

**SIMULASI PERANCANGAN DIES *PRESS FORMING* PADA  
PEMBUATAN *NEW METAL GASKET* UKURAN 25A**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun Oleh:

**ABDULLAH**  
**NIM. 0610623001 – 62**

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

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SIMULASI PERANCANGAN DIES *PRESS FORMING* PADA  
PEMBUATAN *NEW METAL GASKET* UKURAN 25A**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:  
**ABDULLAH**  
NIM. 0610623001 – 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Dosen Pembimbing**

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

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SIMULASI PERANCANGAN DIES PRESS FORMING PADA  
PEMBUATAN NEW METAL GASKET UKURAN 25A**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**ABDULLAH**  
NIM. 0610623001 – 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 30 Juli 2013

**MAJELIS PENGUJI**

**Skripsi I**

**Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.**  
NIP. 19710321 199802 1 001

**Skripsi II**

**Khairul Anam, ST., MSc.**  
NIK. 861127 06 3 1 0032

**Skripsi III**

**Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met.**  
NIP. 19551117 198601 1 001

Mengetahui,  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

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

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis sadar banyak pihak yang telah membantu didalam pengerjaan karya tulis ilmiah ini. Untuk itu ucapan terima kasih yang tulus penulis haturkan kepada :

- Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr.Eng.Moch.Agus Choiron, ST.,MT selaku dosen pembimbing yang banyak membimbing dan memberikan masukan pada penulis dalam skripsi ini.
- Segenap Staf Pengajar khususnya dosen-dosen dibidang produksi mesin dan jajaran staf karyawan Jurusan Teknik Mesin dan Fakultas Teknik
- Orang tua dan keluarga di Jakarta yang telah memberikan segalanya yang terbaik untuk penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
- Semua pihak yang secara langsung atau tidak langsung khususnya teman-teman dari Labkomp dan SPRS yang telah membantu untuk kelancaran pengerjaan skripsi ini.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini.

Malang, 17 Juli 2013

Penyusun

DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	i
<b>DAFTAR ISI</b>	ii
<b>DAFTAR TABEL</b>	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	v
<b>RINGKASAN</b>	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 <i>Metal gasket</i>	4
2.2.1 <i>Sheet Metal Forming</i>	5
2.3 <i>Gaya Die</i>	6
2.4 Gasket	7
2.5 Tegangan dan Regangan	9
2.5.1 Tegangan	9
2.5.2 Regangan	12
2.5.3 Hubungan antara Tegangan dan Regangan	12
2.6 Proses Pembentukan	15
2.6.1 Macam-macam Proses Pembentukan	15
2.7 Tinjauan Umum Elemen Hingga	23
2.7.1 Prosedur Perhitungan Dengan Metode Elemen Hingga	23
2.7.2 Tipe Elemen untuk Analisis Tiga Dimensi	26
2.7.3 Persoalan Non – Linier	28



2.8 Software ANSYS 14.5	30
2.8.1 Langkah-langkah Simulasi Menggunakan ANSYS 14.5	30

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Metode Penelitian	32
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.3 Variabel Penelitian	32
3.4 Pemodelan Geometri dan Material	33
3.5 Proses Pemodelan	34
3.6 Rancangan Percobaan	35
3.7 Diagram Alir Percobaan	37

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Simulasi Komputer	38
4.2 Pembahasan	39

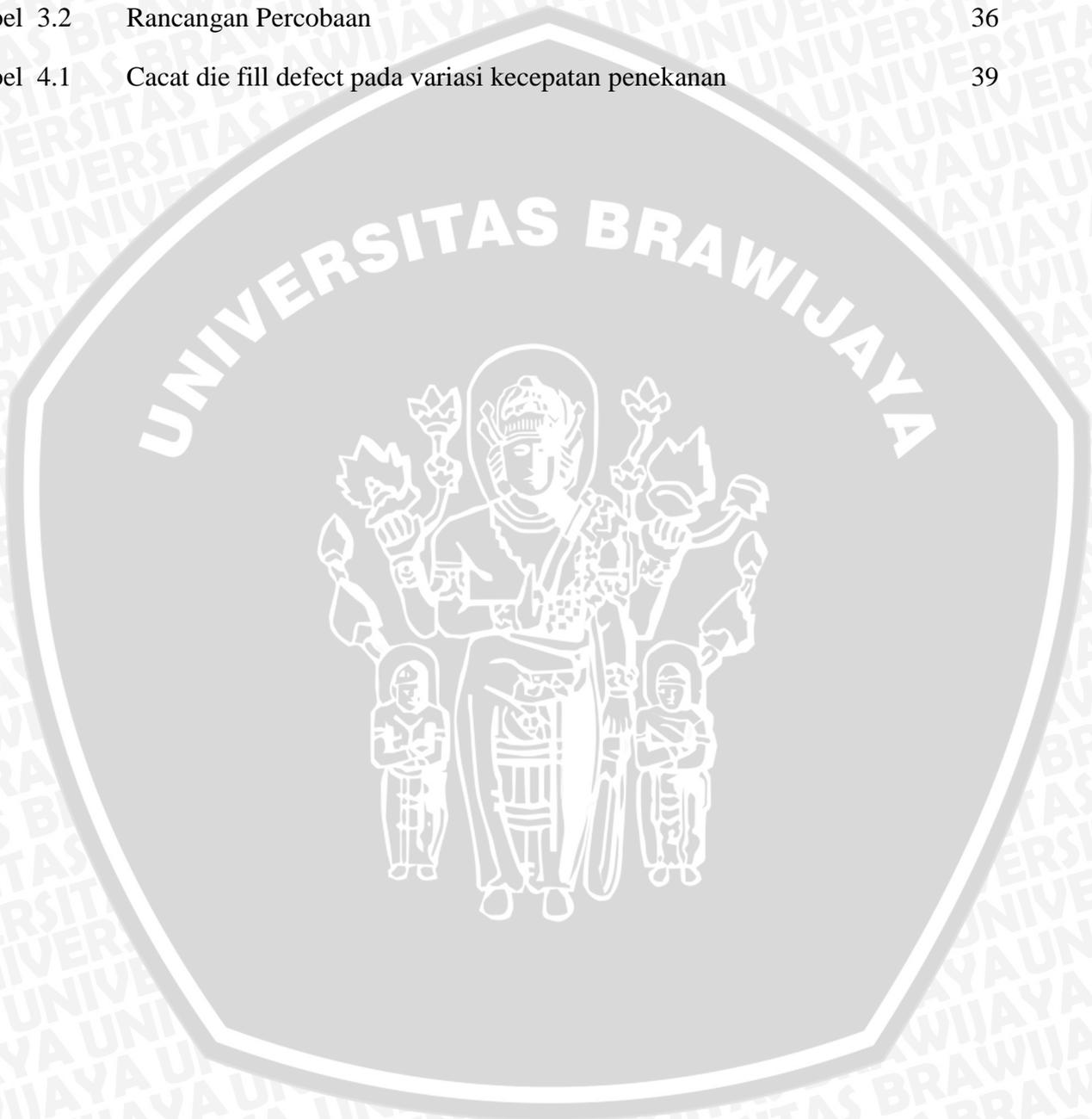
**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	42



**DAFTAR TABEL**

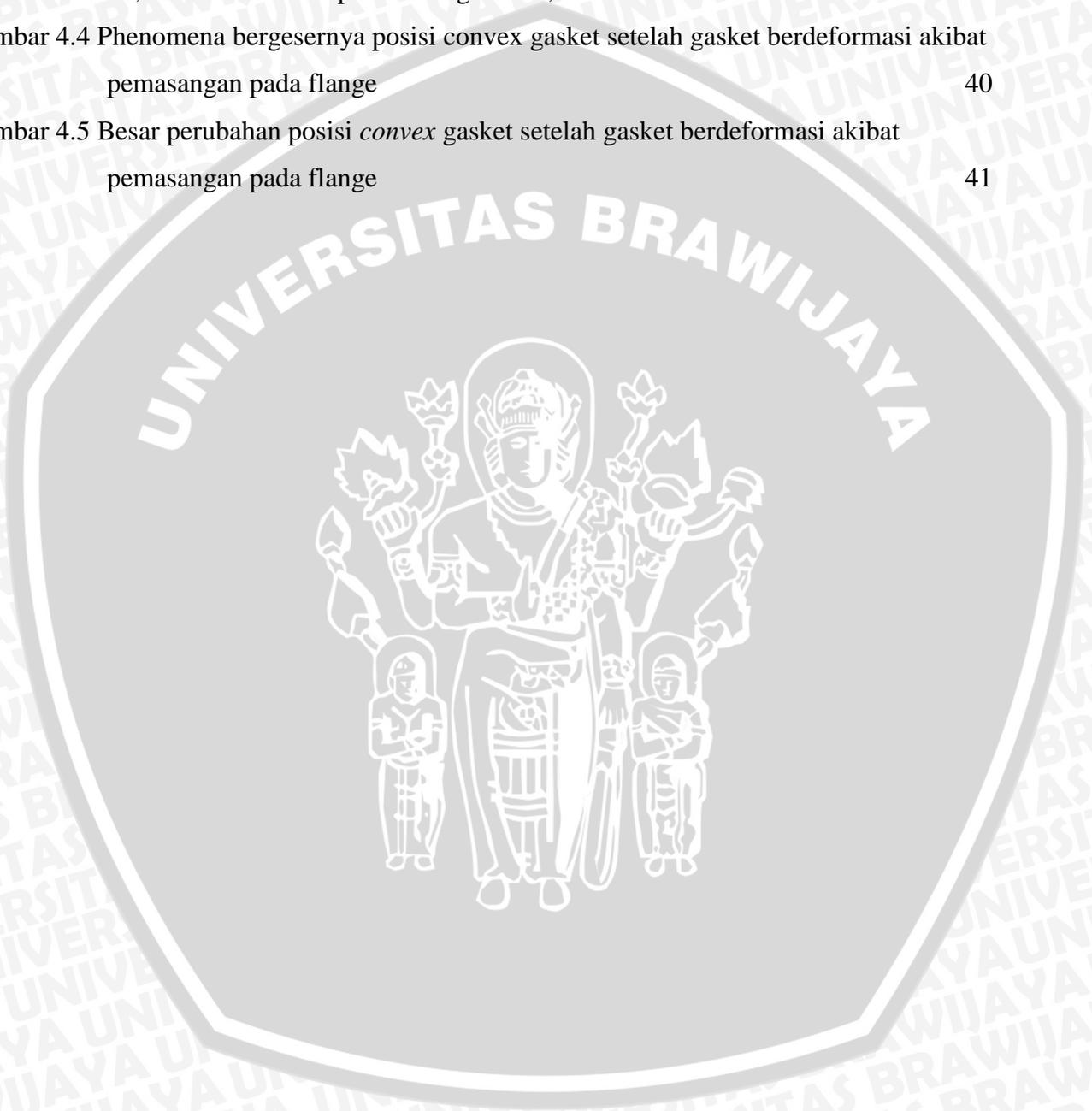
Tabel 2.1	Nilai $k_r$ dalam press forming	22
Tabel 3.1	Properties material yang digunakan di simulasi	33
Tabel 3.2	Rancangan Percobaan	36
Tabel 4.1	Cacat die fill defect pada variasi kecepatan penekanan	39



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Sheet metal forming defects</i>	6
Gambar 2.2	<i>Embossing angular bead</i>	7
Gambar 2.3	Gasket dalam sambungan pipa	8
Gambar 2.4	Batang Prismatik yang mengalami tarik ( <i>tension</i> )	9
Gambar 2.5	Benda padat yang diberi gaya dari berbagai arah	10
Gambar 2.6	Tegangan pada bidang kubu	11
Gambar 2.7	Diagram Tegangan - Regangan	13
Gambar 2.8	<i>Open-die forging</i>	16
Gambar 2.9	<i>Impression-die forging</i>	16
Gambar 2.10	roll forging	17
Gambar 2.11	proses <i>rolling</i>	17
Gambar 2.12	prinsip ekstrusi	18
Gambar 2.13	prinsip dari wire drawing	19
Gambar 2.14	proses deep drawing	20
Gambar 2.15	Klasifikasi proses produksi yang menggunakan forming	21
Gambar 2.16	<i>Press Forming</i>	21
Gambar 2.17	Elemen <i>Tetrahedral</i>	26
Gambar 2.18	Metode Newton Raphson	29
Gambar 3.1	Pemodelan kasus pembuatan metal gasket dengan simulasi computer	33
Gambar 3.2	Spesifikasi geometri <i>die</i> atas, <i>die</i> bawah dan plat (satuan mm).	34
Gambar 3.3	Pemodelan Proses Press Forming	35
Gambar 3.4	Tampilan setelah plat setelah di <i>Meshing</i>	35
Gambar 3.5	Rencana grafik cacat <i>die fill</i> berupa luasan rongga cetakan yang tidak terisi pada convex 1 s/d 4 pada variasi kecepatan penekanan.	36

Gambar 3.6 Visualisasi cacat <i>die fill defect</i> pada salah satu convex metal gasket	36
Gambar 4.1 Prediksi luasan <i>die fill defect</i> pada potongan penampang convex gasket	38
Gambar 4.2 Cara menghitung luasan <i>die fill defect</i> pada penampang convex gasket	39
Gambar 4.3 Grafik besar <i>die fill defect</i> pada posisi convex gasket dengan variasi kecepatan 40, 45 dan 50 ft/min pada tebal gasket 1,5 mm	40
Gambar 4.4 Phenomena bergesernya posisi convex gasket setelah gasket berdeformasi akibat pemasangan pada flange	40
Gambar 4.5 Besar perubahan posisi <i>convex</i> gasket setelah gasket berdeformasi akibat pemasangan pada flange	41



## RINGKASAN

Abdullah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, Simulasi Perancangan Dies *Press Forming* Pada Pembuatan *New Metal Gasket* Ukuran 25A, Dosen Bimbing : Dr.Eng.Moch.Agus choiron, ST., MT.

