

**PENGARUH JARAK *HOLE* TERHADAP KONSENTRASI TEGANGAN PADA
HASIL PEMBENTUKAN *L-BRACKET***

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

**ANDITYA TORNANDO
NIM. 0910623031-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH JARAK *HOLE* TERHADAP KONSENTRASI TEGANGAN PADA
HASIL PEMBENTUKAN *L-BRACKET***

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

ANDITYA TORNANDO
NIM. 0910623031-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Khairul Anam, ST.,M.Sc
NIK. 861127 06 3 1 0032

Moch. Agus Choiron, ST.,MT.,Dr.Eng
NIP. 19720817 200003 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH JARAK *HOLE* TERHADAP KONSENTRASI TEGANGAN
PADA HASIL PEMBENTUKAN *L-BRACKET***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**ANDITYA TORANDO
NIM. 0910623031-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 03 Desember 2013

Majelis Penguji

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Ari Wahjudi, MT.
NIP. 19680324 199412 1 001

Ir. Agustinus Ariseno, MT.
NIP. 19510822 198701 1 001
199802 1 001

Skripsi III

Purnami, ST., MT.
NIP. 19770707 200812 1 005
199903 1 004

Mengetahui,
An. PJS Sekretaris Jurusan Teknik Mesin

Purnami, ST., MT.
NIP. 19770707 200812 1 005

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Jarak *Hole* Terhadap Konsentrasi Tegangan Pada Hasil Pembentukan *L-bracket*”** ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak dalam proses penyelesaian skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini :

1. Bapak Dr. Eng. Anindito P, ST, M.Eng. selaku Pjs. Ketua Jurusan Mesin merangkap Sekretaris Jurusan Mesin.
2. Bapak Tjuk Oerbandono, Ir, M.Sc.CSE. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin.
3. Bapak Khairul Anam, ST, M.Sc. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberi masukan, bimbingan, pengetahuan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST, MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT. selaku dosen wali.
6. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Jurusan Teknik Mesin.
7. Kedua orang tuaku tercinta dan tersayang, Ayahanda Setyo dan Ibunda Nurul Hasanah yang tak hentinya mendo'akan dan memberi semangat saya, sungkem selalu buat bapak ibu, tetap sehat, senantiasa dalam pelukan dan lindungan-Nya.
8. Keluarga Besar dari ayah dan ibuku, terima kasih atas kasih sayang, do'a serta dukungan material dan spiritual yang diberikan selama ini.
9. Adik Febiana Yusida terima kasih atas semangat dan doanya.
10. Keluarga Besar Asisten Studio Gambar, Bapak Purnami, ST., MT. selaku Kepala Studio yang telah banyak memberikan nasehat dan bantuannya selama saya menjadi asisten. Tak lupa ucapan banyak terima kasih kepada saudara – saudaraku asisten : Husni, Jatink, Wildan, Gigih, Arki, Sumawan, Andika, Andita, Joseph,

- Anggi, Hammam, Veli, Yogi, Rosyid, dan teman-teman asisten lainnya, terima kasih atas semua kebersamaan dan dukungannya selama penyelesaian skripsi ini.
11. Keluarga Besar Laboratorium Proses Produksi, Bapak Dr. Eng. Eko Siswanto, ST, MT. selaku Kepala Laboratorium, Mas Arip selaku Laboran, dan rekan – rekan asisten terima kasih atas fasilitas dan dukungannya.
 12. Saudaraku “BLACK MAMBA” M’09 baik yang sudah maupun yang sedang berjuang menyelesaikan skripsi tetap semangat, semoga selalu diberi kemudahan dan kelancaran. *Solidarity Forever!!!*
 13. Ika Risma Zenitha yang selalu memberikan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini, baik dalam bentuk nasihat maupun sindiran.
 14. Keluarga Besar MP110, Muklis, Irwan, Kebo, Anput, Ucup, Tam, Hengky, Lutfi, Irham yang sudah menemani saya selama ini baik suka maupun duka. Terima kasih atas dukungan, do’a dan motivasinya.
 15. Semua teman-temanku di kampung halaman yang selalu memberikan motivasi agar saya tidak menyerah menjadi seorang sarjana. Terima kasih!!!
 16. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
 17. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu – persatu yang telah membantu penulis demi kelancaran penyelesaian skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya dan penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik lagi.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umumnya sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut. Amiin

Malang, November 2013

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GRAFIK	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Konsep Tegangan	4
2.2.1 Tegangan Normal	6
2.2.2 Tegangan Geser	6
2.2.3 Konsentrasi Tegangan	8
2.3 Konsep Regangan	8
2.4 Hubungan Tegangan dan Regangan	9
2.5 <i>Bracket</i>	10
2.5.1 <i>L-bracket</i>	10
2.5.2 Proses Pembentukan <i>L-bracket</i>	11
2.6 Konsep Dasar Elemen Hingga	12
2.6.1 Macam-Macam Elemen pada Permodelan Elemen Hingga	13
2.7 <i>Software ABAQUS</i>	14
2.8 Hipotesis	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Metode Penelitian	16
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.3	Variabel Penelitian	16
3.4	Rancangan Penelitian	17
3.5	Alat dan Bahan	18
3.5.1	Alat.....	18
3.5.2	Bahan	20
3.6	Prosedur Penelitian	26
3.6.1	Simulasi	27
3.6.2	Proses Tekuk	27
3.7	<i>Flow Chart</i>	27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengolahan Data	29
4.1.1	Data Awal Penelitian	29
4.1.2	Data Hasil Penelitian	29
4.2	Hasil Penelitian	30
4.2.1	<i>Element</i> Pengambilan Data	30
4.2.2	Hasil Simulasi Spesimen Tanpa <i>Hole</i>	32
4.2.3	Hasil Simulasi Spesimen dengan Jarak <i>Hole</i> 0 mm	33
4.2.4	Hasil Simulasi Spesimen dengan Jarak <i>Hole</i> -1 mm	34
4.2.5	Hasil Simulasi Spesimen dengan Jarak <i>Hole</i> -2 mm	35
4.2.6	Hasil Simulasi Spesimen dengan Jarak <i>Hole</i> -3 mm	36
4.2.7	Hasil Simulasi Spesimen dengan Jarak <i>Hole</i> 1 mm	37
4.2.8	Hasil Proses Tekuk Secara Eksperimental	38
4.2.9	Contoh Perhitungan	40
4.3	Pembahasan	40
4.3.1	Perbandingan antara Spesimen Tanpa <i>Hole</i> Terhadap Spesimen dengan <i>Hole</i>	41
4.3.2	Perbandingan Seluruh Spesimen yang Telah Diberikan <i>Hole</i>	42
4.3.3	Perbandingan Hasil Simulasi Terhadap Hasil Eksperimental.....	43

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 44
5.2 Saran..... 44

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Konsep Tegangan	5
Gambar 2.2	Komponen Tegangan	5
Gambar 2.3	Tegangan Normal	6
Gambar 2.4	Tegangan Geser	7
Gambar 2.5	Hubungan Antara Tegangan Normal dan Tegangan Geser	7
Gambar 2.6	Konsep Regangan	8
Gambar 2.7	Grafik Tegangan dan Regangan	9
Gambar 2.8	<i>L-Bracket</i>	11
Gambar 2.9	<i>Hexagonal Element</i>	13
Gambar 2.10	<i>Tetrahedral Element</i>	14
Gambar 2.11	Penggunaan Tiap Elemen Pada Saat <i>Meshing</i>	14
Gambar 3.1	Skema <i>Punch</i> dan <i>Dies</i>	17
Gambar 3.2	Skema <i>Punch</i> dan <i>Dies</i> secara 3D	17
Gambar 3.3	Mesin Penekuk Pelat	19
Gambar 3.4	Mesin <i>Frais</i>	19
Gambar 3.5	Geometri Spesimen tanpa <i>hole</i>	21
Gambar 3.6	Geometri Spesimen tanpa <i>hole</i> secara 3D	21
Gambar 3.7	Geometri Spesimen dengan <i>hole</i> pada Posisi 0 mm dari Daerah Tekuk secara Ortogonal	22
Gambar 3.8	Gambar Spesimen dengan <i>hole</i> pada Posisi 0 mm dari Daerah Tekuk secara 3D	22
Gambar 3.9	Geometri Spesimen dengan <i>hole</i> pada Posisi -1 mm dari Daerah Tekuk secara Ortogonal	23
Gambar 3.10	Gambar Spesimen dengan <i>hole</i> pada Posisi -1 mm dari Daerah Tekuk secara 3D	23
Gambar 3.11	Geometri Spesimen dengan <i>hole</i> pada Posisi -2 mm dari Daerah Tekuk secara Ortogonal	24
Gambar 3.12	Gambar Spesimen dengan <i>hole</i> pada Posisi -2 mm dari Daerah Tekuk secara 3D	24
Gambar 3.13	Geometri Spesimen dengan <i>hole</i> pada Posisi -3 mm dari Daerah Tekuk secara Ortogonal	25

Gambar 3.14	Gambar Spesimen dengan <i>hole</i> pada Posisi -3 mm dari Daerah Tekuk secara 3D	25
Gambar 3.15	Geometri Spesimen dengan <i>hole</i> pada Posisi 1 mm dari Daerah Tekuk secara Ortogonal	26
Gambar 3.16	Gambar Spesimen dengan <i>hole</i> pada Posisi 1 mm dari Daerah Tekuk secara 3D	26
Gambar 3.17	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1	Pemberian <i>Node Element</i> Spesimen Awal	30
Gambar 4.2	Spesimen Awal yang Telah Diberi <i>Mesh</i>	31
Gambar 4.3	Pemberian <i>Node Element</i> pada Spesimen jarak <i>hole</i> 0 mm	31
Gambar 4.4	<i>Spesimen</i> dengan Jarak <i>Hole</i> 0 mm yang Telah Diberi <i>Mesh</i>	32
Gambar 4.5	<i>Contour</i> untuk spesimen tanpa <i>hole</i>	32
Gambar 4.6	<i>Contour</i> untuk spesimen dengan jarak <i>hole</i> 0 mm	33
Gambar 4.7	<i>Contour</i> untuk spesimen dengan jarak <i>hole</i> -1 mm	34
Gambar 4.8	<i>Contour</i> untuk spesimen dengan jarak <i>hole</i> -2 mm	35
Gambar 4.9	<i>Contour</i> untuk spesimen dengan jarak <i>hole</i> -3 mm	36
Gambar 4.10	<i>Contour</i> untuk spesimen dengan jarak <i>hole</i> 1 mm	37
Gambar 4.11	Penampang 3D Spesimen Hasil Proses Tekuk Eksperimental	40

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Komposisi kimia aluminium 6061	20
Tabel 3.2	Sifat mekanik aluminium 6061	20
Tabel 4.1	Data nilai tegangan pada seluruh spesimen untuk setiap <i>element</i>	41



DAFTAR GRAFIK

No.	Judul	Halaman
Grafik 4.1	Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen Tanpa <i>Hole</i>	33
Grafik 4.2	Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen dengan Jarak <i>Hole</i> 0 mm	34
Grafik 4.3	Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen dengan Jarak <i>Hole</i> -1 mm	35
Grafik 4.4	Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen dengan Jarak <i>Hole</i> -2 mm	36
Grafik 4.5	Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen dengan Jarak <i>Hole</i> -3 mm	37
Grafik 4.6	Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen dengan Jarak <i>Hole</i> 1 mm	38
Grafik 4.7	Grafik Perbandingan <i>Element</i> Terhadap Nilai Konsentrasi Tegangan Pada Seluruh Spesimen	41



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Sertifikat Aluminium 6061
Lampiran 2.	Proses Eksperimental
Lampiran 3.	Tutorial Simulasi Abaqus



RINGKASAN

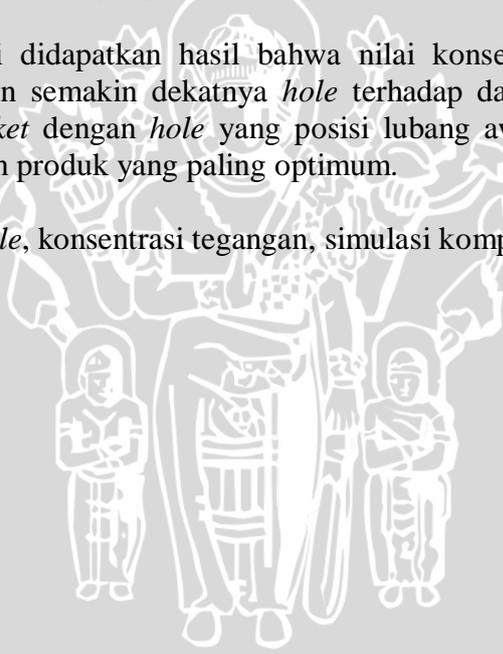
Anditya Tornando, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2013, *Pengaruh Jarak Hole Terhadap Konsentrasi Tegangan Pada Proses Pembentukan L-bracket*, Dosen Pembimbing : Khairul Anam dan Moch. Agus Choiron.

Penelitian mengenai konsentrasi tegangan cukup banyak, dan umumnya fokus penelitian dilakukan pada sekitar takik untuk suatu pelat, dan belum ada analisa langsung terhadap produk *L-bracket*. Sehingga dilakukan penelitian mengenai konsentrasi tegangan pada produk *L-bracket* dengan variasi *hole*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana jarak *hole* tersebut mempengaruhi konsentrasi tegangan pada saat proses pembentukan produk *L-bracket*.

Umumnya produk *L-bracket* mengalami kerusakan pada daerah tekukan dimana hal ini disebabkan tegangan sisa yang tinggi, dan tegangan sisa tersebut adalah akibat dari konsentrasi tegangan yang tinggi serta terpusat pada saat dilakukan proses penekukan pelat. Oleh karena itu dilakukan penelitian secara eksperimental semu, dengan memvariasikan jarak *hole* pada pelat sebesar -3 mm, -2 mm, -1 mm, 0 mm, dan 1 mm terhadap daerah tekuk. Pelat yang digunakan adalah aluminium 6061 dengan sudut tekuk sebesar 90°.

Dari Penelitian ini didapatkan hasil bahwa nilai konsentrasi tegangan akan semakin meningkat dengan semakin dekatnya *hole* terhadap daerah tekuk. Akhirnya didapatkan bahwa *L-bracket* dengan *hole* yang posisi lubang awalnya tepat didaerah tekukan (0 mm) merupakan produk yang paling optimum.

Kata Kunci : *L-bracket*, *hole*, konsentrasi tegangan, simulasi komputer



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan material yang siap diaplikasikan sebagai komponen pada suatu struktur menuntut adanya peningkatan sifat mekanis yang tinggi. Para rekayasawan pun selalu melakukan berbagai kajian riset untuk merekayasa desain yang memiliki sifat fisis-mekanis lebih baik. Hampir semua komponen, baik logam maupun non logam, mengalami proses penyambungan (*joining*) dengan komponen lain. Komponen logam dapat disambung dengan las, dibaut, dan dikeling. Penyambungan dua komponen logam dengan cara dibaut dan dikeling memerlukan lubang sebagai tempat dudukan baut atau keling. Daerah sekitar lubang merupakan daerah kritis terhadap awal terjadinya kegagalan. Teori elastisitas menyebutkan bahwa bila suatu benda pejal dibebani oleh gaya luar, benda tersebut akan berubah bentuk (*deformasi*) sehingga menimbulkan tegangan dan regangan. Geometri benda sangat berpengaruh pada distribusi tegangan. Tegangan akan terkonsentrasi pada daerah-daerah dimana terjadi perubahan bentuk secara tiba-tiba seperti lubang dan takikan. Apabila sebuah pelat terdapat lubang dengan pemberian gaya maka akan terjadi pemusatan tegangan disekitar lubang.

Martinus Heru Palmiyanto (2011) mengembangkan penelitian mengenai konsentrasi tegangan pada plat berlubang akibat beban tarik dengan menggunakan metode elemen hingga dan kajian eksperimen. Hasil menunjukkan bahwa nilai tegangan paling tinggi terjadi pada elemen disekitar daerah yang mendekati lubang dan nilai tegangan ini semakin turun untuk elemen yang semakin jauh dari lubang. Selain itu nilai tegangan dengan metode elemen hingga hampir sama dengan hasil perhitungan dengan metode eksperimental, ini menunjukkan hasil pengujian yang didapat dengan menggunakan pengujian metode elemen hingga dapat dipercaya.

Untuk mengetahui konsentrasi tegangan yang terjadi pada suatu komponen atau struktur dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu dengan cara eksperimen, analitis, dan numerik. Untuk metode numerik umumnya menggunakan software berbasis elemen hingga. Software tersebut digunakan untuk menyelesaikan permasalahan fisik (bentuk geometri yang sederhana sampai yang rumit) dengan membagi objek menjadi elemen-elemen diskrit yang kecil dengan bentuk yang sederhana.

Dalam dunia *engineering*, tentu ada banyak sekali istilah – istilah produk yang berhubungan dengan konstruksi dan sebagainya, salah satunya adalah *L-bracket*. Istilah ini tentu sudah tidak asing lagi dalam dunia konstruksi. Istilah *L-bracket* digunakan untuk menyebut suatu produk yang memiliki bentuk siku – siku dengan material yang bervariasi. *L-bracket* adalah suatu plat yang biasanya berbentuk siku atau memiliki sudut 90° . Panjang *L-bracket* ini biasanya bervariasi, begitu pula dengan lebar dan tebalnya, semua itu divariasikan sesuai dengan kebutuhan konsumen. *L-bracket* biasanya digunakan untuk penyangga rak maupun konstruksi berat lainnya. Produk ini banyak digunakan karena profilnya yang kokoh dan tahan lama sehingga cocok untuk keperluan konstruksi jangka panjang maupun keperluan manufaktur lainnya.

L-bracket biasanya dibentuk dari pelat yang kemudian dilakukan *bending* sehingga membentuk sudut yang umumnya sebesar 90° . Namun sudut tersebut divariasikan sesuai kebutuhan konsumen, begitu pula dengan bahan yang digunakannya. Kerusakan pada *L-bracket* biasanya terjadi pada daerah tekukan. Hal ini bisa terjadi akibat adanya tegangan sisa tarik yang tinggi saat proses pembentukan. Oleh sebab itu diperlukan sebuah modifikasi dari bentuk *L-bracket* tersebut. Modifikasi ini dilakukan dengan cara menambah *hole* pada daerah tekukan, dengan memvariasikan jarak *hole* terhadap daerah tekukan. Dengan adanya variasi ini diharapkan akan berpengaruh pada konsentrasi tegangan hasil pembentukan dan beban reaksi pada proses penekukan *L-bracket*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan diatas, maka rumusan masalah yang akan diteliti adalah bagaimana pengaruh jarak *hole* terhadap konsentrasi tegangan pada hasil pembentukan *L-bracket*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah Aluminium 6061.
2. Sudut *L-bracket* yang digunakan besarnya 90° .
3. Perubahan temperatur material akibat deformasi diabaikan.
4. Material diasumsikan sebagai *bilinier isotropic*.
5. Sistem dianggap *quasi static*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jarak *hole* terhadap konsentrasi tegangan pada hasil pembentukan *L-bracket*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat antara lain :

1. Mampu menerapkan teori – teori yang didapat selama perkuliahan terutama mengenai mekanika kekuatan bahan, elemen mesin, dan proses manufaktur.
2. Mengetahui besar pengaruh ukuran diameter *hole* terhadap konsentrasi tegangan pada produk *L-bracket*.
3. Mampu memberikan kontribusi di dunia *engineering*, terutama pemanfaatan produk *L-bracket* yang telah divariasi dengan adanya *hole*.
4. Sebagai referensi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan *L-bracket* dan konsentrasi tegangan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Rusnoto (2007) melakukan penelitian mengenai konsentrasi tegangan pada plat berlubang dan didapatkan kesimpulan bahwa Distribusi tegangan yang terjadi pada plat tergantung pada bentuk plat dan tidak tergantung bahan. Selain itu disimpulkan pula bahwa konsentrasi tegangan pada plat berlubang lingkaran akan berkurang jika ditambahkan lingkaran disekitar lubang utama yang letaknya sejajar dengan arah pembebanan.

Nusyirwan (2010) juga melakukan penelitian yang serupa mengenai analisis untuk menentukan faktor konsentrasi tegangan dengan eksperimental dan metode elemen hingga. Hasil menunjukkan Nilai tegangan paling tinggi terjadi pada elemen disekitar takikan dan nilai tegangan ini semakin turun untuk elemen yang semakin jauh dari takikan.

Martinus Heru Palmiyanto (2011) juga mengembangkan penelitian mengenai konsentrasi tegangan pada plat berlubang, dimana hal tersebut diakibatkan beban tarik dengan menggunakan metode elemen hingga dan kajian eksperimen. Hasil menunjukkan bahwa nilai tegangan paling tinggi terjadi pada elemen disekitar daerah yang mendekati lubang dan nilai tegangan ini semakin turun untuk elemen yang semakin jauh dari lubang. Selain itu nilai tegangan dengan metode elemen hingga hampir sama dengan hasil perhitungan dengan metode eksperimental, ini menunjukkan hasil pengujian yang didapat dengan menggunakan pengujian metode elemen hingga dapat dipercaya.

