BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gasket merupakan suatu elemen mesin terutama dalam sistem pemipaan yang berfungsi sebagai sekat antara dua elemen mesin yang berpasangan. Gasket diperlukan untuk penahan kebocoran ketika suatu fluida baik cair maupun gas yang memiliki tekanan melewati sambungan. Material gasket harus kuat dalam menahan tekanan dan temperatur yang tinggi selama pemakaian dalam jangka waktu tertentu dan tahan terhadap laju aliran fluida yang tinggi sehingga tidak mudah aus.

Sejak tahun 1899 asbestos digunakan sebagai material gasket yang memiliki kekuatan yang cukup baik dan mampu tahan pada suhu yang tinggi. Tetapi seiring berjalannya waktu dalam pemakaiannya material asbestos ini memiliki dampak yang buruk bagi kesehatan seperti penyebab penyakit *lung cancer*, *mesothalemenia* dan *asbestosis*. Sejak tahun 1980-an sudah banyak negara maju melarang produksi dan pemakaian komponen berbahan asbestos. Inggris melarang penggunaan material asbestos coklat dan biru pada pertengahan 1980an, di Australia penggunaan asbestos dilarang untuk produk perumahan sejak tahun 1989, dan di Jepang mulai awal tahun 2008 melarang penggunaan asbestos sebagai material gasket.

Sebagai dampak dari dilarangnya penggunaan asbestos sebagai material gasket, harus dilakukan inovasi dalam pembuatan dan pemilihan material gasket. Salah satu *gasket alternative* yang saat ini dikembangkan adalah *metal gasket*. *Metal gasket* dipilih karena memiliki beberapa keunggulan seperti ketahanan pemakaian dalam suhu yang tinggi, ketahanan terhadap tekanan yang tinggi dan juga tahan terhadap reaksi kimia.

Saeed (2008), 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 (2009), 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 (2011), 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.

Proses produksi *metal gasket* menggunakan metode *dies press forming* masih memiliki kelemahan yaitu adanya tahapan *trial and error* dalam menentukan parameter – parameter yang tepat untuk menghasilkan gasket dengan cacat yang minimal. Proses *trial and error* ini memberikan kerugian bagi perodusen gasket, hal ini dikarenakan material akan banyak terbuang dan memakan waktu yang lebih lama dalam penentuan parameter yang tepat.

Beberapa parameter yang sering menjadi kendala yaitu adanya faktor gesekan antara bahan dengan *dies* yang memeberikan nilai koefisien gesek yang berbeda – beda, sedangkan cacat yang sering terjadi adalah cacat *die fill* yaitu cacat karena tidak terisinya rongga cetakan yang sesuai dengan spesifikasi geometri desain. Untuk analisa menggunakan metode FEM (*Finite Element Method*) masih mengalami kendala dalam pemodelan material yang sesuai dengan keadaan nyata sehingga memeberikan hasil yang mendekati pembentukan aktual.

Dari latar belakang tersebut maka penelitian ini memilih untuk mensimulasikan proses *dies press forming* pada pembentukan *metal gasket* dengan variasi koefisien gesek dan pemodelan material gasket terhadap cacat yang terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dirumuskan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh dari koefisien gesek dan pemodelan material terhadap cacat hasil pembentukan *metal gasket* dengan metode *dies press forming*?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Model yang disimulasi terdiri dari dies atas, dies bawah dan bahan baku
2. Model gasket yang disimulasi yaitu *corrugated gasket* tipe 20A
3. *Dies* dimodelkan sebagai *rigid model.*

4. Pemodelan bahan baku sebagai *non linier material*
5. Cacat yang diteliti adalah cacat tidak terisinya rongga cetakan sehingga geometri produk proses tidak sesuai dengan spesifikasi geometri desain.
6. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah SolidWorkS 2014 untuk penggambaran benda kerja, ANSYS 14.5 untuk simulasinya dan AUTOCAD 2012 untuk perhitungan luasan cacat *die fill defect*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh faktor gesekan bahan dan pemodelan material terhadap cacat yang terjadi pada proses *dies press forming* dalam pembuatan *metal gasket*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran awal mengenai pengaruh koefisien gesek bahan terhadap hasil dari proses *dies press forming* pada pembuatan *metal gasket* sehingga mengurangi proses *trial and error* dalam proses produksi sesungguhnya dan acuan dalam penentuan pemodelan material yang tepat untuk digunakan pada analisa FEM pada pembuatan *metal gasket.*

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Hao, *et al* (1999) dalam tulisannya mengenai " *Friction measurement apparatus for sheet metal forming",* menjelaskan suatu alat untuk menghitung gesekan yang terjadi pada proses *sheet metal forming* dengan beberapa variasi seperti *pin radius, pin material* dan *lubrication* atau pelumasan. Pada variasi pelumasan dilakukan percobaan dengan membandingkan proses tanpa pelumasan, pelumasan dengan oli mineral, oli mineral dengan campuran 1% *oleic acid,* dan oli mineral dengan campuran 1% *stearic acid.* Pelumasan dengan campuran 1% *stearic acid* menghasilkan koefisien gesek yang kecil yaitu 0.12, kemudian campuran 1% *oleic acid* menghasilkan koefisien gesekan 0.15, sedangkan pelumasan dengan oli mineral murni menghasilkan koefisien gesekan yang tidak terlalu baik dan hampir sama dengan tanpa pe lumasan yaitu 0.27.

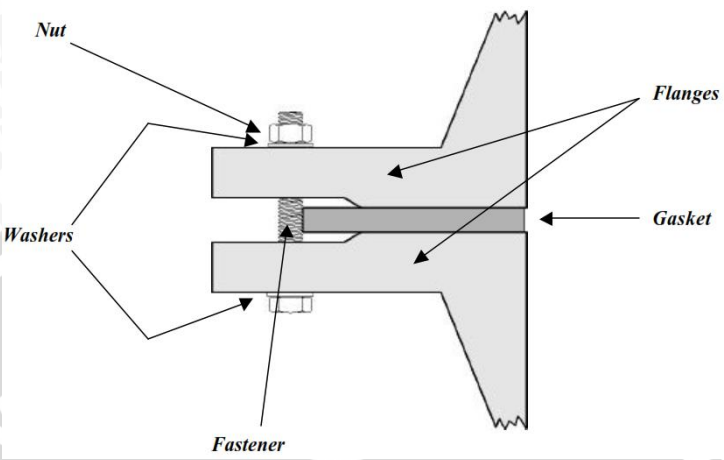
Nurhadiyanto *et al* (2012) meneliti bahwa lebar kontak dan tegangan kontak merupakan parameter desain yang penting untuk mengoptimalkan kenerja gasket, namun kisaran nilai tegangan kontak belum diteliti secara menyeluruh. Kemudian optimasi desain gasket dilakukan berdasarkan analisis tegangan kontak elastis dan plastis menggunakan metode elemen hingga. Dengan menggunakn dua tahap simulasi yaitu pembentukan dan pengencangan. Evaluasi akhir ditentukan dengan memeriksa kebocoran jumlah helium dari kedua jenis gasket. Hasil akhirnya didapat bahwa desain berdasarkan tegangan plastis lebih baik daripada desain tegangan elastis.

Abdullah (2013) merancang simulasi *press forming* untuk memprediksi cacat yang terjadi pada gasket tipe 25A. Dengan metode elemen hingga didapatkan hasil bahwa semakin besar kecepatan penekanan akan menghasilkan *die fill defect* yang bervariasi. Dan ditemukan *die fill defect* yang paling minimal dengan kecepatan variasi 50 ft/min.

2.2 Gasket

Gasket secara sederhana dapat diartikan sebagai alat 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 lain yang dapat dijadikan alternatif pengertian yaitu, sebuah alat untuk menutup atau menyegel dua permukaan dengan cara memberikan dan menyimpan energi diantara dua permukaan itu (James Walker Moorflax). Sedangkan definisi berikutnya

yaitu 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 2.1 Penempatan Gasket pada Sambungan
Sumber : ESA, 1998:11

Dari beberapa definisi diatas dapat disimpulkan bahwa gasket adalah suatu alat yang berfungsi menutup atau menyegel celah antara permukaan atau *flange* yang bersambungan. 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 memungkinkan dua permukaan tidak menutup secara sempurna, dan apabila tidak disumbat atau disegel dari ketidakrataan yang muncul tersebut akan terjadi kebocoran 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*)

2.3 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.

2.3.1 Macam – Macam Proses Pembentukan

Klasifikasi berdasarkan Gaya Pembentukan

1. Pembentukan dengan gaya tekan

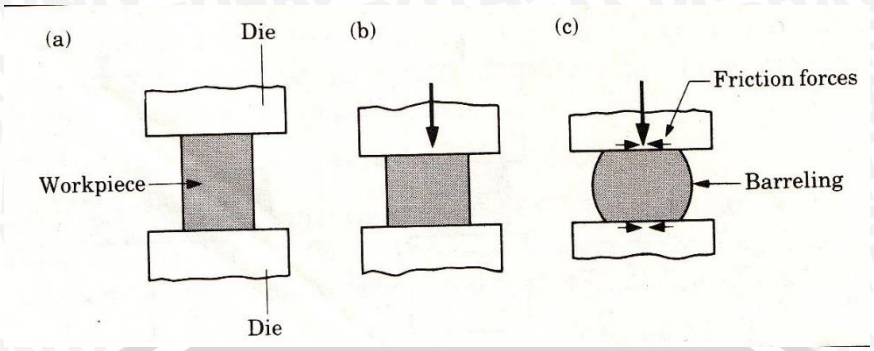
a. *Forging*

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 dimana benda kerja yang *solid* ditempatkan di antara dua *dies* datar dan mengurangi tingginya dengan memberi tekanan pada benda kerja. Prosesnya biasanya dinamakan *upsetting* atau *flat- die forging*. Ketika benda kerja mengalami deformasi maka pada setiap pengurangan tinggi akan meningkatkan diameter benda kerja. Ketika mengalami pertambahan diameter dimungkinkan terjadi lengkungan pada sisi benda kerja. Lengkungan ini disebut *barreling* yang disebabkan oleh gaya gesek

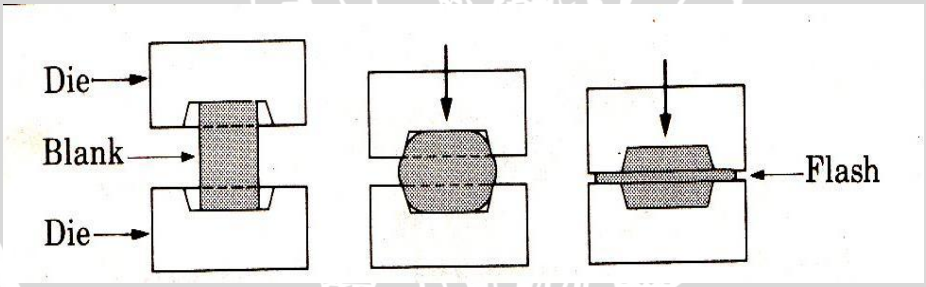
pada *die* dan permukaan benda kerja. *Barreling* dapat diminimalisir dengan memberikan pelumasan pada saat proses pembentukan.



Gambar 2.2 *Open-die forging*
Sumber: Kalpakjian, 2013 : 387

2. *Impression-die forging*

Impression –die forging memiliki proses yang hampir sama dengna *open – die forging* tetapi benda kerja ditempatkan pada *dies* yang memiliki rongga yang nantinya akan membentuk benda kerja sesuai dengan rongga *dies*. Selama proses *forging*, beberapa material mengalir keluar dari *dies* dan membentuk *flash*. *Flash* memiliki peran penting dalam aliran material yang menentukan rongga *dies* akan terisi penuh atupun tidak.

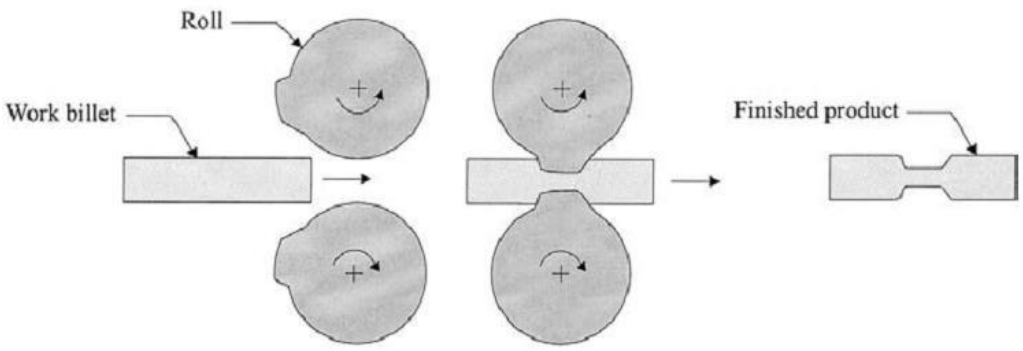


Gambar 2.3 *Impression-die forging*
Sumber: Kalpakjian, 2013 : 389

3. *Roll forging*

Roll forging yaitu proses pembentukan logam dengan cara membentuk logam kosong menjadi bentuk yang memiliki profil dengan memberi masukan melalui sepasang *roll* dengan alur yang berbentuk. *Roll* yang beroperasi memiliki bentuk profil pada sebagian dari siklus yang berotasi. Gaya pembentukan yang terjadi diakibatkan oleh putaran dari *roll*. Hal ini dapat

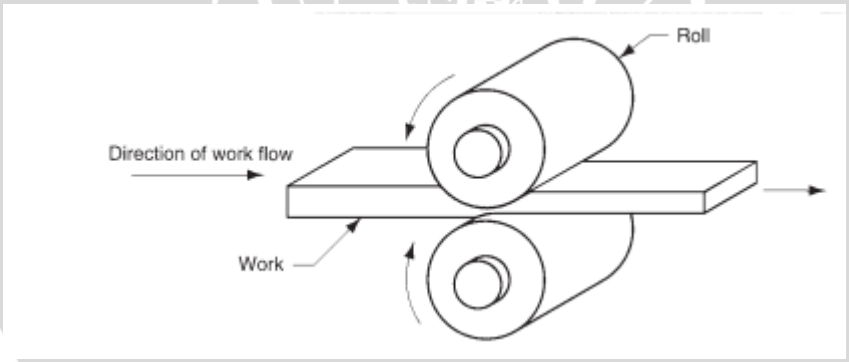
digunakan untuk produksi bagian yang panjang dan tipis, termasuk poros meruncing, pegas daun, dan kadang-kadang bor.



