

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. **Jurnal *Sheet Metal* dan *Software Abaqus***

Program *ABAQUS* merupakan salah satu dari program *finite element system* yang ada yang digunakan untuk mensimulasi proses pembuatan suatu komponen material dan untuk menganalisa kekuatan material tersebut, kemudian ditarik suatu kesimpulan dari hasil simulasi dan analisa tersebut sebagai hasil pendekatan dari proses produksi yang sebenarnya. ( Edi Jasmani 2006 ).

Uji tarik ( *tensile test* ) dilakukan untuk mengetahui beban tarik maksimum suatu material, yaitu beban yang timbul apabila pada bagian benda bekerja beberapa gaya yang arah garis kerjanya bertolak belakang. Kita dapat menentukannya dengan membebani batang tersebut dengan tarikan yang semakin tinggi dan mengukur gaya maksimal yang dapat ditahan sebelum batang tersebut menjadi putus. Putus atau patah berarti bahwa unsur galur materi tersebut menjadi terlepas pada tempat yang tertentu. ( Groenendijk, 1980 ).

*Sheet metal forming* merupakan proses pembentukan terhadap material dengan bahan dasar plat untuk dijadikan sebuah produk. Satu hal yang paling utama dari proses *sheet metal forming* adalah proses deformasi, pada saat proses berlangsung yang terjadi pertama kali adalah deformasi elastis

kemudian deformasi plastis. Ketika beban yang telah diberikan dilepas, maka bagian material yang mengalami deformasi plastis akan mengalami perubahan bentuk yang permanen tetapi bagian material yang mengalami deformasi elastis akan kembali ke bentuk semula. Dengan memanfaatkan tahap plastis tersebut maka proses pembentukan dapat tercapai dimana bentuk plat dapat sesuai dengan bentuk yang diinginkan. (Rao, 1987).

Proses *sheet metal forming* sebagai kunci efek dari tegangan adalah *Forming Limit Stress Diagram* ( FLSD ). Maka *Forming Limit Stress Diagram* sebagai dasar pada tegangan dan juga bisa diaplikasikan pada tegangan (*strain path*) yang kompleks, untuk mengetahui kriteria kerusakan / kecacatan hasil proses produksi. ( Jing Zhang, dan Xiantin Zhou, 1999 ).

Proses *sheet metal forming* disesuaikan dengan kompleksitas bentuk komponen yang akan dibuat. Untuk bentuk yang sederhana hanya diperlukan satu tahap pembentukan ( *single stage sheet metal forming* ) sedang untuk bentuk yang kompleks dibutuhkan beberapa tahap pembentukan ( *multi stage sheet metal forming* ) karena tidak dapat diselesaikan dengan satu kali proses. (Takahashi, 1999 ).

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.21. Baja karbon**

Baja karbon atau *carbon steel* adalah paduan antara besi (*Fe*) dan karbon (*C*) dimana unsur karbon sangat menentukan sifat -sifatnya.

Sedang unsur-unsur paduan lainnya yang biasa terkandung didalamnya terjadi karena proses pembuatannya. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam bidang teknik. Baja dalam pencetakannya dapat berbentuk pelat (*sheet metal*), batangan, pipa dan lain sebagainya.

Berdasarkan kadar karbon, baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu :

**a). Baja Karbon Rendah (*Hypoeutectoid*)**

Baja dengan kadar karbon ( $< 0,30\%$ ). Baja ini disebut baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Baja karbon rendah bukan termasuk baja yang keras karena kandungan karbonnya rendah ( $< 0,30\%$ ). Baja ini dapat dijadikan mur, baut, peralatan senjata, alat pengangkat presisi.

**b). Baja Karbon Sedang (*Eutectoid*)**

Baja karbon dengan kadar karbon ( $0,30\%$  ,  $0,60\%$ ) dan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, poros bubungan, poros engkol,serta peralatan tangan.

### **c). Baja Karbon Tinggi (*Hypereutectoid*)**

Baja karbon dengan kadar karbon ( $> 0,80\%$ ) dibuat dengan cara digiling panas. Apabila baja ini digunakan untuk bahan produksi, maka harus dikerjakan dalam keadaan panas dan digunakan untuk peralatan mesin berat, batang-batang pengontrol, pegas kumparan dan lain- lain. ( H. Amanto, Daryanto, 1999 ).

## **2.22. Sifat Mekanik Bahan**

Dalam pemilihan bahan untuk produk , perancang harus memperhatikan sifat-sifat logam seperti kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), kekerasan (*hardness*) atau kekuatan luluh (*fatigue strength*). Sifat mekanik didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan. Pada saat menahan beban, atom-atom atau struktur molekul berada dalam kesetimbangan. Gaya ikatan pada struktur menahan setiap usaha untuk mengganggu kesetimbangan ini, misalnya gaya luar atau beban.

### **a. Bahan liat (*ductile*) dan bahan rapuh (*brittle*)**

Bahan-bahan logam biasanya diklasifikasikan sebagai bahan liat (*ductile*) atau bahan rapuh (*brittle*). Bahan liat mempunyai gaya regangan ( *tensile strain* ) relatif besar sampai dengan titik kerusakan (misal baja atau aluminium) sedangkan bahan rapuh mempunyai

gaya regangan yang relatif kecil sampai dengan titik yang sama. Besi cor dan beton merupakan contoh bahan rapuh.