2.2 Konsep Tegangan

Perubahan bentuk dan ukuran benda bergantung pada arah dan letak gaya luar yang diberikan. Ada beberapa jenis deformasi yang bergantung pada sifat elastisitas benda, antara lain tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*). Dan disini akan dibahas mengenai tegangan terlebih dahulu.



Gambar. 2.1 Konsep Tegangan
Sumber : Martin H. Sadd ; 2009 ; 61

Gambar 2.1 memperlihatkan sebuah batang yang penampang lintang luasnya A . Batang ini pada masing – masing ujungnya mengalami gaya tarik F yang sama besarnya dan berlawanan arahnya. Dikatakanlah bahwa batang itu dalam keadaan tertegang.

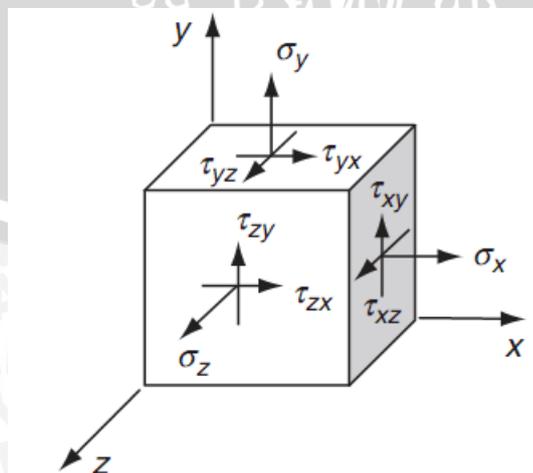
Maka tegangan (ketegangan) sesuai dengan gambar 2.1 tersebut dapat didefinisikan sebagai perbandingan besar gaya F pada luasan bidang penampang A (Persamaan 2-1).

$$\text{Tegangan} = \frac{F}{A} \quad (2-1)$$

Dengan F adalah gaya yang dikenakan tegak lurus terhadap penampang melintang benda kerja (newton), sedangkan A merupakan luasan penampang melintang benda kerja (tegak lurus dengan gaya) (m^2).

Tegangan timbul akibat adanya tekanan, tarikan, bengkokan dan reaksi. Pada pembebanan tarik terjadi tegangan tarik, pada pembebanan tekan terjadi tegangan tekan, begitu pula pada pembebanan yang lain. Maka tegangan semacam ini (gambar 2.1) disebut tegangan tarikan, karena benda itu saling melakukan tarikan satu sama lain.

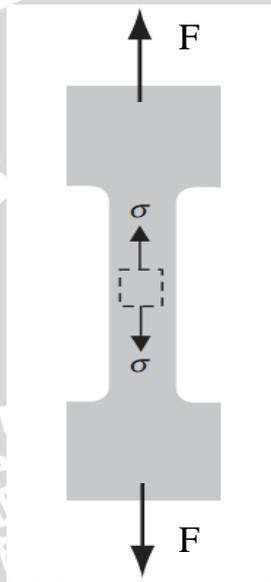
Ada beberapa macam tegangan, cukup banyak sebenarnya, namun disini akan difokuskan pada tiga macam tegangan, yaitu tegangan normal, tegangan geser, dan konsentrasi tegangan.



Gambar 2.2 Komponen Tegangan
Sumber : Martin H. Sadd ; 2009 ; 63

2.2.1 Tegangan Normal

Tegangan normal (*normal stress*) adalah intensitas gaya yang bekerja dalam arah yang tegak lurus permukaan bahan, dengan kata lain merupakan tegangan hasil aksi reaksi dari pembebanan gaya luar yang umum terjadi. Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang yang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan batang penampang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut. Tegangan normal biasa dikenal dengan simbol σ .



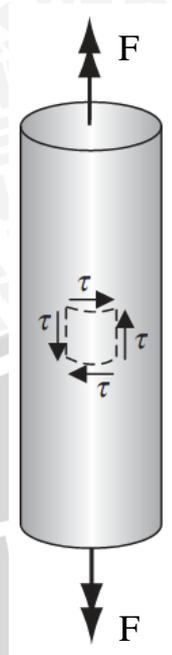
Gambar 2.3 Tegangan Normal

Sumber : Martin H. Sadd ; 2009 ; 88

Dari gambar 2.3 diatas dapat diasumsikan bahwa tegangan normal (σ) tersebut terjadi dikarenakan hasil aksi reaksi dari gaya (F) yang saling tarik menarik dari kedua ujung bahan yang ada.

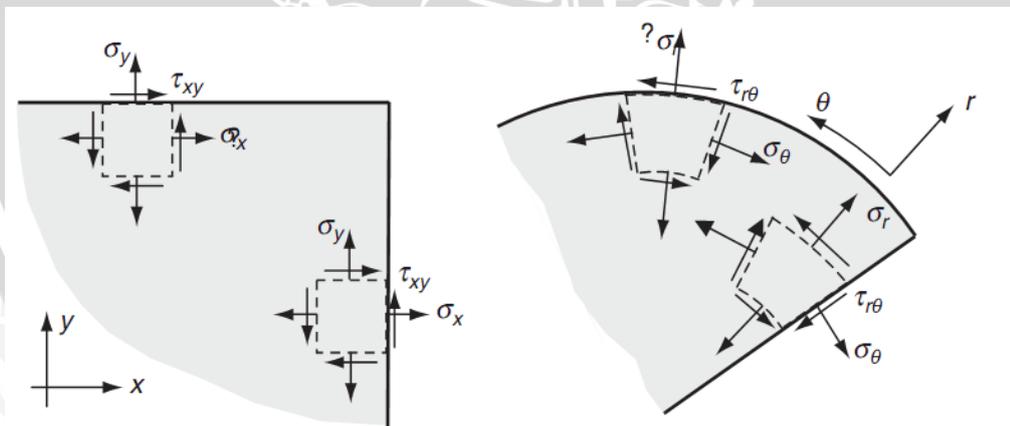
2.2.2 Tegangan Geser

Tegangan geser (*shear stress*) adalah intensitas gaya yang bekerja dalam arah tangensial terhadap permukaan bahan. Biasanya tegangan geser merupakan reaksi dari tegangan normal, sehingga arah tegangan geser tegak lurus terhadap tegangan normal.



Gambar 2.4 Tegangan Geser
 Sumber : Martin H. Sadd ; 2009 ; 88

Secara umum tegangan geser (τ) terjadi karena adanya gaya (F) yang bekerja saling tarik menarik pada penampang normal dengan jarak dan besar yang sama, sesuai dengan gambar 2.4 diatas.



Gambar 2.5 Hubungan Antara Tegangan Normal dan Tegangan Geser
 Sumber : Martin H. Sadd ; 2009 ; 99

Dari gambar 2.5 maka dapat dilihat mengenai hubungan tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ) dimana arah tegangan geser (τ) hamper selalu tegak lurus terhadap arah tegangan normal (σ). Hal ini dikarenakan kedua tegangan tersebut memberikan aksi reaksi yang saling tegak lurus.

2.2.3 Konsentrasi Tegangan

Suatu diskontinuitas dalam benda misalnya lubang atau takik, akan mengakibatkan distribusi tegangan tidak merata disekitar diskontinuitas tersebut. Pada beberapa daerah didekat diskontinuitas, tegangan akan lebih tinggi daripada tegangan rata-rata yang jauh letaknya dari diskontinuitas. Jadi telah terjadi konsentrasi tegangan pada diskontinuitas. Konsentrasi tegangan dinyatakan dengan faktor tegangan K . Pada umumnya K adalah sebagai perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan nominal terhadap dasar penampang sesungguhnya.

$$K = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_{nominal}} \quad (2-2)$$

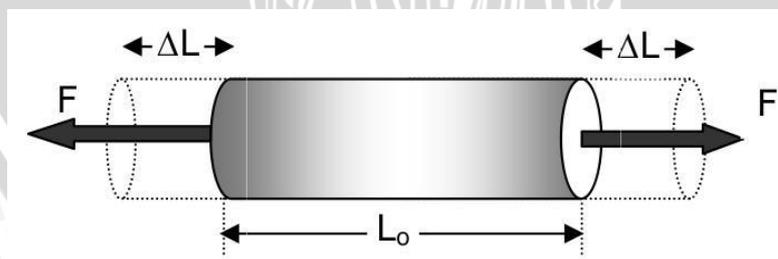
Dari persamaan (2-2) diatas dapat diketahui bahwa konsentrasi tegangan (K) merupakan nilai perbandingan dari tegangan maksimum (σ_{maks}) terhadap nilai nominal tegangan rata-rata ($\sigma_{nominal}$) pada suatu benda secara utuh.

2.3 Konsep Regangan

Regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang batang dengan panjang mula-mula yang dinyatakan dengan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2-3)$$

Dengan ΔL adalah pertambahan panjang material setelah dikenai beban dan L_0 adalah panjang mula-mula material ketika belum dikenai beban. Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk. Tegangan diberikan pada materi dari arah luar, sedangkan regangan adalah tanggapan materi terhadap tegangan.



Gambar 2.6 Konsep Regangan

Sumber: <http://sepenggal.files.wordpress.com/2010/11/regangan.jpg>

Pada Gambar 2.4 pertambahan panjang (ΔL) terjadi dikarenakan panjang L tersebut dikenakan beban F . Sehingga yang disebut regangan (ε) adalah perbandingan antara perubahan panjang (ΔL) terhadap panjang awal (L_0).

2.4 Hubungan Tegangan dan Regangan

Dalam hubungan tegangan dan regangan untuk setiap peningkatan tegangan terjadi pula peningkatan regangan yang sebanding sampai batas tegangan tercapai. Ketika tegangan mencapai nilai batas maka hubungan antara tegangan dan regangan tidak lagi proporsional.

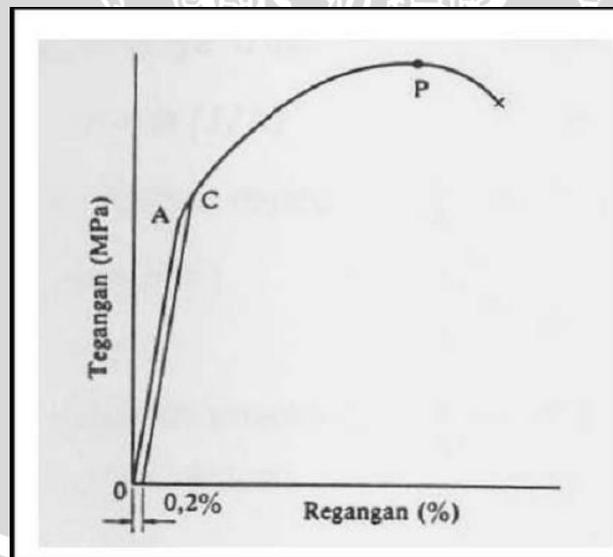
Hubungan proporsional antara tegangan dan regangan ini dinyatakan dalam hukum *Hooke*, yaitu:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2-4)$$

Konstanta E tersebut kini dikenal dengan istilah modulus elastisitas atau modulus *Young*. Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan suatu bahan. Makin besar modulus elastisitas makin kecil regangan elastis yang dihasilkan akibat pemberian tegangan. Modulus *Young* dinotasikan dengan symbol E , maka modulus young dapat dinyatakan dengan Persamaan (2-5):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} \quad (2-5)$$

Hubungan antara tegangan dan regangan tersebut dapat direpresentasikan ke dalam grafik hubungan tegangan dan regangan.



Gambar 2.7 Grafik Tegangan dan Regangan
Sumber: Surdia, Tata ; 1990 ; 18

Keterangan :

A = Titik Proporsional

C = Titik Yield

P = Titik Ultimate

Grafik tegangan regangan seperti ditunjukkan Gambar 2.7 mempunyai daerah plastis dan elastis dimana ditunjukkan batasnya oleh titik A atau disebut dengan *propotional point*. Di bagian awal kurva (sampai regangan yang kurang dari 1 %), tegangan dan regangan adalah proporsional sampai titik A (batas proporsionalnya) tercapai. Hubungan proporsional antara tegangan dan regangan dalam daerah ini disebut hukum *Hooke*. Mulai A sampai C tegangan dan regangan tidak proporsional, tetapi walaupun demikian, bila beban ditiadakan disembarang titik antara 0 dan A, kurva akan menelusuri jejaknya kembali dan bahan yang bersangkutan akan kembali kepada panjang awalnya. Dikatakanlah bahwa dalam daerah 0A bahan itu elastis atau memperlihatkan sifat elastis dan titik A dinamakan juga batas elastis. Ketika beban ditambahkan, regangan akan bertambah dengan cepat, tetapi apabila beban dilepas selewat daerah tersebut, misalkan di titik C, bahan tidak akan kembali kepanjang awalnya. Panjangnya pada tegangan nol kini lebih besar dari panjang awalnya dan bahan itu dikatakan mempunyai suatu regangan tetap (*permanent set*). Jika penambahan beban diteruskan sehingga melampaui titik C akan menambah regangan hingga tercapai titik P, dimana bahan menjadi putus. Dari C ke P, logam itu dikatakan mengalami arus plastis atau deformasi plastis, dalam mana terjadi luncuran dalam logam itu sepanjang bidang yang tegangan luncurnya maksimum. Jika antara batas elastis dan titik putus terjadi deformasi plastis yang besar, logam itu dikatakan kenyal (*ductile*). Akan tetapi jika pemutusan terjadi segera setelah melewati batas elastis, logam itu dikatakan rapuh.

2.5 Bracket

Bracket secara umum dikenal memiliki arti yang bervariasi, karna istilah tersebut digunakan dalam berbagai macam disiplin ilmu, mulai dari tipografi, arsitektur, kedokteran, teknologi, maupun *engineering*, bahkan didunia olahraga dan hiburan juga menggunakan istilah atau nama tersebut. Dalam dunia *engineering*, *bracket* dikenal sebagai suatu objek yang digunakan untuk mensupport suatu konstruksi benda atau mesin. *Bracket* tidak terikat harus menggunakan material tertentu, namun disesuaikan dengan kebutuhan konsumen. *Bracket* dibagi menjadi beberapa macam, namun yang paling dikenal dalam dunia *engineering* adalah *L-Bracket*.

2.5.1 L-Bracket

Istilah *L-bracket* digunakan untuk menyebut suatu produk yang memiliki bentuk siku – siku dengan material yang bervariasi. *L-bracket* adalah suatu plat yang

biasanya berbentuk siku atau memiliki sudut 90° . Panjang *L-bracket* ini biasanya bervariasi, begitu pula dengan lebar dan tebalnya, semua itu divariasikan sesuai dengan kebutuhan konsumen.

L-bracket biasanya digunakan untuk penyangga rak maupun konstruksi berat lainnya. Produk ini banyak digunakan karena profilnya yang kokoh dan tahan lama sehingga cocok untuk keperluan konstruksi jangka panjang maupun keperluan manufaktur lainnya.



Gambar 2.8 *L-Bracket*

Sumber : <http://mounts4solar.files.wordpress.com/2009/10/product-0331.jpg>

2.5.2 Proses Pembentukan *L-Bracket*

L-bracket biasanya dibentuk dari pelat yang kemudian dilakukan *bending* sehingga membentuk sudut yang umumnya sebesar 90° . Namun sudut tersebut divariasikan sesuai kebutuhan konsumen, begitu pula dengan bahan yang digunakannya.

Proses pembentukan *L-bracket* tersebut berbeda dengan proses pembentukan besi siku meskipun keduanya memiliki bentuk dan fungsi yang hampir sama. Karena biasanya besi siku dibentuk melalui proses pengecoran karna sulitnya dilakukan proses penekukan, hal yang merupakan ciri umum proses pembentukan *L-bracket*. Selain itu materialnya pun jelas menjadi pembeda dimana besi siku pasti dibuat dari besi, yang mana *L-bracket* menggunakan material yang disesuaikan dengan kebutuhan konsumen.

L-bracket biasanya dapat berumur hingga 3-5 tahun, namun hal itu juga bergantung pada penggunaannya. Dengan panjangnya umur tersebut *L-bracket* memiliki alasan tambahan menjadi pulihan konsumen.

2.6 Konsep Dasar Elemen Hingga

Apabila suatu benda / material dikenai gaya seperti beban, tekanan, temperatur, dan kecepatan fluida dan panas maka akan timbul akibat-akibat seperti perubahan bentuk (deformasi) tegangan, temperatur, tekanan, dan kecepatan fluida. Sifat distribusi dari akibat-akibat yang ditimbulkan (deformasi) dalam suatu benda tergantung pada karakteristik sistem gaya dan beban itu sendiri. Dalam metode elemen hingga akan dapat temukan distribusi dari akibat-akibat ini, yang dinyatakan dengan perpindahan/*displacement*.

Menurut Wirjosoedirdjo (1988), metode elemen hingga dapat digunakan dengan melakukan langkah- langkah sebagai berikut:

1. Diskritisasi dan memilih konfigurasi elemen. Langkah ini menyangkut pembagian benda menjadi sejumlah benda kecil yang sesuai yang disebut elemen-elemen hingga. Perpotongan antara sisi - sisi elemen dinamakan simpul atau titik simpul, dan antara elemen - elemen disebut garis simpul. Jumlah elemen yang digunakan akan semakin baik bila mendekati medium kontinum dan jenis elemen yang digunakan tergantung pada karakteristik rangkaian kesatuan dan idealisasi yang dipilih untuk digunakan seperti jenis elemen garis, elemen bidang, dan elemen ruang.
2. Memilih model atau fungsi pendekatan. Dalam langkah ini dipilih suatu pola atau bentuk untuk distribusi besaran yang tidak diketahui yang dapat berupa suatu perpindahan dan/ atau tegangan untuk persoalan - persoalan tegangan - deformasi. Titik - titik simpul elemen memberikan titik strategis untuk penulisan fungsi - fungsi matematis yang menggambarkan bentuk distribusi dari besaran yang tidak diketahui pada wilayah elemen. Fungsi matematis yang biasa digunakan biasanya adalah polinomial. Jika u dinyatakan sebagai besaran tak diketahui, maka fungsi interpolasi polinomial dapat dinyatakan sebagai : $U = N_1u_1 + N_2u_2 + N_3u_3 + \dots + N_mu_m$. Dengan $u_1, u_2, u_3, \dots, u_m$ adalah nilai dari besaran-besaran yang tidak diketahui pada titik-titik simpul dan N_1, N_2, \dots, N_m adalah fungsi - fungsi interpolasi.
3. Menentukan hubungan regangan – perpindahan dan tegangan - regangan. Hukum tegangan regangan digunakan dalam analisis ini. Sebagai contoh adalah tegangan terhadap regangan dalam suatu benda pejal : $\sigma = E\varepsilon$; dengan $\sigma =$ tegangan, $E =$ modulus elastisitas, $\varepsilon =$ regangan/ deformasi
4. Menurunkan persamaan - persamaan elemen. Penurunan persamaan elemen dapat menggunakan metode energi dan metode residu berbobot. Penggunaan salah satu dari metode tersebut menghasilkan persamaan yang menggambarkan perilaku suatu

elemen, yang dinyatakan sebagai : $[k]\{q\} = \{Q\}$; dengan $[k]$ = matrik sifat elemen/kekakuan, $\{q\}$ = vektor besaran yang tidak diketahui disimpul-simpul elemen/perpindahan simpul, dan $\{Q\}$ = vektor parameter pemaksa simpul elemen/ gaya simpul.

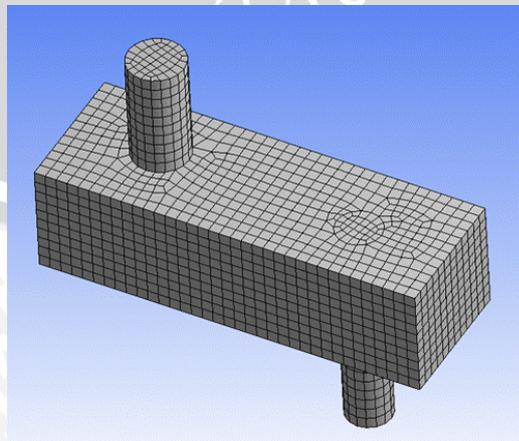
5. Perakitan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global atau persamaan rakitan dan mengenal syarat batas. Proses perakitan didasarkan pada hukum kekontinuan. Persamaan elemen yang diperoleh dijumlahkan untuk memperoleh persamaan global.
6. Memecahkan besaran-besaran primer yang tak diketahui.
7. Memecahkan besaran-besaran penurunan atau sekunder.
8. Interpretasi hasil - hasil.

2.6.1 Macam-Macam Elemen pada Permodelan Elemen Hingga

Pada permodelan elemen hingga yang rumit khususnya permodelan dikerjakan secara simulasi, maka proses penyelesaiannya dibutuhkan suatu elemen untuk melakukan *meshing* (diskritisasi) agar hasil yang didapatkan menjadi lebih rinci. Elemen yang digunakan dalam simulasi tergantung pada bentuk permodelan yang akan diselesaikan, baik itu 2D ataupun 3D. Umumnya pada permodelan secara 3D digunakan elemen-elemen berikut.