Proses produksi metal gasket 25A ini menggunakan *press forming*, dimana *press forming* dipilih dengan pertimbangan mudah digunakan dan alat press banyak digunakan dan dimiliki oleh industri. Yang menjadi permasalahan adalah harga desain dies mahal dikarenakan dalam perancangan dies seringkali memerlukan proses *trial and error*. Spesifikasi desain yang sudah dikembangkan seringkali setelah masuk tahapan produksi menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan desain. Salah satu cacat yang terjadi adalah tidak terisinya rongga cetakan sesuai dengan spesifikasi geometri desain. Dari latar belakang tersebut, skripsi ini bertujuan untuk merancang simulasi proses *press forming* pada *metal gasket* ukuran 25A untuk mendapatkan prediksi awal proses sehingga dapat mengurangi proses *trial and error*.

Dari hasil simulasi komputer dengan metode elemen hingga untuk memodelkan proses *press forming* untuk menghasilkan prediksi cacat die fill defec pada produk new metal gasket 25-A didapatkan hasil bahwa semakin besar kecepatan penekanan maka akan menghasilkan cacat Die Fill yang bervariasi. Hasil cacat die fill di posisi convex no. 1 dan 2 ternyata memberikan hasil yang mendekati sama pada semua variasi kecepatan penekanan. Sedangkan hasil cacat die fill di posisi convex no. 2 dan 3 cenderung mengalami harga yang lebih bervariasi pada semua variasi kecepatan penekanan. Cacat paling minimal dengan asumsi ditinjau dari hasil pada convex 2 dan 3 terjadi pada variasi kecepatan 50 ft/min sebesar  $0,5274 \text{ cm}^2$ .

Kata Kunci : simulasi, dies, *press forming*, metal gasket

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Gasket merupakan komponen mesin yang sering digunakan dalam sistem perpipaan. Salah satu jenis gasket yang handal dan berharga murah adalah asbestos gasket, sayangnya memiliki masalah serius yang mengancam kesehatan manusia seperti penyakit *lung cancer*, mesothalemenia dan asbestosis. Sejak tahun 2000-an banyak negara maju yang melarang produksi dan penggunaan asbestos, salah satunya adalah negara Jepang yang dijadwalkan sejak tahun 2008 *asbestos gasket* telah dilarang digunakan dan diproduksi. Sebagai dampaknya adalah tantangan untuk mengembangkan *gasket alternative* sebagai pengganti asbestos gasket yang salah satunya adalah pengembangan *metal gasket*. *Metal gasket* dipilih karena kelebihanannya yaitu tahan beroperasi pada panas tinggi, ketahanan kimia dan ketahanan terhadap operasi tekanan yang tinggi.

Saeed, [1] mengusulkan *new metal gasket* ukuran 25A yang menggunakan bentuk bergelombang (*corrugated*). Tipe gasket ini menghasilkan tegangan lokal tinggi pada kontak gasket dengan *flange*. Penelitian ini menegaskan bahwa tegangan kontak dan lebar kontak merupakan parameter desain yang penting untuk mengoptimalkan kinerja *metal gasket* ukuran 25A. Haruyama S [2] meneruskan penelitian Saeed, ukuran batas lebar kontak sebagai parameter yang diteliti dengan membandingkan hasil penelitian hubungan antara beban *clamping* dan lebar kontak menggunakan analisis FEM (*Finite Element Method*) dengan hasil eksperimen beban *clamping* dan kebocoran, sehingga didapatkan batas lebar kontak yang tidak memiliki kebocoran pada *metal gasket* ukuran 25A. Berdasarkan penelitian ini, lebar kontak dapat digunakan sebagai parameter utama untuk mengoptimalkan desain *metal gasket*, dimana kebocoran dapat dikurangi dengan meningkatkan lebar kontak.

Penelitian ini terus dikembangkan, Choiron [3] menghasilkan desain *metal gasket* ukuran 25A yang lebih optimal dibanding desain sebelumnya dengan memanfaatkan metode *taguchi*, dimana lebar kontak lebih besar yang diiringi harga tegangan kontak yang juga tinggi memberikan kemampuan tingkat kebocoran yang lebih bagus. Langkah berikutnya setelah tahapan desain dioptimalkan adalah tahapan produksi.

Proses produksi metal gasket 25A ini menggunakan *press forming*, dimana *press forming* dipilih dengan pertimbangan mudah digunakan dan alat press banyak dimiliki oleh industri. Yang menjadi permasalahan adalah harga desain dies mahal dikarenakan dalam.

perancangan dies sering kali memerlukan proses *trial and eror*. Spesifikasi desain yang sudah dikembangkan seringkali setelah masuk tahapan produksi menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan desain. Salah satu cacat yang terjadi adalah tidak terisinya rongga cetakan sesuai dengan spesifikasi geometri desain. Dari latar belakang tersebut, skripsi ini bertujuan untuk merancang simulasi proses *press forming* pada *metal gasket* ukuran 25A untuk mendapatkan prediksi awal proses sehingga dapat mengurangi proses *trial and eror*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dirumuskan dalam skripsi ini adalah bagaimana simulasi proses *press forming* pada *new metal gasket* ukuran 25A untuk mengurangi cacat yang terjadi?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan pembahasan menjadi lebih terarah maka perlu dilakukan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Model yang disimulasi terdiri dari dies atas, dies bawah dan bahan baku
2. Dies-nya dimodelkan sebagai *rigid model*.
3. Pemodelan bahan baku sebagai *non linier material*
4. Cacat yang diteliti adalah cacat tidak terisinya rongga cetakan sehingga geometri produk proses tidak sesuai dengan spesifikasi geometri desain.
5. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Solid Work 2011 untuk penggambaran benda kerja dan ANSYS 14.5 untuk simulasinya dan AUTOCAD 2012 untuk perhitungan luasan cacat *die fill defect*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mensimulasikan proses *press forming* pada *new metal gasket* ukuran 25A untuk mengurangi cacat yang terjadi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat untuk memvisualisasi desain dies yang dapat mengurangi cacat produksi sehingga dapat mengurangi proses “*trial and error*” nantinya bila akan dilakukan proses produksi sesungguhnya.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Catarina F. Castro *et al.*, (2000) melakukan simulasi pembentukan dengan metode elemen hingga dan memungkinkan untuk memperkirakan harga dari variabel-variabel proses yang tidak dapat atau sulit diukur melalui eksperimen seperti kemampuan pengisian cetakan, tegangan kontak pada *dies*, distribusi aliran material benda kerja, distribusi tegangan dan temperatur. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa variasi geometri *dies* (cetakan) pembentukan awal berpengaruh terhadap kemampuan pengisian rongga cetakan pada akhir pembentukan benda kerja. Dengan memvariasikan geometri cetakan maka kondisi optimum ditinjau dari kemampuan pengisian rongga cetakan dapat diperoleh dengan dua tahapan cetakan.

Didik Nurhadiyanto *et al.*, (2012) melakukan 2 tahapan simulasi metal gasket 25A yaitu *forming* (penekanan) dan *tightening* (penguatan). Dari hasil penelitian ini menunjukkan perbedaan antara hasil desain dengan hasil simulasi proses produksinya. Desain optimal no.2 terbukti memiliki kemampuan mengurangi kebocoran lebih baik dibanding desain optimal no. 1, dimana desain no. 2 dikembangkan berdasarkan optimasi desain berbasis lebar kontak dengan mempertimbangkan tegangan kontak yang tinggi.

### 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 diatas 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*, *earring*, 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.

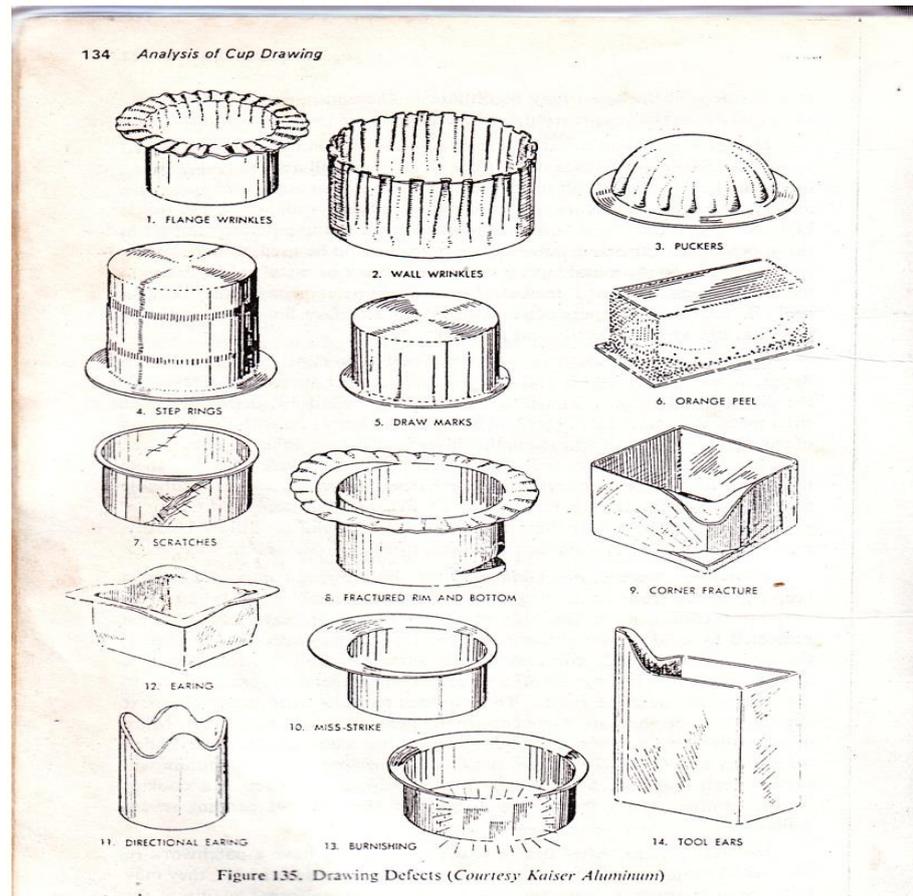
Aplikasi *sheet metal forming* menjadi sangat penting didalam dunia industri otomotif sejak komponen-komponen mobil dihasilkan dari proses pembentukan dengan penekanan (*press forming process*) karena komponen yang dihasilkan lebih bagus dari pada proses pembentukan yang lain seperti halnya pengelasan, 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 kebawah, *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*
- *Earring*
- *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 Gaya Die

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

$$F = Stb \quad (2-1)$$

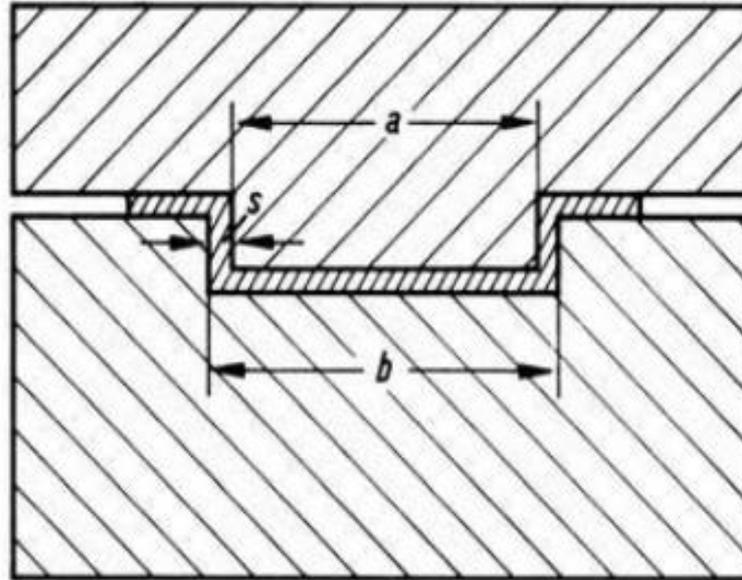
Dimana :

F : gaya die

S : *ultimate tensile strength*

t : tebal plat

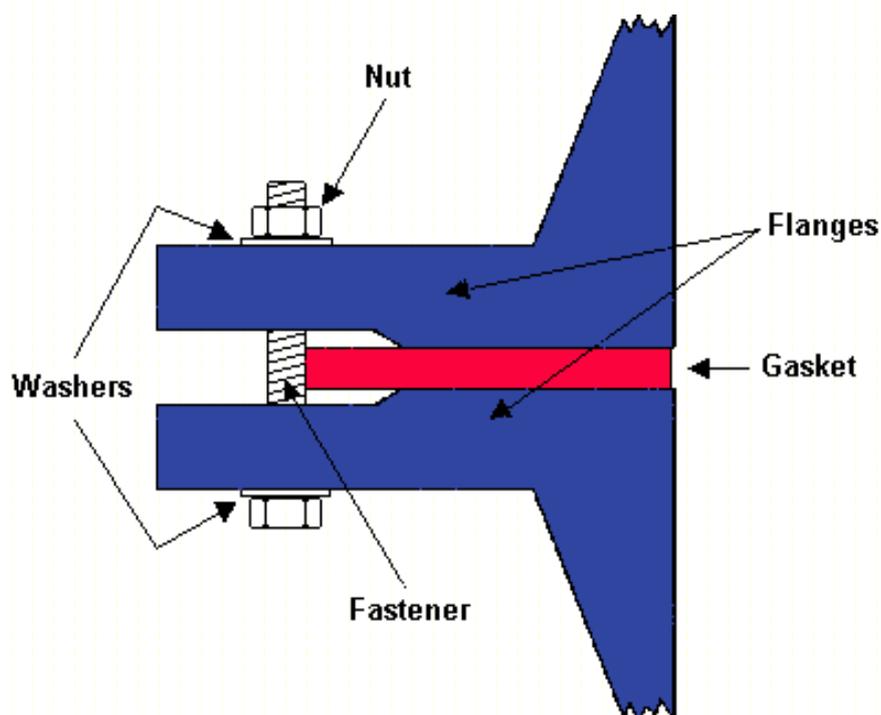
b : lebar *bead* / radius die



Gambar 2.2. *Embossing angular bead*  
 Sumber: Heinz Tschachtsch (2005:213)

## 2.4 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 2.3 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*
- *Ochtagonal 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*