Gambar 2.4 *Roll Forging*
Sumber : Groover, 2007 : 414

b. *Rolling*

Rolling adalah proses pengurangan tebal atau mengubah penampang dari benda kerja dengan gaya tekan diterapkan melalui putaran dari rol. Prinsipnya melewatkan logam diantara sepasang roll yang berputar berlawanan dengan lebar celah lebih kecil dari tebal logam.

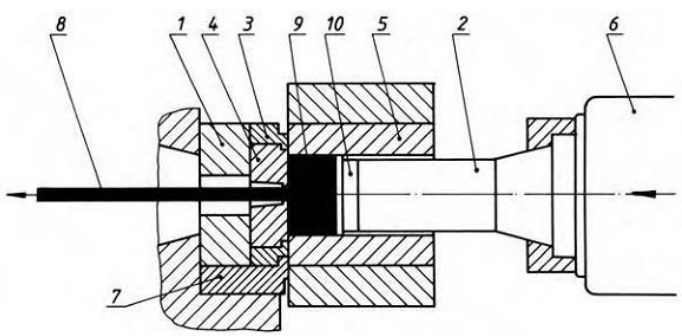


Gambar 2.5 Proses *Rolling*
Sumber: Marinov, 2010: 17

c. *Extrusion*

Ekstrusion adalah proses pembentukan massal di mana *billet* dipanaskan, didalam sebuah dapur, kemudian pada proses pembentukan ditekan melewati *die* oleh *punch*. Dalam proses ini, produk yang dibentuk sesuai dengan bentuk *die*. Ekstrusi adalah proses pembentukan melibatkan tekanan. Deformasi yang

sebenarnya dari *billet* menjadi ekstrusi berlangsung di zona deformasi pada penampang mengerucut di depan *die*.



Gambar 2.6 Proses *Extrusion*
Sumber: Tschaetsch, 2006 : 109

Keterangan :

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

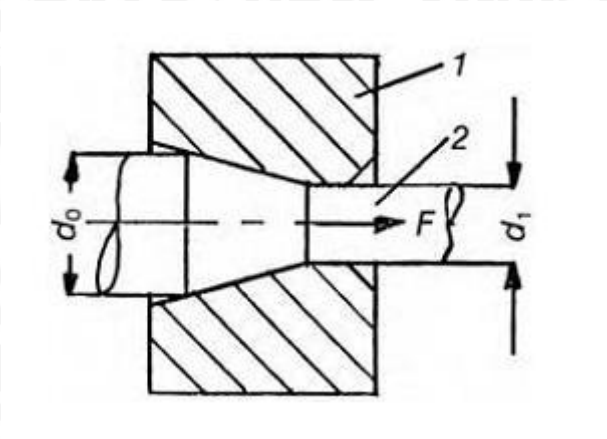
Proses ekstrusi dibagi menjadi:

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

2. Pembentukan dengan tekanan dan tarikan

a. *Wire Drawing*

Wire drawing adalah salah satu proses pembentukan yang menggunakan aplikasi gaya geser. Dimana kawat ukuran yang lebih besar (d_0) ditarik melalui cincin *drawing* dengan ukuran yang lebih kecil (d_1). Sehingga hasil akhir proses kawat akan memiliki ukuran d_1 sesuai dengan ukuran dari cincin *drawing*.



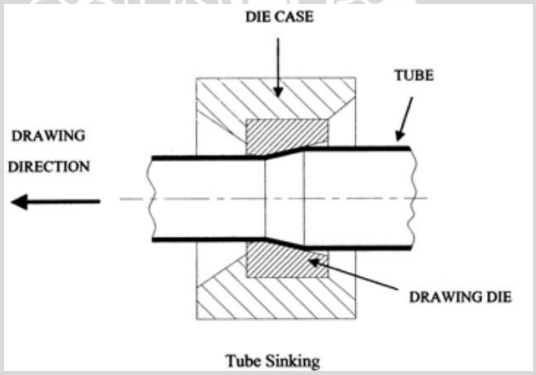
Gambar 2.7 Prinsip *Wire Drawing*
Sumber: Tschaetsch, 2006 : 9l

Keterangan

1. *Die*
2. *Wire*

b. *Tube Drawing*

Tube drawing digunakan untuk mengurangi diameter atau ketebalan tabung tanpa adanya sambungan. Untuk proses pembentukannya yaitu tabung ditarik melewati *dies* yang memeiliki diameter lebih kecil sehingga hasil akhirnya diameter tabung sama dengan diameter *dies.*

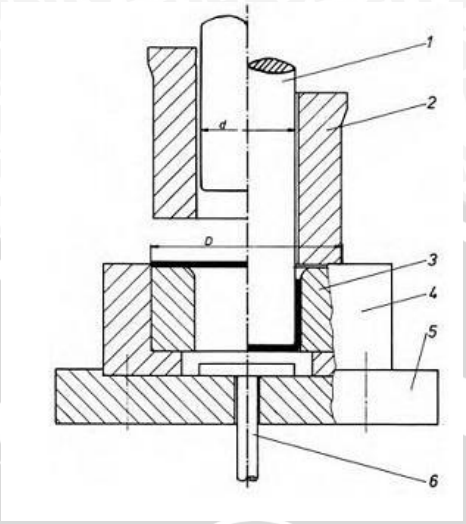


Gambar 2.8 Proses *Tube Drawing*
Sumber : Groover, 2007: 432

c. *Deep Drawing*

Deep drawing merupakan proses dimana lembaran benda kerja ditekan dengan *blank* sehingga terjadi peregangan sesuai bentuk *dies.* Bentuk akhir benda kerja ditentukan oleh *punch* sebagai penekan dan *dies* sebagai penahan. Pada proses

ini dilakukan penekanan secara bertahap karena benda kerja memiliki kedalaman yang besar sehingga perlu penekanan bertahap agar bentuk benda kerja sesuai dengan bentuk *dies.*



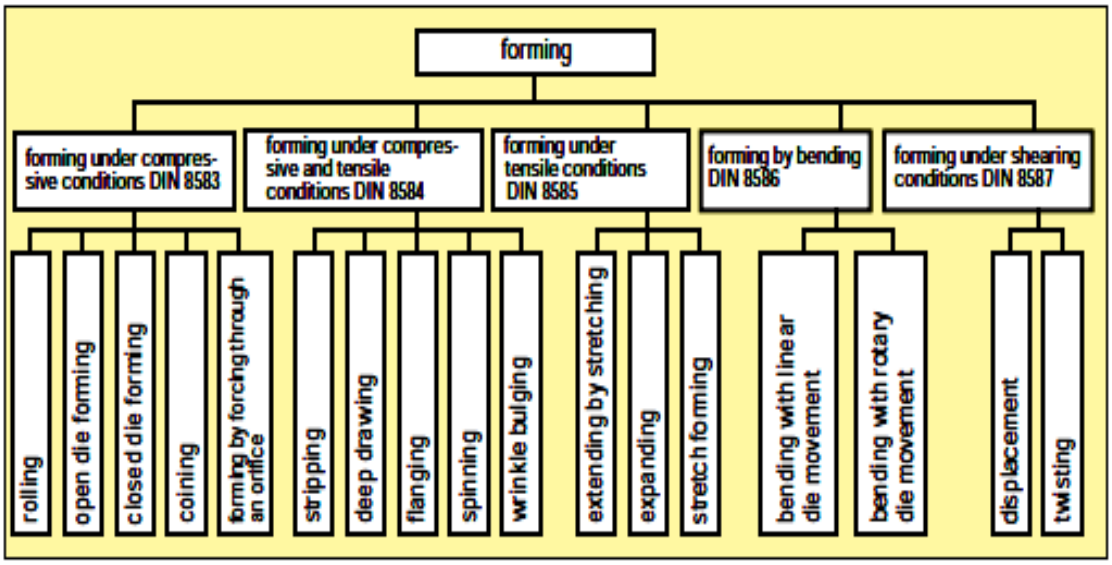
Gambar 2.9 *Proses Deep Drawing*
Sumber: Tschaetsch, 2006 : 141

Keterangan :

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

Selain dari penjelasan diatas menurut standar DIN 8582 proses produksi mengguanakan *forming* 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.



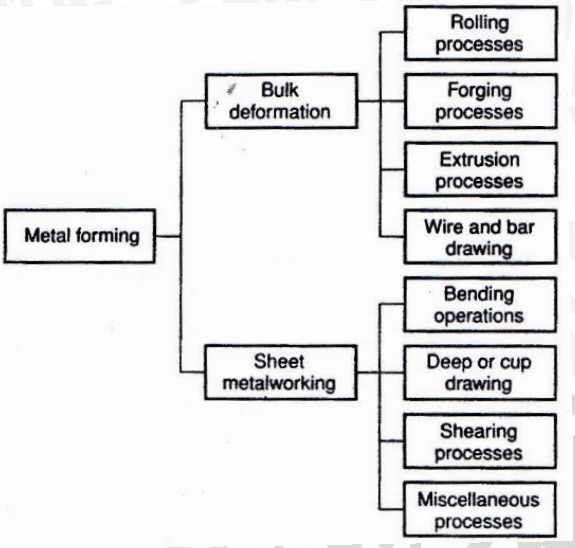
Gambar 2.10 Klasifikasi Proses Produksi yang Menggunakan *Forming*
Sumber : Schuler, 1998 : 6

2.4 *Metal Forming*

Metal forming adalah istilah yang umum untuk mencakup berbagai proses manufaktur yang berhubungan dengan pembentukan logam. 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*. *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*.

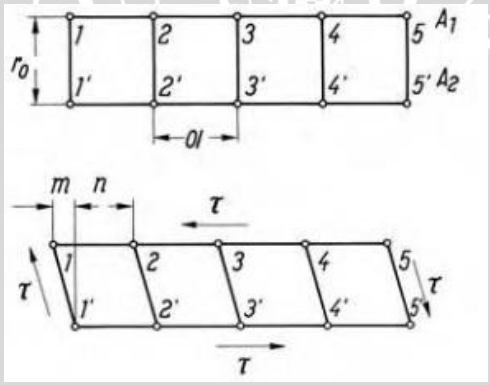


Gambar 2.11 : Klasifikasi *Metal Forming*
Sumber : Groover, 2007 : 379

2.4.1 Parameter pada *Metal Forming*

2.4.1.1 Deformasi Plastis

Tujuan dari *metal forming* adalah memberikan gaya luar pada material agar mengalami deformasi plastis. Deformasi plastis disebabkan oleh tingginya tegangan geser yang terjadi pada saat proses *metal forming.*



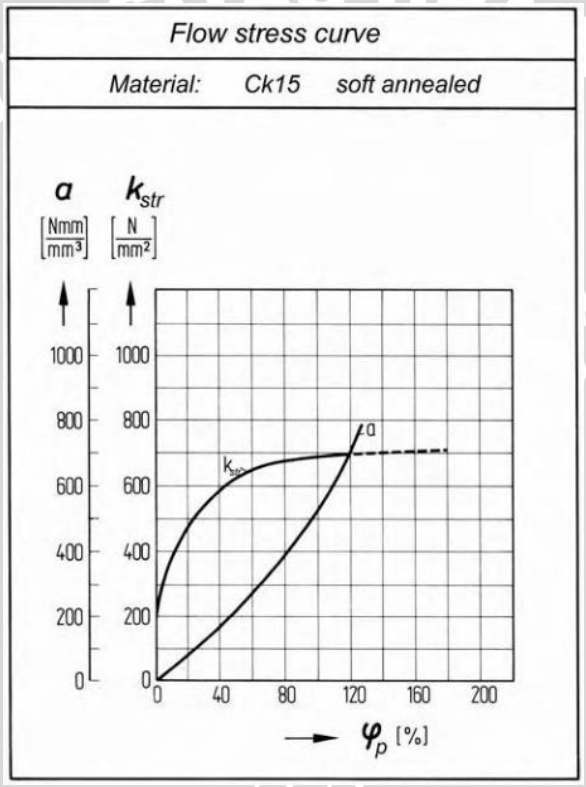
Gambar 2.12 Proses Ideal dari Perubahan Posisi Atom
Sumber : Tschaetsch, 2006 : 8

Pada gambar 2.12 dijelaskan susunan atom yang semula dalam posisi seimbang antara posisi A_1 dan A_2. Ketika pada kondisi elastis dimana atom dapat kembali ke posisi semula nilai dari tegangan geser efektif kurang dari τ_f (tegangan geser *yield*) dan besarnya m kuran dari besarnya a/2, sehingga ketika gaya dihilangkan atom akan kembali ke posisi semula.

Tetapi jika batas dari tegangan geser yield tercapai, dan nilai m lebih dari a/2 atau m > n, maka atom akan berubah posisi dan mengalami perubahan posisi permanen. Batasan yang harus dicapai untuk mengalami deformasi plastis dinamakan sebagai kriteria plastisitas bahan dan tahanan yang disebut tegangan alir (*flow stress*).

2.4.1.2 *Flow Stress* (k_{str})

Flow stress hanya bergantung pada besarnya deformasi yang terjadi dan pada material yang akan dibentuk. Gambar 2.13 menjelaskan hubungan *flow stress* dengan deformasi.