1. *Hexagoal Element*

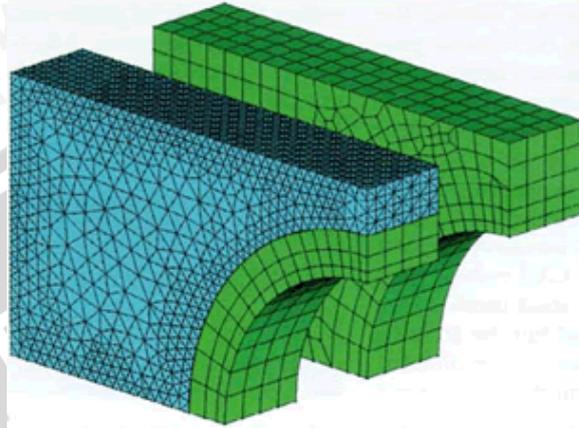
Elemen *hexagonal* umumnya hampir selalu memiliki permukaan persegi, dan memiliki bentuk kubus atau semacamnya. Elemen jenis ini biasanya digunakan untuk permodelan yang berbentuk sederhana. Elemen ini juga lebih mudah dilakukan analisa dan diambil kesimpulan.



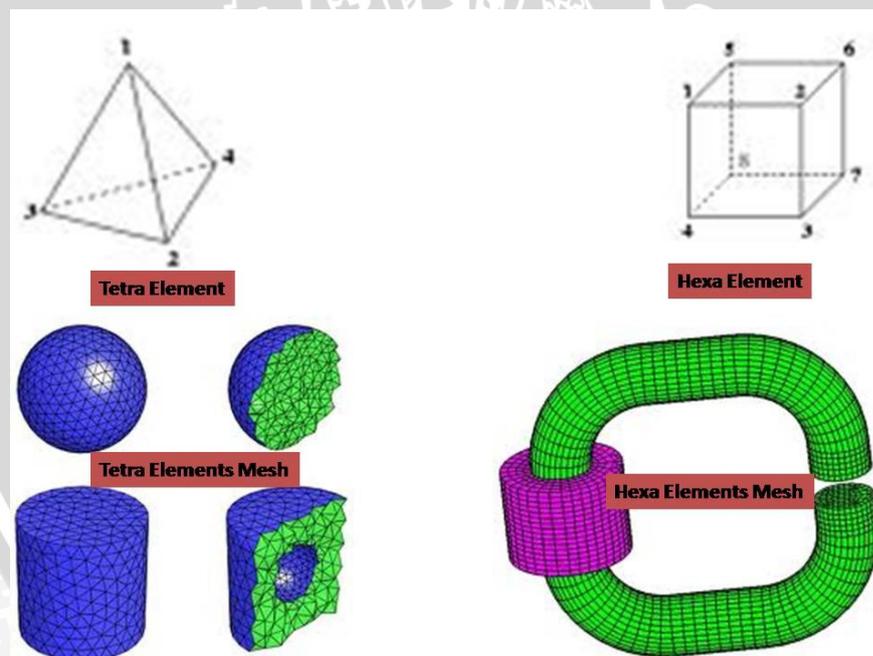
Gambar 2.9 *Hexagonal Element*

2. Tetrahedral Element

Elemen *tetrahedral* umumnya memiliki permukaan segitiga, dan biasanya berbentuk limas atau prisma, tergantung bentuk permodelan. Elemen jenis ini digunakan untuk bentuk permodelan yang rumit dan tidak bisa menggunakan elemen yang lebih sederhana seperti silinder atau model bertakik.



Gambar 2.10 *Tetrahedral Element*



Gambar 2.11 Penggunaan Tiap Elemen Pada Saat *Meshing*

2.7 Software ABAQUS

ABAQUS merupakan suatu *software* berbasis *finite element* dengan penyelesaian numerik yang dapat digunakan pada berbagai persoalan *engineering*. Beberapa persoalan yang mampu diselesaikan meliputi:

1. Analisis struktur statis / dinamis baik linier atau bukan.
2. Fenomena elektromagnetik
3. Perpindahan panas dan mekanika fluida

Secara umum dalam permodelan *software*, solusi metode elemen hingga dapat dibagi menjadi 3 bagian utama, yaitu:

1. *Preprocessing*

Adalah tahap pembuatan model fisik dari masalah yang akan diselesaikan dan membuat *input file* yang akan digunakan dalam simulasi nantinya. Dalam tahap ini ditentukan beberapa hal seperti:

- Menentukan tipe elemen dan material yang digunakan beserta *properties*-nya
- Menentukan *keypoint*, *lines*, *area* atau *volume*
- Menentukan beban yang bekerja pada material
- Menentukan kondisi batas (*boundary condition*)
- Melakukan *meshing* pada *lines*, *area* atau *volume* sesuai kebutuhan
- Menentukan jenis analisis yang digunakan
- Pembuatan *input file*

Pada tahap ini tingkat ketelitiannya disesuaikan dengan analisis dimensi yang digunakan. Semisal 1 dimensi, 2 dimensi, *axi-symmetric*, atau 3 dimensi.

2. *Simulation*

Tahap dilakukannya perhitungan masalah numeris yang sudah didefinisikan dalam tahap *preprocessing*. Hasil perhitungan akan disimpan di dalam file biner yang siap diolah dalam tahap *postprocessing*.

3. *Postprocessing*

Tahap akhir dimana hasil *solving* (*running program*) bisa dilihat. Pada tahap ini ada beberapa hal yang dapat diamati, salah satunya adalah *Stress Contour Diagram*.

2.8 Hipotesis

Berdasarkan kajian pustaka diatas maka dapat dibuat sebuah hipotesis dimana semakin dekat jarak *hole* ke daerah tekukan, maka nilai konsentrasi tegangan akan semakin meningkat, begitu pula sebaliknya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental semu menggunakan simulasi elemen hingga dengan bantuan komputer, metode ini bertujuan untuk mendapatkan informasi yang digunakan sebagai acuan atau perkiraan dalam percobaan atau eksperimen nyata. Dalam penelitian ini penulis berusaha agar data yang diperoleh sedekat mungkin dengan data yang diperoleh dari prosedur dan tata cara dalam eksperimen nyata, maka dari itu juga dilakukanlah proses eksperimental nyata sebagai bentuk validasi dari data yang didapat.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di beberapa fasilitas yang ada di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tanggal 19 September 2013 sampai 19 November 2013.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Variabel Bebas (*Independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan besarnya tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya. Variable bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi jarak *hole* terhadap daerah tekuk dengan jarak sebesar -3 mm, -2 mm, -1 mm, 0 mm, dan 1 mm.

2. Variabel Terikat (*dependent variable*)

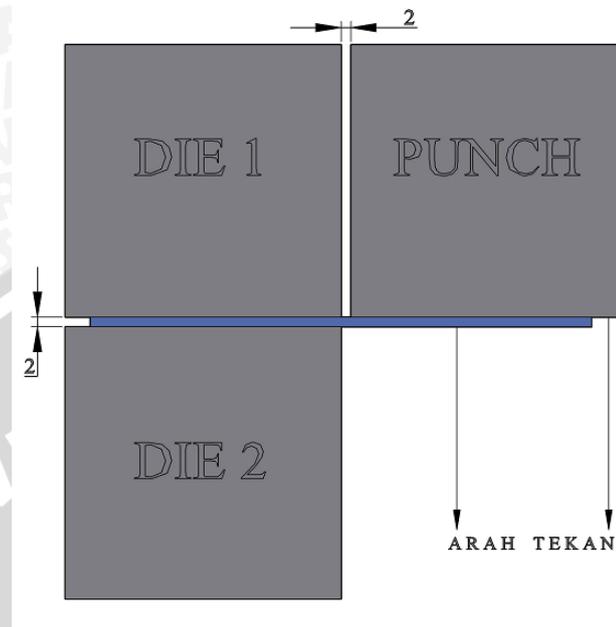
Variabel terikat adalah variabel yang besarnya dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan di atas. Variable terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsentrasi tegangan pada tekukan

3. Variabel Kontrol

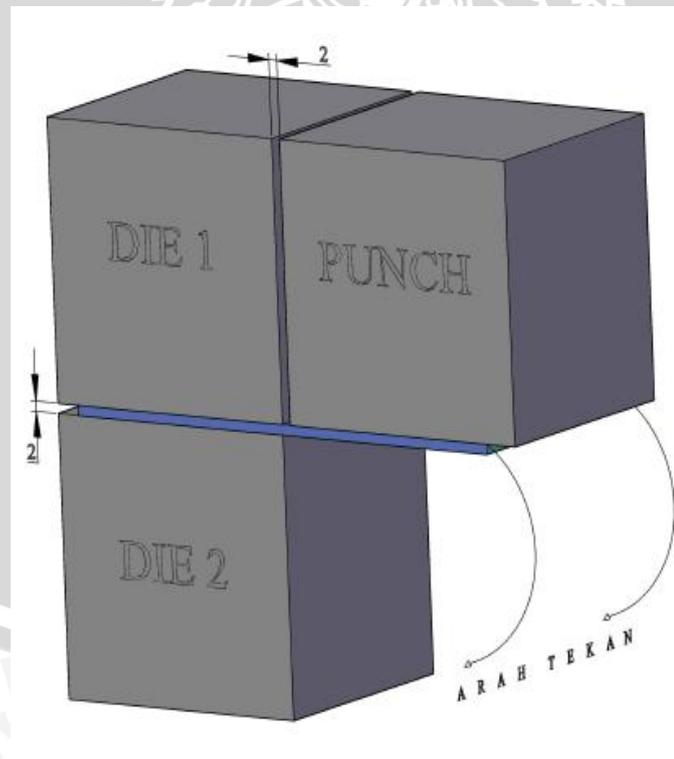
Variabel kontrol adalah variabel yang besarnya dijaga konstan pada saat penelitian berlangsung. Variable kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah besarnya sudut penekukan pada *L-bracket* sebesar 90°.

3.4 Rancangan Penelitian

Skema rancangan penelitian saat permodelan secara simulasi dapat dilihat pada dua gambar berikut ini.



Gambar 3.1 Skema *Punch* dan *Dies* secara 2D



Gambar 3.2 Skema *Punch* dan *Dies* secara 3D

Dari dua gambar diatas ditunjukkan bahwa pelat aluminium sebagai bahan penelitian adalah yang berwarna biru. Pelat tersebut dijepit oleh dua *die* sehingga tidak

dapat bergerak, kemudian ditekuk oleh *punch* sehingga tertekuk 90° . Dalam proses tekuk riil nya *die 1* dan *die 2* merupakan penjepit bahan pada mesin tekuk, sedangkan *punch* merupakan penampang eksekutornya. Sesuai dengan gambar, disini pembebanan bukan berupa *load* ke salah satu arah sumbu, namun disini pembebanan berupa *displacement*, gerak memutar searah jaruh jam terhadap sumbu z. Jadi diasumsikan tidak ada besar gaya yang bekerja.

Mengapa disini digunakan material aluminium karena material aluminium mudah didapatkan, dan kedepannya jika nanti terjadi perubahan sesuai yang diinginkan maka dapat dipastikan untuk material yang lebih kuat dari aluminium jika dilakukan perlakuan sejenis juga akan terjadi perubahan, bahkan bisa lebih besar.

3.5 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut. Untuk alat disini telah mencakup alat yang dibutuhkan untuk proses simulasi maupun eksperimental nyata.

3.5.1 Alat

1. Unit Personal Computer

Spesifikasi PC yang digunakan adalah sebagai berikut :

- *Operating system* : Windows 7 Ultimate 64-bit SP1
- *Processor* : Intel(R)Core(TM) i5-3317U CPU @ 1,70 GHz
- *RAM* : 4,00 GB

2. Software finite element

Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah *software* Abaqus, dipilihnya Abaqus karena *software* ini dirasa sudah dapat menyelesaikan persoalan simulasi yang ada. Skema permodelan pembentukan *L-bracket* pada *software* tersebut dapat dilihat pada sub-bab sebelumnya, rancangan penelitian.

3. Mesin Tekuk

Mesin tekuk digunakan untuk melakukan proses penekukan pada bahan spesimen yang berupa pelat aluminium.



Gambar 3.3 Mesin Penekuk Pelat

Sumber : Laboratorium Proses Produksi, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

4. Mesin *Frais*

Mesin *frais* digunakan untuk memberikan *hole* pada bahan spesimen yang berupa pelat aluminium sesuai dengan yang direncanakan.



Gambar 3.4 Mesin *Frais*

Sumber : Laboratorium Proses Produksi, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

3.5.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah material yang terbuat dari bahan aluminium 6061.

- *Material Properties Aluminium*

- Komposisi Kimia

Tabel 3.1 Komposisi kimia aluminium 6061

No	Jenis	Kandungan
1	Aluminium	95,8 – 98,6 %
2	Kromium	0,04 – 0,35 %
3	<i>Cooper</i>	0,15 – 0,4 %
4	<i>Magnesium</i>	0,8 – 1,2 %
5	Silikon	0,4 – 0,8 %
6	<i>Ferrus</i>	maksimum 0,7 %
7	Titanium	maksimum 0,15 %
8	Seng	maksimum 0,25 %
9	Mangan	maksimum 0,15 %
10	Lain-lain	0,05 – 0,15 %

Sumber : <http://asm.matweb.com>

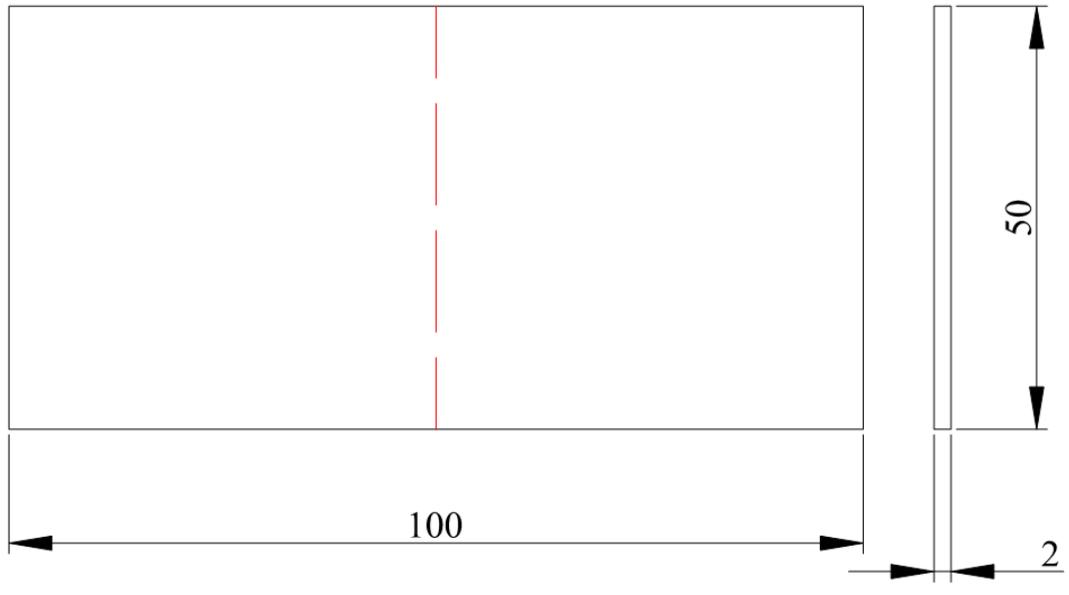
- Sifat Mekanik

Tabel 3.2 Sifat mekanik aluminium 6061

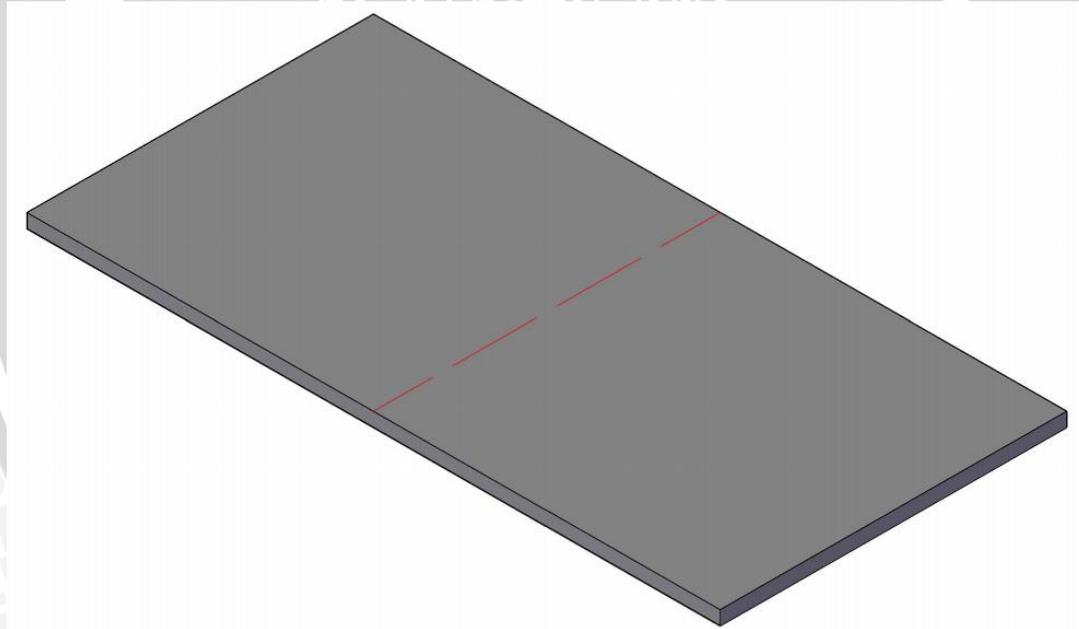
No	Sifat	Besar
1	<i>Poisson's Ratio</i>	0,33
2	Modulud Elastisitas	68,9 Gpa
3	Kekuatan Tarik Maksimum	310 MPa
4	Kekuatan Tegangan Luluh	276 MPa
5	<i>Fatigue Strength</i>	96,5 MPa
6	<i>Fracture Toughness</i>	29 MPa
7	Modulud Geser	26 GPa
8	<i>Shear Strength</i>	207 MPa
9	Massa Jenis	2,7 g/cc

