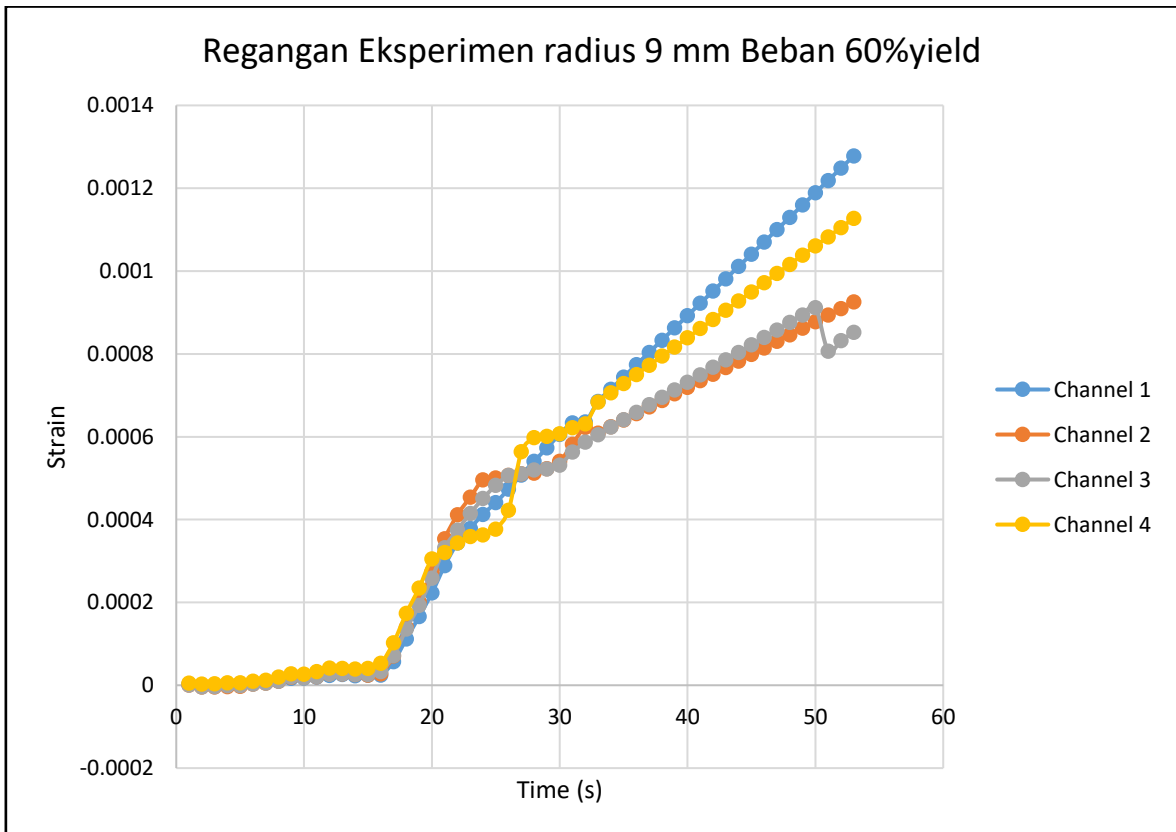
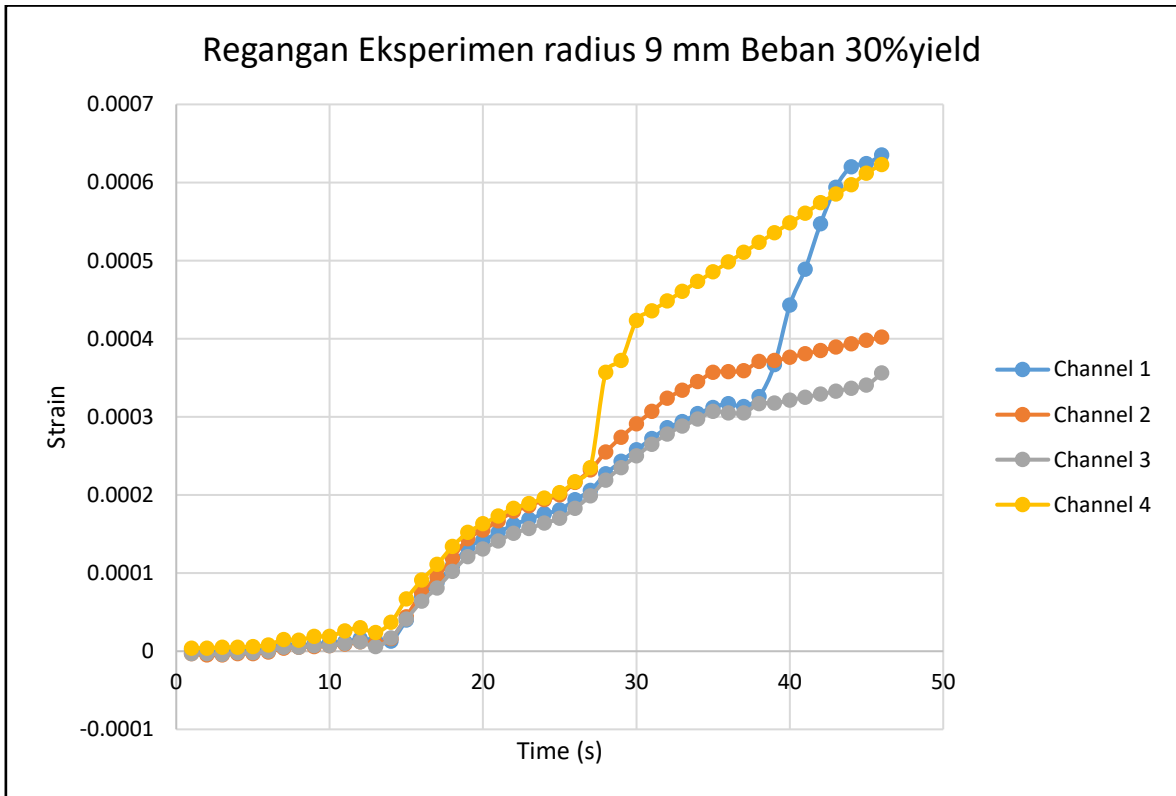
8 mm gaya 60% yield												
No.	ch 1	ch 2	ch 3	ch 4	0.000001			E	210000			
1	37	34	32	33	0.000037	0.000034	0.000032	0.000033	7.77	7.14	6.72	6.93
2	39	37	35	35	0.000039	0.000037	0.000035	0.000035	8.19	7.77	7.35	7.35
3	37	38	37	38	0.000037	0.000038	0.000037	0.000038	7.77	7.98	7.77	7.98
4	46	46	44	67	0.000046	0.000046	0.000044	0.000067	9.66	9.66	9.24	14.07
5	67	65	60	88	0.000067	0.000065	0.000060	0.000088	14.07	13.65	12.6	18.48
6	95	85	77	92	0.000095	0.000085	0.000077	0.000092	19.95	17.85	16.17	19.32