**b. Modulus kekerasan (*modulus of toughness*)**

Kerja yang dilakukan suatu unit volume bahan, seperti misalnya gaya tarikan yang dinaikkan dari nol sampai suatu nilai yang menyebabkan keruntuhan didefinisikan sebagai modulus kekerasan. Ini dapat dihitung sebagai luasan dibawah kurva tegangan-regangan dari origin sampai titik keruntuhan. Kekerasan bahan adalah kemampuan untuk menyerap energi pada selang plastis dari bahan

**c. Batas luluh bahan**

Sebenarnya sifat elastis masih terjadi sedikit di atas batas proporsional, namun hubungan antara tegangan dan regangan tidak *linear* dan pada umumnya batas daerah elastis dan daerah plastis sulit untuk ditentukan. Karena itu, maka didefinisikan kekuatan luluh (*yield point*). Kekuatan luluh adalah harga tegangan terendah dimana material mulai mengalami deformasi plastis. Pada gambar tegangan-regangan, memperlihatkan titik luluh atas dan titik luluh bawah yang ditandai oleh pengurangan beban mendadak, diikuti dengan perpanjangan yang meningkat dan peningkatan beban yang

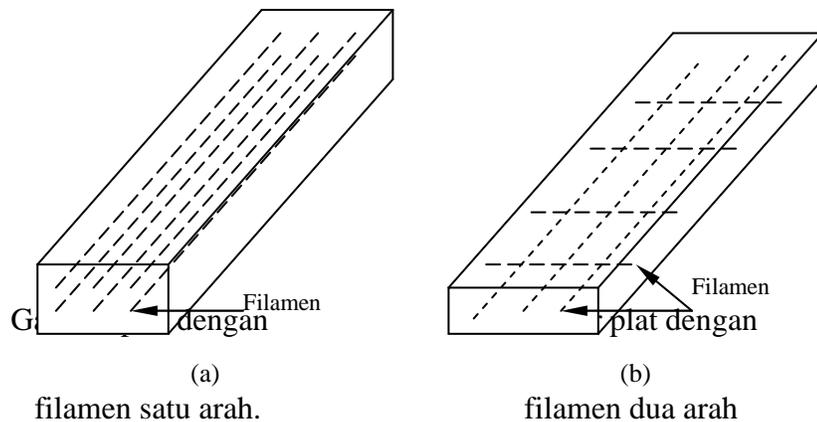
mendadak lagi. Gejala ini disebut meluluhnya bahan, yang ditandai dengan perubahan bentuk yang plastis dan naik turunnya beban.

#### d. Klasifikasi Bahan

Sampai saat ini, diskusi kita adalah didasarkan pada asumsi bahwa bahan mempunyai dua karakteristik, yaitu:

- *Homogen*, yaitu mempunyai sifat elastis yang sama pada keseluruhan titik pada bahan.
- *Isotropis*, yaitu mempunyai sifat elastis yang sama pada semua arah pada setiap titik dalam bahan.

Dalam uji tarik plat plat yang digunakan adalah plat dengan searah serat / filamen ( Gambar II.1 ).



( Gambar II.1 ), filamen plat

#### e. Deformasi

Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan ukuran secara fisik ini disebut deformasi. Deformasi ada dua macam yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Yang dimaksud deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban ditiadakan, maka material akan kembali ke ukuran semula. Sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas, ( Edi Jasmani 2001 ).

Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah (Singer dan Pytel, 1995).

Hubungan tegangan-regangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{P}{A}}{\frac{\delta}{L}}$$

Sehingga deformasi ( $\delta$ ) dapat diketahui :

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E}$$

Dimana :

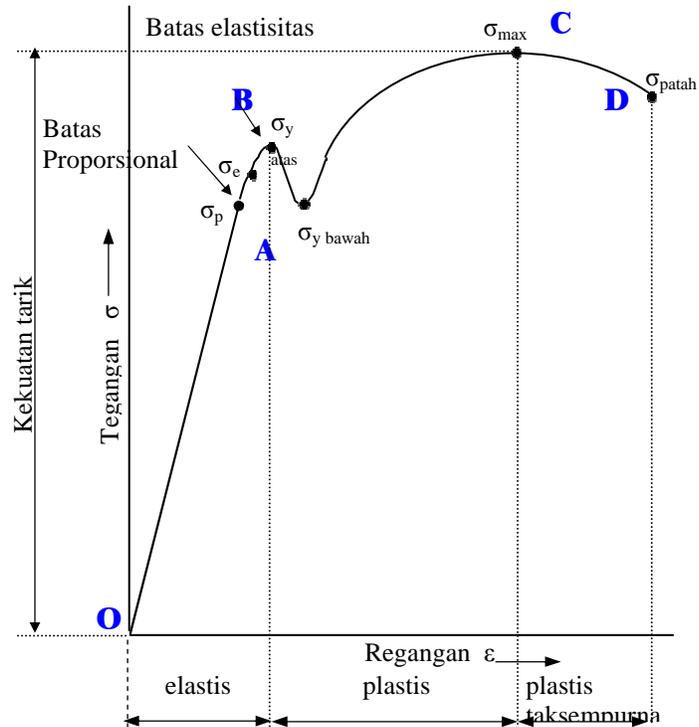
P = Beban (N)