Gambar 2.13 Diagram *Flow Stress*
Sumber : Tschaetsch, 2006 : 9

Diagram *flow stress* didapat dari persamaan sebagai berikut :

$$k_{str} = k_{str100\%}.\varphi^n = c.\varphi^n \quad (2\text{-}1)$$

Dimana :

k_{str} : *flow stress* (N/mm^2)

n : *strain hardening coefficient*

c : nilai k_{str1} ketika $\varphi = 1$ atau ketika $\varphi = 100\%$

K_{str0} : *flow stress* sebelum pembentukan φ = 0

2.4.1.3 *Deformation Resistance (k_r)*

Ketahanan yang harus diatasi selama proses deformasi terdiri dari *flow stress* dan tahanan geser dari peralatan yang digunakan, yang mana dapat disebut juga tahanan alir (*resistance to flow).* Persamaan di bawah menjelaskan hubungan *deformation resistance* dengan *flow stress* dan *resistance to flow*.

$$k_r = k_{str} + p_{fr} \quad (2\text{-}2)$$

Dimana :

k_r : *deformation resistance (*N/mm^2)

k_{str} : *flow stress (*N/mm^2)

p_{fl} : *resistance to flow (*N/mm^2)

Untuk nilai p_{fl} dapat dihitung dengan persamaan matematis sebagai berikut :

$$p_{fl} = \frac{1}{3}\mu . k_{str1} . \frac{d_1}{h_1} \quad (2\text{-}3)$$

Dari subtitusi persamaan 2-3 maka didapat persamaan matematis dari *deformation resistance* adalah :

$$k_r = k_{str1}\left(1 + \frac{1}{3}\mu . \frac{d_1}{h_1}\right) \quad (2\text{-}4)$$

Dimana :

K_{str1} : *flow stress* akhir proses pembentukan (N/mm^2)

d_1 : diameter setelah pembentukan (mm)

h_1 : tinggi setelah pembentukan (mm)

μ : koefisien gesek

2.4.1.4 Gesekan dan Pelumasan pada *Metal Forming*

Gesekan dapat terjadi karena adanya kontak antara permukaan benda kerja dan permukaan *dies.* Pada beberapa proses *metal forming* gesekan sangat dihindari karena menyebabkan kerugian diantaranya menyebabakan tegangan sisa dan juga cacat pada benda kerja, gaya dan tenaga pembentukan yang dibutuhkan akan meningkat, dan akan menyebabakan ketidak akuratan dimensi benda kerja yang dihasilkan. Besarnya gesekan

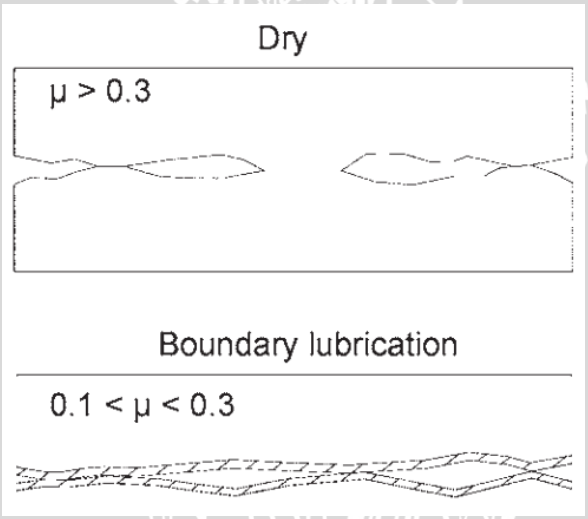
yang terjadi ditentukan dari nilai koefisien gesek pada saat proses *forming*. Beberapa nilai koefisien gesek pada beberapa kondisi pembentukan dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Koefisien Gesek pada Beberapa Kondisi *Metal Forming*

Category	Temperature Range	Strain-Rate Sensitivity Exponent	Coefficient of Friction
Cold working	$\leq 0.3T_m$	$0 \leq m \leq 0.05$	0.1
Warm working	$0.3T_m - 0.5T_m$	$0.05 \leq m \leq 0.1$	0.2
Hot working	$0.5T_m - 0.75T_m$	$0.05 \leq m \leq 0.4$	0.4–0.5

Sumber : Groover, 2007 : 386

Pelumasan pada proses *forming* dapat dilakukan untuk mengurangi efek negatif dari gesekan. Keuntungan dilakukan pelumasan yaitu mengurangi gaya pembentukan, dan kehalusan permukaan material akan lebih baik. Selain itu untuk menurunkan nilai koefisien gesek yang terjadi selama proses *forming*.



Gambar 2.14 Kondisi Permukaan Tanpa Pelumasan dan dengan Pelumasan
Sumber : Kim, 2012 : 90

Pelumasan pada proses pengerjaan dingin dapat dilakukan dengan penambahan beberapa pelumas seperti oli mineral, oli sintetis, lemak, sabun dan beberapa pelumas lainnya. Untuk pengerjaan panas pelumas yang dapat digunakan yaitu oli mineral, *graphite*, dan *molten glass.*

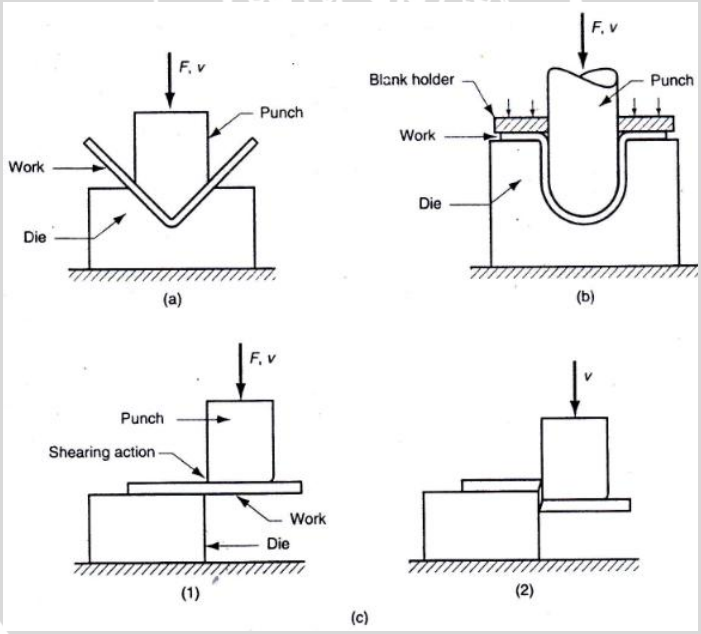
2.4.2 *Sheet Metal Forming*

Sheet metal forming adalah sebuah proses yang bertujuan agar plat atau lembaran logam 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.



Gambar 2.15 Proses Dasar *Sheet Metal Forming*
Sumber : Groover, 2007 : 380

2.4.3 Gaya Penekanan

Untuk menghitung gaya yang dibutuhkan untuk membentuk plat sesuai dengan bentuk geometri *dies.* Besarnya gaya penekanan yang diperlukan tergantung pada luasan

area plat yang ingin dibentuk dan besarnya *deformation resistance* (k_r) dari material. Tabel 2.2 menunjukkan nilai dari k_r beberapa material saat proses pembentukan

Tabel 2.2 Nilai *Deformation Resistance* beberapa Material

Material	R_m in N/mm^2	k_r in N/mm^2	
		Embossing	Deep coining
Aluminium, 99 %	80 to 100	50 to 80	80 to 120
Aluminium alloy	180 to 320	150	350
Brass, Ms 63	290 to 410	200 to 300	1500 to 1800
Copper, soft	210 to 240	200 to 300	800 to 1000
Steel	280 to 420	300 to 400	1200 to 1500
Stainless steel	600 to 750	600 to 800	2500 to 3200

Sumber : Tschaetsch, 2006 : 87

Perumusan matematis gaya pembentukan dijelaskan pada persamaan berikut :

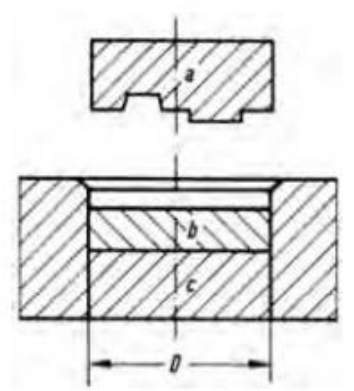
$$F = k_r \cdot A \quad (2\text{-}5)$$

Dimana :

F : Gaya Pembentukan (N)

k_r : *deformation resistance* (N/mm^2)

A : Luasan Penekanan (mm^2)



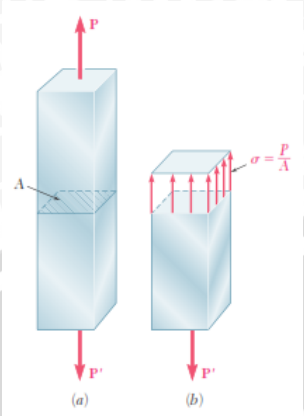
Gambar 2.16 Dimensi Proses Penekanan
Sumber : Tschaetsch, 2006 : 87

2.5 Tegangan dan Regangan

2.5.1 Tegangan

Tegangan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas permukaan dimana gaya bekerja. Secara umum tegangan dibagi menjadi dua yaitu tegangan normal dan tegangan

geser. Tegangan normal adalah tegangan yang disebabkan oleh gaya yang bekerja secara tegak lurus luas permukaan benda (gambar 2.17).



Gambar 2.17 Tegangan Akibat Gaya pada Material
Sumber : Beer, 2012: 5

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (2\text{-}6)$$

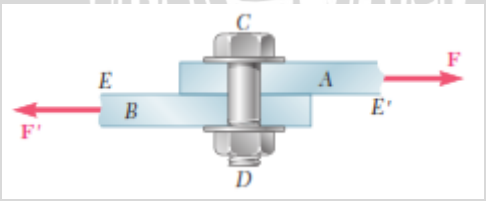
Dengan :

σ = Tegangan normal *(N/m^2)*

F = Gaya normal *(N)*

A = Luas permukaan dimaan gaya bekerja *(m^2)*

Sedangkan tegangan geser adalah tegangan yang disebabkan oleh gaya geser yang bekerja sejajar dengan luas permukaan benda. Tegangan geser dapat diilustrasikan seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Tegangan Geser pada Material
Sumber : Beer, 2012: 10

$$\tau = \frac{F_s}{A} \qquad (2\text{-}7)$$

Dengan :

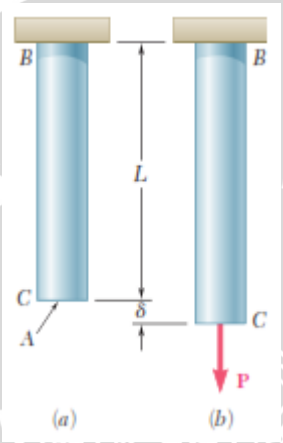
τ = Tegangan geser *(N/m^2)*

F_s = Gaya geser *(N)*

A = Luas permukaan benda dimana gaya bekerja *(m^2)*

2.5.2 Regangan

Regangan didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan panjang dengan panjang awal suatu benda. Regangan terjadi karena adanya gaya dari luar baik berupa gaya tarik ataupun gaya tekan. Regangan yang ditimbulkan dari gaya tarik disebut *tensile strain* sedangkan regangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan disebut *compressive strain*. Karena regangan adalah perbandingan antara dua ukuran panjang, maka regangan tidak memiliki dimensi.



Gambar 2.19 Regangan Akibat Pembebanan
Sumber : Beer, 2012: 66

Regangan dibagi menjadi dua, yaitu regangan normal dan regangan geser.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \qquad (2\text{- }8)$$

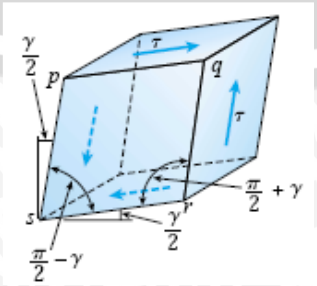
Dengan :

ε = Regangan normal

δ = Perubahan panjang *(m)*

L_0 = Panjang awal *(m)*

Sedangkan regangan geser adalah perubahan sudut antara dua permukaan tegak lurus dari elemen diferensial benda.



Gambar 2.20 Regangan Geser pada Elemen Material
Sumber: Gere, 2004: 32

$$\gamma = \frac{S_S}{S_0} \qquad (2\text{-}9)$$

Dengan :

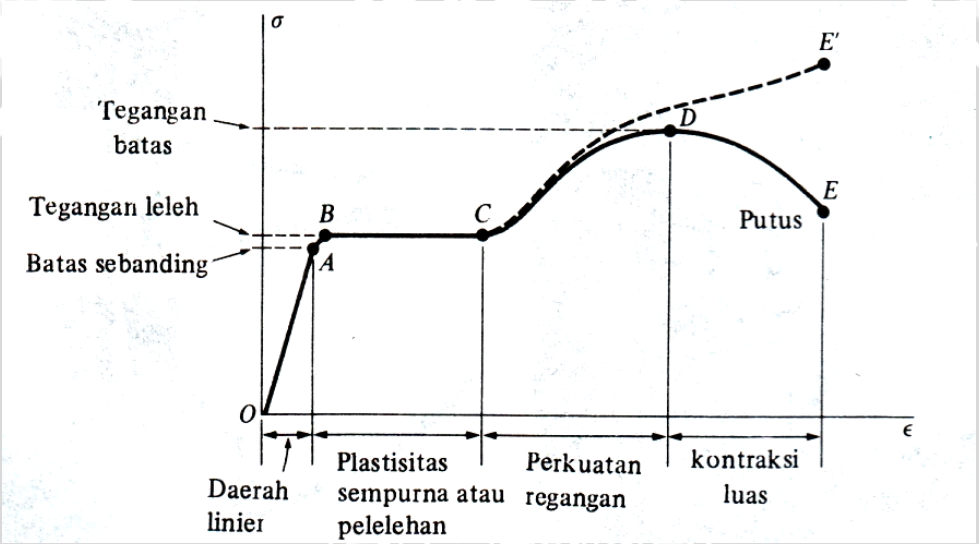
γ = Regangan geser

S_S = Perubahan sudut (°)

S_0 = Sudut awal (°)

2.5.3 Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan dan regangan dapat dinyatakan dalam diagram tegangan ragangan. Gambar 2.21 menunjukkan diagram tegangan regangan baja karbon rendah.



Gambar 2.21 Diagram Tegangan Regangan Baja Karbon Rendah
Sumber : Gere, 1996 : 13

Dari diagram di atas dapat menjelaskan beberapa titik penting diantaranya adalah :

- Titik A adalah *proporsional limit point*, yaitu titik batas antara tegangan dan regangan masih dalam keadaan proporsional atau linier. Pada daerah ini berlaku Hukum Hooke yang menyatakan pertambahan tegangan sebanding dengan pertambahan regangan. Daerah ini dinamakan daerah elastis, yaitu daerah dimana suatu struktur jika diberikan gaya dari luar kemudian gaya tersebut dihilangkan maka struktur akan kembali kebentuk semula.
- Titik B adalah *yield point*, yaitu titik yang menyatakan batas antara daerah elastis dan plastis. Material akan menjadi plastis sempurna ketika sudah mencapai titik C. Apabila dilakukan pemberian gaya secara terus – menerus dari luar maka material akan mengalami *strain hardening* sampai pada titik *ultimate*, yaitu titik D.

