



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS KONSENTRASI TEGANGAN PADA *ISOTROPIC CIRCULAR HOLE* DENGAN METODE NUMERIK DAN EKSPERIMEN**

**Akhmad Roni  
NRP 04111440000015**

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

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



---

**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS KONSENTRASI TEGANGAN PADA *ISOTROPIC CIRCULAR HOLE* DENGAN METODE NUMERIK DAN EKSPERIMEN**

**Akhmad Roni  
NRP 0411144000015**

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

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



**FINAL PROJECT - MN 184802**

***ANALYSIS STRESS CONCENTRATION ON ISOTROPIC  
CIRCULAR HOLE USING NUMERICAL AND  
EXPERIMENTAL METHODS***

**Akhmad Roni  
NRP 04111440000015**

**Supervisor(s)  
Totok Yulianto, S.T., M.T.  
M.Nurul Misbah, S.T., M.T.**

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

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS KONSENTRASI TEGANGAN PADA *ISOTROPIC CIRCULAR HOLE* DENGAN METODE 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:

**AKHMAD RONI**  
NRP 0411144000015

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II



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

Dosen Pembimbing I



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



Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

H. Wasis Dwi Arvawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 24 JANUARI 2020



## LEMBAR REVISI

# ANALISIS KONSENTRASI TEGANGAN PADA *ISOTROPIC CIRCULAR HOLE* DENGAN METODE NUMERIK DAN EKSPERIMEN

### TUGAS AKHIR

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

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

Oleh:

**AKHMAD RONI**  
NRP 0411144000015

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Danu Utama, S.T., M.T.
2. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
3. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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

The image shows three handwritten signatures in blue ink, each placed on a set of horizontal dashed lines. The first signature is at the top, the second is in the middle, and the third is at the bottom. The signatures are stylized and difficult to read.

SURABAYA, JANUARI 2020

*Dipersembahkan kepada diri sendiri,  
Bapak,  
Ibu  
serta orang-orang yang tidak pernah berhenti untuk berjuang*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang karena atas rahmat-Nya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

1. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. dan M. Nurul Misbah, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Kedua orang tua, dan saudara-saudara saya yang telah memberikan dukungan, kepercayaan, dan doa kepada saya, serta menjadi sumber motivasi terbesar saya hingga terselesaikannya penelitian ini;
3. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Bapak Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T., selaku Dosen Wali dan Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan yang telah memberikan dukungan secara moril;
5. Amelia Salsabila Putri yang sudah membantu, menyemangati, dan memberi motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
6. Chandra, Andhika Sembik, Haikal Pakde, Vivi, Fia, Audi, Wahyu dan Septian, sebagai teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir ini yang selalu memberikan bantuan dan wejangan;
7. Teman - teman seangkatan P54-Deadrise dan adek- adek tingkat Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang tidak bisa penulis sebut satu per satu yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir;
8. Teman - teman kontrakan Tuban Bhineka, Sigit, Okta, Abil, Sofwan dan Kasrun yang selalu menjadi tempat pulang ketika lelah;
9. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu;

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

Surabaya, Januari 2020

Akhmad Roni

# ANALISIS KONSENTRASI TEGANGAN PADA *ISOTROPIC CIRCULAR HOLE* DENGAN METODE NUMERIK DAN EKSPERIMEN

Nama Mahasiswa : Akhmad Roni  
NRP : 04111440000015  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Totok Yulianto, S.T., M.T.  
2. M.Nurul Misbah, S.T., M.T.

## ABSTRAK

Pengujian material untuk peningkatan produk pada revolusi industri 4.0 pada salah satu komponen utama pembangunan kapal yaitu baja, pengujian baja yang ingin diketahui adalah kondisi bila terjadi perubahan pembebanan atau perubahan konfigurasi atau pengujian terhadap sifat struktur. Bagian-bagian kapal yang memiliki konsentrasi tegangan terjadi pada daerah-daerah benda yang dimensinya berubah drastis, misalnya di sekitar lubang, *discontinuity*, *defect*, dll. Konsentrasi tegangan akan menurunkan umur fatik (*fatigue life*) sehingga perlu diperhatikan pada bagian yang terindikasi. Faktor konsentrasi tegangan dapat ditentukan melalui rasio tegangan maksimum dengan tegangan nominal, metode untuk menghitung nilai *stress concentration factor* dapat secara numerik menggunakan *Finite Element Analysis*, metode eksperimen dengan *strain gauge* merupakan pengujian baru untuk memperkirakan *stress concentration factor* pada material menggunakan pengujian yang sederhana dikembangkan dari pengujian *impact fracture test*. Dari hasil analisis model pelat baja SS400 berukuran 300 mm x 60 mm x 6 mm dengan variasi lubang lingkaran. Dilakukan variasi pembebanan tarik dengan gaya 30% dan 60%, pembebanan bending dengan gaya 30% dari yield material. Nilai SCF numerik dengan pembebanan tarik untuk diameter 6 mm yaitu 2,60 , 18 mm yaitu 2,32 dan 30 mm yaitu 2,14 sedangkan metode eksperimen diameter 6 mm yaitu 2,65 , 18 mm yaitu 2,33 dan 30 mm yaitu 2,15. Nilai SCF numerik dengan pembebanan bending untuk diameter 6 mm yaitu 2,01, 18 mm yaitu 1,59 dan 30 mm yaitu 1,43. SCF (*Stress Concentration Factor*) diperoleh dari analisis metode numerik dibandingkan dengan metode eksperimen terjadi selisih terbesar yaitu pembebanan tarik 1,94% dan bending yaitu 3,95%. . Nilai *stress concentration factor* pada pelat berlubang untuk variasi diameter mengalami perubahan tetapi dengan variasi pembebanan tarik nilai SCF tetap, sedangkan metode eksperimen pembebanan bending sensor *strain gauge* mengalami kerusakan pada gaya 15 KN.

Kata Kunci: *Stress Concentration Factor*, Elemen Hingga, *Strain gauge*, Roarks Formula, Pelat berlubang



# **ANALYSIS STRESS CONCENTRATION FACTOR ON ISOTROPIC CIRCULAR HOLE USING NUMERICAL AND EXPERIMENTAL METHODS**

Author : Akhmad Roni  
NRP : 0411144000015  
Dept. / Faculty : Departement of Naval Architecture/ Marine Technology  
Supervisors : 1. Totok Yulianto, S.T., M.T.  
2. M.Nurul Misbah, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Material testing for product improvement in the industrial revolution 4.0 on one of the main components of ship building is steel, steel testing that want to be known is the condition when there is a change in loading or changes in configuration or testing of the structural properties. Parts of the ship that have stress concentrations occur in areas of the object whose dimensions change dramatically, for example around holes, discontinuity, defects, etc. Stress concentration will decrease fatigue life so it needs to be considered in the indicated part. The stress concentration factor can be determined through the ratio of the maximum stress to the nominal stress, the method for calculating the value of stress concentration factor can numerically use Finite Element Analysis, the experimental method with strain gauge is a new test for estimating stress concentration factor in materials using a simple test developed from testing impact fracture test. From the results of the analysis of SS400 steel plate models measuring 300 mm x 60 mm x 6 mm with circular hole variations. Variation of tensile loading with 30% and 60% force, bending loading with 30% force from the material yield. Numerical SCF value with tensile loading for 6 mm diameter is 2.60, 18 mm is 2.32 and 30 mm is 2.14 while the experimental method for diameter 6 mm is 2.65, 18 mm is 2.33 and 30 mm is 2, 15. The numerical SCF value with bending load for 6 mm diameter is 2.01, 18 mm is 1.59 and 30 mm is 1.43. SCF (Stress Concentration Factor) obtained from numerical method analysis compared to the experimental method, the biggest difference occurred, namely tensile loading of 1.94% and bending of 3.95%. . The value of stress concentration factor in the perforated plate for the variation of the diameter changes but with the variation of the tensile loading the SCF value remains, while the experimental method of loading the strain gauge bending sensor is damaged at 15KN force.

Keywords: Stress Concentration Factor, Finite Element, Strain gauge, Roarks Formula  
Perforated plate

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR REVISI .....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR SIMBOL.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat .....	2
1.6 Hipotesis.....	2
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	3
2.1 Dasar Teori.....	3
2.1.1 Tegangan ( <i>Stress</i> ).....	3
2.1.2 Regangan ( <i>Strain</i> ) .....	4
2.1.3 Hubungan Tegangan dan Regangan.....	5
2.1.4 Elastisitas dan Plastisitas.....	6
2.1.5 Deformasi.....	6
2.1.6 Batas Luluh ( <i>Yield Point</i> ).....	7
2.1.7 Pengujian Tarik .....	7
2.1.8 Pengujian Bending .....	8
2.1.9 Konsep Metode Elemen Hingga .....	9
2.1.10 Konvergensi .....	10
2.1.11 Kondisi Batas.....	10
2.1.12 Jenis Tegangan.....	11
2.2 Tinjauan Pustaka .....	12
2.2.1 Konsep Faktor Konsentrasi Tegangan .....	12
2.2.2 <i>Defect</i> .....	13
2.2.3 Konsep Metode Element Hingga .....	14
2.2.4 Prinsip Kerja <i>Strain gauge</i> .....	14
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
3.5 Konvergensi .....	28
3.6 Analisis Tegangan.....	31
3.7 Langkah Pengujian Eksperimen.....	32

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1. Analisis Hasil dan Pembahasan .....	35
4.1.1. Model tarik pelat berlubang diameter 3 mm.....	35
4.1.2. Model tarik pelat berlubang diameter 6 mm.....	37
4.1.3. Model tarik pelat berlubang diameter 18 mm .....	38
4.1.4. Model tarik pelat berlubang diameter 30 mm.....	40
4.2 Distribusi Tegangan Pengujian Tarik.....	41
4.2.1 Pengaruh Variasi Diameter terhadap Distribusi Tegangan Pengujian Tarik .....	43
4.3 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Tarik .....	44
4.3.1 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Tarik Metode Numerik .....	45
4.3.2 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Tarik Metode Empiris.....	46
4.3.3 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Tarik Metode Eksperimen .....	46
4.3.4 Hasil SCF Numerik, Rumus Empiris dan Eksperimen Pengujian Tarik .....	48
4.4 Analisis Tegangan Pengujian Bending .....	50
4.4.1 Tegangan Model Bending Pelat Berlubang .....	51
4.4.2 Distribusi Tegangan Pengujian Bending .....	53
4.4.3 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Bending Metode Numerik .....	56
4.4.4 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Bending Metode Empiris.....	57
4.4.5 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Bending Metode Eksperimen .....	58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	61
5.1. Kesimpulan .....	61
5.2. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	63

#### LAMPIRAN

LAMPIRAN A Hasil Pengujian Material

LAMPIRAN B Distribusi Tegangan Metode Numerik

dst.

#### BIODATA PENULIS

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Stress-Strain diagram .....	5
Gambar 2.2 Benda kerja bertambah panjang L ketika diberi beban P.....	8
Gambar 2.3 Hubungan antara jumlah elemen dan parameter fungsinya .....	10
Gambar 2.4 SCF Pelat berlubang pengujian tarik .....	13
Gambar 2.5 SCF pelat berlubang pengujian bending .....	13
Gambar 2.6 Struktur bentuk Strain Gauge.....	15
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 Create Part.....	22
Gambar 3.5 Model diameter 3 mm .....	23
Gambar 3.6 Model diameter 6 mm .....	23
Gambar 3.7 Model diameter 18 mm .....	23
Gambar 3.8 Model diameter 30 mm .....	24
Gambar 3.9 Pendefinisian Material .....	24
Gambar 3.10 Produk Assembly .....	25
Gambar 3.11 Pengaturan Step.....	26
Gambar 3.12 Kondisi Batas Pada Model Uji Tarik .....	26
Gambar 3.13 Kondisi Batas Pada Model Uji Bending .....	27
Gambar 3.14 Pemberian ukuran elemen .....	27
Gambar 3.15 Pengaturan running .....	28
Gambar 3.16 Element C3D8R- 8 Node Bricks.....	29
Gambar 3.17 Konvergensi Model 1 .....	29
Gambar 3.18 Konvergensi Model 2.....	30
Gambar 3.19 Konvergensi Model 3.....	31
Gambar 3.20 Desain material pengujian 1 .....	32
Gambar 3.21 Desain material pengujian 2.....	32
Gambar 3.22 Desain material pengujian 3.....	33
Gambar 3.23 Desain material pengujian 4.....	33
Gambar 3.24 Pengamplasan material .....	33
Gambar 3.25 Pemasangan sensor strain gauge .....	34
Gambar 3.26 Pengujian Tarik .....	34
Gambar 4.1 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 30% yield d 3 mm .....	35
Gambar 4.2 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 60% yield d 3 mm .....	36
Gambar 4.3 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 90% yield d 3 mm .....	36
Gambar 4.4 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 30% yield d 6 mm .....	37
Gambar 4.5 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 60% yield d 6 mm .....	37
Gambar 4.6 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 90% yield d 6 mm .....	38
Gambar 4.7 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 30% yield d 18 mm .....	38
Gambar 4.8 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 60% yield d 18 mm .....	39
Gambar 4.9 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 90% yield d 18 mm .....	39
Gambar 4.10 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 30% yield d 30 mm .....	40
Gambar 4.11 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 60% yield d 30 mm .....	40

Gambar 4.12 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 90% yield d 30 mm.....	41
Gambar 4.13 Distribusi Tegangan Tarik diameter lubang 3 mm .....	41
Gambar 4.14 Distribusi Tegangan Tarik diameter lubang 6 mm .....	42
Gambar 4.15 Distribusi Tegangan Tarik diameter lubang 18 mm .....	42
Gambar 4.16 Distribusi Tegangan Tarik diameter lubang 30 mm .....	43
Gambar 4.17 Distribusi Tegangan Pengaruh Variasi Diameter Beban 60% .....	44
Gambar 4.18 SCF Pengujian Tarik Beban 30% yield .....	48
Gambar 4.19 SCF Pengujian Tarik Beban 60% yield .....	49
Gambar 4.20 SCF Pengujian Tarik Beban 90% yield .....	49
Gambar 4.21 Rata-rata SCF Pembebanan Tarik .....	50
Gambar 4.22 Tegangan bending arah sumbu Y pelat berlubang diameter 3 mm .....	51
Gambar 4.23 Tegangan bending arah sumbu Y pelat berlubang diameter 6 mm .....	51
Gambar 4.24 Tegangan bending arah sumbu Y pelat berlubang diameter 18 mm .....	52
Gambar 4.25 Tegangan bending arah sumbu Y pelat berlubang diameter 30 mm .....	52
Gambar 4.26 Distribusi Tegangan Bending diameter lubang 3 mm .....	53
Gambar 4.27 Distribusi Tegangan Bending diameter lubang 6 mm .....	53
Gambar 4.28 Distribusi Tegangan Bending diameter lubang 18 mm .....	54
Gambar 4.29 Distribusi Tegangan Bending diameter lubang 30 mm .....	54
Gambar 4.30 Distribusi Tegangan Pengujian Bending Pengaruh Variasi Diameter.....	55
Gambar 4.31 SCF Pengujian Bending metode Numerik.....	56
Gambar 4.32 SFC Bending Roark's Formula .....	57
Gambar 4.33 SCF Pengujian Bending metode Eksperimen.....	59
Gambar 4.34 SCF Bending.....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Notasi Kondisi Batas .....	11
Tabel 3.1 Hasil Pengujian Tarik Material SS400 .....	21
Tabel 3.2 Konvergensi Model 1 .....	29
Tabel 3.3 Konvergensi Model 2 .....	30
Tabel 3.4 Konvergensi model 3 .....	31
Tabel 4.1 Perbedaan Distribusi Tegangan Numerik dan Eksperimen .....	44
Tabel 4.2 Tegangan Tarik arah Sumbu Y beban 30% yield .....	45
Tabel 4.3 Tegangan Tarik arah Sumbu Y beban 60% yield .....	45
Tabel 4.4 Tegangan Tarik arah Sumbu Y beban 90% yield .....	46
Tabel 4.5 Perhitungan SCF Tarik Empiris (Roarks Formula) .....	46
Tabel 4.6 Tegangan Eksperimen Pengujian Tarik .....	47
Tabel 4.7 Stress concentration factor metode eksperimen pengujian tarik .....	47
Tabel 4.8 Perbandingan Perhitungan SCF .....	48
Tabel 4.9 Rata-rata SCF Pembebanan Tarik .....	50
Tabel 4.10 Perbedaan Distribusi Tegangan Pembebanan Bending .....	55
Tabel 4.11 Tegangan Pengujian Bending metode Numerik .....	56
Tabel 4.12 Perhitungan SCF Bending Empiris (Roarks Formula) .....	57
Tabel 4.13 Tegangan Eksperimen Pengujian Bending .....	58
Tabel 4.14 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Bending metode Ekperimen .....	58
Tabel 4.15 Perbandingan SCF Pengujian Bending .....	59
Tabel 4.16 Selisih SCF Pengujian Bending .....	60



## DAFTAR SIMBOL

SCF	= Stress Concentratio Factor
$\rho$	= Massa jenis material ( $\text{kg.m}^{-3}$ )
F	= Gaya (N)
P	= Pressure ( $\text{N/ m}^2$ )
$\varepsilon$	= Regangan
E	= Modulus Young ( $\text{N/ m}^2$ )
$\sigma$	= Tegangan (MPa)
$\sigma_y$	= Tegangan Yield (MPa)
$\sigma_y$	= Tegangan luluh (MPa)
A	= Luas Penampang sebenarnya ( $\text{m}^2$ )
Ao	= Luas Penampang mula-mula ( $\text{m}^2$ )
$\Delta L$	= Perubahan Panjang (m)
$\sigma_{\text{max}}$	= Tegangan maksimal (MPa)
$\sigma_{\text{nom}}$	= Tegangan Nominal (MPa)
d	= Diameter lingkaran (mm)
r	= Jari-jari lingkaran (mm)
D	= Lebar material (mm)
t	= Tebal material (mm)
M	= Momen Bending (kN.m)

Halaman sengaja dikosongkan

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Kapal adalah kendaraan air dengan bentuk jenis apapun, yang digerakkan dengan tenaga mekanik, tenaga angin atau ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya apung dinamis, kendaraan di permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah.

Komponen yang dominan dalam pembangunan kapal yaitu baja. Kapal mendapatkan beban eksternal akan mengakibatkan terjadinya *stress* di dalam baja tersebut. Beban eksternal bisa berupa penggunaan kapal dalam kondisi beroperasi. Dalam kasus ini jika pelat kapal terjadi permasalahan seperti adanya lubang maka akan mempengaruhi konsentrasi tegangan. Dapat diketahui besar tegangan pada pelat tersebut dengan menggunakan metode numerik atau dengan metode eksperimen (*strain gauge*) mampu mengukur konsentrasi tegangan yang terjadi di dalam baja tersebut.

Konsentrasi tegangan terjadi pada daerah-daerah benda yang dimensinya berubah drastis, misalnya di sekitar lubang, *discontinuity*, *defect*, dll. Konsentrasi tegangan akan menurunkan umur fatik (*fatigue life*). Besarnya konsentrasi tegangan dapat diketahui dengan menghitung faktor konsentrasi tegangan (*stress concentration factor*), dimana SCF merupakan perbandingan antara tegangan tertinggi yang berada di sekitar *discontinuity* ( $\sigma_{max}$ ) dengan tegangan yang terjadi pada kondisi mulus ( $\sigma_{nom}$ ) (Horne, 1954).

### 1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana konsentrasi tegangan pelat berlubang pada tiap variasi yang digunakan?
2. Bagaimana menentukan *stress concentration factor* pada pelat berlubang dengan *strain gauge*?
3. Bagaimana hasil perbandingan *stress concentration factor* yang didapatkan dari hasil metode numerik dan eksperimen?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai stress concentration factor dengan menggunakan metode strain gauge pada pelat kapal dan dibandingkan dengan analisis numerik. Berdasarkan penjelasan tersebut penelitian memiliki tujuan:

1. Dapat mengetahui tegangan dari masing-masing variasi yang ditentukan
2. Dapat mengetahui *stress concentration factor* dengan menggunakan metode numerik dan eksperimen
3. Dapat mengetahui perbandingan *stress concentration factor* dengan metode numerik dan eksperimen

### **1.4 Batasan Masalah**

Pada pengerjaannya penelitian ini diberikan beberapa batasan sebagai berikut:

1. Material yang digunakan yaitu JIS G3101SS400
2. Diberikan 3 variasi desain pelat berlubang dengan diameter 6 mm, 18 mm, dan 30 mm
3. Perhitungan dilakukan dengan bantuan *software finite element analysis*

### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai studi literatur untuk analisis *stress concentration factor* pada pelat kapal yang mengalami diskontinuitas (lubang)
- b. Sebagai contoh analisis stress concentration factor dengan metode *strain gauge*

### **1.6 Hipotesis**

Hipotesis dari penelitian tugas akhir ini akan didapatkan analisis *stress concentration factor* pada pelat diskontinuitas (lubang) dengan metode numerik dan eksperimen (*strain gauge*)

## BAB 2

### STUDI LITERATUR

#### 2.1 Dasar Teori

Atas dasar tujuan pada Bab 1, maka untuk melakukan analisis dibutuhkan teori-teori yang berhubungan dengan tujuan yang ingin dicapai sehingga terjadi keselarasan antar tujuan, langkah pengerjaan dan hasil. Teori yang digunakan ini merupakan kajian-kajian pustaka yang telah dilaksanakan sebelumnya yang dituliskan pada bab ini dan dijadikan acuan untuk analisis pada bab-bab selanjutnya.

##### 2.1.1 Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas. Tegangan dibedakan menjadi dua yaitu *engineering stress* dan *true stress*. Dalam praktek teknik, gaya umumnya diberikan dalam *pound* atau *newton*, dan luas yang menahan dalam  $\text{inch}^2$  atau  $\text{mm}^2$ . Akibatnya tegangan biasanya dinyatakan dalam  $\text{pound}/\text{inch}^2$  yang sering disingkat *psi* atau  $\text{Newton}/\text{mm}^2$  (MPa). Tegangan yang dihasilkan pada keseluruhan benda tergantung dari gaya yang bekerja (Timoshenko dan Goodier, 1986).

Dalam praktek, kata tegangan sering memberi dua pengertian :

- a. Gaya per satuan luas atau intensitas tegangan, yang umumnya ditunjukkan sebagai tegangan satuan.
- b. Gaya dalam total suatu batang tunggal yang umumnya dikatakan sebagai tegangan total.

Pada saat benda menerima beban sebesar  $F$  kg, maka benda akan bertambah panjang sebesar  $\Delta L$  mm. Saat itu pada material bekerja tegangan (*engineering stress*) yang dapat dihitung dengan rumus persamaan (2.1).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \tag{2.1}$$

Dimana:

$\sigma$  = tegangan (MPa)

$F$  = beban yang diberikan (Newton)

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

Sedangkan *true stress* adalah tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya (*actual*). *True stress* dapat dihitung dengan persamaan (2.2).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Dimana:

$\sigma$  = True stress (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan sebenarnya (mm<sup>2</sup>)

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*) diinginkan.

### 2.1.2 Regangan (*Strain*)

Regangan didefinisikan sebagai perubahan panjang material dibagi panjang awal akibat gaya tarik ataupun gaya tekan pada material. Batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier dan akan berakhir sampai pada titik mulur. Hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai batasan fase sifat plastis. Regangan dibedakan menjadi dua, yaitu: *engineering strain* dan *true strain*. *Engineering strain* adalah regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal), sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula (Marciniak dkk, 2002) seperti persamaan (2.3).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.3)$$

Dimana :

$\varepsilon$  = Engineering strain

$\Delta L$  = Perubahan panjang (m)

$L_0$  = Panjang mula-mula (m)

Pembebanan yang terjadi pada struktur utamanya pada struktur kapal terjadi disebabkan oleh beberapa jenis pembebanan. Jenis-jenis pembebanan 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. Misalnya adalah gaya tekan ombak, Gaya-gaya tekan dinamis karena gerakan kapal, gaya inersia = massa kapal dan muatannya x percepatan, gaya tarik tali tunda, gaya dorong baling-baling, gaya akibat gerakan muatan cair dalam tangki-tangki.

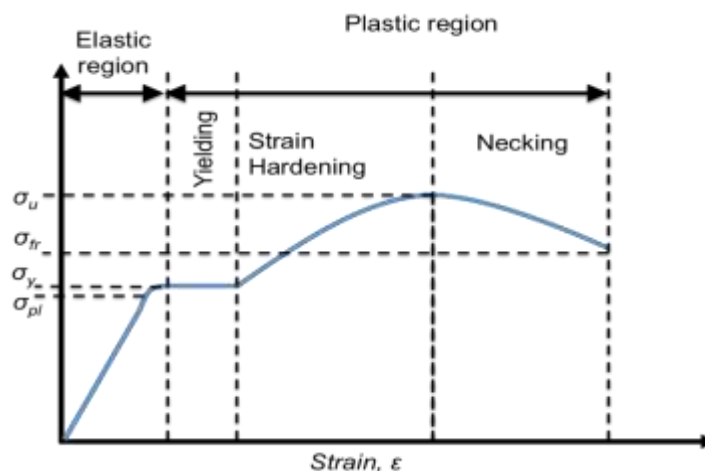
- **Beban Dinamis**

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.

### 2.1.3 Hubungan Tegangan dan Regangan

Analisis struktur dalam mekanika teknik membahas pengaruh dari gaya luar terhadap sistem struktur berapa timbulnya gaya reaksi atau gaya-gaya dalam beserta deformasi. Gaya-gaya dalam berfungsi meneruskan gaya-gaya luar yang bekerja ke penyangga.

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 (Marciniak dkk, 2002) dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Stress-Strain diagram

(Sumber: Marciniak dkk, 2002)

#### 2.1.4 Elastisitas dan Plastisitas

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. (S. Timoshenko dan Goodier. 1986 )

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 mengalami deformasi plastis berarti mempunyai keuletan rendah atau getas.

#### 2.1.5 Deformasi

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. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi plastis dan deformasi elastis. 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.

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 pelat akan mengakibatkan aliran deformasi plastis sehingga pelat tidak akan kembali ke bentuk semula. (Singer dan Pytel, 1995).

Elastisitas bahan sangat ditentukan oleh modulus elastisitas. Modulus elastisitas suatu bahan didapat dari hasil bagi antara tegangan dan regangan seperti persamaan (2.4).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.4)$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas (N/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan (Pa)

$\varepsilon$  = Regangan

### 2.1.6 Batas Luluh (*Yield Point*)

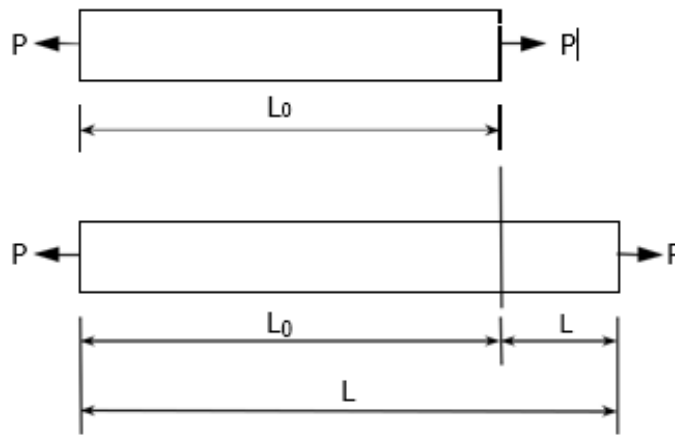
Jika beban yang bekerja pada material diteruskan hingga diluar batas elastis akan terjadi perpanjangan atau perpendekan permanen secara tiba-tiba. Ini disebut *yield point* atau batas luluh dimana regangan meningkat sekalipun tiada peningkatan tegangan (hanya terjadi pada baja lunak). Setelah melewati titik ini, material tidak akan kembali ke bentuk semula, atau material sedang berada dalam daerah plastis (Askeland, 1985).