7	116	99	86	119	0.000116	0.000099	0.000086	0.000119	24.36	20.79	18.06	24.99
8	139	115	96	146	0.000139	0.000115	0.000096	0.000146	29.19	24.15	20.16	30.66
9	139	113	93	147	0.000139	0.000113	0.000093	0.000147	29.19	23.73	19.53	30.87
10	140	115	94	178	0.000140	0.000115	0.000094	0.000178	29.4	24.15	19.74	37.38
11	139	116	98	192	0.000139	0.000116	0.000098	0.000192	29.19	24.36	20.58	40.32
12	132	125	114	243	0.000132	0.000125	0.000114	0.000243	27.72	26.25	23.94	51.03
13	178	153	122	267	0.000178	0.000153	0.000122	0.000267	37.38	32.13	25.62	56.07
14	253	202	159	386	0.000253	0.000202	0.000159	0.000386	53.13	42.42	33.39	81.06
15	327	256	196	403	0.000327	0.000256	0.000196	0.000403	68.67	53.76	41.16	84.63
16	405	313	240	405	0.000405	0.000313	0.00024	0.000405	85.05	65.73	50.4	85.05
17	471	365	284	492	0.000471	0.000365	0.000284	0.000492	98.91	76.65	59.64	103.32
18	532	414	326	521	0.000532	0.000414	0.000326	0.000521	111.72	86.94	68.46	109.41
19	592	463	369	591	0.000592	0.000463	0.000369	0.000591	124.32	97.23	77.49	124.11
20	652	512	411	643	0.000652	0.000512	0.000411	0.000643	136.92	107.52	86.31	135.03
21	712	558	449	732	0.000712	0.000558	0.000449	0.000732	149.52	117.18	94.29	153.72