- Titik D adalah *ultimate point*, yaitu titik yang menunjukkan tegangan suatu bahan mencapai tegangan tertingginya. Jika tegangan terus ditambah maka bahan akan putus sampai titik patahnya (titik E). Garis putus – putus merupakan diagram tegangan regangan sejati yang menggunakan luas sebenarnya.

Pada daerah elastis berlaku Hukum Hooke yang perumusannya sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad (2\text{-}10)$$

dengan :

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

σ = Tegangan (N/m^2)

ε = Regangan

Rasio antara tegangan normal dan regangan normal disebut Modulus Elastisitas atau Modulus Young. Modulus ini berlaku pada garis lurus sebelum batas proporsional atau daerah elastis material.

Pada daerah plastis, Hukum Hooke sudah tidak berlaku lagi. Persamaan yang digunakan untuk mencari tegangan pada daerah plastis adalah sebagai berikut:

$$\sigma = K\,\varepsilon^n \qquad (2\text{-}11)$$

Keterangan : σ : tegangan

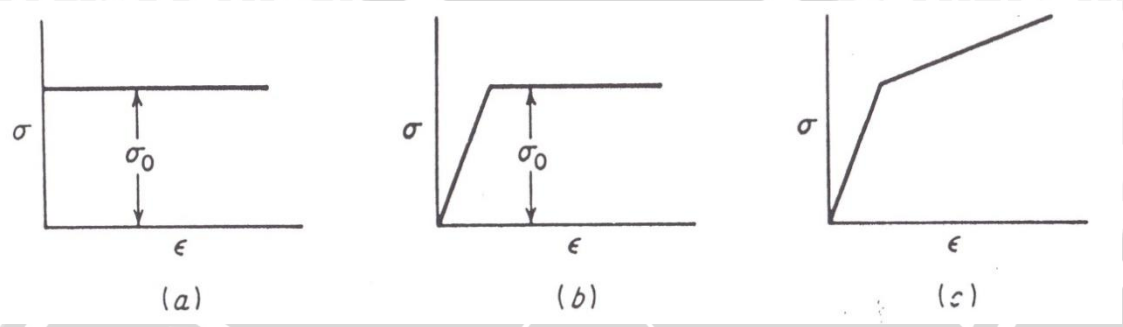
K : konstanta penguatan

ε : regangan

n : exponensial *strain hardening*

Dalam analisa untuk mendapatkan penyelesaian masalah deformasi, maka perlu untuk mengidealisasikan hubungan tegangan – regangan yang terjadi. Pada umumnya ada tiga permodelan pengidealisasian 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 ditambahkan. Pada kurva diagram tegangan – regangan permodelan material ini dapat dilihat pada gambar 2.22 (a). Untuk material logam sendiri biasanya tergolong material yang *elastro-plastic*, yang mana pada material terjadi dua macam deformasi yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Pada

material jenis ini permodelan yang digunakan adalah jenis (b) dan (c), yaitu *elastic perfectly plastic* dan *elastic linier strain hardening*. Pada permodelan ini material akan mengalami deformasi elastis terlebih dahulu selama diberi pembebanan sampai batas tertentu, kemudian akan mengalami deformasi plastis. Untuk *elastic perfectly plastic*, deformasi plastis yang terjadi tidak diikuti penguatan tegangan sedangkan *elastic linier strain hardening*, deformasi plastis yang terjadi akan diikuti dengan penguatan tegangan. Berikut adalah gambar kurva tegangan-regangan berbagai macam permodelan material:



Gambar 2.22 Pemodelan Material pada Diagram Tegangan Regangan
Sumber : Dieter, 1988 : 72

2.6 Pemodelan Material

2.6.1 Model Material Johnson-Cook

Model ini dikembangkan oleh Gordon Johnson dan William Cook. Model ini memperhitungkan *flow stress*, regangan, dan pelunakan termal (*thermal softening*). Model Johnson-Cook cocok untuk kasus dimana material mengalami rengangan yang tinggi, laju regangan tinggi dan perubahan temperatur akibat deformasi plastis (Johnson dan Cook. 1984: 5).

Model Johson-Cook dirumuskan sebagai berikut:

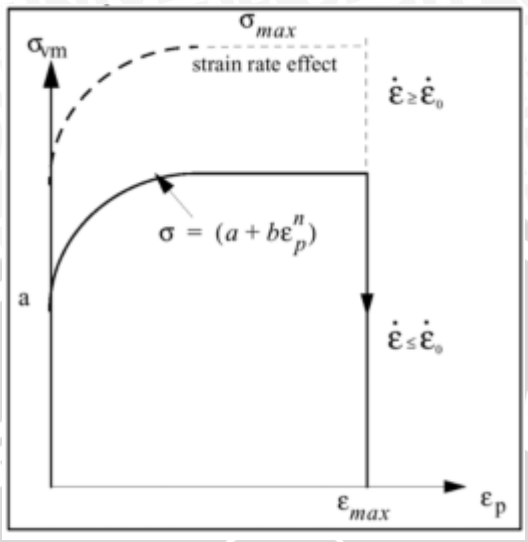
$$\sigma_T = \left[A + B\left(\varepsilon_{eff}\right)^N\right](1 + C \ln \varepsilon)\left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_{melt} - T_0}\right)^M\right] \qquad (2\text{-}12)$$

dimana:

σ_T = aliran tegangan dinamik (Pa)
A = tegangan yield (Pa)
B = konstanta hardening (Pa)
ε_{eff} = regangan plastis efektif
C = konstanta laju regangan
ε_0 = laju regangan plastis

T_{melt} = titik leleh material (K)

T_0 = suhu ruang (K)



Gambar 2.23 Kurva Tegangan – Regangan Pemodelan Johnson - Cook
Sumber : Altair Engineering, 2009 : 100

2.6.2 Model Material Zerilli – Armstrong

Model material ini dikembangkan oleh Zerilli dan Armstrong (1987) untuk meningkatkan pemodelan Johnson - Cook dengan menambahkan faktor – faktor seperti pengatuh *strain hardening, strain – rate,* dan pengaruh dari ukuran butir kedalam perumusan matematis.

Pada pemodelan Zerilli – Armstrong setiap tipe struktur material (BCC, FCC) memiliki sifat yang berbeda tergantung dari karakteristik pepindahan dari struktur dasarnya. Dengan model ini, *yield stress* tergantung pada regangan, laju regangan (*strain rate)* dan temperatur.

Model Zerilli – Armstrong dirumuskan sebagai berikut :

untuk struktu FCC

$$Y = Y_0 + C_2 \sqrt{\varepsilon}\, exp[-C_3 T + C_4 T \log \dot{\varepsilon}] \quad (2\text{-}13)$$

untuk struktur BCC

$$Y = Y_0 + C_1\, exp[-C_3 T + C_4 T \log \dot{\varepsilon}] + C_6 \varepsilon^n \quad (2\text{-}14)$$

dimana:

Y = *Yield Stress*

ε = *effective plastic strain*

$\dot{\varepsilon}$ = laju regangan efektif

T = Temperatur (K)

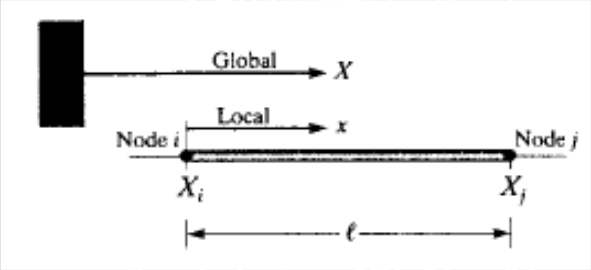
$C_{1\text{-}6}$, Y_0, n = konstanta material

2.7 Metode Elemen Hingga

2.7.1 Sistem Koordinat

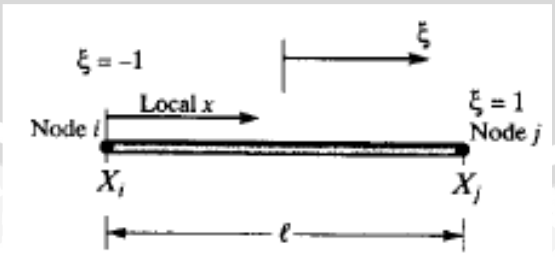
Sistem koordinat dalam analisis dengan metode elemen hingga dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

a. Sistem koordinat global adalah kerangka dari acuan untuk bagian keseluruhan. Semua titik diletakkan pada penggunaan jarak sistem koordinat global, hanya ada satu sistem global dalam sebuah analisa khusus seperti pada gambar 2.24.
b. Sistem koordinat lokal adalah pendekatan terhadap elemen. Orientasinya relatif terhadap elemen yang tidak mempedulikan perubahan dari orientasi relatif elemen ke sistem global. Dapat dijelaskan seperti pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 Hubungan Sistem Koordinat Global dengan Koordinat Elemen.
Sumber : Moaveni, 1999: 131

c. Sistem koordinat alamiah (natural). Sistem ini terdiri dari koordinat dimensi yang letaknya ditandai pada elemen tanpa memperdulikan ukuran atau bentuk elemennya seperti pada gambar 2.25.



Gambar 2.25 Hubungan sistem koordinat lokal dengan koordinat natural elemen.
Sumber : Moaveni, 1999: 132

2.7.2 Prosedur Perhitungan

Metode elemen hingga merupakan suatu prosedur numerik dengan konsep dasar adalah pembagian (diskretisasi) suatu kontinum menjadi elemen-elemen kecil yang berhingga dan memiliki bentuk geometri yang lebih sederhana dari kontinumnya yang disebut elemen hingga. Analisa metode elemen hingga dilakukan untuk mendapatkan suatu nilai pendekatan (bukan eksak) berdasarkan asumsi perpindahan atau asumsi tegangan atau dapat juga berdasarkan kombinasi keduanya.

1. Diskretisasi dan pemilihan elemen

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

   Pemilihan jenis elemen tergantung pada karakteristik rangkaian kesatuan dan idealisasi yang dipilih. Idealisasi struktur dua dimensi dapat menggunakan elemen segitiga, segiempat maupun kuadrilateral, sedangkan struktur tiga dimensi dapat menggunakan elemen heksahedron.

2. Memilih fungsi pendekatan

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

   Prinsip usaha virtual menghasilkan persamaan matrik kekakuan elemen, yang dinyatakan sebagai:

$$[k] = \int [B]^T [C][B]\, dV \qquad (2\text{-}15)$$

dengan:

$[k]$ = matrik kekakuan elemen

$[B]$ = matrik konstitutive hubungan regangan-perpindahan

[*C*] = matrik konstitutive hubungan tegangan-regangan

V = volume

4. Menghitung matrik beban total

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

$$F = Q_{NF} + Q_{BF} + Q_T \qquad (2\text{-}16)$$

dengan:

Q_{NF} = beban pada konsentrasi node

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

Q_T = beban traksi (*surface traction*)

5. Merakit elemen menjadi struktur

Perakitan persamaan elemen dibawa ke bentuk persamaan global. Prosesnya harus memenuhi sifat konvergen dan sifat sinambung, yaitu titik-titik yang semula bersebelahan harus tetap bersebelahan setelah elemen dikenai beban. Bentuk persamaan global elemen:

$$[K]\{q\} = \{R\} \qquad (2\text{-}17)$$

dengan:

$[K]$ = matrik sifat/kekakuan elemen

$\{q\}$ = vektor perpindahan node

$\{R\}$ = matrik beban total

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

6. Mendapatkan perpindahan global

Persamaan global yang mendapatkan syarat batas merupakan sekumpulan persamaan linier yang dapat diselesaikan dengan cara eliminasi Gauss untuk mendapatkan besaran-besaran primer, yaitu q_1, q_2, q_3, … q_n.

$$
\begin{aligned}
&k_{1.1}\,q_1 + k_{1.2}\,q_2 + \ldots + k_{1.n}\,q_n = R_1 \\
&k_{2.1}\,q_1 + k_{2.2}\,q_2 + \ldots + k_{2.n}\,q_n = R_2 \\
&\ldots \\
&k_{n.1}\,q_1 + k_{n.2}\,q_2 + \ldots + k_{n.n}\,q_n = R_n
\end{aligned}
\qquad (2\text{-}18)
$$

Persamaan diatas akan diselesaikan dengan cara eliminasi Gauss untuk mendapatkan besaran-besaran rimer yaitu q_1, q_2,q_3,……q_n.

7. Mendapatkan besaran sekunder dan interpretasi hasil

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

$$
\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+v)(1-2v)} \begin{bmatrix} 1-v & v & v & 0 & 0 & 0 \\ v & 1-v & v & 0 & 0 & 0 \\ v & v & 1-v & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2v}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2v}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2v}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \qquad (2\text{-}19)
$$

Hubungan tegangan-regangan:

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\} \qquad (2\text{-}20)$$

Hubungan regangan-perpindahan:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{d\} \qquad (2\text{-}21)$$

Sehingga tegangan dapat dirumuskan sebagai:

$$\{\sigma\} = [C][\mathrm{B}]\{d\} \qquad (2\text{-}22)$$

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

2.7.3 Analisis Dinamik dengan Metode Elemen Hingga

Permasalahan yang sering ditemui pada analisis struktur adalah menentukan defleksi akibat pembebanan statik. Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan persamaan 2-31 di atas. Pada kasus pembebanan dinamik, formulasi yang digunakan memasukkan faktor inersia dan peredaman.

$$[M]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{R\} \qquad (2\text{-}23)$$

Dimana [M] adalah matrik massa yang menyatakan distribusi massa pada derajat kebebasan struktur, $\{\dot{q}\}$ dan $\{\ddot{q}\}$ adalah turunan pertama dan kedua dari perpindahan terhadap waktu. Perhatikan bahwa gaya yang diaplikasikan pada sistem merupakan fungsi waktu. Jika massa dan kekakuan dari struktur dapat diukur dan ditentukan dengan mudah, mekanisme dimana energi hilang melalui peredaman lebih sulit dimodelkan. Model peredaman *viscous* yang dinyatakan oleh matrik [C] sering digunakan namun tidak secara eksklusif, proporsional terhadap kecepatan. (Greening, 1999 Karena pada penelitian ini lebih fokus pada perpindahan maka identifikasi parameter peredaman dapat diabaikan. Sehingga sistem dapat dinyatakan dalam persamaan.

$$[M]\{\ddot{q}\} + [K]\{q\} = \{R\} \tag{2-24}$$

Untuk getaran bebas, persamaan tersebut menjadi

$$[M]\{\ddot{q}\} + [K]\{q\} = 0 \tag{2-25}$$

Solusi dapat dituliskan dalam bentuk

$$\{q\} = \{\Psi\}_j e^{i\omega_j t} \tag{2-26}$$

Dimana ω_j adalah frekuensi resonansi. Subtitusikan kembali ke persamaan 2-25 menunjukkan ke permasalahan eigenvalue yang diketahui

$$[K]\{\Psi\}_j = \lambda_j [M]\{\Psi\}_j \tag{2-27}$$

dimana

$$\lambda_j = \omega^2{}_j \tag{2-28}$$

dan $\{\Psi\}_j$ dapat dinyatakan sebagai *mode shapes* terhadap frekuensi natural sistem $\{\omega\}_j$. Bila *eigenvalue* memiliki hubungan eksak dengan frekuensi resonansi, eigenvektor terskala, untuk menentukan skala eigenvektor seperti

$$[\Phi]^T [M][\Phi] = [I] \tag{2-29}$$

Hasilnya

$$[\Phi]^T [K][\Phi] = diag(\lambda) \tag{2-30}$$

dimana $[\Phi]$ adalah matrik eigenvektor massa.

