

**ANALISIS PARAMETER PROSES *FORMING* PRODUK  
CORRUGATED METAL GASKET 25A-SIZE TERHADAP CACAT  
SPRINGBACK DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI  
KOMPUTER**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**ARGA ARY PRADHANA**  
**NIM. 0810620035-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2013**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### ANALISIS PARAMETER PROSES *FORMING* PRODUK *CORRUGATED METAL GASKET 25A-SIZE* TERHADAP CACAT *SPRINGBACK* DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI KOMPUTER

#### SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**ARGA ARY PRADHANA**  
NIM. 0810620035-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.**  
NIP. 19720817 200002 1 001

**Ir. Erwin Sulisty, MT.**  
NIP. 19661213 199802 1 001

## LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PARAMETER PROSES *FORMING* PRODUK *CORRUGATED METAL GASKET 25A-SIZE* TERHADAP CACAT *SPRINGBACK* DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI KOMPUTER**

### SKRIPSI

#### KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**ARGA ARY PRADHANA**  
**NIM. 0810620035 – 62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 29 Januari 2013

#### MAJELIS PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

**Ir. Hastono Wijaya, MT.**  
**NIP. 19601204 198601 1 002**

**Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.**  
**NIP. 19750710 199903 1 004**

Komprehensif

**Ir. Suharto, ST.**  
**NIP. 19531030 198212 1 001**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.**  
**NIP. 19720903 199702 1 001**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkah dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Analisis Parameter Proses *Forming* Produk *Corrugated Metal Gasket* 25A-Size Terhadap Cacat *Springback* dengan Menggunakan Simulasi Komputer”**.

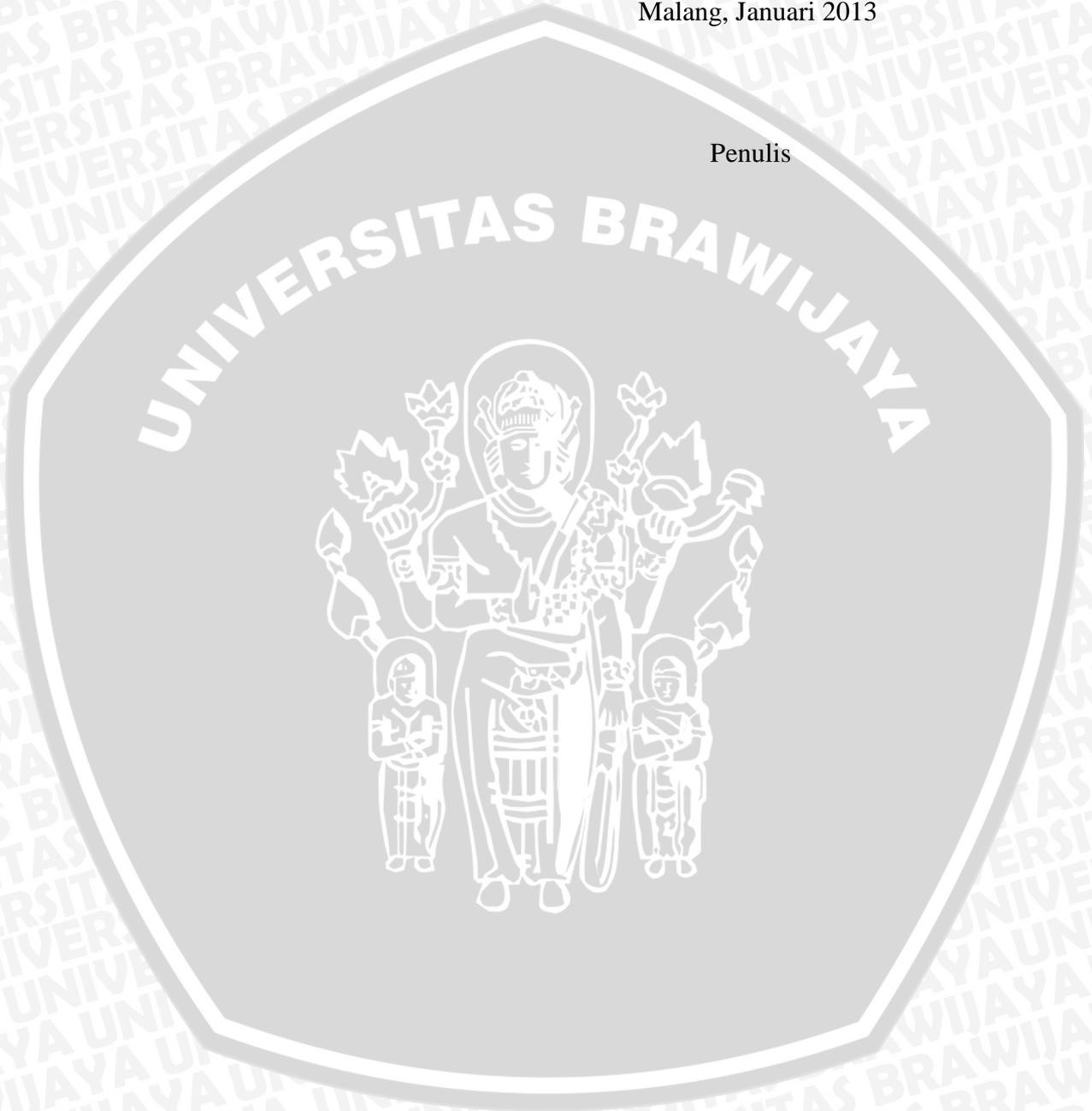
Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua serta keluarga penulis yang telah memberikan segalanya yang terbaik dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. C.SE. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST.,MT. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan saran dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak Ir. Erwin Sulisty, MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan masukan, bimbingan, dan saran dalam penyelesaian skripsi.
6. Bapak Sudjito, Prof. Ir., Ph.D. selaku Dosen Wali yang telah banyak memberikan bimbingan, serta arahan selama menjalani perkuliahan di Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Seluruh dosen pengajar dan staff jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu proses perkuliahan dan administrasi penulis.
8. Rekan-rekan mahasiswa khususnya Mesin 2008 yang senantiasa memberikan masukan dan dukungan selama penyusunan skripsi ini.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran penyelesaian skripsi ini yang tidak mungkin dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi dapat memberi manfaat bagi semua pihak baik sebagai sumber informasi maupun referensi lanjutan.

Malang, Januari 2013

Penulis



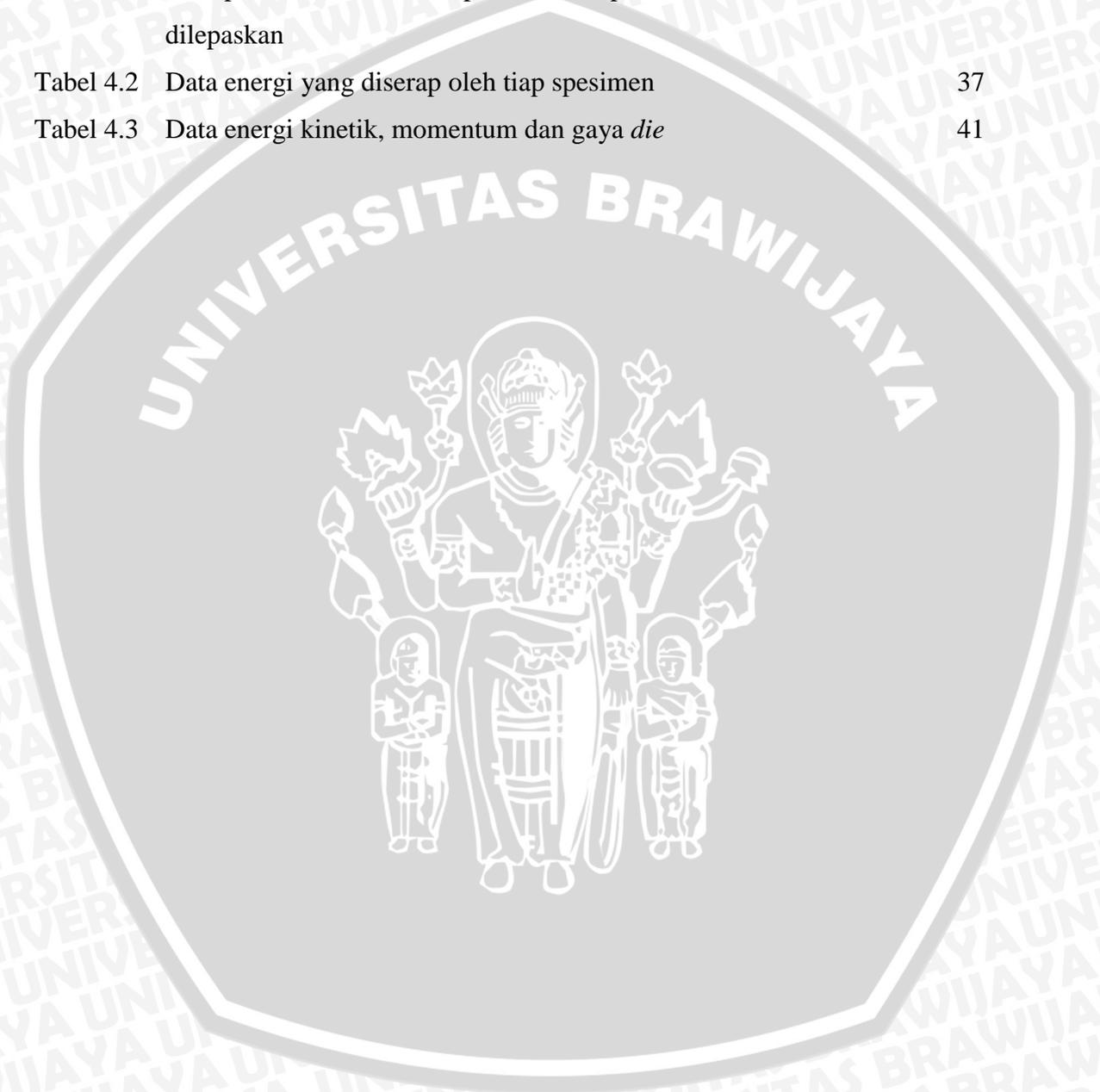
## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 <i>Metal Forming</i> .....	4
2.2.1 <i>Sheet Metal Forming</i> .....	5
2.3 <i>Springback</i> .....	6
2.3.1 <i>Analisis Springback</i> .....	8
2.4 <i>Gaya Die</i> .....	11
2.5 Gasket.....	11
2.5.1 <i>Corrugated Metal Gasket</i> .....	13
2.5.2 <i>New Corrugated Metal Gasket</i> .....	14
2.5.3 Pengkodean pada <i>Corrugated Metal Gasket</i> .....	15
2.6 Metode Elemen Hingga .....	16
2.7 Persoalan <i>Non Linier</i> .....	19
2.8 <i>Software FEM (Finite Element Methode)</i> .....	21
2.9 Hipotesis.....	22

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	23
3.1 Metode Penelitian .....	23
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	23
3.3 Variabel Penelitian .....	23
3.3.1 Variabel Bebas .....	23
3.3.2 Variabel Terikat .....	24
3.3.3 Variabel Terkontrol .....	24
3.4 Data Material .....	24
3.5 Geometri Plat dan Benda Kerja .....	25
3.6 Rancangan Percobaan .....	26
3.7 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian .....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	28
4.1 Pemodelan .....	28
4.2 Data Hasil Simulasi .....	31
4.3 Pembahasan .....	38
4.3.1 Hubungan Antara Tebal Plat dan Besar Sudut <i>Springback</i> yang Terjadi .....	38
4.3.2 Hubungan Antara Kecepatan Turun <i>Die</i> dan Besar Sudut <i>Springback</i> yang terjadi .....	40
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	42
5.1. Kesimpulan .....	42
5.2. Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

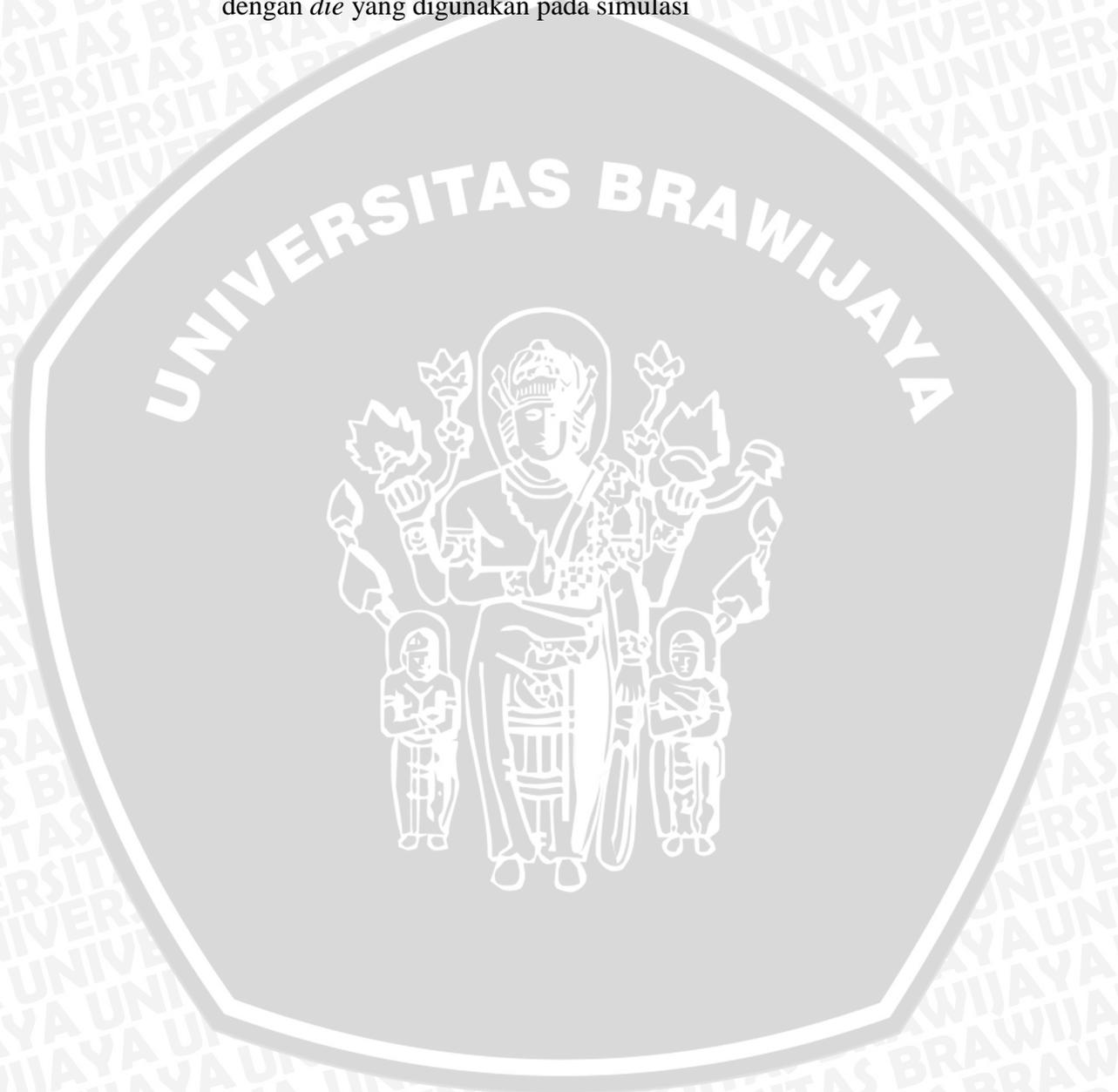
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kode atau penomoran gasket	16
Tabel 3.1	Rancangan penelitian	26
Tabel 4.1	Data perubahan sudut saat pembebanan penuh dan saat beban dilepaskan	33
Tabel 4.2	Data energi yang diserap oleh tiap spesimen	37
Tabel 4.3	Data energi kinetik, momentum dan gaya <i>die</i>	41



## DAFTAR GAMBAR

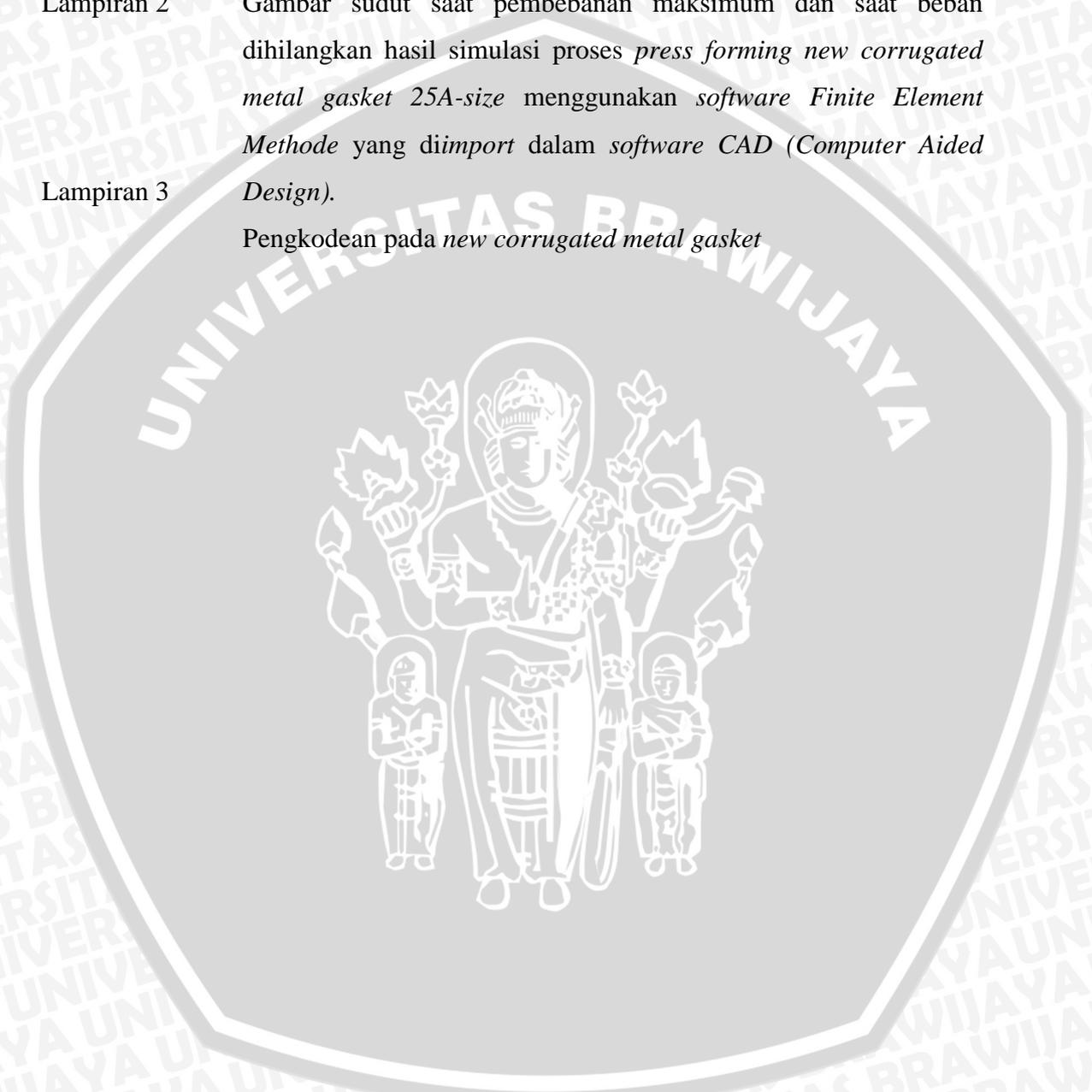
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Sheet metal forming defects</i>	6
Gambar 2.2	Perubahan tegangan pada radius tekuk	7
Gambar 2.3	Gaya <i>springback</i>	7
Gambar 2.4	Kondisi <i>unloading</i> dari plat yang dibengkokkan dengan sebuah momen tanpa disertai <i>tension</i>	8
Gambar 2.5	Model untuk material elastis plastis sempurna dengan gaya pembalikan	9
Gambar 2.6	Diagram momen kelengkungan untuk plat elastis plastis sempurna yang menunjukkan kondisi <i>unloading</i> dari momen plastis penuh	9
Gambar 2.7	<i>Embossing angular bead</i>	11
Gambar 2.8	Gasket dalam sambungan pipa	12
Gambar 2.9	<i>Corrugated metal gasket</i>	13
Gambar 2.10	Perbedaan <i>corrugated metal gasket</i> dengan <i>new corrugated metal gasket</i>	14
Gambar 2.11	Penampang melintang <i>corrugated metal gasket</i>	15
Gambar 2.12	Metode <i>Newton-Rhapon</i>	20
Gambar 3.1	Diagram tegangan regangan <i>stainless steel SUS304</i>	25
Gambar 3.2	Dimensi plat yang akan dihasilkan dari proses <i>press forming</i>	25
Gambar 3.3	Gambar benda kerja	26
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian	27
Gambar 4.1	Pemodelan proses <i>press forming</i>	28
Gambar 4.2	Hasil <i>meshing</i> pada benda kerja	30
Gambar 4.3	Penampang melintang <i>new corrugated metal gasket 25A-size</i>	31
Gambar 4.4	Perbandingan bentuk plat yang diinginkan, pada saat pembebanan penuh, dan ketika beban dihilangkan	32
Gambar 4.5	Hasil simulasi menggunakan <i>software FEM (Finite Element Methode)</i> pada saat pembebanan penuh dan saat beban dihilangkan	33