22	764	600	484	754	0.000764	0.000600	0.000484	0.000754	160.44	126	101.64	158.34
23	815	639	516	824	0.000815	0.000639	0.000516	0.000824	171.15	134.19	108.36	173.04
24	867	679	547	856	0.000867	0.000679	0.000547	0.000856	182.07	142.59	114.87	179.76
25	922	719	578	933	0.000922	0.000719	0.000578	0.000933	193.62	150.99	121.38	195.93
26	978	761	609	976	0.000978	0.000761	0.000609	0.000976	205.38	159.81	127.89	204.96
27	1034	802	642	1088	0.001034	0.000802	0.000642	0.001088	217.14	168.42	134.82	228.48
28	1091	845	677	1099	0.001091	0.000845	0.000677	0.001099	229.11	177.45	142.17	230.79
29	1147	889	715	1156	0.001147	0.000889	0.000715	0.001156	240.87	186.69	150.15	242.76
30	1205	935	753	1198	0.001205	0.000935	0.000753	0.001198	253.05	196.35	158.13	251.58
31	1264	980	794	1245	0.001264	0.000980	0.000794	0.001245	265.44	205.8	166.74	261.45
32	1325	1027	836	1567	0.001325	0.001027	0.000836	0.001567	278.25	215.67	175.56	329.07
33	1387	1075	879	1779	0.001387	0.001075	0.000879	0.001779	291.27	225.75	184.59	373.59
34	1452	1124	923	1819	0.001452	0.001124	0.000923	0.001819	304.92	236.04	193.83	381.99
35	1528	1177	970	1859	0.001528	0.001177	0.000970	0.001859	320.88	247.17	203.7	390.39
36	1612	1231	1019	1899	0.001612	0.001231	0.001019	0.001899	338.52	258.51	213.99	398.79