2.8 *Software* ANSYS

Software yang berbasis elemen hingga ini mempunyai kelebihan yaitu kemampuan untuk mendiskritisasi model dengan sangat halus, mamu bekerja dengan elemen lebih banyak dan menghasilkan output dengan ketelitian tinggi. *ANSYS* dapat digunakan untuk menganalisis antara lain: struktural, termal, elektris, magnetis, dan fluida.

Secara umum langkah-langkah analisis dengan menggunakan *ANSYS* dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. *Preprocessing* (Proses Awal)

   Tahap-tahap penting dalam *Preprocessing* :

   - Pemodelan geometri: 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.

2. *Solution* (Proses Solusi)

   Tahap-tahap penting dalam *Solution*:

   - Mendefinisikan analisis solusi yang dipakai (*Analysis Type*).
   - Memasukkan kondisi batas (*constrain).*
   - Menerapkan pembebanan.
   - Penyelesaian (*solving*).

3. *General Postprocessing* (Proses Pembacaan Hasil)

   - *Plot Result*

     Dengan menggunakan *contour plot* akan tampak distribusi tegangan atau variabel lain pada model sehingga mudah dalam menginterpretasikan informasi yang disajikan. Disini model digambarkan dengan sebaran warna yang menunjukkan besarnya tegangan yang terjadi.

   - *List Result*

     Hasil analisis dalam bentuk *List Result* berupa tabel yang memberikan informasi secara detil mengenai perpindahan, tegangan dan regangan yang terjadi pada tiap node maupun elemennya.

   - *Animation*

     Hasil analisa yang diperoleh juga ditampilkan dalam bentuk simulasi (animasi).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental semu, yaitu melakukan pengambilan data dari hasil simulasi dengan bantuan program ANSYS 14.5 *Workbench* dan bantuan *software* AutoCAD 2012 untuk menghitung luas area yang terbentuk setelah proses simulasi. Metode ini digunakan dengan tujuan untuk memberi gambaran perkiraan awal sebagai acauan untuk eksperimen secara nyata. Disamping itu juga dilakukan studi literatur untuk memperoleh informasi tambahan mengenai masalah proses pembentukan gasket.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan spesifikasi komputer yang digunakan sebagai berikut :

- RAM : 16 GB
- *Operating System* : Microsoft Windows 7 Ultimate
- *Processor* : Intel ® Coret TM (i7)-2600 CPU @ 3.10 GHz

Sedangkan waktu penelitian adalah bulan Juni sampai dengan bulan Juli 2014

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel Bebas

   Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti dan dilakukan sebelum penelitian dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Variabel bebas ini adalah besarnya koefisien gesek antar bahan dengan *dies* dan pemodelan material .

   - Koefisien gesek : 0.27; 0.15; 0.12
   - Pemodelan Material :
     1. *Bilinear Isotropic Hardening*
     2. Johnson – Cook *Strength*
     3. Zerilli – Armstrong *Strength*

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung pada variabel bebas dan nilainya diperoleh setelah pelaksanaan penelitian. Dalam penelitian ini variabel terikat adalah besarnya *die fill defect* yang terjadi.

3. Variable Terkontrol

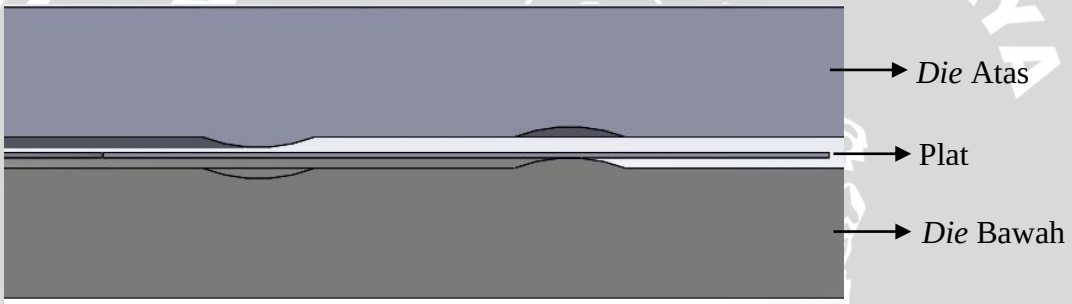
Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya dikendalikan atau dibuat tetap selama penelitian, yaitu :

Ketebalan plat : 0,1 mm

Displacement die atas : 0,4 mm

3.4 Pemodelan Geometri dan Material

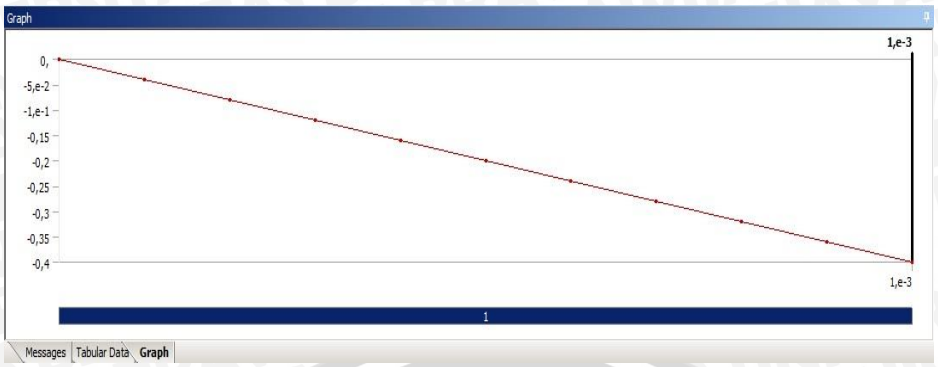
Terdapat 3 bentuk pemodelan yang digunakan dalam simulasi ini, yaitu plat, *die* atas dan *die* bawah.



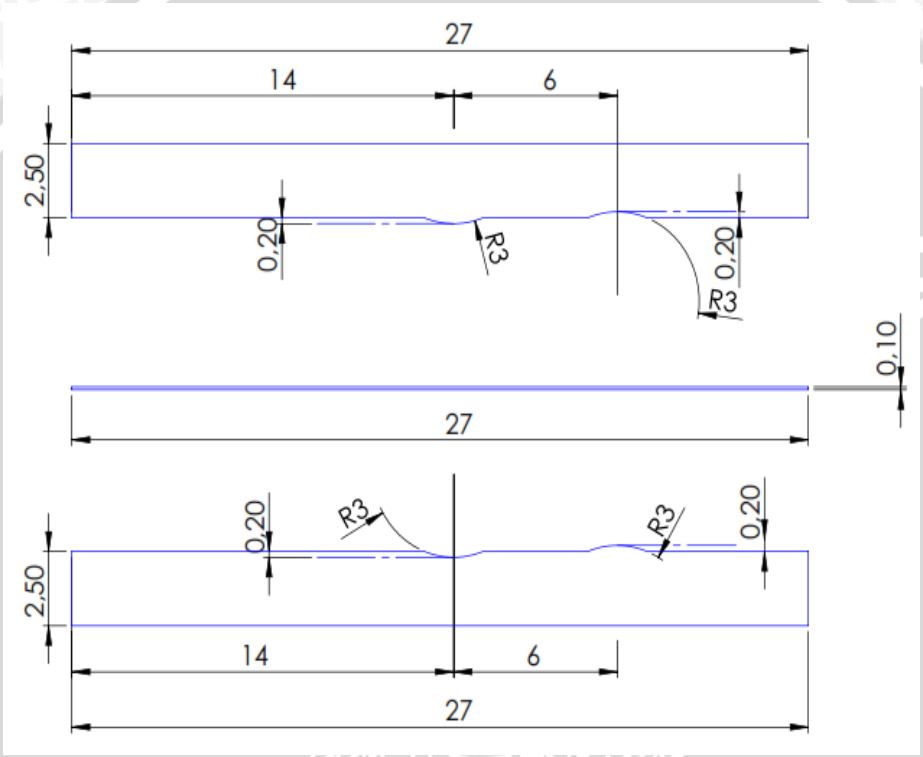
Gambar 3.1 Pemodelan Pembuatan *Metal Gasket*

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan simulasi 3 dimensi, dimana plat diposisikan sudah menempel pada *die* bawah dan diletakkan diantara *die* atas dan bawah. Nantinya plat akan terbentuk oleh gaya tekan dari *die* atas dengan tumpuan *die* bawah yang membentk kontur sesuai dengan desain.

Untuk *die* atas digerakkan secara vertikal untuk memberikan gaya tekan pada plat, sedangkan *die* bawah dalam keadaan diam sebagai tumpuan dari plat saat die atas memberikan gaya terhadap plat. Penekanan *die* atas dilakukan secara konstan yang diatur melalui perpindahan atau *displacement* pada *software* ANSYS. Gambar 3.2 menjelaskan pemodelan *displacement* dari *die* atas.

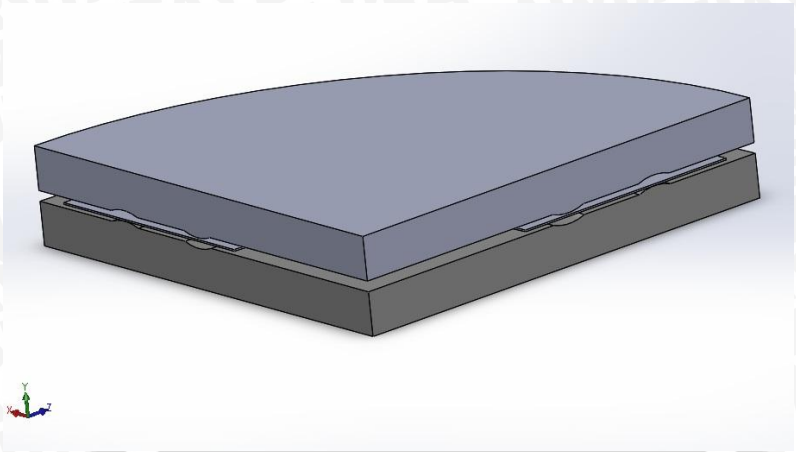


Gambar 3.2 Grafik *Displacement Die* Atas



Gambar 3.3 Spesifikasi Geometri dari Plat, *Die* Atas dan *Die* Bawah

Pada gambar 3.3 diberikan secara jelas spesifikasi geometri dari masing – masing komponen. Dan dimodelkan secara 3 dimensi dengan *software* SolidWorks 2014 yang nantinya disimpan dengan format file IGS dan diimport ke *software* ANSYS 14.5.



Gambar 3.4 Penggambaran dengan *Software* SolidWorks 2014

Untuk material yang dipilih sebagai bahan plat adalah SUS304, sedangkan material untuk *die* atas dan *die* bawah adalah SS400. Material *die* atas dan bawah dimodelkan sebagai *rigid material*, sedangkan untuk plat dilakukan berapa variasi pemodelan material yaitu *bilinear kinematic hardening*, Johnson - Cook *Strength*, dan Zerilli – Armstrong *Strength* . Untuk *material properties die* dan plat dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 3.1 *Material Properties Die*

SS 400	
Density (ρ)	7860 kg/m^3
Young's Modulus (E)	230 GPa
Poisson's Ratio (υ)	0.3
Yield Strength (σ_y)	230 MPa
Tangent Modulus	1000 MPa
Specific Heat	434 J/Kg ^oC

Tabel 3.2 *Material Properties* Plat untuk Pemodelan *Bilinear Isotropic Hardening*

SUS304	
Density (ρ)	8000 Kg/m^3
Young's Modulus (E)	190 GPa
Poisson's Ratio (υ)	0.3
Yield Strength (σ_y)	398.83 MPa
Tangent Modulus	1900.53 MPa
Specific Heat	500 J/Kg.^oC

Tabel 3.3 *Material Properties* Plat untuk Pemodelan Johnson – Cook *Strength*

SUS304	
Density (ρ)	8000 Kg/m^3
Modulus Young (E)	190 GPa
Poisson's Ratio (υ)	0.3
Initial Yield Stress (A)	280 MPa
Hardening Constant (B)	802.5 MPa
Hardening Exponent (N)	0.622
Strain Rate Constant (C)	0.0799
Thermal Softening Exponent (M)	1
Melting Temperature (T_{melt})	1450 ^{o}C
Reference Strain Rate (ε)	1
Specific Heat	500 J/Kg.^{o}C