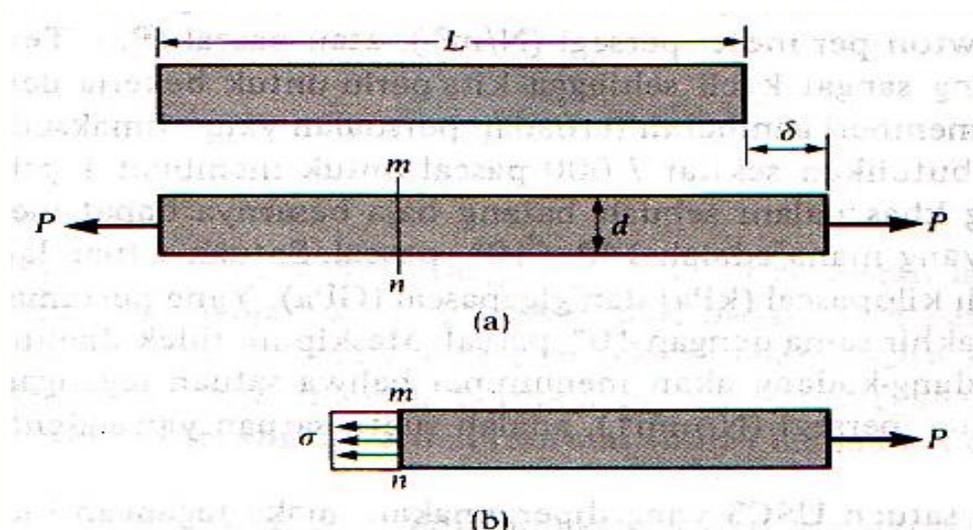
*Non-metallic* gasket adalah gasket berbahan dasar non-metal, seperti gasket berbahan dasar karet, fiber dan plastik, contohnya:

- PTFE (*Polytetrafluoroethylene*)

## 2.5 Tegangan dan Regangan

### 2.5.1 Tegangan

Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai gaya aksial berupa tarikan atau tekanan yang bekerja pada setiap satuan luas penampang (*cross section*). Dalam kasus yang sederhana dapat diilustrasikan pada sebuah batang prismatik yang diberi gaya aksial sehingga ditimbulkan suatu tarikan yang sama rata pada batang (*tension*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Batang Prismatik yang mengalami tarik (*tension*)

Sumber : Gere, 2000

Untuk menyelidiki tegangan internal yang terjadi, maka dibuat potongan  $mn$  (Gambar 2.4a). Kemudian batang yang sudah di potong tersebut dipisahkan menjadi sebuah *free body* (Gambar 2.4b). Beban tarik  $P$  bekerja pada ujung bebas sebelah kanan benda bebas ini, sedangkan bagian yang lain bekerja gaya aksi dari batang yang dipotong. Intensitas gaya ( $\sigma$ ) yaitu gaya per luas satuan disebut tegangan (*stress*).

Dengan menganggap bahwa tegangan terdistribusi secara merata pada seluruh penampang batang, maka resultan sama dengan intensitas  $\sigma$  dikali luas penampang  $A$  dan batang. Dimana besarnya resultan sama dengan  $P$  yang dikenakan tetapi arahnya berlawanan.

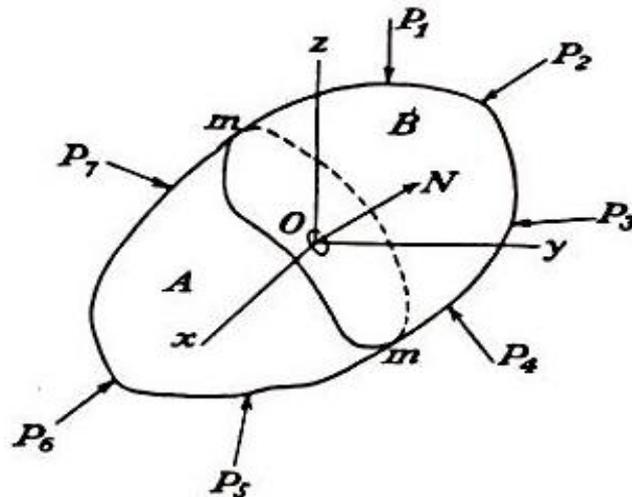
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2-2)$$

Keterangan :  $\sigma$  adalah besarnya tegangan ( $\text{N/m}^2$ )

$F$  adalah besarnya gaya yang bekerja (N)

$A$  adalah luas penampang ( $\text{m}^2$ )

Pada kasus umum tegangan tidak terbagi merata di sepanjang potongan penampang. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 2.5 berikut :

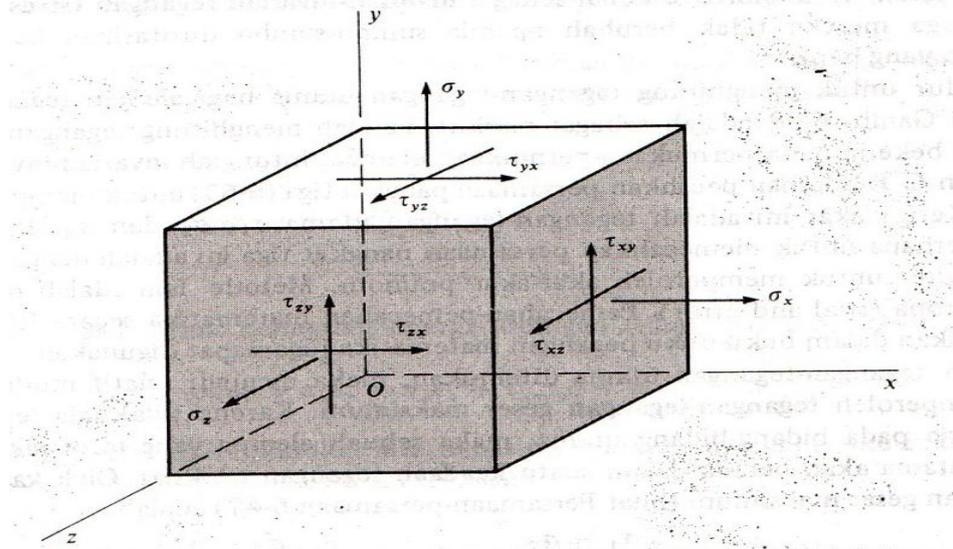


Gambar 2.5 Benda padat yang diberi gaya dari berbagai arah

Sumber : Timoshenko, 1986

Dari gambar 2.5 di atas, tegangan tidak terbagi merata sepanjang  $mm$ . Untuk memperoleh besar gaya yang bekerja pada luasan kecil  $\delta A$ , misalnya dari potongan penampang  $mm$  pada titik O sebarang, kita amati bahwa gaya yang bekerja pada elemen luas ini diakibatkan oleh kerja bahan bagian B terhadap bahan bagian A yang dapat diubah menjadi resultan  $\delta P$ . Apabila terus ditekan luas elemen  $\delta A$ , harga batas rasio  $\delta P/\delta A$  menghasilkan besar tegangan yang bekerja pada potongan penampang  $mm$  pada titik O.

Tegangan juga dapat terjadi pada suatu bidang. Tegangan yang terjadi adalah tegangan normal dan tegangan geser di semua permukaannya. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut ini :



Gambar 2.6 Tegangan pada bidang kubus

Sumber : Gere, 2004

Penulisan tegangan pada suatu titik dapat dilakukan dengan penulisan tensorial dengan matriks sebagai berikut :

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_{yy} & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

Arti dari penulisan tersebut adalah indeks pertama menyatakan bidang tempat tegangan tersebut bekerja dan indeks kedua menyatakan arah tegangan tersebut. Tegangan dengan indeks pertama dan kedua sama merupakan tegangan normal, sedangkan yang indeksnya berlainan merupakan tegangan geser. Tegangan normal berharga positif, bila merupakan tegangan tarik dan bertanda negatif bila merupakan tegangan kompresi. Untuk tegangan geser berharga positif bila mempunyai kecenderungan memutar elemen kubus searah jarum jam dan bertanda negatif bila cenderung memutar elemen kubus berlawanan arah jarum jam.

Dalam menganalisa tegangan maka kita akan menjumpai istilah tegangan prinsipal (*principal stress*), tegangan prinsipal adalah tegangan yang bekerja pada daerah prinsipal dimana tegangan geser berharga nol dan hanya tegangan normal saja yang bekerja. Arah tegangan utama disebut arah prinsipal.

Untuk titik yang mendapat tegangan dua dimensi, artinya  $\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ , maka sumbu prinsipal ketiga dianggap berhimpit dengan sumbu z dan dengan demikian harga tegangan ke arah sumbu prinsipal ketiga akan sama dengan tegangan ke arah sumbu z yang berharga nol ( $\sigma_3 = \sigma_z = 0$ ).

### 2.5.2 Regangan

Regangan adalah perubahan bentuk tanpa dimensi untuk menyatakan adanya deformasi (Iremonger, 1990 : 17). Regangan yang ditimbulkan dari gaya tarik disebut regangan tarik (*tensile strain*) yang menyatakan suatu pemanjangan atau tarikan dari bahan. Sedangkan jika batangnya mengalami penekanan maka dinamakan regangan tekan (*compressive strain*). Regangan tarik berharga positif sedangkan regangan tekan berharga negatif.

Karena regangan adalah perbandingan antara dua ukuran panjang maka regangan tidak memiliki dimensi (*dimension less quantity*). Regangan karena gaya tarik dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2-4)$$

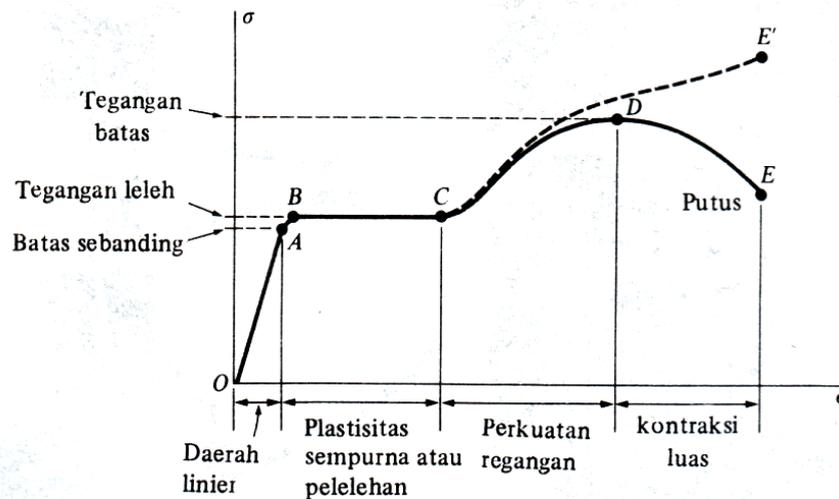
Keterangan :  $\varepsilon$  adalah besarnya regangan

$\delta$  adalah besarnya pertambahan panjang (m)

L adalah panjang awal (m)

### 2.5.3 Hubungan antara Tegangan dan Regangan

Tegangan dan regangan senantiasa berhubungan pada setiap bahan (walaupun hubungan ini dapat berubah karena suhu laju pembebanan dan sebagainya). Pada kondisi tegangan di bawah tingkat kritis akan memenuhi hukum *Hooke* yang menyatakan bahwa deformasi adalah berbanding lurus terhadap beban yang ditimbulkan. Hal ini sesuai dengan diagram tegangan regangan yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram Tegangan - Regangan

Sumber: Gere, Timoshenko (2000 : 13)

Dalam hal ini :

- Titik proporsional merupakan titik keseimbangan antara tegangan dan regangan.
- Titik luluh merupakan titik tempat terjadinya penambahan regangan tanpa disertai penambahan beban.
- Titik *ultimate* merupakan titik tempat tegangan tertinggi yang dapat dicapai oleh bahan tersebut.
- Titik patah merupakan titik tempat bahan tersebut mengalami patah.

Di dalam diagram tegangan regangan dikenal :

- Daerah elastis yaitu daerah tempat terjadinya deformasi elastis (dari nol sampai batas elastis)
- Daerah plastis merupakan daerah tempat terjadinya deformasi plastis (dari batas elastic sampai titik ultimate)
- Daerah patah merupakan daerah tempat terjadinya patah.

Hukum *Hooke* secara sistematis dirumuskan (Iremonger, 1990 : 19) sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ N/mm}^{-2} \quad (2-5)$$

Dimana  $E$  = modulus elastisitas bahan (*Modulus Young*)

$\sigma$  = Tegangan

$\epsilon$  = Regangan

Modulus elastisitas (*Modulus Young*) dinyatakan sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan. Modulus elastisitas merupakan karakteristik suatu logam tertentu karena setiap logam memiliki modulus elastisitas yang berbeda.

Pada kondisi plastis deformasi yang terjadi pada material bersifat *irreversible* dan pada kondisi ini hukum *Hooke* sudah tidak berlaku lagi. Salah satu karakteristik yang perlu dipahami dari deformasi plastis pada material logam adalah logam tidak mempunyai sifat mampu tekan (*incompressible*), sehingga pada deformasi plastis volume dari material logam adalah konstan.

Bila dilihat pada diagram tegangan-regangan sebenarnya pada kondisi plastis hubungan tegangan regangan dapat dirumuskan dengan:

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (2-6)$$

dengan

$\sigma$  adalah tegangan

K adalah konstanta penguatan

$\varepsilon$  adalah regangan

$n$  adalah eksponensial *strain hardening*

Dalam analisa untuk mendapatkan penyelesaian masalah deformasi, maka perlu mengidealisasikan hubungan antara tegangan-regangan yang terjadi. Pada umumnya ada empat pemodelan pengidealisasi dari sudut pandang terjadinya deformasi pada material, yang pertama adalah *rigid perfectly plastic*, pada pemodelan ini material tidak mengalami deformasi elastis terlebih dahulu, namun langsung mengalami deformasi plastis pada saat diberi pembebanan sampai batas tertentu. Deformasi akan terus terjadi jika pembebanan terus dilakukan walaupun besar pembebanan tidak dinaikkan. Pada kurva diagram tegangan-regangan pemodelan material ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 Pemodelan yang kedua adalah *rigid linear strain hardening*, yaitu pemodelan material yang tanpa mengalami deformasi elastis sehingga hanya terjadi deformasi plastis dan pada saat penambahan deformasi plastis maka akan diikuti oleh penambahan pembebanan secara linier diagram tegangan-regangan.