Sumber : <http://asm.matweb.com>

- Geometri Spesimen
 1. Specimen tanpa hole

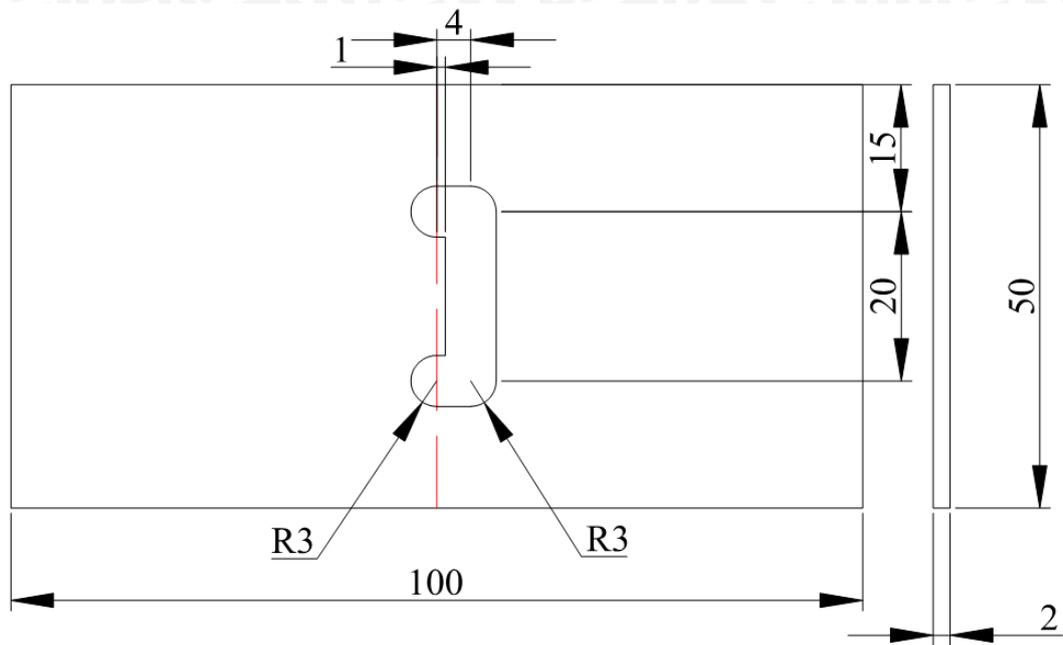


Gambar 3.5 Geometri Spesimen tanpa hole

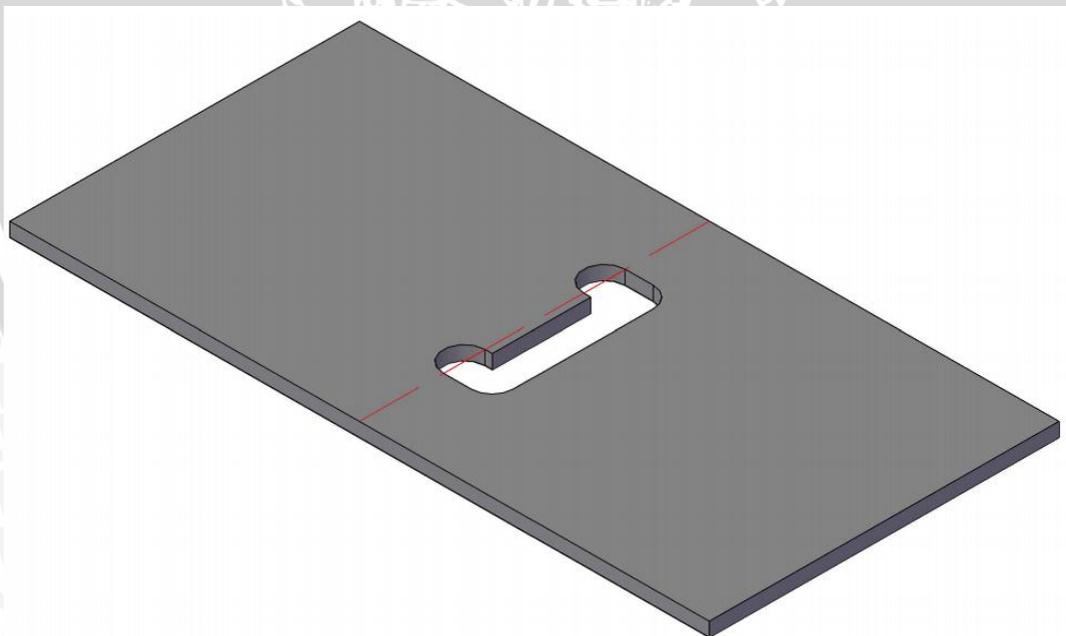


Gambar 3.6 Gambar Spesimen tanpa hole secara 3D

2. Spesimen dengan *hole* pada Posisi 0 mm dari Daerah Tekuk

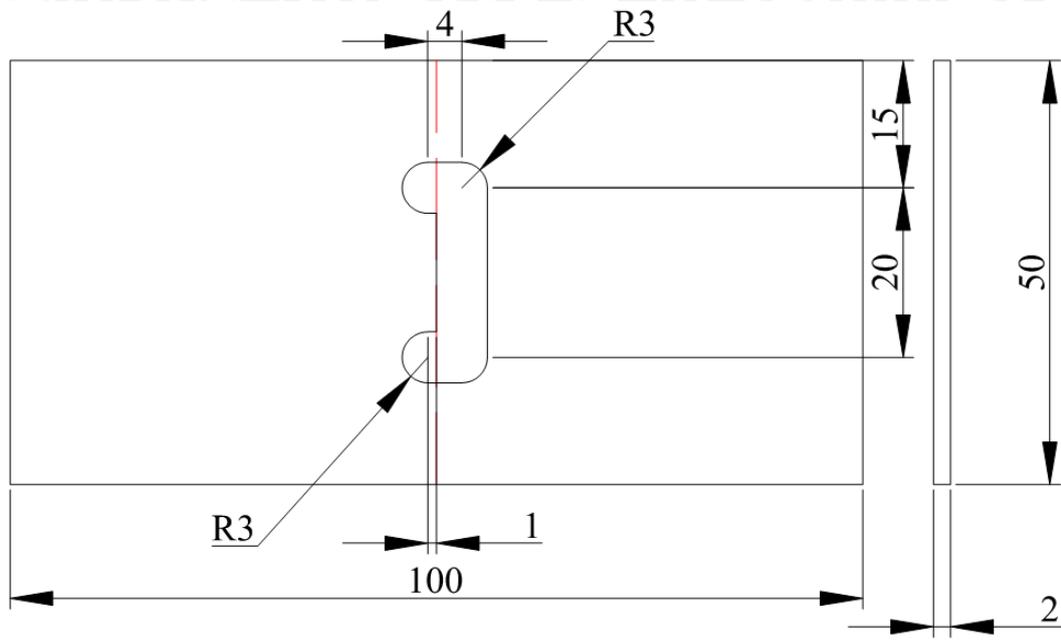


Gambar 3.7 Geometri Spesimen dengan *hole* pada Posisi 0 mm dari Daerah Tekuk secara Ortogonal

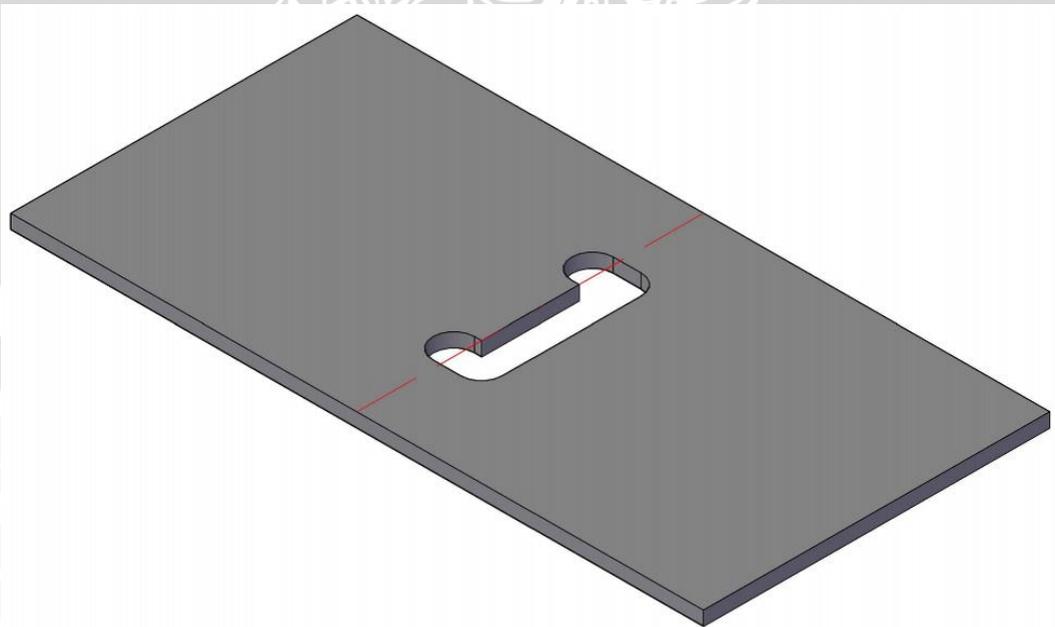


Gambar 3.8 Gambar Spesimen dengan *hole* pada Posisi 0 mm dari Daerah Tekuk secara 3D

3. Spesimen dengan *hole* pada Posisi -1 mm dari Daerah Tekuk

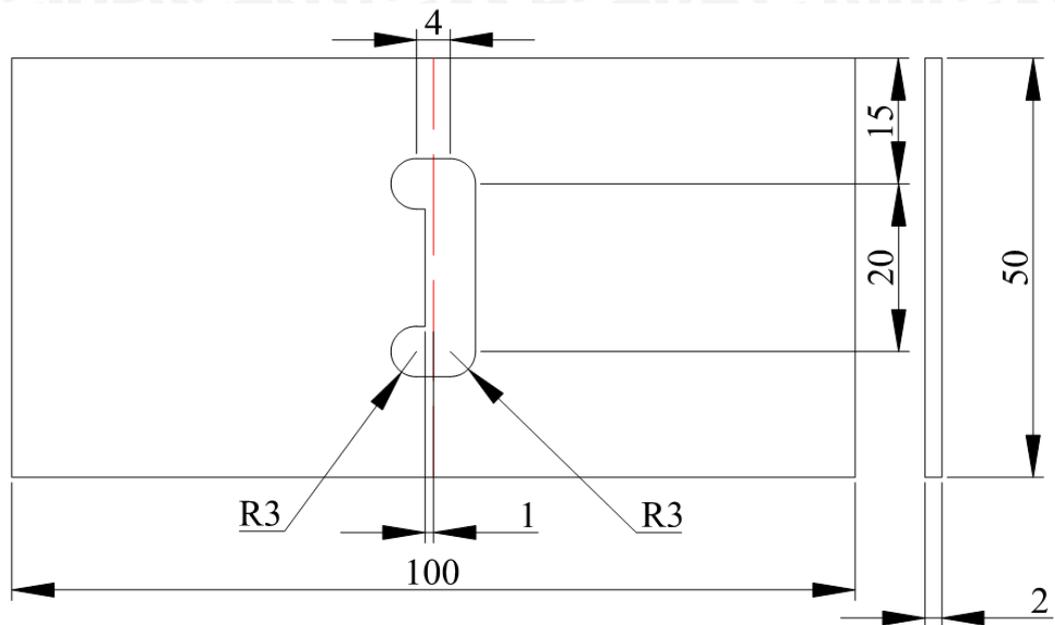


Gambar 3.9 Geometri Spesimen dengan *hole* pada Posisi -1 mm dari Daerah Tekuk secara Ortogonal

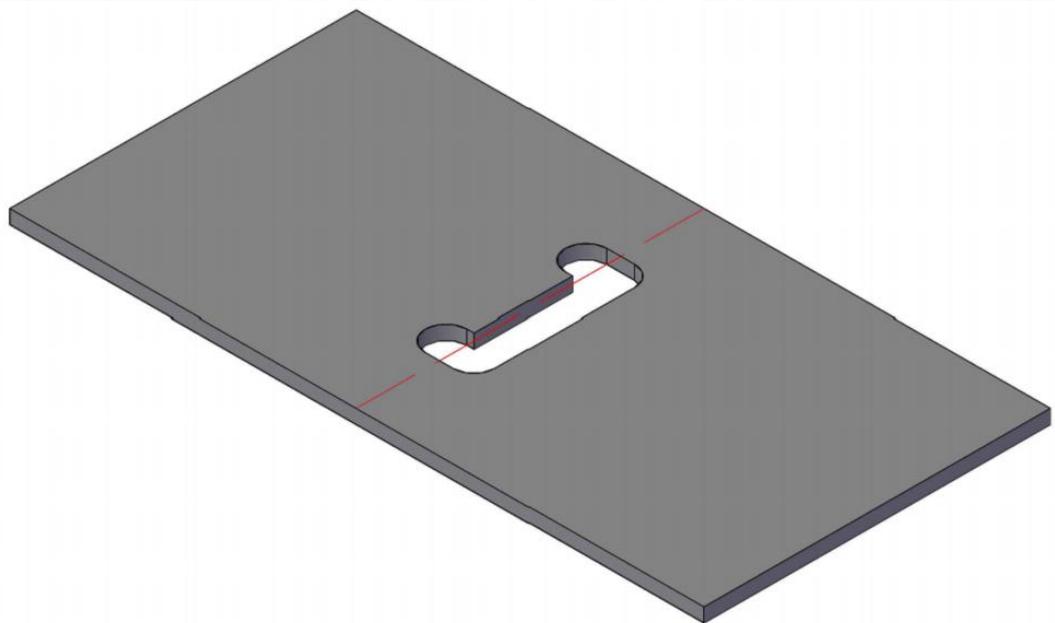


Gambar 3.10 Gambar Spesimen dengan *hole* pada Posisi -1 mm dari Daerah Tekuk secara 3D

4. Spesimen dengan *hole* pada Posisi -2 mm dari Daerah Tekuk

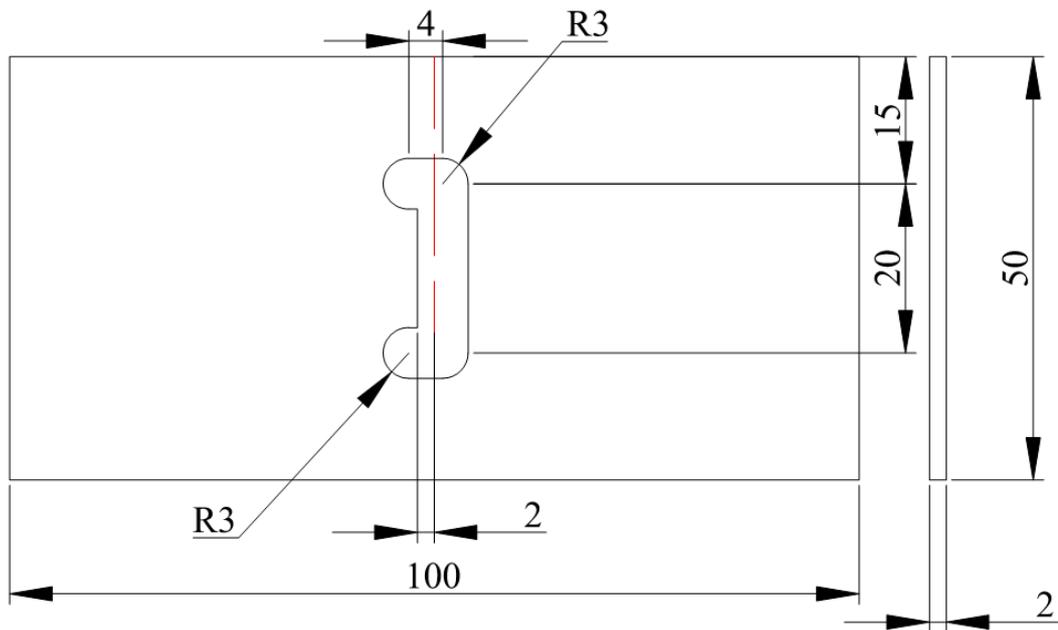


Gambar 3.11 Geometri Spesimen dengan *hole* pada Posisi -2 mm dari Daerah Tekuk secara Ortogonal

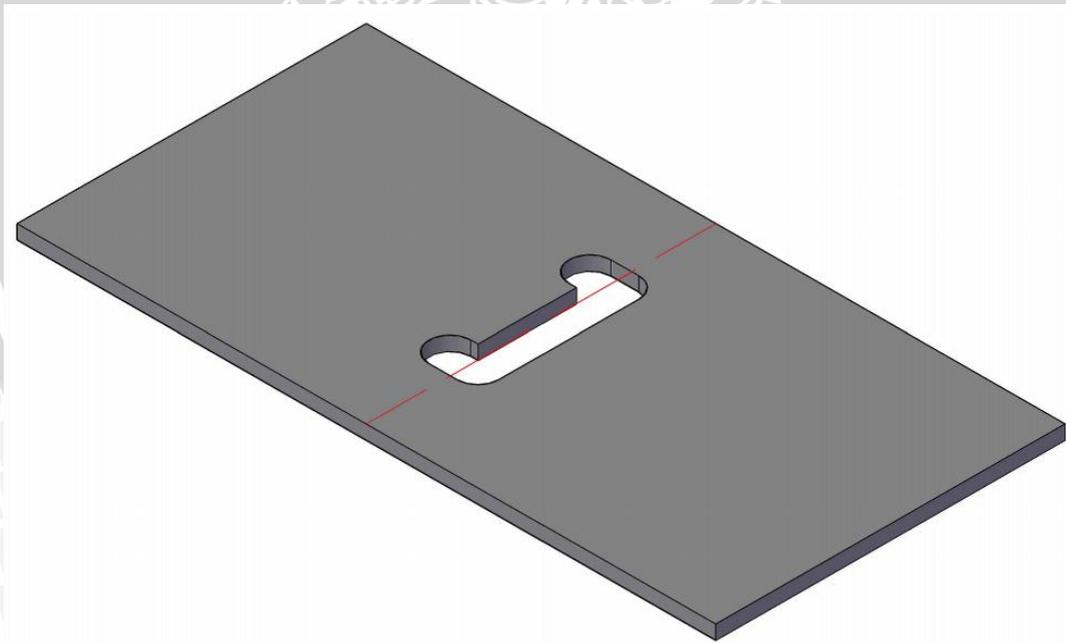


Gambar 3.12 Gambar Spesimen dengan *hole* pada Posisi -2 mm dari Daerah Tekuk secara 3D

5. Spesimen dengan *hole* pada Posisi -3 mm dari Daerah Tekuk

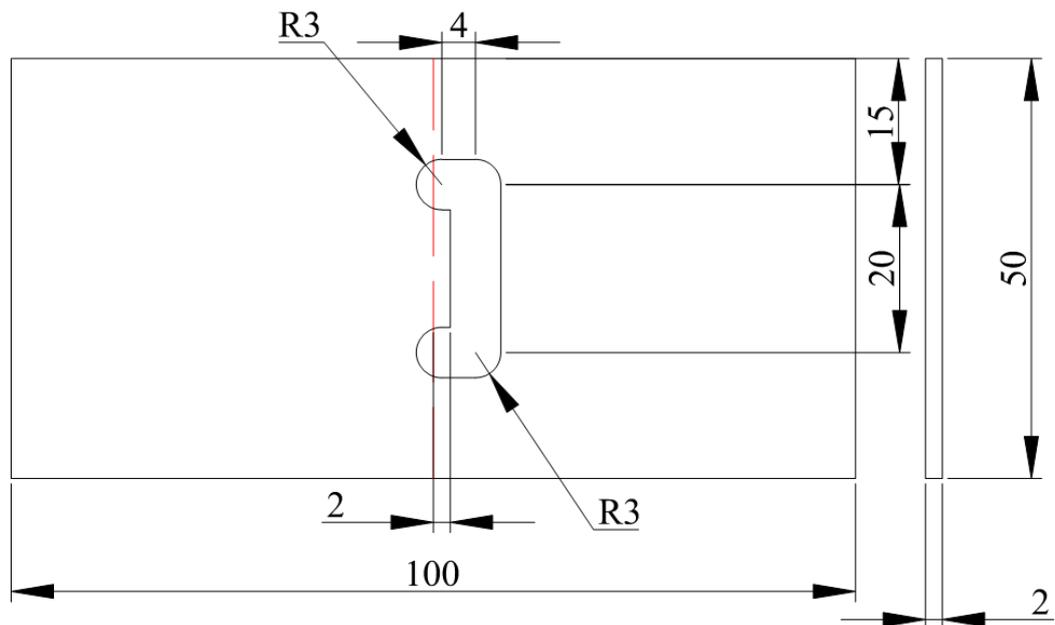


Gambar 3.13 Geometri Spesimen dengan *hole* pada Posisi -3 mm dari Daerah Tekuk secara Ortogonal

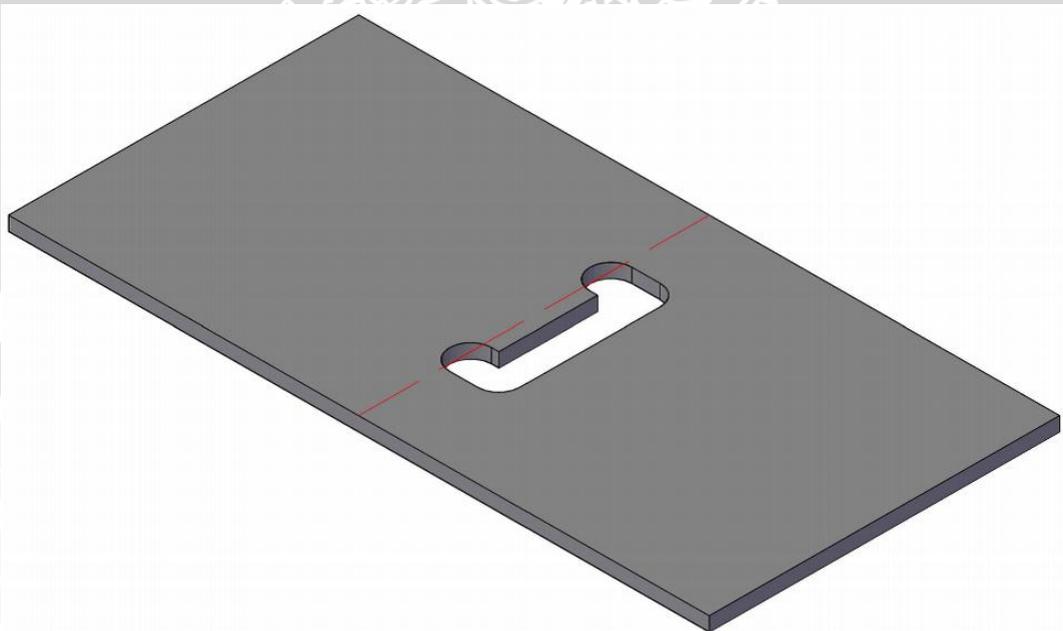


Gambar 3.14 Gambar Spesimen dengan *hole* pada Posisi -3 mm dari Daerah Tekuk secara 3D

6. Spesimen dengan *hole* pada Posisi 1 mm dari Daerah Tekuk



Gambar 3.15 Geometri Spesimen dengan *hole* pada Posisi 1 mm dari Daerah Tekuk secara Ortogonal



Gambar 3.16 Gambar Spesimen dengan *hole* pada Posisi 1 mm dari Daerah Tekuk secara 3D

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yang pertama adalah secara simulasi, dan berikutnya secara eksperimental yaitu proses tekuk.

3.6.1 Simulasi

Pada proses simulasi ini hanya dibutuhkan *Unit Personal Computer* yang telah terinstal *software* Abaqus yang akan digunakan. Berikut ini langkah-langkah secara garis besar yang akan dilakukan.