Gambar 4.6	Grafik perbandingan besar sudut <i>springback</i> tiap segmen dari semua spesimen	36
Gambar 4.7	Grafik hubungan tebal plat terhadap sudut <i>springback</i>	38
Gambar 4.8	Grafik hubungan kecepatan turun <i>die</i> terhadap sudut <i>springback</i>	40
Gambar 4.9	Perbandingan bentuk <i>die</i> pada perhitungan secara teoritis dengan <i>die</i> yang digunakan pada simulasi	42



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data Material
Lampiran 2	Gambar sudut saat pembebanan maksimum dan saat beban dihilangkan hasil simulasi proses <i>press forming new corrugated metal gasket 25A-size</i> menggunakan <i>software Finite Element Methode</i> yang diimport dalam <i>software CAD (Computer Aided Design)</i> .
Lampiran 3	Pengkodean pada <i>new corrugated metal gasket</i>



## RINGKASAN

**Arga Ary Pradhana**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2012, *Analisis Parameter Proses Forming Produk Corrugated Metal Gasket 25A-size Terhadap Cacat Springback Dengan Menggunakan Simulasi Komputer*, Dosen Pembimbing: Moch. Agus Choiron dan Erwin Sulistyono.

Gasket adalah salah satu komponen yang berfungsi sebagai penyekat antara dua elemen mesin yang berpasangan agar fluida yang dikompresi tidak bocor. Gasket umumnya berbahan *asbestos* karena mampu mencegah terjadinya kebocoran dengan baik, namun *asbestos* memiliki kandungan kimia yang dapat memicu kanker. Solusi untuk mencari alternatif pengganti gasket *asbestos* menjadi tantangan bagi para *engineer* untuk gasket. *Corrugated metal gasket* adalah alternatif pengganti gasket konvensional yang memiliki permukaan bergelombang. Gasket ini mampu menghasilkan tegangan kontak yang tinggi pada area permukaannya, sehingga ketika diletakkan pada *flange* akan membentuk garis penyekat mencegah kebocoran. Bentuk baru dari *corrugated metal gasket* mempunyai kelebihan tambahan yaitu *spring effect*. Proses produksi *new corrugated metal gasket* direncanakan melalui metode *press forming*. Namun terkadang setelah dilakukan proses *press forming* ditemukan beberapa cacat pada benda hasil *press*, seperti cacat *springback*.

Pada penelitian ini dilakukan proses simulasi dengan bantuan *software* elemen hingga untuk mengetahui pengaruh parameter proses *forming* terhadap besar sudut *springback* hasil proses *press forming*. Parameter proses yang digunakan adalah tebal plat dan kecepatan turun *die*, dengan variasi tebal plat 1.8 mm, 2 mm, 2.2 mm dan variasi kecepatan turun *die* sebesar 40 ft/min, 45 ft/min, 50 ft/min dengan material plat adalah *stainless steel* SUS304 dan material untuk *die* SS400.

Dari proses simulasi diperoleh hasil bahwa kenaikan tebal plat dan kecepatan turun *die* akan menurunkan sudut *springback* yang terjadi setelah proses *press forming*. Hal ini dibuktikan dengan variasi tebal plat 2.2 mm dan kecepatan turun *die* 50 ft/min menghasilkan nilai sudut *springback* rata-rata  $0.73^{\circ}$  pada tiap segmen, sedangkan variasi tebal plat 1.8 mm dan kecepatan turun *die* 40 ft/min menghasilkan sudut *springback* terbesar dengan rata-rata  $2.67^{\circ}$  pada tiap segmen. Dengan menurunnya nilai *springback* pada tiap segmen maka benda hasil simulasi semakin mendekati bentuk geometri *new corrugated metal gasket*, yang dimana geometri *new corrugated metal gasket* memiliki *spring effect* yang dapat mereduksi kebocoran saat baut *flange* mulai mengendur dan dapat mengurangi *maintenance* pada sambungan pipa.

**Kata kunci:** *Springback, new corrugated metal gasket, press forming, spring effect.*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gasket adalah salah satu komponen yang sering digunakan dan dipasang pada sebuah mesin atau dalam suatu sistem pemipaan. Gasket berfungsi sebagai penyekat antara dua elemen mesin yang berpasangan, tujuannya adalah agar fluida yang dikompresi, baik cair maupun gas yang melewati elemen mesin tersebut tidak bocor. Material yang digunakan untuk bahan baku gasket pada umumnya adalah serat asbestos, serat asbestos dipilih karena tahan terhadap temperatur tinggi hingga 1200°C, tahan terhadap kompresi dan lentur. Akbar Zain, Taufik (2011). Namun dibalik kelebihan yang ada pada gasket berbahan *asbestos* ternyata bahan *asbestos* memiliki kandungan bahan kimia yang berbahaya dan dapat memicu terjadinya kanker. Terkait dengan hal tersebut, penggunaan *asbestos* sudah banyak dilarang di Negara maju seperti di Negara Jepang sejak tahun 2008. Solusi untuk mencari alternatif pengganti gasket berbahan *asbestos* menjadi tantangan bagi para *engineer* untuk gasket, dengan harapan performa yang didapatkan sama baik dengan gasket berbahan *asbestos*.

Bahan alternatif pengganti *asbestos* dapat dibagi menjadi tiga jenis, sesuai dengan material penyusunnya, yaitu *semi-metallic*, *metallic* dan *non metallic*. Bahan *semi-metallic* umumnya dibuat dari *stainless steel* dan *material filler*, contohnya adalah *spiral wound gasket*. Bahan *metallic* yang berbahan dasar metal, contohnya *flat*, *corrugated* dan *octagonal gasket*. Sedangkan bahan *non metallic* seperti *GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastics)* dan *PTFE (polytetrafluoroethylene)*.

*Corrugated metal gasket* adalah salah satu alternatif pengganti gasket konvensional. *Corrugated metal gasket* adalah salah satu gasket berbahan dasar metal dan memiliki permukaan yang bergelombang. Kelebihan gasket ini mampu menghasilkan tegangan kontak yang tinggi pada area permukaannya sehingga ketika diletakkan pada sambungan *flange* akan membentuk garis penyekat untuk mencegah kebocoran. Selain hal itu pemilihan bahan metal karena bahan metal mudah didapat dan *propertiesnya* sudah tersedia sehingga tidak diperlukan riset pengembangan material baru. Choiron, Moch Agus (2011) mengembangkan optimasi desain pada bentuk baru dari *corrugated metal gasket* yang mempunyai kelebihan tambahan yaitu *spring effect* sehingga dapat mereduksi terjadinya *gasket relaxation*.

Proses produksi *new corrugated metal gasket* direncanakan melalui metode *press forming*, dengan menekan lembaran plat metal melalui *punch* hingga plat terdesak pada cetakan (*die*), sehingga setelah proses tersebut diperoleh plat bentuk sesuai *dies*. Namun terkadang setelah dilakukan proses *press forming* ditemukan beberapa cacat pada benda hasil *press*, seperti cacat *springback*. *Springback* sendiri adalah kemampuan suatu material kembali ke bentuk semula ketika beban dihilangkan dan merupakan cacat produk yang sering terjadi pada proses *forming*.

Yudhi Ariadi (1996) melakukan penelitian berkenaan dengan perubahan sifat mekanik pada baja JIS G 3131 akibat penggulangan ulang yang ternyata berpengaruh terhadap besar *springback* dengan melakukan uji *v-bending*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil jari-jari penggulangan maka semakin kecil pula *springback* yang terjadi, hal itu dikarenakan turunnya tegangan luluh material akibat penggulangan ulang. Beberapa faktor lain yang berpengaruh terhadap *springback* yaitu ketebalan plat, radius *bending*, parameter proses dan desain *tool* yang digunakan. Pada pembuatan *new corrugated metal gasket*, cacat *springback* dapat mengurangi luasan kontak antara permukaan *gasket* dan *flange*, sehingga berpotensi menimbulkan kebocoran (Moch. Agus Choiron, 2011).

Semakin berkembangnya teknologi *software* dan *hardware* memungkinkan untuk melakukan prediksi parameter proses *forming* melalui proses simulasi (Gantar G. 2002). Metode simulasi dipilih dikarenakan lebih efektif dan dapat mengurangi proses *trial and error*. Dari latar belakang di atas perlu adanya penelitian untuk memprediksi pengaruh parameter proses terhadap adanya cacat *springback* dengan simulasi komputer.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas diambil rumusan masalah yang diteliti yaitu, bagaimana pengaruh parameter proses terhadap adanya cacat *springback* pada simulasi *press forming corrugated metal gasket 25A-size*?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan masalah, maka dalam penelitian ini digunakan beberapa batasan sebagai berikut:

1. Parameter proses yang akan dibahas adalah:
  - Tebal plat yaitu 1,8 mm, 2 mm, 2,2 mm.
  - Kecepatan turun *die* sebesar 40 ft/min, 45 ft/min, 50 ft/min.
2. Material dimodelkan secara tiga dimensi dengan menggunakan *software* (FEM) *Finite Element Methode*.
3. Model bahan baku plat dimodelkan *elastoplastic*.
4. *Die* dimodelkan sebagai material rigid.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tebal plat dan kecepatan turun *die* pada terjadinya *springback* pada plat baja SUS304 untuk *corrugated metal gasket 25A-size* menggunakan simulasi komputer.

### 1.5 Manfaat penelitian

1. Penelitian ini nantinya dapat diaplikasikan dalam dunia industri, khususnya industri yang memproduksi *corrugated metal gasket*.
2. Sumbangsih bagi dunia pendidikan khususnya bidang teknik.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Windiarko, Kiki Amban (2006) meneliti mengenai simulasi pengaruh tebal plat dan radius bending terhadap sudut *springback*. Didapatkan kesimpulan bahwa variasi besar radius *die* akan berpengaruh terhadap sudut *springback*. Pertambahan radius *die* akan memperlebar daerah elastis yang diikuti dengan pengurangan daerah plastis pada bagian plat yang dibengkokkan sehingga sudut *springback* yang terjadi semakin besar. Sedangkan pengaruh tebal plat adalah semakin tebal plat maka *springback* yang terjadi semakin kecil, karena pertambahan tebal plat akan memperbesar regangan plastis yang akan menghambat pemulihan elastis saat beban dilepas.

Moch. Agus Choiron, Shigeyuki Haruyama, dan Ken Kaminishi (2012) meneliti mengenai hubungan antara *clamping load* dengan *contact width* pada *new corrugated metal gasket 25A-size*. Didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar *clamping load* maka *contact width* yang ditimbulkan akan semakin besar, sehingga memberikan kemampuan penyekat yang lebih baik untuk mencegah kebocoran pada sisi *flange*. Hal ini terjadi karena *spring effect* yang dimiliki oleh *new corrugated metal gasket* yang menyebabkan permukaan *convex* gasket terus menekan pada sisi-sisi *flange* sehingga menimbulkan luasan area kontak yang besar meskipun baut *flange* sudah mengendur dan dapat meminimalisir terjadinya kebocoran.

#### 2.2 Metal Forming

*Metal forming* adalah istilah yang umum, untuk mencakup berbagai proses manufaktur. Proses *metal forming* adalah suatu proses untuk membentuk logam hingga terdeformasi plastis sesuai bentuk geometri yang diinginkan, gaya yang diberikan harus melebihi kekuatan luluh material.

Dalam proses *metal forming* ada beberapa variabel yang harus diperhatikan yaitu material yang digunakan, geometri dari *die* atau *tool* yang digunakan, kecepatan saat proses *forming*, pelumasan, geometri awal benda kerja dan temperatur awal. Semua variabel di atas berpengaruh langsung terhadap karakteristik logam hasil proses *forming*.

Proses *metal forming* dapat diklasifikasikan menjadi 2 kelompok besar yaitu *bulk deformation* dan *sheet metal forming processes*. *Bulk deformation* memiliki

karakteristik benda kerja memiliki rasio luas permukaan yang rendah dibanding volumenya, contoh dari proses *bulk deformation* adalah *rolling, forging, extrusion* serta *wire and bar drawing*, sedangkan *sheet metal forming* memiliki karakteristik benda kerja memiliki rasio luas permukaan yang besar dibandingkan volume logam tersebut, contoh dari proses *sheet metal forming* adalah *bending, press forming, deep drawing, earing*, dan *embossing*.

### 2.2.1 Sheet Metal Forming

*Sheet metal forming* adalah sebuah proses yang bertujuan agar plat atau material mengalami deformasi plastis sehingga terbentuk komponen dari desain yang diinginkan. Penggunaan *sheet metal forming* menjadi teknik pembentukan yang efektif karena dapat menggantikan proses permesinan dan pengelasan. Komponen yang dihasilkan dari *sheet metal forming* dari bentuk yang sangat sederhana hingga bentuk yang rumit dan kecil seperti yang diperlukan industri elektronik dan menghasilkan komponen besar seperti bodi mobil pada industri otomotif.

Aplikasi *sheet metal forming* menjadi sangat penting didalam dunia industri otomotif sejak komponen-komponen mobil dihasilkan dari proses pembentukan dengan penekanan (*press forming process*) karena komponen yang dihasilkan lebih bagus dari pada proses pembentukan yang lain seperti halnya pengelasan, selain itu sangat praktis hanya menggunakan bebarapa set peralatan cetakan (*rigid tooling dies*) dapat menghasilkan ribuan komponen dengan bentuk dan dimensi yang identik.

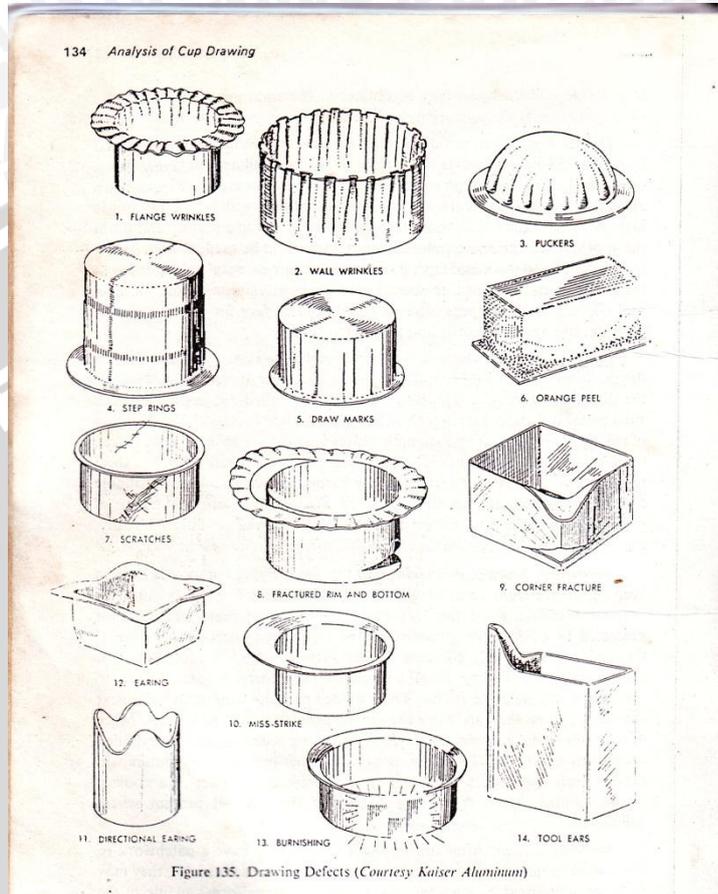
Bagian *die (rigid tooling dies)* yang umum dipakai adalah *punch* merupakan *die* bagian atas yang berfungsi menekan plat ke bawah, *lower die* merupakan *die* bagian bawah dan *blank holder* adalah bagian yang dapat bergerak naik turun yang berfungsi sebagai pencekam agar tetap pada posisi yang stabil.

Proses pengepresan plat tergantung dari kompleksitas bentuk komponen yang dibuat, untuk bentuk sederhana hanya diperlukan satu tahap pembentukan (*single stage metal forming*) dan bentuk yang rumit tidak dapat dibuat dalam satu tahap dan dioperasikan pada peralatan cetakan yang berbeda pula (*multi stage metal forming*).

Dalam proses *sheet metal forming* terdapat beberapa *defect* yang dihasilkan setelah proses, cacat tersebut antara lain:

- *Orange peel*
- *Earing*

- *Scratching, Scoring, dan Gailing*
- *Stretcher Strains*
- *Burnish Marks*
- *Springback*

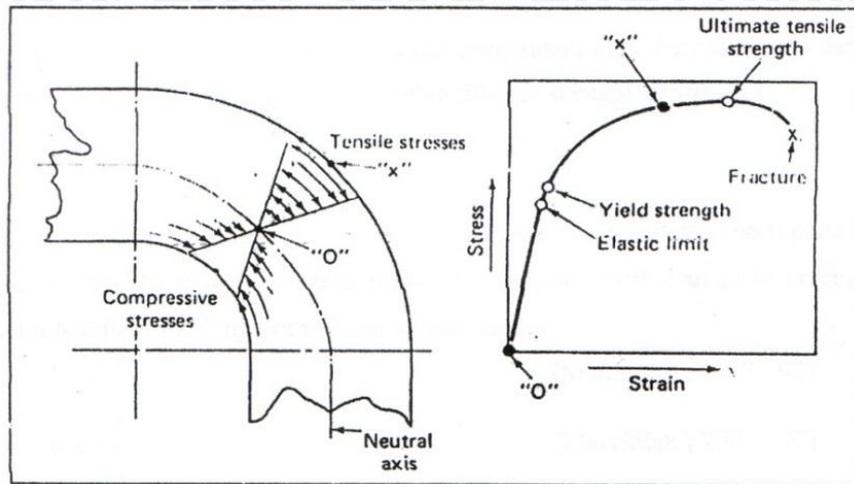


Gambar 2.1. *Sheet metal forming defects.*  
 Sumber: Eary, Donald F. Reed, E. A. (1974:135).