Untuk material logam sendiri biasanya tergolong material yang *elastoplastic*, yang dimana pada material terjadi dua macam deformasi elastis dan deformasi plastis. Pada material jenis ini pemodelan yang digunakan adalah jenis ketiga dan keempat, yaitu *elastic perfectly plastic* dan *elastis linier strain hardening*. Pada pemodelan ini material akan mengalami deformasi elastis terlebih dahulu selama diberi pembebanan sampai batas tertentu, kemudian akan mengalami deformasi plastis. Untuk *elastis*

*perfectly plastic*, deformasi plastis yang terjadi tidak diikuti penguatan tegangan sedangkan *elastis linier strain hardening*, deformasi plastis yang terjadi akan diikuti dengan penguatan tegangan.

## 2.6 Proses Pembentukan

Pembentukan logam adalah proses untuk mengubah benda kerja (*work piece*) dengan cara memberikan gaya luar sehingga terjadi deformasi plastis dan menjadi bentuk yang diinginkan. Tujuan utama pembentukan logam adalah mengubah bentuk benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan, memperbaiki sifat benda kerja dengan cara memperbaiki struktur mikro, kekuatan mekanik dll. Dari proses pembentukan untuk membuat gasket digunakan proses *forming*.

Pembentukan logam adalah proses untuk mengubah benda kerja (*work piece*) dengan cara memberikan gaya luar sehingga terjadi deformasi plastis dan menjadi bentuk yang diinginkan. Tujuan utama pembentukan logam yaitu mengubah bentuk benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan, memperbaiki sifat benda kerja dengan cara memperbaiki struktur mikro, kekuatan mekanik dll.

### 2.6.1 Macam-macam Proses pembentukan

Klasifikasi berdasarkan Gaya Pembentukan

#### 1. Pembentukan dengan gaya tekan

##### a. *Forging*

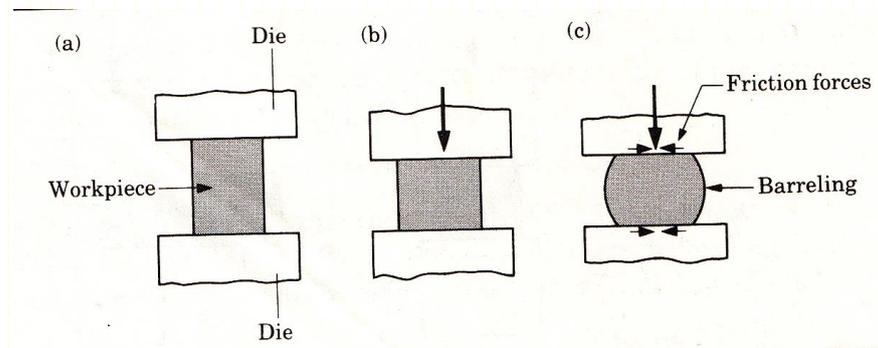
*Forging* adalah proses pembentukan logam secara plastis dengan memberikan gaya tekan pada logam yang akan dibentuk. Proses tempa bisa dilakukan dengan 2 cara yaitu pengerjaan panas (*hot working*) dan pengerjaan dingin (*cold working*).

*Forging* berdasarkan jenis operasinya meliputi:

##### 1. *Open-die forging*

*Open-die forging* adalah proses penempaan sederhana. Benda kerja yang solid ditempatkan di antara dua dies datar dan mengurangi tingginya dengan mengompresi. Prosesnya biasanya dinamakan upsetting atau flat-die forging. permukaan die mungkin memiliki rongga sederhana untuk menghasilkan relatif sederhana penempaan. Deformasi dari benda kerja dibawah kondisi ideal. karena volume konstan harus dipertahankan, setiap pengurangan tinggi meningkatkan diameter bagian. barreling

disebabkan terutama oleh gaya gesek pada die dan permukaan benda kerja. Barreling dapat diminimalisir jika menggunakan pelumas yang efektif.



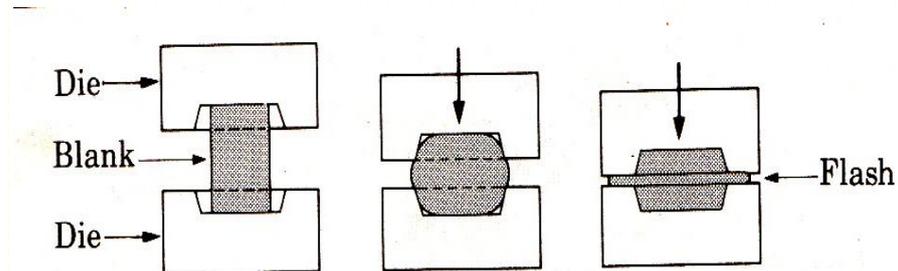
Gambar 2.8 *Open-die forging*

- Solid cylindrical billet upset between two flat dies*
- Uniform deformation on the billet without friction*
- Deformation with friction*

Sumber: *manufacturing engineering and technology* hal 387

## 2. *Impression-die forging*

Di *Impression-die forging*, benda kerja mendapatkan bentuk dari rongga *dies*. Selama *forging*, beberapa material mengalir keluar dan membentuk *flash*. *flash* memiliki peran penting dalam aliran material di *impression-die forging*. *flash* tipis mendingin dengan cepat dan dengan tahanan geseknya, subyek materi dalam rongga dies untuk tekanan tinggi, sehingga mendorong rongga dies penuh.



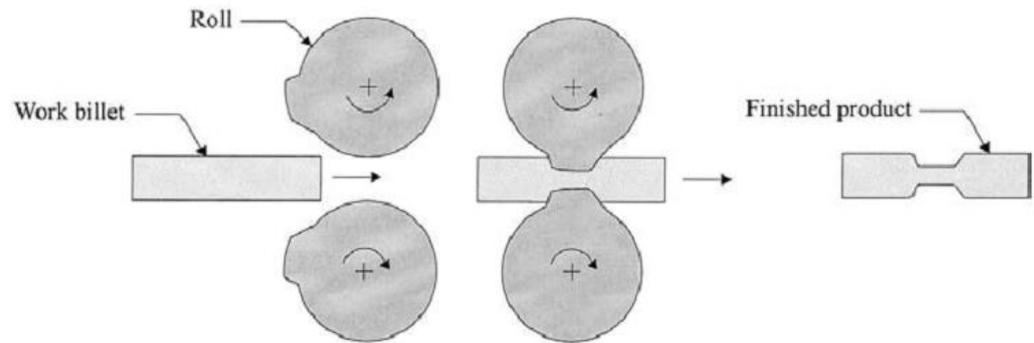
Gambar 2.9 *Impression-die forging*

Sumber: *manufacturing engineering and technology* hal 389

## 2. *Roll forging*

*Roll forging* membentuk logam kosong menjadi bentuk yang diinginkan dengan memberi masukan melalui sepasang gulungan dengan alur

berbentuk. *Roll* yang beroperasi hanya sebagian dari siklus rotasi mereka. Proses hot-forming disebut penempaan meskipun tidak menggunakan palu bergerak / pukulan. Hal ini dapat digunakan untuk produksi bagian yang panjang dan tipis, termasuk poros meruncing, pegas daun, dan kadang-kadang bor.

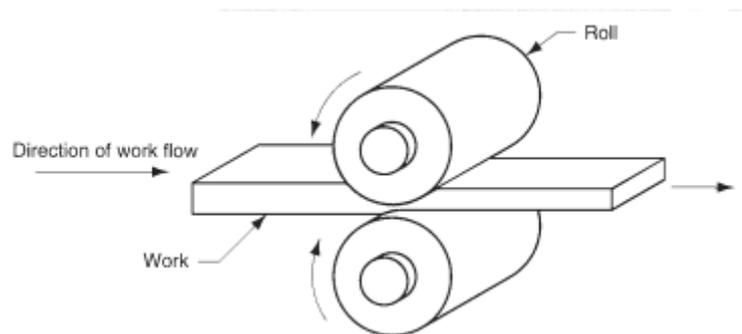


Gambar 2.10 roll forging

Sumber: [http://www.media.rmutt.ac.th/media/e-Book/Engineer/Manufacturing/Manufacturing%20Design,%20Production,%20Automation,%20and%20Integration/DKE390\\_ch7.pdf](http://www.media.rmutt.ac.th/media/e-Book/Engineer/Manufacturing/Manufacturing%20Design,%20Production,%20Automation,%20and%20Integration/DKE390_ch7.pdf)

a. *Rolling*

Rolling adalah proses pengurangan tebal atau mengubah penampang dari benda kerja panjang dengan gaya tekan diterapkan melalui set dari rol. Prinsipnya: melewati logam diantara roll yang berputar berlawanan dengan lebar celah < tebal logam.

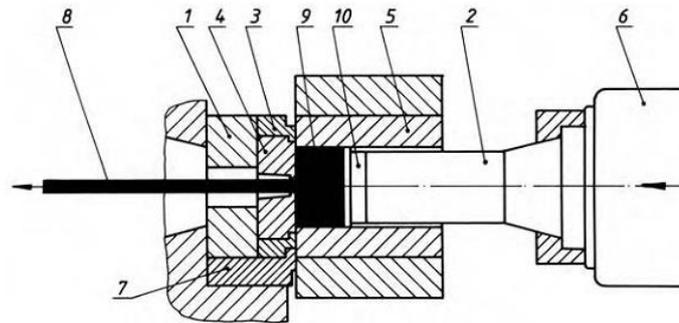


Gambar 2.11 proses *rolling*

Sumber: Valery Marinov, Manufacturing Technology hal: 17

b. *Extrusion*

*Ekstrusion* adalah proses pembentukan massal di mana billet dipanaskan, dikurung dalam sebuah wadah, ditekan melalui die membentuk oleh punch. Dalam proses ini, produk yang muncul membutuhkan pada bentuk die. Ekstrusi adalah proses pembentukan melibatkan tekanan. Deformasi yang sebenarnya dari sebuah billet menjadi ekstrusi berlangsung di zona deformasi berbentuk corong di depan die.



Gambar 2.12 prinsip ekstrusi

Sumber: Metal Forming Practise hal 109

Keterangan

- |                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| 1. pressure plate    | 6. Plunger      |
| 2. punch             | 7. Slider       |
| 3. die (tool) holder | 8. extrusion    |
| 4. die               | 9. billet       |
| 5. container         | 10. dummy block |
| 6.                   |                 |

Proses ekstrusi dibagi menjadi:

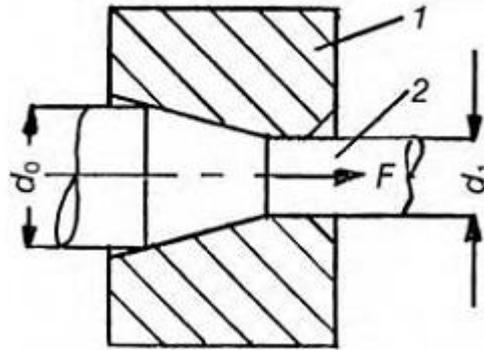
1. Tergantung pada cara billet ditekan ke dalam wadah, menjadi: ekstrusi langsung dan tidak langsung.
2. Tergantung pada produk yang dihasilkan selama ekstrusi, menjadi padat dan berongga ekstrusi.

2. Pembentukan dengan tekanan dan tarikan

a. *Wire drawing*

*Wire drawing* adalah salah satu drawing yang menggunakan aksi geser. di mana kawat ukuran yang lebih besar ( $d_0$ ) ditarik melalui cincin

*drawing* dengan ukuran yang lebih kecil ( $d_1$ ). Dalam proses ini kawat diberikan bentuk dan *cross-sectional* dimensi dari cincin drawing.



Gambar 2.13 prinsip dari wire drawing

Sumber: Metal Forming Practise hal 91

#### Keterangan

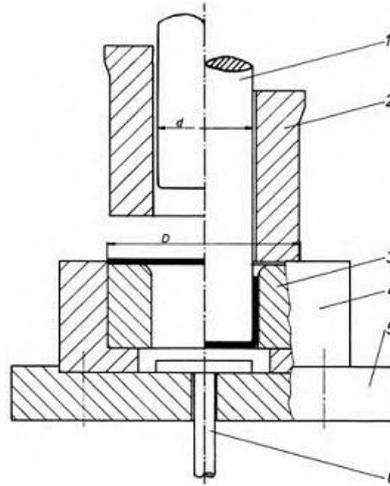
1. Die
2. Wire
3. Aplikasi

#### *b. Tube drawing*

*Tube drawing* digunakan untuk membentuk tube tanpa sambungan. Proses manufaktur beberapa telah dikembangkan untuk tube drawing. Apapun proses semua memiliki kesamaan adalah bahwa tabung yang akan ditarik adalah menunjuk pada salah satu ujung (ditekan antara dua setengah lingkaran rahang). Ini ujung runcing didorong melalui cincin drawing dan kemudian berlangsung ketat oleh gripper melekat pada kereta dari mesin drawing

#### *c. Deep drawing*

*Deep drawing* adalah pembentuk halus (*sheet*) kosong ke bagian berongga. Ini adalah proses yang melibatkan pembentukan oleh tarik dan tekan.