37	1675	1285	1068	1939	0.001675	0.001285	0.001068	0.001939	351.75	269.85	224.28	407.19
38	1791	1335	1111	1979	0.001791	0.001335	0.001111	0.001979	376.11	280.35	233.31	415.59

f. Grafik Regangan Eksperimen Pengujian Tarik

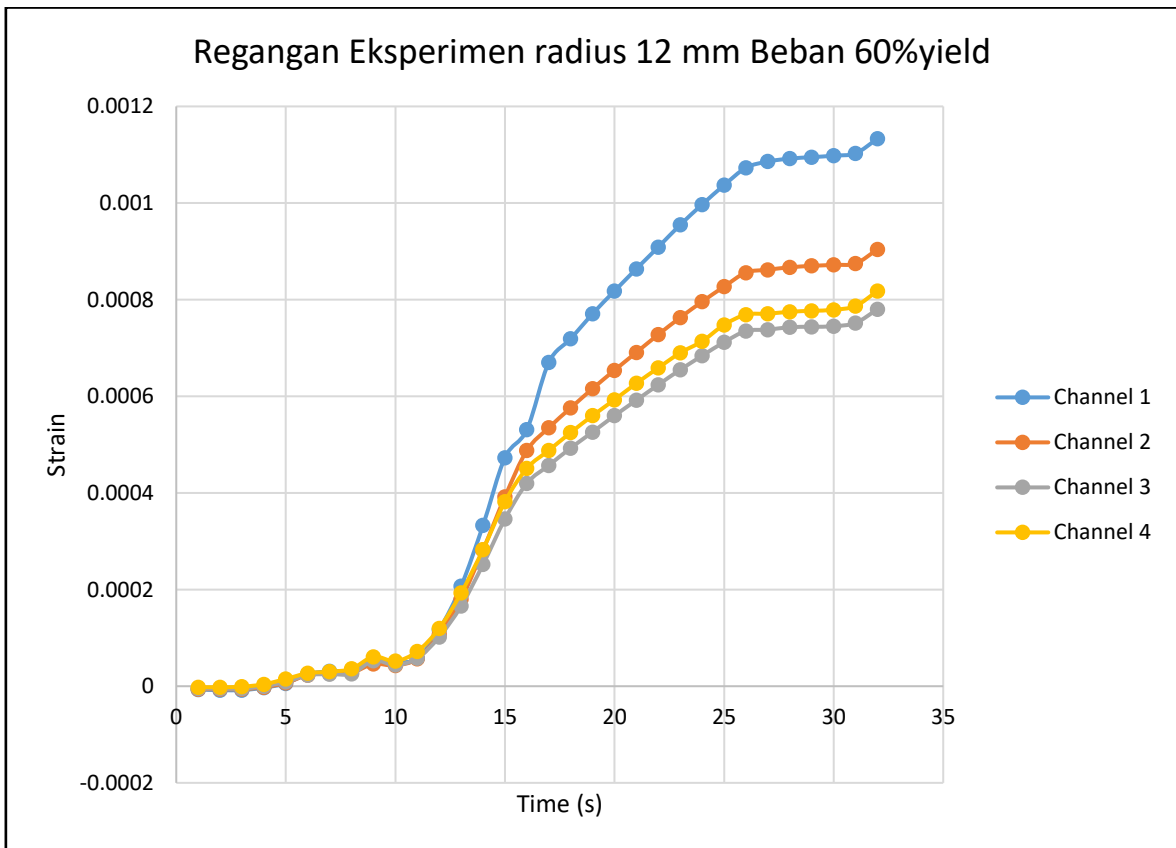
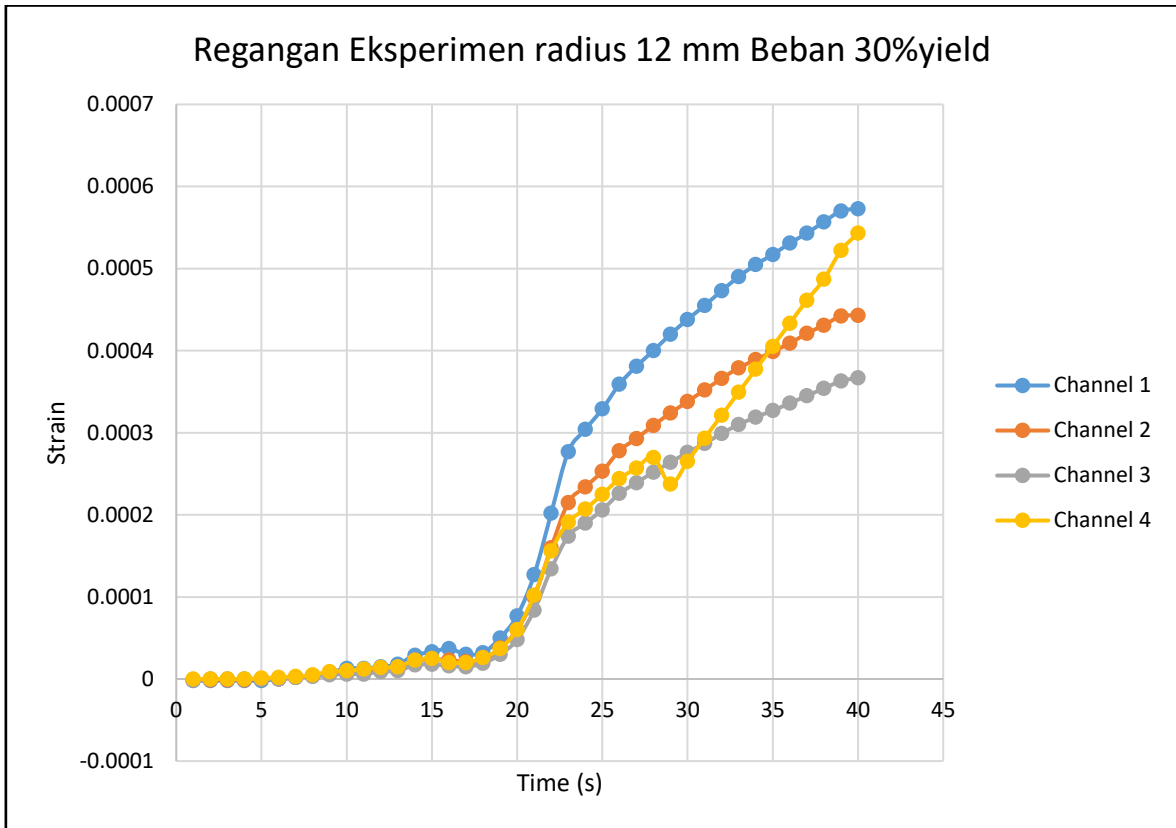
Radius 6 mm



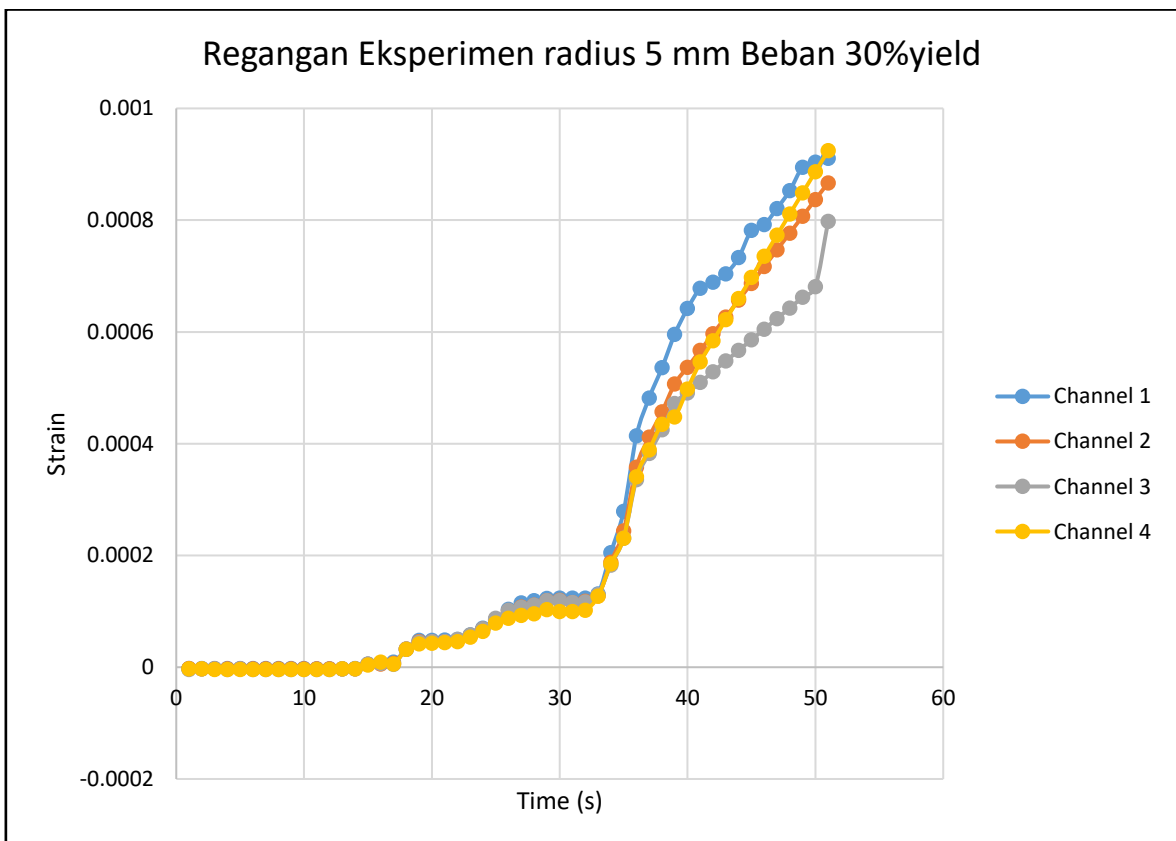
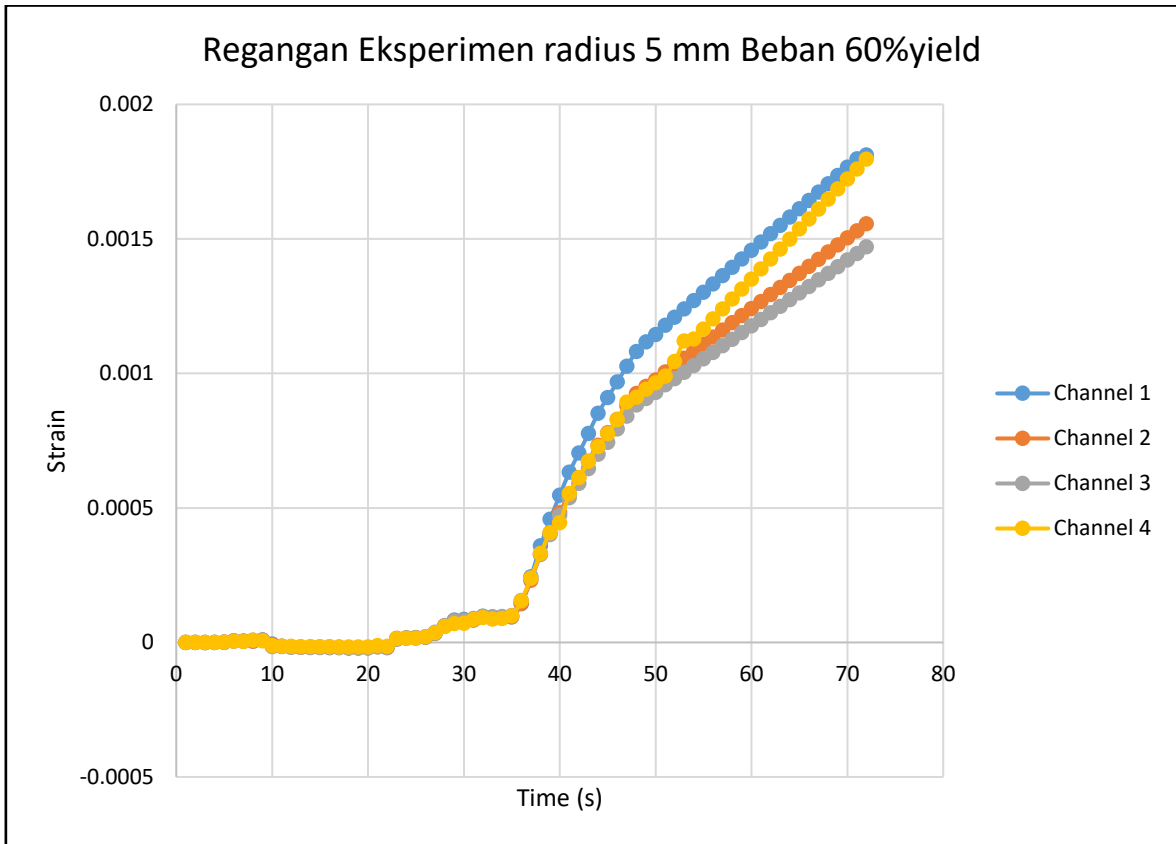
Radius 9 mm



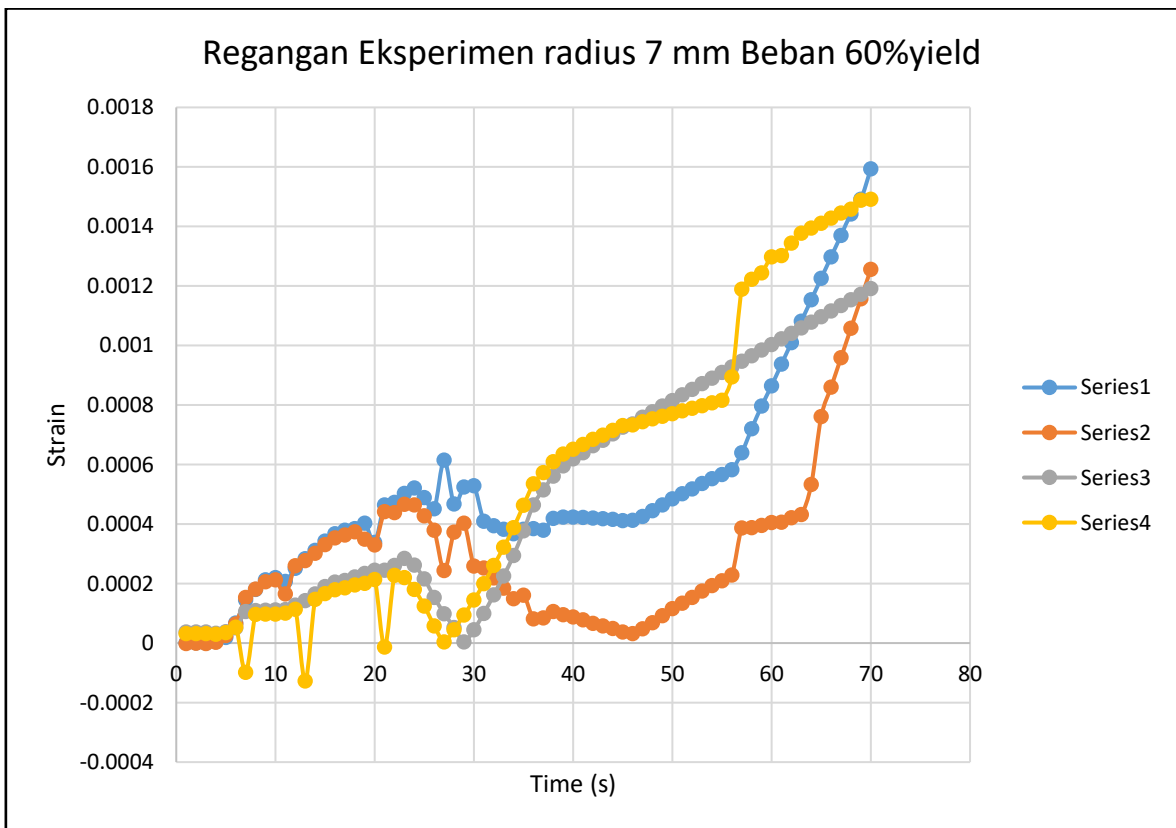
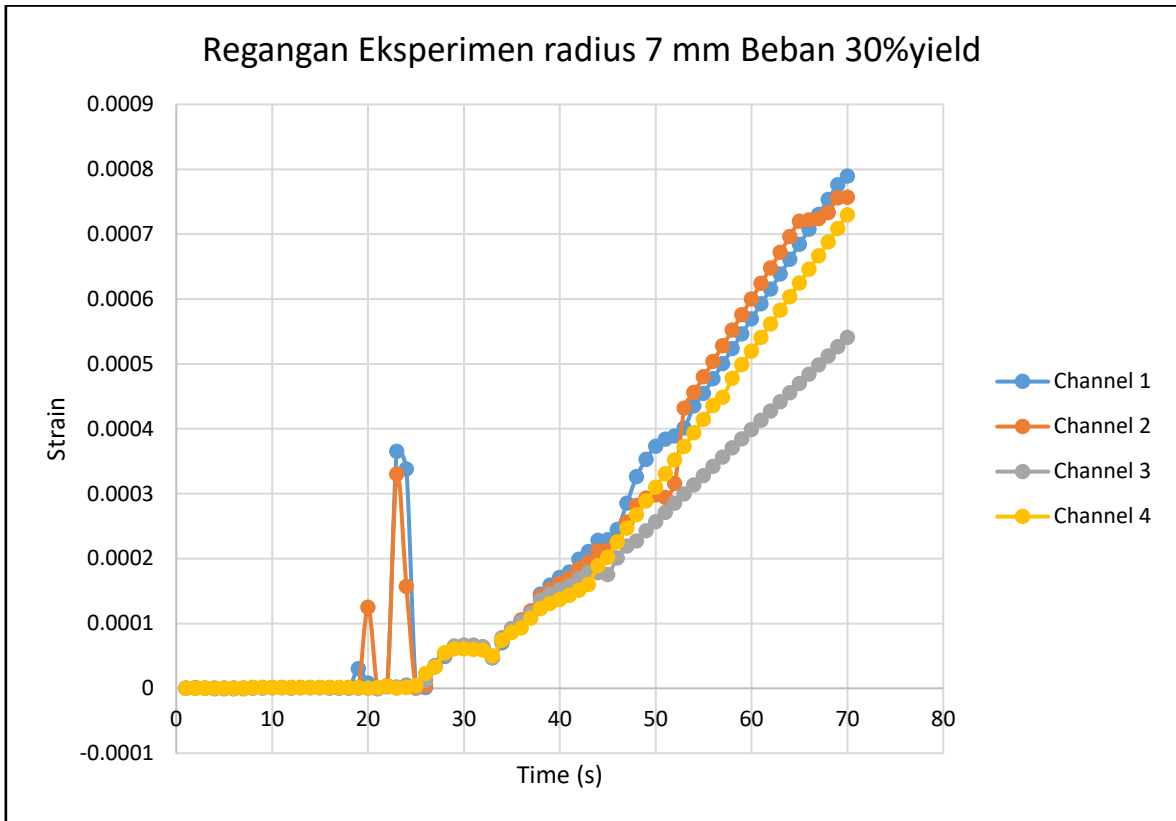
Radius 12 mm



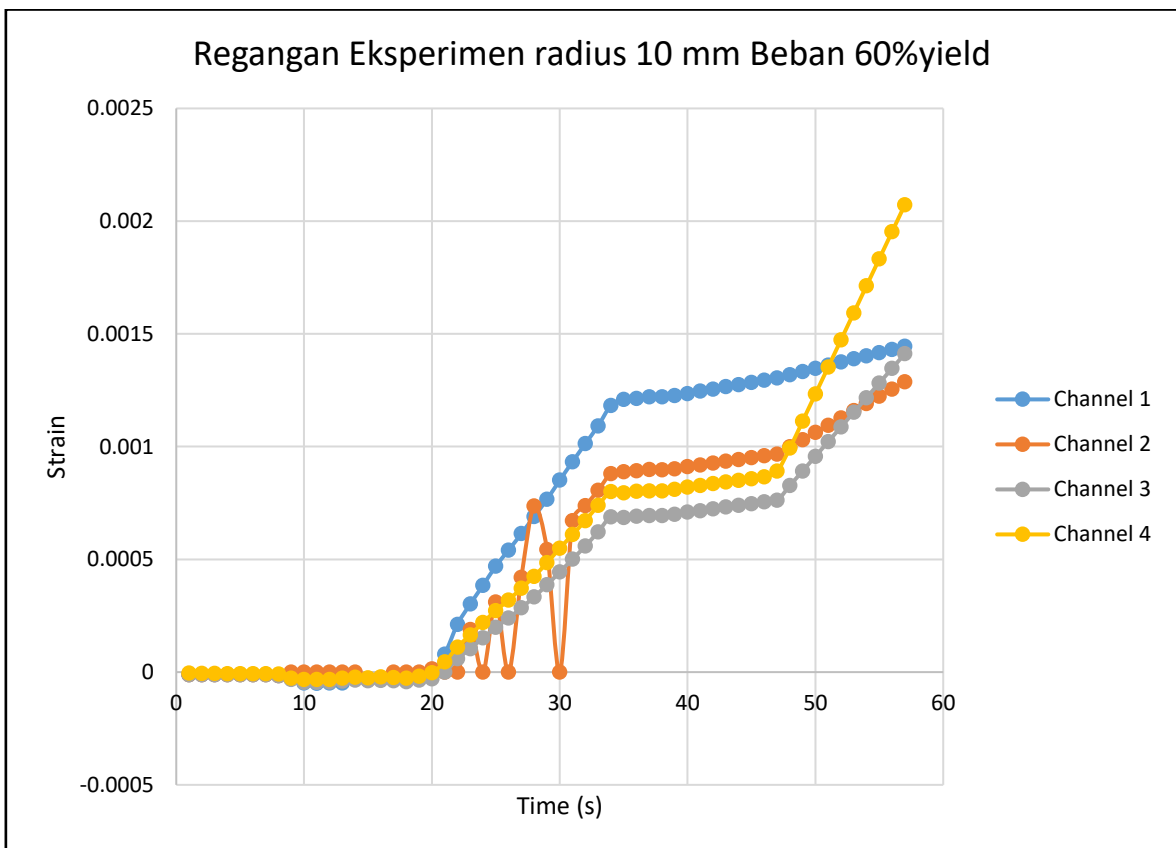