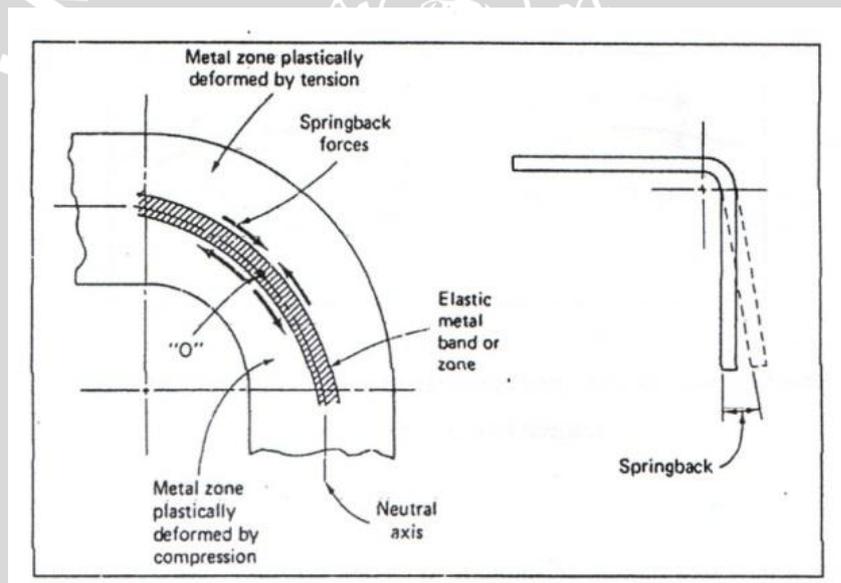
### 2.3 *Springback*

Variasi dari tegangan *bending* menyebabkan terjadinya *springback* setelah proses *bending* berlangsung. Tegangan tarik paling besar terjadi pada permukaan luar plat saat dibengkokkan. Tegangan tarik semakin mengecil ke arah pusat dari tebal plat dan bernilai nol pada sumbu netral. Gambar 2.2 menunjukkan perubahan tegangan tarik dan tegangan tekan pada daerah tekukan. Untuk menghasilkan lekukan yang sesuai untuk menghasilkan lekukan yang baik, tegangan tarik pada titik x harus lebih rendah dari tegangan *ultimate*. Bagian dari balok yang paling dekat dengan sumbu netral mengalami tegangan dibawah batas elastis. Bagian balok tersebut menimbulkan daerah sempit yang elastis pada kedua sisi sumbu netral, seperti pada gambar 2.3.





Gambar 2.2. Perubahan tegangan pada radius tekuk.  
 Sumber: Eary, Donald F. Reed, E. A. (1974:61).



Gambar 2.3. Gaya *springback*.  
 Sumber: Eary, Donald F. Reed, E. A. (1974:61).

Bagian dari balok yang jauh dari sumbu mengalami tegangan diatas kekuatan luluh dan terdeformasi secara plastis. Setelah *die* menekan plat dan kembali ke posisi semula, daerah elastis logam plat yang ditekan akan mencoba untuk kembali ke bentuk semula tetapi mendapat perlawanan dari daerah yang mengalami deformasi plastis. Terjadi sedikit pergerakan agar daerah elastis dan plastis mencapai keseimbangan, pergerakan tersebut dikenal sebagai *springback*.

### 2.3.1 Analisa Springback

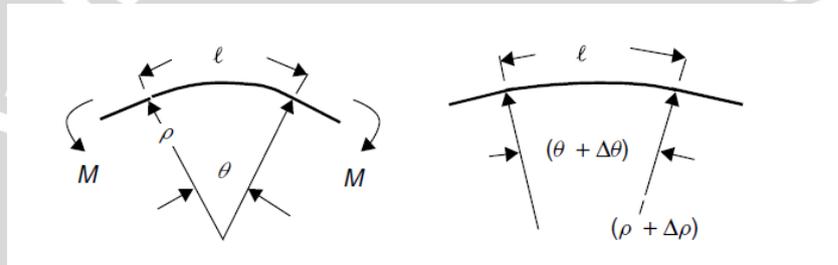
Jika sebuah plat dibengkokkan dengan momen seperti pada gambar 2.4 kemudian momen tersebut dilepas, maka akan terjadi perubahan pada kelengkungan dan sudut *bending*. Panjang permukaan tengah adalah:

$$l = \rho\theta \quad (\text{Marciniak ; 2002 : 92}) \quad (2-1)$$

$$\theta = l \frac{1}{\rho} \quad (\text{Marciniak ; 2002 : 92}) \quad (2-2)$$

Dengan mendefinisikan persamaan diatas dimana  $l = \text{konstan}$  didapatkan

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{\Delta\left(\frac{1}{\rho}\right)}{1/\rho} \quad (\text{Marciniak ; 2002 : 92}) \quad (2-3)$$



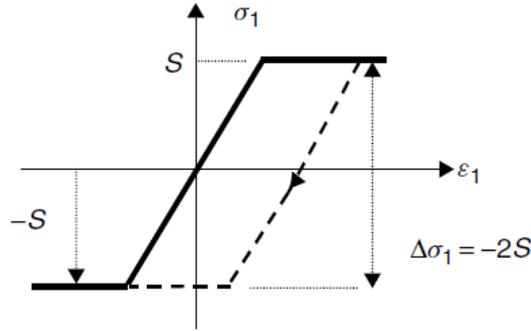
Gambar 2.4. Kondisi *unloading* dari plat yang dibengkokkan dengan sebuah momen tanpa disertai *tension*.  
Sumber: Marciniak (2002:92).

Kurva tegangan regangan untuk elastis, plastis sempurna dimana materialnya mengalami gaya pembalikan ditampilkan pada gambar 2.4. kondisi ini mengambil asumsi bahwa efek *Bauschinger* dapat diabaikan, ini adalah fenomena pada gaya pembalikan yang telah diamati pada berbagai material. Dari gambar 2.5 perubahan pada tegangan dari  $\Delta\sigma_1 = -2\sigma_s$  dapat terjadi tanpa material menjadi plastis. Jika diasumsikan bahwa kondisi *unloading* dari plat sebagai proses elastis, persamaan *bending* elastis dapat ditulis dalam bentuk :

$$\frac{\Delta M}{I} = \frac{\Delta\sigma_1}{y} = \frac{\Delta\sigma_1 \max}{t/2} = E' \Delta\left(\frac{1}{\rho}\right) \quad (\text{Marciniak ; 2002 : 93}) \quad (2-4)$$

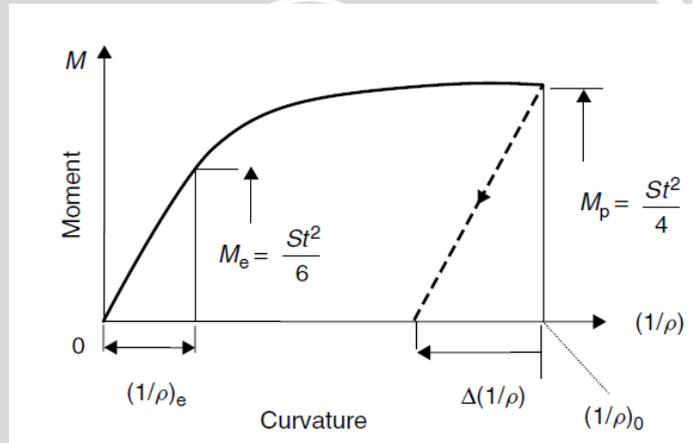
dengan:

$\Delta\sigma_1 =$  Perbedaan tegangan saat beban dihilangkan



Gambar 2.5. Model untuk material elastis-plastis sempurna dengan gaya pembalikan.  
 Sumber: Marciniak. (2002:93).

Untuk plat yang telah dibengkokkan sampai momen plastis penuh, kurva *unloading* akan parallel pada garis beban elastis sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Diagram momen-kelengkungan untuk pelat elastis-plastis sempurna yang menunjukkan kondisi *unloading* dari momen plastis penuh.  
 Sumber: Marciniak. (2002:93).

Dengan catatan bahwa segitiga tersebut sebangun, dapat dilihat bahwa perubahan momen –  $M_p$ ,

$$\frac{\Delta\left(\frac{1}{\rho}\right)}{\left(\frac{1}{\rho}\right)_e} = \frac{\Delta M}{M_e} = \frac{-M_p}{M_e} \quad (\text{Marciniak ; 2002 : 93}) \quad (2-5)$$

Rasio dari momen plastis penuh dengan momen elastis terbatas ditunjukkan sebagai:

$$\frac{M_p}{M_e} = \frac{3}{2} \quad (\text{Marciniak ; 2002 : 94}) \quad (2-6)$$

Dengan mengkombinasikan persamaan didapatkan:

$$\Delta \left( \frac{1}{\rho} \right) = \frac{3}{2} \left( \frac{1}{\rho} \right)_e = -3 \frac{S}{E^I t} \quad (\text{Marciniak ; 2002 : 94}) \quad (2-7)$$

Jika plat telah dalam kondisi *unloading* dari lekukan  $(1/\rho)_0$ , perubahan proporsional dalam dari persamaan di atas adalah :

$$\frac{\Delta(1/\rho)}{(1/\rho)_0} = -3 \frac{S}{E^I} \frac{\rho_0}{t} \theta \quad (\text{Marciniak ; 2002 : 94}) \quad (2-8)$$

Atau dari persamaan di atas, perubahan sudut *bending* adalah:

$$\Delta \theta \approx -3 \frac{S}{E^I} \frac{\rho_0}{t} \theta \quad (\text{Marciniak ; 2002 : 94}) \quad (2-9)$$

dengan:

$l$  = panjang lengkungan setelah bending (m)

$\rho$  = Jarak antara pusat kelengkungan hingga sumbu netral (m)

$\theta$  = radius bending ( $^{\circ}$ )

$M_p$  = *Plastic bending moment* (Nm/m)

$M_e$  = *Elastic bending moment* (Nm/m)

$S$  = Tegangan alir bidang regang (MPa)

$E^I$  = Modulus elastisitas pada bidang regang (GPa)

$t$  = Tebal plat (m)

$\rho_0$  = Jarak antara pusat kelengkungan hingga sumbu netral pada kondisi plastis penuh (m)

Persamaan terakhir diatas hanya perkiraan dan diaplikasikan pada beda sudut atau lengkungan kecil dan pada kasus dimana plat telah dibengkokkan sampai mendekati kondisi plastis penuh. Namun demikian persamaan ini sangat berguna dan dapat mengindikasikan bahwa *springback* proporsional dengan:

1. Rasio tegangan alir dengan modulus elastis,  $\sigma_s / E^I$ , yang mana nilainya sangat kecil terkadang 1/1000.
2. Rasio *bending*,  $\rho_0 / t$ .
3. Besar sudut *bending*.

## 2.4 Gaya Die

Untuk mengkalkulasi gaya yang dibutuhkan untuk membentuk plat sesuai bentuk *bead* maka tegangan yang diperlukan dapat dihitung dengan membagi antara lebar *bead* dan tebal dari plat yang akan di *emboss*. Tegangan ini kemudian dibandingkan dengan tegangan luluh maksimum benda kerja. Rumus yang digunakan untuk memprediksi gaya tekan untuk proses *press forming* adalah:

$$F = Stb \quad (2-10)$$

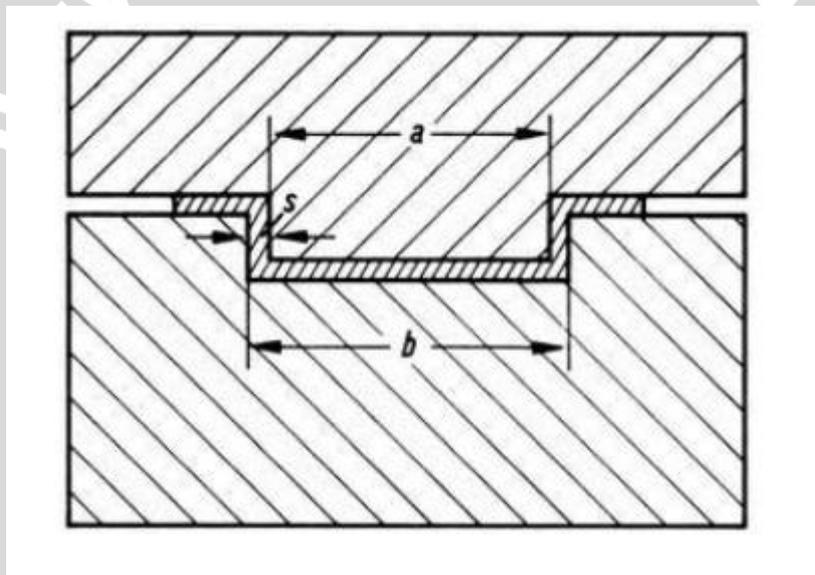
dengan:

F = gaya die

S = *ultimate tensile strength*

t = tebal plat

b = lebar *bead* / radius die

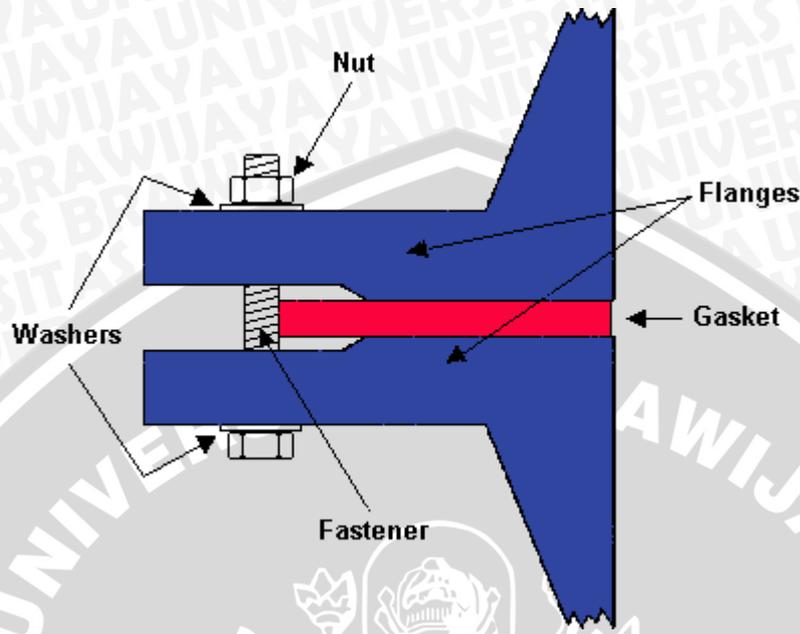


Gambar 2.7. *Embossing angular bead*  
Sumber: Heinz Tschachtsch (2005:213)

## 2.5 Gasket

Gasket secara sederhana dapat diartikan sebagai sebagai sesuatu yang berfungsi untuk menutup atau menyegel *flange* pada pengerjaan pipa ataupun pada *process equipment* (peralatan-peralatan yang berkaitan dengan mesin). Selain definisi yang disebutkan diatas ada definisi bebas lainnya dapat dijadikan alternatif pengertian lain yaitu, sebuah alat untuk menutup atau menyegel dua permukaan dengan cara memberikan dan menyimpan energi diantara dua permukaan itu (James Walker Moorflax). Sedangkan definisi yang ketiga untuk gasket ialah sebuah segel mekanik

(*mechanical seal*) yang mengisi ruang antara dua permukaan yang digabungkan, pada umumnya gasket berfungsi untuk mencegah kebocoran dari sambungan (*joined*) dibawah kondisi bertekanan (*compression*).



Gambar 2.8. Gasket dalam sambungan pipa.  
Sumber: [http://gaskets.cc/images/flange\\_gasket.gif](http://gaskets.cc/images/flange_gasket.gif).

Dari dua definisi diatas dapat ditarik kesimpulan atas definisi tersebut, yaitu: keduanya menekankan pada “alat untuk menutup atau menyegel”. yang disegel atau ditutup adalah celah antara dua permukaan atau *flange*. Apabila dua permukaan suatu komponen mesin contoh sebuah pipa yang saling disambungkan tidak diberi gasket maka peluang terjadinya kebocoran semakin besar, hal ini dikarenakan oleh tingkat kekasaran dari dua permukaan tersebut yang tidak memungkinkan dua permukaan menutup secara sempurna, dan apabila tidak disumbat atau disegel dari ketidakrataan yang muncul tersebut kebocoran dapat terjadi sewaktu-waktu.

Berdasarkan material pembentuknya Gasket dibagi menjadi 2 bagian yaitu gasket berbahan *asbestos* dan gasket *non asbestos*. Gasket *non asbestos* dibagi menjadi 3 berdasar material penyusunnya yaitu:

1. *Metallic*

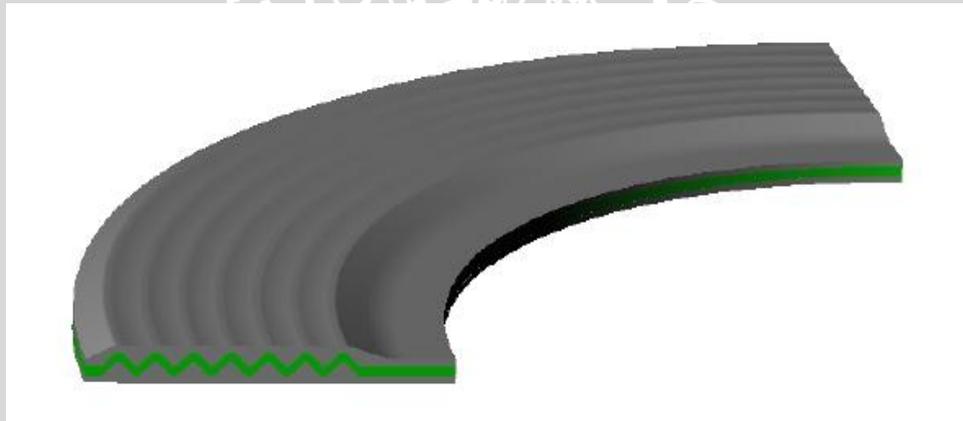
*Metallic* adalah gasket berbahan dasar metal atau logam, contohnya:

- *Corrugated metal gasket.*
- *Flat metal gasket.*

- *Octagonal metal gasket.*
2. *Semi-metallic*  
*Semi-metallic* gasket adalah gasket berbahan dasar metal dengan material *filler* seperti *graphite*, contohnya:
- *Spiral wound gasket.*
  - *Kammprofile gasket.*
3. *Non-metallic*  
*Non-metallic* gasket adalah gasket berbahan dasar non-metal, seperti gasket berbahan dasar karet, fiber dan plastik, contohnya:
- *PTFE (Polytetrafluoroethylene).*

### 2.5.1 *Corrugated Metal Gasket*

*Corrugated metal gasket* adalah salah satu gasket berbahan dasar metal dengan permukaan yang bergelombang atau beralur *concentric* pada sisinya seperti pada gambar 2.9.