Gambar 2.14 proses deep drawing

Sumber: Metal Forming Practise hal 141

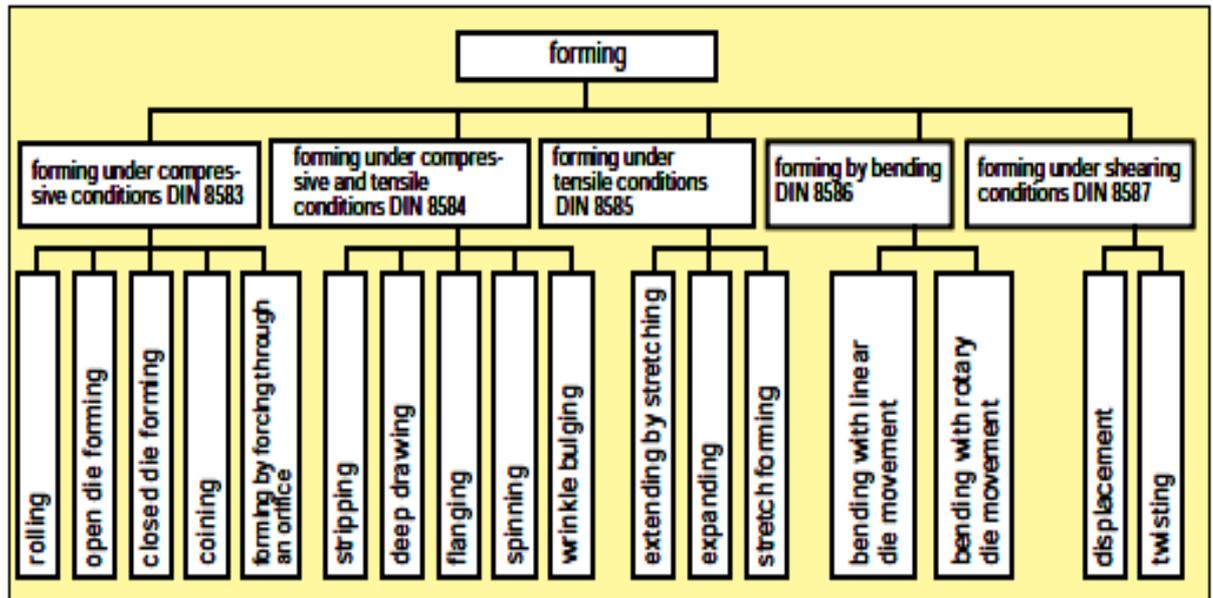
Keterangan :

- |                  |               |
|------------------|---------------|
| 1. drawing punch | 4. container  |
| 2. blank holder  | 5. base plate |
| 3. drawing ring  | 6. Ejector    |

Klasifikasi proses produksi yang menggunakan forming dalam DIN 8582 dapat dibagi berdasarkan kondisi tegangan yaitu:

1. Forming dalam keadaan tekan,
2. Forming dalam gabungan tarik dan kondisi tekan,
3. Forming dalam kondisi tarik,
4. Forming dengan bending,
5. Forming dalam kondisi geser.

Gambar 2.15 menunjukkan detail dari klasifikasi proses produksi yang menggunakan forming.



Gambar 2.15 Klasifikasi proses produksi yang menggunakan forming

Sumber : Schuler, Metal Forming Handbook (1998 ; 6)

*Press Forming* adalah alat uji tekan yang digunakan untuk pembentukan sebuah plat atau material. Alat ini digunakan untuk membentuk sebuah plat atau material yang dibentuk sesuai dengan bentuk dies. Sebelum melakukan pengujian ini terlebih dahulu mendesain dies yang di inginkan terlebih dahulu (Gambar 2.16).



Gambar 2.16 *Press Forming*

Sumber : <http://www.forging-hydraulic-press.com/hydraulic-forming-press.htm>

Tabel 2.1 nilai  $k_r$  dalam press forming

Sumber : Schuler, Metal Forming Handbook (1998 ; 214)

Material	$R_m$	Loose Punch $k_r$	<i>Tight-fitting Punch</i>	
	In N/mm <sup>2</sup>	In N/mm <sup>2</sup>	Sheet thickness in mm	$K_r$ in N/mm <sup>2</sup>
Aluminium 99%	80 to 100	50 to 80	Up to 0.4 0.4 to 0.7	80 to 120 60 to 120
Brass Ms 63	290 to 410	200 to 300	Up to 0.4 0.4 to 0.7 > 0.7	1000 to 1200 700 to 1000 600 to 800
Copper, soft	210 to 240	100 to 250	Up to 0.4 0.4 to 0.7 > 0.7	1000 to 1200 700 to 1000 600 to 800
Steel (Deep Drawing quality) St 12-3 ; St 13-3	280 to 420	350 to 400	Up to 0.4 0.4 to 0.7 > 0.7	1800 to 2500 1250 to 1600 1000 to 1200
Stainless Steel	600 to 750	600 to 900	Up to 0.4 0.4 to 0.7 > 0.7	2200 to 3000 1600 to 2000 1200 to 1500

Hambatan dalam deformasi bergantung pada:

1. Material yang akan dibentuk,
2. Permukaan material dan die,
3. Pelumasan pada material geser,

4. Bentuk benda kerja,
5. Laju regangan dan mesin yang akan yang digunakan.

Rumus luasan penekanan:

$$A_e = w \cdot l \quad (2-7)$$

$$A_e = \text{Luas permukaan yang akan di tekan (mm}^2\text{)}$$

Rumus gaya Forming

$$F_e = k_r \cdot A_e \quad (2-8)$$

$$F_e = \text{Gaya pembentukan press forming (N)}$$

$$k_r = \text{Tetapan deformasi (N/mm}^2\text{)}$$

$$A_e = \text{Luas permukaan yang akan di tekan (mm}^2\text{)}$$

## 2.7 Tinjauan Umum Elemen Hingga

Berkembangnya metode numerik yang didukung oleh kemampuan komputasi ternyata makin menjadi alternatif dalam menyelesaikan kasus-kasus *engineering*. Salah satunya adalah metode elemen hingga yang merupakan solusi numerik dengan proses diskretisasinya, terutama penyelesaian yang menyangkut dimensi benda dan pembebanan yang kompleks. Pemakaian metode elemen hingga selama ini antara lain untuk menganalisa struktur yang berada pada pengaruh pembebanan (gaya dan tekanan), gradien temperatur yang akan memberikan akibat-akibat berupa deformasi, tegangan maupun perubahan temperatur yang dialami oleh struktur tersebut. Dimana tujuan utama metode ini adalah memperoleh nilai pendekatan tegangan dan perpindahan yang terjadi pada suatu struktur.

### 2.7.1 Prosedur Perhitungan Dengan Metode Elemen Hingga

#### 1. Diskretisasi dan pemilihan elemen

Diskretisasi adalah proses membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil yang memiliki geometri yang lebih sederhana dengan jumlah yang masih berhingga. Dimana elemen-elemen ini berhubungan pada titik-titik simpul (*node*) dan membentuk rangkaian yang secara bersama dan keseluruhan mendekati bentuk struktur sebenarnya. Sehingga bentuk geometri struktur yang kompleks dapat disederhanakan untuk lebih mempermudah menganalisanya.

Untuk pemilihan jenis elemen tergantung dari idealisasi yang dipilih untuk digunakan. Idealisasi struktur dua dimensi dapat dipakai bentuk elemen segitiga,

segiempat maupun kuadrilateral, sedangkan kondisi tiga dimensi dapat dipilih suatu tetrahedron atau heksahedron.

## 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 polynomial. Pendekatan dengan fungsi interpolasi ini disebabkan karena sulitnya mencari jawaban tertutup sehingga dipilih suatu bentuk jawaban, yaitu distribusi perpindahan yang merupakan besaran yang tidak diketahui dengan memakai fungsi yang harus memenuhi hukum, prinsip dan syarat batas yang menjadi sifat persoalan.

## 3. Menurunkan persamaan matrik kekakuan

Dengan prinsip usaha virtual akan dihasilkan persamaan matrik kekakuan elemen yang dinyatakan sebagai berikut

$$[k] = \iiint [B]^T [C] [B] dV \quad (2-9)$$

Dengan:

[k] : matrik kekakuan elemen

[B] : matrik konstitutif hubungan regangan dan perpindahan.

[C] : matrik konstitutif hubungan tegangan dan regangan material.

## 4. Menghitung matrik beban total

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

$$R = Q_{NF} + Q_{BF} + Q_{Teh} \quad (2-10)$$

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

$$[K] \{q\} = \{R\} \quad (2-11)$$

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

$$\begin{aligned} k_{1,1} q_1 + k_{1,2} q_2 + \dots + k_{1,n} q_n &= R_1 \\ k_{2,1} q_1 + k_{2,2} q_2 + \dots + k_{2,n} q_n &= R_2 \\ k_{n,1} q_1 + k_{n,2} q_2 + \dots + k_{n,n} q_n &= R_n \end{aligned} \quad (2-12)$$

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 :

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

Hubungan tersebut dapat ditulis dalam bentuk simbol berikut :

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\}$$

Hubungan regangan dengan perpindahan adalah :

$$\{\varepsilon\} = [B]\{d\}$$

Sehingga tegangan dapat dirumuskan sebagai :

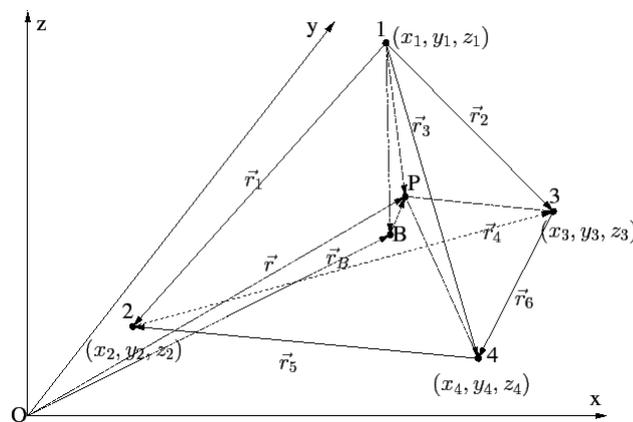
$$\{\sigma\} = [C][B]\{d\}$$

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.

### 2.7.2 Tipe Elemen untuk Analisis Tiga Dimensi

Analisis elemen hingga pada dasarnya dikembangkan untuk kondisi 2-D. Struktur 3-D menyebabkan penambahan persamaan berganda dalam jumlah besar, tetapi dengan menggunakan elemen dengan orde lebih tinggi dan komputer yang lebih cepat, maka masalah tersebut dapat diatasi.

Elemen *tetrahedral* didefinisikan dalam tiga sumbu koordinat,  $x, y, z$ , sehingga memiliki tiga komponen perpindahan yaitu  $u, v, w$ . Skema elemen *tetrahedral* dalam sumbu koordinat dapat dilihat pada gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2.17 Elemen *Tetrahedral*

Sumber : Nentchev , 1997 : 21

Fungsi untuk tiap titik pada elemen tetrahedron adalah :

$$\begin{aligned}
 u &= L_1 u_1 + L_2 u_2 + L_3 u_3 + (1 - (L_1 + L_2 + L_3)) u_4 \\
 v &= L_1 v_1 + L_2 v_2 + L_3 v_3 + (1 - (L_1 + L_2 + L_3)) v_4 \\
 w &= L_1 w_1 + L_2 w_2 + L_3 w_3 + (1 - (L_1 + L_2 + L_3)) w_4 \\
 x &= L_1 x_1 + L_2 x_2 + L_3 x_3 + (1 - (L_1 + L_2 + L_3)) x_4 \\
 y &= L_1 y_1 + L_2 y_2 + L_3 y_3 + (1 - (L_1 + L_2 + L_3)) y_4 \\
 z &= L_1 z_1 + L_2 z_2 + L_3 z_3 + (1 - (L_1 + L_2 + L_3)) z_4
 \end{aligned}
 \tag{2-13}$$

Kemudian disusun dalam matrik yang untuk mendefinisikan [N] matrik

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 & 0 & 0 & L_2 & 0 & 0 & L_3 & 0 & 0 & L_4 & 0 & 0 \\ 0 & L_1 & 0 & 0 & L_2 & 0 & 0 & L_3 & 0 & 0 & L_4 & 0 \\ 0 & 0 & L_1 & 0 & 0 & L_2 & 0 & 0 & L_3 & 0 & 0 & L_4 \end{bmatrix} \{q\}$$

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = [N] \{q\}
 \tag{2-14}$$

$$\text{Dimana } \{q\} = [u_1 \ v_1 \ w_1 \ u_2 \ v_2 \ w_2 \ u_3 \ v_3 \ w_3 \ u_4 \ v_4 \ w_4]^T$$

Kemudian perlu diketahui jarak perpindahan dari tiap node yang telah memiliki koordinat tersebut. Namun dalam mengetahui perpindahan tersebut menggunakan cara deriatif dari fungsi perpindahan dan koordinat dengan meninjau pada koordinat natural. Secara umum persamaan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial L_1} &= \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial L_1} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial L_1} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial L_1} \\ \frac{\partial u}{\partial L_2} &= \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial L_2} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial L_2} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial L_2} \\ \frac{\partial u}{\partial L_3} &= \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial L_3} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial L_3} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial L_3}\end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan persamaan yaitu :

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial z} \end{pmatrix} = \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ b_1 & b_2 & b_3 & b_4 \\ c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix}$$

Apabila dalam deriatif dari displacement  $v$  dan  $w$  menggunakan cara yang sama, maka matrik persamaan tersebut dapat dirubah menjadi matrik [B].

$$\{\varepsilon\} = [B]\{d\}$$

Atau

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_x \\ \gamma_y \\ \gamma_z \end{Bmatrix} = \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & a_2 & 0 & 0 & a_3 & 0 & 0 \\ 0 & b_1 & 0 & 0 & b_2 & 0 & 0 & b_3 & 0 \\ 0 & 0 & c_1 & 0 & 0 & c_2 & 0 & 0 & c_3 \\ b_1 & a_1 & 0 & b_2 & a_2 & 0 & b_3 & a_3 & 0 \\ 0 & c_1 & b_1 & 0 & c_2 & b_2 & 0 & c_3 & b_3 \\ c_1 & 0 & a_1 & c_1 & 0 & a_2 & c_3 & 0 & a_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ w_3 \\ u_4 \\ v_4 \\ w_4 \end{Bmatrix}$$

Dimana

$$a_1 = (y_2 - y_4)(z_3 - z_4) - (y_3 - y_4)(z_2 - z_4)$$

$$a_2 = (y_3 - y_4)(z_1 - z_4) - (y_1 - y_4)(z_3 - z_4)$$

$$a_3 = (y_1 - y_4)(z_2 - z_4) - (y_2 - y_4)(z_1 - z_4)$$

$$b_1 = (x_3 - x_4)(z_2 - z_4) - (x_3 - x_4)(z_3 - z_4)$$

$$b_2 = (x_1 - x_4)(z_3 - z_4) - (x_1 - x_4)(z_1 - z_4)$$

$$b_3 = (x_2 - x_4)(z_1 - z_4) - (x_2 - x_4)(z_2 - z_4)$$

$$b_1 = (x_2 - x_4)(y_3 - y_4) - (x_3 - x_4)(y_2 - y_4)$$

$$b_2 = (x_3 - x_4)(y_1 - y_4) - (x_1 - x_4)(y_3 - y_4)$$

$$b_3 = (x_1 - x_4)(y_2 - y_4) - (x_2 - x_4)(y_1 - y_4)$$

$$a_4 = -(a_1 + a_2 + a_3)$$

$$b_4 = -(b_1 + b_2 + b_3)$$

$$c_4 = -(c_1 + c_2 + c_3)$$

$$[J] = (x_1 - x_4)(a_1) + (y_1 - y_4)(b_1) + (z_1 - z_4)(c_1)$$

Dari penjabaran yang telah diberikan sebelumnya, maka untuk mengetahui kekakuan dari elemen tersebut adalah :

$$[k] = [B]^T [C] [B] \frac{|J|}{6} \quad (2-15)$$

### 2.7.3 Persoalan Non-Linier

Salah satu pertimbangan dalam melakukan analisis pada kasus mekanika benda pejal menggunakan pendekatan *finite element method* adalah apakah struktur benda dalam keadaan linier ataukah nonlinier. Hal tersebut akan tergantung terhadap kondisi struktur dan properti material yang dipakai. Pada kondisi linier, kompatibilitas dan hubungan kesetimbangan adalah linier serta perpindahan dan regangannya kecil. Pada kondisi tersebut terdapat hubungan yang proporsional antara beban dengan respon sistem. Apabila dalam analisis nantinya terdapat hal-hal yang membuat hubungan tersebut tidak berbanding lurus, maka perlu dipertimbangkannya untuk memakai analisis *nonlinear*.