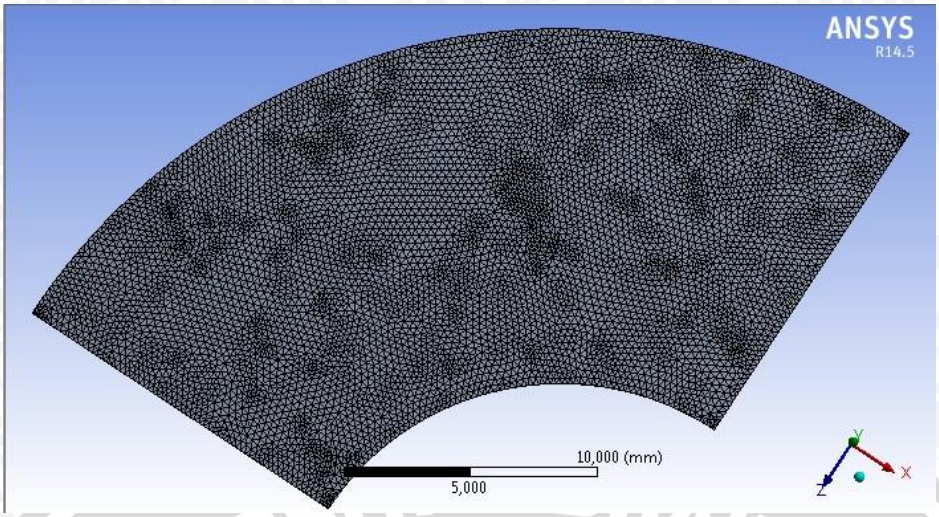
Tabel 3.4 *Material Properties* Plat untuk Pemodelan Zerilli – Armstrong *Strength*

SUS304	
Density (ρ)	8000 Kg/m^3
Modulus Young (E)	190 GPa
Poisson's Ratio (υ)	0.3
Initial Yield Stress (Y_o)	209.696 MPa
Hardening Constant#1 C1	1463.1 MPa
Hardening Constant#2 C2	0.000475
Hardening Constant#3 C3	0.0049
Hardening Constant#4 C4	0.0386
Hardening Constant#5 C5	0.0010
Hardening Constant n	0.9231
Reference Strain Rate	1

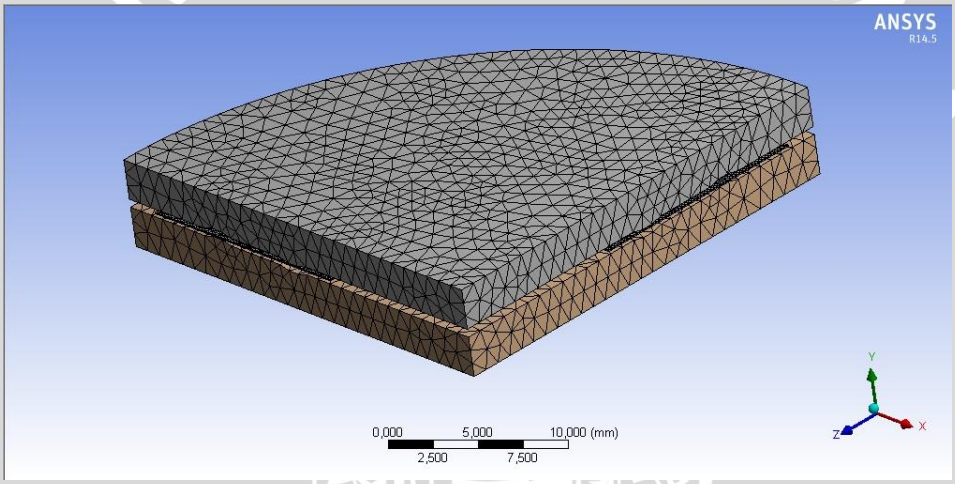
3.5 *Meshing*

Meshing adalah proses membagi obyek yang semula adalah elemen tak hingga (*infinite*) menjadi elemen – elemen dengan jumlah yang berhingga (*infinite).* Semakin kecil elemen yang dibentuk akan diperoleh hasil analisis yang semaki akurat.

Proses *meshing* pada *software ANSYS* dapat dilakukan secara manual dan otomatis. *Meshing* secara manual adalah dengan mendiskritisasikan elemen yang akan terbentuk dengan input tipe, ukuran dan jumlah elemen sesuai dengan yang diinginkan. Sedangkan *meshing* secara otomatis dengan memilih tipe elemen sedangkan untuk ukuran dan jumlah elemen ditentukan sendiri secara otomatis oleh *software* sesuai dengan pemodelan benda kerja. Dalam hal ini digunakan *meshing* secara otomatis dengan jenis elemen *explicit* dan tipe elemen 3D tetrahedron 4 *node* dengan ukuran 0,25 mm untuk plat. Hasil *meshing* pada software *ANSYS* 14.5 dapat dilihat pada gambar berikut.



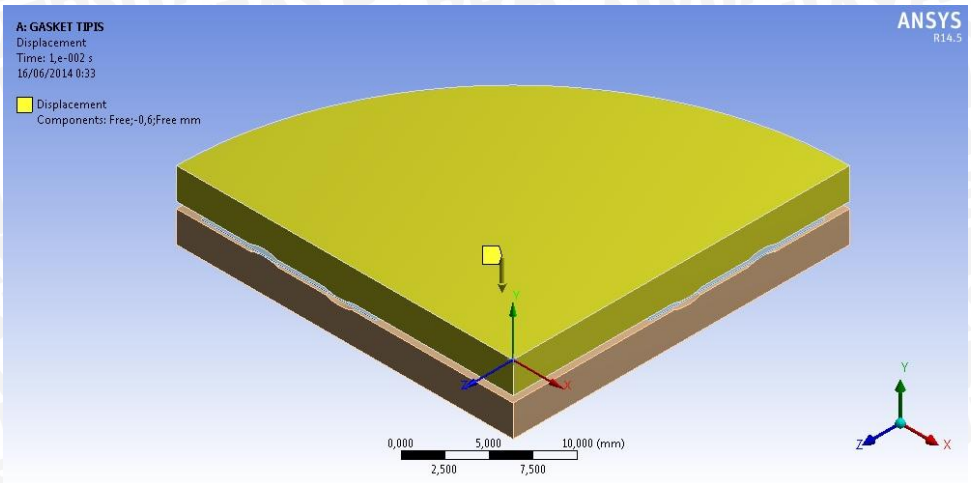
Gambar 3.5 *Meshing* Plat pada ANSYS 14.5



Gambar 3.6 *Meshing* Keseluruhan dari Pemodelan *Dies* dan Plat

3.6 Simulasi Proses *Press Forming*

Proses simulasi dalam penelitian ini dimulai dengan keadaan awal, plat terletak diantara *die* atas dan *die* bawah. Plat dimodelkan sebagai *elastic body* untuk *die* atas dan *die* bawah sebagai *rigid material*. Tumpuan jenis *fixed support* diletakkan pada *die* bawah. *Die* atas bergerak secara vertikal sesuai dengan *displacement* yang telah ditentukan sebelumnya. Pergerakan dari *die* atas ini akan menekan plat sampai terdeformasi sehingga terbentuk sesuai dengan desain yang telah digambar. Proses simulasi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana *die fill defect* yang terjadi. *Die fill defect* dapat diketahui melalui besarnya celah antara plat yang terdeformasi dengan bentuk dari *dies.*



Gambar 3.7 Pemodelan pada ANSYS

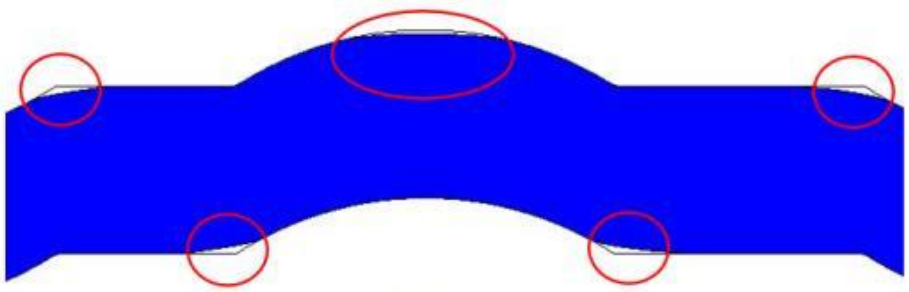
3.7 Rancangan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari koefisien gesek dan pemodelan material terhadap *die fill defect* yang terjadi pada pembentukan *metal gasket*. *Die fill defect* ini berupa seberapa besar luasan rongga yang terbentuk pada saat proses pembentukan.

Tabel 3.5 Tabel rencana analisa data antara koefisien gesek dengan pemodelan material terhadap luasan *die fill defect* yang terjadi

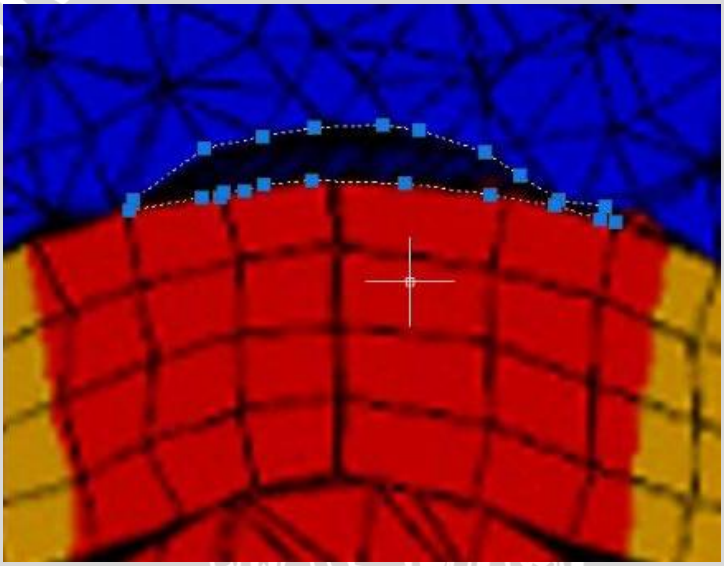
No	Pemodelan Material	Koefisien Gesek		
		0,27	0,15	0,12
1	*Bilinear Kinematic Hardening*	..... mm^2	..... mm^2	..... mm^2
2	Johnson – Cook *Strength*	..... mm^2	..... mm^2	..... mm^2
3	Zerilli – Armstrong *Strength*	..... mm^2	..... mm^2	..... mm^2

Luasan *die fill defect* yang terjadi pada proses pembentukan dapat dihitung dengan cara menyimpan hasil simulasi dalam bentuk JPEG dengan bantuan *figure image* pada ANSYS kemudian di *import* ke dalam *software* AutoCAD 2012. Skala tiap gambar hasil simulasi harus sama agar luasan yang terhitung sesuai.



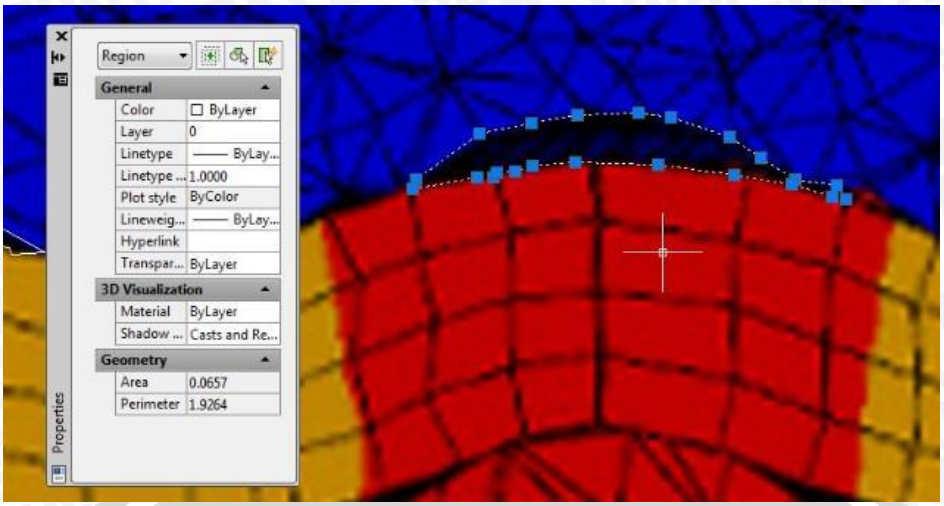
Gambar 3.8 Visualisai *Die Fill Defect* yang Terjadi Setelah Proses Simulasi

Setelah menggunakan *image figure* pada ANSYS kemudian menghitung luasan dengan *software* AutoCAD. Pada *software* AutoCAD gambar dengan format JPEG dibuka dan kemudian luasan daerah *die fill defect* dihitung dengan cara menarik garis awal titik *die fill defect* sampai mengitari luasan *die fill defect.*



Gambar 3.9 Contoh Luasan *Die Fill Defect* pada *Software* AutoCAD

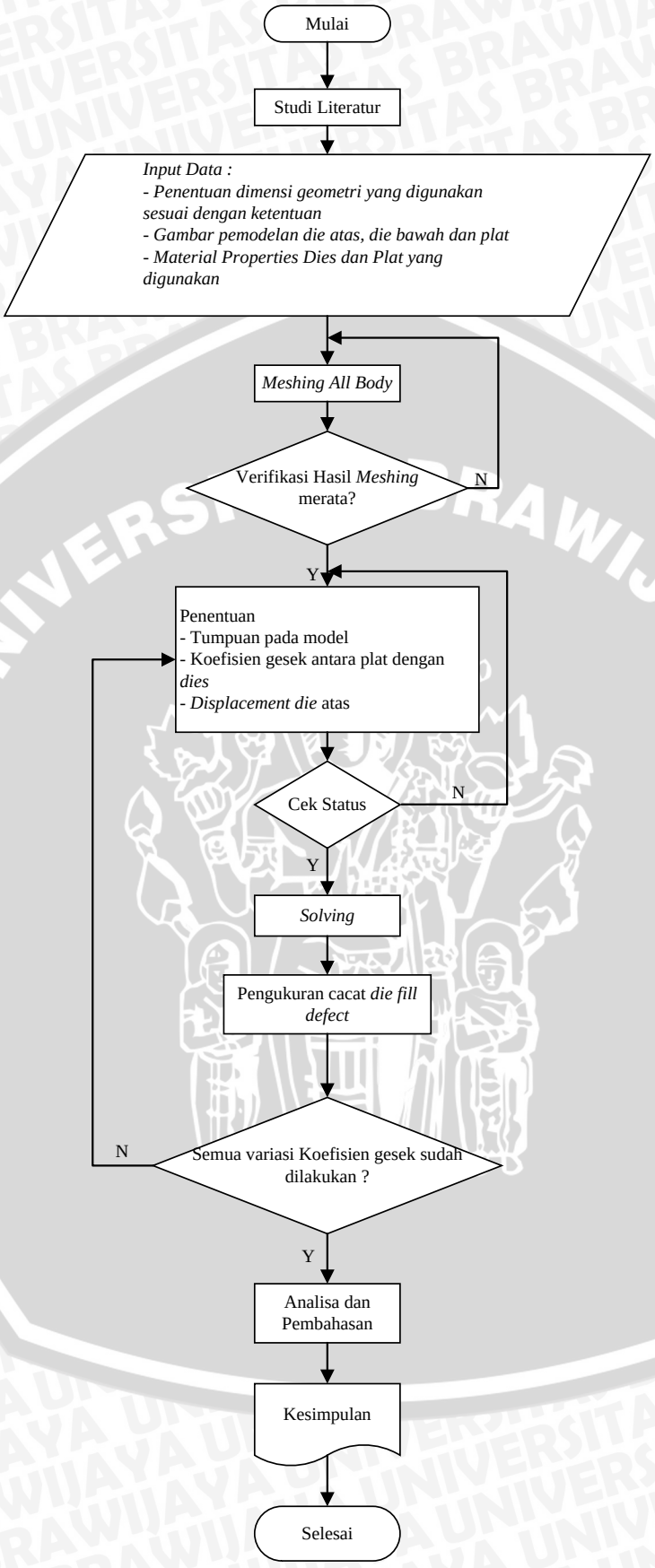
Setelah membentuk luasan dilakukan perhitungan dengan perintah *properties area* agar hasil luasan dapat diketahui.