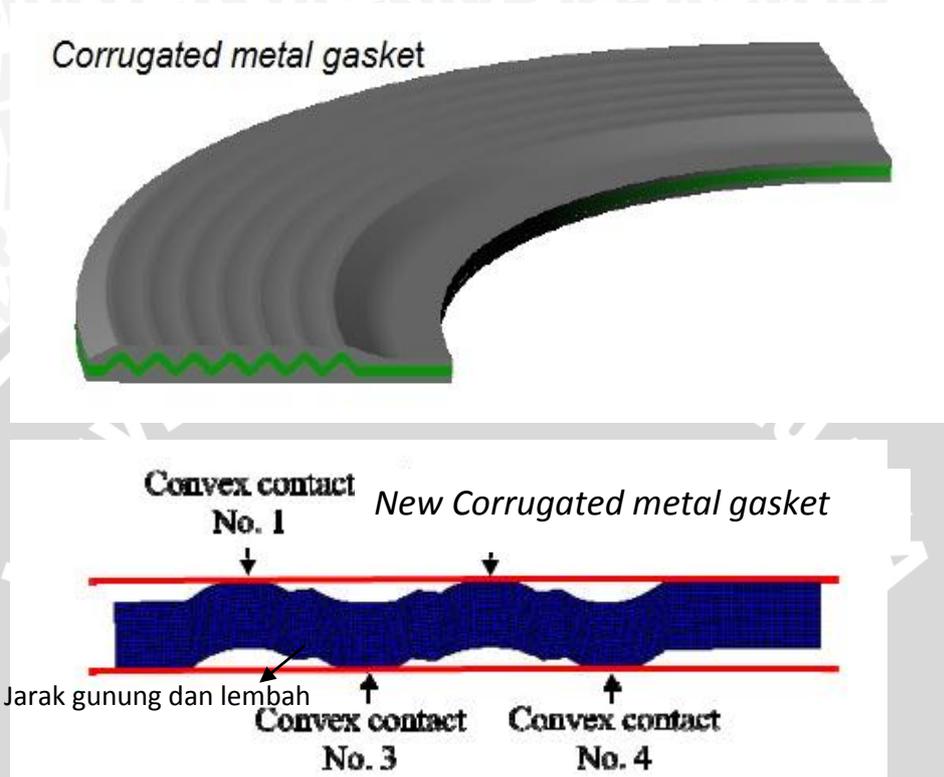


Gambar 2.9. *Corrugated metal gasket.*  
Sumber: Trianglefluid.com.

Kelebihan *corrugated metal gasket* adalah *clamping load* yang dibutuhkan lebih kecil dibanding dengan *flat metal gasket*, karena permukaan *corrugated metal gasket* yang bersentuhan dengan *flange* lebih sedikit dari pada *flat metal gasket* tetapi tetap menghasilkan kemampuan menyekat yang baik, karena bentuk *convex* yang dimiliki menghasilkan tegangan kontak yang besar pada *flange*.

### 2.5.2 New Corrugated Metal Gasket

*New corrugated metal gasket* adalah pengembangan dari *corrugated metal gasket*, perbedaan yang mendasar antara dua tipe gasket ini adalah adanya jarak antara gunung dan lembah pada sisi *new corrugated metal gasket* seperti pada gambar 2.10.

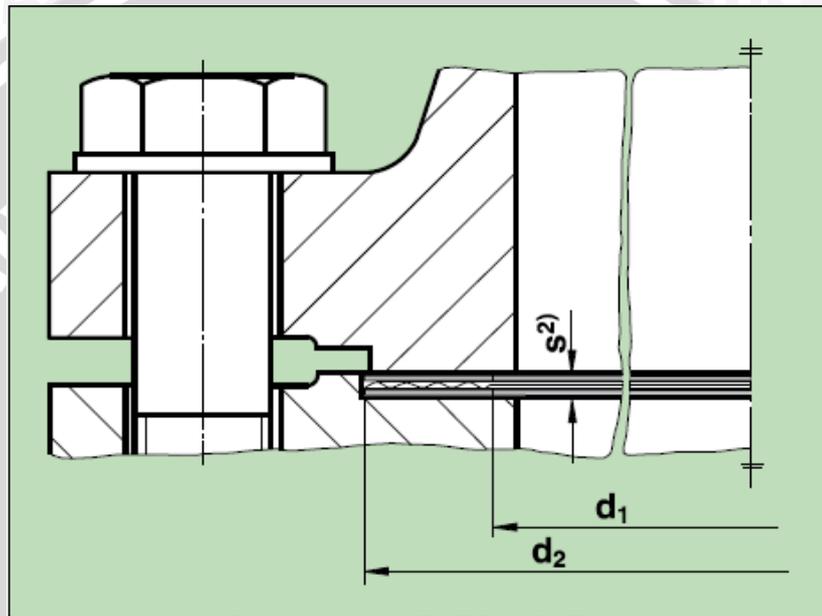


Gambar 2.10. Perbedaan *new corrugated metal gasket* dengan *corrugated metal gasket*.  
Sumber: [Trianglefluid.com](http://Trianglefluid.com) dan Choiron, Moch Agus : 2011.

Jarak gunung dan lembah akan menimbulkan *spring effect* yaitu kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk semula karena kemampuan elastis. sehingga ketika sisi *flange* mulai mengendur maka jarak gunung dan lembah yang ada pada *new corrugated metal gasket* akan menekan sisi *convex* dari *new corrugated metal gasket* untuk terus bersinggungan dengan sisi *flange* sehingga memberikan tetap memberikan tegangan kontak yang besar walaupun sisi *flange* mengendur dan mencegah terjadinya kebocoran.

### 2.5.3 Pengkodean pada *Corrugated Metal Gasket*

Penggunaan *corrugated metal gasket* sudah jamak digunakan pada dunia industri. Oleh karena itu para perusahaan manufaktur yang memproduksi gasket memproduksi gasket dengan penomoran pada gasket-gasket tersebut sesuai dengan ukuran dan *mechanical properties* dari gasket yang diproduksi, sehingga memudahkan untuk memilih gasket sesuai dengan kebutuhan. Misalnya ditemukan gasket dengan kode 25 hal ini berarti gasket tersebut berdiameter dalam ( $d_1$ ) sebesar 37 mm dan diameter keseluruhan ( $d_2$ ) gasket sebesar 57 mm seperti pada gambar 2.11 dan tabel 2.1.



Gambar 2.11. Penampang melintang *corrugated metal gasket*.  
Sumber: Kemchen & Co. GmbH *buyer guide*.

Tabel 2.1 Kode atau penomoran gasket

Dimension in mm			PN									
			10	16	25	40	64	100	160	250	320	400
DN	$d_1$	$d_2$	$d_3$									
10	18	34	46	46	46	46	56	56	56	67	67	67
15	22	39	51	51	51	51	61	61	61	72	72	78
20	28	50	60	60	60	60	-	-	-	-	-	-
25	35	57	70	70	70	70	82	82	82	83	92	104
32	43	65	82	82	82	82	-	-	-	-	-	-
40	49	75	92	92	92	92	103	103	103	109	119	135
50	61	87	107	107	107	107	113	119	119	124	134	150
65	77	109	127	127	127	127	137	143	143	153	170	192
80	90	120	142	142	142	142	148	154	154	170	190	207
100	115	149	162	162	168	168	174	180	180	202	229	256
125	114	175	192	192	194	194	210	217	217	242	274	301
150	169	203	218	218	224	224	247	257	257	284	311	348
175	195	233	247	247	254	265	277	287	284	316	358	402
200	220	259	272	272	284	290	309	324	324	358	398	442
250	274	312	327	328	340	352	364	391	388	442	488	-
300	325	363	377	383	400	417	424	458	458	536	-	-
350	368	421	437	443	457	474	486	512	-	-	-	-
400	420	473	489	495	514	546	543	572	-	-	-	-
450	470	524	539	555	-	571	-	-	-	-	-	-
500	520	575	594	617	624	628	657	704	-	-	-	-
600	620	675	695	734	731	747	764	813	-	-	-	-
700	720	777	810	804	833	852	879	950	-	-	-	-
800	820	882	917	911	942	974	988	-	-	-	-	-
900	920	987	1017	1011	1042	1084	1108	-	-	-	-	-
1000	1020	1091	1124	1128	1154	1194	1220	-	-	-	-	-
1200	1240	1320	1341	1342	1364	1398	1452	-	-	-	-	-
1400	1440	1520	1528	1542	1578	1618	-	-	-	-	-	-
1600	1640	1740	1772	1764	1798	1830	-	-	-	-	-	-
1800	1840	1940	1972	1964	2000	-	-	-	-	-	-	-
2000	2040	2140	2182	2168	2230	-	-	-	-	-	-	-
2200	2240	2340	3284	2378	-	-	-	-	-	-	-	-
2400	2440	2540	2594	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2600	2650	2750	2794	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2800	2870	2970	3014	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3000	3080	3180	3228	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber: Kemchen & Co. GmbH *buyer guide*.

## 2.5 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan fisika dengan persamaan diferensial. Berikut ini diuraikan langkah-langkah dari perhitungan dengan menggunakan metode elemen hingga. Prosedur perhitungan dengan Metode Elemen Hingga antara lain sebagai berikut:

### 1. Diskritisasi dan pemilihan elemen

Proses pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil yang lebih sederhana yang dihubungkan pada titik simpul (*node*), kemudian dilakukan pemilihan elemen seperti model awal dari struktur. Hal ini dilakukan untuk mempermudah analisis.

2. Memilih fungsi pendekatan

Variasi perpindahan pada suatu elemen didekati dengan fungsi interpolasi yang didasarkan pada harga simpul yang mengitari. Fungsi yang paling umum digunakan adalah polinomial.

3. Menurunkan persamaan matrik kekakuan [k]

Dengan prinsip usaha *virtual* akan dihasilkan persamaan matriks kekakuan elemen yang dinyatakan sebagai berikut:

$$[k] = \int [B]^T [C] [B] dV \quad (2-11)$$

dengan:

[k] = matrik kekakuan elemen

[B] = matrik konstitutif hubungan regangan dan perpindahan

[C] = matrik konstitutif hubungan tegangan dan regangan material

V = volume

4. Menghitung matrik beban total

Beban yang bekerja didefinisikan menjadi 3 macam, sehingga beban total adalah:

$$F = Q_{NF} + Q_{BF} + Q_T \quad (2-12)$$

dengan:

$Q_{NF}$  = beban pada konsentrasi nodal

$Q_{BF}$  = beban *body force* (akibat beban sendiri)

$Q_T$  = beban traksi (*surface traction*)

5. Merakit elemen menjadi struktur

Perakitan persamaan elemen akan dibawa ke bentuk persamaan global, yang prosesnya harus memenuhi sifat konvergen dan sifat sinambung. Salah satunya antara lain: titik-titik yang semula bersebelahan harus tetap bersebelahan satu sama lain setelah elemen dikenai beban. Bentuk persamaan global elemen yaitu:

$$[K]\{q\} = \{R\} \tag{2-13}$$

dengan:

[K] = matrik kekakuan elemen.

{q} = vektor perpindahan simpul.

{R} = matrik beban total.

Setelah matrik kekakuan global diperoleh dan syarat-syarat batasnya dimasukkan maka perpindahan simpul (q) dapat dicari. Suatu syarat batas memberikan informasi bagaimana struktur ditopang dalam ruang, dengan memasukkan nilai perpindahan yang telah ditetapkan sesuai kondisi pada struktur.

6. Mendapatkan perpindahan global

Persamaan global yang telah mendapatkan syarat batas, merupakan sekumpulan persamaan linier yang secara umum dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k_{1,1}q_1 + k_{1,2}q_2 + \dots + k_{1,n}q_n &= R_1 \\ k_{2,1}q_1 + k_{2,2}q_2 + \dots + k_{2,n}q_n &= R_2 \\ \dots & \\ k_{n,1}q_1 + k_{n,2}q_2 + \dots + k_{n,n}q_n &= R_n \end{aligned} \tag{2-14}$$

Persamaan di atas akan diselesaikan dengan cara eliminasi Gauss untuk mendapatkan besaran-besaran primer yaitu  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ .

7. Mendapatkan besaran sekunder dan interpretasi hasil

Dari besaran pertamanya yang berupa perpindahan, dapat dicari besaran sekunder yang dapat berupa tegangan maupun regangan, dengan menggunakan hubungan antara keduanya. Hubungan tegangan-regangan pada kondisi 3D dapat dinyatakan dalam bentuk matrik sebagai berikut:



$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ (1+\nu)(1-2\nu) \\ \\ \\ \end{matrix} E \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad (2-15)$$

Hubungan tersebut dapat ditulis dalam bentuk simbol berikut:

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\} \quad (2-16)$$

Hubungan regangan dengan perpindahan adalah:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{d\} \quad (2-17)$$

Sehingga tegangan dapat dirumuskan sebagai:

$$\{\sigma\} = [C][B]\{d\} \quad (2-18)$$

Hasil akhir dari perhitungan dengan metode elemen hingga ini berupa harga distribusi tegangan yang akan diplot di sepanjang struktur untuk dianalisis sesuai dengan rumusan masalah yang ada.

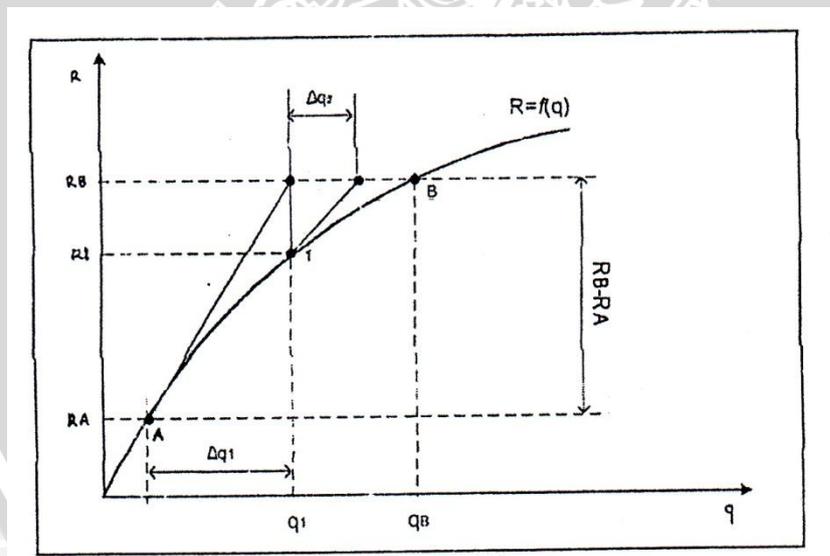
## 2.6 Persoalan Non Linier

Pada proses pembentukan logam, deformasi yang terjadi adalah besar (*large deformation*). Selain itu terdapat kondisi elastis plastis dimana matriks konstitutif tergantung pada tegangan sebelumnya. Karena kedua kondisi diatas maka prosedur metode elemen hingga yang digunakan adalah *non-linier*. Prinsip dasar persoalan *non-linier* adalah persamaan kesetimbangan harus ditulis dengan mengacu pada geometri yang sudah terdeformasi dan pada kondisi elastis plastis bersamaan kesetimbangan harus ditulis dengan menggunakan sifat material yang tergantung pada tegangan sebelumnya bukan oleh suatu matrik konstanta. Persoalan *non-linier* bisa diubah menjadi permasalahan linier dengan system koordinat *update Lagrangian* atau metode *Newton-Rhapson*.

### a. Sistem Koordinat Update Lagrangian

Pada sistem ini sumbu koordinat akan berubah mengikuti deformasi dari material. Prinsip sistem ini adalah:

1. Sebuah sistem koordinat lokal dikenakan pada tiap elemen, sistem lokal bergerak bersama dengan gesekan elemen.
  2. Diferensial dan integrasi dilakukan dengan mengacu pada koordinat lokal.
  3. Keadaan deformasi sekarang digunakan sebagai acuan sebelum tahap solusi inkremental berikutnya.
  4. Koordinat lokal disesuaikan untuk menghasilkan keadaan acuan yang baru.
  5. Sebuah sistem koordinat lokal dikenakan pada tiap elemen, sistem lokal bergerak bersama dengan gesekan elemen.
  6. Diferensial dan integrasi dilakukan dengan mengacu pada koordinat lokal.
  7. Keadaan deformasi sekarang digunakan sebagai acuan sebelum tahap solusi inkremental berikutnya.
  8. Koordinat lokal disesuaikan untuk menghasilkan keadaan acuan yang baru.
- b. Metode *Newton-Raphson*
- Misal terdapat fungsi beban terhadap peralihan  $R = F(q)$  untuk sistem kebebasan derajat tunggal seperti pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 : Metode *Newton-Raphson*.  
 Sumber: Anonymous 1.

Misalnya kita telah memperoleh perpindahan  $q_A$  yang berkenaan dengan  $R_A$ . Beban kemudian dinaikkan menjadi  $R_B$  dan peralihan yang berkaitan  $q_B$  dicari. Dengan ekspansi deret Taylor  $R = f(q)$  pada titik  $q_A$  dipotong hingga turunan pertama adalah:

$$f = (q_A + \Delta q_1) = f(q_A) + (dR/dq)(\Delta q)$$

dimana  $f(q_A) = R_A$ ,  $[dr/dq]_A = k_A$  (Kekakuan pada A) dan  $f(q_A + \Delta q_1) = R_{B1}$  sehingga:

$$K_A(\Delta q_1) = R_B - R_A$$

$R_A - R_B$  diinterpretasikan sebagai selisih antara beban yang dikenakan dengan gaya tahanan pada struktur. Langkah berikutnya:

1. Ubah peralihan  $q_1 = q_A + \Delta q_1$ .
2. Gunakan  $q_1$  untuk memperoleh kekakuan  $K_1$  dan tahanan  $e_1$ .
3. Hitung inkremen peralihan  $\Delta q_2$  berikutnya dari  $k_1(\Delta q_2) = R_B - R_1$ .

Jadi  $R_B - R_1$  adalah kesetimbangan gaya saat itu. Akhirnya  $q_B = q_A + q_1 + q_2 + \dots$  Untuk pendekatan yang cukup dekat. Dengan prosedur semacam ini maka kondisi elastis plastis matriks konsitutif bisa dievaluasi tiap-tiap iterasi berdasar tegangan sebelumnya.

## 2.7 Software FEM (*Finite Element Methode*)

*Software* yang berbasis elemen hingga mempunyai kelebihan yaitu kemampuan untuk mendiskritisasi model dengan halus, mampu bekerja dengan elemen yang lebih banyak dan menghasilkan output dengan ketelitian tinggi. *Software FEM (Finite Element Methode)* dapat digunakan untuk menganalisis antara lain: analisis struktural, analisis *thermal*, analisis elektrik, analisis magnetis dan analisis fluida.

Secara umum langkah-langkah analisis dengan menggunakan *software FEM (Finite Element Methode)* dibagi menjadi tiga, yaitu *Preprocessing* (Proses Awal), *Solution* (Proses Solusi) dan *Postprocessing* (Proses Pembacaan Hasil).

1. *Preprocessing* (Proses Awal).

Tahap-tahap penting dalam *preprocessing*:

- Pemodelan Geometri: disini dilakukan proses modeling geometri baik 1D, 2D maupun 3D.
- Pemilihan tipe elemen: digunakan untuk mendiskritisasikan model yang dibuat.
- *Material properties* (input data material yang digunakan).
- *Meshing* (pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil/elemen diskrit).