Pada proses pembentukan logam, deformasi yang terjadi adalah besar (*large deformation*). Selain itu terdapat kondisi elastis plastis dimana matrik konstitutif tergantung pada tegangan sebelumnya. Karena kedua kondisi di atas maka prosedur metode elemen hingga yang digunakan adalah nonlinier.

Prinsip dasar persoalan nonlinier adalah persamaan kesetimbangan harus ditulis dengan mengacu pada geometri yang sudah terdeformasi dan pada kondisi elastis plastis persamaan kesetimbangan harus ditulis dengan menggunakan sifat material yang tergantung pada tegangan sebelumnya bukan oleh suatu matrik konstanta. Persoalan nonlinier bisa diubah menjadi permasalahan linier dengan sistem koordinat *update Lagrangian* atau dengan metode *Newton Raphson*.

- 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 gerakan elemen.
  2. Diferensiasi 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.
- Metode *Newton Raphson*

Misal terdapat sebuah fungsi beban terhadap peralihan  $R = f(q)$  untuk sistem kebebasan derajat tunggal (Gambar 2.5). Bayangkan kita telah memperoleh perpindahan  $q_A$  yang berkenaan dengan  $R_A$ . Beban kemudian dinaikan 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

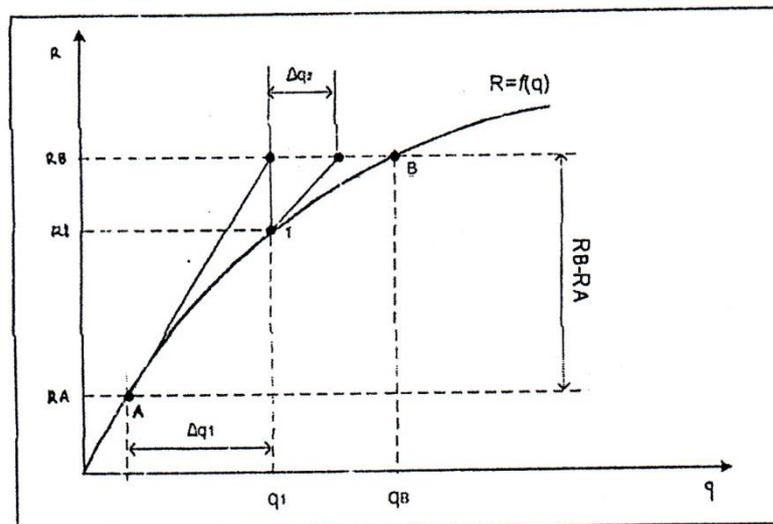
$$f(q_A + \Delta q_1) = f(q_A) + (dR/dq)_A (\Delta q_1) \quad (2-16)$$

dimana :

$$f(q_A) = R_A, [dr/dq]_A = K_A \text{ (kekakuan pada A), dan } f(q_A + \Delta q_1) = R_B$$

sehingga

$$K_A (\Delta q_1) = R_B - R_A \quad (2-17)$$



Gambar 2.18 Metode Newton Raphson

Sumber : <http://thendaluxxx.blogspot.com/2011/07/metode-newton-raphson-solusi-persamaan.html>

$R_B - R_A$  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  $R_1$
3. Hitung inkremen peralihan  $\Delta q_2$  berikutnya dari  $K_1$  ( $\Delta q_2 = R_B - R_1$ )

Jadi  $R_B - R_1$  ialah kesetimbangan gaya saat itu. Akhirnya  $q_B = q_A + q_1 + q_2 + \dots$  untuk pendekatan yang cukup dekat.

Dengan prosedur semacam ini maka pada kondisi elastis plastis matrik konstitutif bisa dievaluasi tiap-tiap iterasi berdasarkan tegangan sebelumnya.

## 2.8 Software ANSYS 14.5

Dalam penelitian ini digunakan metode simulasi dengan memakai *software* ANSYS 14.5. ANSYS 14.5 merupakan *software* simulasi berbasis *Finite Element Method* (metode elemen hingga), yang didesain khusus untuk menganalisa bermacam-macam proses pembentukan logam dan industri terkait. Beberapa kelebihan menggunakan metode simulasi dengan *software* ini adalah:

1. Mengurangi biaya *trail and error* dan desain ulang dari peralatan dan proses produksi.
2. Dapat digunakan untuk perencanaan optimasi produksi, sehingga dapat mengurangi ongkos produksi dan material.
3. Lebih efisien dalam segi waktu untuk menghasilkan suatu produk.

ANSYS 14.5 dibuat khusus untuk memodelkan deformasi 3 dimensi, dengan proses analisa dan persiapan data yang mudah maka fokus akan tertuju pada proses pembentukan.

### 2.8.1 Langkah-langkah simulasi menggunakan ANSYS 14.5

Seperti *software* simulasi umumnya, langkah-langkah simulasi yang digunakan pada ANSYS 14.5 juga dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu:

1. *Pre-processor* (proses awal)

*Pre-processor* merupakan tahap pemasukan data-data yang diperlukan dalam simulasi. Tahap-tahap pemasukan data pada bagian ini adalah:

- Diskripsi objek ; meliputi pemasukan data geometri benda kerja dan cetakan, spesifikasi material, dan jumlah *mesh*.
- Kontrol simulasi ; meliputi tipe simulasi yang digunakan (*type : incremental*) metode iterasi yang digunakan, pergerakan cetakan

dan kondisi batas simulasi (temperatur, kecepatan penekanan, langkah cetakan, dan koefisien gesek).

- *Generate Data Base* ; meliputi tahap pengecekan terhadap data yang telah dimasukkan pada kedua proses di atas dan tahap pembuatan *data base file* (\*.DB).

## 2. *Simulator*

*Simulator* merupakan eksekutor program yang melakukan proses *running* atau eksekusi program yang telah dibuat pada tahap *pre processor* dan disimpan dalam bentuk *data base file* (\*.DB). Pada tahap ini, dapat memonitor proses eksekusi program yang sedang berjalan melalui informasi yang disampaikan program dalam *log file* (\*.LOG) dan *message file* (\*.MSG)

## 3. *Post Processor*

*Post Processor* merupakan tahap pembacaan hasil proses eksekusi. Informasi penting yang dapat diperoleh pada tahap ini antara lain:

- Proses simulasi ; berupa tampilan gerakan (animasi) cetakan menekan benda kerja hingga terbentuk geometri akhir benda kerja yang mengikuti bentuk dalam cetakan.
- *Plot result* ; berupa *contour plot* (untuk menampilkan distribusi beberapa variabel, seperti : tegangan, regangan, temperatur, dan deformasi) dan *vector plot* (untuk melihat vektor perpindahan dan kecepatan yang terjadi pada setiap step proses deformasi)
- *Point tracking* ; berupa *tool* untuk mengetahui informasi hasil proses pada suatu titik tertentu yang kita ingin ketahui.
- *Summary* ; berupa jendela program yang dapat menampilkan rangkuman informasi hasil simulasi berupa nilai beberapa variabel seperti perubahan volume, tegangan, regangan, dan kecepatan tiap node.
- Grafik hubungan beberapa variabel antara lain waktu-beban, beban-volume, dan beban-perpindahan.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan di dalam menyelesaikan masalah dalam penelitian ini adalah eksperimental semu, yaitu mengambil data dari simulasi program dengan bantuan *software* ANSYS 14.5. Metode ini bertujuan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan sebagai acuan maupun perkiraan dalam melaksanakan eksperimen secara nyata. Disamping itu juga dilakukan studi literatur untuk memperoleh informasi tambahan berkenaan dengan penelitian yang dilakukan. Dalam hal ini peneliti berusaha sedekat mungkin dengan memberi asumsi yang mendekati eksperimen nyatanya.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan spesifikasi computer:

- PROSESOR : Intel ® Core™ i7-2600 CPU @ 3.10 GHz
- RAM : 16 Gb
- Operating System : Microsoft Windows 7 Ultimate

Sedangkan waktu penelitian adalah pada bulan 3 April 2012 – 27 Juni 2012.

#### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan penekanan yaitu 40 ft/min, 45 ft/min, 50ft/min.

2. Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah besarnya cacat die *fill defect*.

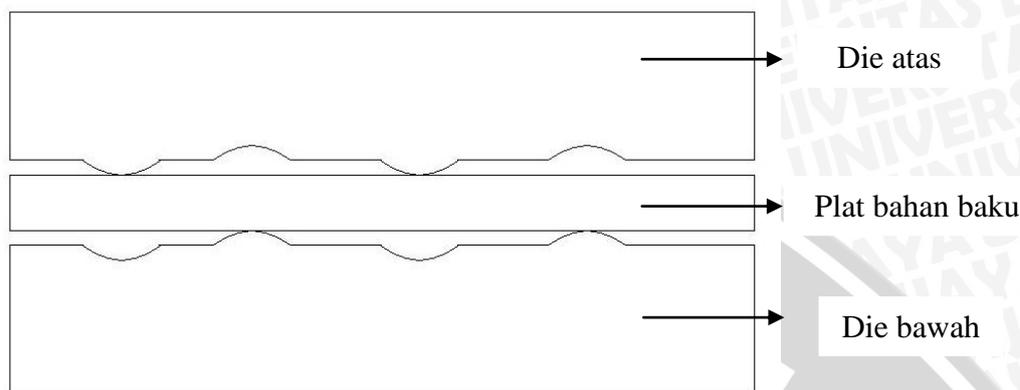
3. Variabel terkontrol

yaitu variabel yang nilainya dijaga konstan selama pengujian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:

- Koefisien gesek = 0,15
- Tebal plat = 1,5 mm

### 3.4 Pemodelan Geometri dan Material

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan simulasi 3 dimensi, dimana dies atas diposisikan sudah menempel pada plat dan plat diletakkan diantara dies atas dan bawah (Gambar 3.1).

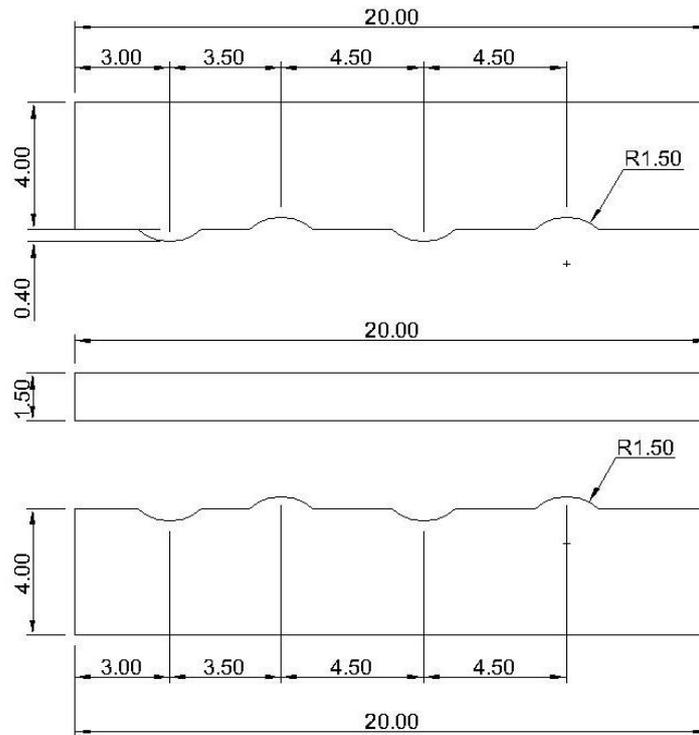


Gambar 3.1 Pemodelan kasus pembuatan metal gasket dengan simulasi computer. Dies atas digerakkan dengan kecepatan yang divariasikan dimana akan menekan plat bahan baku untuk mengisi rongga cetakan. Material yang digunakan untuk plat adalah SUS304, sedangkan material yang dipakai untuk dies atas dan dies bawah adalah SS400. Material plat akan dimodelkan dengan *bilinear kinematic hardening material*, sedangkan model dies atas dan dies bawah dimodelkan sebagai *rigid material*. Data properties dari masing-masing material dapat dilihat dari Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Properties material yang digunakan di simulasi

	Material	E	$\nu$	$\sigma_y$	Tangent Modulus
Plat baku	SUS 304	123 GPa	0.3	398,83 MPa	1900.53 MPa
Dies atas dan bawah	SS 400	240 GPa	0.3	230 MPa	1000 MPa

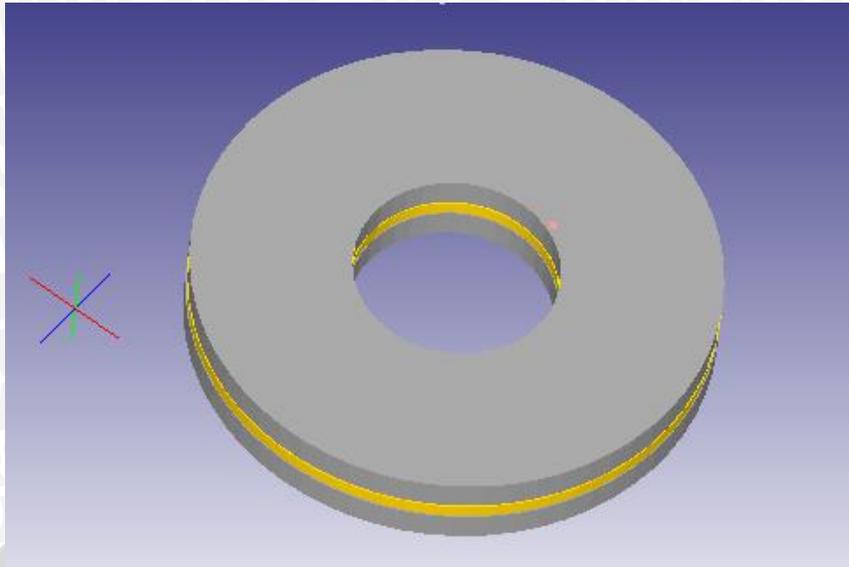
Gambar 3.2 memberikan informasi spesifikasi geometri lengkap dari masing-masing komponennya.