Gambar 3.10 *Properties Area* untuk Menghitung Luasan *Die Fill Defect*

3.8 Diagram Alir Penelitian

Alur pemikiran yang dilakukan dalam penelitian ini dapat digambarkan seperti gambar 3.11 berikut.



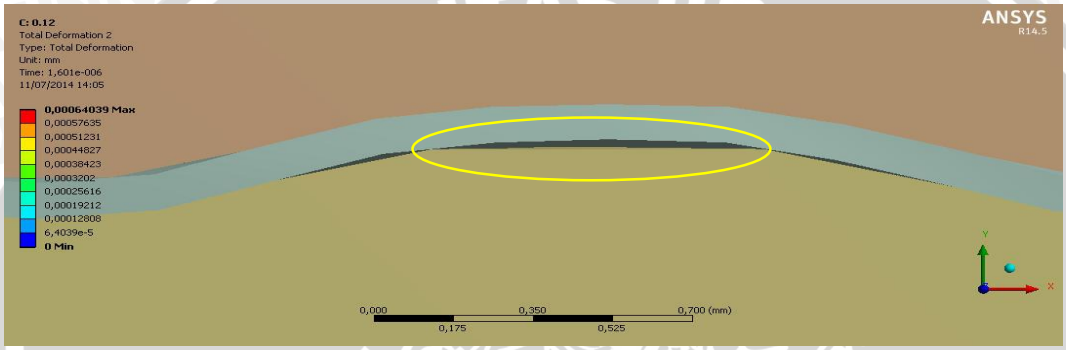
Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Data Luasan *Die Fill Defect*

Pada penelitian ini diambil data besarnya luasan *die fill defect* yang terbentuk pada setiap proses simulasi *dies press forming.* Gambar 4.1 menunjukkan contoh *die fill defect* yang terbentuk pada variasi koefisien gesek 0,12 dengan pemodelan *bilinear isotropic hardening.*



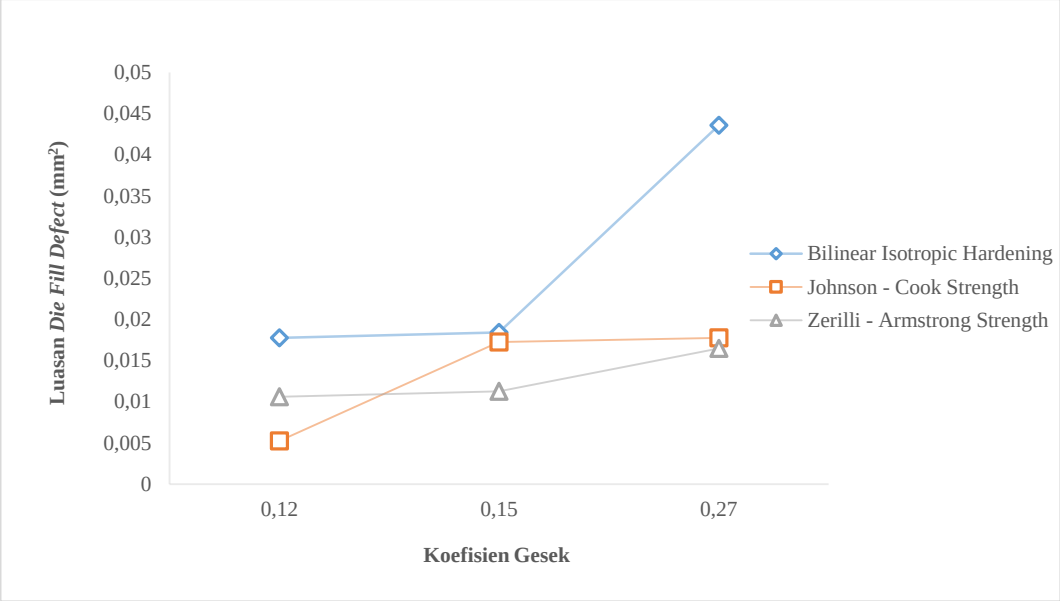
Gambar 4.1 Luasan *die fill defect* yang terbentuk

Tabel 4.1 berikut ini merupakan data besarnya luasan *die fill defect* yang terjadi pada setiap proses simulasi *dies press forming.*

Tabel 4.1 Luasan *Die Fill Defect* yang terbentuk disetiap proses pembentukan

Koefisien Gesek	Pemodelan Material		
	Bilinear Isotropic Hardening	Johnson - Cook Strength	Zerilli - Armstrong Strength
	Luasan (mm^2)	Luasan (mm^2)	Luasan (mm^2)
0,12	0,0178	0,0053	0,0106
0,15	0,0185	0,0173	0,0113
0,27	0,0436	0,0178	0,0165

Dari tabel 4.1 data luasan *die fill defect* yang terbentuk disetiap proses simulasi *dies press forming* didapat hubungan antara koefisien gesek antara plat dan bahan dengan besarnya luasan *die fill defect* yang terbentuk dari berbagai pemodelan material seperti yang terlihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik hubungan koefisien gesek dengan luasan *die fill defect* berbagai pemodelan material

Dari gambar 4.2 dapat diketahui bahwa semakin tinggi koefisien gesek maka luasan *die fill defect* yang terbentuk akan semakin besar disetiap pemodelan material dan juga dapat dilihat dari semua pemodelan material, pemodelan *bilinear isotropic hardening* membentuk rata – rata luasan yang paling besar dan pemodelan Zerilli – Armstrong *Strength* membentuk rata – rata luasan yang paling kecil.

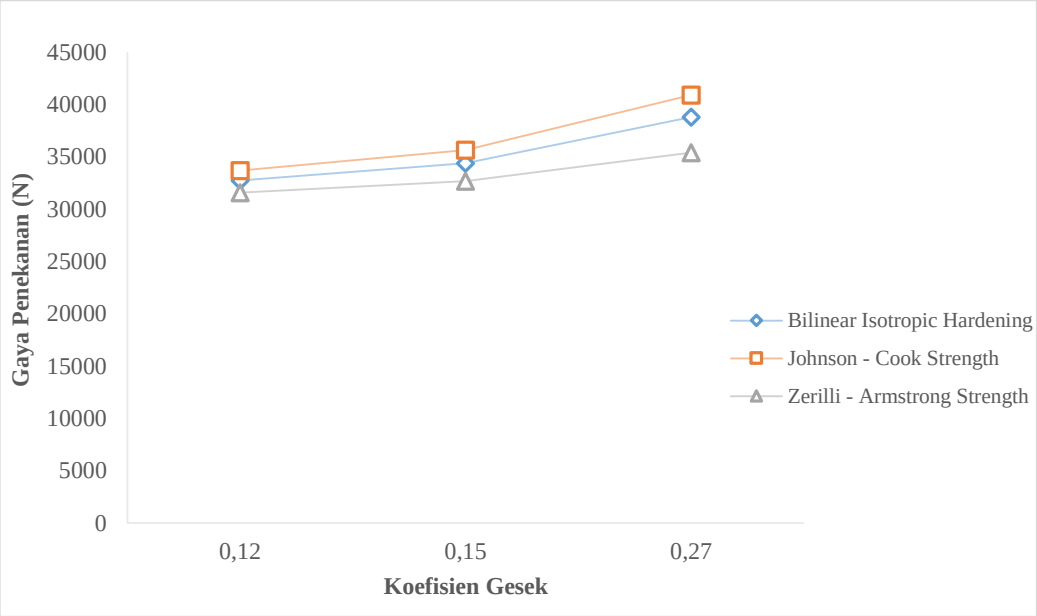
4.1.2 Data Gaya Penekanan Proses Pembentukan

Gaya penekanan merupakan besarnya gaya yang dibutuhkan untuk membentuk plat sampai terdeformasi dan terbentuk sesuai dengan geometri dari *dies.* Tabel 4.2 menunjukkan besarnya masing – masing gaya penekanan dari semua variasi koefisien gesek dan pemodelan material.

Tabel 4.2 Gaya penekanan yang dibutuhkan disetiap proses pembentukan

Koefisien Gesek	Pemodelan Material		
	Bilinear Isotropic Hardening	Johnson - Cook Strength	Zerilli - Armstrong Strength
	Gaya (N)	Gaya (N)	Gaya (N)
0,12	32740	33690	31560
0,15	34389	35656	32666
0,27	38780	40899	35406

Dari tabel 4.2 ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik hubungna koefisien gesek dan gaya penekanan berbagai pemodelan material

Dari gambar 4.3 dapat diketahui bahwa semakin tinggi koefisien gesek maka gaya penekanan yang dibutuhkan untuk membentuk plat akan semakin tinggi pula. Besarnya gaya penekanan yang paling tinggi terjadi pada pemodelan Johnson – Cook *Strength* dengan koefisien gesek 0,27 yaitu sebesar 40899 N dan nilai gaya penekanan yang paling rendah terjadi pada pemodelan Zerilli – Armstrong *Strength* dengan koefisien gesek 0,12 yaitu sebesar 31560 N.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Luasan *Die Fill Defect*

Die fill defect merupakan cacat yang terjadi akibat tidak terbentuknya plat sebagai material gasket sesuai dengan bentuk geometri *dies*. Cacat ini berupa rongga antara plat dengan *dies* sehingga dapat mengurangi kemampuan gasket untuk menahan kebocoran pada sambungan. Dari hasil simulasi didapatkan data seperti pada tabel 4.1 dan gambar 4.2 yang menjelaskan bahwa besarnya luasan *die fill defect* yang terkecil terjadi pada koefisien gesek 0,12 disemua pemodelan material. Hal ini dikarenakan koefisien gesek mempengaruhi laju material untuk meregang saat diberikan gaya yang menyebabkan material itu terdeformasi. Semakin kecil koefisien gesek maka gaya gesek antara plat dengan *dies* akan semakin kecil dan permukaannya lebih licin sehingga material mudah

meregang. Semakin mudah material untuk meregang maka material akan lebih mudah terbentuk mengisi rongga *dies* sehingga luasan *die fill defect* yang terbentuk kecil.

Besarnya luasan *die fill defect* yang terbentuk pada koefisien gesek 0,15 dan 0,27 semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena nilai koefisien gesek meningkat maka gaya gesek juga akan meningkat dan menyebabkan kontak permukaan lebih kasar sehingga hambatan material untuk meregang akan semakin besar dan material lebih sulit untuk terdeformasi. Jika ditinjau dari perumusan *deformation resistance* dapat dilihat pada perumusan (4-1) sebagai berikut :

$$k_r = k_{str1}\left(1 + \frac{1}{3}\mu.\frac{d_1}{h_1}\right) \quad (4\text{-}1)$$

Dimana :

k_r : *deformation resistance* (N/mm^2)

K_{str1} : *flow stress* akhir proses pembentukan (N/mm^2)

d_1 : diameter setelah pembentukan (mm)

h_1 : tinggi setelah pembentukan (mm)

μ : koefisien gesek

$$F = k_r.A \quad (4\text{-}2)$$

Dimana :

F : Gaya Pembentukan (N)

k_r : *deformation resistance* (N/mm^2)

A : Luasan Penekanan (mm^2)

Pada perumusan (4-1) tentang gaya pembentukan terdapat nilai koefisien gesek yang mempengaruhi nilai k_r atau *deformation resistance. Deformation resistance* merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan dari material untuk mengalami deformasi pada saat proses pembentukan berlangsung. Jika nilai koefisien gesek meningkat maka besarnya *deformation resistance* akan semakin meningkat. Sehingga terbukti bila semakin naik nilai koefisien gesek material akan semakin sulit untuk terdeformasi.

Pada tabel 4.2 dan gambar 4.3 diperlihatkan besarnya gaya penekanan yang dibutuhkan untuk membentuk material pada semua variasi koefisien gesek dan pemodelan material. Jika nilai koefisien gesek meningkat maka gaya penekanan yang dibutuhkan akan semakin meningkat. Gaya penekanan terkecil terjadi pada koefisien

gesek 0,12 dan semakin meningkat nilai koefisien gesek maka gaya penekanan akan semakin meningkat.