1. Setelah membuka *software* Abaqus tersebut, dibuatlah permodelan bentuk geometri material secara 3 dimensi
2. Lalu dimasukkan data *material properties* yang dibutuhkan
3. Lakukan proses *meshing* pada material
4. Tentukan gaya yang bekerja pada material
5. Lakukan proses *running* dan tunggu hasil yang muncul
6. Setelah hasil *running* muncul catat data yang ada
7. Lakukan analisa mengenai data tersebut

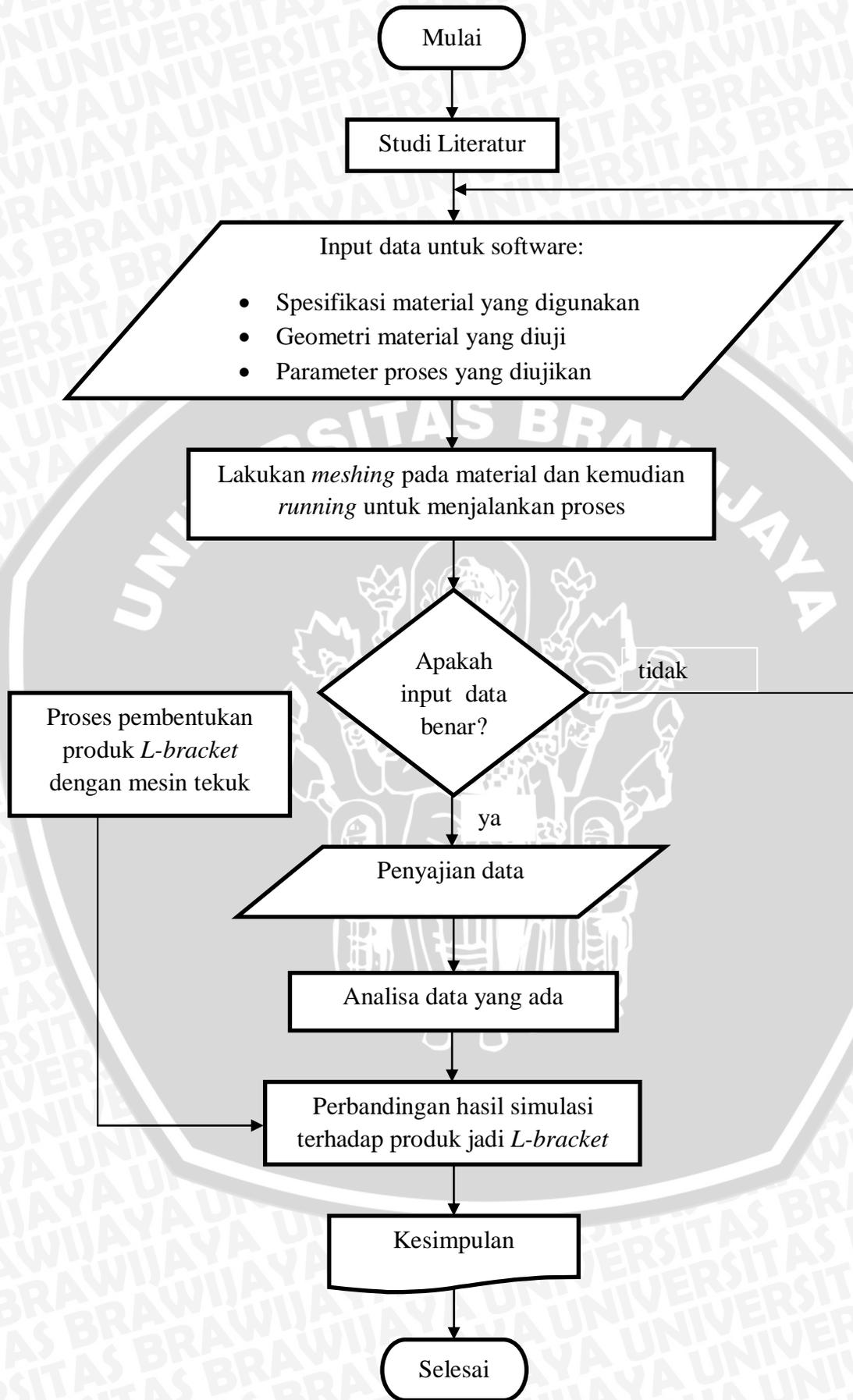
3.6.2 Proses Tekuk

Proses tekuk disini merupakan pengaplikasian secara riil dari penelitian yang telah dilakukan secara simulasi. Disini hanya dibuktikan apakah hasil simulasi yang ada telah sesuai dengan proses eksperimental ini. Dengan kata lain hasil proses tekuk disini tidak akan mempengaruhi penelitian ini secara langsung.

1. Siapkan dua spesimen yang telah ditentukan, yaitu :
 - a) Pelat aluminium tanpa *hole*
 - b) Pelat aluminium yang telah diberikan *hole* dengan jarak paling optimum yang telah diteliti secara simulasi
2. Lakukan uji tekuk pada kedua spesimen tersebut
3. Bandingkan bagaimana proses penekukan yang terjadi pada kedua spesimen tersebut dan lakukan analisa untuk menarik kesimpulan

3.6 Flow Chart

Flow chart merupakan diagram alir dari suatu penelitian, dengan kata lain tidak berbeda jauh dengan prosedur penelitian. Namun *flow chart* disini memudahkan untuk memahami dan melakukan penelitian ini secara umum. Berikut *flow chart* dari penelitian ini:



Gambar 3.17 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

4.1.1 Data Awal Penelitian

Data – data yang berkaitan dengan penelitian ini adalah :

1. Material yang digunakan adalah Aluminium 6061 dengan data *material properties* seperti standard ASM, antara lain :
 - a. *Poisson's Ratio* : 0,33
 - b. Modulus Elastisitas : 68,9 Gpa
 - c. Kekuatan Tarik Maksimum : 310 MPa
 - d. *Shear Strength* : 207 MPa
 - e. Massa Jenis : 2,7 g/cc
2. Dimensi dari spesimen awal dan produk jadi untuk spesimen tanpa *hole* adalah sebagai berikut :
 - a. Spesimen Awal
 - Panjang : 100 mm
 - Lebar : 50 mm
 - Tebal : 2 mm
 - b. Spesimen Awal
 - Panjang : 2 x 50 mm
 - Lebar : 50 mm
 - Tebal : 2 mm
 - Sudut Tekuk : 90°
3. Besar sudut *displacement* terhadap sumbu Z oleh *punch* terhadap spesimen sebesar 90°.

4.1.2 Data Hasil Penelitian

Data yang didapatkan dari penelitian ini untuk nilai konsentrasi tegangan paling tinggi pada keenam spesimen secara simulasi adalah sebagai berikut :

1. Spesimen Awal : 145,002 MPa

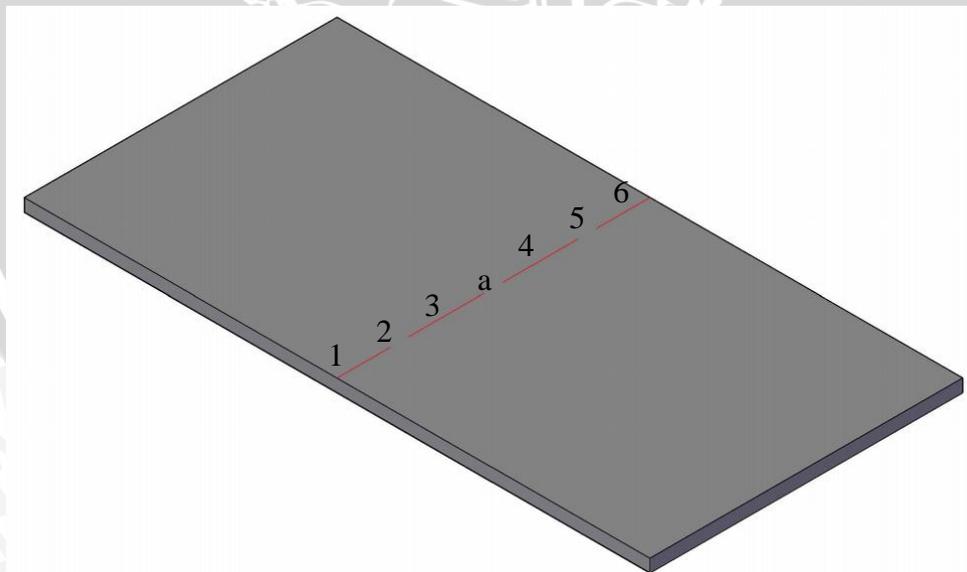
2. Sepesimen dengan Jarak *Hole* 0 mm : 145,102 MPa
3. Sepesimen dengan Jarak *Hole* -1 mm : 145,069 MPa
4. Sepesimen dengan Jarak *Hole* -2 mm : 145,039 MPa
5. Sepesimen dengan Jarak *Hole* -3 mm : 145,031 MPa
6. Sepesimen dengan Jarak *Hole* 1 mm : 145,003 MPa

4.2 Hasil Penelitian

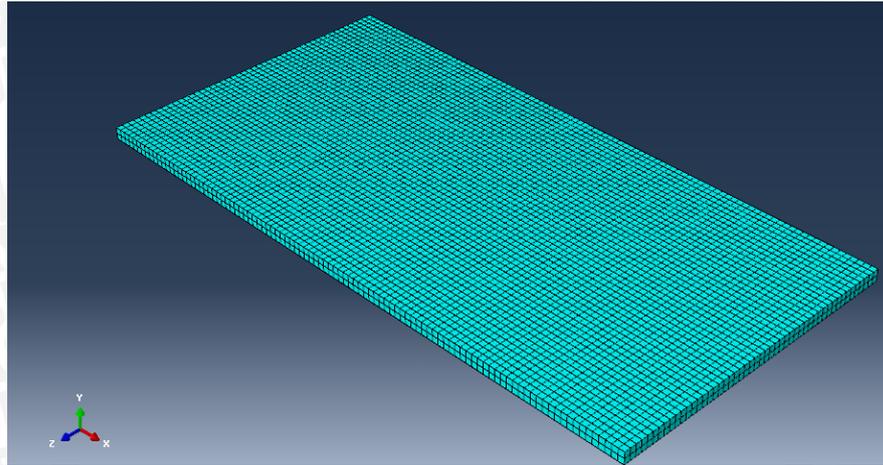
4.2.1 *Element* Pemngambilan Data

Simulasi permodelan pada penelitian ini menggunakan 2 buah *die*, satu *punch*, dan juga 1 spesimen sebagai material pelat aluminium yang akan disimulasikan untuk mengetahui pengaruh jarak *hole* terhadap konsentrasi tegangan (gambar 3.1 dan 3.2). Pada proses ini *die* dan *punch* dianggap material yang *rigid*. Artinya, material dianggap tidak memperoleh efek dari proses simulasi, tidak terdeformasi.

Pada simulasi ini digunakan spesimen berbentuk pelat persegi panjang dengan ukuran 150 mm x 50 mm x 2 mm, kemudian spesimen diberi *mesh*. Penampang *spesimen* dalam pemberian *node element* dan *meshing* pada simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.1; 4.2; 4.3 dan 4.4.

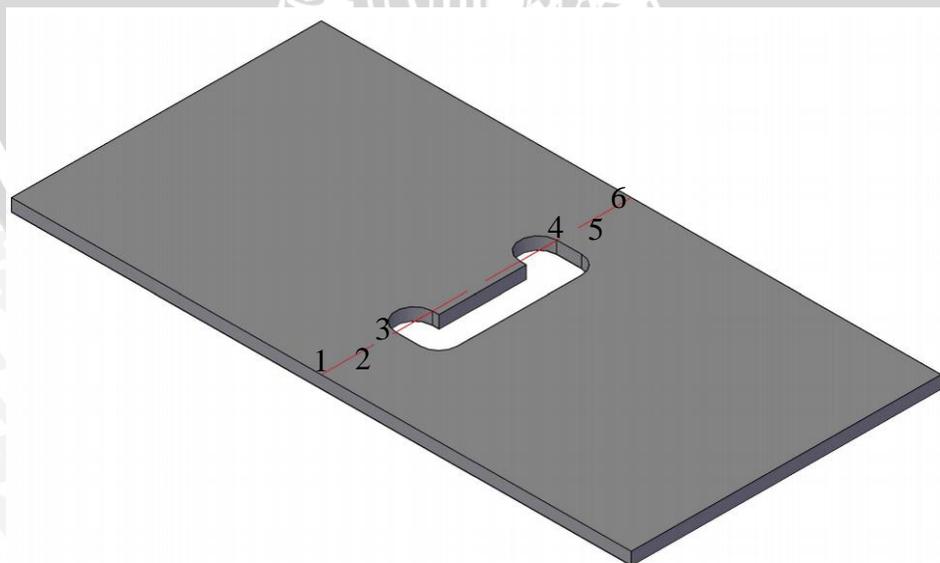


Gambar 4.1 Pemberian *Node Element* Spesimen Awal

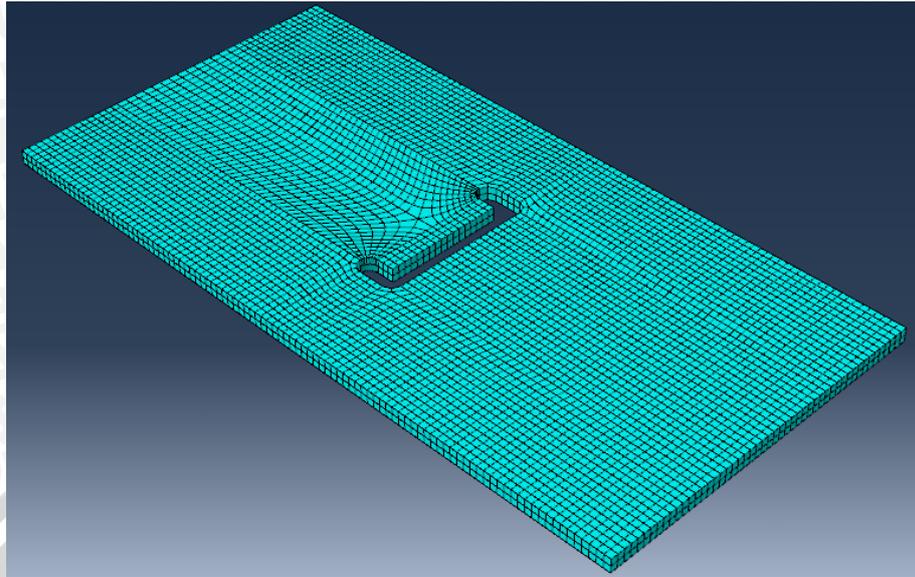


Gambar 4.2 Spesimen Awal yang Telah Diberi Mesh

Untuk spesimen tanpa *hole* analisis dilakukan pada daerah sepanjang daerah tekuk (ditunjukkan oleh garis merah putus-putus pada gambar 4.1) dimana angka 1 hingga 6 merupakan fokus analisis yang dilakukan, sedangkan *element a* merupakan *element* khusus, dan disini tidak dibandingkan dengan *element* lain. Sedangkan untuk spesimen dengan *hole* analisa dilakukan pada titik yang sama seperti gambar 4.3. Namun jika diasumsikan bahwa daerah kanan dan kiri sama, dapat diambil salah satu sisi saja. Nomor 1 menunjukkan *element* pada daerah tepi, *element 2* pada daerah tengah, *element 3* pada daerah yang mendekati *hole*, dan sebaliknya untuk *element 4* hingga 6.



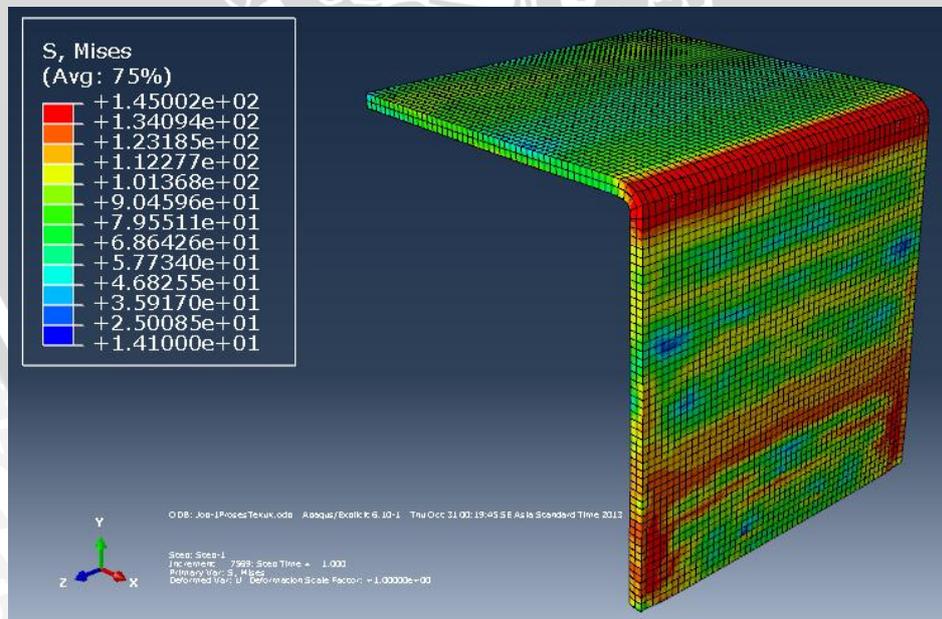
Gambar 4.3 Pemberian Node Element pada Spesimen jarak *hole* 0 mm



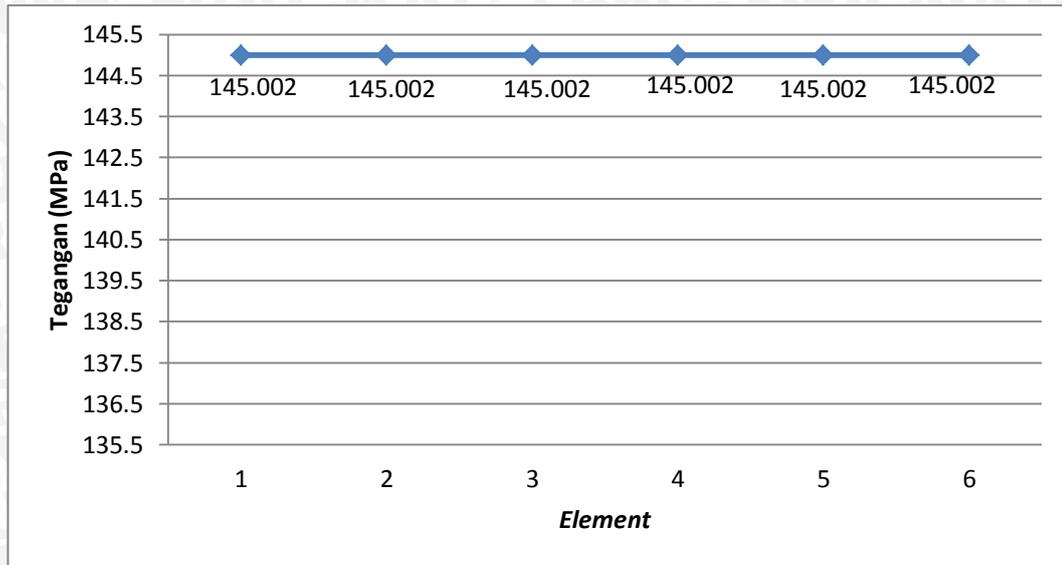
Gambar 4.4 Spesimen dengan Jarak Hole 0 mm yang Telah Diberi Mesh

4.2.2 Hasil Simulasi Spesimen Tanpa Hole

Berikut ini merupakan hasil running untuk spesimen tanpa hole oleh software Abaqus. Dari sini kita dapat lihat contour yang ada sehingga kita mengetahui besar tegangan simulasi, besar nilai tegangan untuk tiap element dapat dilihat dalam grafik.