Pembuatan model geometri dari benda kerja dapat juga dilakukan dengan *software* CAD (*Computer-Aided Drawing*) yang nantinya diekspor ke dalam *software* FEM (*Finite Element Methode*).

## 2. *Solution* (Proses Solusi)

Tahap-tahap penting dalam *Solution*:

- a. Mendefinisikan analisis solusi yang dipakai (*Analysis Type*).
- b. Memasukkan kondisi batas (*constrain*).
- c. Menerapkan pembebanan.
- d. Penyelesaian (*Solving*).

## 3. *General Postprocessing* (Proses Pembacaan Hasil)

Hasil analisis dari proses solusi dapat ditampilkan dalam bentuk tabel maupun dalam bentuk *plot result* dan *list result*.

### a. *Plot result*

Dengan menggunakan *contour plot* akan tampak distribusi tegangan atau hasil lain pada model sehingga mudah dalam menginterpretasikan informasi yang disajikan.

### b. *List result*

Hasil analisis dalam bentuk *list result* berupa tabel yang memberikan informasi secara detail nilai perpindahan, tegangan dan regangan yang terjadi pada objek yang dianalisis.

### c. *Animasi*

Hasil analisis yang diperoleh juga ditampilkan dalam bentuk animasi.

## 2.8 Hipotesis

Pertambahan tebal plat akan mengurangi *springback* yang terjadi pada proses pembentukan *corrugated metal gasket*, karena dengan semakin tebal plat maka semakin besar daerah plastis yang terjadi dan akan menghambat pemulihan bentuk saat beban dihilangkan yang diakibatkan oleh kemampuan elastis material, sehingga *springback* yang terjadi semakin kecil. Kecepatan turun *die* berkaitan dengan energi kinetik, semakin tinggi energi yang diberikan maka semakin besar deformasi yang terjadi pada *corrugated metal gasket* menyebabkan daerah plastis yang terbentuk semakin besar, dan akan menahan daerah elastis untuk kembali ke bentuk semula sehingga *springback* yang terjadi juga semakin kec

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental semu. Digunakan untuk memperoleh informasi yang diperoleh dalam eksperimental sungguhan (nyata). Dimana penulis melakukan pengujian tidak secara langsung melainkan dengan bantuan komputer sebagai alat untuk proses perhitungan dan simulasinya.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Teknik Universitas Brawijaya dengan spesifikasi komputer sebagai berikut:

- PROSESOR : Intel ® Core TM (i7)-2600 CPU @ 3.40 GHz
- RAM : 16384 MB
- *Operating System*: Microsoft Windows 7 Ultimate 64 Bit

Sedangkan waktu penelitian adalah pada bulan Juni 2012 - Agustus 2012.

#### 3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, variabel terkontrol.

##### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai variabel terikat, besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya divariasikan untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dari objek penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah tebal plat yaitu 1.8, 2.0, 2.2 mm dan kecepatan *die* sebesar 40, 45, 50 ft/min.

### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya bergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah:

- Cacat *springback*.

### 3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang dijaga konstan selama penelitian, variabel yang dijaga konstan dalam penelitian ini adalah:

- *Properties* material yang digunakan yaitu:

- Modulus Elastisitas Bahan ( $E$ )
- Angka Poisson ( $\nu$ )
- Tegangan *Yield* ( $\sigma_y$ )
- Massa Jenis Material
- *Tangent Modulus*
- *Ultimate Tensile Strength*

- Lebar plat awal sebesar 74 mm.

### 3.4 Data Material

Karakteristik material plat baja tahan karat SUS304 yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut:

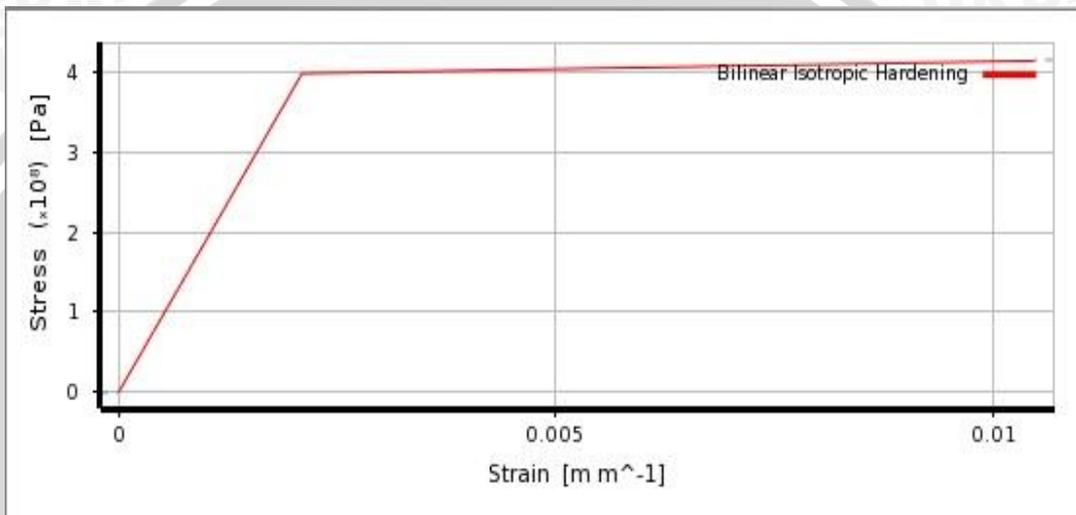
- Modulus Elastisitas Bahan ( $E$ ) = 210 GPa
- Angka *Poisson* ( $\nu$ ) = 0.3
- Tegangan *Yield* ( $\sigma_y$ ) = 398.83 MPa
- Massa Jenis = 8 g / cm<sup>3</sup>
- *Tangent Modulus* = 1900.53 MPa
- *Ultimate Tensile Strength* = 520 Mpa

Karakteristik material *steel* SS400 yang digunakan untuk memodelkan *die* atas dan *die* bawah adalah sebagai berikut:

- Modulus Elastisitas Bahan ( $E$ ) = 230 GPa
- Angka *Poisson* ( $\nu$ ) = 0.3
- Tegangan *Yield* ( $\sigma_y$ ) = 235 MPa
- Massa Jenis = 7.85 g / cm<sup>3</sup>
- *Tangent modulus* = 1 x 10<sup>9</sup> Pa

- *Ultimate Tensile Strength* = 510 Mpa

Benda kerja dimodelkan secara *bilinear isotropic hardening* karena digunakan untuk menganalisis plastisitas yang dialami oleh benda kerja akibat regangan yang besar. Kurva tegangan regangan bilinear dihasilkan dari inputan *yield strength* dan *tangent modulus*. Kemiringan segmen pertama dari kurva setara dengan modulus young sementara segmen kedua setara *tangent modulus*. Berikut merupakan hubungan tegangan regangan model FEM (*Finite Element Methode*) dari *stainless steel SUS304* (Ansys, 2013).

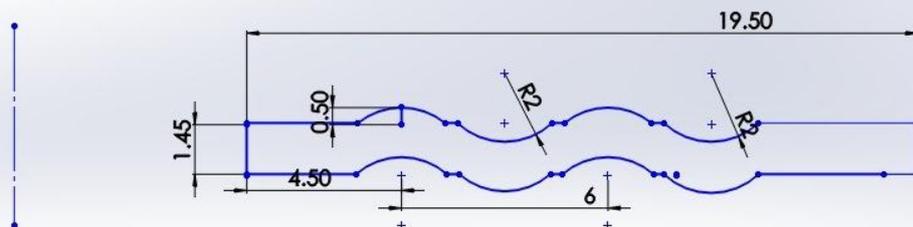


Gambar 3.1 Diagram tegangan – regangan *stainless steel SUS304*.  
Sumber: *Software (FEM) Finite Element Methode*.

### 3.5 Geometri Plat dan Benda Kerja

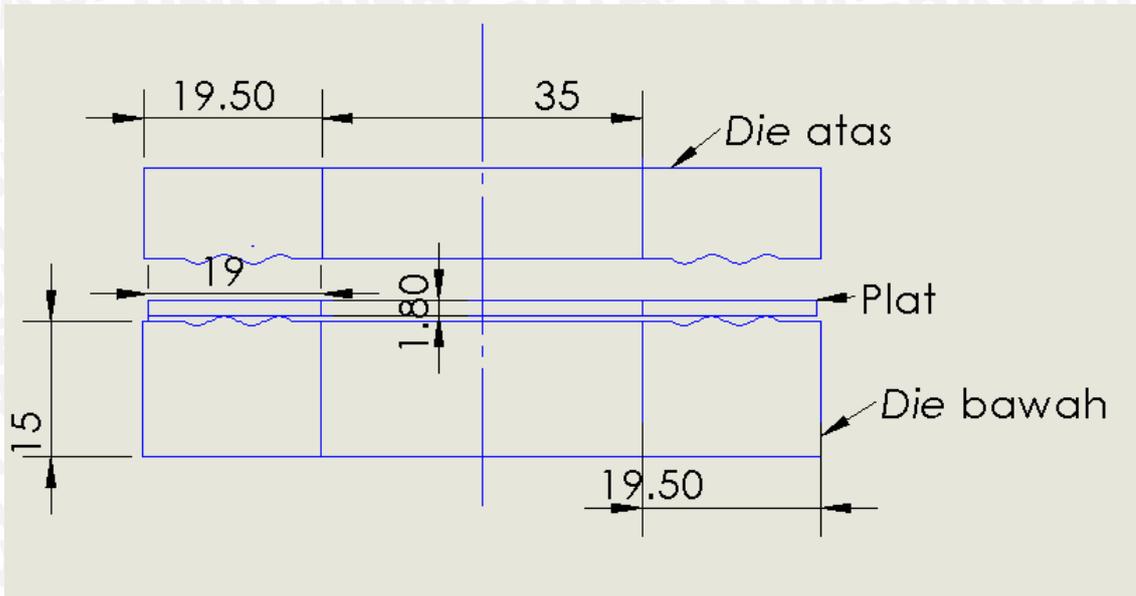
Plat yang akan dihasilkan dari proses simulasi mempunyai ukuran (dalam mm) sebagai berikut:

#### Axisymmetric Model



Gambar 3.2 Dimensi plat yang akan dihasilkan dari proses *press forming*.

Geometri benda kerja yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Gambar benda kerja.

### 3.7 Rancangan Percobaan

Adapun rancangan percobaan yang akan dilakukan ditabelkan sebagai berikut:

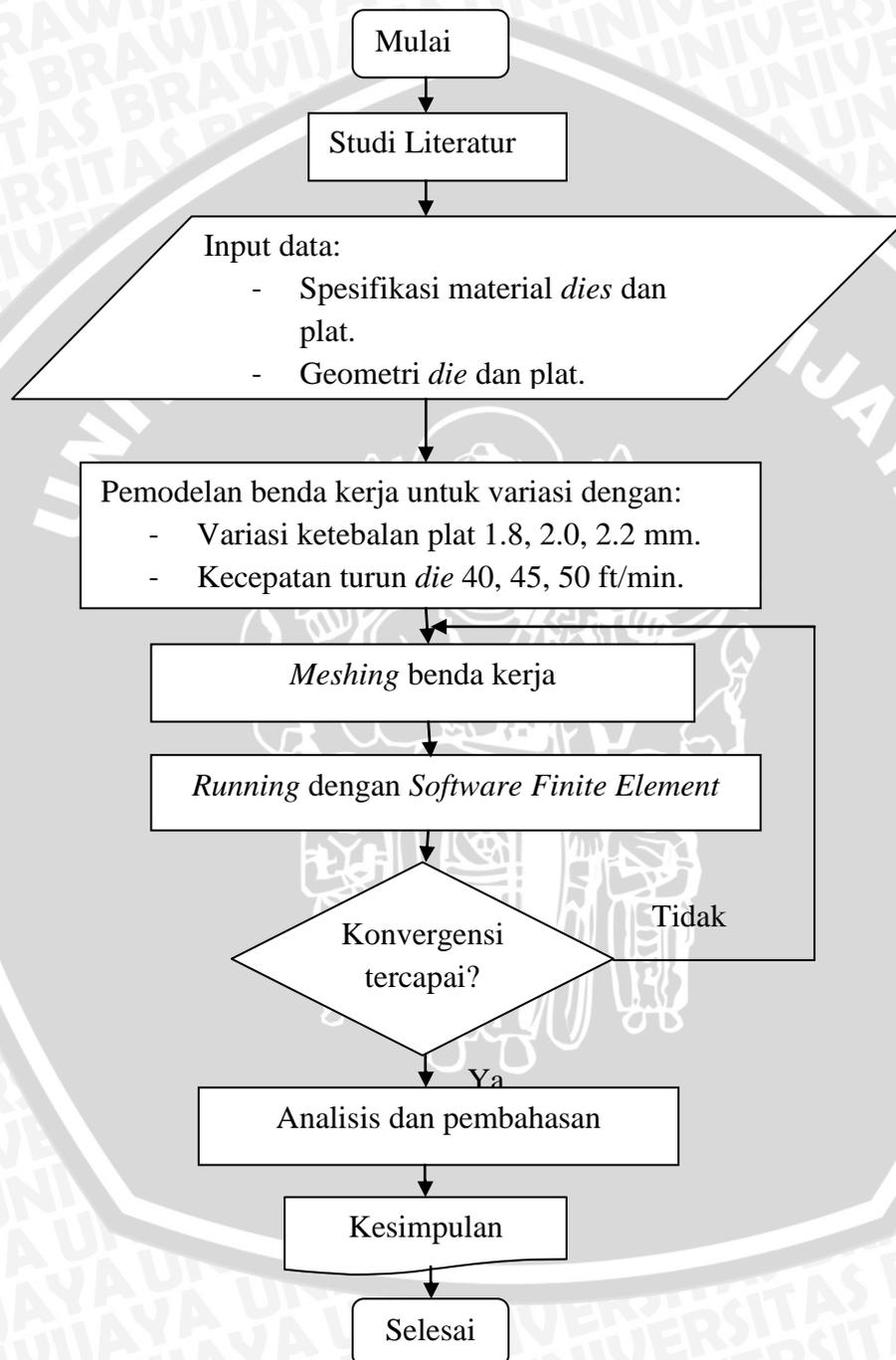
Tabel 3.1 Rancangan penelitian.

Kecepatan <i>Die</i>	Ketebalan Plat		
	1.8	2	2.2
40	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>
45	S <sub>21</sub>	S <sub>22</sub>	S <sub>23</sub>
50	S <sub>31</sub>	S <sub>32</sub>	S <sub>33</sub>

- S<sub>xy</sub> adalah *springback* yang terjadi, dimana x adalah variasi kecepatan turun *die*, dan y adalah variasi tebal plat yang digunakan.
- Satuan tebal plat menggunakan millimeter sedangkan satuan untuk kecepatan turun *die* adalah ft/min.

### 3.7 Diagram Alir Peneletian

Pemodelan 3 dimensi proses *press forming* dilakukan dengan menggunakan bantuan komputer. Diharapkan dari pemodelan ini dapat memberikan suatu pendekatan terhadap eksperimen yang sesungguhnya. Langkah-langkah yang dilakukan dijelaskan dalam diagram alir dibawah ini:



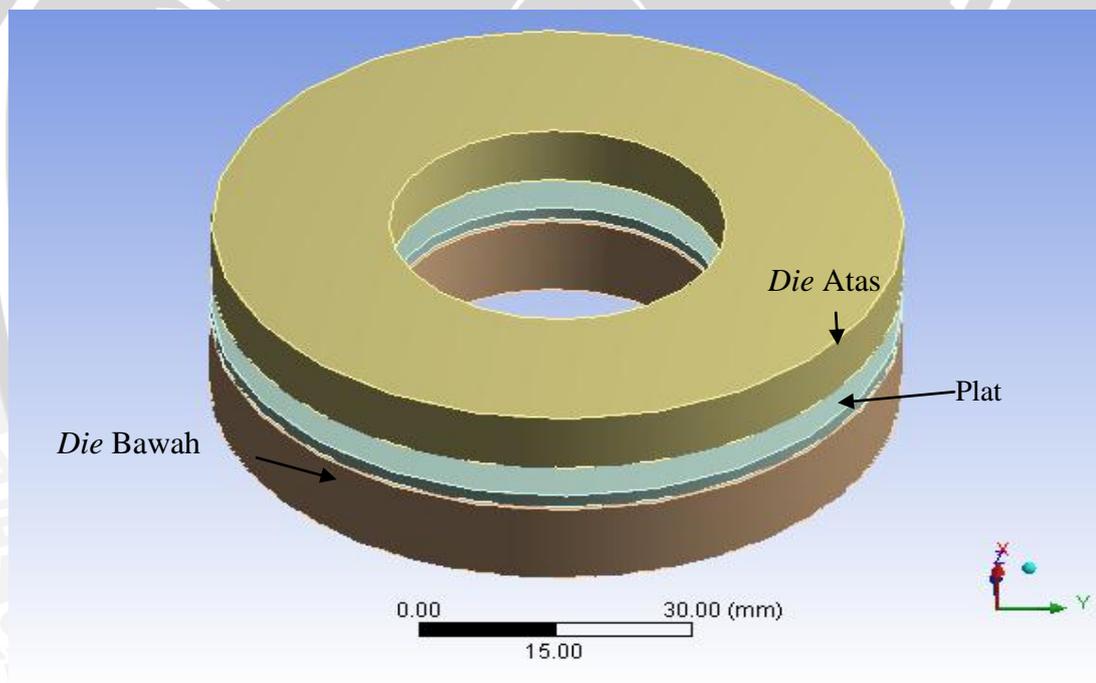
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemodelan

Proses *press forming* dimodelkan secara tiga dimensi karena memiliki bentuk yang rumit. Tahap awal proses simulasi dimulai dengan menggambar tiap-tiap bagian yang berperan penting dalam proses *press forming*, seperti *die*, baik *die* atas dan *die* bawah kemudian pelat yang akan menjadi spesimen dari proses *press forming* ini melalui media CAD (*Computer-Aided Design*). Kemudian setelah tiap-tiap part di *assembly* kemudian disimpan dengan format IGES, yang kemudian diimpor ke *software Finite Element Methode (FEM)* dengan analisis *system explicit dynamics* seperti pada gambar 4.1.