### 2.1.7 Pengujian Tarik

Uji Tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu (Askeland, 1985). Uji tarik mungkin adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Dieter, 1987). Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis dkk,1955). Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).

Tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas awal penampang melintang benda uji. Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan persamaan (2.5) dan ditunjukkan pada Gambar 2.2.

$$\frac{L}{L_0} = \frac{(L-L_0)}{L_0} \quad (2.5)$$



Gambar 2.2 Benda kerja bertambah panjang  $L$  ketika diberi beban  $P$

### 2.1.8 Pengujian Bending

Alat uji bending adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kekuatan lengkung (*bending*) pada suatu bahan atau material. Pada umumnya alat uji bending memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, point bending dan alat ukur. Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji bending. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (ditekan). Point bending berfungsi sebagai tumpuan benda uji dan juga sebagai penerus gaya tekan yang dikeluarkan oleh alat tekan. Panjang pendek tumpuan point bending berpengaruh terhadap hasil pengujian. Alat ukur adalah suatu alat yang menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji.

Uji bending adalah suatu proses pengujian material dengan cara di tekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (*bending*) suatu material yang di uji. Proses pengujian bending memiliki 2 macam pengujian, yaitu 3 point bending dan 4 point bending.

Untuk melakukan uji bending ada faktor dan aspek yang harus dipertimbangkan dan dimengerti yaitu:

#### a. Tekanan ( $P$ )

Tekanan adalah perbandingan antara gaya yang terjadi dengan luasan benda yang dikenai gaya. Besarnya tekanan yang terjadi dipengaruhi oleh dimensi benda yang di uji. Dimensi mempengaruhi tekanan yang terjadi karena semakin besar dimensi benda uji yang

digunakan maka semakin besar pula gaya yang terjadi. Selain itu alat penekan juga mempengaruhi besarnya tekanan yang terjadi. Alat penekan yang digunakan menggunakan sistem hidrolik. Hal lain yang mempengaruhi besar tekanan adalah luas penampang dari torak yang digunakan. Maka daya pompa harus lebih besar dari daya yang dibutuhkan. Dan motor harus bisa melebihi daya pompa, perhitungan tekanan seperti pada persamaan (2.6) (Sularso dan Tahara, 1983).

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.6)$$

Dimana :

F = gaya (Newton)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

#### **b. Benda uji**

Benda uji adalah suatu benda yang di uji kekuatan lengkungnya dengan menggunakan alat uji bending. Jenis material benda uji yang digunakan sebagai benda uji sangatlah berpengaruh dalam pengujian bending. Karena tiap jenis material memiliki kekuatan lengkung yang berbeda-beda, yang nantinya berpengaruh terhadap hasil uji bending itu sendiri.

#### **c. Point Bending**

Point bending adalah suatu sistem atau cara dalam melakukan pengujian lengkung (*bending*). Point bending ini memiliki 2 tipe, yaitu: *three point bending* dan *four point bending*. Perbedaan dari kedua cara pengujian ini hanya terletak dari bentuk dan jumlah point yang digunakan, *three point bending* menggunakan 2 point pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 1 point pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan sedangkan *four point bending* menggunakan 2 point pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 2 point (penekan) pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan.

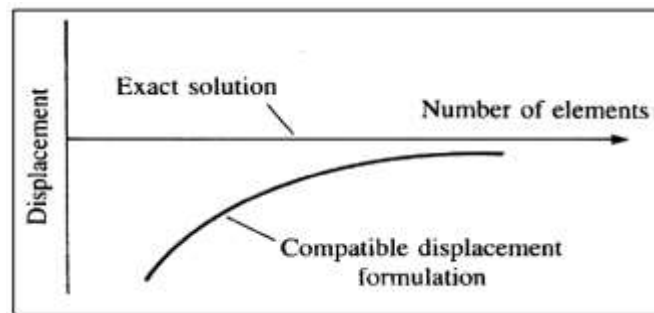
### **2.1.9 Konsep Metode Elemen Hingga**

Dalam menganalisis perilaku struktur dapat dilakukan menggunakan dua metode yaitu dengan metode numerik dan eksperimen. Analisis numerik dapat menggunakan pemodelan matematik, pemodelan analitik dan pendekatan rumus empiris. Pemodelan matematik untuk penyelesaian pada masalah teknik jarang untuk mendapatkan hasil yang analitik. Penyelesaian dengan menggunakan model matematik masih menghasilkan ekspresi matematik yang rumit dan melibatkan kondisi batas, dan sifat material. Metode elemen hingga dipergunakan sebagai solusi pendekatan yang dapat memecahkan persoalan-persoalan mekanika dengan geometri maupun pembebanan yang kompleks (Cook, 1990). Untuk itu pemodelan numerik menjadi

praktis digunakan untuk analisis dengan hasil yang lebih akurat. Untuk kasus-kasus yang rumit digunakan *numerical modelling finite elements analysis* atau metode elemen hingga. Prinsip dasarnya yaitu memperlakukan suatu sistem sebagai gabungan dari elemen-elemen kecil yang disebut dengan *finite element*. Antar elemen digabungkan melalui titik-titik yang disebut nodes atau nodal point (DNV GL, 2015).

#### 2.1.10 Konvergensi

Tingkat keakurasian pada proses penyelesaian analisa elemen hingga berbanding lurus terhadap bertambahnya jumlah elemen yang digunakan. Namun peningkatan jumlah elemen yang digunakan juga berpengaruh terhadap jumlah waktu dan biaya yang dibutuhkan selama proses analisa (Logan, 2007). 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, hubungan antara jumlah elemen dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubungan antara jumlah elemen dan parameter fungsinya

(Sumber : Logan, 2007)

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

#### 2.1.11 Kondisi Batas

Reaksi atau gaya yang timbul pada suatu benda bergantung pada bagaimana benda tersebut ditumpu dan bagaimana benda tersebut disambungkan terhadap benda lain. Ada beberapa kondisi tumpuan pada sebuah struktur. Pada umumnya tumpuan yang sering dijumpai adalah tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*) dan tumpuan sendi/engsel (*hinge*). Kondisi batas yang



sering digunakan pada kekuatan adalah pin yaitu pemberian kondisi dimana translasi 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
<b>Jepit</b>	$dv = 0$ $dh = 0$ $\phi = 0$	$Fv \neq 0$ $Fh \neq 0$ $M \neq 0$
<b>Roll</b>	$dv = 0$ $dh \neq 0$ $\phi \neq 0$	$Fv \neq 0$ $Fh = 0$ $M = 0$
<b>Engsel</b>	$dv = 0$ $dh = 0$ $\phi \neq 0$	$Fv \neq 0$ $Fh = 0$ $M = 0$

( Sumber : *Manual Guide Abaqus CAE 6.14*, 2014)

### 2.1.12 Jenis Tegangan

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

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

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 itu sendiri.

#### 2. Tegangan Hotspot

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

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

## 2.2 Tinjauan Pustaka

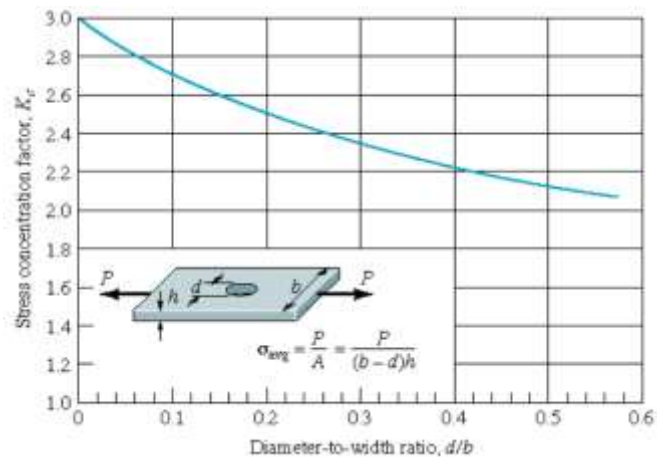
Pada bagian ini dituliskan uraian mengenai penelitian yang dilakukan sebelumnya berkaitan dengan topik Tugas Akhir ini untuk mempermudah memahami konsep Tugas Akhir dan sebagai landasan teori untuk tercapainya tujuan dalam Tugas Akhir ini.

### 2.2.1 Konsep Faktor Konsentrasi Tegangan

Setiap diskontinuitas fisik dalam bagian struktural atau perubahan mendadak dalam bentuk geometris bagian menyebabkan daerah konsentrasi tegangan. Perubahan tiba-tiba pada penampang melintang menyebabkan garis aliran tegangan menyebabkan kerumitan konsentrasi tegangan tinggi (Chattopadhyay and Kitey,2010). Untuk mengurangi fenomena ini, perubahan yang lebih halus seperti jari-jari fillet diperkenalkan pada anggota struktural yang membuat garis aliran kurang ramai sehingga menyebabkan konsentrasi tegangan yang lebih rendah. Faktor konsentrasi tegangan teoretis, SCF (*Stress concentration factor*) didefinisikan dalam hal tegangan maksimum (atau puncak),  $\sigma_{max}$  dan tegangan nominal (atau rata-rata atau medan jauh),  $\sigma_{nom}$  seperti persamaan (2.7).

$$SCF = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (2.7)$$

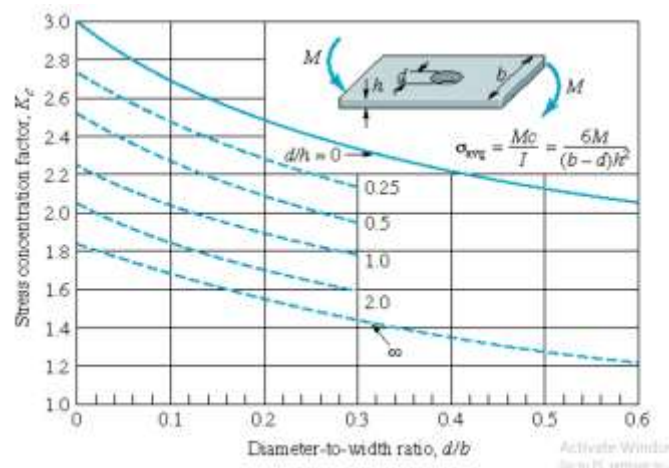
Faktor konsentrasi tegangan teoritis adalah fungsi dari geometri komponen dan pembebanan, ekspresi analitik untuk faktor konsentrasi tegangan sesuai menurut Mott (2008). Faktor konsentrasi tegangan SCF untuk pelat dengan lubang berlubang ditunjukkan sebagai fungsi rasio diameter terhadap lebar,  $d / b$  pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 SCF Pelat berlubang pengujian tarik

(Sumber : Pilkey, 1997)

Untuk pelat dengan lubang di bawah tekuk faktor konsentrasi tegangan sebagai fungsi rasio diameter ke lebar,  $d/b$  untuk berbagai rasio kedalaman, ketebalan  $d/h$  ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 SCF pelat berlubang pengujian bending

(Sumber : Pilkey, 1997)

### 2.2.2 Defect

Ketidaksempurnaan struktur atau sering disebut *defect*. *Defect* pada struktur dikategorikan menjadi dua kelompok berdasarkan terbentuknya:

1. Cacat yang terbentuk dalam masa fabrikasi, disebabkan oleh:
  - Cacat lateral yang terjadi pada material (*material defect*).
  - Cacat yang disebabkan karena proses pengerjaan material (*manufacturing defect*). Misalnya cacat pada saat dilakukan pengelasan dan pemotongan material.

- Kesalahan dalam pemilihan material sehingga menyebabkan kesalahan pada pemanasan (*poor of material or heat treatment*). Misalnya pemilihan material yang tidak tepat, material yang seharusnya digunakan untuk *fatigue* tetapi cenderung digunakan untuk *corrosion cracking* oleh karena pemilihan perlakuan panas tidak diketahui. Perlakuan *carburizing* pengerasan permukaan hampir selalu menyebabkan perubahan pada permukaan
  - Teknik pengerjaan material yang salah (*poor choice of production technique*).
  - Desain material yang salah (*poor detail design*).
2. Cacat yang terjadi selama masa service struktur, disebabkan oleh:
- Kelelahan struktur, terjadi saat struktur mencapai umur kelelahannya
  - Fluktuasi tegangan pada permukaan yang telah mengalami korosi

### 2.2.3 Konsep Metode Element Hingga

Metode element hingga adalah suatu metode numerik yang baik digunakan dengan komputer, melalui komputasi tersebut sebuah benda atau struktur dibagi-bagi menjadi beberapa substruktur (elemen) yang kemudian dengan menggunakan matriks setiap defleksi yang terjadi di tiap titik (node) akan didapatkan setelah diberikan kondisi pembebanan, properti material, geometrik dan batasan lainnya. Sangat memungkinkan menggunakan komputer untuk melakukan analisis metode element hingga yang dikenal dengan *Finite Element Analysis*. Metode ini memungkinkan untuk mendapatkan nilai dari respon tegangan pada suatu struktur. Besarnya kapasitas memori pada suatu komputer berpengaruh terhadap kecepatan komputasi dan besar kecilnya model struktur yang dapat dianalisis (Rizzuto, 2010).

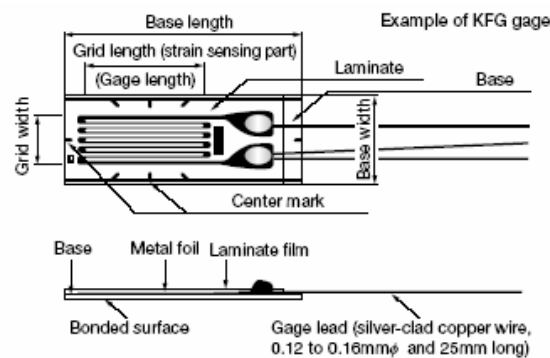
Menurut Sanjaya (2017), suatu analisis menggunakan element hingga merupakan analisis pendekatan, jadi hasil yang didapat bukan hasil analisis yang tepat. Ketidaksesuaian atau error terjadi akibat kesalahan pemberian batasan-batasan. Tetapi suatu batasan dapat ditoleransi sehingga hasil dari analisis metode element hingga dapat dikatakan valid. Validasi dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang benar atau memiliki error yang kecil

### 2.2.4 Prinsip Kerja *Strain gauge*

Setiap material memiliki hambatan yang spesifik. Sebuah gaya tarik (gaya tekan) akan menambah (mengurangi) hambatan dengan menambah panjang (mengkontraksi) material. Misalkan hambatan mula-mula adalah  $R$  dan *strain* menginisiasikan perubahan hambatan sebesar  $\Delta R$ , maka kita dapat menyimpulkan persamaan (2.8).

$$\frac{\Delta R}{R} = K_s \times \frac{\Delta L}{L} = K_s \times \varepsilon \quad (2.8)$$

Dimana,  $K_s$  adalah *gauge factor*, sebuah koefisien yang mengekspresikan sensitivitas dari *strain gauge*. Pada umumnya *strain gauge* menggunakan *copper-nickel* atau *nickel-chrome alloy* sebagai elemen resistif, dan *gauge factor* yang dihasilkan dari *alloy* ini adalah sekitar 2. Walaupun *strain gauge* 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 gauge* 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 *gauge leads* bagian-bagian sensor *strain gauge* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur bentuk Strain Gauge

(Sumber: [www.pcm-uk.com](http://www.pcm-uk.com))

*Strain gauge* direkatkan pada objek yang akan diukur dengan menggunakan bahan adesif tertentu. *Strain* yang terjadi pada bagian objek yang akan diukur ini ditransfer menuju elemen peraba melalui dasar *gauge* (*gauge base*). Untuk memperoleh pengukuran yang akurat, *strain gauge* dan bahan adesifnya harus cocok dengan material yang diukur dan kondisi operasi termasuk suhu (Arief, 2011).

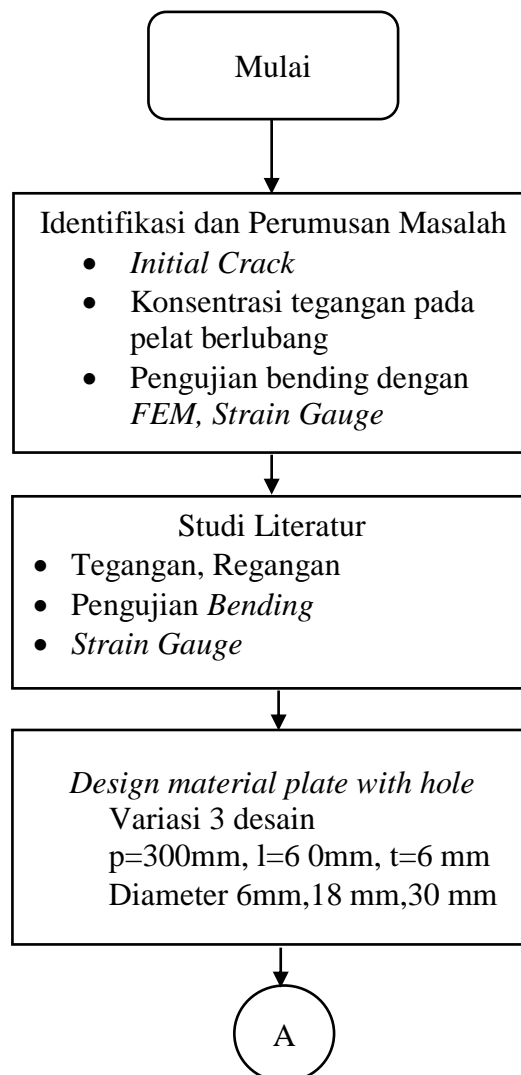
Halaman ini sengaja dikosongkan

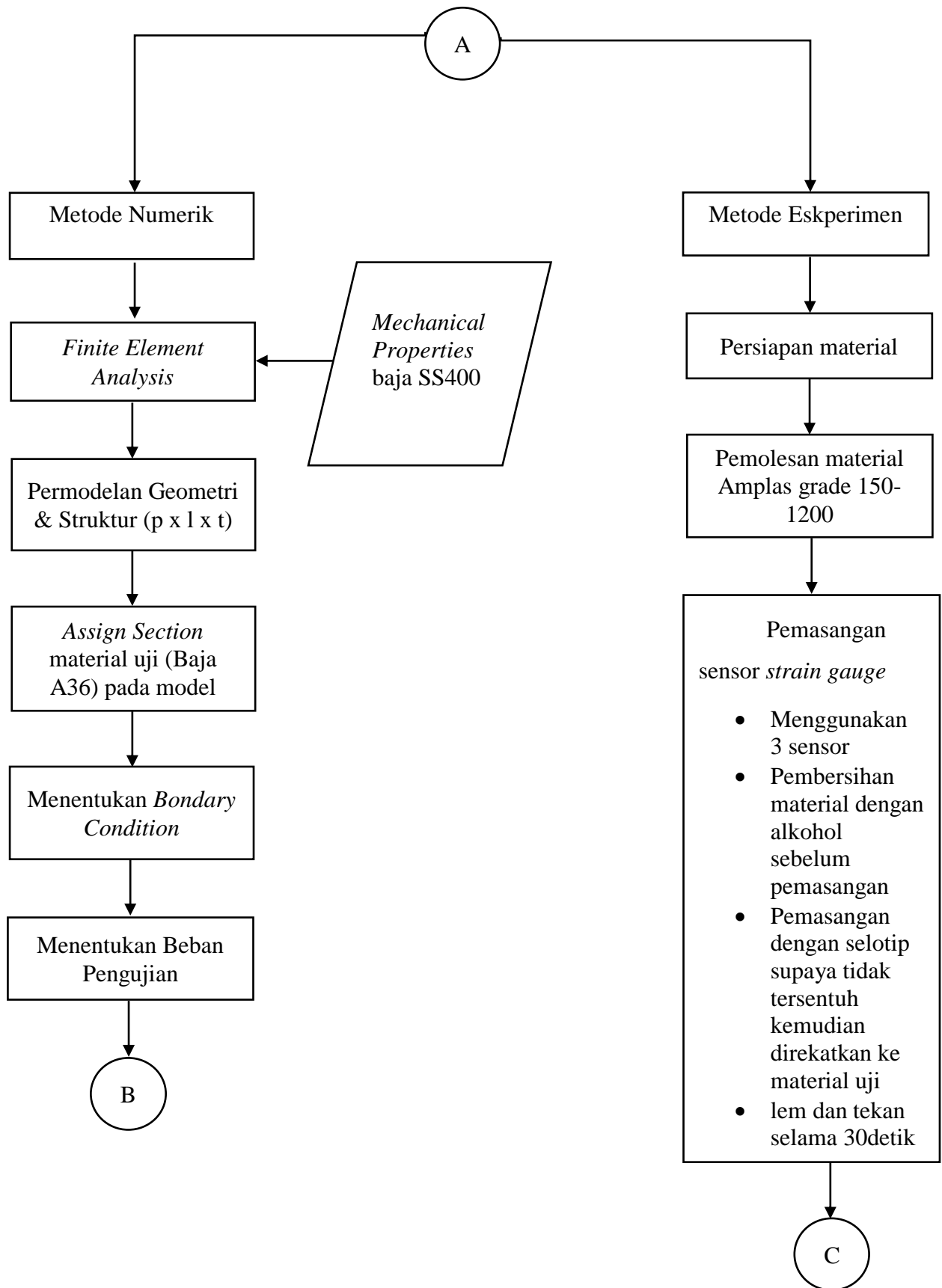
## BAB 3 METODOLOGI

Bab ini berisi mengenai bagaimana cara pengerjaan Tugas Akhir ini. Langkah awal pengerjaan yang dilakukan adalah mengidentifikasi masalah dan merumuskan masalah, yang telah dilakukan pada BAB 1. kemudian dilanjutkan dengan studi literatur pada BAB 2. Kemudian pada bab ini akan dijelaskan data-data yang digunakan untuk menganalisis konsentrasi tegangan pelat berlubang pada kapal misalnya pada pelat sisi kapal yang terjadi kerusakan yang mengakibatkan lubang dan pada *lightening hole*.

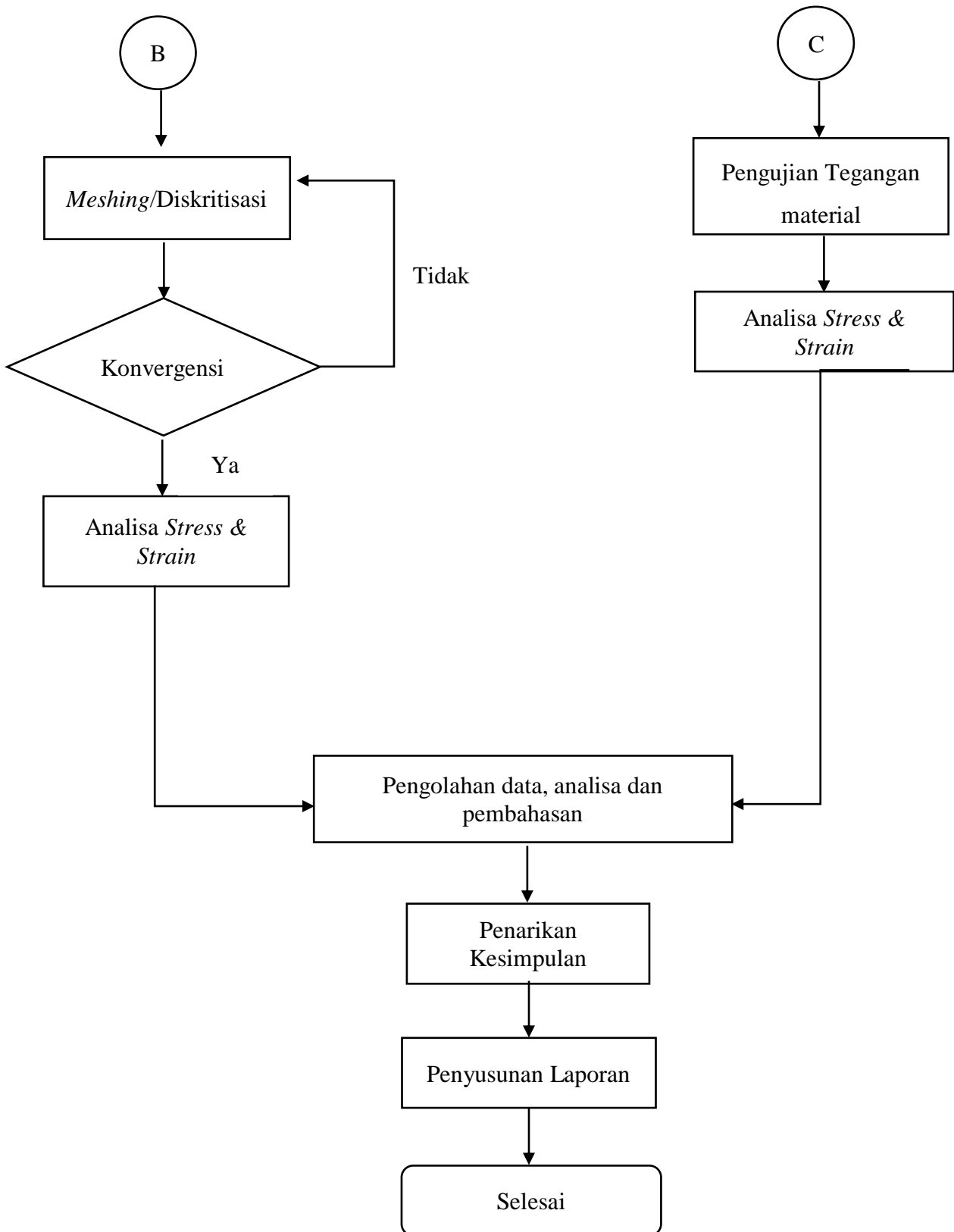
### 3.1 Bagan Alir

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









Gambar 3.1 Diagram alir Tugas Akhir

### 3.2 Studi Literatur

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

### 3.3 Pengumpulan Data

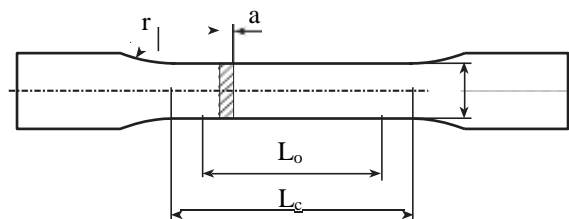
Tahapan ini adalah tahapan pengumpulan data, yang bertujuan untuk memperoleh data pokok atau data sekunder yang berhubungan dengan kondisi yang dibahas dalam Tugas Akhir ini.

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 / m<sup>2</sup>

#### 3.3.1 Pengujian Material

Pengujian tarik material SS400 bertujuan untuk memperoleh besar gaya yang diperlukan material mencapai batas *yield strength* sehingga dalam pemodelan mengetahui gaya material dalam kondisi plastis. Tes spesimen menggunakan standar BKI vol V tahun 2014 seperti 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 spesimen, 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 <sup>2</sup>	Mpa	Mpa	%	%	
1	SS400	25.35	6	152.1	282.71	335.31	37.94	72.93	
2		25.3	6	151.8	296.44	335.97	37.77	72.62	
3		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

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.