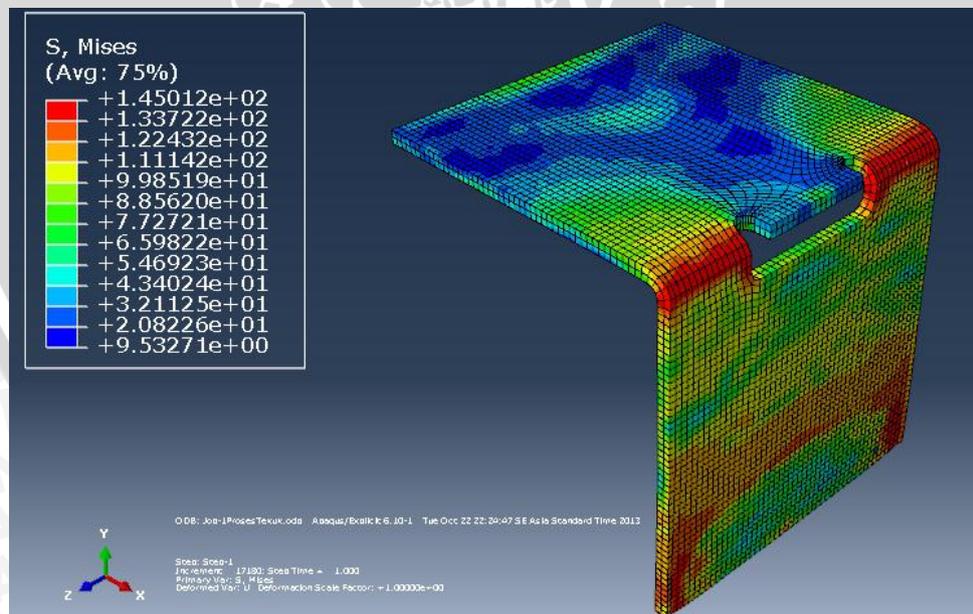
Gambar 4.5 Contour untuk spesimen tanpa hole



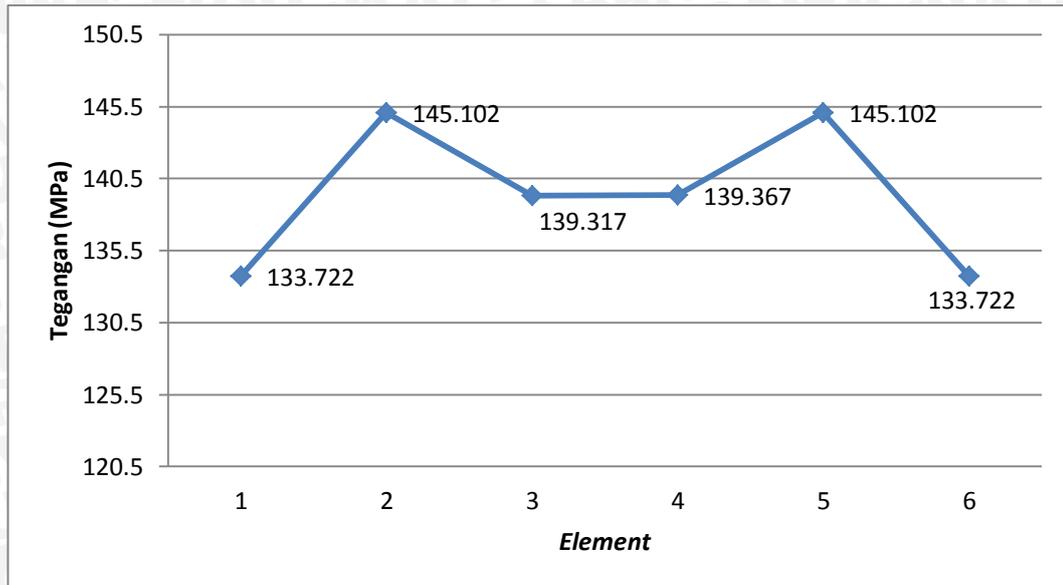
Grafik 4.1 Grafik Nilai Tegangan Untuk Spesimen tanpa Hole

4.2.3 Hasil Simulasi Spesimen dengan Jarak Hole 0 mm

Berikut ini merupakan hasil running untuk spesimen dengan jarak hole 0 mm oleh software Abaqus. Dari sini kita dapat lihat *contour* yang ada sehingga kita mengetahui besar tegangan simulasi, besar nilai tegangan untuk tiap *element* dapat dilihat dalam grafik.



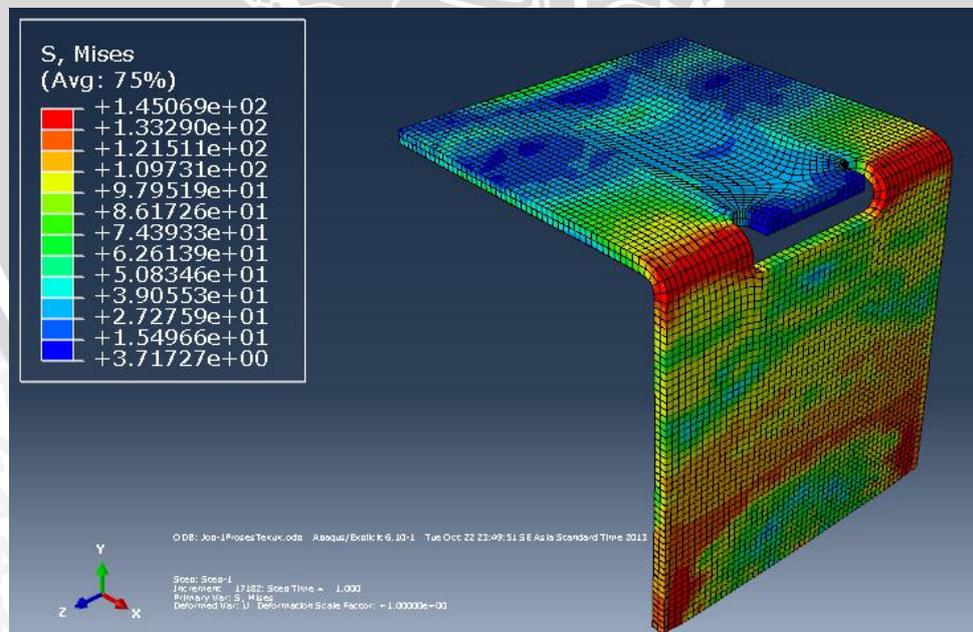
Gambar 4.6 Contour untuk spesimen dengan jarak hole 0 mm



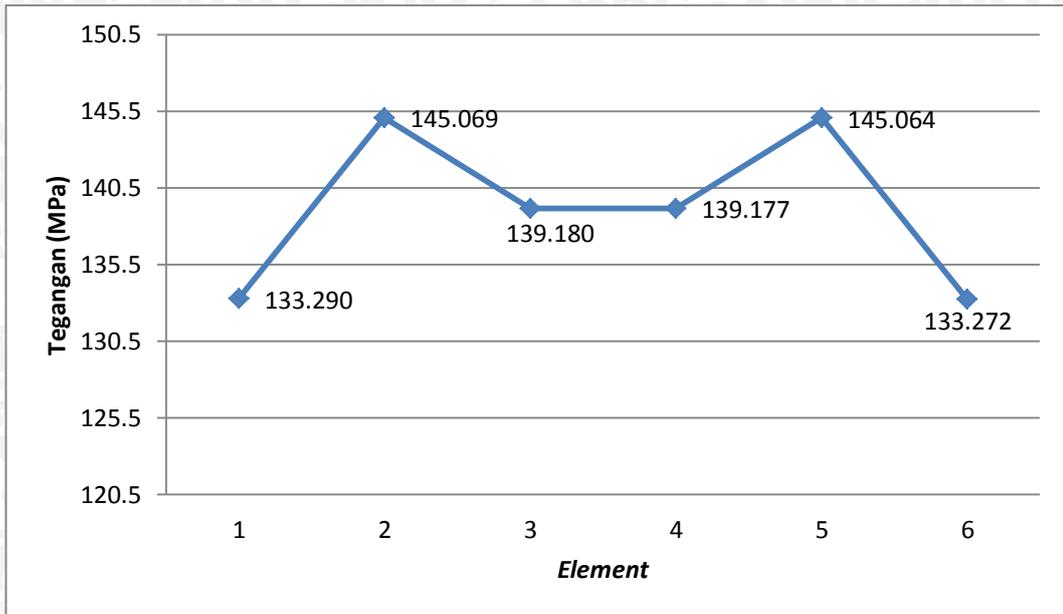
Grafik 4.2 Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen dengan Jarak Hole 0 mm

4.2.4 Hasil Simulasi Spesimen dengan Jarak Hole -1 mm

Berikut ini merupakan hasil running untuk spesimen dengan jarak hole -1 mm oleh software Abaqus. Dari sini kita dapat lihat contour yang ada sehingga kita mengetahui besar tegangan simulasi, besar nilai tegangan untuk tiap element dapat dilihat dalam grafik.



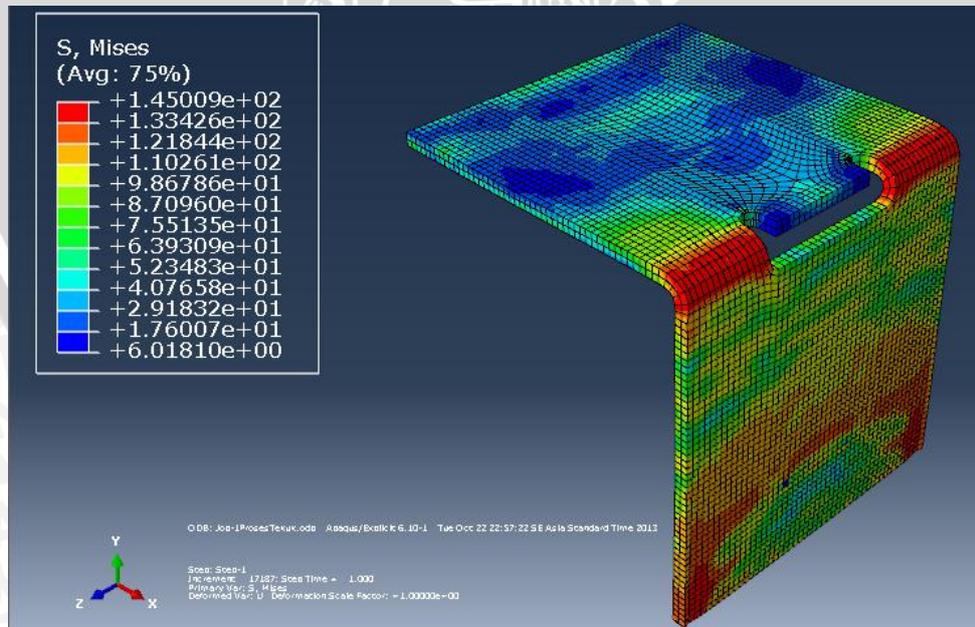
Gambar 4.7 Contour untuk spesimen dengan jarak hole -1 mm



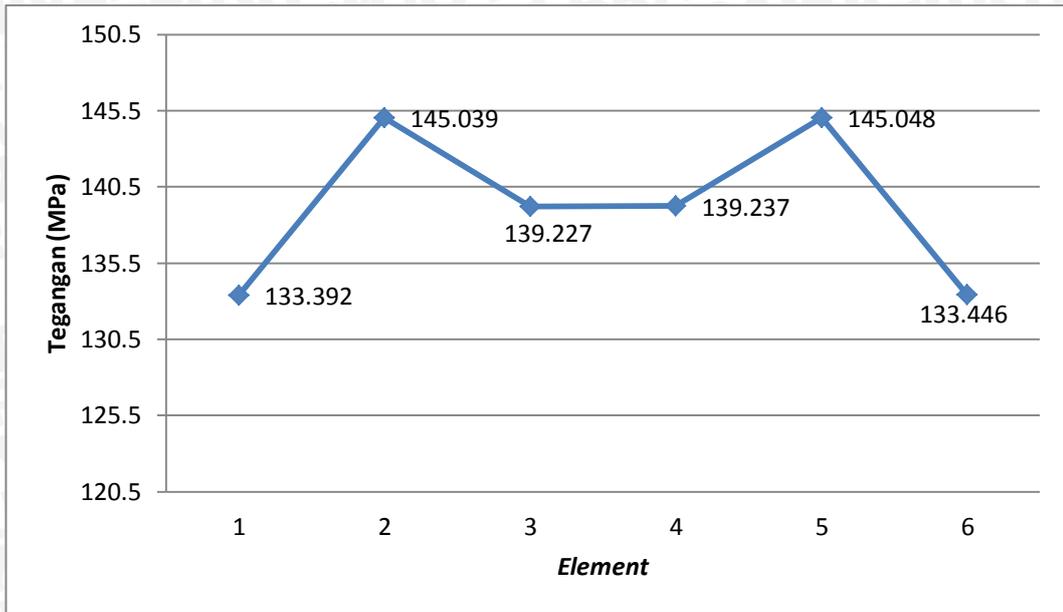
Grafik 4.3 Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen dengan Jarak Hole -1 mm

4.2.5 Hasil Simulasi Spesimen dengan Jarak Hole -2 mm

Berikut ini merupakan hasil running untuk spesimen dengan jarak hole -2 mm oleh software Abaqus. Dari sini kita dapat lihat contour yang ada sehingga kita mengetahui besar tegangan simulasi, besar nilai tegangan untuk tiap element dapat dilihat dalam grafik.



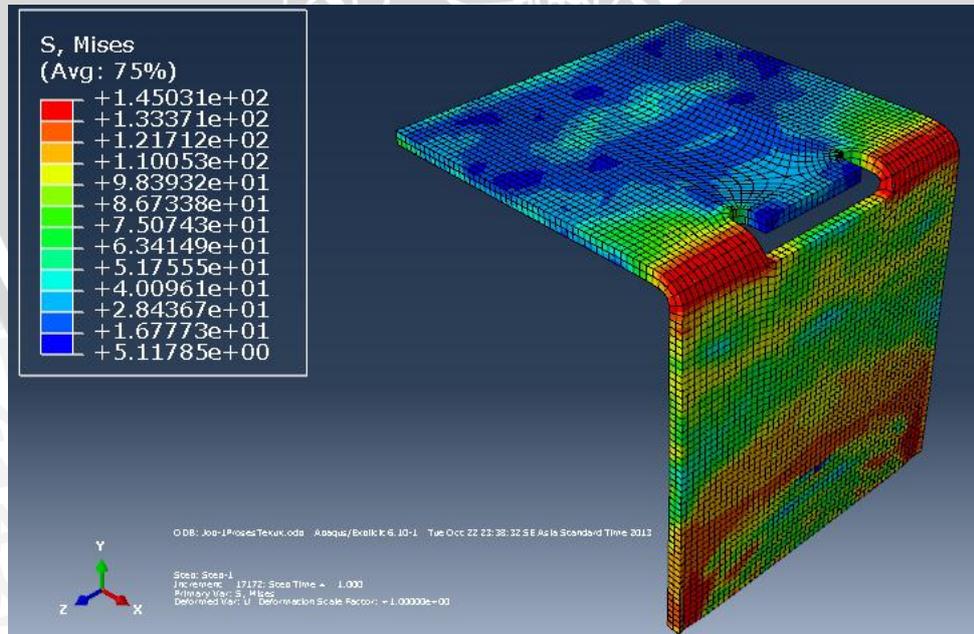
Gambar 4.8 Contour untuk spesimen dengan jarak hole -2 mm



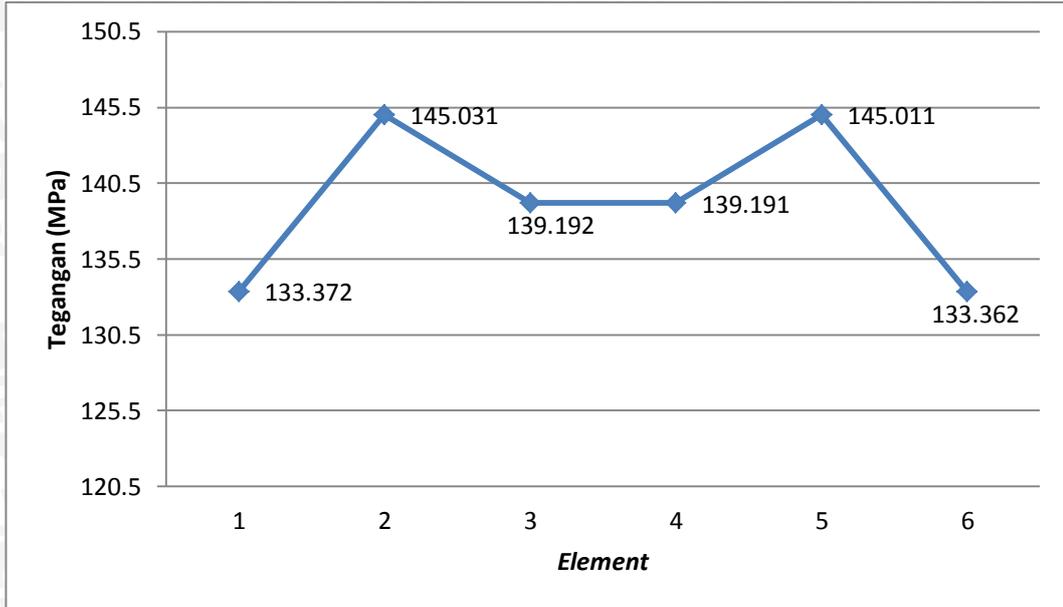
Grafik 4.4 Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen dengan Jarak Hole -2 mm

4.2.6 Hasil Simulasi Spesimen dengan Jarak Hole -3 mm

Berikut ini merupakan hasil running untuk spesimen dengan jarak hole -3 mm oleh software Abaqus. Dari sini kita dapat lihat contour yang ada sehingga kita mengetahui besar tegangan simulasi, besar nilai tegangan untuk tiap element dapat dilihat dalam grafik.



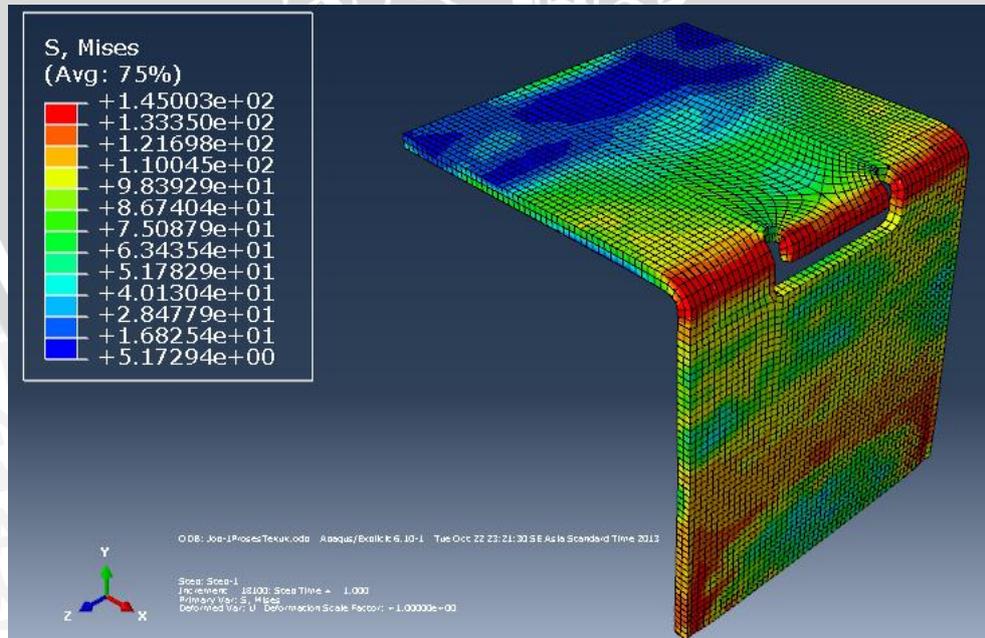
Gambar 4.9 Contour untuk spesimen dengan jarak hole -3 mm



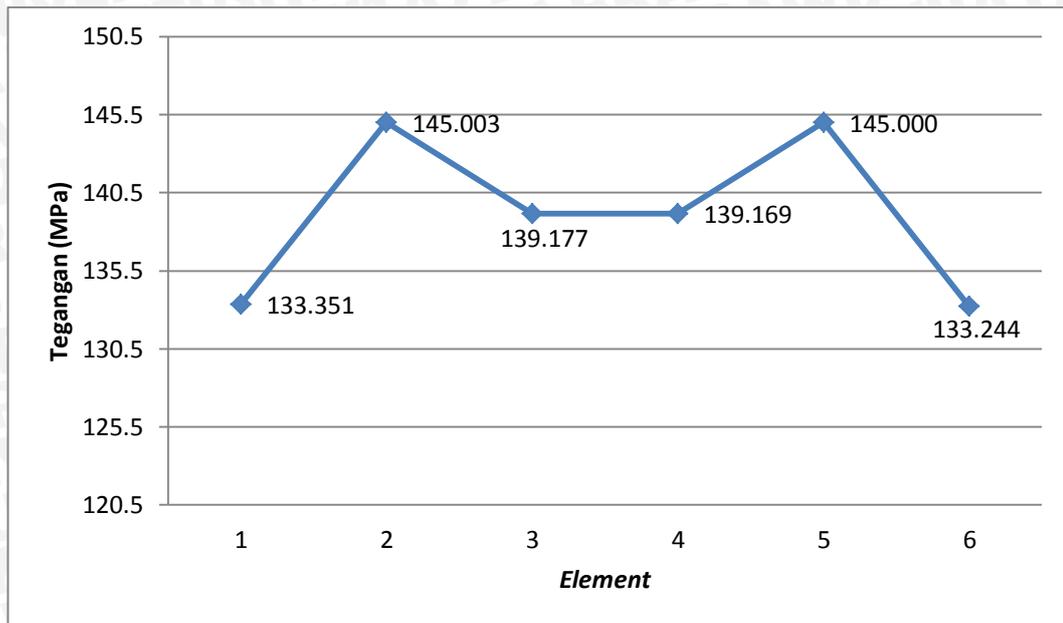
Grafik 4.5 Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen dengan Jarak Hole -3 mm

4.2.7 Hasil Simulasi Spesimen dengan Jarak Hole 1 mm

Berikut ini merupakan hasil running untuk spesimen dengan jarak hole 1 mm oleh software Abaqus. Dari sini kita dapat lihat contour yang ada sehingga kita mengetahui besar tegangan simulasi, besar nilai tegangan untuk tiap element dapat dilihat dalam grafik.