A = Luas permukaan ( $\text{mm}^2$ )

L = Panjang awal (mm)

E = Modulus Elastisitas

Sebuah plat yang diberi beban secara terus-menerus, secara bertahap akan mengalami deformasi. Pada awal pembebanan akan terjadi deformasi elastis sampai pada kondisi tertentu bahan akan mengalami deformasi plastis. Pada awal pembebanan bahan di bawah kekuatan luluh bahan akan kembali ke bentuk semula, hal ini dikarenakan sifat elastis bahan. Peningkatan beban melebihi kekuatan luluh (*yield point*) yang dimiliki plat akan mengakibatkan aliran deformasi plastis sehingga plat tidak akan kembali ke bentuk semula, hal ini bisa dilihat dalam diagram tegangan-regangan pada gambar II.2.



Gambar II.2. Diagram Tegangan–Regangan

Kesebandingan antara gaya tarik dan elongasi yang timbul sebenarnya hanya berlaku sampai pada harga batas tegangan tarik tertentu, yang biasa kita sebut batas proporsional, batas ini tergantung pada sifat – sifat bahan. Didalam penyelidikan sifat – sifat mekanis diatas batas proporsional, hubungan antara regangan tegangan biasanya dilukiskan secara grafik dengan suatu diagram pengujian tarik.

Disini elongasi dilukiskan sebagai sumbu horisontal dan tegangan-regangan yang terjadi dilukiskan dengan ordinat–ordinat OABCD. Tegangan dari "O" hingga "A" adalah merupakan daerah proporsional. Diatas "A" mulai terjadi penyimpangan, jadi titik "A" merupakan batas proporsional. Pembebanan yang berkelanjutan menyebabkan pertambahan panjang ( *elongasi* ) pada titik "B" sehingga diagram menjadi melengkung, pada titik "B" elongasi plat berlangsung dengan penambahan gaya tarik yang lebih sedikit sehingga mengalami luluh yang biasa disebut dengan titik lumer (*yield point*). Penarikan plat yang lebih jauh lagi akan menyebabkan adanya perlawanan internal oleh molekul plat hingga dicapai titik "C", pada titik inilah gaya tarik memperoleh harga maksimum. Tegangan yang ditimbulkan merupakan kekuatan tertinggi (*ultimate strength*) dari bahan yang dipakai. Setelah melewati titik "C" *elongasi* plat masih berlangsung meskipun beban semakin berkurang dan akhirnya batang mengalami pengecilan dan akhirnya patah (*fracture*), ditunjukkan oleh titik "D".

Kekuatan luluh adalah harga tegangan terendah dimana material mulai mengalami deformasi plastis. Titik  $\sigma_{y \text{ atas}}$  adalah titik luluh atas dan titik  $\sigma_{y \text{ bawah}}$  adalah titik luluh bawah yang ditandai oleh pengurangan beban yang mendadak, diikuti dengan perpanjangan yang meningkat dan peningkatan beban yang

mendadak lagi. Gejala ini disebut meluluhnya bahan, yang ditandai dengan perubahan bentuk yang plastik dan naik-turunnya beban

Pada titik mulur hubungan tegangan-regangan sudah tidak linier, namun sifat elastis masih terjadi sedikit diatas batas proporsional. Pada umumnya batas daerah elastis dan daerah plastis sulit untuk ditentukan. Karena itu, maka didefinisikan kekuatan luluh (*yield strength*). Batas proporsional merupakan tegangan tertinggi dimana material masih mengalami deformasi elastis dan belum mengalami deformasi plastis.

Titik mulur atau yang biasa disebut dengan titik luluh (*yield point*) adalah titik transisi dari elastis ke daerah plastis. Pada titik mulur ini material mulai mengalami deformasi plastis yang bersifat permanen jika beban mulai dilepas.

### **2.23. Elastisitas dan Plastisitas Plat**

Dalam pemilihan material seperti lembaran plat untuk pembuatan komponen yang harus diperhatikan adalah sifat-sifat material antar lain; kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), kekerasan dan kekuatan lelah. Sifat mekanik material untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan. Pada saat menahan beban, struktur molekul berada dalam keseimbangan. Gaya luar pada proses penarikan akan mengakibatkan material mengalami tegangan.

### a. Elastisitas

Sebuah benda terdiri dari partikel – partikel kecil atau molekul – molekul. Diantara molekul – molekul ini bekerjalah gaya – gaya yang biasa disebut gaya molekuler. Gaya – gaya molekuler ini memberi perlawanan terhadap gaya – gaya luar yang berusaha mengubah bentuk benda itu sampai terjadi suatu keseimbangan antara gaya – gaya luar dan gaya – gaya dalam. Selanjutnya benda itu dikatakan berada dalam keadaan regang ( *state of strain* ).