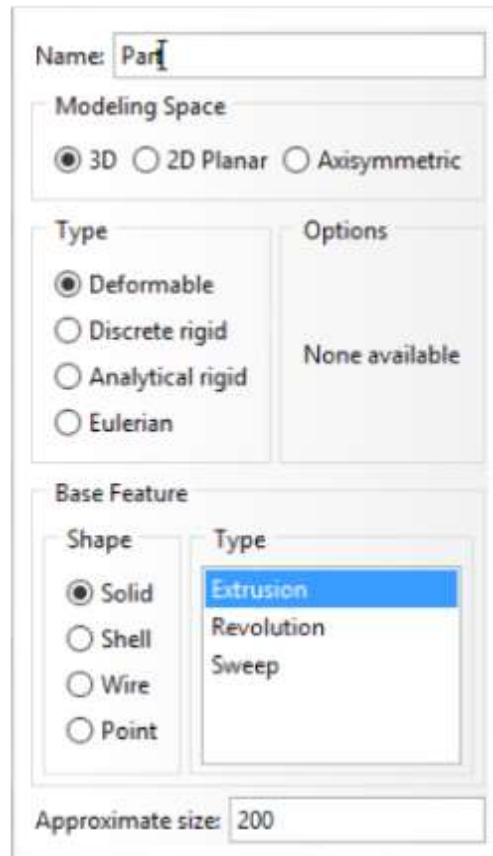
### 3.4 Pemodelan

Tahapan Pemodelan di software FEA dilakukan sebagai berikut:

.Langkah Pemodelan

#### 1. Pembuatan Geometri Model

Pada modul *Part* > *Create Part*, pilih spesifikasi *part* yang ingin dibuat sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.4

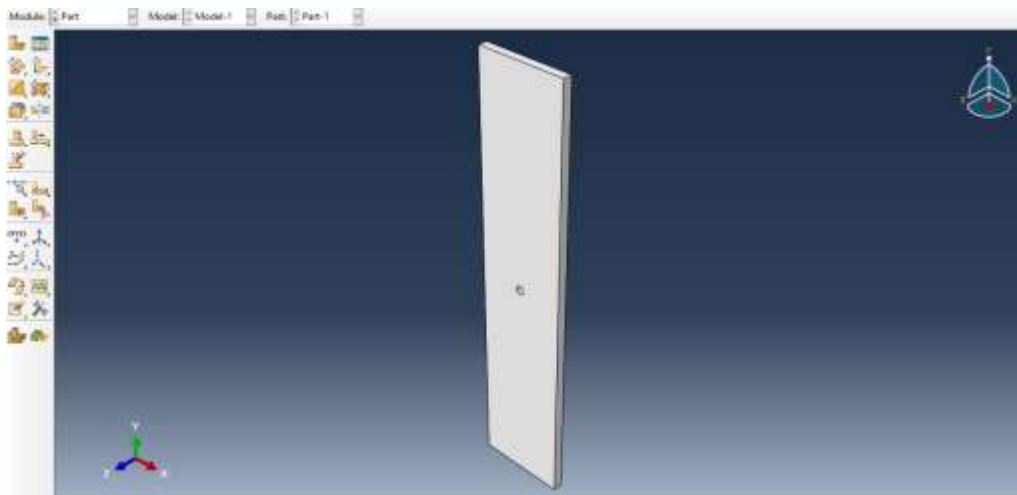


Gambar 3.4 Create Part

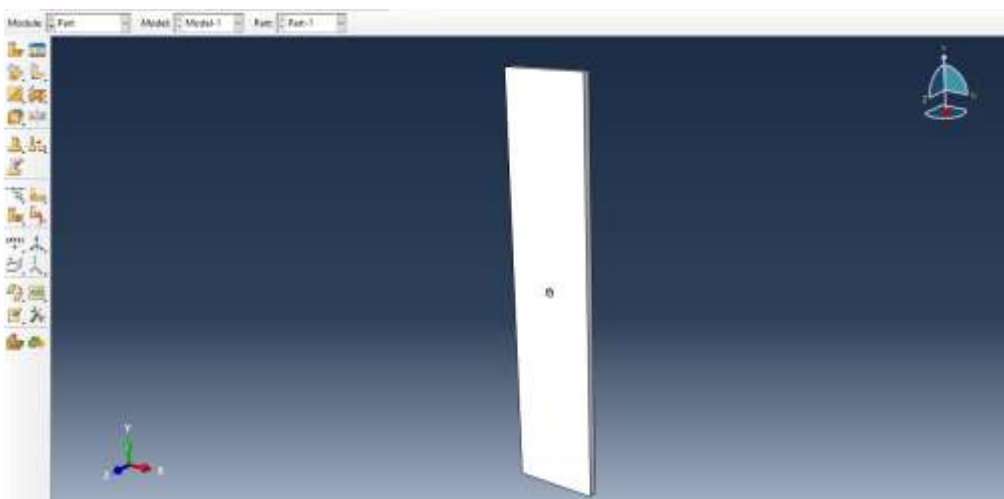
Pada penelitian ini ada 3 part yang dibuat, yaitu:

- Pelat yang berfungsi menyalurkan beban berupa pelat 3D (*solid*) dengan dimensi pelat 300 mm x 60 mm x 6 mm.
- Diameter lingkaran yang dibuat untuk menganalisa konsentrasi tegangan yaitu berdiameter 6 mm, 18 mm, 30 mm.

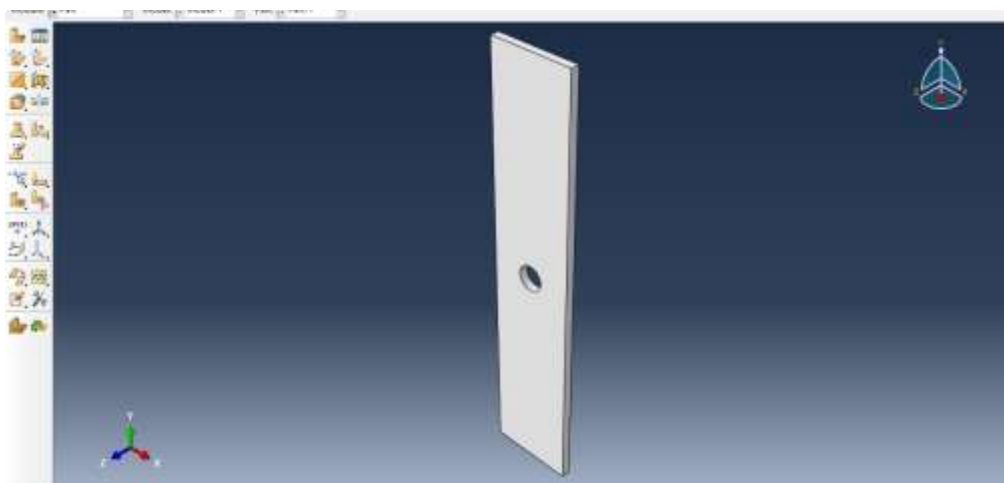
Untuk hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3.5, 3.6, 3.7 dan 3.8.



Gambar 3.5 Model diameter 3 mm



Gambar 3.6 Model diameter 6 mm



Gambar 3.7 Model diameter 18 mm

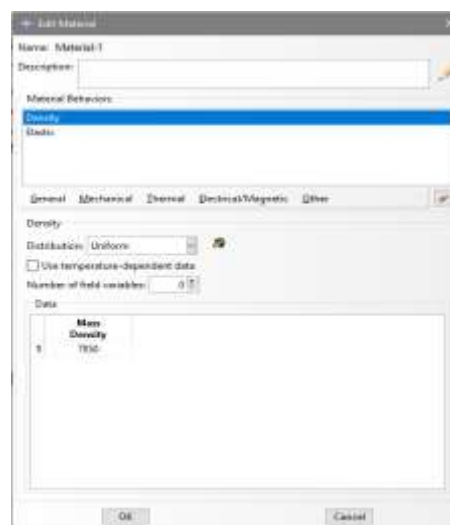


Gambar 3.8 Model diameter 30 mm

## 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 3.9. 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*.

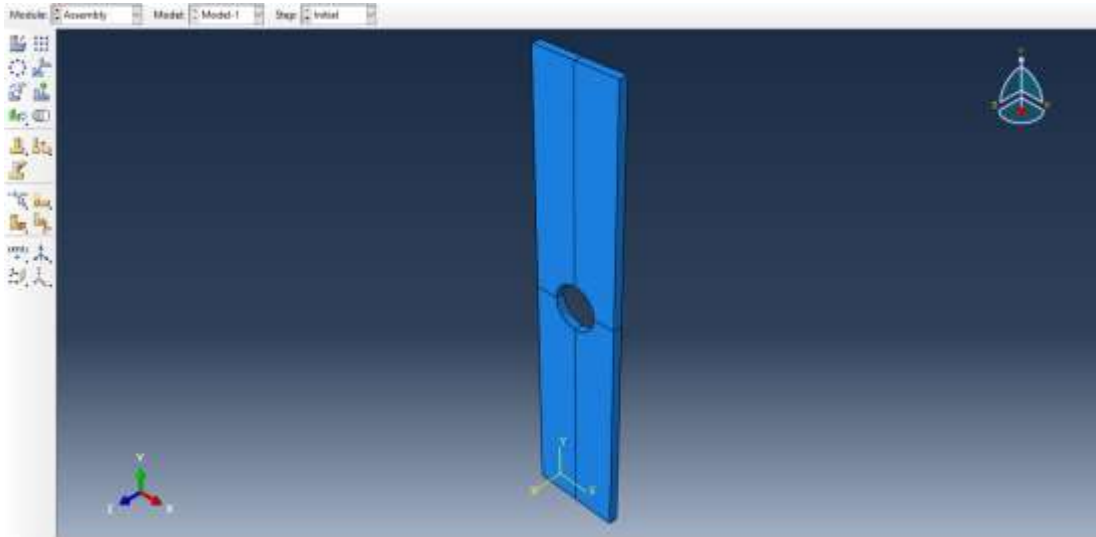
*Assign Section* ini untuk mendefinisikan *mechanical properties* dari data yang akan digunakan pada model.



Gambar 3.9 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 3.10.

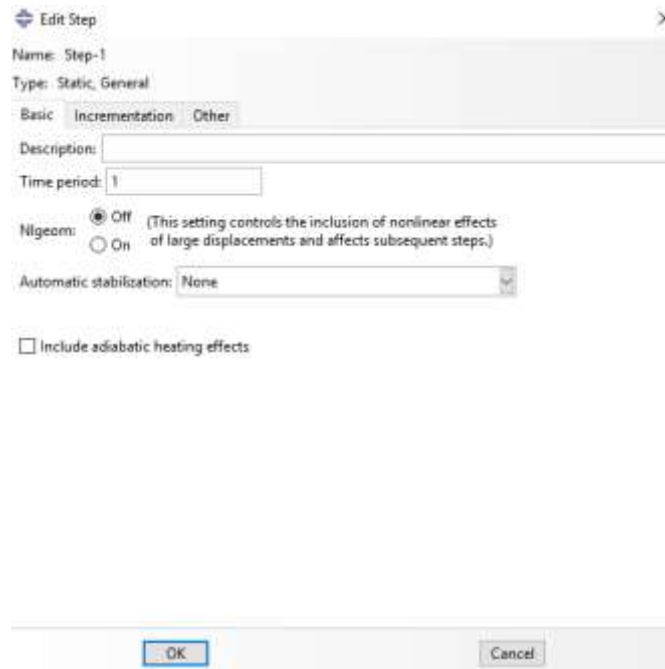


Gambar 3.10 Produk *Assembly*

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

### 4. Pendefinisian Langkah

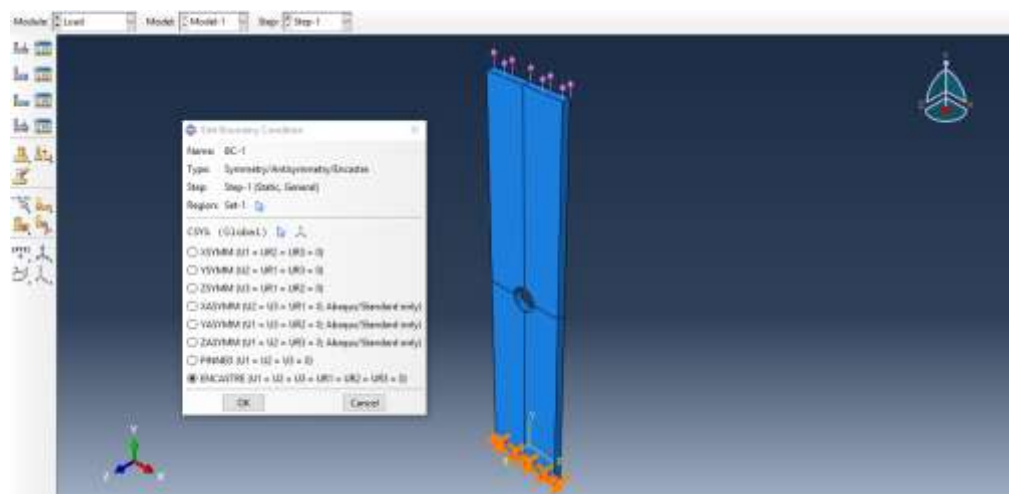
Gambar 3.11 penggunaan pengaturan *Step default* yang ada pada *software FEA* ini adalah *initial step*. Buat *step* baru (*Step-1*) dimana pada *step* ini untuk melakukan analisis pembebanan statik. Analisis pada tahap ini dapat diatur sesuai dengan langkah yang ingin dianalisis, pada dasarnya *step default* lebih sering digunakan untuk analisis model yang tidak kompleks.



Gambar 3.11 Pengaturan Step

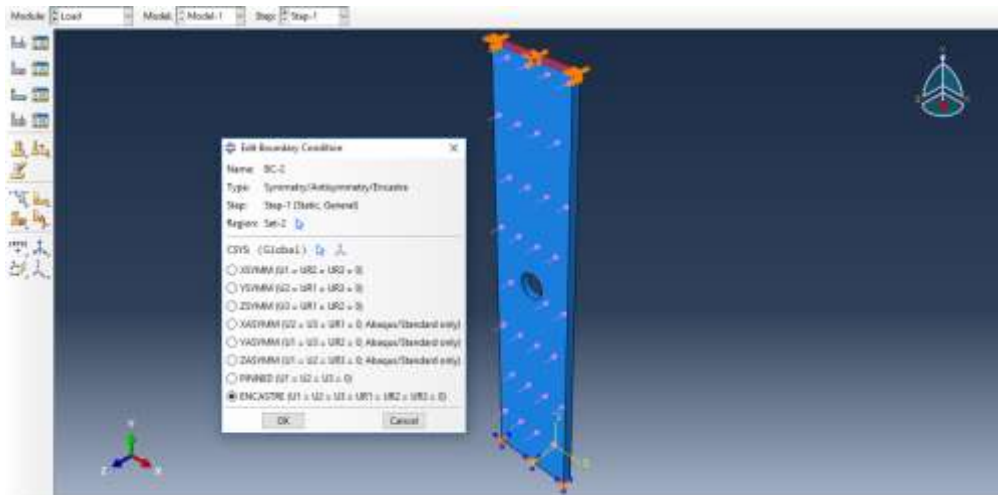
## 5. Pengaplikasian Kondisi Batas

Kondisi batas terdiri dari beban dan tumpuan. Beban dengan tipe *pressure* diberikan sebesar beban *pressure* yang telah dihitung. Beban diaplikasikan pada sisi 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 ditunjukkan pada Gambar 3.12 dan Gambar 3.13.



Gambar 3.12 Kondisi Batas Pada Model Uji Tarik

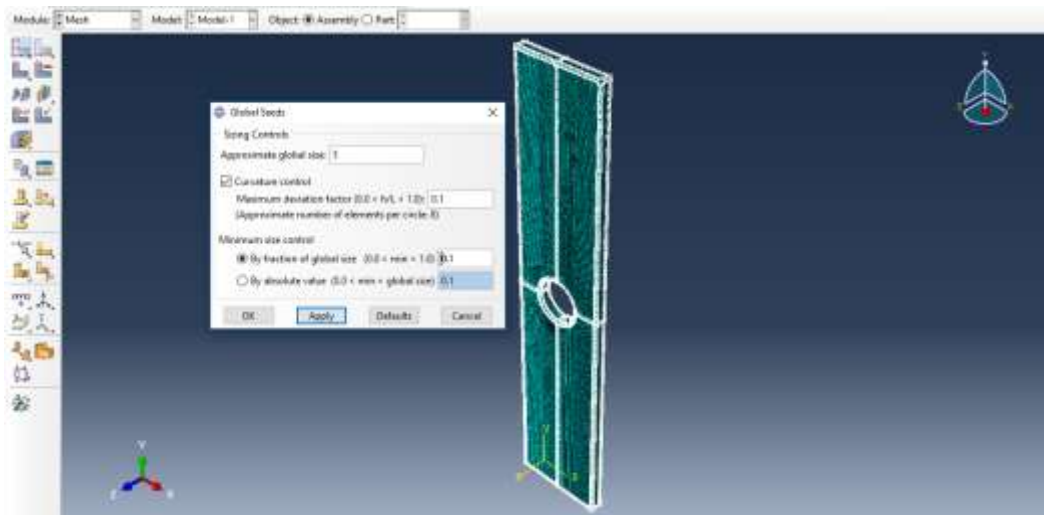




Gambar 3.13 Kondisi Batas Pada Model Uji Bending

## 6. Meshing

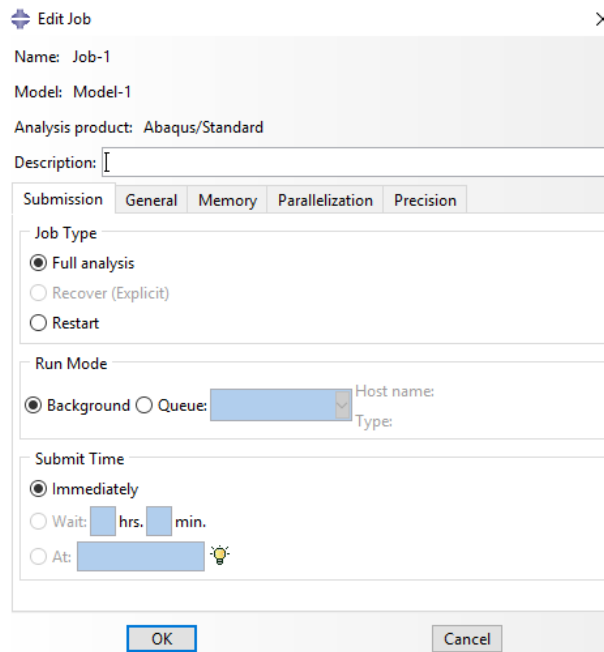
Gambar 3.14 yaitu proses *meshing* hanya didefinisikan pada pelat 3D, pengaplikasiannya menggunakan *mesh seed* secara global dengan jarak 0,28 mm sesuai hasil konvergensi yang di dapat sebelum pemodelan. Kemudian untuk keseluruhan model dipilih untuk dilakukan *mesh control* untuk memilih jenis elemen yang diinginkan.



Gambar 3.14 Pemberian ukuran elemen

## 7. Membuat *Job* dan *Running*

Pada modul ***Job*** > ***Create Job*** dan gunakan *setting default* kemudian tunggu proses *running* hingga status yang ditampilkan “*completed*” ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Pengaturan running

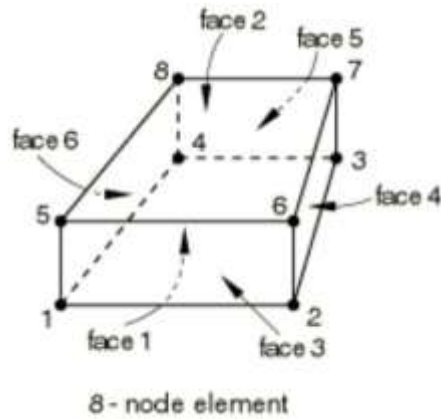
Tahapan ini dapat digunakan untuk melakukan percepatan running dengan mengatur jumlah processor yang ada pada komputer yang digunakan untuk mengoptimalkan kerjanya.

## 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. Elemen yang digunakan untuk konvergensi adalah node 8 bricks seperti Gambar 3.16.



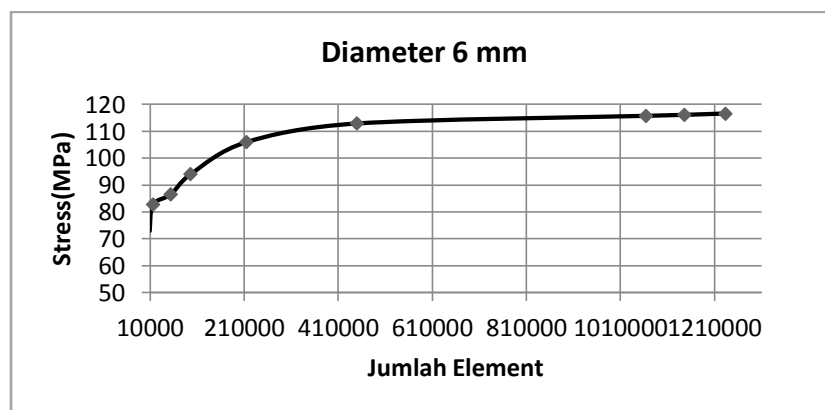
Gambar 3.16 *Element C3D8R- 8 Node Bricks*

(Sumber: [www.web.mit.edu.com](http://www.web.mit.edu.com))

Berdasarkan hasil konvergensi yang dilakukan pada model 1 didapatkan hasil konvergensi yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Gambar 3.17 untuk grafik konvergensi yang dicapai.

Tabel 3.2 Konvergensi Model 1

Uji Model 1 Diameter 6 mm			
Jumlah Element	Ukuran meshing(mm)	Stress(MPa)	error (%)
8.800	2	73,02	0,73
15.803	1,5	82,74	0,82
53.988	1	86,59	0,86
95.952	0,75	94,04	0,93
214.932	0,5	105,97	1,05
449.616	0,4	112,86	1,12
1.064.000	0,29	115,69	1,15
1.145.940	0,28	116,07	1,15
1.233.220	0,27	116,56	1,15



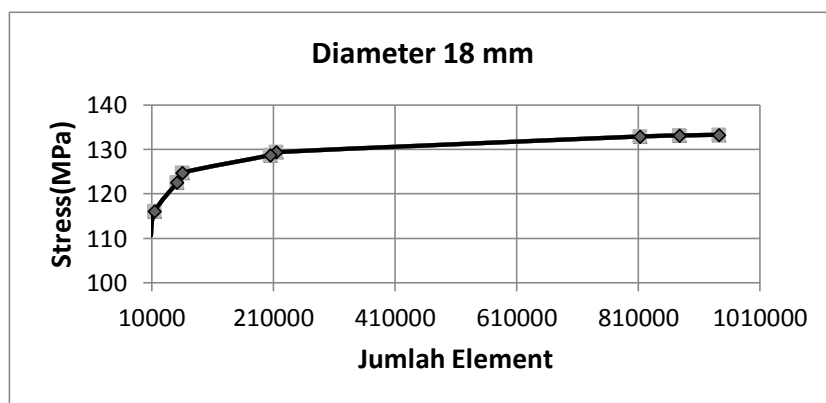
Gambar 3.17 Konvergensi Model 1

Berdasarkan dari grafik konvergensi yang diperoleh, proses perhitungan analisis tegangan dilakukan pada ukuran *meshing* 0,28 mm dengan jumlah elemen 1.145.940.

Untuk konvergensi model kedua didapatkan pada ukuran *mesh* yang sama yaitu pada ukuran *meshing* 0,28 mm dengan jumlah elemen 878.192. Dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.18.

Tabel 3.3 Konvergensi Model 2

Uji Model 2 Diameter 18 mm			
Jumlah Element	Ukuran meshing(mm)	Stress(MPa)	error (%)
8.436	2	110,68	1,10
14.958	1,5	116,16	1,15
51.708	1	122,62	1,21
61.188	0,75	124,77	1,23
205.332	0,5	128,69	1,27
214.900	0,4	129,37	1,28
813.316	0,29	132,87	1,31
878.192	0,28	133,08	1,31
943.248	0,27	133,26	1,31

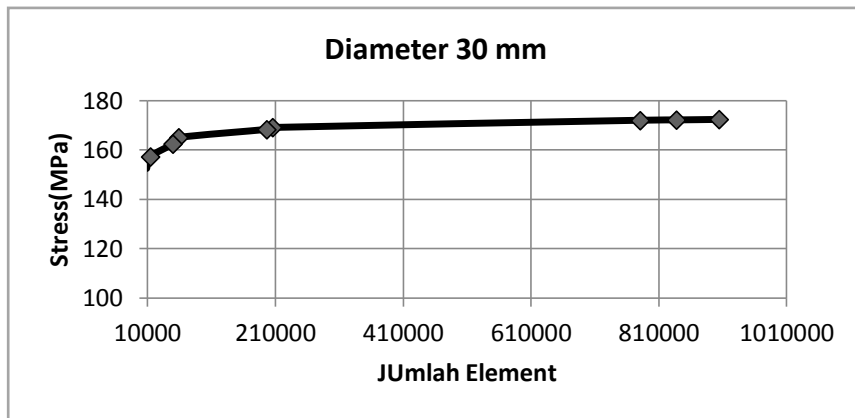


Gambar 3.18 Konvergensi Model 2

Untuk konvergensi model ketiga didapatkan pada ukuran *mesh* yang sama yaitu pada ukuran *meshing* 0.28 mm dengan jumlah elemen 837.516. Dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Gambar 3.19.

Tabel 3.4 Konvergensi model 3

Uji Model 3 Diameter 30 mm			
Jumlah Element	Ukuran meshing(mm)	Stress(MPa)	error (%)
8.450	2	152,50	1,53
14.760	1.5	157,34	1,56
49.314	1	162,46	1,61
58.904	0,75	165,04	1,63
196.545	0,5	168,35	1,67
205.434	0,4	169,11	1,67
781.300	0,29	172,04	1,70
837.516	0,28	172,17	1,70
904.320	0,27	172,37	1,71



Gambar 3.19 Konvergensi Model 3

### 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 (berlobang) 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

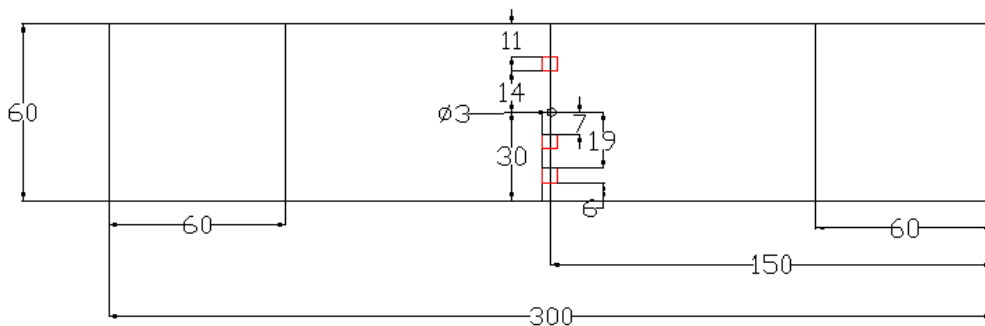
Persiapan material dilaksanakan guna mendukung validitas penelitian agar sesuai dengan batasan masalah yang telah diuraikan di depan, sehingga pada akhir analisis hasil percobaan didapatkan kesimpulan yang mendekati kebenaran. Adapun persiapan material ini meliputi: penyediaan material utama yaitu baja SS400 dan alat-alat kerja seperti bor, gergaji besi, solder, amplas, penggaris, lem, dan selotip.