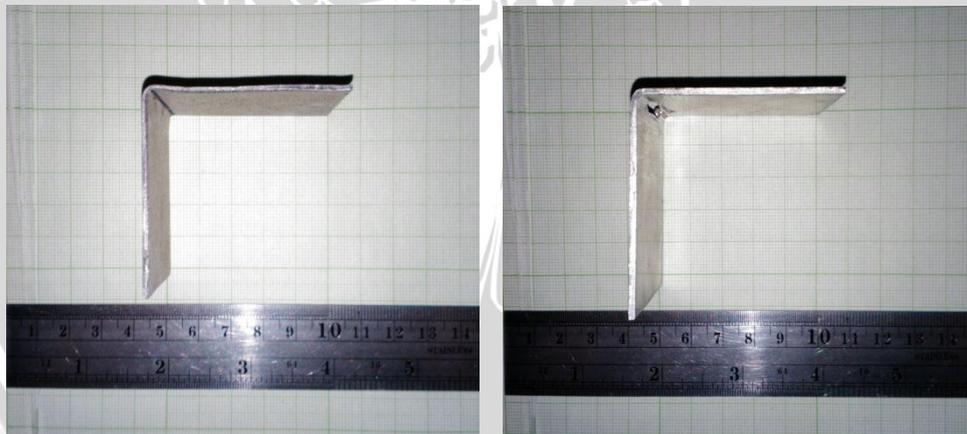
Gambar 4.10 Contour untuk spesimen dengan jarak hole 1 mm



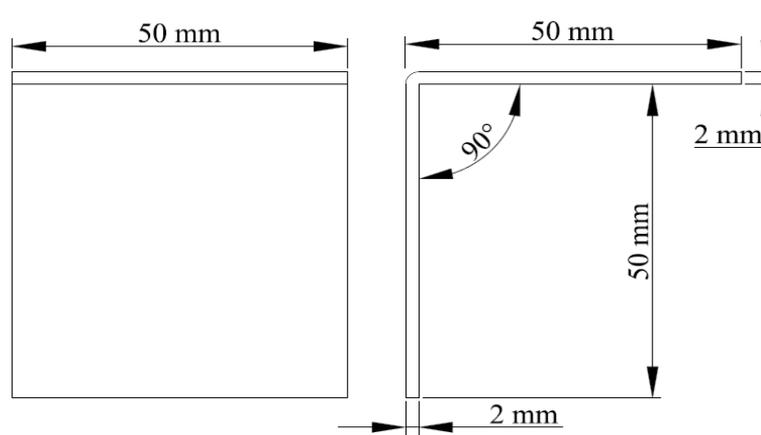
Grafik 4.6 Grafik Nilai Tegangan untuk Spesimen dengan Jarak *Hole* 1 mm

4.2.8 Hasil Proses Tekuk secara Eksperimental

Setelah dilakukan proses tekuk secara eksperimen untuk spesimen tanpa *hole* dan dengan *hole* untuk hasil paling optimum, maka didapat hasil proses pembentukan dengan dimensi sebagai berikut :

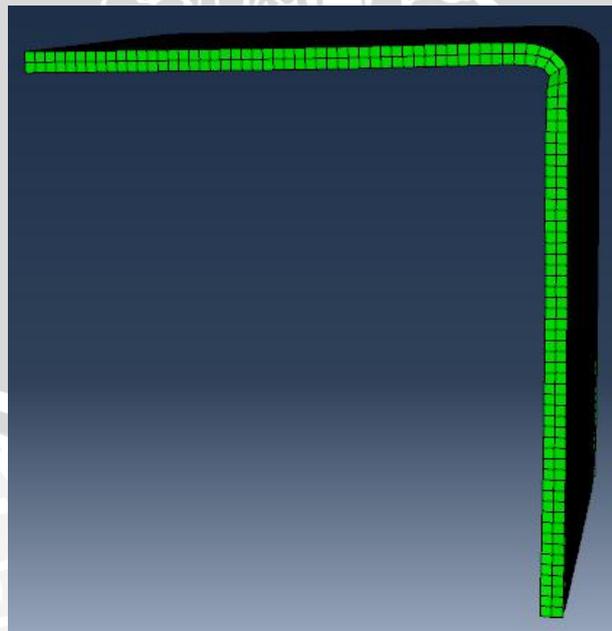


Secara dimensi hasil diatas telah hampir sesuai dengan desain produk yang direncanakan, dimana detil geometri hasil diatas dapat dilihat sebagai berikut :

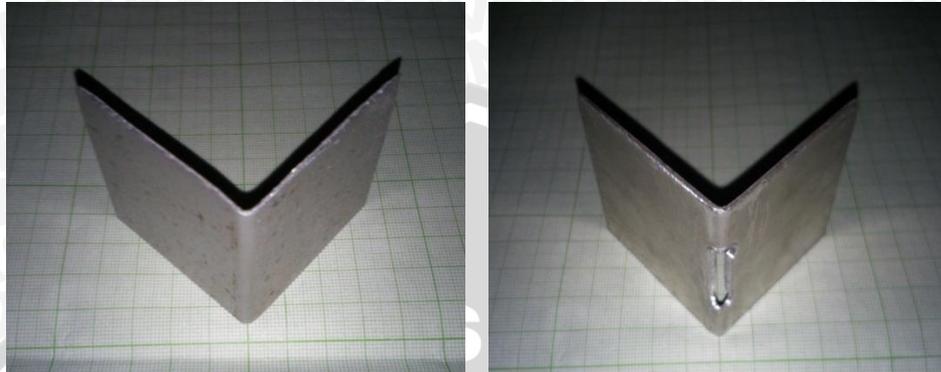


Karena hasil proses tekuk produk *L-bracket* secara dimensi dapat dikatakan sama dengan desain produk yang direncanakan, dan hasil proses tekuk disini menghasilkan produk yang sama halnya dengan hasil secara simulasi untuk geometrinya, maka hal ini dapat digunakan sebagai bentuk validasi, sehingga dapat diasumsikan bahwa hasil secara simulasi akan sesuai dengan hasil eksperimental yang ada.

Untuk perbandingan dimensi pada hasil simulasi dapat dilihat pada gambar berikut, maka dapat dilihat bahwa ukuran panjang pada spesimen yang ditekan adalah sepanjang 52 *mesh* (satu *mesh* mewakili panjang 1 mm). Maka hal ini juga dapat digunakan sebagai bentuk validasi.



Hasil simulasi disini diasumsikan sesuai dengan hasil secara riil, atau dengan kata lain data secara simulasi diasumsikan telah mewakili proses tekuk secara eksperimental untuk keseluruhan penelitian.



Gambar 4.11 Penampang 3D Spesimen Hasil Proses Tekuk Eksperimental

4.2.9 Contoh Perhitungan

Dengan mengacu pada dasar teori yang ada, maka rumus yang ada dapat diaplikasikan disini. Dan disini ditampilkan perhitungan manual untuk spesimen tanpa *hole* dan spesimen dengan *hole* pada jarak 0 mm sebagai perbandingan.

- Spesimen tanpa *hole*

$$K = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_{nominal}} = \frac{310 \text{ MPa}}{145,002 \text{ MPa}} = 2,138901$$

- Spesimen dengan jarak *hole* 0 mm

$$K = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_{nominal}} = \frac{310 \text{ MPa}}{145,102 \text{ MPa}} = 2,130648$$

Maka dari perhitungan diatas terlihat bahwa dengan ditambahkan *hole* pada spesimen, konsentrasi tegangan akan semakin menurun.

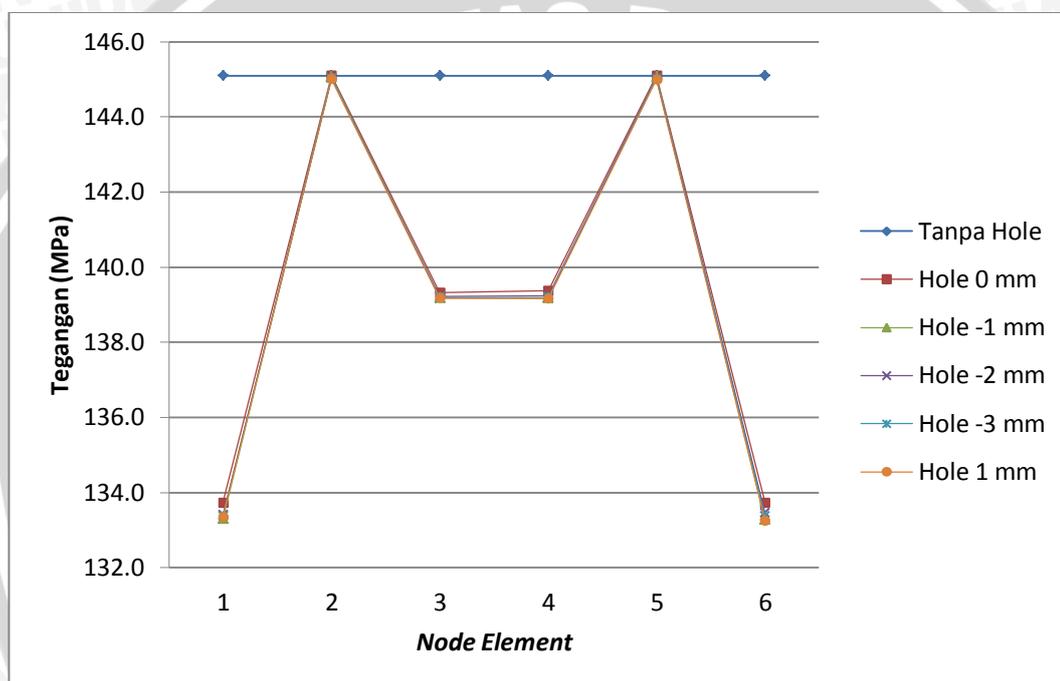
4.3 Pembahasan

Pembahasan dalam penelitian ini, difokuskan pada konsentrasi tegangan pada daerah tekukan, apakah hasil penelitian yang ada telah sesuai dengan hipotesis dan dasar teori yang ada. Dan berikut ini merupakan tabel data dan grafik untuk keseluruhan spesimen.

Tabel 4.1 Data nilai tegangan pada seluruh spesimen untuk setiap *element*

Spesimen	Element 1	Element 2	Element 3	Element 4	Element 5	Element 6
tanpa	145.002	145.002	145.002	145.002	145.002	145.002
0	122.432	145.102	133.622	133.722	145.101	122.432
-1	121.511	145.069	133.290	133.290	145.064	121.480
-2	121.744	145.039	133.415	133.426	145.048	121.844
-3	121.712	145.031	133.352	133.371	145.011	121.712
1	121.698	145.003	133.350	133.337	145.000	121.488

Maka dari tabel diatas dapat dibuat grafik perbandingan sebagai berikut :



Grafik 4.7 Grafik Perbandingan *Element* Terhadap Nilai Konsentrasi Tegangan Pada Seluruh Spesimen

4.3.1 Perbandingan antara Spesimen Tanpa *Hole* Terhadap Spesimen dengan *Hole*

Dari grafik yang ada dapat dilihat bahwa nilai konsentrasi tegangan untuk spesimen tanpa *hole* terkesan linier untuk seluruh *element*, berbeda dengan spesimen dengan *hole*, hal ini dikarenakan distribusi tegangan untuk spesimen tanpa *hole* merata, sedangkan spesimen yang lain terdapat lubang atau takik yang membuat distribusi menjadi tidak merata, umumnya diakibatkan terputusnya distribusi tegangan. Sehingga

mengakibatkan konsentrasi tegangan spesimen dengan *hole* menjadi terkonsentrasi pada beberapa titik, dan menjadikan konsentrasi tegangan nya pun lebih kecil akibat distribusi yang terputus.

Nilai konsentrasi tegangan spesimen tanpa *hole* pun paling tinggi, sedangkan spesimen yang lain lebih kecil. Jika menilik pada perhitungan yang telah dilakukan (sub bab 4.2.9), hal ini sesuai dimana semakin besar tegangan (nominal) yang bekerja maka nilai konsentrasi tegangan akan semakin kecil. Karena nilai tegangan *ultimate* disini tetap.

Maka hasil ini telah sesuai dengan hipotesis yang ada dimana semakin dekat jarak *hole* ke daerah tekukan, maka nilai konsentrasi tegangan akan semakin meningkat, begitu pula sebaliknya. Sehingga tidak ditemukan penyimpangan disini.

4.3.2 Perbandingan Seluruh Spesimen yang Telah Diberikan *Hole*

Nilai tegangan untuk spesimen yang diberikan *hole* semakin lama semakin kecil mulai dari spesimen dengan jarak *hole* 0 mm, kemudian spesimen dengan jarak *hole* -1 mm, kemudian spesimen dengan jarak *hole* -2 mm, kemudian spesimen dengan jarak *hole* -3 mm, dan spesimen dengan tegangan terkecil adalah spesimen dengan jarak *hole* 1 mm. Sehingga spesimen dengan jarak *hole* 1 mm akan memiliki nilai konsentrasi tegangan paling besar, sedangkan spesimen dengan jarak *hole* 0 mm memiliki konsentrasi tegangan paling kecil.

Hal ini dikarenakan spesimen dengan jarak *hole* 0 mm memiliki bentuk geometri yang paling optimal dibandingkan yang lain, dimana luas area yang ditekan juga tidak sebesar spesimen yang lain, sehingga dengan semakin kecilnya luas area yang ditekan, dengan gaya yang sama maka tegangan yang dibutuhkan akan semakin besar, dan akhirnya konsentrasi tegangan yang terjadi akan semakin kecil. Hal ini telah sesuai dengan dasar teori yang ada.

Maka disini didapatkan bahwa spesimen dengan jarak *hole* 0 mm merupakan produk paling optimal yang dapat dihasilkan.

4.3.3 Perbandingan Hasil Simulasi Terhadap Hasil Eksperimental

Disini yang digunakan sebagai verifikasi hanya bentuk geometri dan dimensi, tidak menggunakan perbandingan besar gaya secara langsung.

Karena hasil proses tekuk produk *L-bracket* secara dimensi dapat dikatakan sama dengan desain produk yang direncanakan, dan hasil proses tekuk disini menghasilkan produk yang sama halnya dengan hasil secara simulasi untuk geometrinya, maka hal ini dapat digunakan sebagai bentuk validasi, sehingga dapat diasumsikan bahwa hasil secara simulasi akan sesuai dengan hasil eksperimental yang ada.

Dalam proses tekuk secara eksperimental terbukti bahwa proses tekuk untuk spesimen dengan *hole* lebih mudah ditekuk daripada spesimen tanpa *hole*. Itu menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi untuk spesimen dengan *hole* akan menghasilkan nilai tegangan yang lebih tinggi daripada spesimen tanpa *hole* akibat berkurangnya luasan yang ditekan, sehingga nilai konsentrasi tegangan untuk spesimen dengan *hole* akan lebih kecil.

Maka hasil simulasi disini diasumsikan sesuai dengan hasil secara riil, atau dengan kata lain data secara simulasi diasumsikan telah mewakili proses tekuk secara eksperimental untuk keseluruhan penelitian.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian diketahui bahwa pengaruh jarak *hole* terhadap nilai konsentrasi tegangan pada proses pembentukan *L-bracket* adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil simulasi maka produk yang memiliki nilai konsentrasi tegangan paling tinggi adalah *L-bracket* tanpa *hole*.
2. Berdasarkan hasil simulasi maka produk dengan hasil paling optimum yang dapat dihasilkan adalah *L-bracket* dengan *hole* yang posisi lubang awalnya tepat didaerah tekukan (0 mm).
3. Nilai konsentrasi tegangan pada *L-bracket* semakin tinggi, dimana semakin dekat jarak *hole* ke daerah tekukan, begitu pula sebaliknya.

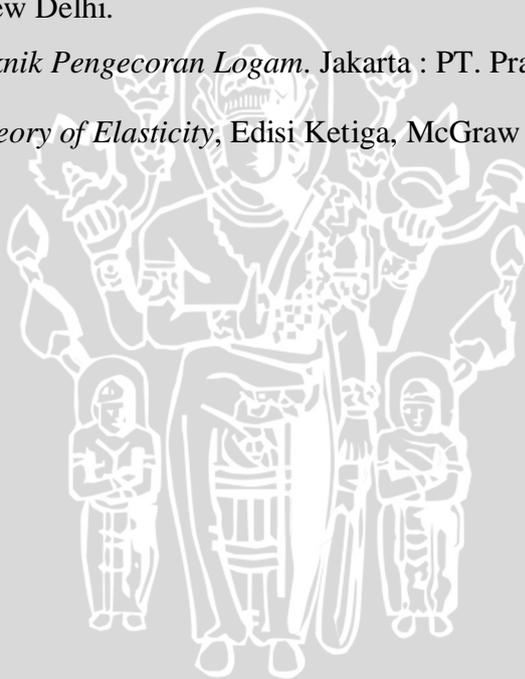
5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya agar :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan penambahan komponen rancangan penelitian, misalkan dengan menggunakan 2 *punch*. Atau dapat pula dengan memvariasikannya dalam bentuk rancangan penelitian yang benar-benar baru.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi bentuk *hole* (lubang) yang lain atau jarak yang lebih terperinci atau variasai bahan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bagaimana distribusi tegangan yang terjadi pada skema penelitian semacam ini, atau mengenai besar gaya pada salah satu arah, ataupun perbandingan langsung terhadap besarnya regangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dally James W. and Rilley Williarn F, *Experimental Stress Analysis*, McGraw-Hill, Tokyo, 1991
- F, D. J. 1991. *Experimental Stress Analysis*. Tokyo.: McGraw-Hill.
<http://asm.matweb.com> (Diakses pada 1 September 2013)
- Larry, S. J. (1994). *Applied Finite Element Analys*, Second edition.
- Martin H. Sadd, 2009, *Elasticity – Theori, Applications, and Numerics*
- Pei-Ling Sun, 2011. *Deformation Structure in Alumunium Processed by Equal Channel Angular Extrussion. Material Science and Engineering.*
- Srinath, L.S.dkk., 1984, *Experimental Stress Analysis*, Edisi Pertama, Tata McGraw Hill, New Delhi.
- Surdia, Tata. 1980. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita
- Timoshenko, 1970, *Theory of Elasticity*, Edisi Ketiga, McGraw Hill, New York



LAMPIRAN 1

Sertifikat Aluminium 6061

M : _____ FAX NO. : _____ Oct. 30 2012 09:58AM P1

KUM-04

INSPECTION CERTIFICATE No 11.9585

EN 10204 - 3.1




Consigner:		Quantity: 29	
Consignee:		Net Weight, kg.: 1422	
Contract number: V1263-S	PO-KL, M-01/170111 part 1	Specification Nr: V1263	Lot Nr: 1
Article number:		Package Nr: 715210	
Description of Goods: Sheet		Requirements on the Products:	
Grade of Product	Dimensions, inch/mm	Material conforms to quality of alloy: 6061 T651	
	6.000X1216.2X2438.4	Product conforms to all requirements of: ASTMB206-07 This product conforms to European Union RoHS Directive 2002/95/EC	

Mechanical Properties

The Condition of Tested Standards	Lot Number	Cast Number	Number of Tests	Tensile Strength		Yield Strength (0.2% offset)		Elongation, %		Hardness, HB
				ksi		ksi				
				min	max	min	max	min	max	
Required										
	670190	13-6158	5	48.2	48.7	41.0	42.5	12.0	14.0	

Chemical Composition, %

Element	Silicon Si	Iron Fe	Copper Cu	Manganese Mn	Magnesium Mg	Chromium Cr	Nickel Ni	Zinc Zn	Titanium Ti	Zirconium Zr
Required	0.4-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	-	0.25	0.15	-
Contents	0.66	0.22	0.21	0.08	1.01	0.05	-	0.08	0.08	-

Element	Ti+Zr	Al	Tin Sn	Strontium Sr	Plumbum Pb	Mn+Cr	Cu	Other Elements		Al
								Each	Total	
Required	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	remainder
Contents	-	-	-	-	-	-	-	0.05	0.15	remainder

Other Tests

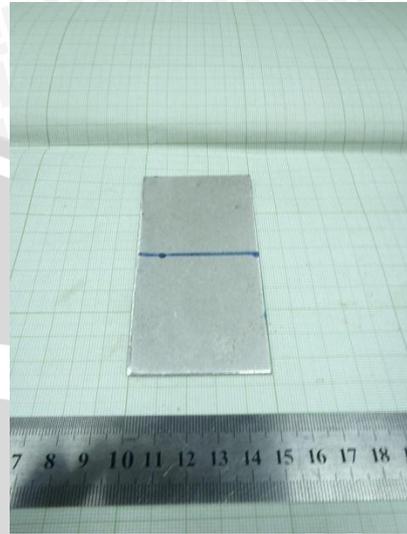
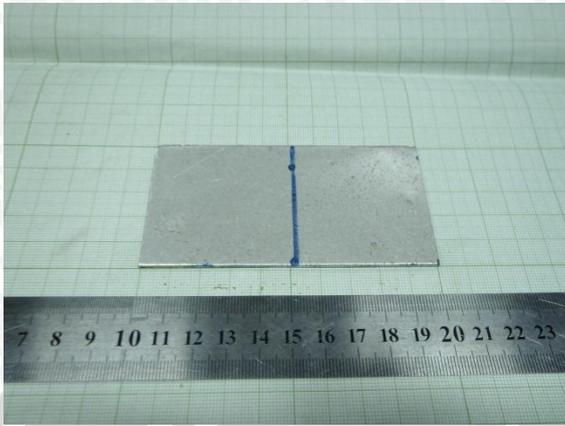
Method	Macro-structure	Micro-structure	UT	Electro-conductivity	SCF	Contents H2 of metals cm3/100gr
Result	-	-	-	-	-	-