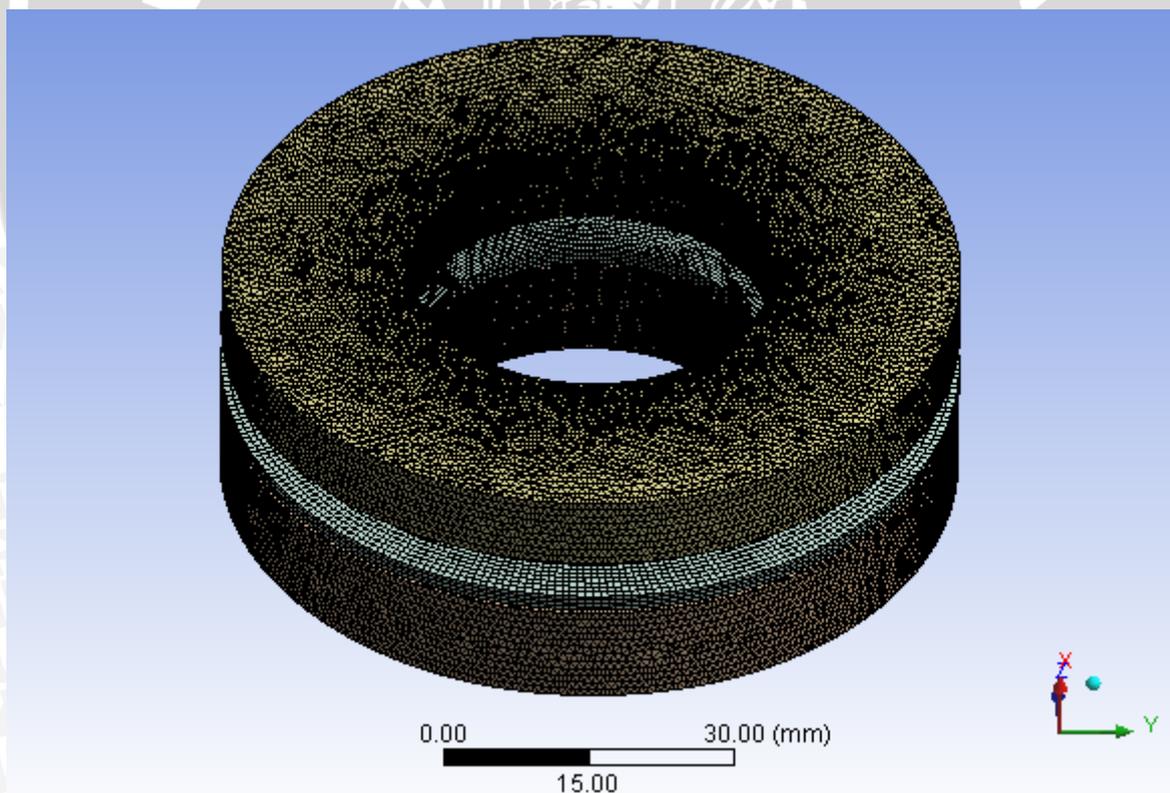


Gambar 4.1. Pemodelan proses *press forming*.

Tahap berikutnya adalah memasukkan data material tiap-tiap bagian yaitu *stainless steel SUS304* untuk plat dan *steel SS400* untuk *die* atas dan *die* bawah. Plat dimodelkan secara *bilinear isotropis* sedangkan *die* dimodelkan sebagai material rigid. Kemudian dilakukan proses *meshing*, yaitu proses membagi benda kerja dalam penelitian ini yaitu, *die* atas, *die* bawah dan plat menjadi elemen-elemen yang lebih

kecil. Semakin kecil elemen yang dibentuk maka semakin besar pula persamaan yang harus diselesaikan oleh *software*, sehingga beban komputer akan semakin besar namun nantinya hasil yang diperoleh juga akan semakin akurat.

Pada *software* FEM (*Finite Element Methode*) *meshing* dapat dilakukan dengan dua cara yaitu, manual dan otomatis. *Meshing* secara manual adalah dengan mendiskritisasikan elemen yang akan terbentuk dengan input tipe, ukuran dan jumlah elemen sesuai yang diinginkan. Sedangkan *meshing* secara otomatis dengan memilih tipe elemen untuk ukuran dan jumlah elemen yang ditentukan secara otomatis oleh *software*. Dalam hal ini *software* FEM (*Finite Element Methode*) akan menentukan sendiri secara otomatis berdasarkan permodelan benda kerja dan spesifikasi komputer yang dipakai. Dalam penelitian ini digunakan *meshing* secara otomatis dengan jenis elemen *explicit* dan tipe elemen *tetrahedral*. Hasil *meshing* pada *software* FEM dapat dilihat pada gambar 4.2.

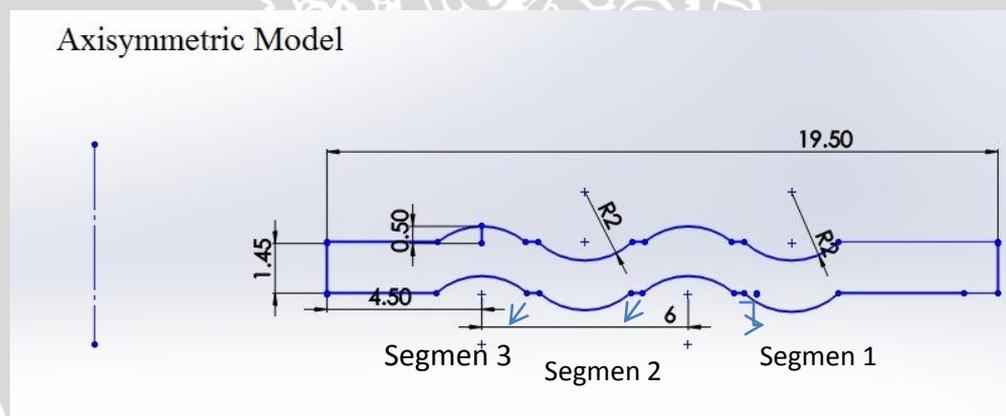


Gambar 4.2. Hasil *meshing* pada benda kerja.

Kemudian agar benda kerja tidak bergeser dalam sumbu x setelah terjadinya proses *press forming* maka perlu adanya *fixed support* pada *die* bawah sehingga ketika terjadi *press forming* yang bergeser dari kedudukannya semula hanya *die* atas dan plat yang kemudian plat akan terdeformasi dan terdesak mengisi celah-celah yang ada di *die* sesuai bentuk *new corrugated metal gasket 25A-size*. Kemudian mengatur *displacement* dalam sumbu x sesuai arah turunnya *die* atas menumbuk plat agar turunnya *die* sesuai dengan *tabular data*,

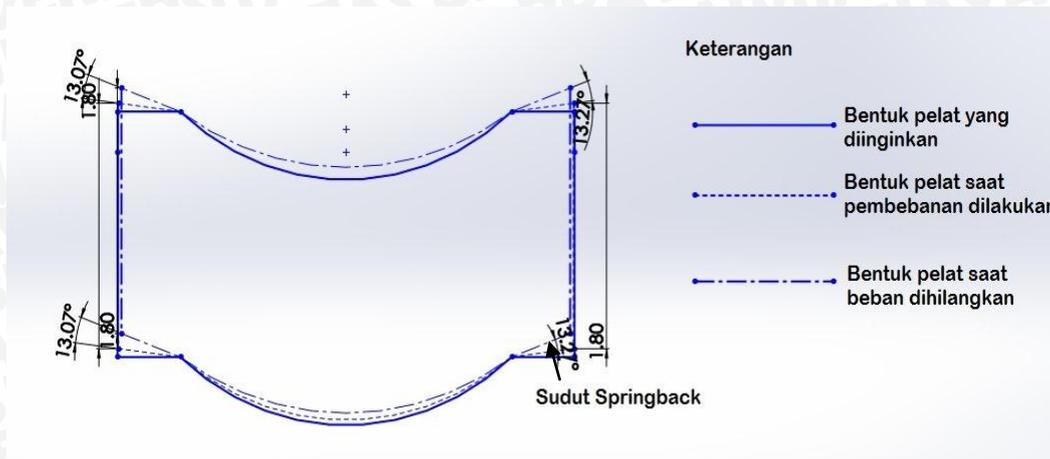
#### 4.2 Data Hasil Simulasi

Proses simulasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh tebal plat dan kecepatan awal terhadap terjadinya *springback* pada proses *press forming corrugated metal gasket 25A-size*. Agar lebih mempermudah, hasil plat hasil simulasi dipotong melintang dan kemudian dibagi menjadi beberapa segmen yang akan dicermati untuk melihat besar sudut *springback* yang terjadi seperti pada beberapa segmen seperti pada gambar 4.3 dibawah ini.



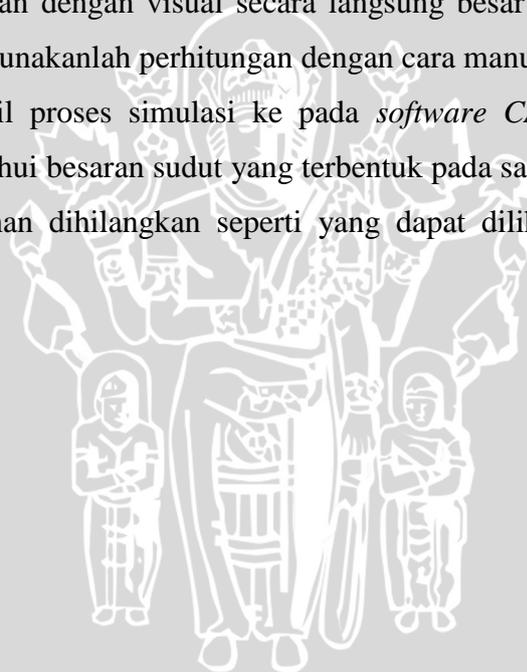
Gambar 4.3. Penampang melintang *new corrugated metal gasket 25A-size*.

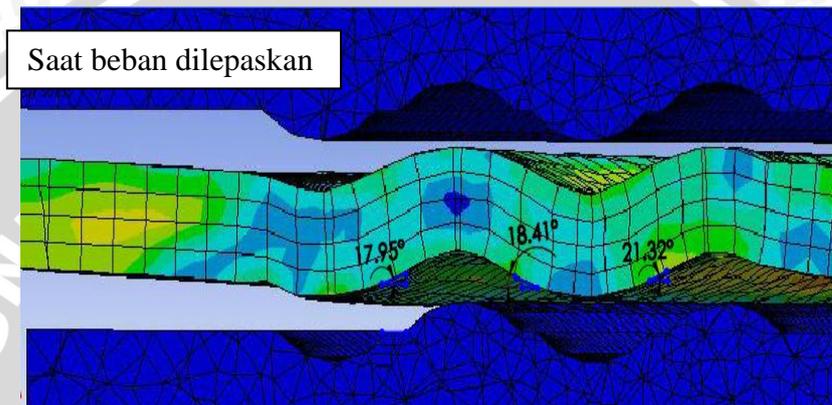
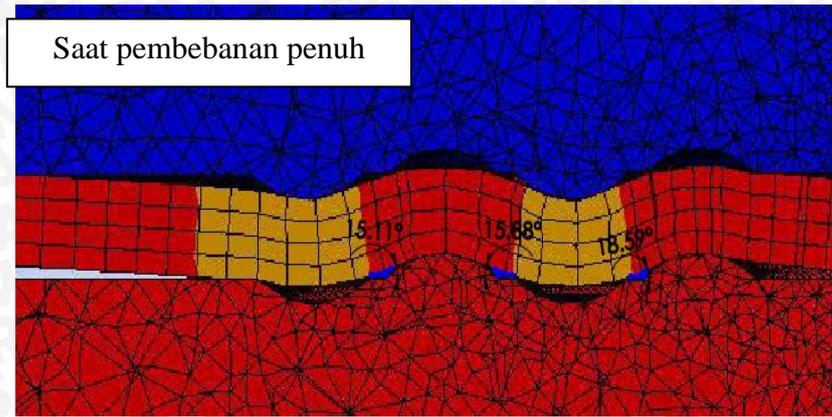
Sudut *springback* yang terjadi dapat dihitung dengan cara mengurangi sudut *bending* saat pembebanan penuh dengan sudut akhir penyimpangan setelah beban dihilangkan. Sehingga didapatkan hasil penyimpangan sudut yang terjadi setelah pembebanan dihilangkan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.4.



**Gambar 4.4.** Perbandingan bentuk plat saat pembebanan penuh, ketika beban dihilangkan dan bentuk yang diinginkan.

*Software FEM (Finite Element Methode)* yang digunakan tidak menyediakan fasilitas yang menampilkan dengan visual secara langsung besar sudut penyimpangan yang terjadi, sehingga digunakanlah perhitungan dengan cara manual. Yaitu dengan cara mengimport gambar hasil proses simulasi ke pada *software CAD (Computer-Aided Design)* agar dapat diketahui besaran sudut yang terbentuk pada saat pembebanan penuh dan pada saat pembebanan dihilangkan seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut:





Gambar 4.5 Hasil simulasi menggunakan *software* FEM (*Finite Element Methode*) pada saat pembebanan penuh dan saat beban dihilangkan pada spesimen 1.

Dan kemudian menghitung selisih antara sudut saat pembebanan dan saat beban dilepaskan. Sehingga didapatkan data besar sudut *springback* yang terjadi seperti pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data perubahan sudut saat pembebanan penuh dan saat beban dilepaskan

Spesimen 1 (t plat 1.8 mm, v die 40 ft/min)			
Segmen	Sudut Saat Pembebanan (°)	Sudut Saat <i>Unloading</i> (°)	Sudut <i>Springback</i> (°)
1	15.11	17.95	2.84
2	15.88	18.4	2.52
3	18.59	21.23	2.64

Spesimen 2 (t plat 1.8 mm, v die 45 ft/min)			
Segmen	Sudut Saat Pembebanan ( <sup>o</sup> )	Sudut Saat <i>Unloading</i> ( <sup>o</sup> )	Sudut <i>Springback</i> ( <sup>o</sup> )
1	14.69	17.11	2.42
2	16.81	18.9	2.09
3	18.48	20.75	2.27

Spesimen 3 (t plat 1.8mm, v die 50 ft/min)			
Segmen	Sudut Saat Pembebanan ( <sup>o</sup> )	Sudut Saat <i>Unloading</i> ( <sup>o</sup> )	Sudut <i>Springback</i> ( <sup>o</sup> )
1	14.16	15.88	1.72
2	15.09	16.51	1.42
3	18.29	20.1	1.81

Spesimen 4 (t plat 2mm, v die 40 ft/min)			
Segmen	Sudut Saat Pembebanan ( <sup>o</sup> )	Sudut Saat <i>Unloading</i> ( <sup>o</sup> )	Sudut <i>Springback</i> ( <sup>o</sup> )
1	17.23	19.65	2.42
2	18.64	20.47	1.83
3	19.21	21.3	2.09

Spesimen 5 (t plat 2 mm, v die 45 ft/min)			
Segmen	Sudut Saat Pembebanan ( <sup>o</sup> )	Sudut Saat <i>Unloading</i> ( <sup>o</sup> )	Sudut <i>Springback</i> ( <sup>o</sup> )
1	16.98	19.08	2.1
2	17.12	18.57	1.45
3	18.33	19.91	1.58

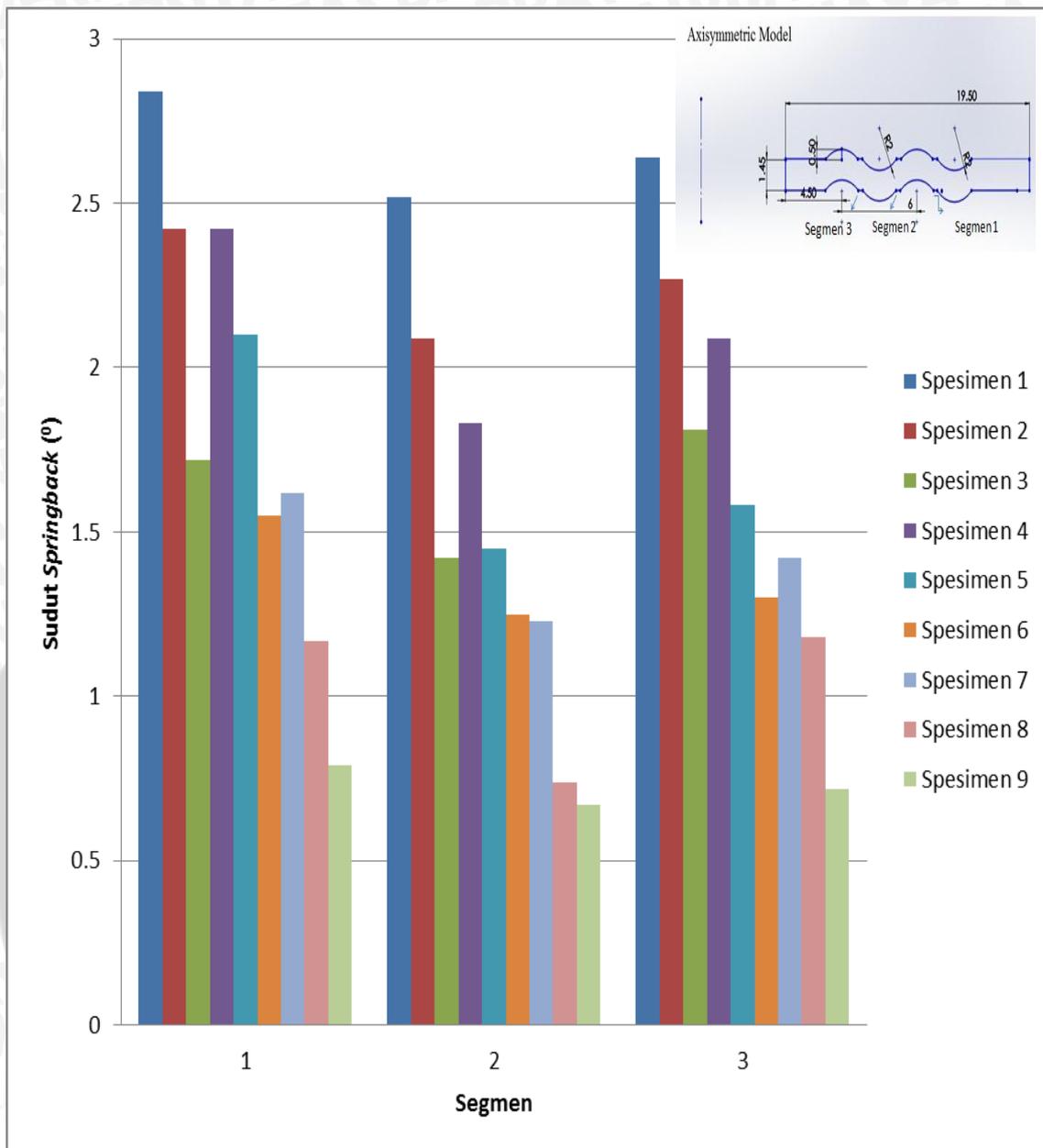
Spesimen 6 (t plat 2 mm, v die 50 ft/min)			
Segmen	Sudut Saat Pembebanan ( <sup>o</sup> )	Sudut Saat <i>Unloading</i> ( <sup>o</sup> )	Sudut <i>Springback</i> ( <sup>o</sup> )
1	16.79	18.34	1.55
2	16.87	18.12	1.25
3	17.67	18.97	1.3

Spesimen 7 (t plat 2.2 mm, v die 40 ft/min)			
Segmen	Sudut Saat Pembebanan ( <sup>o</sup> )	Sudut Saat <i>Unloading</i> ( <sup>o</sup> )	Sudut <i>Springback</i> ( <sup>o</sup> )
1	16.3	17.92	1.62
2	18.36	19.59	1.23
3	18.23	19.65	1.42

Spesimen 8 (t plat 2.2 mm, v die 45 ft/min)			
Segmen	Sudut Saat Pembebanan ( <sup>o</sup> )	Sudut Saat <i>Unloading</i> ( <sup>o</sup> )	Sudut <i>Springback</i> ( <sup>o</sup> )
1	15.81	16.98	1.17
2	17.76	18.5	0.74
3	17.64	18.82	1.18

Spesimen 9 (t plat 2.2 mm, v die 50 ft/min)			
Segmen	Sudut Saat Pembebanan ( <sup>o</sup> )	Sudut Saat <i>Unloading</i> ( <sup>o</sup> )	Sudut <i>Springback</i> ( <sup>o</sup> )
1	13.04	13.87	0.83
2	14.69	15.36	0.67
3	16.63	17.35	0.72

Dari data tabel 4.1 didapatkan perbandingan sudut *springback* yang terjadi setelah proses simulasi *press forming corrugated metal gasket 25A-size* yang terjadi pada tiap segmen dari gasket dari tiap-tiap spesimen gasket hasil simulasi yang ditunjukkan pada grafik 4.6.