#### 2. Penentuan Ukuran Material

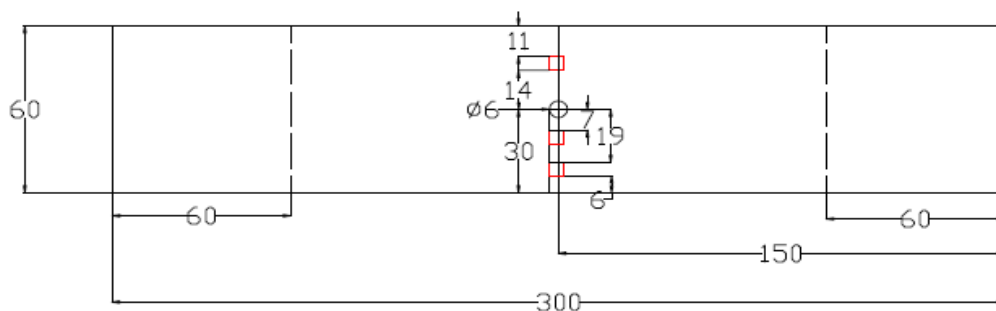
Dalam pengujian material yang digunakan yaitu berukuran:

Panjang = 300 mm, Lebar = 60 mm, Tebal = 6 mm

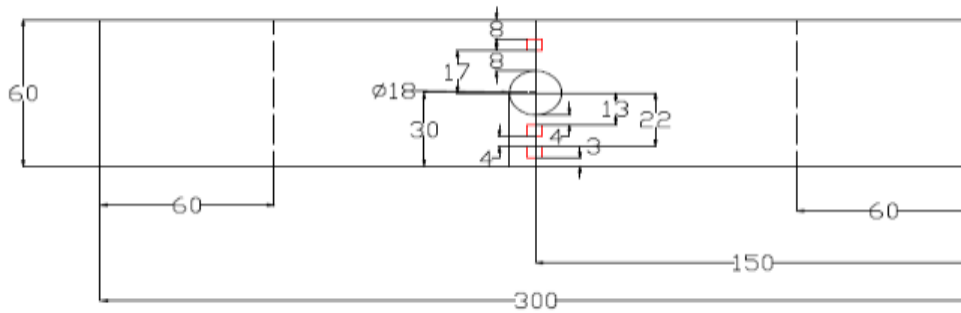
Material uji menggunakan diameter 6 mm, 18 mm, dan 30 mm ditunjukkan pada Gambar 3.20 hingga Gambar 3.23.



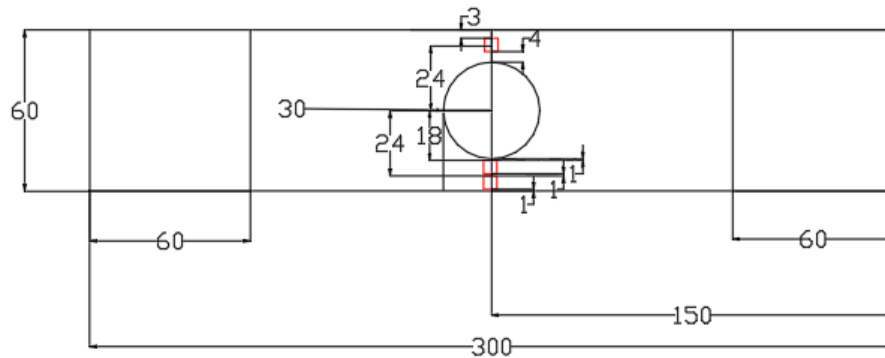
Gambar 3.20 Desain material pengujian 1



Gambar 3.21 Desain material pengujian 2



Gambar 3.22 Desain material pengujian 3



Gambar 3.23 Desain material pengujian 4

### 3. Pemasangan Sensor *Strain Gauge*

Gambar 3.24 material yang sudah dibentuk dan siap untuk dilakukan pengujian menggunakan *strain gauge*, terlebih dahulu daerah pemasangan sensor *strain* dipoles dengan amplas dari grade 150 sampai dengan 1200 untuk mendapatkan permukaan yang mengkilat.



Gambar 3.24 Pengamplasan material

Pemasangan sensor *strain gauge* direncanakan menggunakan 4 sensor yaitu 1 sensor untuk tegangan normal dan 3 sensor konversi tegangan ditunjukkan pada Gambar 3.25. Material dibersihkan dengan alkohol sebelum pemasangan sensor, kemudian dilap usahakan permukaan jangan sampai tersentuh jemari tangan kemudian pemasangan sensor dengan selotip supaya

tidak tersentuh langsung dan direkatkan ke material uji menggunakan lem, tekan selama 30 detik.



Gambar 3.25 Pemasangan sensor strain gauge

#### 4. Pengujian

Pengujian tarik pada Gambar 3.26 merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang diletakkan terhadap spesimen 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. Pengujian menggunakan variasi beban 30% *yield* (13.400N), 60% *yield* (26.800) dan 90% *yield* (40.200). Material yang sudah siap dan telah dipasang sensor *strain gauge* dengan konfigurasi 4 *channel*. *Channel 1* yaitu pemasangan sensor tepat pada tepi lubang, *channel 2* yaitu ditengah jarak lubang dengan tepi material, *channel 3* yaitu dipasang pada tepi material dan *channel 4* yaitu pada arah tarik sumbu Y. Ketika material sudah siap maka dilakukan pengujian tarik kemudian bending.



Gambar 3.26 Pengujian Tarik



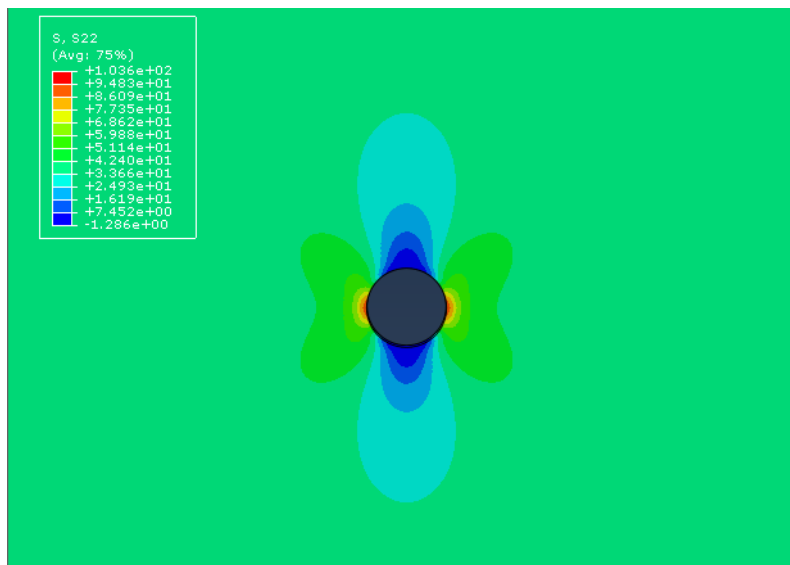
## BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisis Hasil dan Pembahasan

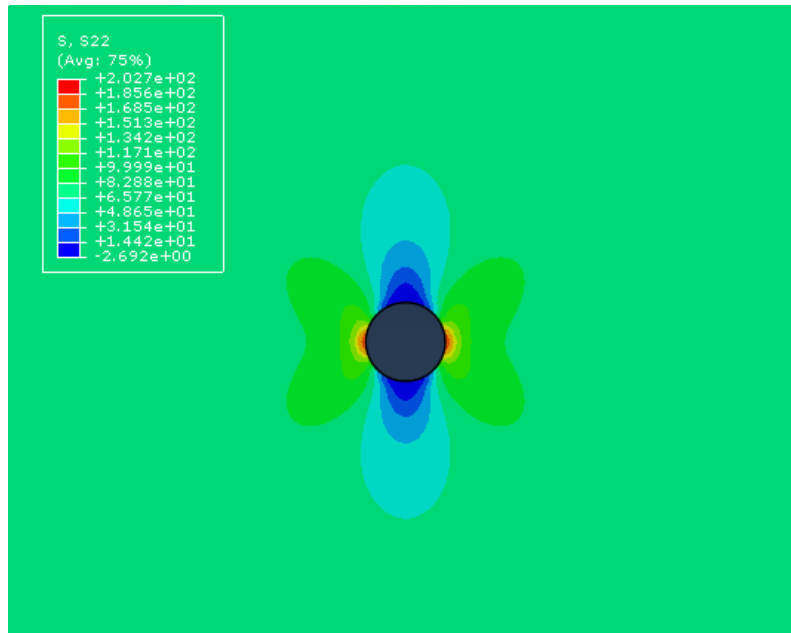
Setelah melakukan tahap-tahap yang telah dijelaskan pada BAB 3 maka akan didapatkan hasil berupa tegangan setiap model. Tegangan yang dihasilkan adalah tegangan von mises, tegangan arah sumbu Y dan tegangan arah sumbu X. Hasil tersebut berupa tegangan maksimal yang akan digunakan untuk mengetahui perhitungan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

#### 4.1.1. Model tarik pelat berlubang diameter 3 mm

Gambar 4.1 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu Y maksimum pada model diameter lubang 3 mm sebesar 105,79 MPa yang terletak pada bagian tepi lubang.

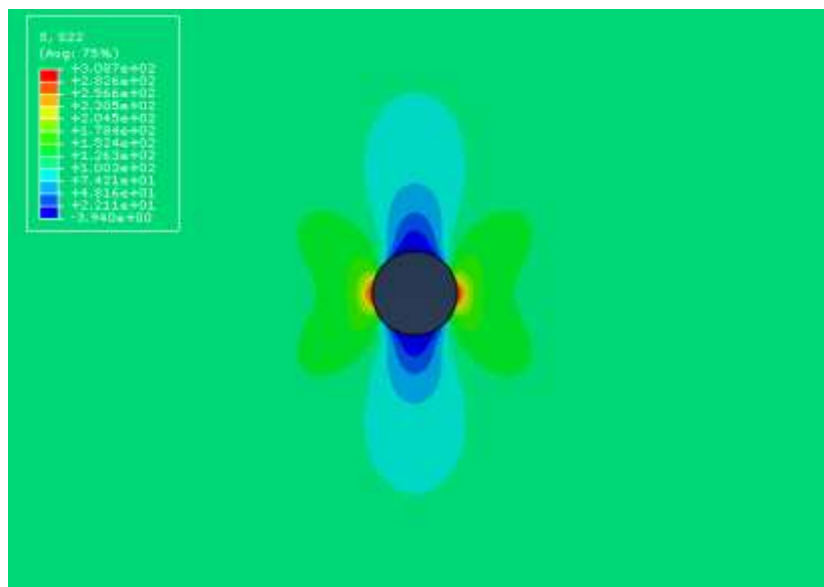


Gambar 4.1 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 30% *yield* d 3 mm



Gambar 4.2 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 60% *yield* d 3 mm

Gambar 4.2 yaitu tegangan arah sumbu Y maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 211,58 MPa.

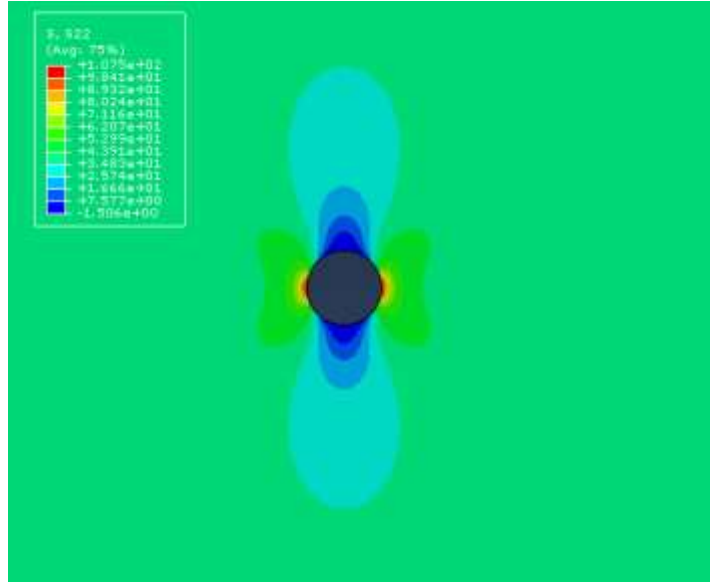


Gambar 4.3 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 90% *yield* d 3 mm

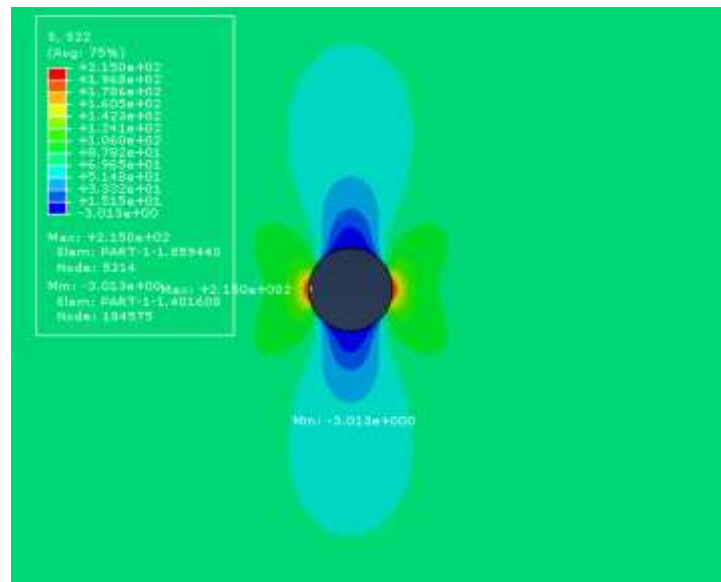
Gambar 4.3 yaitu tegangan arah sumbu Y maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 315,67 MPa.

#### 4.1.2. Model tarik pelat berlubang diameter 6 mm

Gambar 4.4 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu Y maksimum pada model diameter lubang 6 mm sebesar 107,49 MPa yang terletak pada bagian tepi lubang.

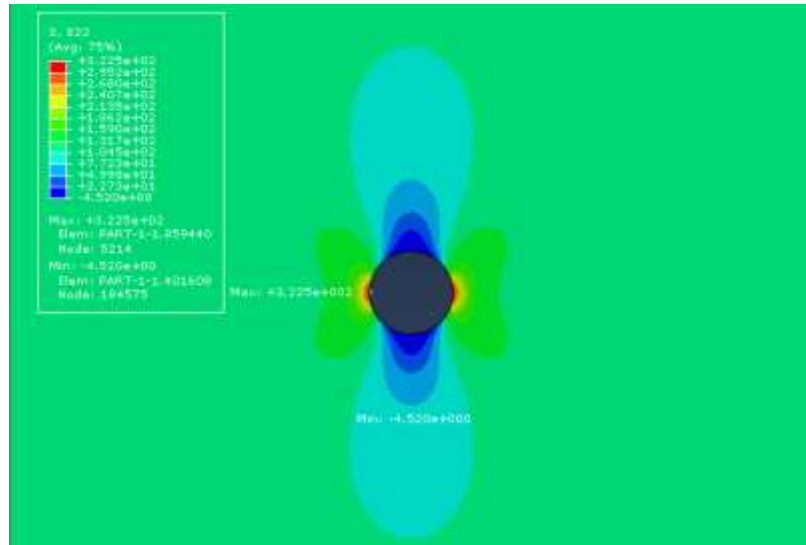


Gambar 4.4 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 30% *yield* d 6 mm



Gambar 4.5 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 60% *yield* d 6 mm

Gambar 4.5 yaitu tegangan arah sumbu Y maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 214,98 MPa.

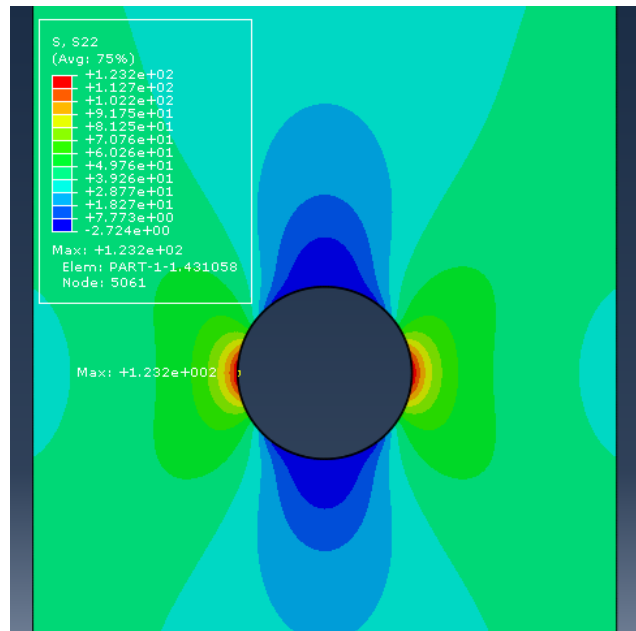


Gambar 4.6 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 90% yield d 6 mm

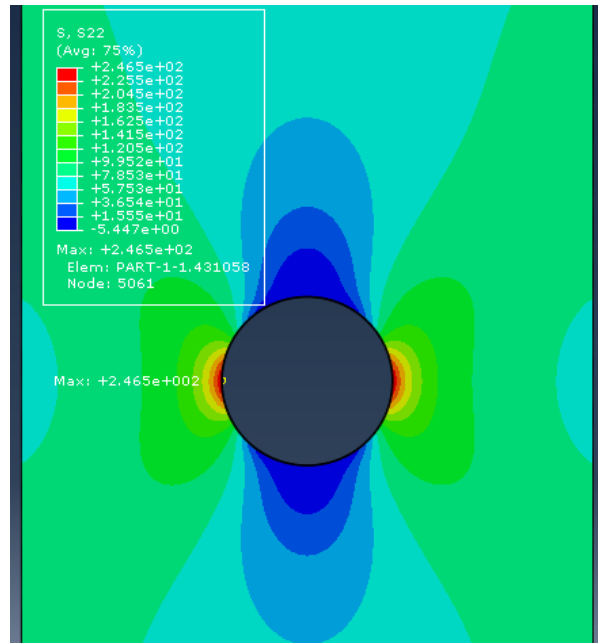
Gambar 4.6 yaitu tegangan arah sumbu Y maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 322,49 MPa.

#### 4.1.3. Model tarik pelat berlubang diameter 18 mm

Gambar 4.7 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu Y maksimum pada model diameter lubang 18 mm sebesar 123,24 MPa yang terletak pada bagian tepi lubang.

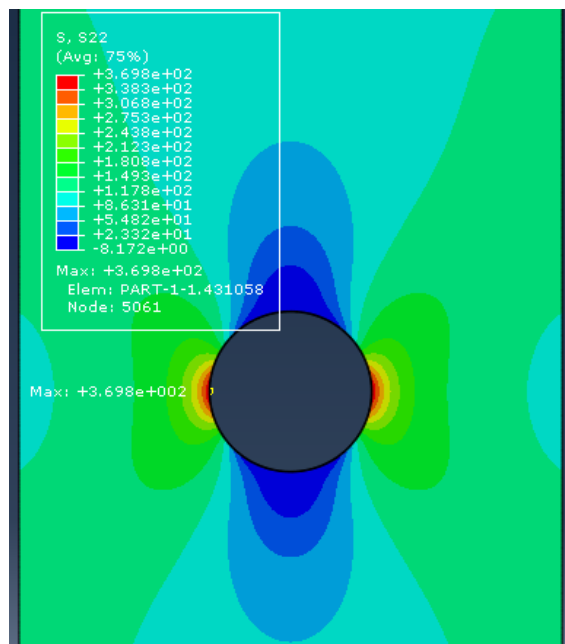


Gambar 4.7 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 30% yield d 18 mm



Gambar 4.8 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 60% *yield* d 18 mm

Gambar 4.8 yaitu tegangan arah sumbu Y maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 246,48 MPa.

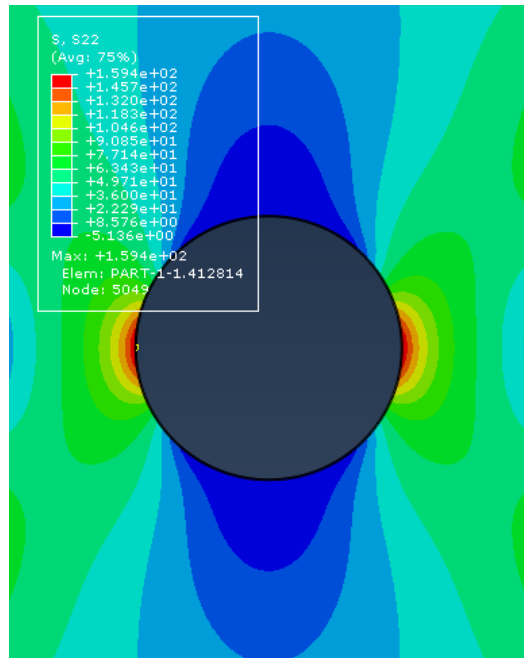


Gambar 4.9 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 90% *yield* d 18 mm

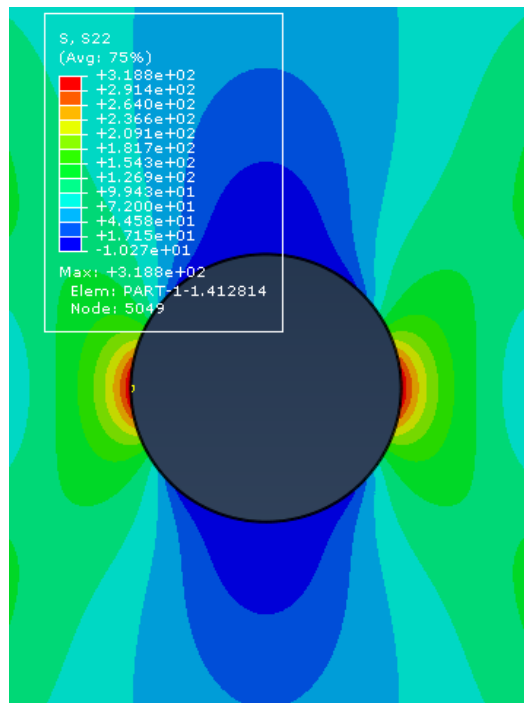
Gambar 4.9 yaitu tegangan arah sumbu Y maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 369,75 MPa.

#### 4.1.4. Model tarik pelat berlubang diameter 30 mm

Gambar 4.10 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu Y maksimum pada model diameter lubang 30 mm sebesar 159,42 MPa yang terletak pada bagian tepi lubang.

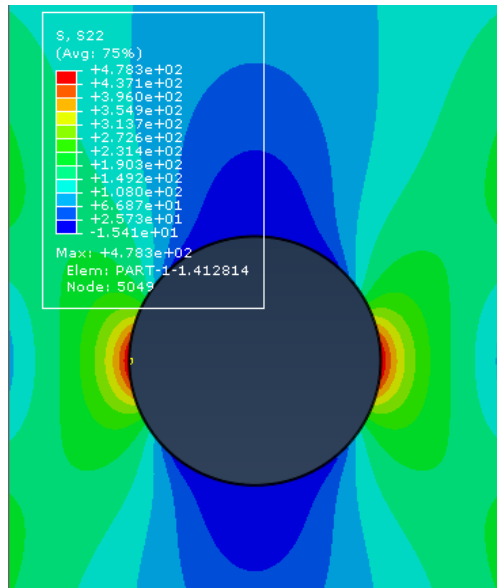


Gambar 4.10 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 30% *yield* d 30 mm



Gambar 4.11 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 60% *yield* d 30 mm

Gambar 4.11 menunjukkan tegangan arah sumbu Y maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 318,83 MPa.

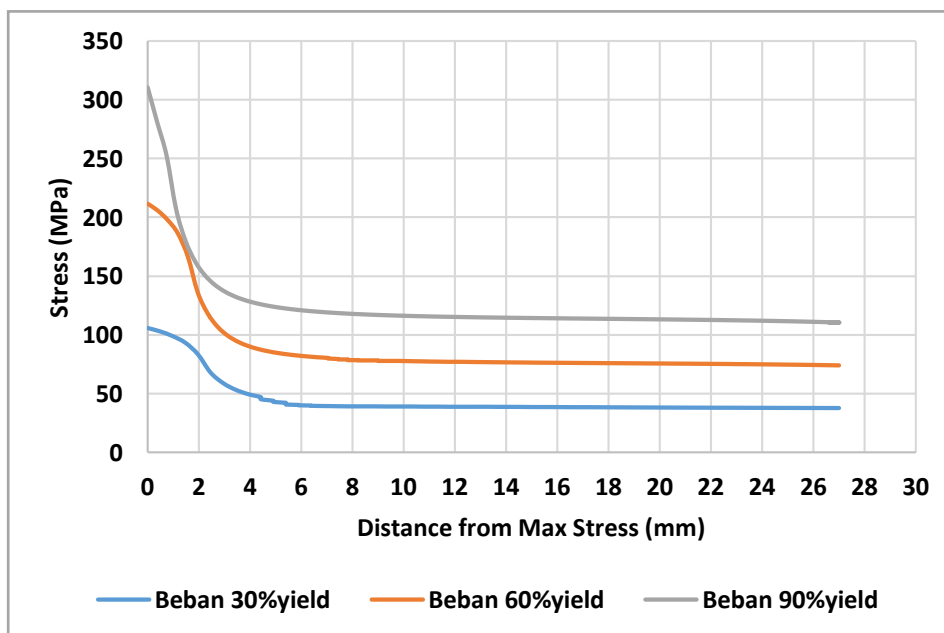


Gambar 4.12 Tegangan Pengujian Tarik arah Sumbu Y beban 90% *yield* d 30 mm

Gambar 4.12 yaitu tegangan arah sumbu Y maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 478,29 MPa.

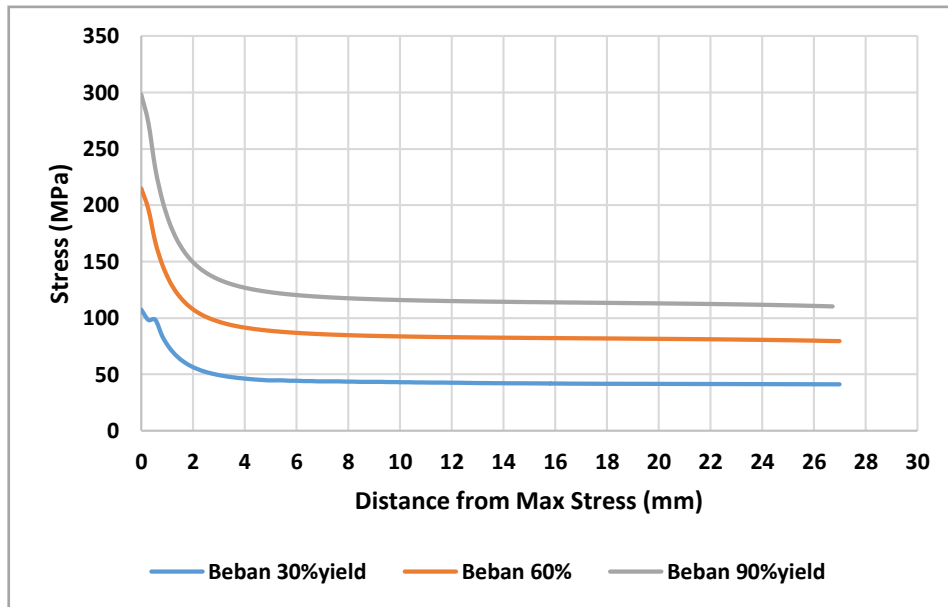
#### 4.2 Distribusi Tegangan Pengujian Tarik

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 4.13-16.