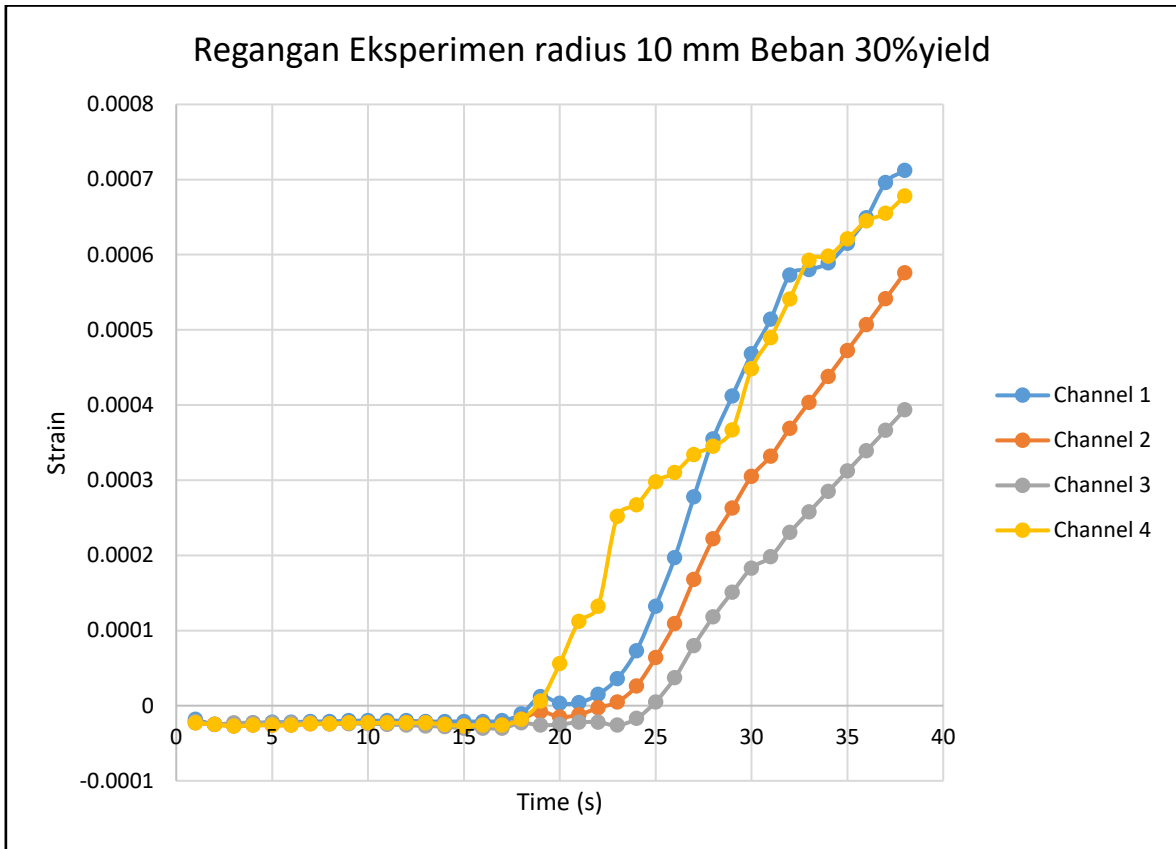
Radius 5 mm



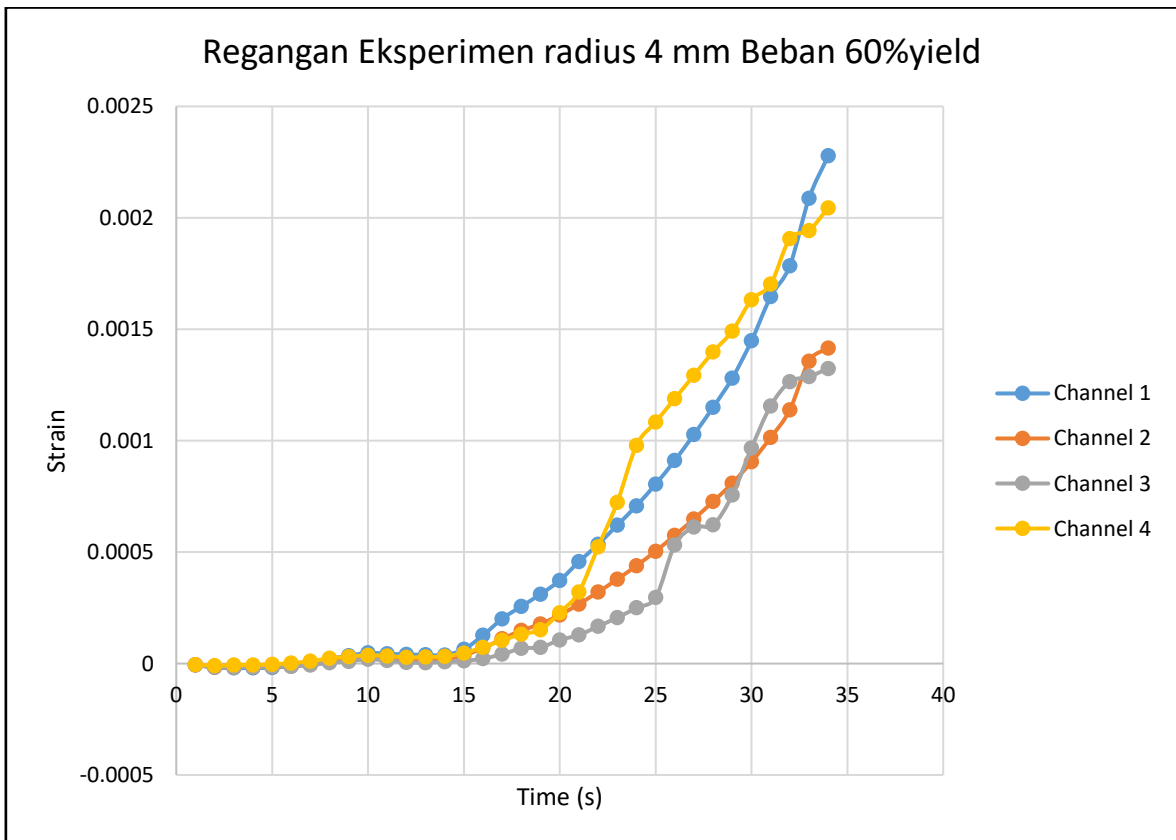
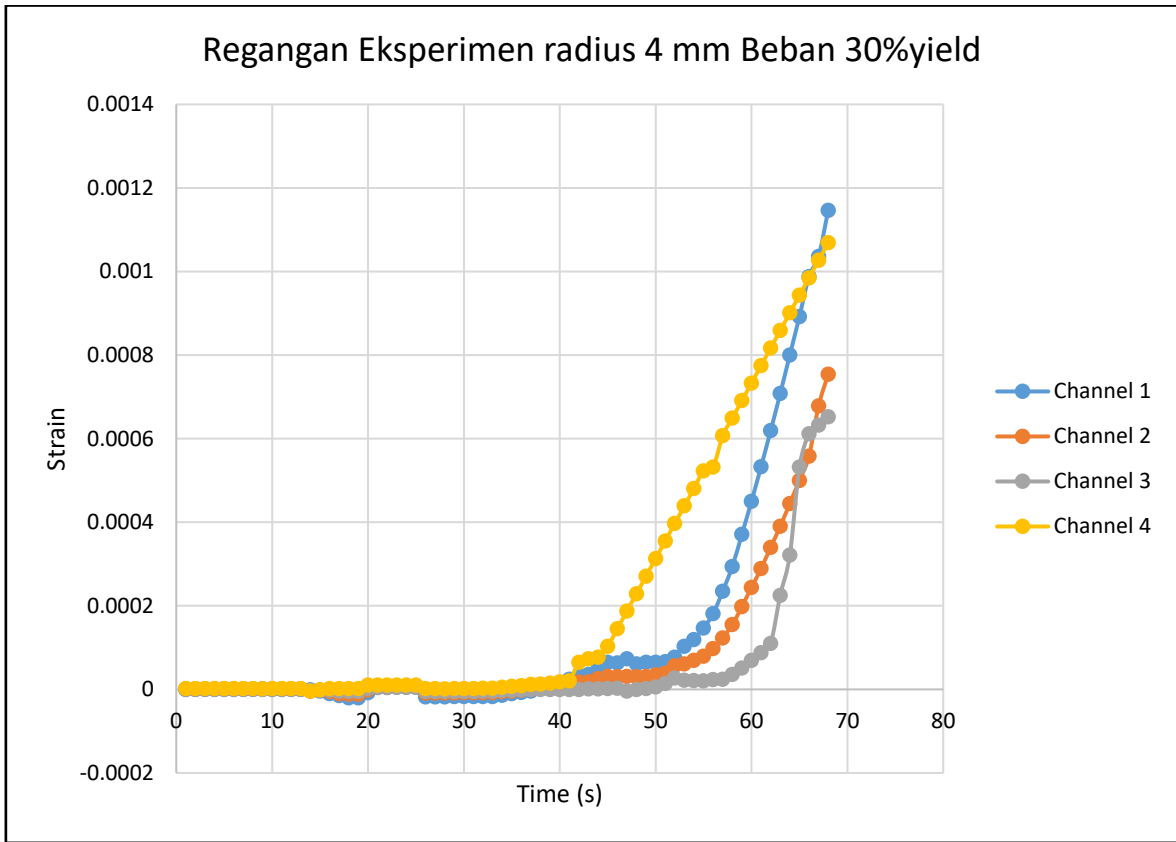
Radius 7 mm



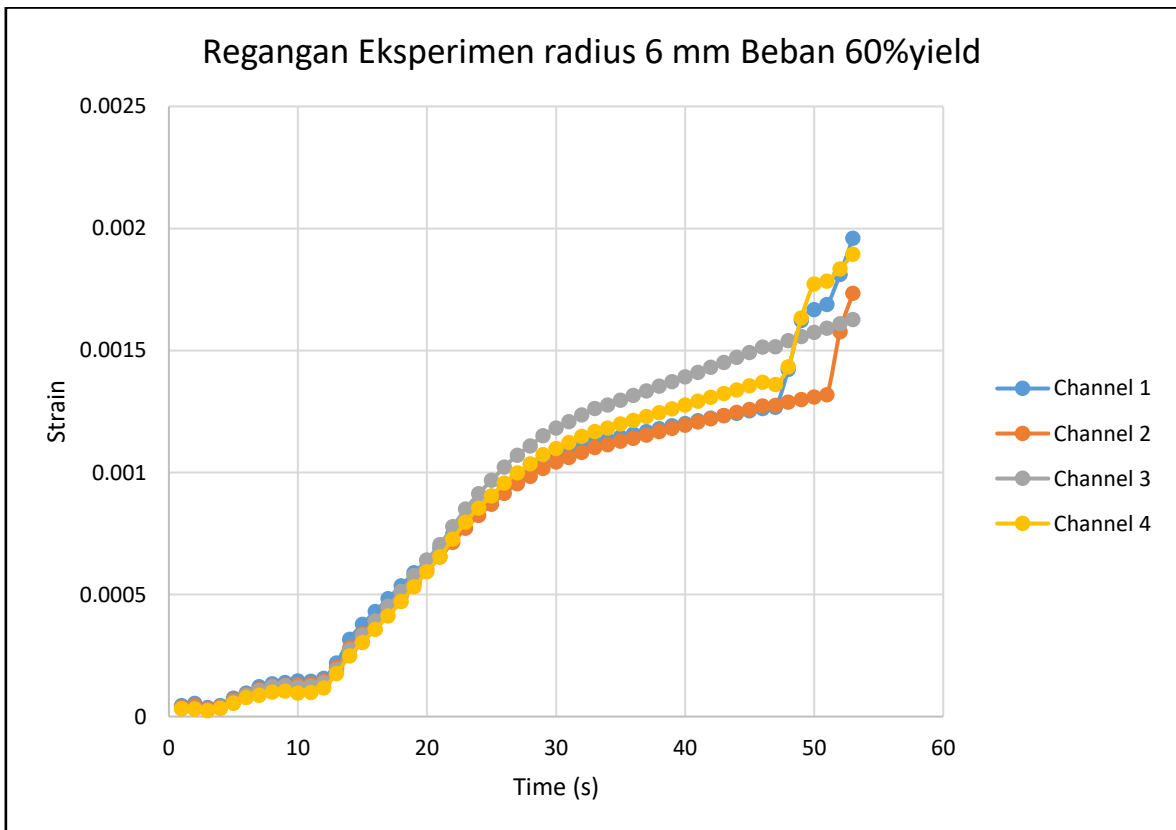
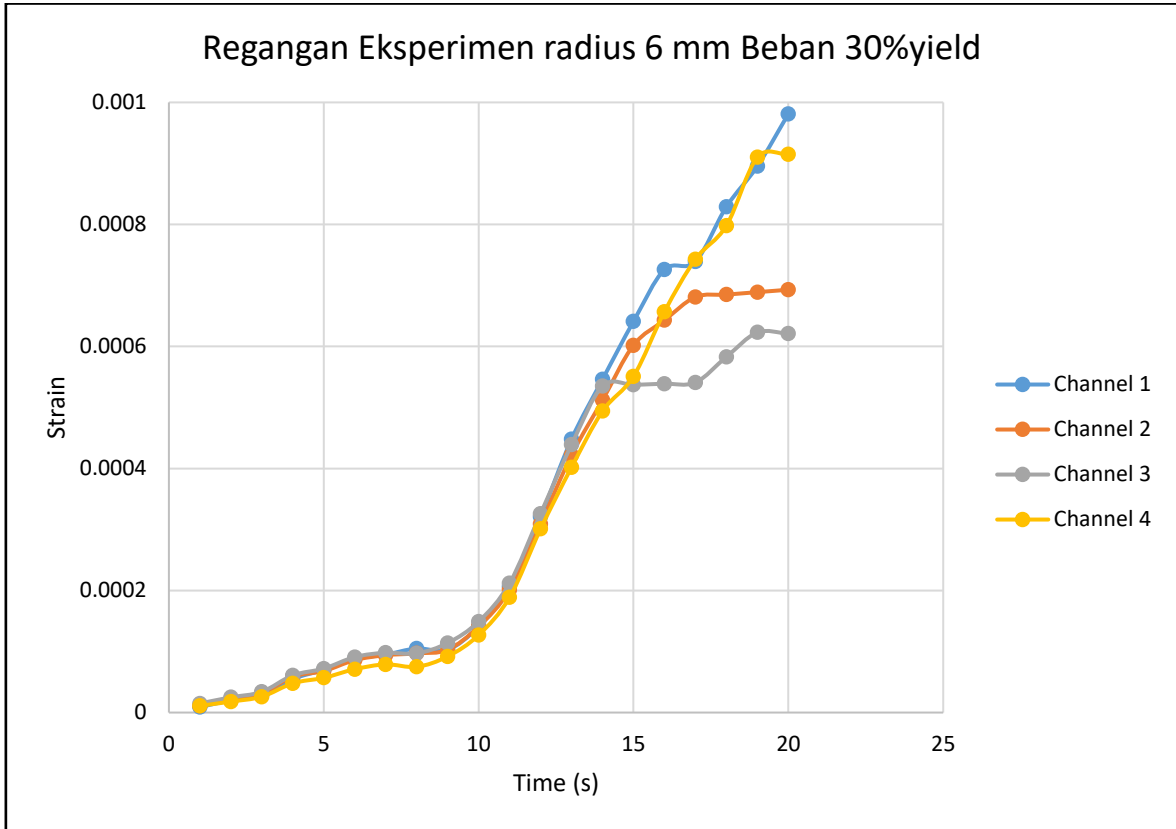
Radius 10 mm



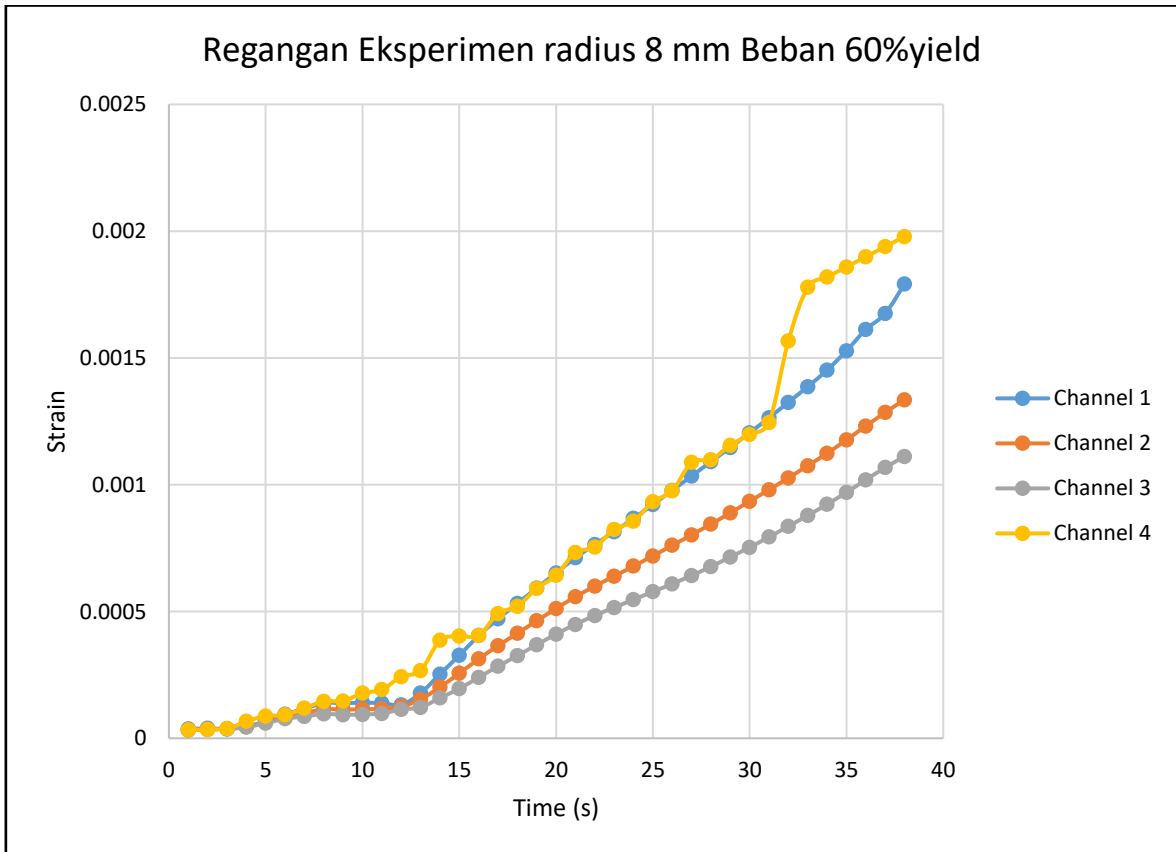
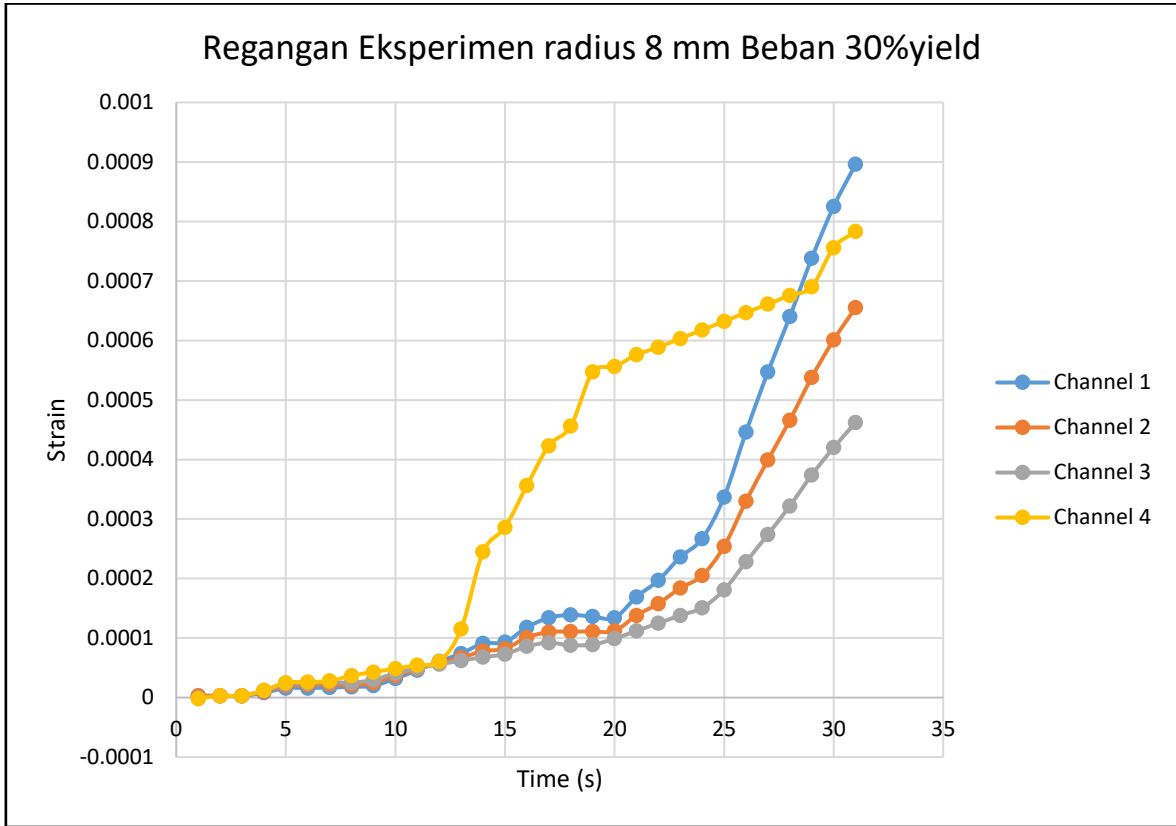
Radius 4 mm



Radius 6 mm



Radius 8 mm



BIODATA PENULIS



Penulis bernama Andika Dayongki Siputra merupakan anak pertama dari 2 bersaudara, Ayah dari penulis bernama Sunarto dan ibu dari penulis bernama Dayuk. Lahir pada tanggal 11 Juli 1994, di Kota Jombang, Jawa Timur. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal dasar selama 6 tahun di SDN Wonorejo 274, jenjang menengah pertama di SMP Negeri 12 Kota Surabaya, jenjang menengah atas di SMA Negeri 16 Kota Surabaya, 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 dua perusahaan yaitu PT. LMI Lamongan dan PT. Avenir Surabaya. 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 2013-2014. Selain itu, penulis aktif dalam mengikuti kegiatan pengembangan diluar kampus sebagai pemain hoki SMA Negeri 16 Surabaya pada tahun 2013-2015. Penulis dapat dihubungi melalui andikadayongkisiputra@gmail.com.