Gambar 3.2 Spesifikasi geometri *die* atas, *die* bawah dan plat (satuan mm).

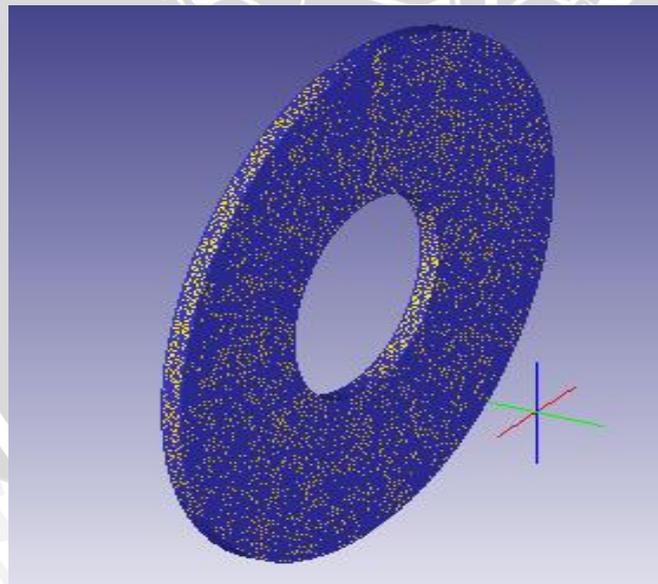
### 3.5 Proses Pemodelan

Tahap awal dari pemodelan ini dimulai dengan menggambar bagian-bagian yang terlibat dalam proses yaitu pelat, *die* atas, dan *die* bawah. Penggambaran dilakukan dengan menggunakan *software* Solid Work 2011 yang nantinya disimpan dalam format STL, yang kemudian diimpor ke *software* ANSYS 14.5, sehingga didapatkan hasil seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pemodelan Proses Press Forming

Model yang dibuat dengan *software* Solid Work 2011, pada awalnya digambar tergabung menjadi satu, dimana nantinya harus di *save* setiap *part* meliputi pelat, *die* atas dan *die* bawah. Hal ini bertujuan agar pada saat diimport di *software* ANSYS 14.5, posisi masing-masing *part* sesuai dengan yang didesain pada gambar 3.1. Proses selanjutnya adalah memberikan informasi material dan perlakuan variasi tebal dan kecepatan yang sudah di setting sesuai variable bebas. Pola meshing dilakukan dengan model yang halus agar visualisasi cacat *die fill* dapat dilihat (Gambar 3.4)



Gambar 3.4 Tampilan setelah plat setelah di *Meshing*

### 3.6 Rancangan Percobaan

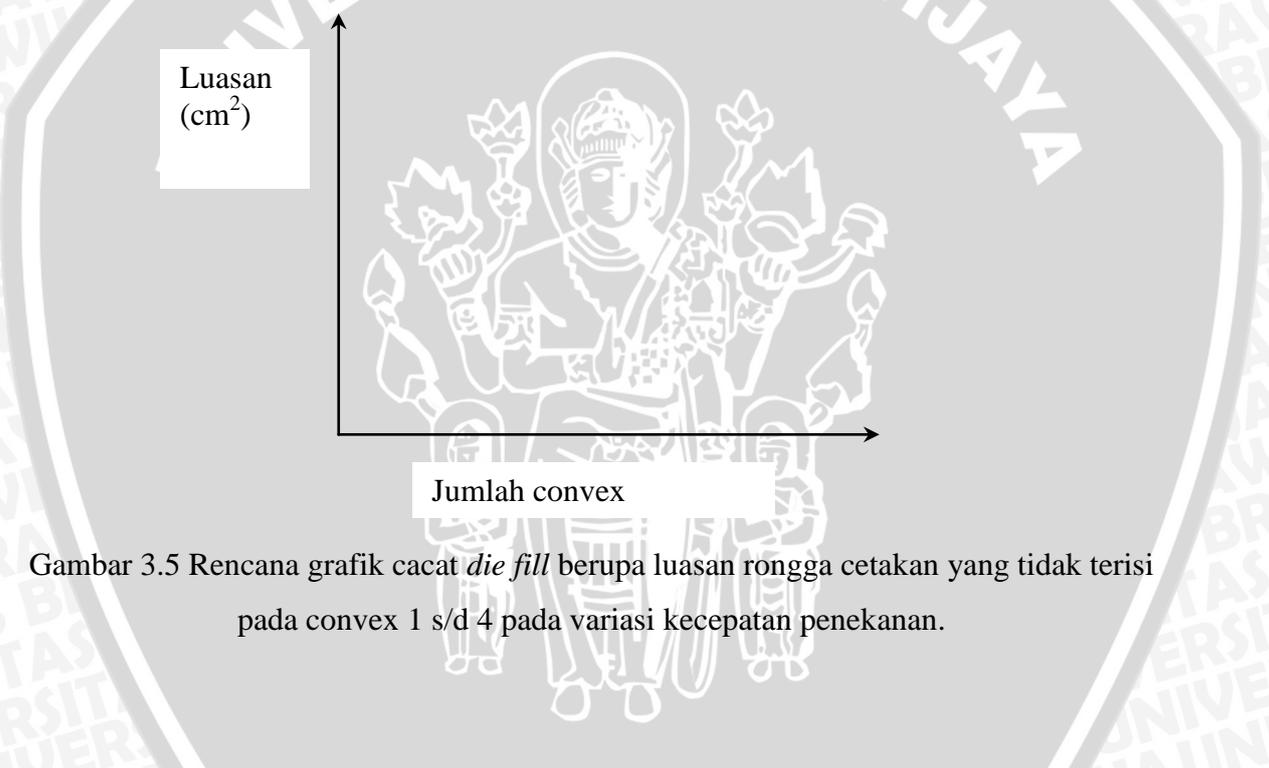
Adapun rancangan percobaan yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.2. Dari Tabel 3.2 akan dihasilkan cacat *die fill* berupa luasan rongga cetakan yang tidak

terisi pada convex 1 s/d 4 pada variasi kecepatan penekanan (Gambar 3.5), dimana visualisasi cacat *die fill defect* pada salah satu convex metal gasket dapat dilihat pada Gambar 3.6.

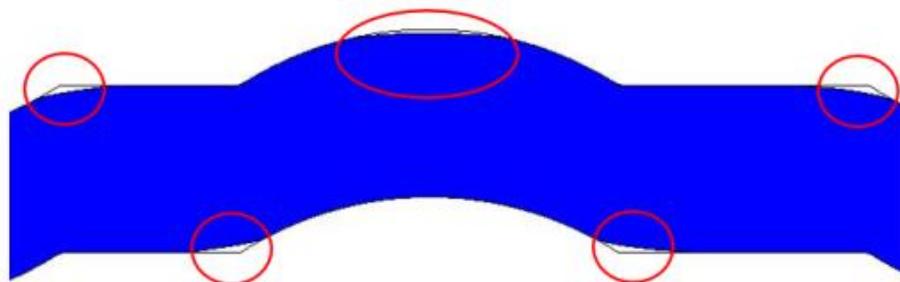
Tabel 3.2 Rancangan Percobaan

Running Model	KECEPATAN PENEKANAN		
	40 ft/min	45ft/min	50 ft/min
1	Convex 1=.....	Convex 1=.....	Convex 1=.....
2	Convex 2=.....	Convex 2=.....	Convex 2=.....
3	Convex 3=.....	Convex 3=.....	Convex 3=.....
4	Convex 4=.....	Convex 4=.....	Convex 4=.....

Keterangan : convex 1 s.d 4 adalah hasil luasan dari cacat *die fill*.



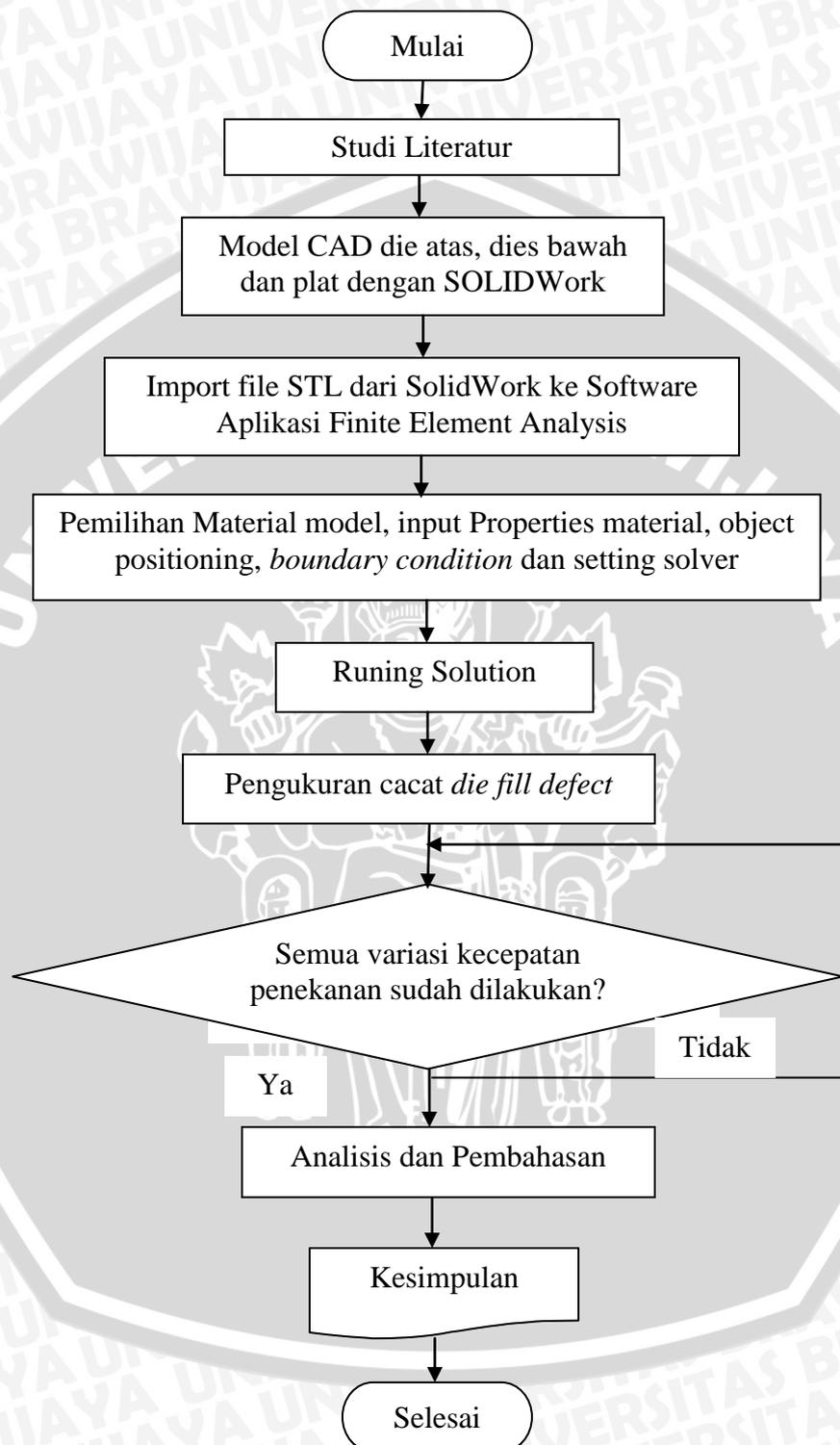
Gambar 3.5 Rencana grafik cacat *die fill* berupa luasan rongga cetakan yang tidak terisi pada convex 1 s/d 4 pada variasi kecepatan penekanan.



Gambar 3.6 Visualisasi cacat *die fill defect* pada salah satu convex metal gasket

### 3.7 Diagram alir Penelitian

Gambar 3.7 menunjukkan diagram alir penelitian yang dilakukan.