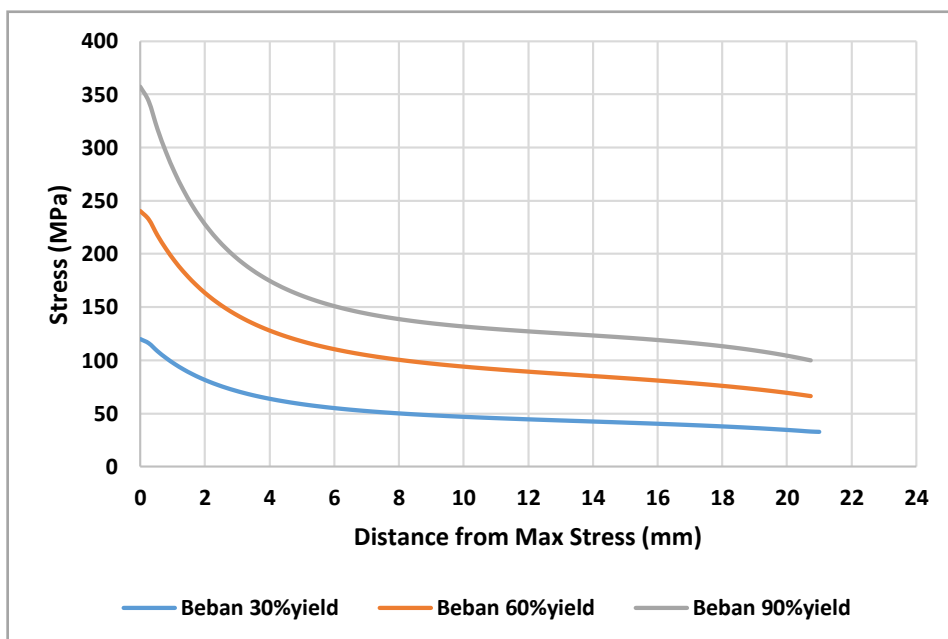
Gambar 4.13 Distribusi Tegangan Tarik diameter lubang 3 mm

Pada Gambar 4.13 beban 30% *yield* tegangan maksimal 105,79 MPa dan tegangan terkecil yang terletak pada tepi pelat 36,95 MPa. Beban 60% tegangan maksimal 211,58 MPa dan tegangan terkecil pada tepi pelat 73,91 MPa dan beban 90% *yield* tegangan maksimal 315,67 MPa dan tegangan terkecil yang terletak pada tepi pelat 110,39 MPa.



Gambar 4.14 Distribusi Tegangan Tarik diameter lubang 6 mm

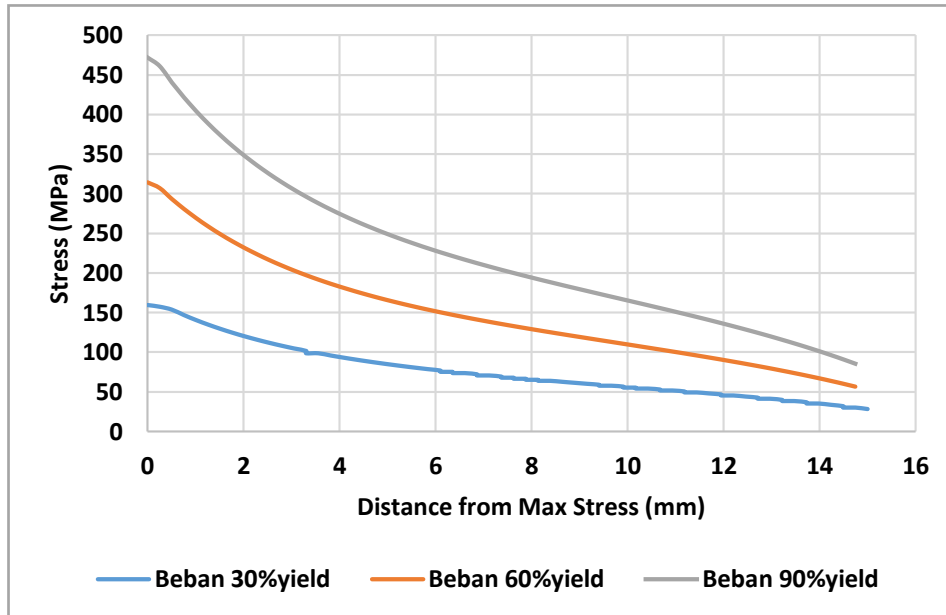
Pada gambar 4.14 beban 30% *yield* tegangan maksimal 107,49 MPa dan tegangan terkecil yang terletak pada tepi pelat 41,17 MPa. Beban 60% tegangan maksimal 214,98 MPa dan tegangan terkecil pada tepi pelat 79,35 MPa dan beban 90% *yield* tegangan maksimal 322,49 MPa dan tegangan terkecil yang terletak pada tepi pelat 110,31 MPa.



Gambar 4.15 Distribusi Tegangan Tarik diameter lubang 18 mm



Pada Gambar 4.15 beban 30% *yield* tegangan maksimal 123,24 MPa dan tegangan terkecil yang terletak pada tepi pelat 33,30 MPa. Beban 60% tegangan maksimal 246,46 MPa dan tegangan terkecil pada tepi pelat 66,60 MPa dan beban 90% *yield* tegangan maksimal 369,75 MPa dan tegangan terkecil yang terletak pada tepi pelat 99,92 MPa.



Gambar 4.16 Distribusi Tegangan Tarik diameter lubang 30 mm

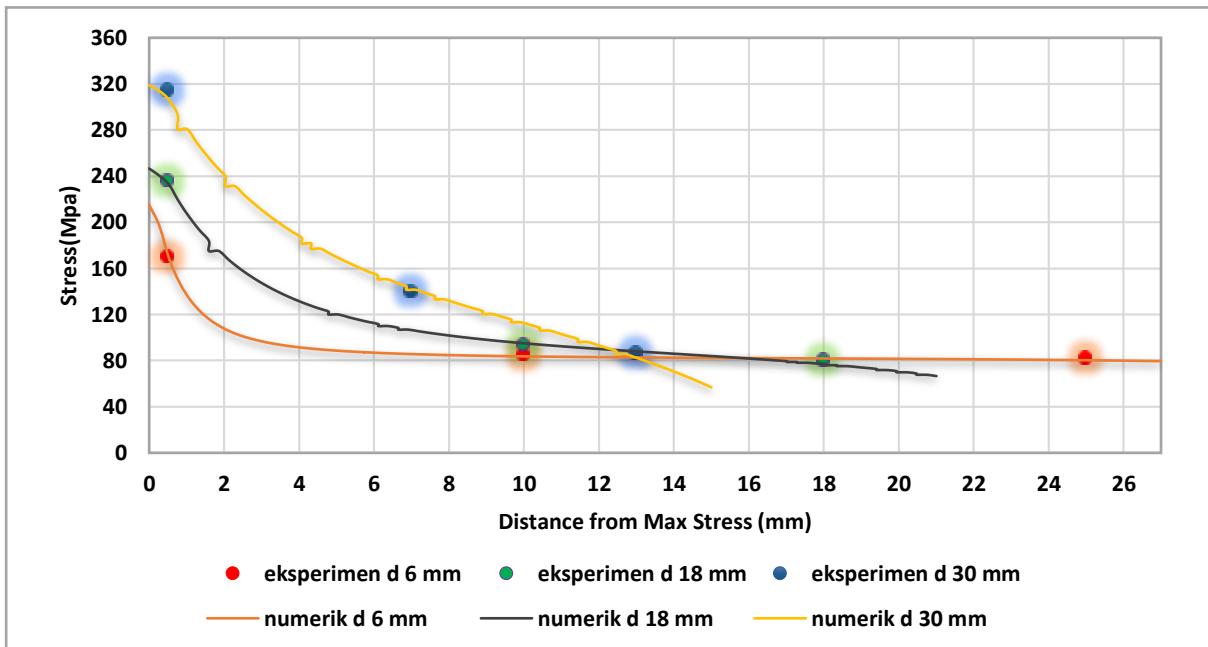
Pada Gambar 4.16 beban 30% *yield* tegangan maksimal 159,42 MPa dan tegangan terkecil yang terletak pada tepi pelat 28,41 MPa. Beban 60% tegangan maksimal 318,83 MPa dan tegangan terkecil pada tepi pelat 56,82 MPa dan beban 90% *yield* tegangan maksimal 478,29 MPa dan tegangan terkecil yang terletak pada tepi pelat 85,24 MPa.

#### 4.2.1 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 diameter terhadap distribusi tegangan. 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. Pada Gambar 4.17 menjelaskan pengaruh distribusi tegangan terhadap variasi diameter lubang dengan pembebanan tarik 60% *yield* material, tepi lubang tiap variasi diameter mengalami konsentrasi tegangan terbesar dan berkurang menuju tepi material pelat. Semakin besar diameter lubang, distribusi tegangan menuju tepi material akan mengalami kemiringan (*sloping*) hal ini disebabkan luasan yang ditumpu berkurang maka tegangan hampir sama besar.

Tabel 4.1 Perbedaan Distribusi Tegangan Numerik dan Eksperimen

Diameter (mm)	Jarak x (mm)	Tegangan (Mpa)	
		Numerik	Eksperimen
6	0,5	167,18	169,86
	10	83,47	84,46
	25	80,10	81,85
18	0,5	232,50	235,60
	10	94,74	93,47
	18	76,77	79,85
30	0,5	307,16	314,02
	7	141,41	139,79
	13	82,80	85,95



Gambar 4.17 Distribusi Tegangan Pengaruh Variasi Diameter Beban 60%

### 4.3 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Tarik

Faktor konsentrasi tegangan (SCF) adalah faktor tak berdimensi yang digunakan untuk mengukur konsentrasi tegangan dalam suatu material. Ini didefinisikan sebagai rasio tegangan tertinggi dalam elemen terhadap tegangan nominal. Tegangan nominal adalah tegangan total dalam suatu elemen di bawah kondisi pembebanan yang sama tanpa konsentrator tegangan, untuk menghitung tegangan nominal pada pelat berlubang menggunakan persamaan (4.1).

$$\sigma_{nom} = \frac{P}{(D-d)*t} \quad (4.1)$$

### 4.3.1 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Tarik Metode Numerik

Pada sub bab 4.1.1 hingga 4.1.4 telah dilakukan analisis pemodelan *finite element analysis* material uji sehingga didapatkan nilai tegangan maksimal, nominal yang kemudian menggunakan persamaan (2.7) untuk mendapatkan nilai SCF pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tegangan Tarik arah Sumbu Y beban 30% *yield*

Model	d/D	D = 60 mm	t = 6 mm		SCF
		Diameter Lingkaran (d)	Beban (N)		
			(30% <i>yield</i> )		
			Tegangan Maksimal(MPa)	Tegangan Nominal(MPa)	
1	0,05	3 mm	105,79	39,18	2,70
2	0,1	6 mm	107,49	41,36	2,60
3	0,3	18 mm	123,24	53,17	2,32
4	0,5	30 mm	159,42	74,44	2,14

Pada Tabel 4.2 yaitu hasil faktor konsentrasi tegangan arah sumbu Y dengan variasi diameter lubang dan beban 30% *yield* sebesar 13,4 KN yang diberikan pada model.

Tabel 4.3 Tegangan Tarik arah Sumbu Y beban 60% *yield*

Model	d/D	D = 60 mm	t = 6 mm		SCF
		Diameter Lingkaran (d)	Beban (N)		
			(60% <i>yield</i> )		
			Tegangan Maksimal(MPa)	Tegangan Nominal(MPa)	
1	0,05	3 mm	211,58	78,36	2,70
2	0,1	6 mm	214,98	82,72	2,60
3	0,3	18 mm	246,48	106,35	2,32
4	0,5	30 mm	318,83	148,89	2,14

Pada Tabel 4.3 diatas yaitu hasil faktor konsentrasi tegangan arah sumbu Y dengan variasi diameter lubang dan beban 60% *yield* sebesar 26,8 KN yang diberikan pada model.

Tabel 4.4 Tegangan Tarik arah Sumbu Y beban 90% *yield*

Model	d/D	D = 60 mm	t = 6 mm		SCF
		Diameter Lingkaran (d)	Beban (N)		
			(90% <i>yield</i> )		
			Tegangan Maksimal(MPa)	Tegangan Nominal(MPa)	
1	0,05	3 mm	317,37	117,54	2,70
2	0,1	6 mm	322,50	124,07	2,60
3	0,3	18 mm	369,76	159,52	2,32
4	0,5	30 mm	478,29	223,33	2,14

Pada Tabel 4.4 diatas yaitu hasil faktor konsentrasi tegangan arah sumbu Y dengan variasi diameter lubang dan beban 90% *yield* sebesar 40,2 KN yang diberikan pada model.

#### 4.3.2 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Tarik Metode Empiris

Setelah dilakukan simulasi dari *FEA* dan didapatkan nilai SCF masing-masing model uji dengan menggunakan tegangan arah Y. Kemudian dilakukan perhitungan *stress concentration factor* empiris pada Tabel 4.5 dengan menggunakan persamaan (4.2).

$$SCF = 3.00 - 3.13 \left(\frac{2r}{D}\right) + 3.66 \left(\frac{2r}{D}\right)^2 - 1.53 \left(\frac{2r}{D}\right)^3 \quad (4.2)$$

Tabel 4.5 Perhitungan SCF Tarik Empiris (Roarks Formula)

Variasi	r(mm)	D (mm)	d/D	SCF
Model 1	1,5	60	0,05	2,85
Model 2	3		0,1	2,72
Model 3	9		0,3	2,35
Model 4	15		0,5	2,16

### 4.3.3 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Tarik Metode Eksperimen

Telah dijelaskan pada BAB 3 tentang tahapan pengujian tarik dengan pemasangan sensor *strain gauge* dan dihubungkan ke alat *Micro Measurements Model P3* untuk mendapatkan regangan dalam satuan *micro strain* ( $10^{-6}$ ) kemudian dikalikan Modulus material (E) untuk mendapatkan tegangan. Pada tabel 4.6 dapat dilihat tegangan dari hasil eksperimen.

Tabel 4.6 Tegangan Eksperimen Pengujian Tarik

d (mm)	strain 30%	strain 60%	$\sigma_{Nom}(MPa)$		strain 30%	strain 60%	$\sigma_{Max}(MPa)$	
			40,7	80,10			107,9	213,2
6	0,000194	0,000381	40,7	80,10	0,000512	0,001015	107,9	213,2
18	0,000240	0,000496	50,5	104,1	0,000561	0,001159	117,9	243,4
30	0,000350	0,000689	73,4	142,5	0,000753	0,001464	158,1	307,4

Faktor konsentrasi tegangan sebagai yang telah dijelaskan adalah rasio dari tegangan maksimal dengan tegangan nominal, maka didapatkan *stress concentration factor* pada material uji dengan menggunakan sensor *strain gauge* pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 *Stress concentration factor* metode eksperimen pengujian tarik

Tegangan Nominal Eksperimen(MPa)		Tegangan Maksimal Eksperimen(MPa)		SCF 30%	SCF 60%
Beban 30%	Beban 60%	Beban 30%	Beban 60%		
40,90	80,10	107,95	213,21	2,64	2,66
50,58	104,14	117,90	243,48	2,33	2,34
73,43	142,56	158,14	307,44	2,15	2,15

Pada Tabel 4.7 diatas yaitu hasil faktor konsentrasi tegangan metode eksperimen pengujian tarik arah tegangan sumbu Y dengan variasi diameter lubang dan beban 30%, 60% *yield* yang diberikan pada material uji.

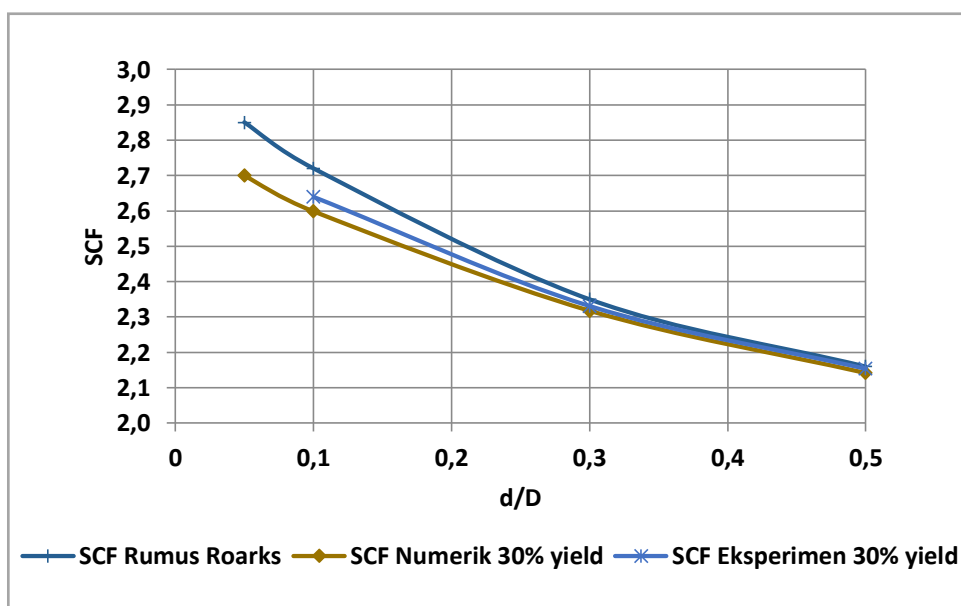
#### 4.3.4 Hasil SCF Numerik, Rumus Empiris dan Eksperimen Pengujian Tarik

*Stress Concentration Factor* (SCF) pada model didapatkan dengan menggunakan tegangan arah Y dibagi dengan tegangan nominal seperti pada sub bab 4.1 dan perhitungan dengan rumus empiris (*Roark's Formula*) pada sub bab 4.3.2. Perbandingan perhitungan SCF masing-masing model uji dapat dilihat pada Tabel 4.8.

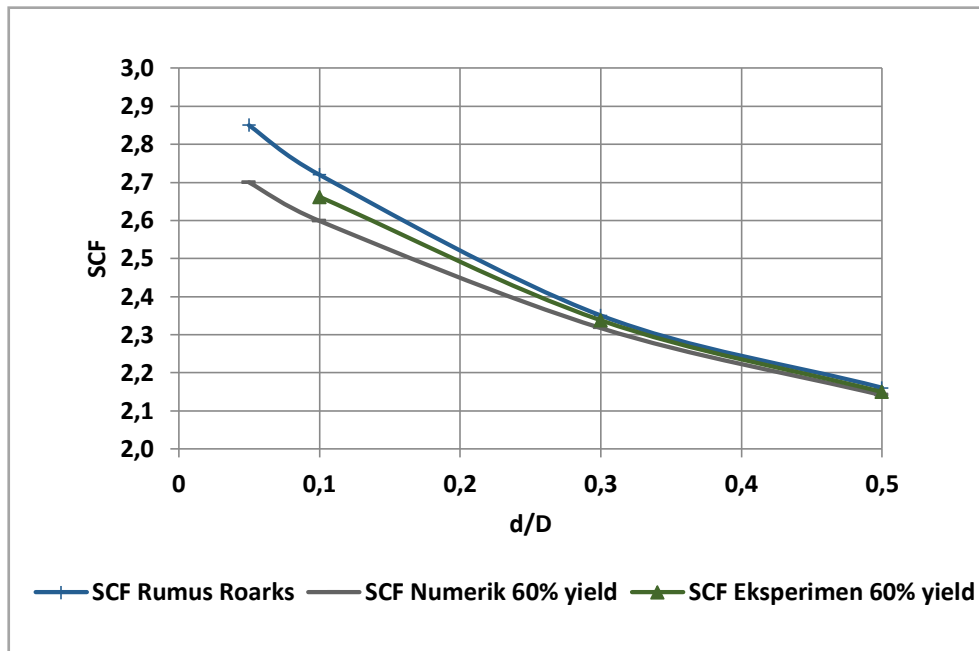
Tabel 4.8 Perbandingan Perhitungan SCF

d (mm)	D 60 mm (d/D)	Numerik			Eksperimen		SCF (Roarks Formula)	Selisih Numerik -Empiris (%)	Selisih Numerik - Eksperimen (%)
		30%	60%	90%	30%	60%			
		SCF	SCF	SCF	SCF				
3	0,05	2,70	2,70	2,70			2,85	5,26	
6	0,1	2,60	2,60	2,60	2,64	2,66	2,72	4,45	1,94
18	0,3	2,32	2,32	2,32	2,33	2,34	2,35	1,38	0,71
30	0,5	2,14	2,14	2,14	2,15	2,15	2,16	0,86	0,62

Pada Tabel 4.8 yaitu hasil perbandingan nilai faktor konsentrasi tegangan metode numerik, empiris dan eksperimen. Selisih paling besar untuk metode numerik dengan empiris yaitu diameter 3 mm sebesar 5.26% dan metode numerik dengan eksperimen yaitu diameter 6 mm sebesar 1.94%. Kemudian Gambar 4.18 beban 30% *yield* yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik, empiris dan eksperimen.

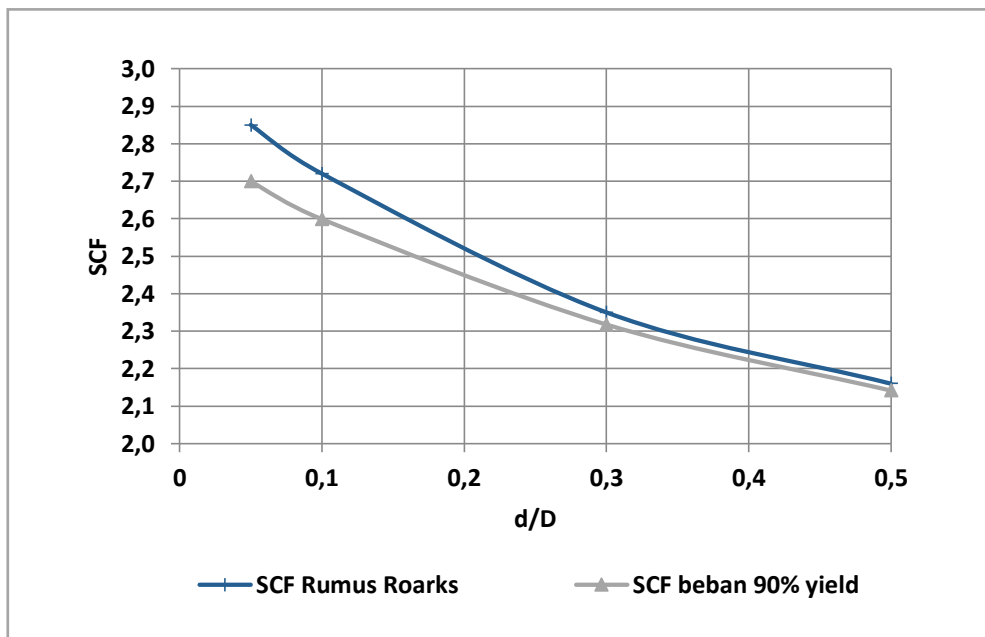


Gambar 4.18 SCF Pengujian Tarik Beban 30% *yield*



Gambar 4.19 SCF Pengujian Tarik Beban 60% *yield*

Pada Gambar 4.19 beban 60% *yield* yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik, empiris dan eksperimen.



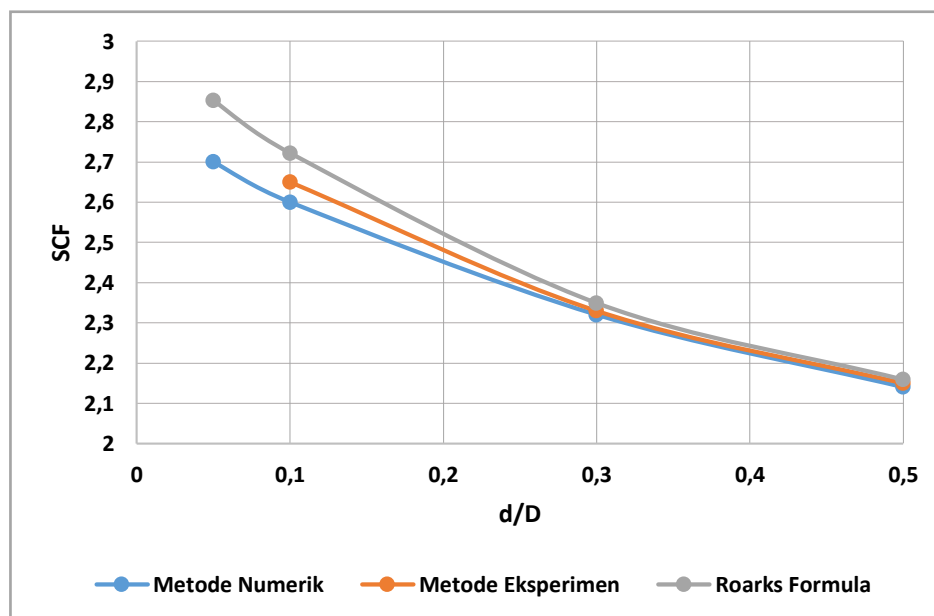
Gambar 4.20 SCF Pengujian Tarik Beban 90% *yield*

Pada Gambar 4.20 beban 90% *yield* yaitu nilai faktor konsentrasi tegangan perbandingan metode numerik dan empiris karena tidak dilakukan pengujian eksperimen dengan beban tersebut.

Tabel 4.9 Rata-rata SCF Pembebanan Tarik

Diameter lingkaran (d)	D (60 mm)	Metode Numerik	Metode Eksperimen	Roarks Formula
	d/D	SCF		
3 mm	0,05	2,70		2,85
6 mm	0,1	2,60	2,65	2,72
18 mm	0,3	2,32	2,33	2,,35
30 mm	0,5	2,14	2,15	2,16

Faktor konsentrasi tegangan sensitif terhadap rasio, percobaan menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai rasio semakin tinggi tegangan maksimum dan semakin kecil nilai SCF. Pada Tabel 4.9 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 4.21.



Gambar 4.21 Rata-rata SCF Pembebanan Tarik

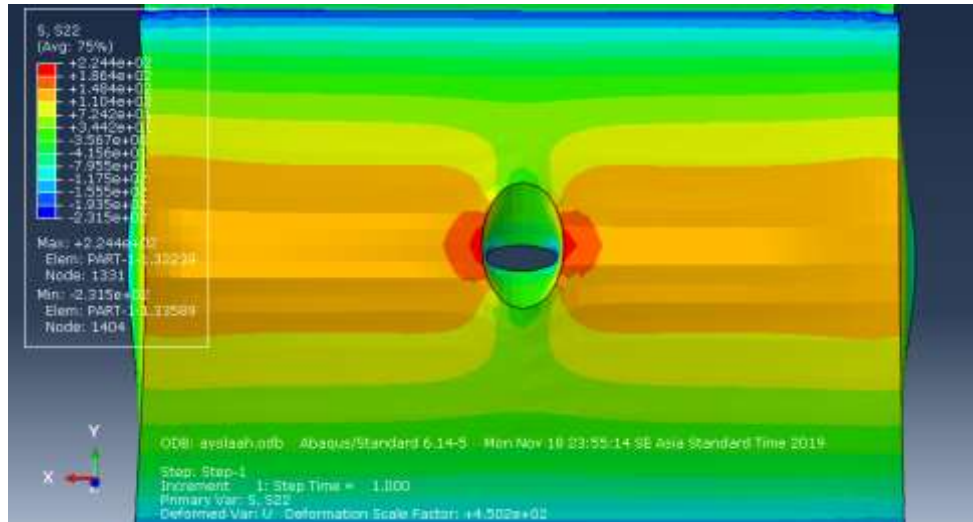
#### 4.4 Analisis Tegangan Pengujian Bending

Setelah melakukan pengujian Tarik didapatkan hasil berupa tegangan setiap model kemudian dilakukan pengujian bending. Tegangan maksimal arah sumbu Y pada pengujian bending digunakan untuk mengetahui perhitungan *stress concentration factor*. Berikut ini adalah hasil tegangan arah sumbu Y yang searah dengan gaya pengujian bending setiap model.