Elastisitas adalah sifat yang dimiliki oleh suatu material yang menyebabkan benda / material akan kembali ke bentuk seperti semula setelah diberi beban dan mengalami perubahan bentuk kemudian beban dihilangkan. Sebuah benda yang kembali sepenuhnya kepada bentuk semula kita namakan elastis sempurna, sedangkan apabila tidak sepenuhnya kembali kepada bentuk semula kita namakan elastis parsial (sebagian). ( S. Timoshenko dan Goodier. 1986 ).

Elastisitas bahan sangat ditentukan oleh modulus elastisitas, modulus elastisitas suatu bahan didapat dari hasil bagi antara tegangan dan regangan

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

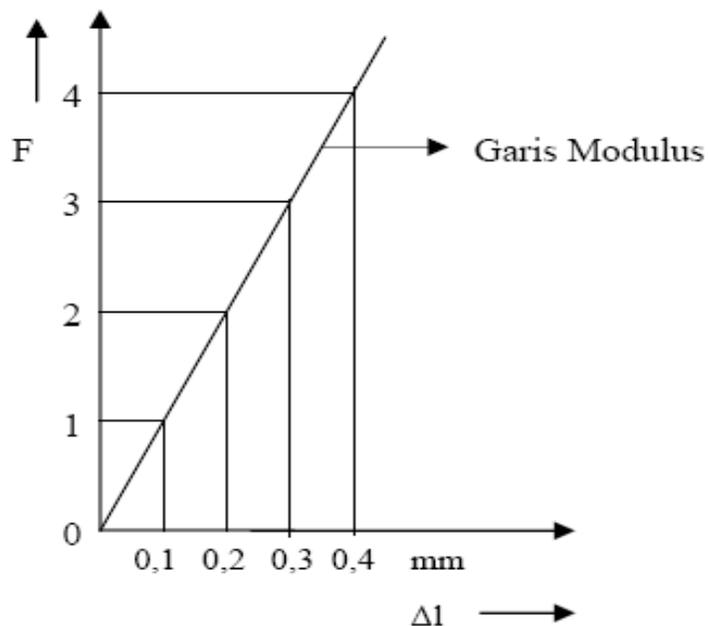
Dimana :

$E$  = Modulus elastisitas ( Mpa )

$\sigma$  = Tegangan (Mpa)

$\varepsilon$  = Regangan

Garis modulus berupa garis lurus pada kurva beban dan perpanjangan, yang menunjukkan bahwa beban berbanding lurus dengan perpanjangan seperti gambar II.3.



( Gambar II.3 ) Garis Modulus

Bila garis modulus itu membuat sudut besar dengan sumbu horizontal, berarti bahan itu sangat tahan terhadap perubahan bentuk elastik (kaku), memiliki modulus elastisitas tinggi sehingga tahan terhadap perubahan bentuk (deformasi) elastis.

## **b. Plastisitas**

Plastisitas adalah sifat yang dimiliki oleh suatu material, yaitu ketika beban yang diberikan kepada suatu benda / material hingga mengalami perubahan bentuk kemudian dihilangkan lalu benda tidak bisa kembali sepenuhnya ke bentuk semula.

Peningkatan pembebanan yang melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) yang dimiliki plat mengakibatkan aliran deformasi permanen yang disebut plastisitas. Menurut Mondelson (1983) teori plastis terbagi menjadi dua kategori:

### **1). Teori fisik**

Teori fisik menjelaskan aliran bagaimana logam akan menjadi plastis. Meninjau terhadap kandungan mikroskopik material seperti halnya pengerasan kristal atom dan dislokasi butir kandungan material saat mengalami tahap plastisitas.

### **2). Teori matematik**

Teori matematik berdasarkan pada fenomena logis alami dari material dan kemudian dideterminasikan ke dalam rumus yang digunakan untuk acuan perhitungan pengujian material tanpa mengabaikan sifat dasar material.

#### a. Tegangan ( *Stress* )

Tegangan adalah tahanan material terhadap gaya atau beban. Tegangan diukur dalam bentuk gaya per luas. Tegangan normal adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan dimana tegangan tersebut diterapkan. Tegangan normal berupa tarikan atau tekanan. Satuan SI untuk tegangan normal adalah Newton per meter kuadrat ( $\text{N/m}^2$ ) atau Pascal (Pa). Tegangan dihasilkan dari gaya seperti : tarikan, tekanan atau geseran yang menarik, mendorong, melintir, memotong atau mengubah bentuk potongan bahan dengan berbagai cara. Perubahan bentuk yang terjadi sering sangat kecil dan hanya *testing machine* adalah contoh peralatan yang dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan bentuk yang kecil dari bahan yang dikenai beban. Cara lain untuk mendefinisikan tegangan adalah dengan menyatakan bahwa tegangan adalah jumlah gaya dibagi luas permukaan dimana gaya tersebut bereaksi.