Gambar 4.6. Grafik perbandingan besar sudut *springback* tiap segmen dari semua spesimen.

Dari grafik 4.6 dapat dilihat bahwa spesimen 1 memiliki nilai *springback* yang lebih besar pada tiap-tiap segmen yang ada dari pada spesimen yang lain, hal ini terjadi karena dengan semakin rendah nilai kecepatan turun *die*, maka energi kinetik yang diberikan *die* untuk menumbuk plat akan semakin kecil, menyebabkan energi yang diserap plat agar terdeformasi secara plastis lebih kecil dari pada segmen yang sama pada variasi kecepatan yang lebih besar, sehingga daerah elastis masih memiliki kemampuan untuk kembali ke bentuk semula sehingga *springback* yang terjadi lebih tinggi nilainya dari spesimen dengan kecepatan turun *die* yang lebih tinggi, begitu juga

dengan variasi tebal plat yang dimiliki oleh spesimen 1, dengan tebal plat 1.8 mm maka regangan plastis yang terbentuk saat proses penekanan lebih rendah dari pada spesimen dengan tebal plat 2, 2.2 mm. Proses *press forming* umumnya adalah suatu proses pemberian beban eksternal pada suatu benda kerja dengan garis kerja, arah dan besar tertentu, sebagai akibatnya di dalam benda kerja tersebut akan tersimpan energi internal yang di dalam ilmu mekanika dikenal sebagai energi regangan (*strain energy*). Oleh karena itu perlu dicari nilai energi yang diserap (*internal energy*) pada setiap spesimen hasil proses *press forming* untuk mengetahui seberapa besar deformasi yang terjadi, dari proses simulasi proses *press forming new corrugated metal gasket 25A-size* menggunakan *software FEM (Finite Element Methode)* diperoleh kesimpulan bahwa tingginya nilai *springback* yang terjadi pada tiap segmen juga dipengaruhi oleh energi yang diserap (*internal energy*) oleh plat pada saat proses *press forming*, yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Energi yang diserap oleh tiap spesimen dari setiap spesimen.

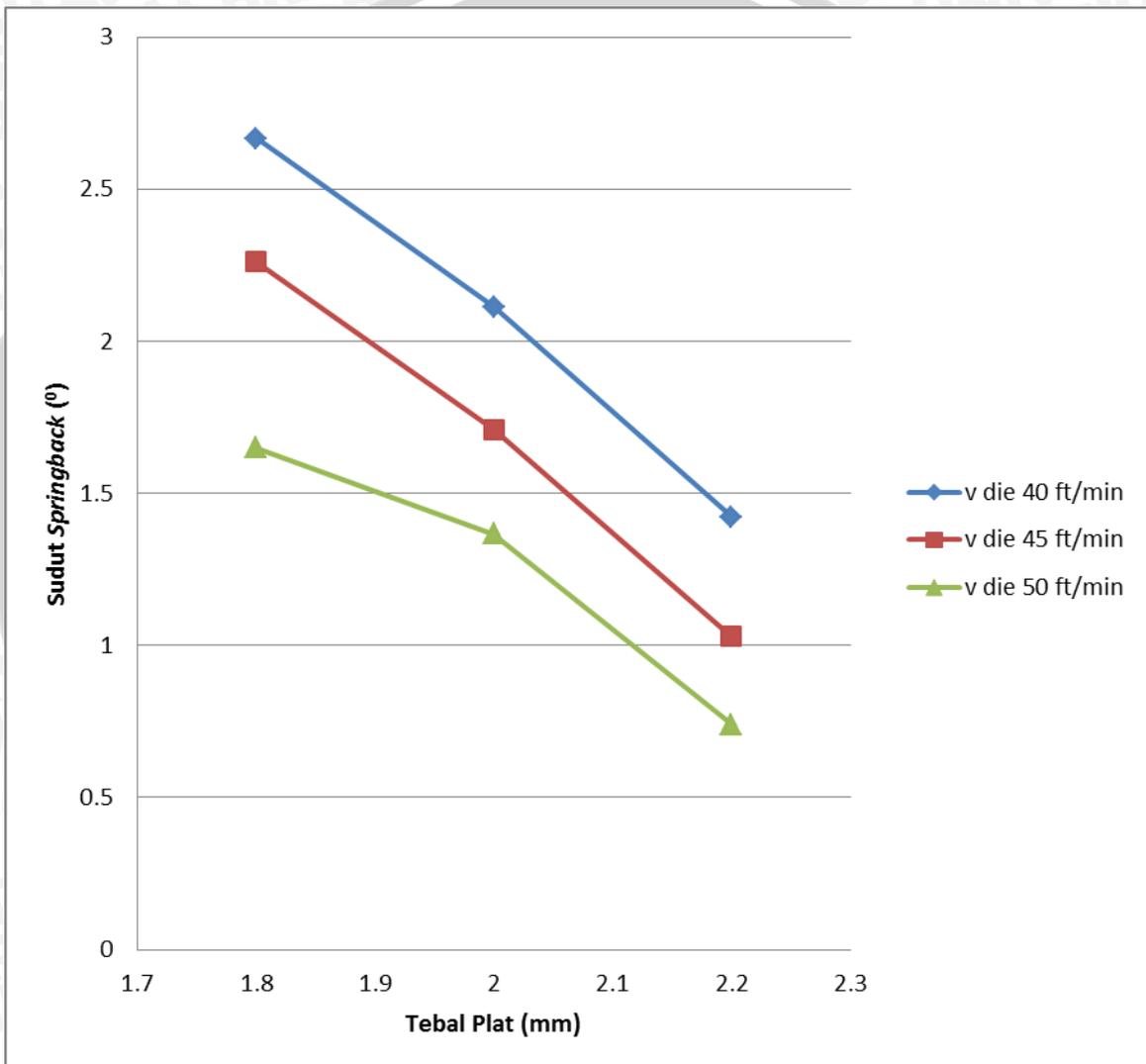
Spesimen	<i>Internal Energy (Joule)</i>
1	211.12
2	239.87
3	252.52
4	310.270
5	340.88
6	360.41
7	380.43
8	542.1
9	605.81

Dari tabel 4.2 didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi energi yang diserap (*internal energy*) maka daerah plastis yang terbentuk pada plat juga semakin besar dan memperkecil daerah yang masih mempunyai kemampuan elastis, sehingga mampu menghalangi daerah elastis yang cenderung ke bentuk semula, menyebabkan nilai *springback* yang terjadi pada plat setelah proses *forming* semakin berkurang.

### 4.3 Pembahasan

#### 4.3.1 Hubungan Antara Tebal Plat dan Besar Sudut *Springback* yang Terjadi

Untuk mengetahui pengaruh dari variasi tebal plat terhadap sudut *springback* yang terjadi pada plat *corrugated metal gasket 25A-size* hasil simulasi komputer maka diperlukan perbandingan hasil antara tiap spesimen dalam bentuk grafik, seperti pada gambar grafik 4.7 yang menunjukkan hubungan tebal plat terhadap sudut *springback*.



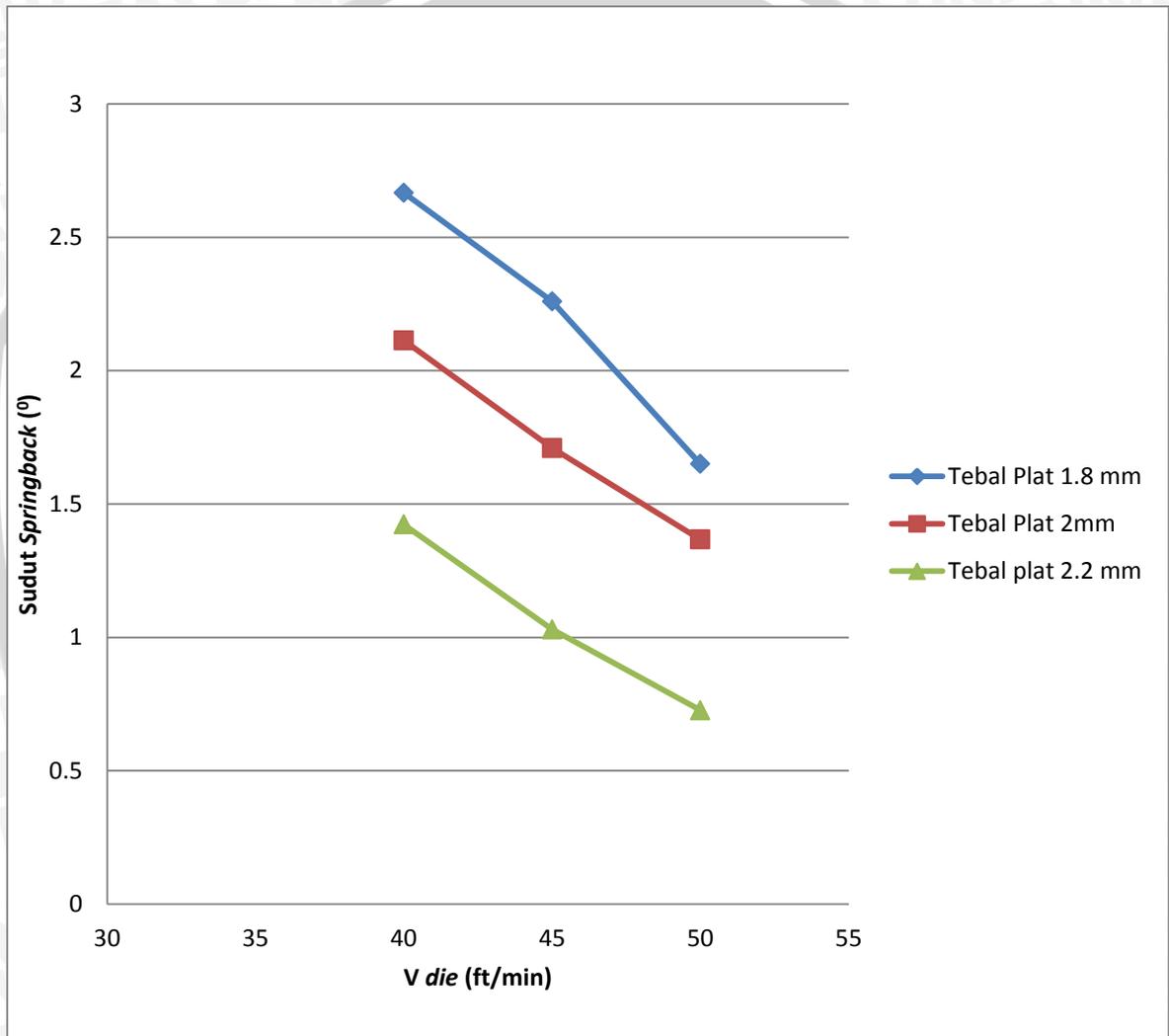
Gambar 4.7. Grafik hubungan tebal plat terhadap sudut *springback*.

Dari gambar grafik 4.7 terlihat bahwa bertambahnya tebal plat akan diikuti dengan menurunnya besar sudut *springback*. Tebal plat yang divariasikan disini yaitu 1.8, 2, 2.2 mm dengan kecepatan turun *die* sebesar 40, 45, 50 ft/min. dari kesemua variasi kecepatan *die*, sudut *springback* terbesar terjadi pada ketebalan pelat 1.8 mm,

sebaliknya tebal plat 2,2 mm memberikan harga *springback* yang kecil. Sesuai dengan persamaan  $\epsilon_b \approx \frac{\gamma}{\rho}$ , besar regangan serat sebanding dengan jarak serat tersebut dari sumbu netral (mengindikasikan tebal plat yang semakin besar), regangan yang terjadi pun juga akan semakin besar. Pada kecepatan yang konstan, penambahan besar regangan paling banyak terjadi pada sisi permukaan luar dan dalam plat (mengalami regangan karena tegangan tekan) sehingga daerah yang dibengkokkan yang terdeformasi plastis akan semakin luas. Dikarenakan *springback* adalah pergerakan yang terjadi akibat pencapaian keseimbangan antara daerah plastis dan elastis, penambahan daerah plastis akibat penambahan tebal akan semakin menghambat pemulihan karena kemampuan elastis yang terjadi, atau dengan kata lain sudut *springback* juga akan semakin kecil. Secara matematis, persamaan  $\Delta\theta \approx -3 \frac{S}{E'} \frac{\rho_0}{t} \theta$  juga membuktikan bahwa penambahan tebal plat pada radius *die* yang konstan (dalam hal ini radius *die* sudah *fix* tidak dapat dirubah) maka akan menurunkan rasio *bending* ( $\frac{\rho_0}{t}$ ). Penurunan rasio *bending* tersebut sebanding dengan penurunan selisih sudut antara sudut *bending* yang terbentuk saat beban penuh dengan sudut akhir setelah beban dilepaskan ( $\Delta\theta$ ). Sehingga ditarik kesimpulan bahwa penambahan tebal plat akan mempengaruhi besar *springback*.

### 4.3.2 Hubungan antara Kecepatan Turun *Die* atas dan Besar Sudut *Springback* yang Terjadi

Untuk mengetahui pengaruh dari variasi kecepatan turun die terhadap sudut *springback* yang terjadi pada plat *corrugated metal gasket 25A-size* hasil simulasi komputer maka diperlukan perbandingan hasil antara tiap spesimen dalam bentuk grafik, seperti pada gambar grafik 4.8 yang menunjukkan hubungan kecepatan turun *die* terhadap sudut *springback*.



Gambar 4.8. Grafik hubungan kecepatan turun *die* terhadap sudut *springback*.

Dari gambar grafik 4.8 terlihat bahwa bertambahnya kecepatan turun *die* atas akan juga menurunkan nilai sudut *springback* yang dihasilkan. Kecepatan turun *die* yang divariasikan disini antara lain adalah 40 ft/min, 45 ft/min, 50 ft/min. Pada ke semua variasi tebal plat, sudut *springback* yang terbesar terjadi pada kecepatan turun *die*

40 ft/min dan tebal plat sebesar 1.8 mm. dengan tebal plat konstan maka semakin tinggi nilai kecepatan turun *die* akan menurunkan nilai *springback* yang terjadi setelah proses *press forming*. Hal ini terjadi karena energi kinetik yang ditimbulkan semakin besar. Untuk besar energi kinetik yang didapat ada pada tabel 4.3.

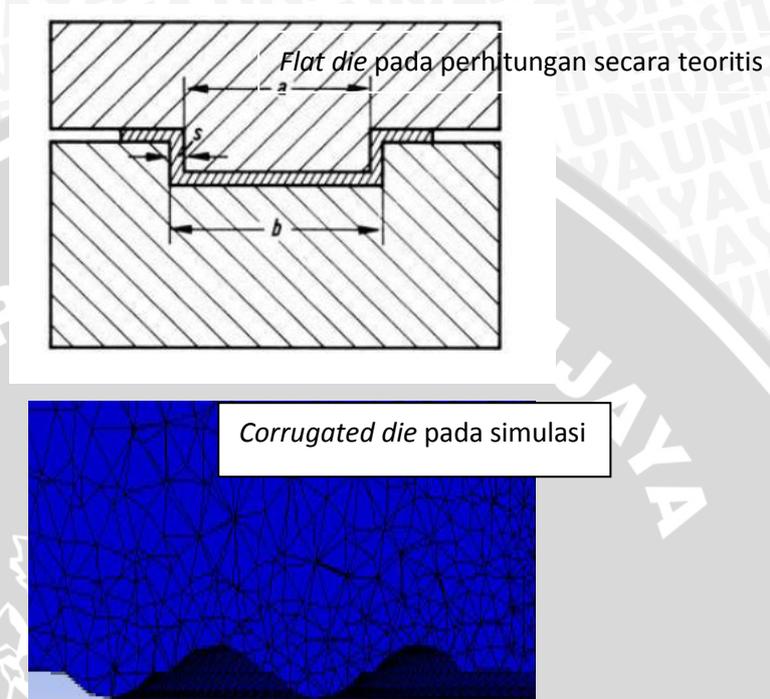
Tabel 4.3. Energi kinetik, momentum dan gaya *die* dari setiap variasi kecepatan hasil dari simulasi komputer.

Spesimen	Energi Kinetik (J)	Impuls (Ns)	$\Delta t$ (s)	Gaya <i>Die</i> (N)
1	1097.4	320.26	0.0239	13416.84122
2	1353.4	466.07	0.0213	21912.08275
3	1825	583.71	0.0191	30576.7417
4	1117.9	546.54	0.0239	22896.52283
5	1765.4	678.72	0.0213	31909.73202
6	1865.3	723.31	0.0191	37889.47093
7	1860	688.11	0.0239	28827.39841
8	1863	784.26	0.0213	36871.65021
9	1910	883.76	0.0191	46294.39497

Dari data yang didapat disimpulkan bahwa ketika semakin besar kecepatan semakin besar pula energi kinetik dan impuls (perubahan momentum) yang dihasilkan oleh *die* sehingga menyebabkan daerah plat yang terdeformasi secara plastis akan semakin besar, sehingga ketika daerah yang masih memiliki kemampuan elastis akan mencoba kembali ke bentuk semula akan ditahan oleh daerah yang terdeformasi plastis sehingga sudut *springback* yang terjadi juga semakin kecil. Dari perubahan momentum (impuls) dapat dihitung gaya *die* pada saat menumbuk plat dengan rumus  $F=I/\Delta t$  sehingga diperoleh gaya yang diberikan oleh *die* pada masing-masing variasi tebal plat dan kecepatan turun *die* hasil simulasi yaitu, 30576.74 N untuk plat dengan tebal 1.8 mm, 37889.47 N untuk plat 2 mm dan 47970.665 N. Hasil dari simulasi diatas berbeda dengan perhitungan gaya *forming*  $F=Stb$ . Pada perhitungan gaya *forming*, gaya maksimum yang diberikan adalah 40047.81 N untuk plat 1.8 mm, 44539.05 N untuk plat 2 mm, dan 48990.7 N untuk plat 2.2 mm. Dari uraian perhitungan gaya diatas terdapat perbedaan antara perhitungan dengan simulasi, hal ini dapat terjadi karena perhitungan gaya *forming* menentukan gaya maksimum yang akan diberikan pada plat, sedangkan pada simulasi besar input gaya adalah dari besar kecepatan turun *die* dan berat *die* itu sendiri, sehingga menghasilkan perbedaan gaya yang dihasilkan waktu *die*

repository.ub.ac.id

menumbuk pada plat. Selain itu perbedaan besar gaya yang didapatkan antara perhitungan secara teoritis dengan simulasi komputer karena perbedaan bentuk *die* yang digunakan pada perhitungan secara teoritis menggunakan *die* berbentuk *flat* sedangkan pada simulasi *die* yang digunakan berbentuk *corrugated*, seperti yang ditunjukkan gambar 4.9.



Gambar 4.9 Perbedaan bentuk *die* yang digunakan dalam perhitungan secara teoritis dan hasil dari simulasi komputer.