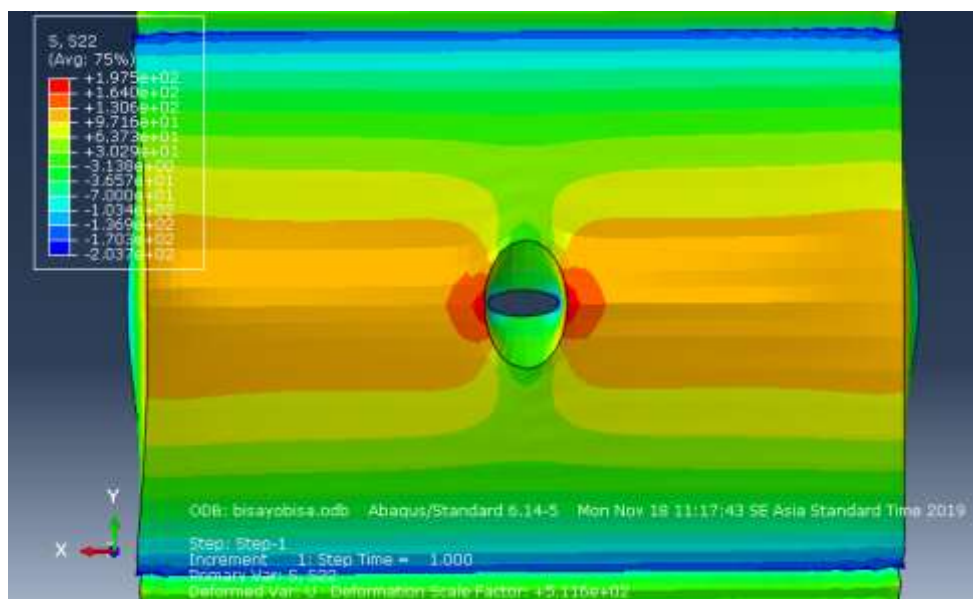


#### 4.4.1 Tegangan Model Bending Pelat Berlubang

Gambar 4.22 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu Y maksimum pada model lubang diameter 3 mm tegangan pada bagian tepi lubang sebesar 208,69 MPa.

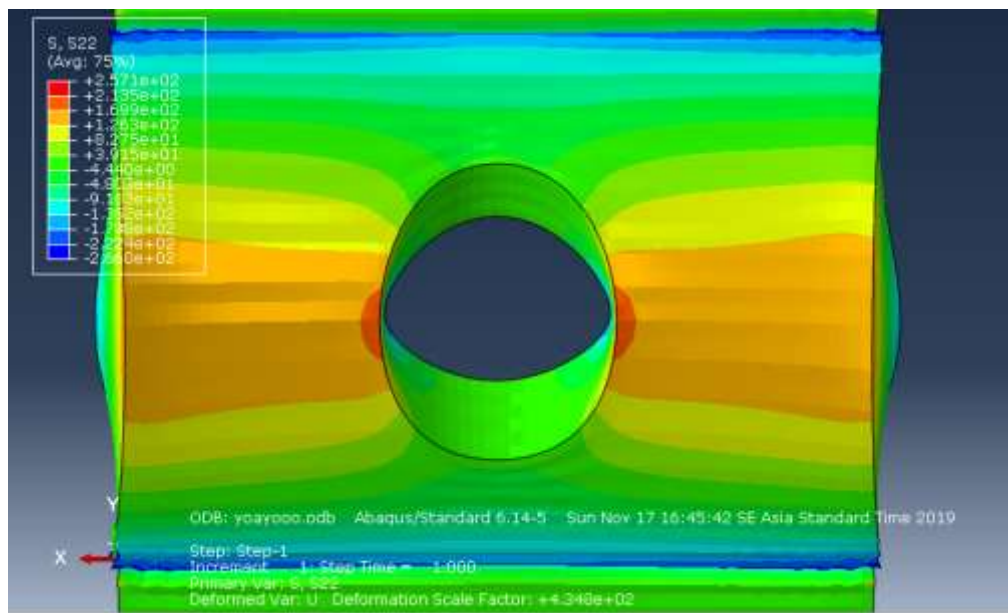


Gambar 4.22 Tegangan bending arah sumbu Y pelat berlubang diameter 3 mm



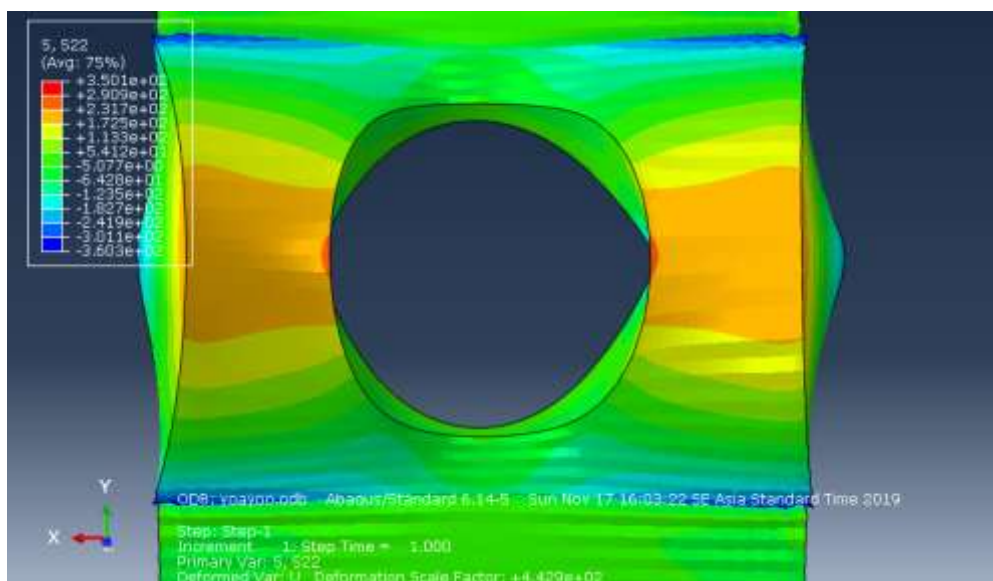
Gambar 4.23 Tegangan bending arah sumbu Y pelat berlubang diameter 6 mm

Gambar 4.23 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu Y maksimum pada model lubang diameter 6 mm tegangan pada bagian tepi lubang sebesar 186,62 MPa.



Gambar 4.24 Tegangan bending arah sumbu Y pelat berlubang diameter 18 mm

Gambar 4.24 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu Y maksimum pada model lubang diameter 18 mm tegangan pada bagian tepi lubang sebesar 190,64 MPa.

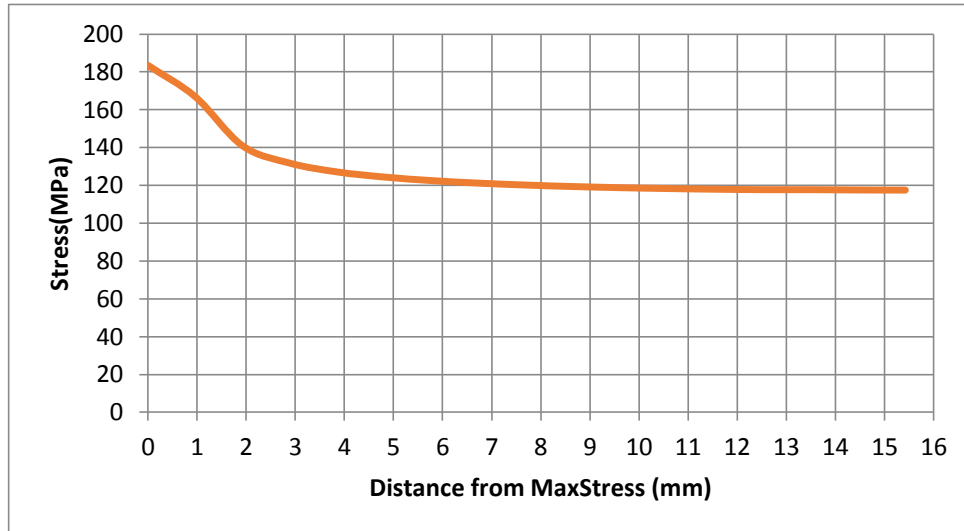


Gambar 4.25 Tegangan bending arah sumbu Y pelat berlubang diameter 30 mm

Gambar 4.25 menunjukkan nilai tegangan arah sumbu Y maksimum pada model lubang diameter 30 mm tegangan pada bagian tepi lubang sebesar 239,79 Mpa.

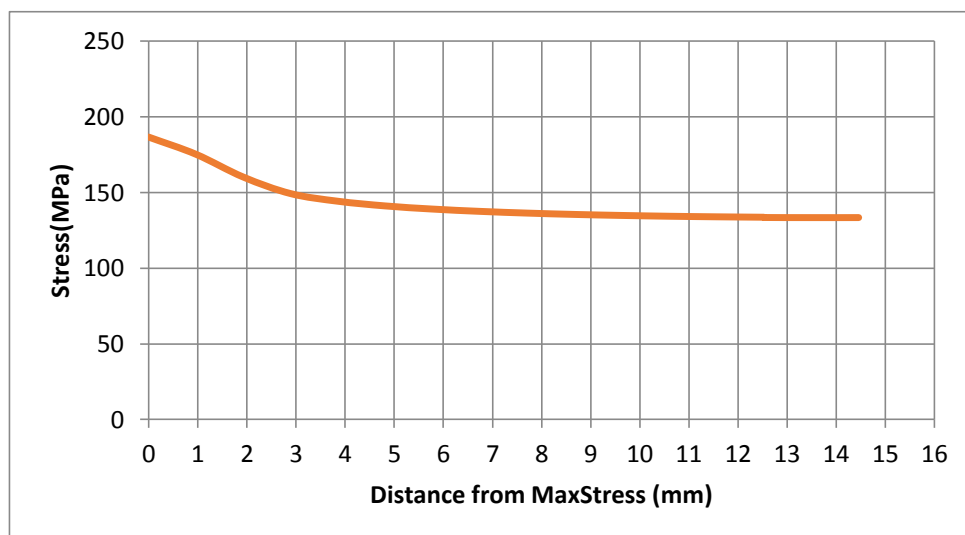
#### 4.4.2 Distribusi Tegangan Pengujian Bending

Berdasarkan hasil dari simulasi yang dilakukan terkait tegangan pengujian bending yang didapatkan, maka dapat ditampilkan distribusi tegangan pada bentuk grafik pada Gambar 4.26-29.



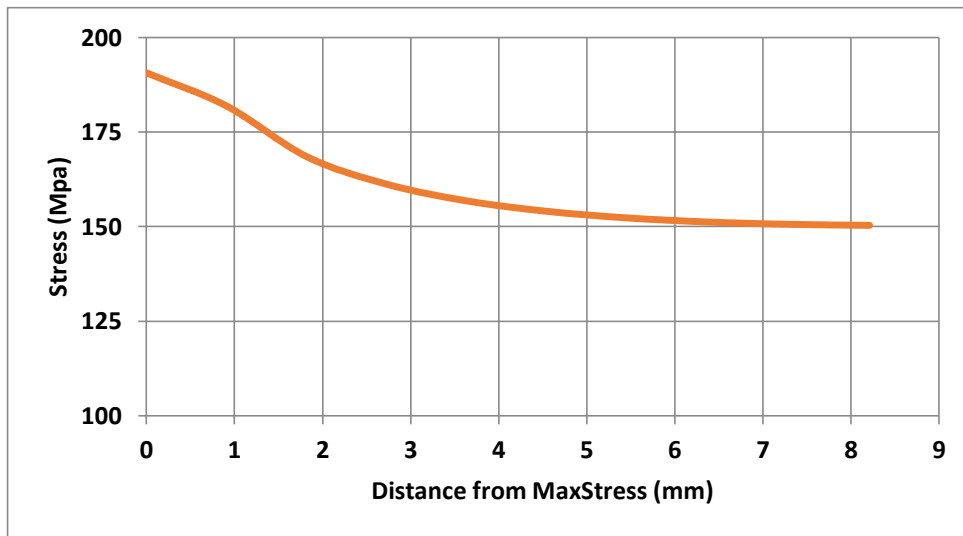
Gambar 4.26 Distribusi Tegangan Bending diameter lubang 3 mm

Pada Gambar 4.26 tegangan maksimal pada tepi lubang arah sumbu Y yaitu sebesar 183,37 MPa.



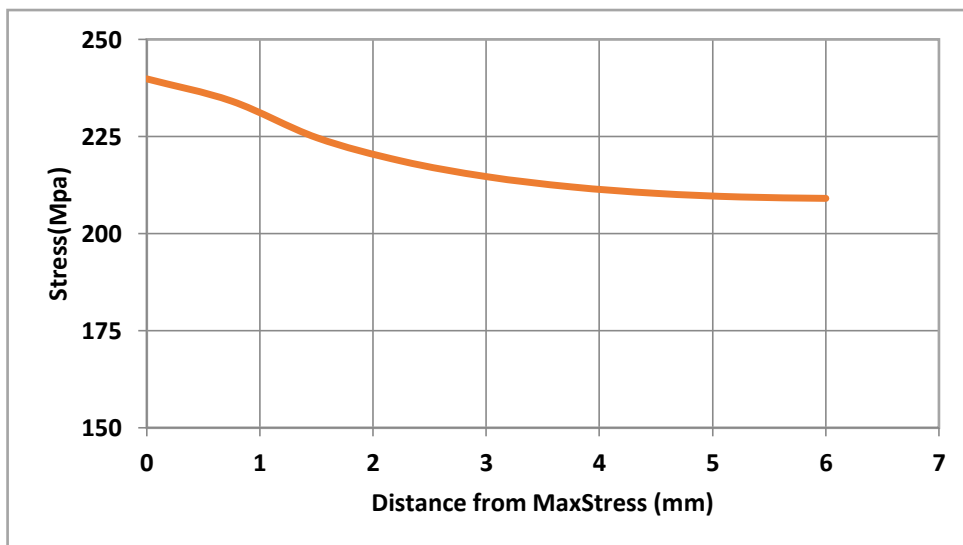
Gambar 4.27 Distribusi Tegangan Bending diameter lubang 6 mm

Pada Gambar 4.27 tegangan maksimal pada tepi lubang arah sumbu Y yaitu sebesar 186,62 MPa.



Gambar 4.28 Distribusi Tegangan Bending diameter lubang 18 mm

Pada Gambar 4.28 tegangan maksimal pada tepi lubang arah sumbu Y yaitu sebesar 190,64 MPa.



Gambar 4.29 Distribusi Tegangan Bending diameter lubang 30 mm

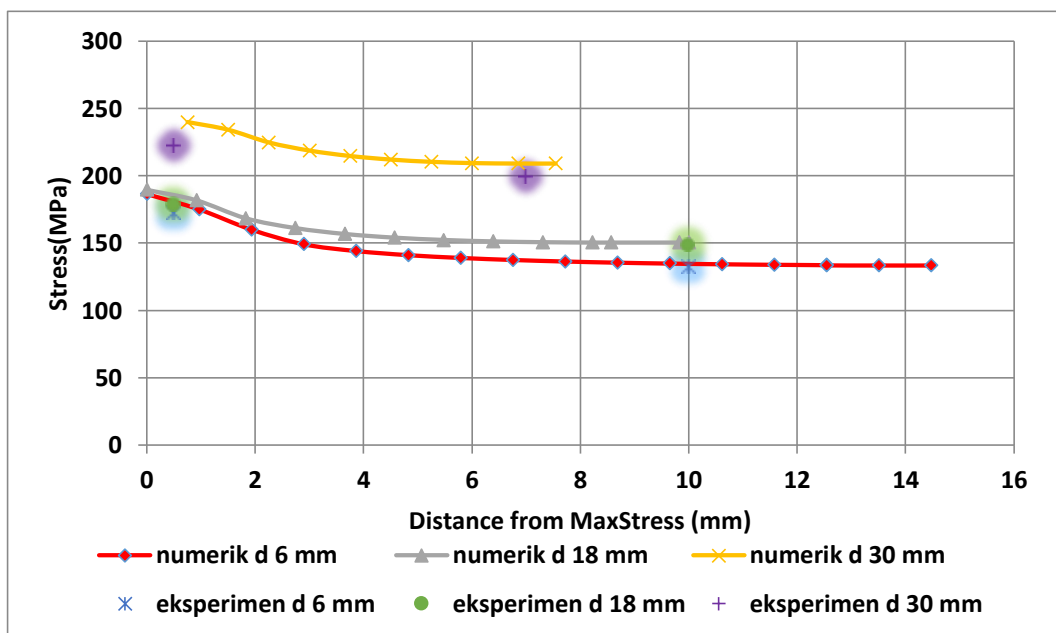
Pada Gambar 4.29 tegangan maksimal pada tepi lubang arah sumbu Y yaitu sebesar 293,79 MPa.

Telah dijelaskan pada sub bab 4.4.2 tentang distribusi tegangan material berlubang dengan pembebanan bending, kemudian perbedaan distribusi tegangan numerik dan eksperimen hasil pembacaan *strain gauge* pada lokasi yang sesuai pemaangan sensor dijelaskan Tabel 4.10 dengan numerik.

Tabel 4.10 Perbedaan Distribusi Tegangan Pembebanan Bending

Diameter (mm)	Jarak x (mm)	Tegangan(Mpa)	
		Numerik	Eksperimen
6	0,5	175,28	172,41
	10	134,44	132,51
	25		
18	0,5	181,87	178,50
	10	150,41	148,25
	18		
30	0,5	307,16	222,18
	7	209,06	199,50
	13		

Pada Gambar 4.30 yaitu pengaruh variasi diameter lubang pembebanan bending terhadap distribusi tegangan, tidak terjadi perbedaan *sloping* yang signifikan. Bentuk distribusi tegangan hampir sama tetapi yang jelas terlihat perbedaan jarak luasan dari tepi lubang ke tepi material. Hal ini disebabkan oleh diameter yang semakin besar mengalami tekukan yang besar pula dan mengakibatkan luasan berkurang.



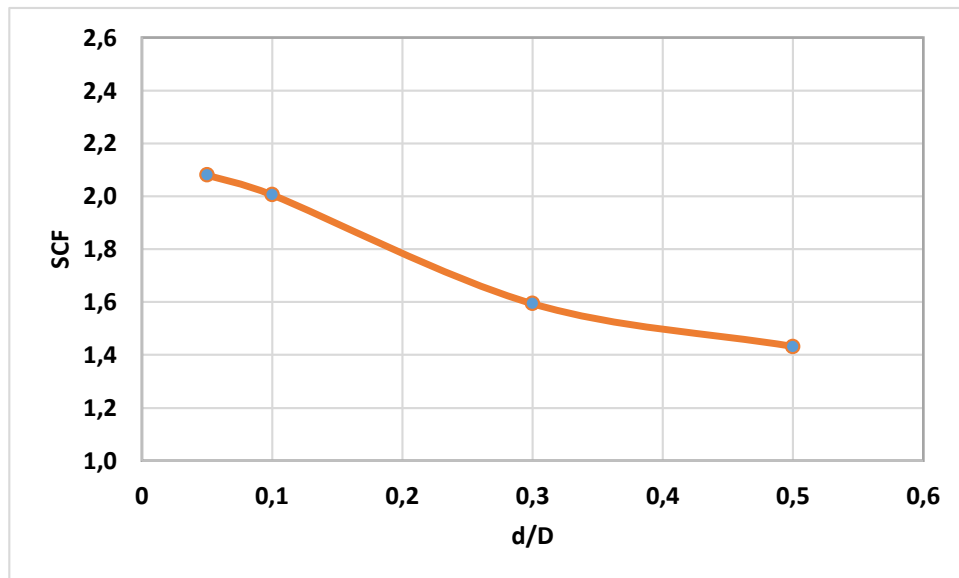
Gambar 4.30 Distribusi Tegangan Pengujian Bending Pengaruh Variasi Diameter

#### 4.4.3 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Bending Metode Numerik

Faktor konsentrasi stress (SCF) adalah faktor tak berdimensi yang digunakan untuk mengukur konsentrasi tegangan dalam suatu material. Ini didefinisikan sebagai rasio tegangan tertinggi dalam elemen terhadap tegangan nominal. Pada Tabel 4.11 yaitu analisis *stress concentration factor* metode numerik pengujian bending.

Tegangan nominal adalah tegangan total dalam suatu elemen di bawah kondisi pembebanan yang sama tanpa konsentrator tegangan, untuk menghitung tegangan nominal pada pelat berlubang akibat pembebanan bending menggunakan persamaan (4.3) dan hasil SCF numerik pengujian bending dapat dilihat pada Gambar 4.31.

$$\sigma_{nom} = \frac{6M}{(D-d)*t^2} \quad (4.3)$$



Gambar 4.31 SCF Pengujian Bending metode Numerik

Tabel 4.11 Tegangan Pengujian Bending metode Numerik

No	D 60 mm  d/D	Diameter Lingkaran (mm)	Beban (P1) 13400 N		SCF
			M(P1) 30150		
			Tegangan Maksimal(MPa)	Tegangan Nominal(MPa)	
1	0,05	3	183,37	88,16	2,08
2	0,1	6	186,63	93,06	2,01
3	0,3	18	190,64	119,64	1,59
4	0,5	30	239,79	167,50	1,43

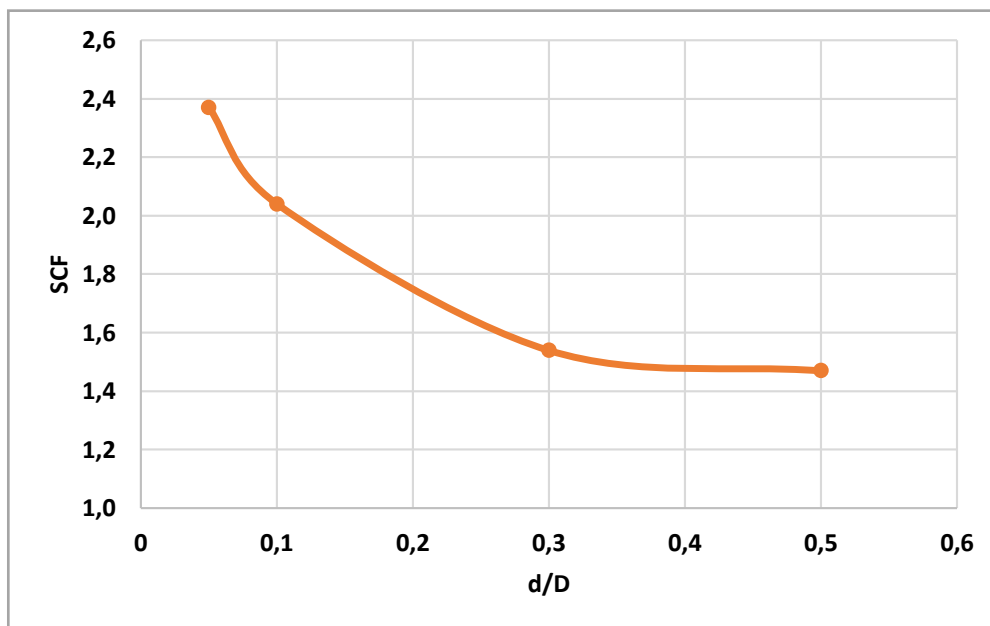
#### 4.4.4 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Bending Metode Empiris

Setelah dilakukan simulasi dari *FEA* dan didapatkan nilai *stress concentration factor* numerik model uji dengan menggunakan tegangan arah Y. Kemudian dilakukan perhitungan empiris pada Tabel 4.12 dengan menggunakan persamaan (4.5) dan pada Gambar 4.32 dapat dilihat yaitu hasil SCF untuk pelat berlubang dengan variasi diameter.

$$SCF = 1.79 + \left(\frac{0.25}{0.39}\right) + \left(\frac{d}{t}\right) + \frac{0.81}{1} + \left(\frac{d}{t}\right)^2 - \frac{0.26}{1} + \left(\frac{d}{t}\right)^3 * \left(1 - 1.04\left(\frac{d}{D}\right)\right) + 1.22\left(\frac{d}{D}\right)^2 \quad (4.5)$$

Tabel 4.12 Perhitungan SCF Bending Empiris (Roarks Formula)

Variasi	d/t	D (mm)	d/D	SCF
Model 1	0,5	60	0,05	2,37
Model 2	1		0,1	2,04
Model 3	3		0,3	1,54
Model 4	5		0,5	1,47



Gambar 4.32 SFC Bending Roark's Formula

#### 4.4.5 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Bending Metode Eksperimen

Tahapan proses yang dikerjakan sebelum pengujian bending sama seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 4.3.2 tentang pengujian tarik material, sedangkan yang membedakan yaitu gaya pengujian hanya menggunakan 30% dari *yield* material. Pada Tabel 4.13 adalah hasil dari pembacaan sensor regangan dalam satuan *micro strain* ( $10^{-6}$ ) kemudian dikalikan Modulus material (E) untuk mendapatkan tegangan.

Tabel 4.13 Tegangan Eksperimen Pengujian Bending

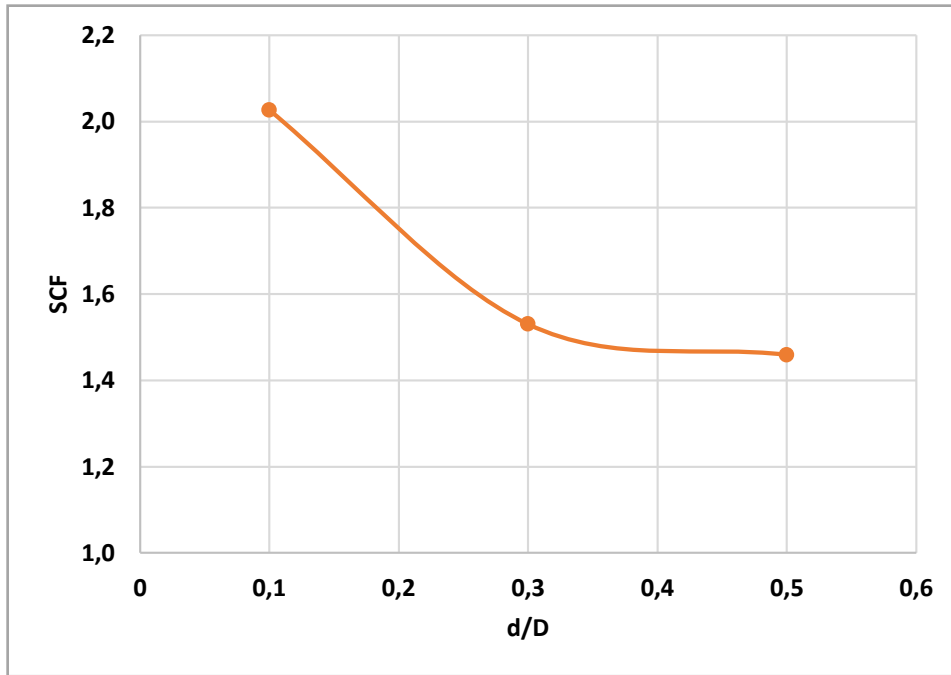
d (mm)	strain 30%	$\sigma_{nom}$ (MPa)	strain 30%	$\sigma_{Max}$ (MPa)
6	0,0004150	87,15	0,000841	176,61
18	0,0005750	120,75	0,000880	184,80
30	0,0007880	165,48	0,001150	241,50

Hasil pengujian bending sensor hanya dapat membaca pada gaya 30% *yield*, karena terjadi kerusakan pada sensor sehingga variasi beban 60% pengujian bending tidak dilakukan. Pada Tabel 4.14 yaitu perhitungan faktor konsentrasi tegangan, rasio tegangan maksimal dan nominal dan dapat lihat pada Gambar 4.33 yaitu nilai SCF eksperimen pelat berlubang pengujian bending.