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

Tegangan normal ( $\sigma$ ) adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang luas (Timoshenko dan Goodier, 1986) :

$$\sigma = \frac{F_n}{A}$$

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas. Tegangan menurut Marciniak dkk. (2002) dibedakan menjadi dua yaitu, *Engineering stress* dan *true stress*. *Engineering stress* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{\text{eng}} = \frac{F}{A_0}$$

Dimana :

$\sigma_{\text{eng}}$  = *Engineering stress* (MPa)

F = Gaya (N)

$A_0$  = Luas permukaan awal ( $\text{mm}^2$ )

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

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana :

$\sigma$  = *True stress* ( MPa)

F = Gaya (N)

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

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

#### **b. Regangan ( *Strain* )**

Regangan didefinisikan sebagai perubahan ukuran atau bentuk material dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau yang menekan pada material. Apabila suatu spesimen struktur material diikat pada jepitan mesin penguji dan beban serta pertambahan panjang spesifikasi diamati serempak, maka dapat digambarkan pengamatan pada grafik dimana ordinat menyatakan beban dan absis menyatakan pertambahan panjang.

Batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier akan berakhir sampai pada titik mulur. Hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai pada batasan fase sifat plastis.

Menurut Marciniak dkk. (2002) regangan dibedakan menjadi dua, yaitu : *engineering strain* dan *true strain*.

*Engineering strain* adalah regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal). Sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula.

$$\epsilon_{eng} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\%$$

Dimana :

$\epsilon_{eng}$  = *Engineering strain*

$\Delta l$  = Perubahan panjang

$l_0$  = Panjang mula-mula

$l$  = Panjang setelah diberi gaya

*True strain* regangan yang dihitung secara bertahap (*increment strain*), dimana regangan dihitung pada kondisi dimensi benda saat itu (sebenarnya) dan bukan dihitung berdasarkan panjang awal dimensi benda. Maka persamaan regangan untuk *true strain* ( $\epsilon$ ) adalah

$$\epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0}$$

Dimana :

$\epsilon$  = *True strain*

### c. Kurva Tegangan Regangan

Menurut Marciniak dkk. (2002) ada beberapa hal yang harus diketahui dalam hal Tegangan-Regangan pada mekanis bahan yaitu :

#### 1. Kurva *True stress and True strain*

Proses pengepresan (*stamping*) atau *sheet metal forming* menggunakan sifat plastis (*plasticity*) dari material logam yang akan menyebabkan bahan pelat menjadi bentuk baru apabila diregang melebihi batas elastis (*elasticity*) sehingga deformasinya permanen.

Hal yang mendasar dari proses pengepresan adalah memanfaatkan sifat plastisitas dari material saat pelat diberi gaya. Dengan memanfaatkan tahap plastisitas tersebut maka proses pembentukan dapat dicapai, dimana bentuk pelat akan sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan (Rao, 1987). Konsep ini terdapat pada kurva tegangan-regangan sebenarnya (*true strain-stress curve*) pada Gambar II.4. Daerah plastis terdapat pada garis kurva diatas titik mulur batas tegangan dimana material tidak akan kembali ke bentuk semula apabila beban dilepas, dan akan mengalami

deformasi tetap yang disebut *permanent set* (Timoshenko dan Goodier, 1986).

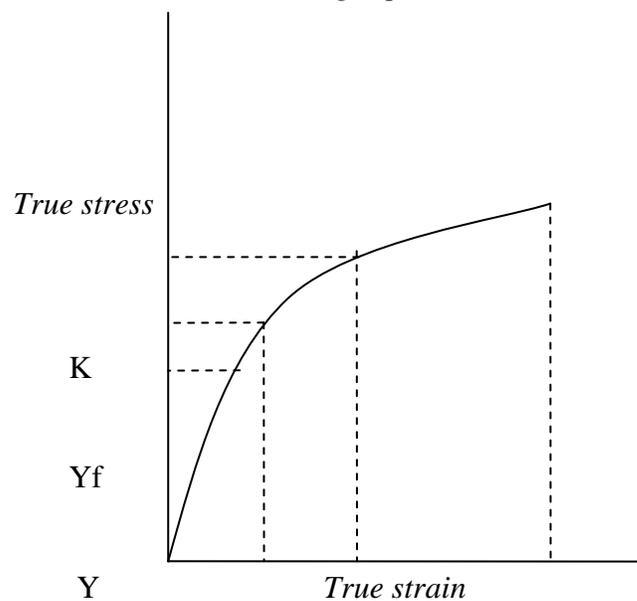
Persamaan kurva Tegangan – Regangan dalam bentuk eksponensial adalah sebagai berikut:

$$\sigma = K\epsilon^n$$

Dimana :

$K$  = *Strenght coefficient*

$n$  = *Hardening exponent*



( Gambar II.4 ) Kurva *True stress and True strain*

Prinsip tegangan pada kondisi plastis dengan teori *von mises Stress*. Kriteria ukuran terjadinya keluluhan yang digunakan secara luas adalah ketika luasan bidang mulai terdeformasi plastis sampai

tegangan pada permukaan luasan mencapai nilai maksimum (kritis). Beberapa peneliti telah menyatakan menggunakan kriteria ini. Teori ini disebut dengan teori batas luluh tegangan sisa (*von mises yield theory*) (Marciniak dkk. 2002).

Kriteria luluh (*yield*) pada penelitian ini menggunakan persamaan *Von Mises yield condition* (Marciniak dkk. 2002) sebagai berikut :

$$\sqrt{\frac{1}{2}\{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\}} = \sigma_f$$

dimana :

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 = \textit{Principle Stresses}$ .