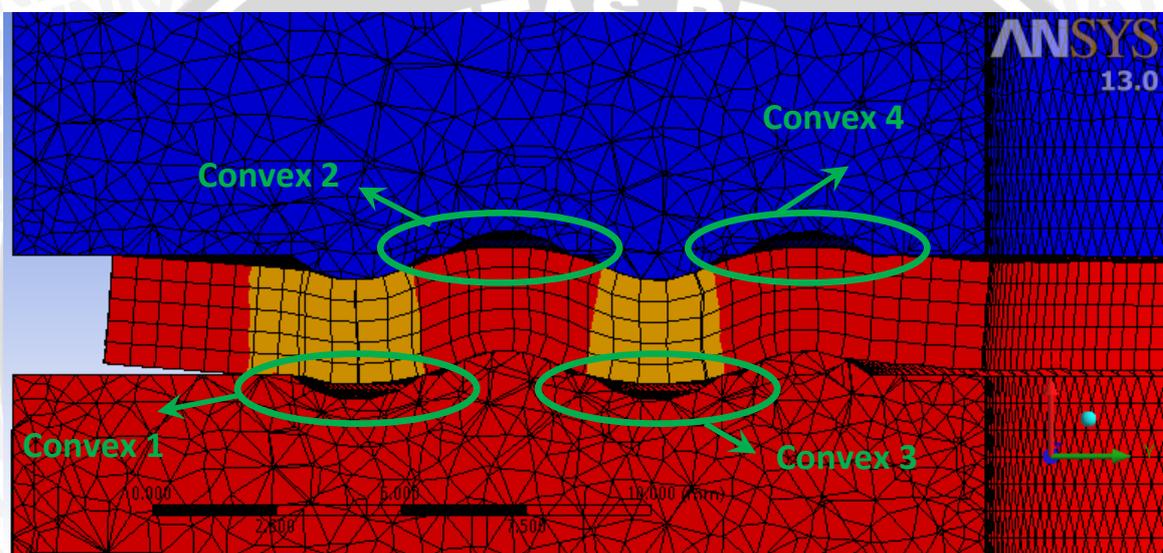
Gambar 3.7 Diagram alir Penelitian

## BAB IV

## HASIL DAN PEMBAHASAN

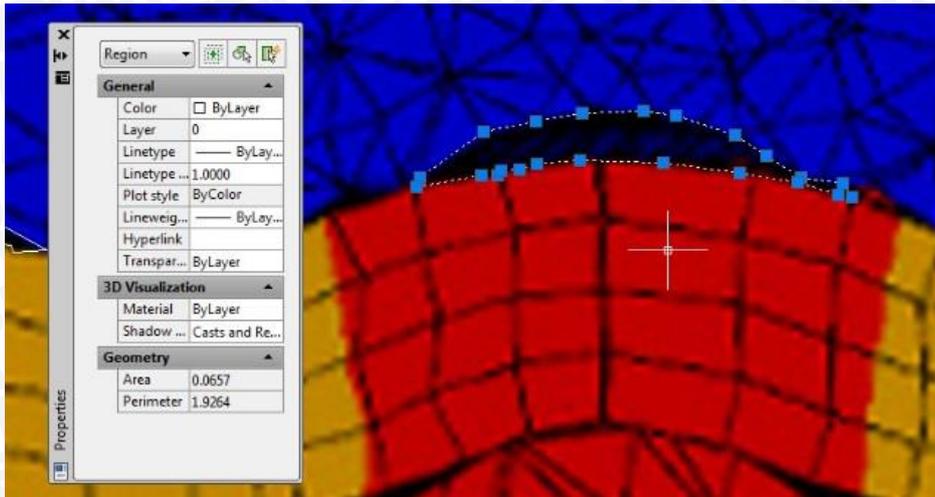
## 4.1 Hasil Simulasi Komputer

Dari hasil simulasi komputer pada *press forming* produk gasket dengan software ANSYS 14.5 dapat ditampilkan prediksi luasan *die fill defect* pada potongan penampang convex gasket seperti terlihat pada Gambar 4.1 (lokasi *die fill defect* diberi tanda garis warna hijau).



Gambar 4.1 Prediksi luasan *die fill defect* pada potongan penampang convex gasket

Cara menghitung luasan *die fill defect* dilakukan dengan mengimport gambar hasil plot ANSYS (file \*.bmp) ke software AUTOCAD dan diberikan titik-titik penanda agar dapat dilakukan penghitungan luasan dengan *feature Region* (Gambar 4.2)



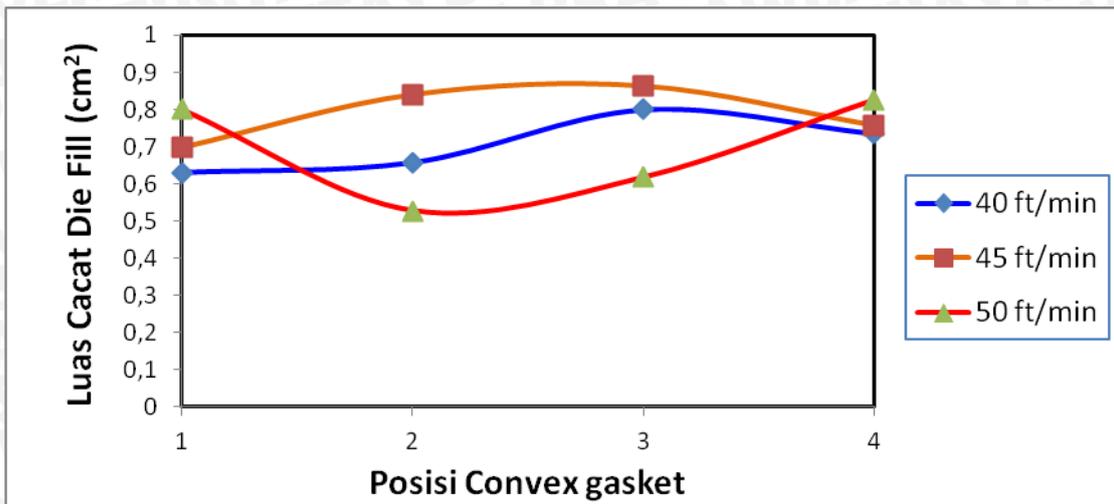
Gambar 4.2 Cara menghitung luasan die fill defect pada penampang convex gasket Dengan variasi kecepatan penekanan dan tebal plat dapat dihasilkan data cacat *die fill defect* seperti terlihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Cacat *die fill defect* pada variasi kecepatan penekanan

Convex	KECEPATAN PENEKANAN		
	40 ft/min	45 ft/min	50 ft/min
1	0.630 cm <sup>2</sup>	0.6983 cm <sup>2</sup>	0.800 cm <sup>2</sup>
2	0.657 cm <sup>2</sup>	0.8394 cm <sup>2</sup>	0.5274 cm <sup>2</sup>
3	0.800 cm <sup>2</sup>	0.8624 cm <sup>2</sup>	0.6172 cm <sup>2</sup>
4	0.735 cm <sup>2</sup>	0.7576 cm <sup>2</sup>	0.8262 cm <sup>2</sup>

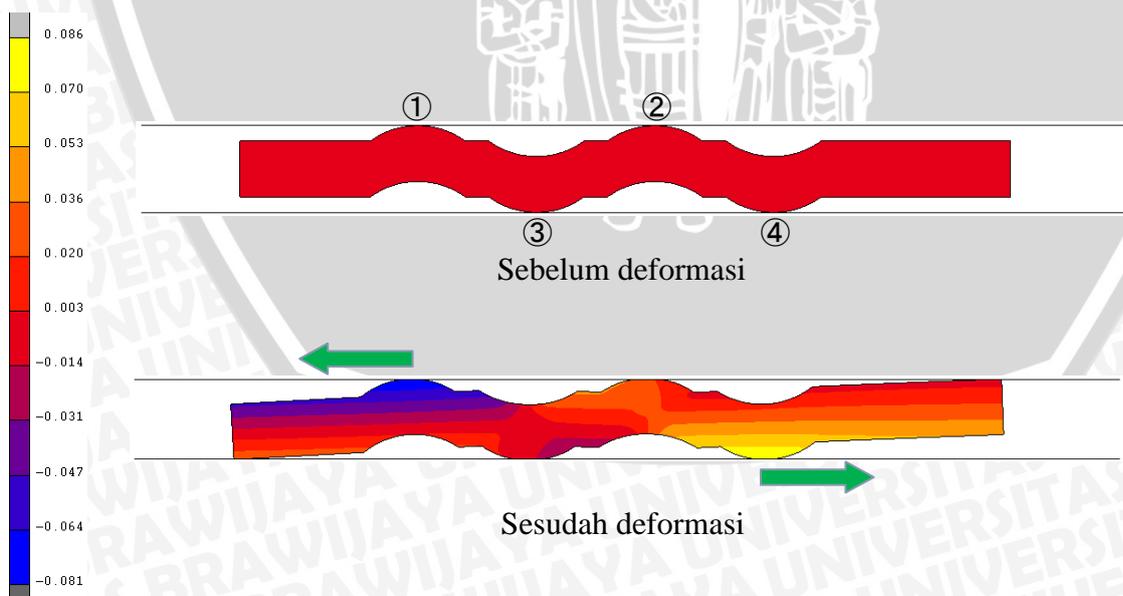
#### 4.2 Pembahasan

Gambar 4.3 menampilkan besar die fill defect pada posisi convex gasket dengan variasi kecepatan 40, 45 dan 50 ft/min pada tebal gasket 1,5 mm. Semakin besar kecepatan penekanan maka akan menghasilkan cacat *die fill* yang bervariasi pada posisi convex no. 1 dan 4. Hasil cacat *die fill* di posisi convex no. 1 dan 2 ternyata memberikan hasil yang mendekati sama pada semua variasi kecepatan penekanan. Sedangkan hasil cacat *die fill* di posisi convex no. 2 dan 3 cenderung mengalami harga yang lebih bervariasi pada semua variasi kecepatan penekanan. Hal ini disebabkan pada saat bahan baku dideformasi dengan press forming, material cenderung mengalir kearah dalam dan luar radius atau dengan kata lain cenderung mengisi cetakan pada posisi convex 1 dan 4.

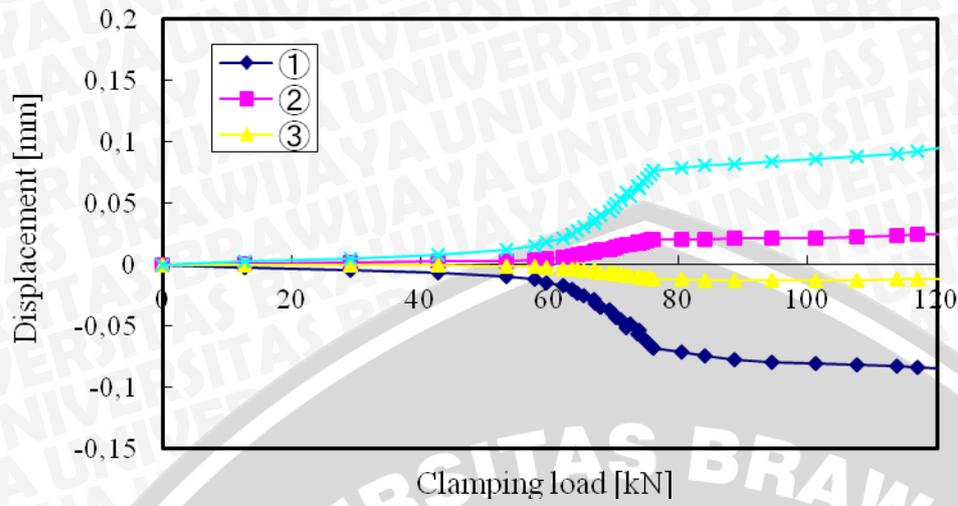


Gambar 4.3 Grafik besar die fill defect pada posisi convex gasket dengan variasi kecepatan 40, 45 dan 50 ft/min pada tebal gasket 1,5 mm

Penelitian sebelumnya (Choiron : 2011) memberikan informasi yang penting bahwa kebocoran gasket lebih dominan ditahan oleh convex 2 dan 3 sehingga untuk memutuskan hasil dari Gambar 4.3 yang memberikan cacat paling minimal hanya akan ditinjau dari hasil pada convex 2 dan 3. Sehingga cacat yang terkecil terjadi pada variasi kecepatan 50 ft/min sebesar 0,5274 cm<sup>2</sup>. Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan fakta kebocoran lebih dominan pada convex 2 dan 3 dari analisa fenomena bergesernya posisi dan besar perubahan posisi convex gasket setelah gasket berdeformasi akibat pemasangan pada flange.



Gambar 4.4 Phenomena bergesernya posisi convex gasket setelah gasket berdeformasi akibat pemasangan pada flange



Gambar 4.5 Besar perubahan posisi *convex* gasket setelah gasket berdeformasi akibat pemasangan pada flange



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi komputer dengan metode elemen hingga untuk memodelkan proses *press forming* untuk menghasilkan prediksi cacat *die fill defect* pada produk *new metal gasket 25-A* didapatkan hasil sebagai berikut:

- Semakin besar kecepatan penekanan maka akan menghasilkan cacat die fill yang bervariasi. Hasil cacat die fill di posisi convex no. 1 dan 2 ternyata memberikan hasil yang mendekati sama pada semua variasi kecepatan penekanan. Sedangkan hasil cacat die fill di posisi convex no. 2 dan 3 cenderung mengalami harga yang lebih bervariasi pada semua variasi kecepatan penekanan.
- Cacat paling minimal dengan asumsi ditinjau dari hasil pada convex 2 dan 3 terjadi pada variasi kecepatan 50 ft/min sebesar  $0,5274 \text{ cm}^2$ .

#### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai variabel-variabel lain yang berpengaruh dalam proses *press forming* sehingga didapatkan gambaran yang lebih lengkap mengenai proses ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Castro, Catarina F, et al. 2000. A Multilevel Approach To Optimazation Of Bulk Metal Forming Processes. European Congress on Computation Methods in Applied Sciences and Engineering. Barcelona.
- Choiron M.A, Haruyama S., Kaminishi K. (2010), Simulation and Experimentation on The Contact Width of New Metal Gasket for Asbestos Subtitution, International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering, vol. 5, vol. 4, pp. 283-287.
- Choiron M.A, Haruyama S., Kaminishi K. (2011), Optimum Design of New 25-A Size Metal Gasket Considering Plastic Contac Stress, International Journal of Modeling and Optimization, vol. 1, no. 2, pp. 146-150
- Didik Nurhadiyanto, Moch Agus Choiron, Ken Kaminishi, Shigeyuki Haruyama (2012), Optimization of New 25A-siza Metal Gasket Design Based on Contact Width Considering Forming and Contact Stress Effect, World Academy of Science, Engineering and Technology 63.
- Dieter, George E (1992), Metalurgi Mekanik; Jilid II; Edisi-3; Terjemahan Sriati Djaprie; Erlangga, Jakarta.
- Haruyama S., Choiron M.A, Kaminishi K. (2009), A Study of Design Standart and Performance Evaluation on New Metallic Gasket, Proceeding of the 2nd International Symposium on Digital Manufacturing, Wuhan China, pp. 107-113.
- Heinz Tschachtsch (2006), Metal Forming Practise : Processes – Machines – Tools, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gere, Timoshenko (2000), Mekanika Bahan edisi ke-4, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Saeed, H.A, Izumi, S., Sakai, S., Haruyama, S., Nagawa, M., Noda, H. (2008), Development of New Metallic Gasket and its Optimum Design for Leakage Performance, Journal of Solid Mechanics and Material Engineering vol. 2, no. 1, pp. 105-114.
- Schuler (1998), Metal Forming Handbook, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.