Tabel 4.14 Faktor Konsentrasi Tegangan Pengujian Bending metode Ekperimen

No	D 60 mm	Diameter Lingkaran (mm)	Beban (P1) 13400 N		SCF
			M(P1) 30150		
			Tegangan Maksimal(MPa)	Tegangan Nominal(MPa)	
1	0,05	3			
2	0,1	6	176,61	87,15	2,03
3	0,3	18	184,80	120,75	1,53
4	0,5	30	241,50	165,48	1,46



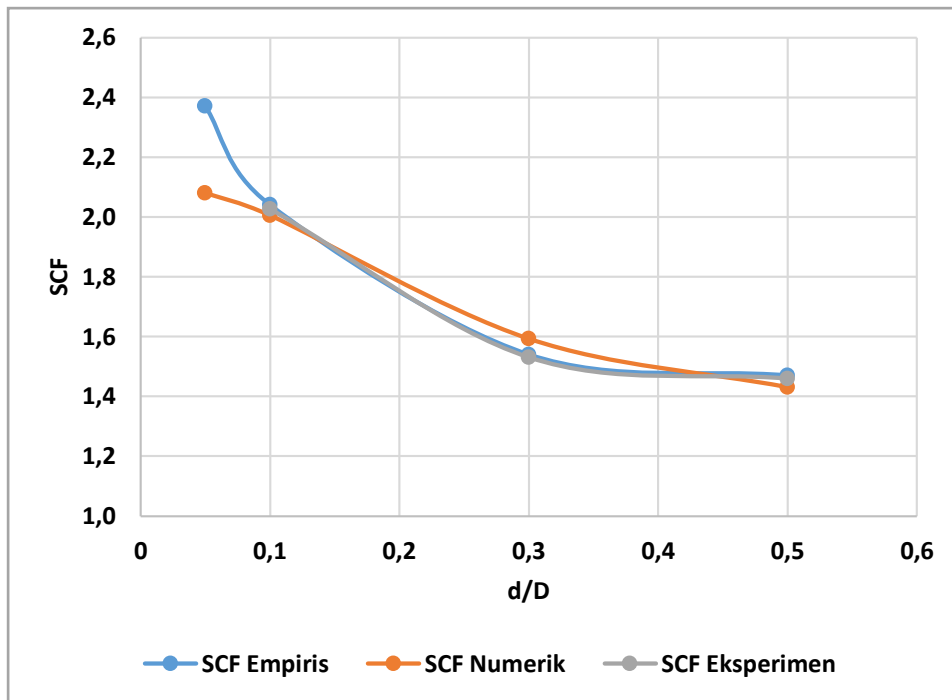


Gambar 4.33 SCF Pengujian Bending metode Eksperimen

Tabel 4.15 Perbandingan SCF Pengujian Bending

No	d	D	d/D	SCF Numerik	SCF Empiris	SCF Eksperimen
1	3 mm	60 mm	0,05	2,08	2,37	
2	6 mm		0,1	2,01	2,04	2,03
3	18 mm		0,3	1,59	1,54	1,53
4	30 mm		0,5	1,43	1,47	1,46

Pada Tabel 4.15 dapat dilihat hasil perhitungan *stress concentration factor* untuk setiap metode, terdapat perbedaan nilai pada eksperimen yang disebabkan pembacaan sensor *strain gauge* kurang optimal karena sensor sudah rusak sebelum mencapai gaya yang digunakan dalam metode numerik dan empiris.



Gambar 4.34 SCF Bending

Faktor konsentrasi tegangan sensitif terhadap rasio, seperti pada Gambar 4.34 percobaan menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai rasio semakin tinggi tegangan maksimum dan semakin kecil nilai SCF.

Tabel 4.16 Selisih SCF Pengujian Bending

No	d	SCF Numerik	SCF Eksperimen	Selisih Numerik-Eksperimen (%)
1	3 mm	2,08		
2	6 mm	2,01	2,03	1,04
3	18 mm	1,59	1,53	3,95
4	30 mm	1,43	1,46	1,90

Pada Tabel 4.16 dapat dilihat selisih factor konsentrasi tegangan dari metode numerik dengan metode eksperimen menghasilkan nilai margin terbesar pada percobaan pengujian diameter lingkaran 18 mm yaitu sebesar 3,95%. Perbedaan nilai factor konsentrasi tegangan salah satunya disebabkan oleh gaya yang bekerja dalam pengujian eksperimen tidak sama tepat seperti pada numerik karena sensor material mengalami kerusakan.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

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

1. Tegangan maksimum terjadi di sekitar pusat lubang untuk semua variasi diameter lubang. Faktor konsentrasi tegangan sensitif terhadap rasio, dimana percobaan menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai rasio semakin tinggi tegangan maksimum dan semakin kecil nilai SCF.
2. *Stress Concentration Factor* dengan metode numerik dengan pembebanan 30%, 60% dan 90% tidak mengalami perubahan diameter 6 mm yaitu 2,60 , diameter 18 mm yaitu 2,32 dan diameter 30 mm 2,14 sedangkan dengan metode eksperimen pembebanan 30%, 60% mengalami perubahan. Diameter 6mm yaitu 2,64 dan 2,66 , diameter 18mm yaitu 2,33 dan 2,34 , diameter 30mm tidak mengalami perubahan yaitu 2,15
3. Perbedaan SCF metode numerik diameter 6 mm yaitu 2.01, diameter 18 mm yaitu 1,59 dan diameter 30 mm yaitu 1,43 sedangkan dengan metode eksperimen diameter 6 mm yaitu 2.03 , diameter 18 mm yaitu 1,53 dan diameter 30 mm 1,46
4. Perbedaan SCF metode numerik dan eksperimen terbesar pada pengujian tarik yaitu 1,94% dan bending yaitu 3,95%.

#### **5.2. Saran**

Untuk penelitian lebih lanjut penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Analisis *stress concentration factor* pada pelat berlubang secara numerik pembuatan model geometri dan meshing lebih detail sehingga di dapatkan nilai SCF yang akurat.
2. Analisis menggunakan *strain gauge* untuk metode eksperimen diperhatikan ketika proses pemasangan sensor ke material karena penempatan letak mempengaruhi pembacaan sensor pada regangan yang terjadi.
3. Proses pemasangan sensor strain gauge, penulis menyarankan menggunakan lem yang kuat supaya mendapatkan hasil yang optimal.

Halaman sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- Abaqus-Guidelines. (2016). *Abaqus Guidelines*. ABAQUS 6.14.
- Arief, S.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.
- Askeland., D. R.(1985), “*The Science and Engineering of Material*”, Alternate Edition, PWS Engineering, Boston, USA
- BKI. (2014). Rules for the Classification and Volume V Rules for Materials 2014 Edition Biro Klasifikasi Indonesia. *Biro Klasifikasi Indonesia, V*.
- Broek. (1982). *Elementary Engineering Fracture Mechanics*. USA: Kluwer Academic Publisher.
- Davis, H.E., Troxell, G.E., Wiskocil, C.T. (1955). *The Testing and Inspection of Engineering Materias*. McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Dieter, G., terjemahan oleh Sriati Djaprie. (1987), *Metalurgi Mekanik*, Jilid 1, edisi ketiga, Erlangga,Jakarta.
- Cook, R. D. (1990). *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Terjemahan Ir.Bambang Suryoatmono. Bandung: PT ERESCO.
- DNV-GL. (2015). *Class Guideline-Finite Element Analysis*. German: DNV-GL.
- Horne, M. R. (1954). Formulas for stress and strain. In *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* (Vol. 3).
- Joem, F. O. (2010). *Ship Structural Analysis and Design*. Ney-Jersey: The Society of Naval Architectur and Marine Engineer.
- Logan, D. L. (2007). *A First Course in the Finite Element Method Fourth Edition*, Boston, Canada.
- Marciniak, Z. Brzeszczynska J, Gwozdziński K, Jegier A.(2002), *Mechanics Of Sheet Metal Forming*. Butterworth-Heinemann, London
- Mott, R.L. (2008). *Applied Strength of Materials*. Fifth Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Pilkey, W. (1997), *Peterson’s Stress Concentration Factors*, Wiley, New York.
- Popov, E.P. dan translator : Zaenal Astamar. (1996). *Mekanika Teknik* , Edisi Kedua. Jakarta:Erlangga.
- Singer,F.L.,dan Pytel .A. (1995). *Ilmu Kekuatan Bahan (Teori Kokoh strength Of Material)* Alih Bahasa Darwin Sebayang, edisi II,Erlangga, Jakarta.
- Sularso, H. dan Tahara. (1983). *Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemeliharaan dan Pemakaian*. Penerbit Pradaya Paramita, Jakarta
- Timoshenko, S dan Goodier J.N. (1986). *Teori Elastisitas*, Penerbit Erlangga,Jakarta
- Popov, E. (1978). *Mechanical Materials, 2th Edition. International Journal of Scientific & Engineering Research*, p. Volume 4 New Jersey: Prentice-Hall.

- Chattoadhyay, S., and Kitey, R. (2010). *Studies on stress concentration using experimental and numerical methods*. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings.
- Sanjaya, D. D. (2017). *Analisa Kekuatan Konstruksi Wing Tank Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: Jurnal Teknik ITS Vol.1. [Sept,2012] ISSN: 2333-3539
- Rizzuto, P. (2010). *Analysis Design of Ship Structure*. University of Liege: ANAST.

## **LAMPIRAN**

Lampiran A Gambar Sertifikat Material SS400

Lampiran B Distribusi Tegangan Metode Numerik

Lampiran C Gambar Pemasangan Strain Gauge

Lampiran D Gambar Kertas Pengujian

Lampiran E Gambar Pengujian Bending

Lampiran F Grafik Regangan Eksperimen Pengujian Tarik

Lampiran G Grafik Regangan Eksperimen Pengujian Bending

**LAMPIRAN A**  
**SERTIFIKAT MATERIAL SS400**



**PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL**  
Surabaya - Indonesia

**MILL CERTIFICATE**

HEAD OFFICE :  
Jl. Margomulyo No. 23 A PO. Box. 1978  
Tandes - Surabaya 60183  
Phone : (62-31) 7490598 (Hunting)  
Fax : (62-31) 7490581  
E-mail : gunawan@gds.co.id



Certificate No. : GDS/QC/2003/1233 (B)  
Date : 01st September 2003  
Despatch Advice No. : 31SLDQ08/2003  
Cart. No. : 5

Dimensional Tolerance to : JIS G3193

Material : MILD STEEL PLATES  
Specification : JIS G3101SS400

Purchaser :

Purchaser's Order No. :

Quantity :

Weight (MT) :

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 <sup>2</sup>	T.S N/mm <sup>2</sup>	EL % 200mm			
Z 523339	S 21-23 3	6	1524	6096	1.749	Q1	0.20	0.02	0.41	0.011	0.030	307	413	25	OK			
Z 1013279	S 31-33 3				1.749	H2	0.15	0.02	0.39	0.010	0.033	331	402	29	OK			
	K 21-24 4				2.332													
	S 21-22 2				1.188													
		12			6.996													

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

*[Signature]*  
Tr. Poltak H Panja  
Manager Quality Cont

**LAMPIRAN B**  
**DISTRIBUSI TEGANGAN TARIK METODE NUMERIK**

**Distribusi Tegangan Gaya 30% yield (13.4 KN)**

Diameter 3 mm		Diameter 6 mm		Diameter 18 mm		Diameter 30 mm	
Ditance from max stress	Stress(MPa)	Ditance from max stress	Stress(MPa)	Ditance from max stress	Stress	Ditance from max stress	Stress(MPa)
0.00	105.79	0.00	107.49	0.00	123.24	0.00	159.42
0.49	102.88	0.27	98.39	0.27	120.22	0.25	157.28
0.98	98.84	0.55	98.39	0.53	116.25	0.51	153.58
1.47	93.25	0.82	83.59	0.80	108.86	0.76	146.68
1.96	83.40	1.09	73.52	1.06	102.44	1.02	140.38
2.45	68.00	1.36	66.40	1.33	96.82	1.27	134.60
2.95	58.99	1.64	61.25	1.59	91.87	1.53	129.28
3.44	53.29	1.91	57.46	1.86	87.51	1.78	124.38
3.93	49.57	2.18	54.61	2.13	83.64	2.03	119.85
4.42	47.04	2.45	52.42	2.39	80.20	2.29	115.65
4.42	45.26	2.73	50.72	2.66	77.14	2.54	111.76
4.91	43.95	3.00	49.37	2.92	74.39	2.80	108.14
4.91	42.97	3.27	48.28	3.19	71.92	3.05	104.77
5.40	42.22	3.55	47.39	3.46	69.69	3.30	101.62
5.40	41.62	3.82	46.65	3.72	67.67	3.30	98.67
5.40	41.13	4.09	46.03	3.99	65.84	3.56	98.67
5.40	40.73	4.36	45.51	4.25	64.18	3.81	95.90
5.89	40.40	4.64	45.06	4.52	62.66	4.07	93.30
5.89	40.12	4.91	44.67	4.78	61.27	4.32	90.84
6.38	39.88	5.18	44.67	5.05	60.00	4.58	88.53
6.38	39.67	5.45	44.67	5.32	58.83	4.83	86.34
6.87	39.49	5.73	44.34	5.58	57.75	5.08	84.27
6.87	39.49	6.00	44.34	5.85	56.75	5.34	82.30
7.36	39.33	6.27	44.04	6.11	55.83	5.59	80.42
7.36	39.33	6.55	44.04	6.38	54.98	5.85	78.63
7.85	39.19	6.82	43.78	6.65	54.18	6.10	76.91
7.85	39.19	7.09	43.78	6.91	53.44	6.10	75.27
8.35	39.19	7.36	43.78	7.18	52.75	6.36	75.27
8.84	39.19	7.64	43.78	7.44	52.11	6.36	73.69
9.33	39.06	7.91	43.55	7.71	51.50	6.61	73.69
9.33	39.06	8.18	43.55	7.97	50.94	6.86	72.17
9.82	39.06	8.45	43.34	8.24	50.40	6.86	70.70
10.31	39.06	8.73	43.34	8.51	49.90	7.12	70.70
10.80	38.95	9.00	43.34	8.77	49.42	7.37	69.28
11.29	38.95	9.27	43.34	9.04	48.97	7.37	67.90
11.78	38.85	9.55	43.15	9.30	48.54	7.63	67.90

**Distribusi Tegangan Gaya 60% yield (26.8 KN)**

diameter 3 mm		diameter 6 mm		diameter 18 mm		diameter 30 mm	
Ditance from max stress	Stress(MPa)	Ditance from max stress	Stress(MPa)	Ditance from max stress	Stress(MPa)	Ditance from max stress	Stress(MPa)
0.00	211.58	0.00	214.98	0.00	246.482	0.00	318.832
0.39	205.77	0.27	196.78	0.27	240.44	0.25	314.39
0.78	197.68	0.55	167.18	0.53	232.50	0.51	307.16
1.17	186.50	0.82	147.05	0.80	217.72	0.76	293.35
1.57	166.80	1.09	132.80	1.06	204.88	0.76	280.75
1.96	136.00	1.36	122.51	1.33	193.63	1.02	280.75
2.35	117.97	1.64	114.92	1.59	183.74	1.27	269.19
2.74	106.59	1.91	109.22	1.59	175.01	1.52	258.56
3.13	99.14	2.18	104.85	1.86	175.01	1.78	248.75
3.52	94.08	2.45	101.44	2.13	167.28	2.03	239.69
3.91	90.51	2.73	98.73	2.39	160.41	2.03	231.31
4.30	87.91	2.73	98.73	2.66	154.27	2.29	231.31
4.70	85.95	3.00	96.55	2.92	148.77	2.54	223.52
5.09	84.43	3.00	96.55	3.19	143.83	2.80	216.28
5.48	83.23	3.27	94.77	3.46	139.37	3.05	209.54
5.87	82.27	3.55	93.30	3.72	135.34	3.30	203.23
6.26	81.47	3.82	92.07	3.99	131.68	3.56	197.33
6.65	80.80	3.82	92.07	4.25	128.35	3.81	191.80
7.04	80.24	4.09	91.02	4.52	125.32	4.07	186.59
7.04	79.76	4.09	91.02	4.78	122.54	4.07	181.69
7.43	79.34	4.36	90.12	4.78	119.99	4.32	181.69
7.43	78.98	4.36	90.12	5.05	119.99	4.32	177.06
7.83	78.98	4.36	90.12	5.32	117.65	4.58	177.06
7.83	78.66	4.36	90.12	5.58	115.49	4.83	172.68
7.83	78.66	4.64	89.35	5.85	113.50	5.08	168.53
7.83	78.38	4.64	89.35	6.11	111.66	5.34	164.59
8.22	78.38	4.91	88.67	6.11	109.95	5.59	160.84
8.22	78.38	4.91	88.67	6.38	109.95	5.85	157.26
8.22	78.38	4.91	88.67	6.65	108.37	6.10	153.83
8.22	78.13	4.91	88.67	6.65	106.89	6.10	150.55
8.61	78.13	5.18	88.08	6.91	106.89	6.35	150.55
8.61	78.13	5.18	88.08	7.18	105.51	6.61	147.39
9.00	78.13	5.45	87.56	7.44	104.22	6.86	144.35
9.00	77.91	5.45	87.56	7.71	103.01	6.86	141.41

**Distribusi Tegangan Gaya 90% yield (40.2 KN)**

diameter 3 mm		diameter 6 mm		diameter 18 mm		diameter 30 mm	
Ditance from max stress	Stress(MPa)	Ditance from max stress	Stress(MPa)	Ditance from max stress	Stress(MPa)	Ditance from max stress	Stress(MPa)
0.00	317.37	0.00	322.497	0.00	369.756	0.00	478.291
0.37	310.729	0.27	298.03	0.27	357.29	0.25	471.62
0.74	281.256	0.55	273.31	0.53	343.39	0.51	460.77
1.11	252.47	0.82	232.20	0.80	317.70	0.51	440.07
1.48	207.09	1.09	204.25	1.06	295.74	0.76	440.07
1.85	179.98	1.36	184.45	1.33	276.82	0.76	421.17
2.22	162.58	1.64	170.16	1.59	260.46	1.02	421.17
2.59	151.04	1.91	159.62	1.86	246.25	1.27	403.82
2.96	143.10	2.18	151.69	2.13	233.87	1.52	387.87
3.33	137.45	2.45	145.62	2.39	223.03	1.78	373.16
3.70	133.31	2.73	140.89	2.66	213.50	2.03	359.57
4.07	130.18	3.00	137.13	2.92	205.09	2.29	346.99
4.44	127.75	3.27	134.11	3.19	197.63	2.29	335.32
4.81	125.83	3.55	131.64	3.46	191.00	2.54	335.32
5.18	124.28	3.82	129.59	3.72	185.08	2.80	324.46
5.55	123.00	4.09	127.87	3.99	179.78	3.05	314.33
5.92	121.93	4.36	126.42	4.25	175.01	3.30	304.88
6.29	121.02	4.64	125.18	4.52	170.72	3.56	296.02
6.66	120.25	4.91	124.10	4.78	166.85	3.81	287.72
7.03	119.58	5.18	123.16	5.05	163.34	4.07	279.91
7.40	118.99	5.45	122.34	5.32	160.15	4.32	272.56
7.77	118.48	5.73	121.61	5.58	157.26	4.57	265.62
8.14	118.03	6.00	120.97	5.58	154.62	4.83	259.05
8.51	117.63	6.27	120.39	5.85	154.62	4.83	252.82
8.88	117.27	6.55	119.87	6.11	152.21	5.08	252.82
9.25	116.94	6.82	119.40	6.38	150.01	5.34	246.91
9.62	116.65	7.09	118.98	6.64	147.99	5.34	241.28
9.99	116.39	7.36	118.59	6.91	146.14	5.59	241.28
10.36	116.15	7.64	118.24	7.18	144.44	5.85	235.90
10.73	115.93	7.91	117.92	7.44	142.87	6.10	230.77
11.10	115.73	8.18	117.62	7.71	141.42	6.10	225.84
11.47	115.55	8.45	117.35	7.97	140.08	6.35	225.84
11.83	115.38	8.45	117.10	8.24	138.84	6.35	221.10
12.20	115.22	8.73	117.10	8.51	137.69	6.61	221.10