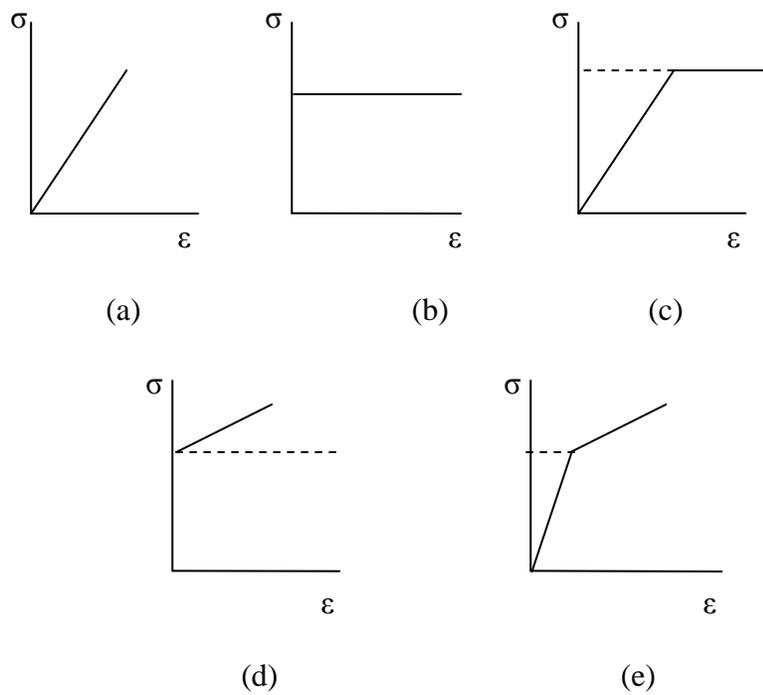
$\sigma_f = \textit{Flow Stress}$

Kondisi luluh pada suatu bidang menggunakan angka perbandingan tegangan (*stress ratio*)  $\alpha$  .

## 2. Jenis – jenis kurva *Stress – Strain*

Setiap material mempunyai kurva *Stress-Strain* yang berbeda – beda tergantung dari komposisi dan beberapa faktor seperti perlakuan panas. Beberapa jenis kurva *Stress - Strain* sebagai berikut: ( Gambar II.5 ).

1. *Perfectly elastic*
2. *Rigid, perfectly plastic*
3. *Elastic, perfectly plastic*
4. *Rigid, lineary strain hardening*
5. *Elastic, lineary strain hardening*



( Gambar II.5 ) Jenis Kurva *Stress – Strain*

Kurva tegangan – regangan dipengaruhi oleh :

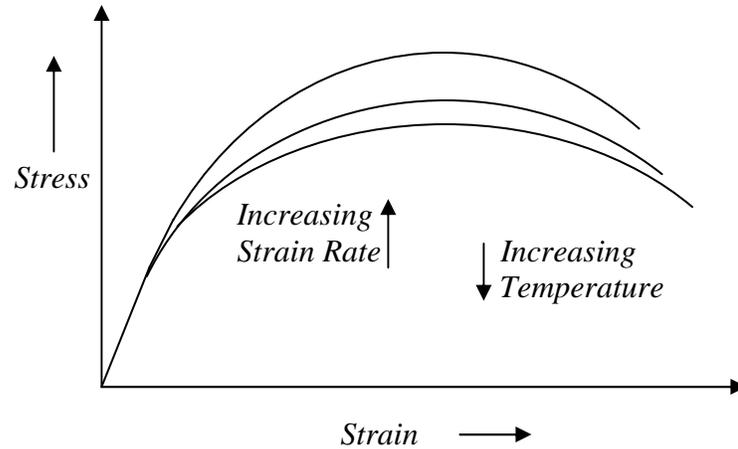
- Temperatur

Faktor temperatur sangat mempengaruhi bentuk kurva Tegangan - Regangan. Secara umum hubungan dari temperatur terhadap material biasanya semakin meningkatnya temperatur material akan meningkatkan keuletan (*ductility*) dan ketangguhan (*toughness*) material, menurunkan modulus elastisitas, titik luluh, dan UTS-nya.

- *Strain rate*

*Strain rate* adalah laju deformasi benda ketika mendapat beban. Dalam proses manufaktur, benda kerja akan meregang terdeformasi sesuai dengan kecepatan beban yang diterimanya.

*Strain rate* merupakan fungsi perubahan geometri benda / spesimennya. Efek dari *strain rate* pada *flow stress* adalah semakin tinggi *strain rate*, makin tinggi *flow stress*. Efek ini adalah kebalikan dari efek temperature pada flow stress.



( Gambar II.6 ), Grafik *Strain Rate*

Secara umum, dengan naiknya strain rate, maka kekuatan material akan meningkat.

- Efek tekanan hidrostatik

Efek tekanan hidrostatik mempengaruhi dari sifat material sebagai berikut:

1. Meningkatkan *strain rate*
2. Punya efek kecil (dapat diabaikan) terhadap kurva Tegangan-Regangan
3. Tak ada efek pada *strain* atau beban maksimum saat *necking*.