Karena *die* berbentuk *corrugated* memiliki area yang kontak dengan spesimen lebih sedikit dibanding dengan *flat die*, maka gaya yang dihasilkan akan lebih kecil dibandingkan *flat die*, sesuai persamaan gaya pada luas permukaan yaitu  $P=F/A$  dimana semakin besar luas permukaan maka makin besar gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan tekanan yang dapat mendeformasi spesimen. Oleh karena itu gaya yang dihasilkan pada proses simulasi dengan bantuan komputer lebih kecil dari perhitungan secara teoritis.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Tebal plat 1.8 mm memberikan nilai sudut *springback* yang paling besar dan akan berkurang seiring penambahan tebal plat karena pertambahan tebal akan memperbesar regangan plastis sehingga menghambat pemulihan elastis saat beban dilepas, sehingga *springback* yang terjadi semakin kecil.
- Pertambahan kecepatan turun *die* akan meningkatkan energi kinetik *die* dan momentum yang terjadi pada plat, sehingga daerah plat yang terdeformasi plastis juga semakin besar dan menghalangi daerah elastis kembali ke bentuk semula, sehingga *springback* semakin berkurang.
- Spesimen terbaik adalah spesimen 9 karena mendekati bentuk geometri yang diinginkan, dimana dari bentuk geometri *new corrugated metal gasket* mempunyai keistimewaan yang dapat menghasilkan *spring effect* yang dapat mereduksi terjadinya kebocoran akibat mengendurnya baut pada *flange*.

#### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai pemilihan model material lain untuk mensimulasikan gejala *springback* ini sehingga didapatkan prediksi yang lebih akurat.
2. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan secara nyata agar hasil yang didapat lebih valid.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ambiyar, 2008: Teknik Pembentukan Plat Jilid 1 untuk SMK; Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Departemen Pendidikan Nasional.
- Ariadi, Yudhi; 1996: *Pengaruh Jari-jari Kelengkungan Pada Penggulungan Ulang Terhadap Perubahan Kemampuan Bending Plat Baja Hasil Proses Pengerolan Panas*; Skripsi; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Choiron, Moch Agus, Haruyama Shigeyuki and Kaminishi, Ken 2011: *Optimum Design of New Metal Gaskets Considering Plastics Contact Stress*; International Journal of Modeling and Optimization, Vol 1 No. 2.
- Eary, Donal F. and Reed, E. A; 1974: *Techniques of Pressworking Sheet Metal*; An Engineering Approach to Die Design, 2<sup>nd</sup> ed.
- Marciniak, Z; 2002: *Mechanics of Sheet Metal Forming*; Butterworth-Heinemann, London.
- Moaveni, Saeed. 1999. *Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS*. New Jersey : Prentice Hall.
- <http://www.faalamsyah.lecture.ub.ac.id/tag/gasket/>(diakses 17 September 2012).
- <http://www.lamons.com/product/corrugated-metal-gasket.html>(diakses 28 September 2012).
- <http://www.matweb.com/search/Datasheet.aspx/MatGUID=abc4416b0f8b490387e3c922237098da&ckck=1> (diakses 9 April 2012).
- <http://www.mediainfo.org/2010/09/JIS-g-3101-ss400-steel-properties-spec.html> (diakses 9 April 2012).
- <http://www.metalforginginc.com/about/definition.shtml>(diakses pada 17 September 2012).
- <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=caff8670b59f4e0ca206dc37e25ce051>(diakses 17 September 2012).
- <http://www.sealanddesign.com/category/category/Gasket-Material/3.html> (diakses 20 September 2012).
- Tschaetsch, Heinz; 2005: *Metal Forming Practice*; Processes-Machine-Tools; Springer Berlin Heidenberg, New York.
- Widiarko, Kiki Amban; 2006: *Pengaruh Radius Die dan Tebal Plat Terhadap Springback Pada Aluminium Alloys SIS2-0 Dengan Simulasi Komputer*; Skripsi; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## LAMPIRAN



Lampiran 1. Data Material

**Stainless Steel SUS304**

<i>Density (kg/m<sup>3</sup>)</i>	8000
<i>Poisson's Ratio</i>	0.3
<i>Young Modulus (GPa)</i>	210
<i>Yield Strength (MPa)</i>	398.83
<i>Shear Modulus (GPa)</i>	86
<i>Tangent Modulus (MPa)</i>	1900,53
<i>Hardness (Brinell)</i>	201
<i>Ultimate Tensile Strength (UTS) (Mpa)</i>	520
<i>Thermal conductivity (W/m-K)</i>	16.2
<i>Electrical Resistivity (ohm-cm)</i>	0.72

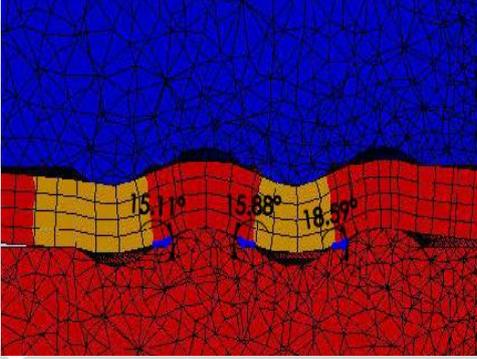
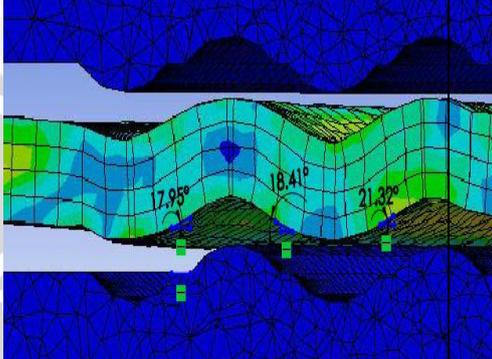
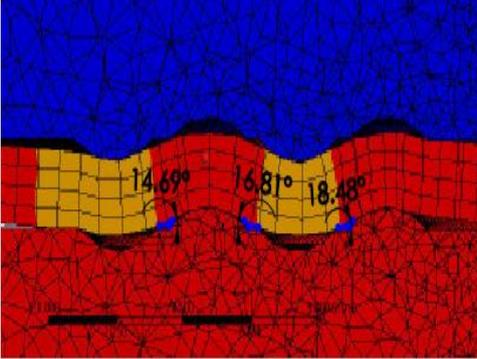
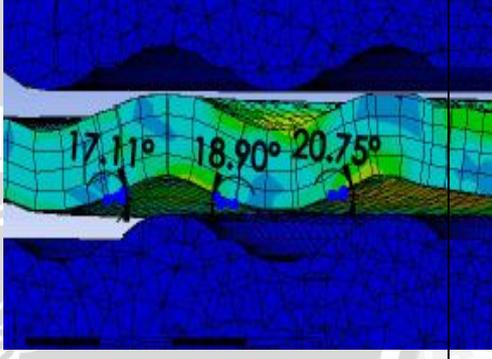
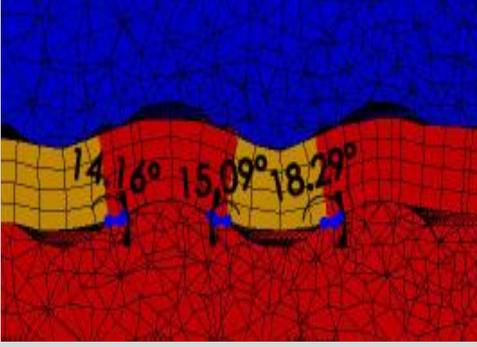
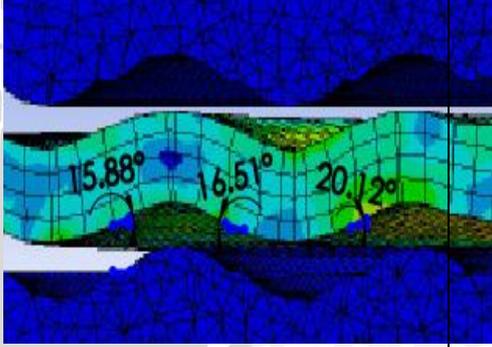
Sumber: matweb.com & Choiron, Moch Agus (2012)

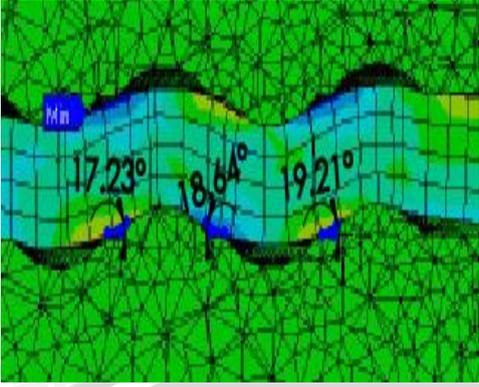
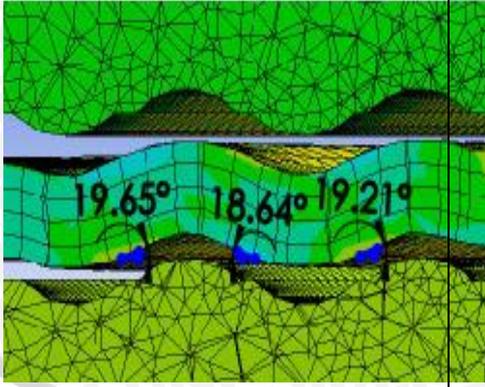
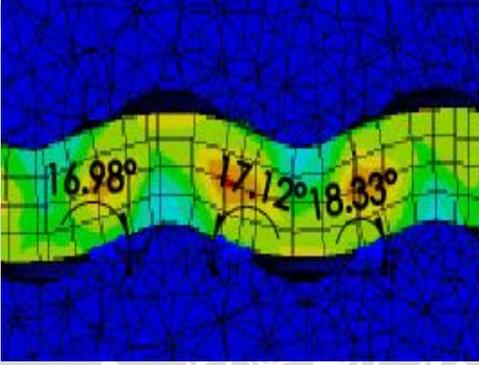
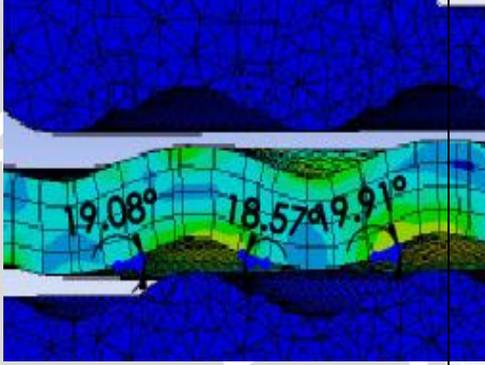
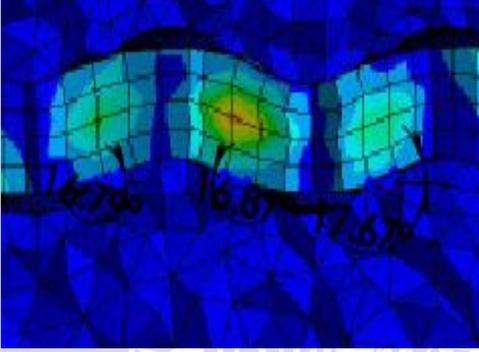
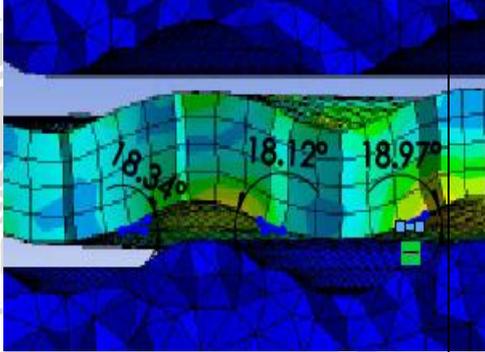
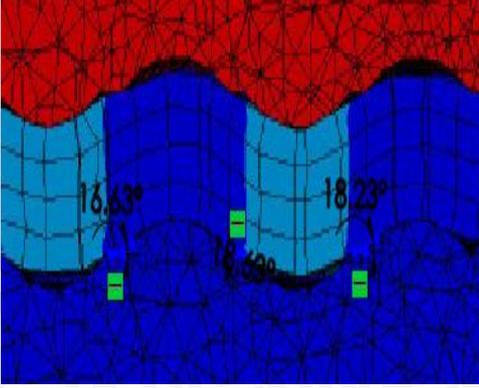
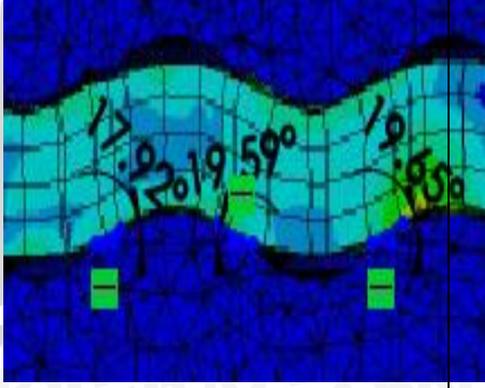
**Structural Steel SS400**

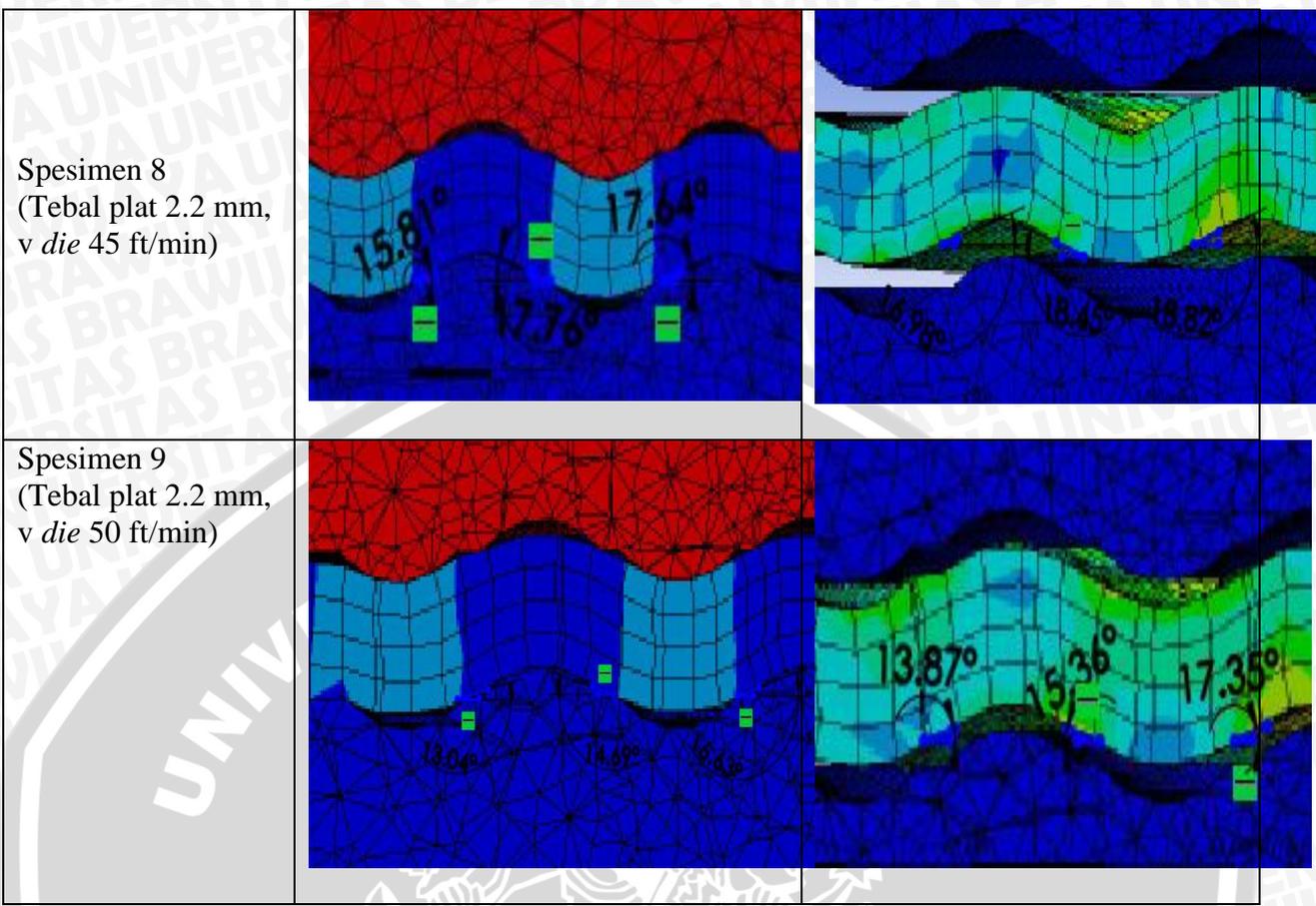
<i>Density (kg/m<sup>3</sup>)</i>	7850
<i>Poisson's Ratio</i>	0.3
<i>Young Modulus (GPa)</i>	230
<i>Yield Strength (MPa)</i>	235
<i>Shear Modulus (GPa)</i>	80
<i>Tangent Modulus (MPa)</i>	1000
<i>Bulk Modulus (Gpa)</i>	140
<i>Ultimate Tensile Strength (UTS) (Mpa)</i>	510

Sumber: matweb.com

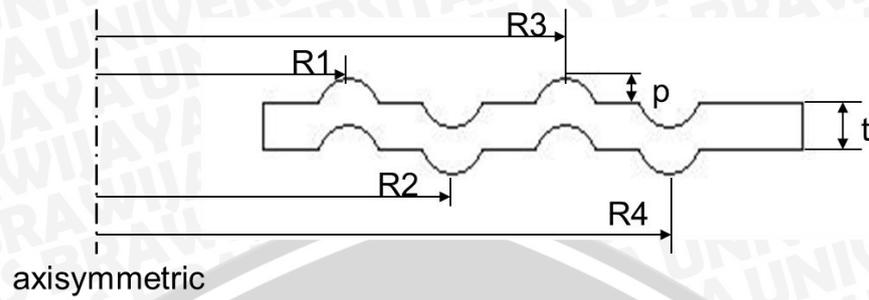
Lampiran 2. Gambar sudut saat pembebanan maksimum dan saat beban dihilangkan hasil simulasi proses *press forming new corrugated metal gasket 25A-size* menggunakan *software FEM (Finite Element Methode)* yang diimport dalam *software CAD (Computer-Aided Design)*.

Spesimen	Saat Pembabanan Penuh	Saat Beban Dihilangkan
<p>Spesimen 1 (Tebal plat 1.8 mm, v die 40 ft/min)</p>		
<p>Spesimen 2 (Tebal plat 1.8 mm, v die 45 ft/min)</p>		
<p>Spesimen 3 (Tebal plat 1.8 mm, v die 50 ft/min)</p>		

<p>Spesimen 4 (Tebal plat 2 mm, v die 40 ft/min)</p>		
<p>Spesimen 5 (Tebal plat 2 mm, v die 45 ft/min)</p>		
<p>Spesimen 6 (Tebal plat 2 mm, v die 50 ft/min)</p>		
<p>Spesimen 7 (Tebal plat 2.2 mm, v die 40 ft/min)</p>		



Lampiran 3. Pengkodean pada *new corrugated metal gasket*



Kode	r (mm)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	R4 (mm)	t (mm)	p (mm)
2 5 A	17.5	20	23	26	29	1.17	0.37
5 0 A	30.05	33	37	41	45	1.35	0.27
8 0 A	44.95	49	53	57	61	1.68	0.27
1 0 0 A	57.5	61	65	69	73	1.69	0.28
4 0 0 A	205	209	214	219	224	2.15	0.26

Sumber: Yamaguchi University