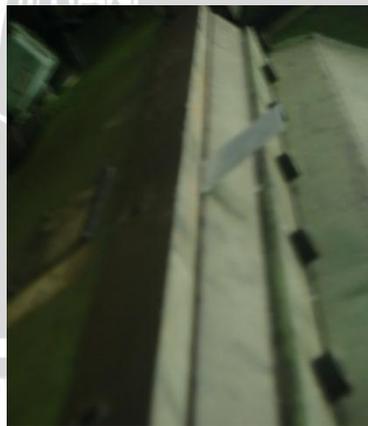
LAMPIRAN 2

Proses Tekuk Eksperimental

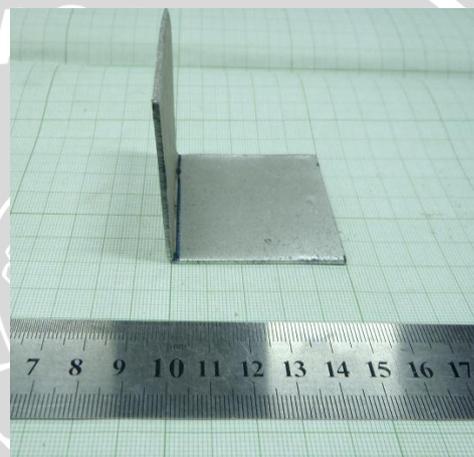
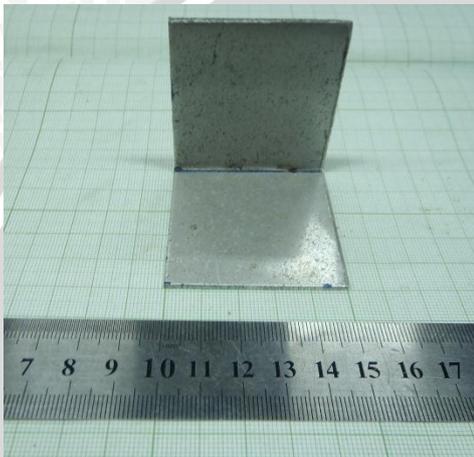
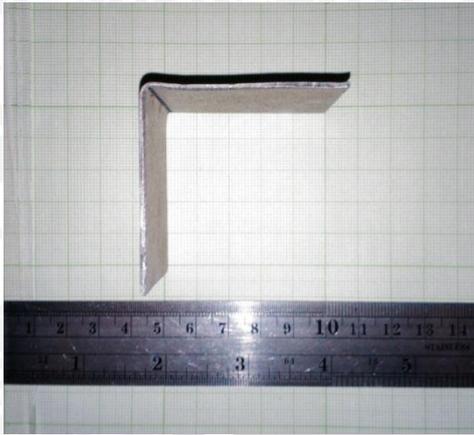
a) Spesimen Awal



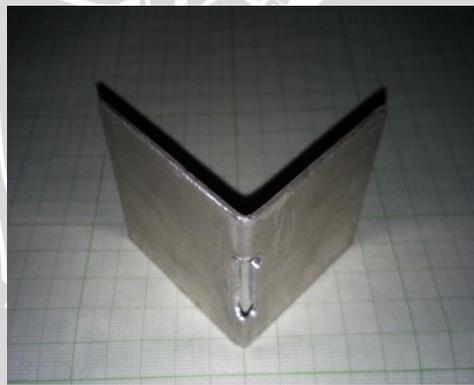
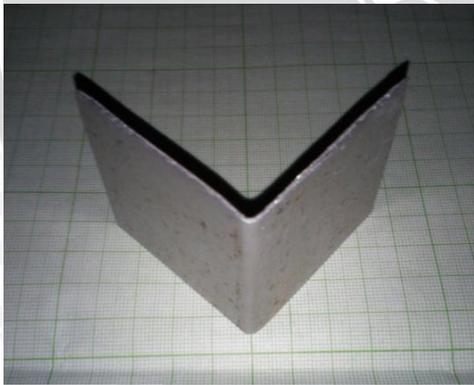
b) Proses Pemberian Lubang dan Proses Tekuk



c) Produk Jadi secara 2D



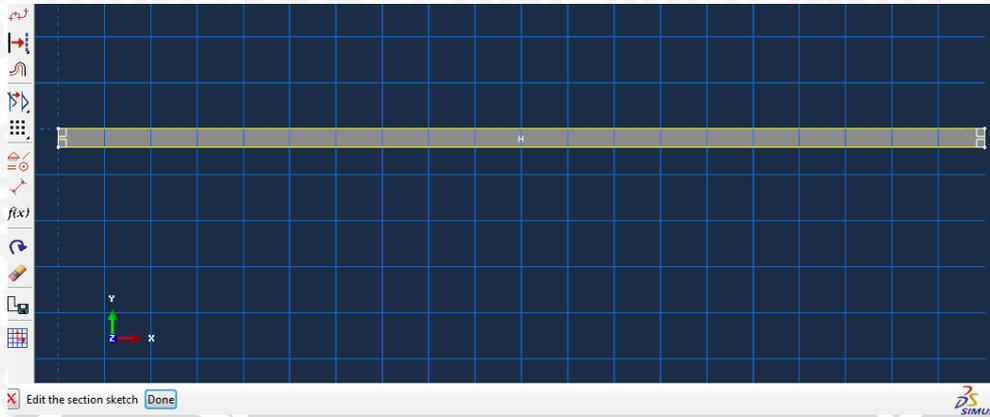
d) Produk Jadi secara 3D



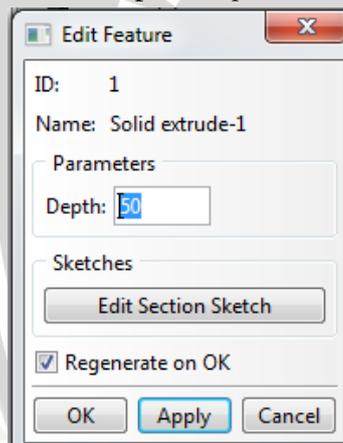
LAMPIRAN 3

Tutorial Simulasi menggunakan Abaqus 6.10 (Spesimen tanpa hole)

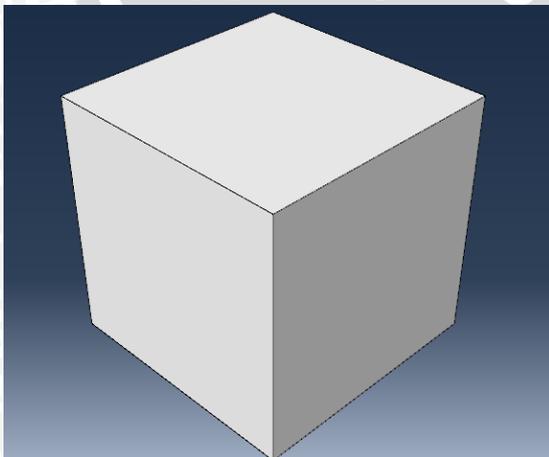
- Buat bentuk dasar beam dahulu. Pada part. Dengan ketentuan solid, extrude, approximate size = 10. Buatlah sebuah pelat berpenampang samping dengan dimensi 100 x 2 sseperti gambar berikut.



- Jika sudah klik *done* pada *prompt area* untuk mengakhiri pembuatan dasar model.
- Isikan 50 pada *depth base extrusion*. Klik Ok.



- Buatlah *die-1*, *die-2*, dan *punch* dengan cara sama seperti saat membuat pelat. Dengan dimensi yang sama untuk tiap *part*-nya 60 x 60, dengan *depth base extrusion* 50 seperti halnya *part* untuk pelat.



- Jika sudah langsung menuju modul *property*. Untuk menentukan *property* materialnya. Buatlah dua macam material, aluminium dan *steel*. Disini *steel* digunakan untuk *section assignment* pada *die-1*, *die-2*, dan *punch*. Dengan asumsi ketiga *part* tersebut dianggap rigid.
- Klik *create material*.
- Isikan sesuai dengan ketentuan yang ada.
- Beri nama aluminium dan *steel* sesuai masing-masing kriterianya.
- Material behaviors masuk *general > density, mechanical > elasticity > elastic, mechanical > plasticity > plastic*.
- Isikan sesuai dengan ketentuan. Klik Ok.

Name: Aluminium

Description: Edit...

Material Behaviors

- Density
- Elastic
- Plastic

General Mechanical Thermal Other Delete

Density

Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

	Mass Density
1	0.002785

OK Cancel

Name: Aluminium

Description: Edit...

Material Behaviors

- Density
- Elastic
- Plastic

General Mechanical Thermal Other Delete

Elastic

Type: Isotropic Suboptions

Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

Moduli time scale (for viscoelasticity): Long-term

No compression

No tension

	Young's Modulus	Poisson's Ratio
1	73000	0.33

OK Cancel

Name: Aluminium

Description: Edit...

Material Behaviors

- Density
- Elastic
- Plastic

General Mechanical Thermal Other Delete

Plastic

Hardening: Isotropic Suboptions

Use strain-rate-dependent data

Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

	Yield Stress	Plastic Strain
1	100	0
2	145	0.2

OK Cancel

Name: Steel

Description: Edit...

Material Behaviors

- Density
- Elastic
- Plastic

General Mechanical Thermal Other Delete

Density

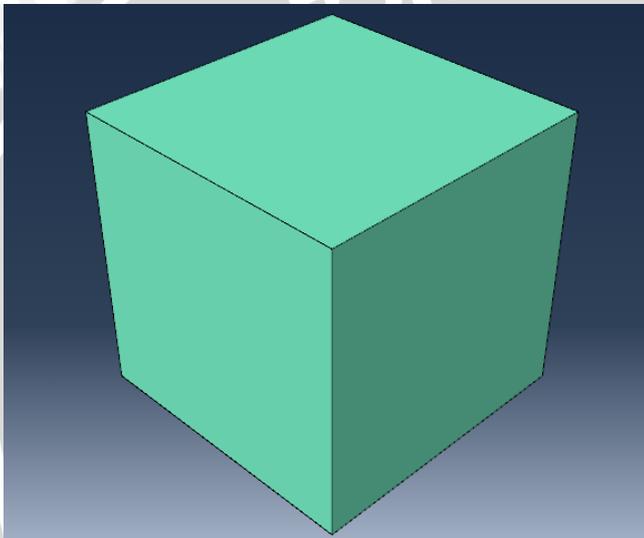
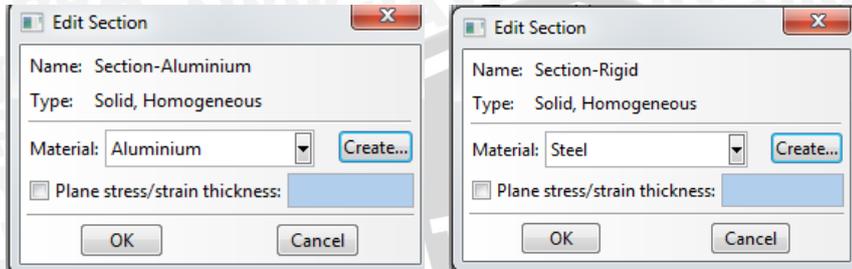
Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

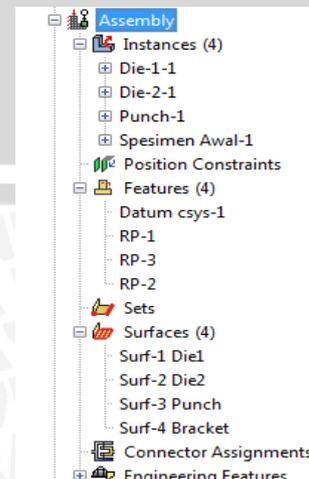
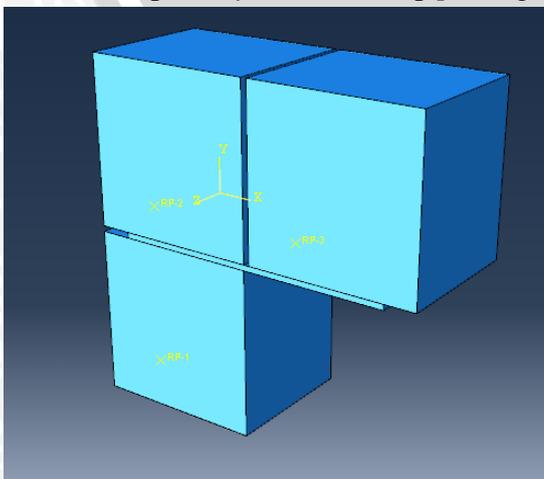
	Mass Density
1	0.008

OK Cancel

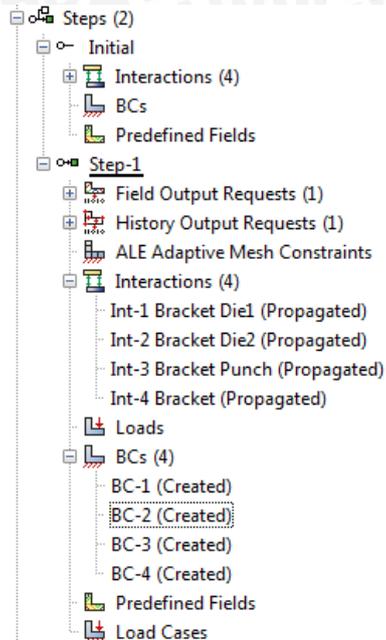
- Berikutnya *create section* > *Category Solid* > *Type Homogeny* > *continue* > *Ok*
- Buatlah dua section untuk aluminium dan *steel* (rigid).
- Setelah itu *Assign Section* untuk menentukan model yang akan dipakai untuk material yang dibuat.
- Masuk *section* pilih *section-aluminum* untuk *part* spesimen dan pilih *section-steel* untuk tiga *part* yang lain. Klik *Ok*.
- Jika benda berubah warna maka benar.



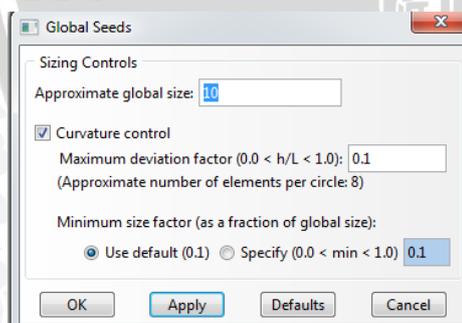
- Masuk ke modul *assembly*.
- Untuk *instance part* pilih *dependent*. Klik *Ok*. Jadi ketika di-mesh yang kita gunakan langsung pada *part*-nya.
- Atur posisi pada keempat *part* sesuai rancangan penelitian. Berikan *reference point* pada seluruh *part* yang rigid.
- Buatlah empat *surface* untuk tiap *part* agar lebih memudahkan nantinya.



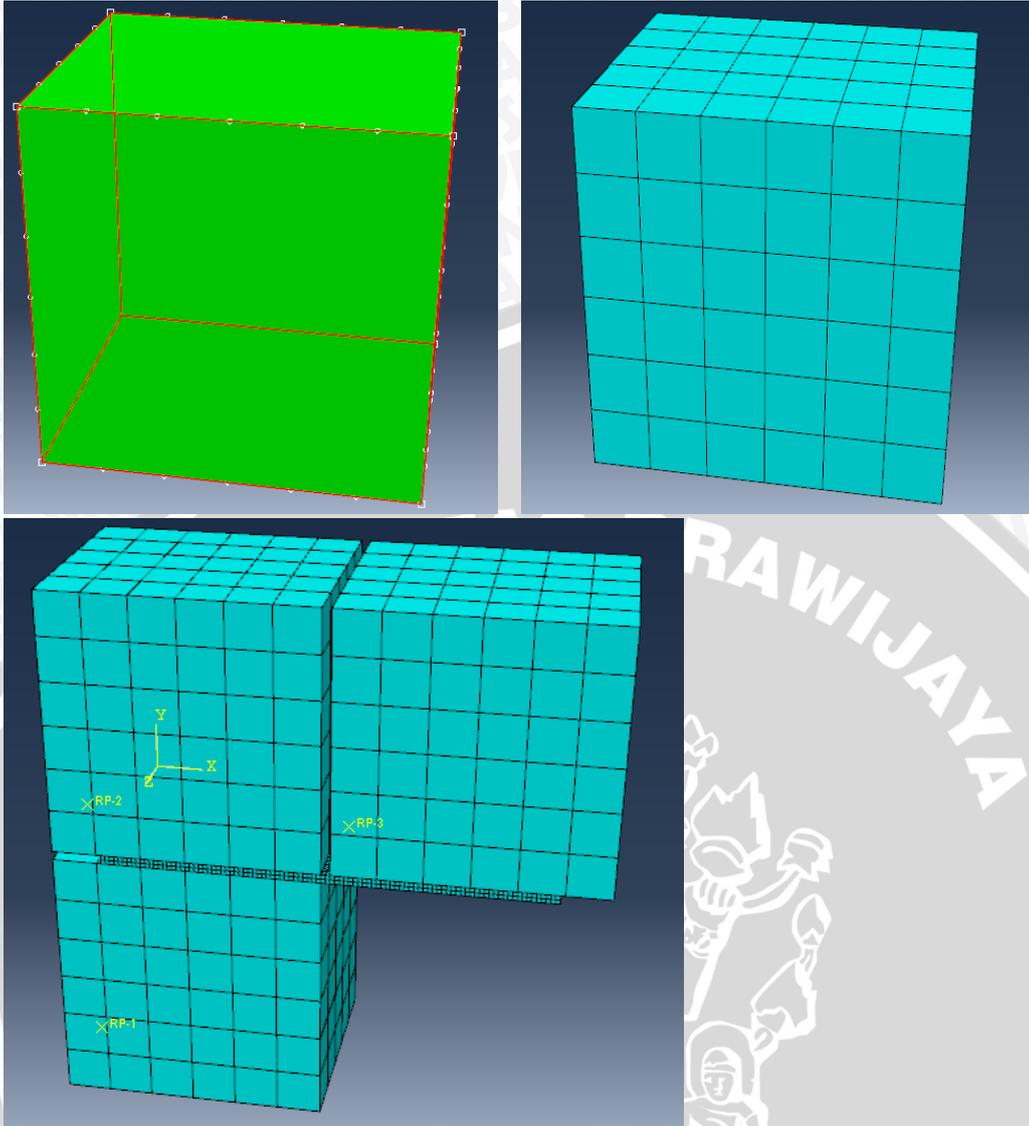
- Berikutnya langsung ke modul *step*. Untuk menentukan langkah saat visualisasi dijalankan. *Create Step*.
- *Procedure type* : *general, dynamic, explicit*. Continue. Akan ada dua step yg ada, yaitu *initial* dan *step-1*.
- Edit step-1
- Tentukan format visualisasi model yang akan dianalisis, *boundary condition, interaction*, dan data lain yang dibutuhkan.



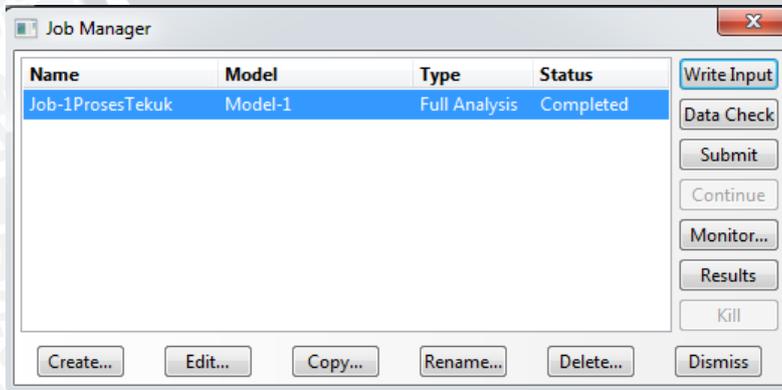
- Berikutnya masuk modul *mesh*.
- Pilih *seed part instance*, sebelumnya jangan lupa disebelah modul pilih part yang akan di-*mesh*.



- Isikan sesuai ketentuan yang diinginkan. Klik Ok.
- Klik *mesh part instance*.
- Klik yes pada prompt area.
- Maka model benda akan berubah seperti gambar-gambar berikut.



- Masuk ke modul *job*.
- Klik *create Job*.
- Continue > biarkan *setting default* > klik Ok.
- Pilih *Job manager*.
- Lakukan sesuai urutan. *Write Input* > *Submit* (sampai *complete*) > *Result*.



- Akan tampak hasil visualisasinya.
- Klik 
- Maka hasil akhir untuk spesimen setelah terdeformasi dapat dilihat seperti pada gambar berikut.