- Efek radiasi

Perubahan sifat material karena efek radiasi mengakibatkan kondisi material sebagai berikut:

1. *Yield stress* naik
2. *Tensile strength* dan *hardness* meningkat
3. *Ductility* dan *toughness* menurun

### 3. *Ductility*

Keuletan suatu bahan menggambarkan seberapa besar ketahanan meregang suatu bahan sampai tidak terjadi kerusakan. Jika material dibebani sampai mencapai UTS, maka regangan akan merata. Regangan yang terjadi sampai titik UTS-nya dinamakan *uniform strain*, sedangkan memanjangnya material sampai terjadi retak disebut *total elongation*.

Dua kuantitas yang umum dipakai untuk mendefinisikan *ductility* suatu bahan dalam uji tarik adalah *elongation* dan *reduction of area* adalah:

$$\text{Elongation} = (l_f - l_o) / l_o \times 100\%$$

Dimana:  $l_f$  = Panjang akhir

$l_o$  = Panjang mula-mula

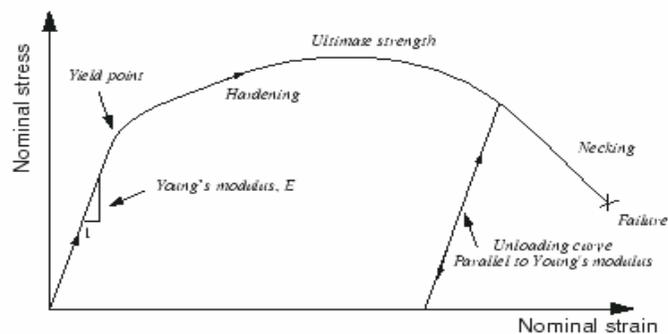
$$\text{Reduction of area} = (A_o - A_f) / A_o \times 100\%$$

Dimana:  $A_f$  = Luas penampang akhir

$A_o$  = Luas penampang mula-mula

#### d. Konversi *Engineering Strain* ke *True Strain*

Sifat plastis suatu material bisa ditunjukkan oleh *yield point* dan *post yield*. Pergeseran dari elastis ke plastis terjadi pada suatu titik tertentu yang biasanya dikenal sebagai batas regang. ketika logam mengalami pembebanan maka akan mengalami regangan yang apabila berlanjut maka tegangan yang terjadi menjadi tidak linier dengan pertambahan regangan, hal ini bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



( Gambar II.7 ), Karakteristik hubungan  
Tegangan (*strees*) – Regangan (*strain*)

Ketika kita mendefinisikan plastisitas dalam ABAQUS maka harus menggunakan *true stress* dan *true strain*. Tetapi sering kali data yang disediakan bentuk nominal *stress* dan nominal *strain*. Sehingga dalam penggunaannya harus dikonversikan terlebih dahulu ke bentuk *true stress* dan *true strain*.

Nominal *strain* dihitung dari persamaan

$$\varepsilon_{nom} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - \frac{l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$$

*True strain* kemudian dihitung dari nominal *strain* menggunakan :

$$\varepsilon = \ln(1 + \varepsilon_{nom})$$

hubungan antara *true stress* dan nominal *strain* dibentuk dengan menganggap *volumetric deformation* diabaikan, maka

$$l_0 \cdot A_0 = l \cdot A$$

sehingga penampang yang terjadi dari penampang awal menjadi

$$A = A_0 \frac{l_0}{l}$$

dengan demikian dapat diperoleh definisi *true stress* menjadi

$$l \cdot \sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{A_0} \cdot \frac{l}{l_0} = \sigma_{nom} \left( \frac{l}{l_0} \right)$$

maka *true stress* dapat dihitung dari nominal *stress* dan nominal *strain* :

$$\sigma = \sigma_{nom} (1 + \varepsilon_{nom})$$

**e. Dekomposisi *plastic strain***

Regangan yang diperoleh dari material tes yang digunakan untuk mendefinisikan perilaku plastik bukanlah *plastic strain* pada material, tetapi berupa total *strain* yang terjadi. Oleh karena itu harus dilakukan dekomposisi terhadap total *strain* menjadi komponen *elastic strain* dan *plastic strain*. Hal ini bisa dilihat pada gambar ... komponen *plastic strain* dengan *elastic strain* yang besarnya adalah *true stress* dibagi dengan *Young's modulus*.

$$\varepsilon^{pl} = \varepsilon^l - \varepsilon^{el} = \varepsilon^l - \sigma/E$$

dimana :

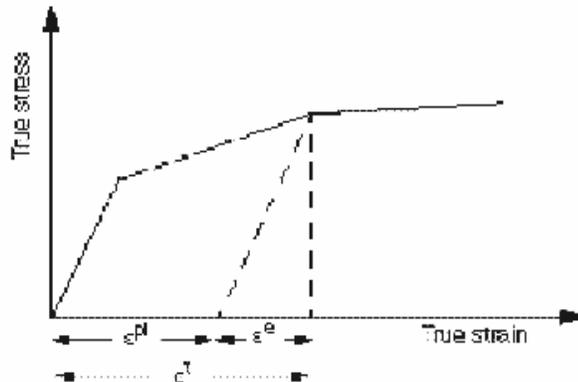
$$\varepsilon^{pl} = \text{true plastic strain}$$