Pada perumusan (4-2) terdapat hubungan gaya penekanan yang dibutuhkan dengan nilai k_r (*deformation resistance)* dan A (luasan penekanan). Nilai luasan penekanan pada saat proses pembentukan selalu sama dengan geometri *dies* yang sama, sehingga nilai k_r yang mempengaruhi besarnya gaya penekanan. Jika persamaan (4-1) disubtitusikan ke persamaan (4-2) maka akan terdapat persamaan baru seperti berikut :

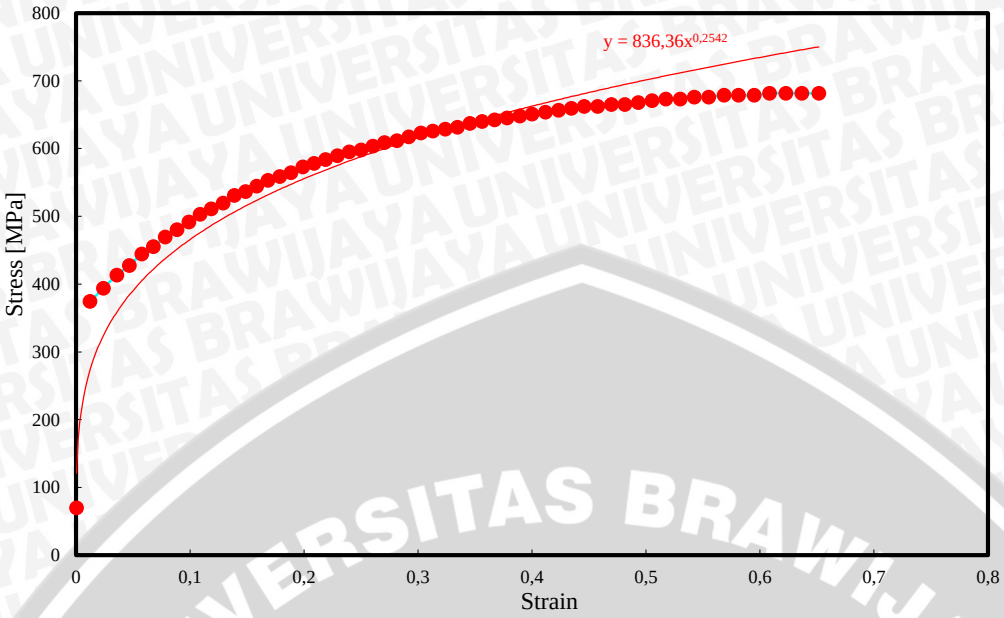
$$F = k_{str1}\left(1 + \frac{1}{3}\mu.\frac{d_1}{h_1}\right).\mathrm{A} \qquad (4\text{-}3)$$

Pada persamaan (4-3) terdapat hubungan nilai koefisien gesek dengan gaya penekanan. Hubungan dari dua variabel ini berbanding lurus, semakin tinggi koefisien gesek maka nilai gaya penekanan yang dibutuhkan akan semakin tinggi pula. Maka dari itu koefisien gesek 0,12 memerlukan gaya penekanan yang paling kecil dan gaya penekanan akan semakin meningkat seiring dengan naiknya nilai koefisien gesek dengan urutan 0,15 kemudian 0,27.

4.2.2 Pembandingan Pemodelan Material

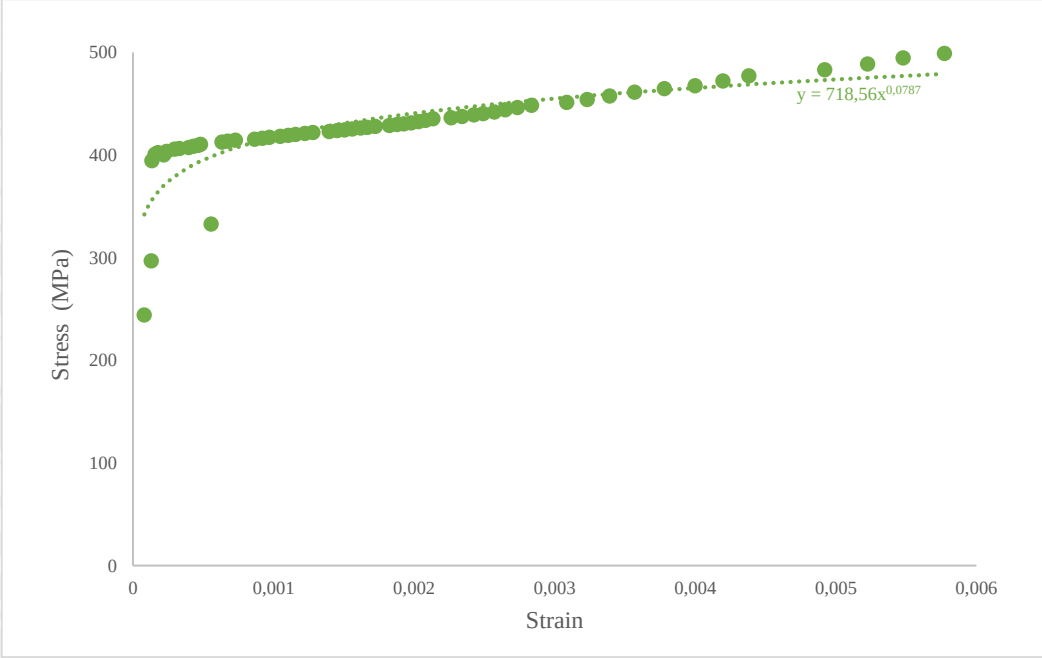
Pada simulasi program ANSYS 14.5, diperlukan suatu inputan material yang sangat berpengaruh dalam hasil simulasi. Inputan material ini berupa nilai – nilai yang mewakili karakteristik dari material tersebut. Pemodelan material merupakan idealisasi matematis dari perilaku material. Pada penelitian ini digunakan variasi pemodelan *bilinear isotropic hardening,* Johnson – Cook *Strength* dan Zerilli – Armstrong *Strength.* Pemodelan *bilinear isotropic hardening* merupakan pemodelan yang paling sederhana dimana grafik pemodelan memiliki dua garis linear pada bagian elastis material dan pada bagian plastis. Pada pemodelan ini ketika material berada pada daerah plastis maka besarnya tegangan akan sebanding dengan pertambahan regangan.

Pemodelan Johnson – Cook *Strength* dan Zerilli – Armstrong *Strength* merupakan pemodelan yang digunakan pada kasus dimana material mengalami regangan tinggi dengan *strain rate* yang tinggi dan mengalami pelunakan termal. Tetapi pemodelan Zerilli – Armstrong *Strength* merupakan pengembangan dari pemodelan Johnson – Cook *Strength* dimana selain pengaruh regangan dan *strain rate* juga terdapat pengaruh dari ukuran butir material.

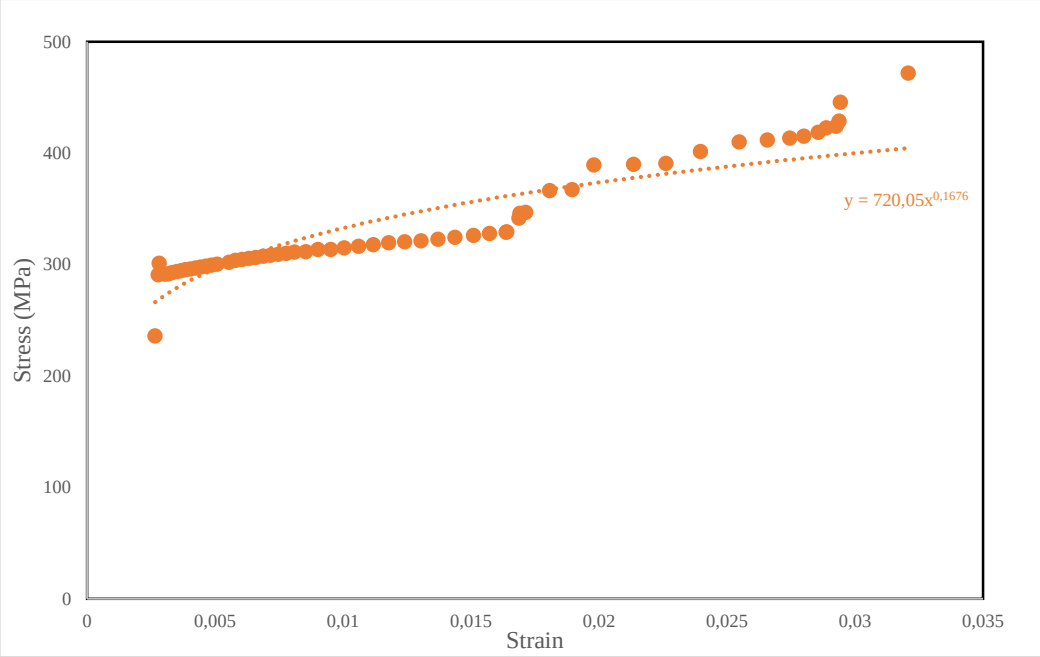


Gambar 4.4 Kurva Tegangan – Regangan Uji Material Plat SUS304

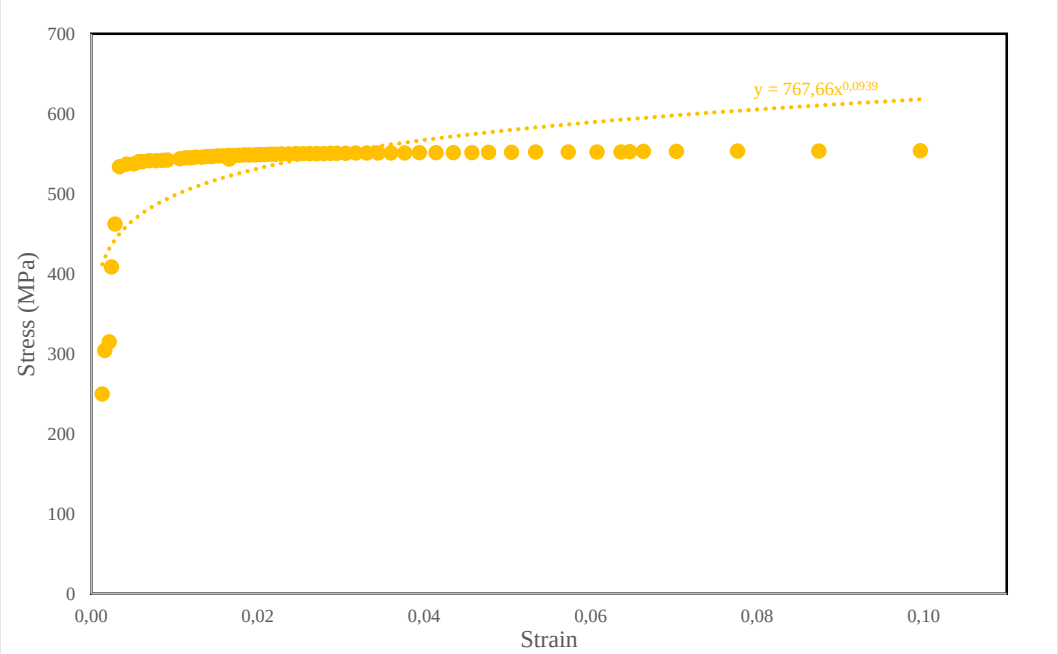
Pemodelan material perlu dilakukan pembandingan dengan keadaan aktual sehingga didapatkan pemodelan yang paling mendekati dengan kondisi aktual dari material. Gambar 4.4 merupakan kurva tegangan – regangan dari material plat SUS 304. Untuk kurva dari pemodelan material *bilinear isotropic hardening*, Johnson – Cook *Strength* dan Zerilli – Armstrong *Strength* dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 4.5 Kurva Tegangan – Regangan Pemodelan *Bilinear Isotropic Hardening*



Gambar 4.6 Kurva Tegangan – Regangan Pemodelan Johnson – Cook *Strength*



Gambar 4.7 Kurva Tegangan – Regangan Pemodelan Zerilli – Armstrong *Strength*

Pembandingan dari kurva tegangan – regangan berbagai pemodelan material dengan kurva tegangan – regangan aktual dari material SUS304 dapat mengacu dari persamaan tegangan sebagai berikut :

$$\sigma = K.\varepsilon^{n} \qquad (4\text{-}4)$$

dimana σ : Tegangan

K : konstanta penguatan

ε : regangan

n : exponensial *strain hardening*

Pada kurva tegangan – regangan uji material SUS304 didapat persamaan dari *trendline* kurva yaitu $y = 836{,}36x^{0{,}2542}$. Variabel "y" mewakili variabel σ (tegangan) pada perumusan (4-4), nilai 836,36 mewakili variabel K (konstanta penguatan), variabel "x" mewakili variabel ε (regangan) dan nilai 0,2542 mewakili variabel n (exponensial *strain hardening*). Untuk semua kurva tegangan – regangan pemodelan material juga didapatkan perumusan yang sama dan mengacu pada persamaan (4-4).

Pada pemodelan *bilinear isotropic hardening* didapatkan persamaan tegangan yaitu $y = 718{,}56x^{0{,}0787}$, kemudian pada pemodelan Johnson – Cook *Strength* didapatkan persamaan $y = 720{,}05x^{0{,}1676}$ dan pada pemodelan Zerilli – Armstrong *Strength* didapatkan persamaan $y = 767{,}66x^{0{,}0939}$. Jika dibandingkan kurva tegangan – regangan masing – masing pemodelan material dengan kurva tegangan – regangan material SUS304 maka persamaan yang hampir mendekati dengan persamaan tegangan aktual yaitu pada pemodelan Zerilli – Armstrong *Strength*, kemudian pemodelan Johnson – Cook *Strength* dan pemodelan *bilinear isotropic hardening*. Seperti yang dijelaskan sebelumnya pemodelan Zerilli – Armstrong *Strength* merupakan pemodelan perbaikan dari pemodelan Johnson – Cook *Strength.* Dua pemodelan ini digunakan karena pada proses pembentukan *metal gasket* dengan metode *dies press forming* termasuk proses pembentukan yang mengalami regangan yang tinggi dan memiliki *strain rate* yang bervariasi disetiap bagiannya.

Sehingga untuk pemodelan material plat SUS304 pada pembuatan *metal gasket* pemodelan Zerilli – Armstrong *Strength* memiliki pendekatan yang paling baik dengan kondisi aktual dari material SUS304 kemudian diikuti pemodelan Johnson – Cook *Strength* sebagai pendekatan kedua yang mendekati kondisi aktual dan yang terakhir adalah pemodelan *bilinear isotropic hardening.*

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa : besarnya koefisien gesek antara plat dengan *dies* berpengaruh terhadap luasan *die fill defect* yang terbentuk. Semakin kecil nilai koefisien gesek maka luasan *die fill defect* yang terbentuk juga semakin kecil. Koefisien gesek 0,12 memberikan hasil luasan *die fill defect* yang minimal. Pemodelan material pada *software* ANSYS 14.5 yang memiliki karakteristik mendekati karakteristik material aktual ketika dilakukan proses pembentukan yaitu pemodelan Zerilli – Armstrong *Strength.* Pembandingan dengan kurva tegangan – regangan aktual menjadi acuan dalam pembandingn dengan keadaan aktual material *metal gasket* SUS304.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian dengan variasi parameter – parameter proses pembentukan yang lain.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan pembandingan proses pembentukan aktual dengan variasi koefisien gesek terhadap cacat yang terjadi