**LAMPIRAN C**  
**PEMASANGAN STRAIN GAUGE**

**Diameter 6 mm**

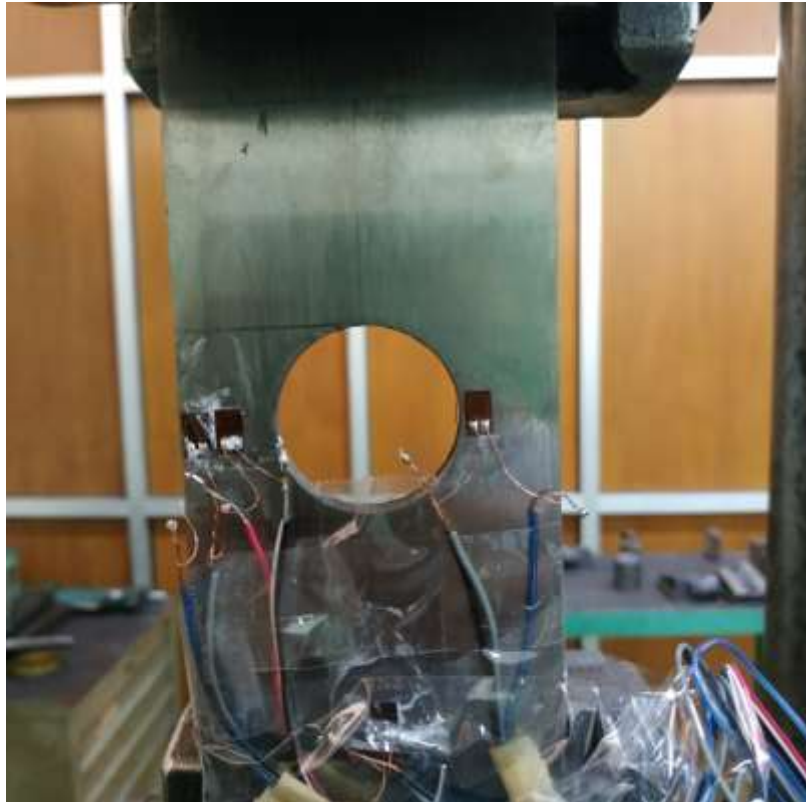


Diameter 18 mm



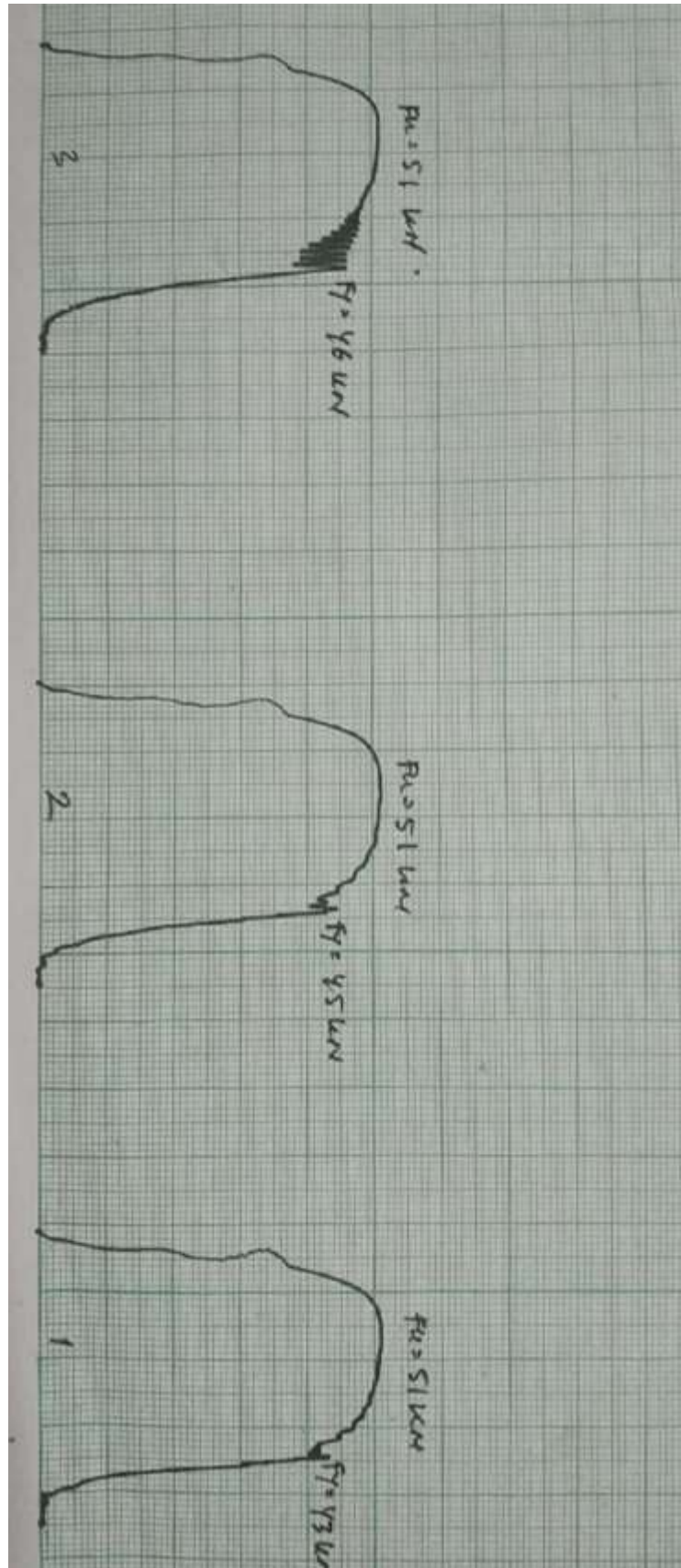


**Diameter 30 mm**

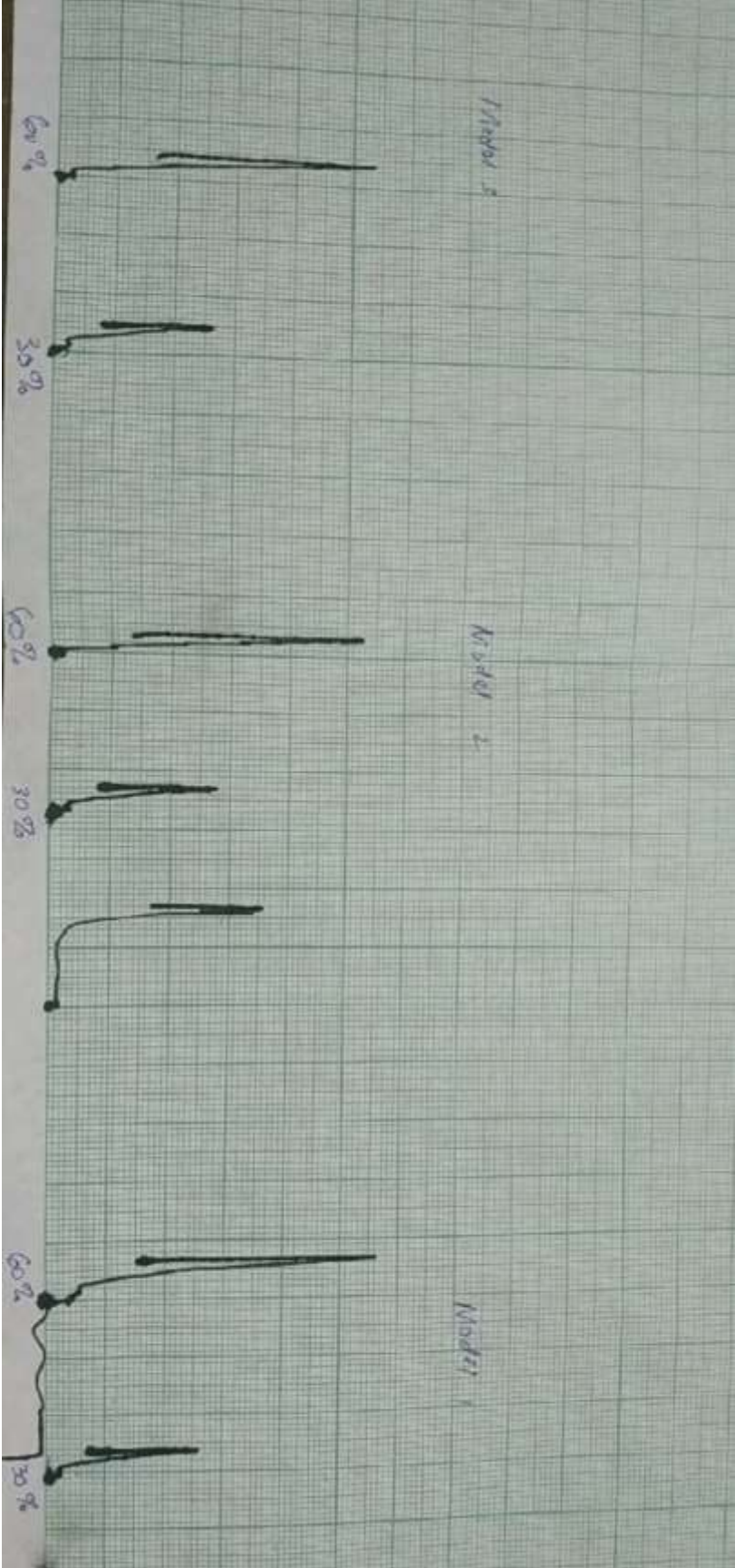


**LAMPIRAN D**  
**KERTAS PENGUJIAN**

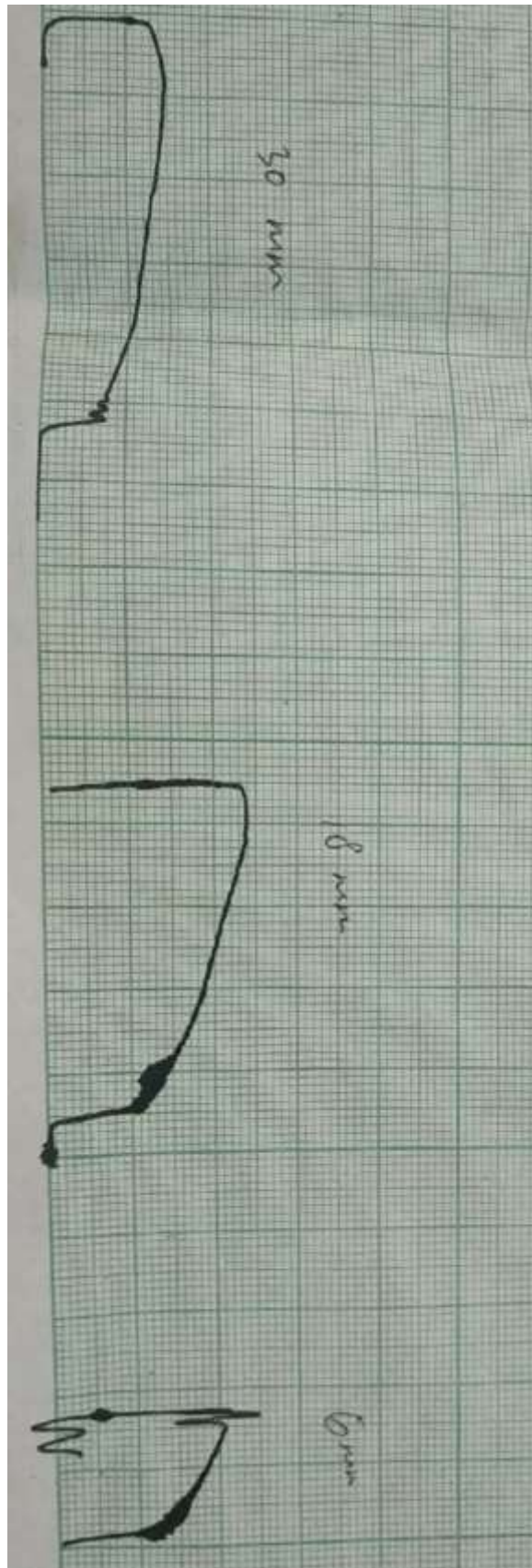
Pengujian yield material SS400



Pengujian Eksperimen Tarik



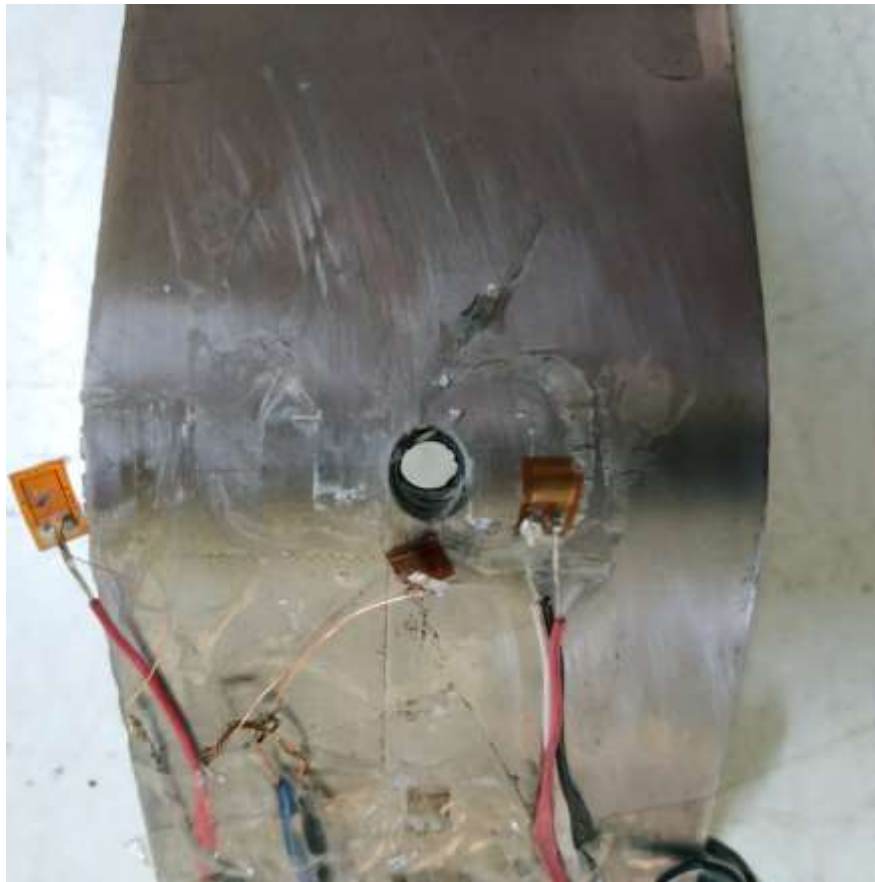
# Pengujian Eksperimen Bending



**LAMPIRAN E**  
**GAMBAR PENGUJIAN BENDING**



**Diameter 6 mm**



**Diameter 18 mm**



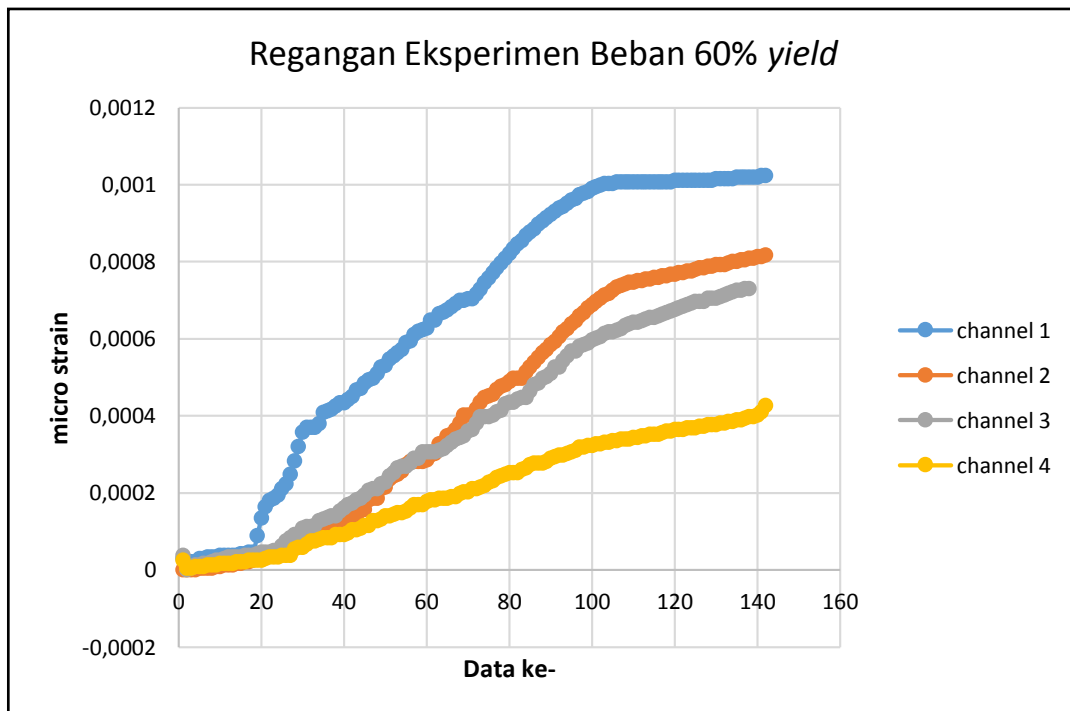
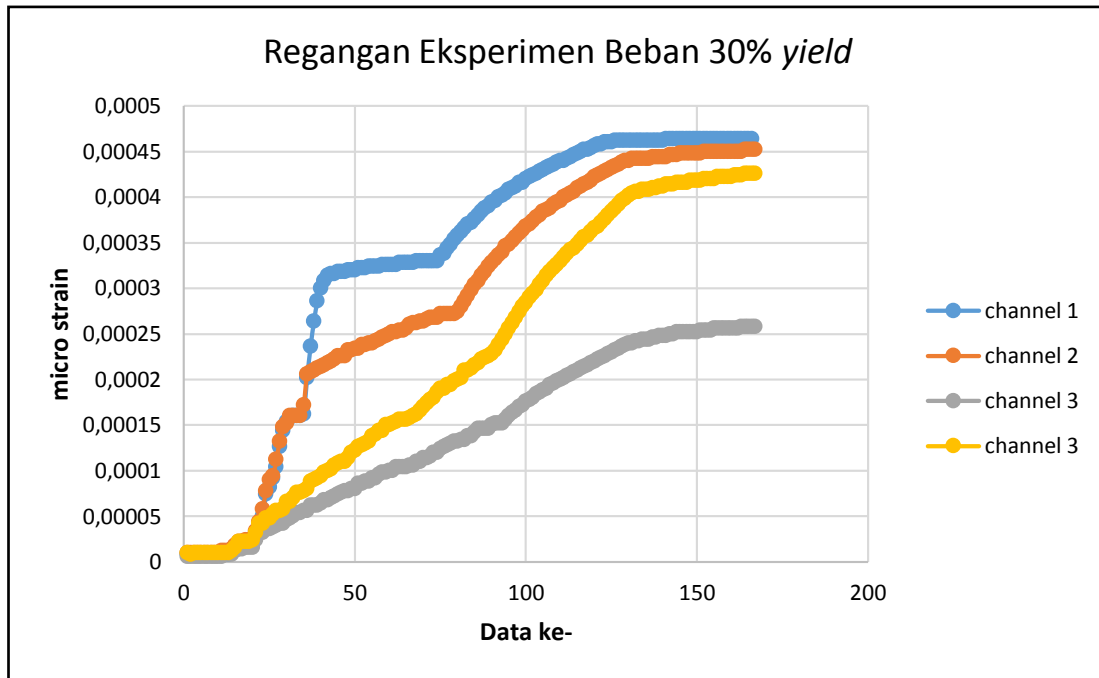
Diameter 30 mm



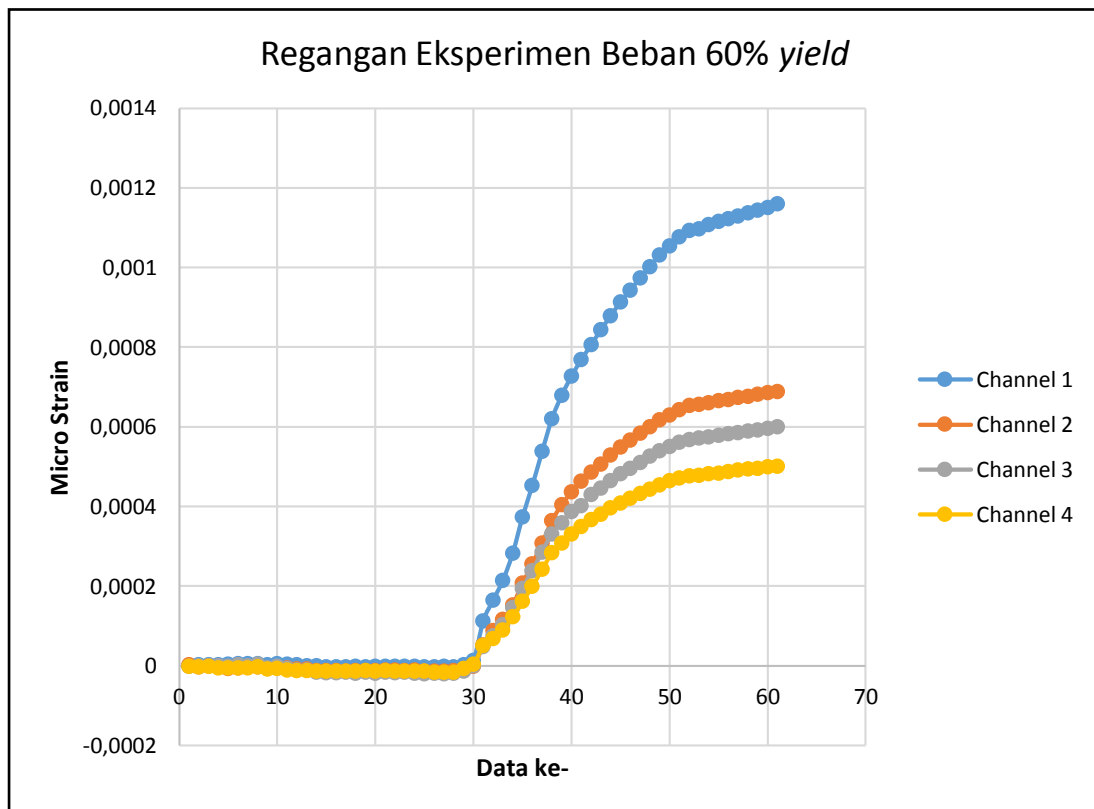
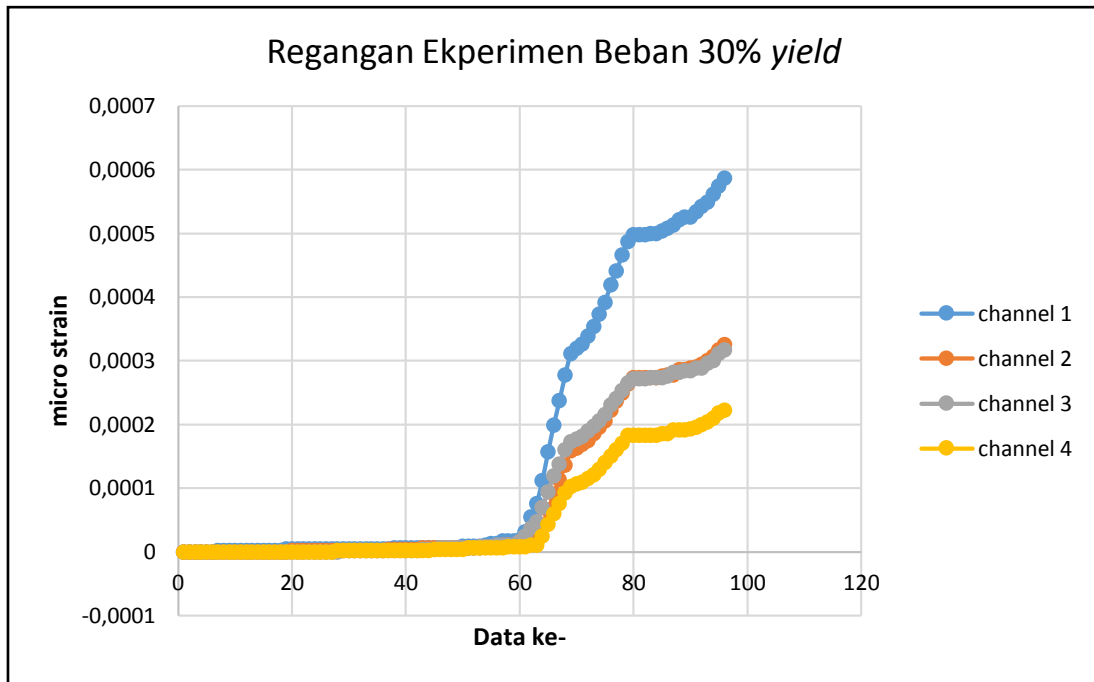


**LAMPIRAN F**  
**GRAFIK REGANGAN EKSPERIMEN PENGUJIAN TARIK**

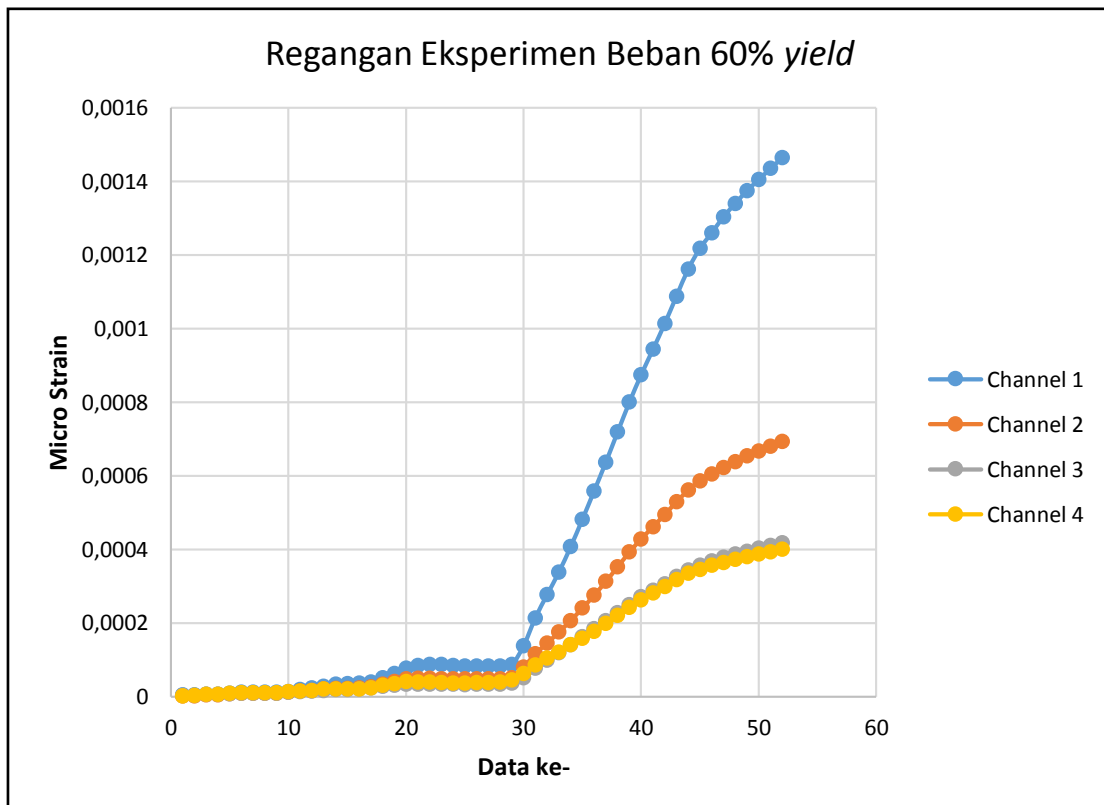
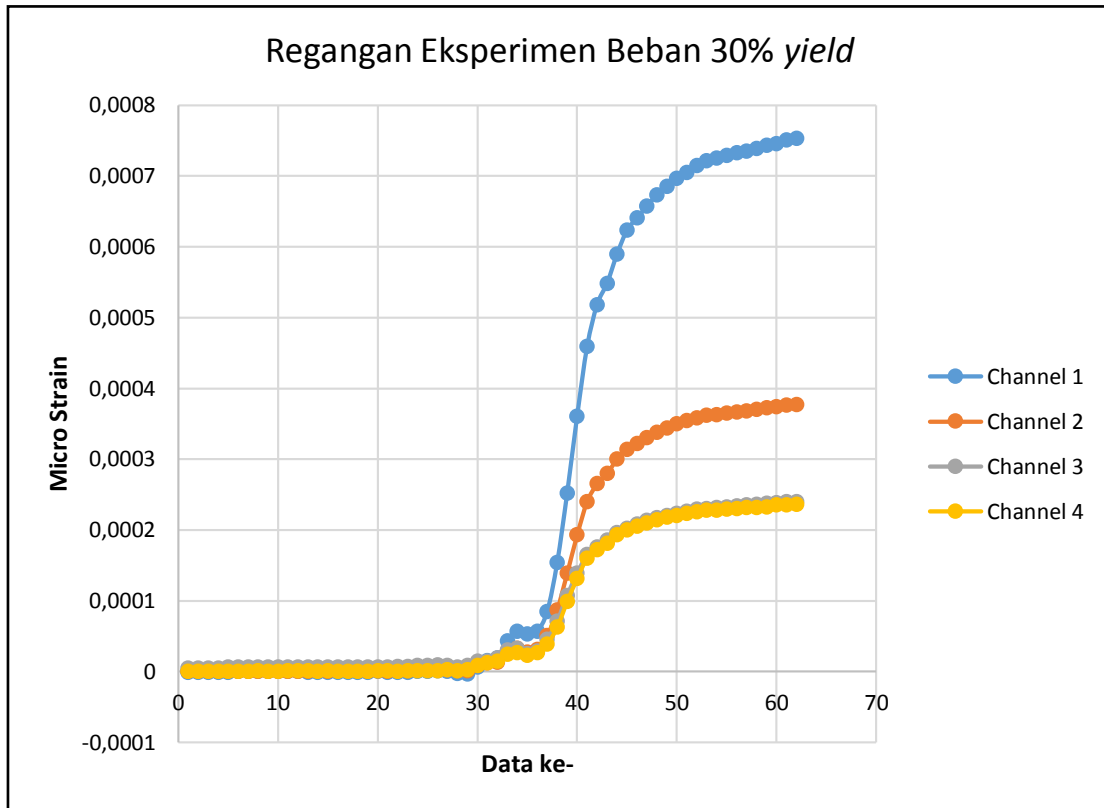
## Material Eksperimen Tarik diameter 6 mm



## Material Eksperimen Tarik diameter 18 mm

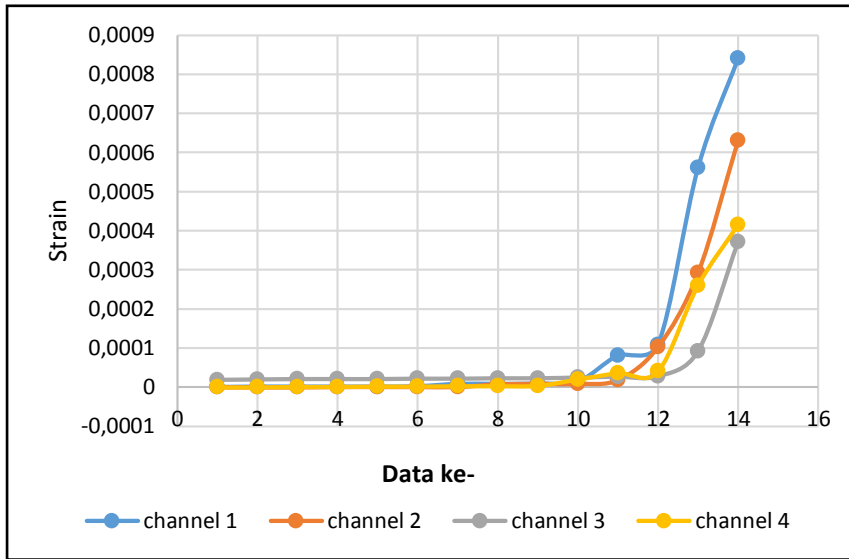


## Material Eksperimen Tarik diameter 30 mm

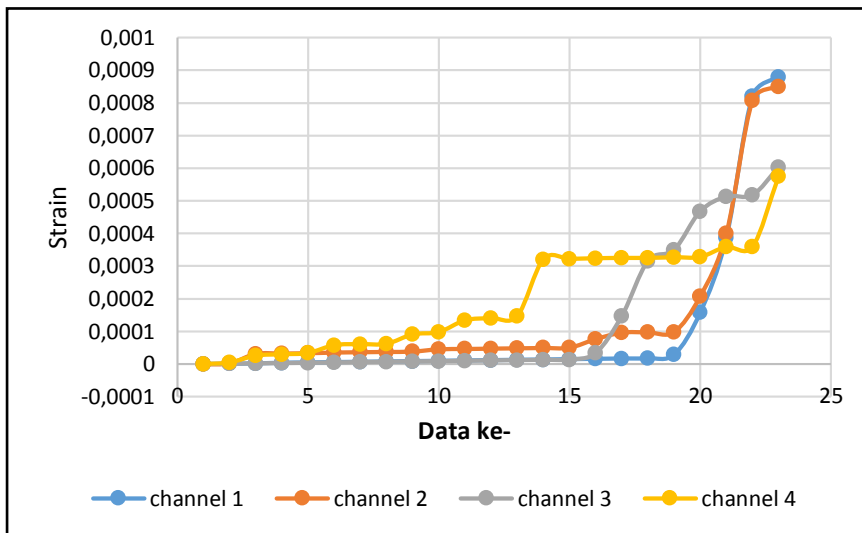


**LAMPIRAN G**  
**GRAFIK REGANGAN EKSPERIMEN PENGUJIAN**  
**BENDING**

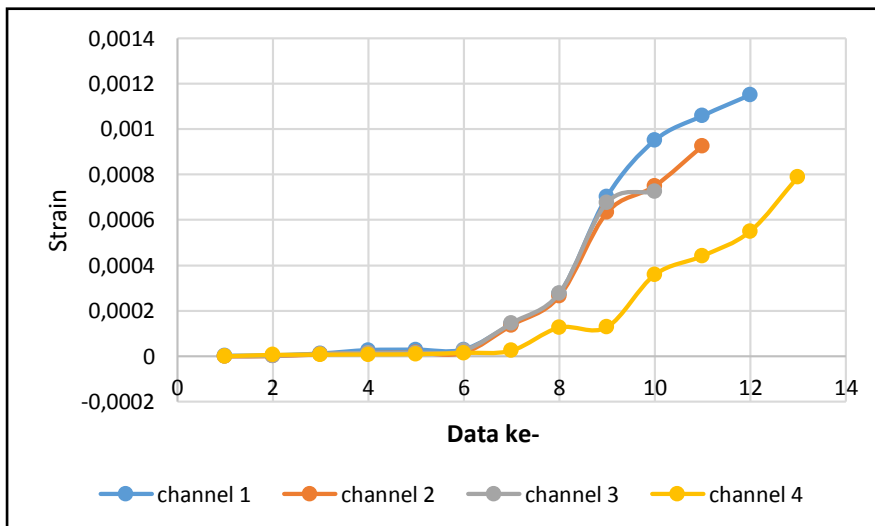
**Material Eksperimen Bending diameter 6 mm**



**Material Eksperimen Bending diameter 18 mm**



**Material Eksperimen Bending diameter 30 mm**





## BIODATA PENULIS



Nama saya Akhmad Roni. lahir di Tuban, 19 September 1995. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Pernah menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK RA Salafyah Mandirejo, kemudian melanjutkan ke MI Salafyah Mandirejo, SMPN 1 Merakurak dan SMAN 1 Tuban. Kemudian melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Kelautan pada tahun 2014.

Di Departemen Teknik Perkapalan penulis mengambil bidang studi rekayasa perkapalan – Konstruksi Kapal. Selama masa perkuliahan penulis pernah mengikuti beberapa kegiatan yakni, menjadi panitia acara PAMMIT BEM ITS 2015, *staff* Kajian Strategis Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan FTK ITS 2015/2016, Koordinator Hubungan Luar Forum Mahasiswa Daerah Ronggolawe Tuban, Relawan Gerakan Melukis Harapan 2016/2017, Wakil Ketua Internal Himpunan Teknik Perkapalan 2016/2017.

Penulis dapat dihubungi pada:

Email: [roni.akhmad95@gmail.com](mailto:roni.akhmad95@gmail.com)