$$\varepsilon^l = \text{true total strain}$$

$$\varepsilon^{el} = \text{true elastic strain}$$

$$\sigma = \text{true stress}$$

$E = \text{young's modulus}$



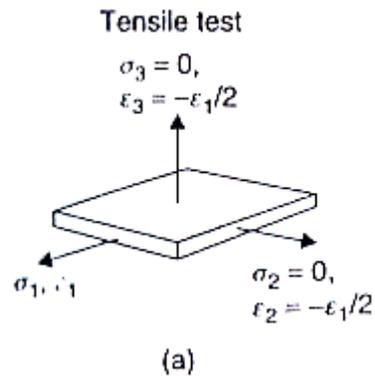
( Gambar II.8 ), Dekomposisi total  
*strain* kekomponen *plastik* dan *elastik*

**f. Perbandingan tegangan dan regangan (*Stress and strain ratio*)**

Perbandingan tegangan dan regangan (*Stress and strain ratio*) Perbandingan tegangan dan regangan pada kondisi material terdeformasi

Pada gambar II.9 menggambarkan tentang prinsip tegangan yang bekerja pada suatu elemen pada saat uji tarik.

Prinsip tegangan dan regangan untuk elemen yang terdeformasi untuk *uniaxial tension*

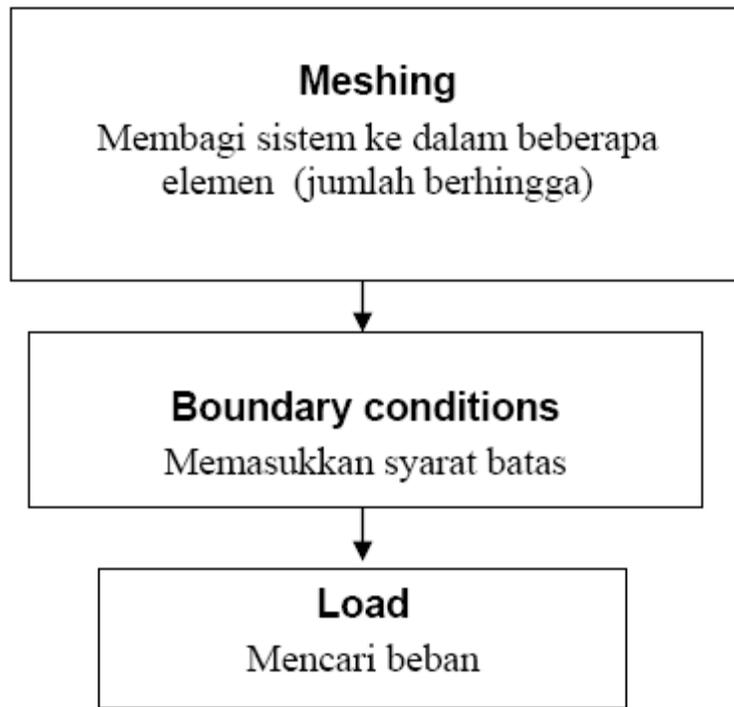


( Gambar II.9 ), *Principal Stress*

#### 2.24. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (MEH) dipergunakan sebagai solusi pendekatan yang dapat memecahkan persoalan-persoalan mekanika dengan geometri maupun pembebanan yang kompleks (Cook, 1990)

Digunakan metode pembagian *meshing* (pemodelan *mesh*) sebagai pendekatan, yaitu dengan membuat partition dalam bidang material dan penentuan node didalamnya.



Metode ini memiliki sifat yang sama dengan metode numerik yang lainnya, yaitu untuk mendapatkan nilai pendekatan. Metode ini senantiasa dipergunakan sebagai iterasi untuk memperoleh harga yang paling mendekati harga eksak.

Secara eksak Metode Elemen Hingga dilakukan asumsi peralihan pada setiap elemennya dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membagi struktur menjadi beberapa elemen (*sub region*) yang berhingga dengan memilih elemen yang cocok untuk geometri struktur analisis.

2. Mengasumsikan fungsi peralihan tiap elemen sedemikian rupa sehingga peralihan pada setiap titik sembarang dipengaruhi oleh nilai titik nodalnya.
3. Menentukan persamaan pendekatannya dengan menurunkan persamaan keseimbangan untuk setiap nodal dari hasil diskretisasi struktur sesuai distribusi elemen.
4. Mengeksakkan sistem persamaan pendekatan fungsi peralihan nodal.

Model elemen untuk struktur secara umum disesuaikan dengan kasus-kasus maupun problem fisik yang ditemui. Model elemen dibagi menjadi tiga yaitu:

**a. Elemen garis (Elemen satu dimensi)**

Elemen ini hanya memiliki dimensi panjang. Biasanya digunakan untuk memodelkan benda yang mempunyai panjang jauh lebih besar dari pada lebar dan tinggi seperti batang pipa, balok dan lain-lain. Berdasarkan kemampuan menahan beban, elemen satu dimensi dibagi menjadi dua jenis yaitu;

- a. Bar : Elemen yang hanya mampu menahan beban pada panjangnya saja.
- b. Beam : Elemen yang dapat menahan beban tegak lurus pada bidang potongnya.



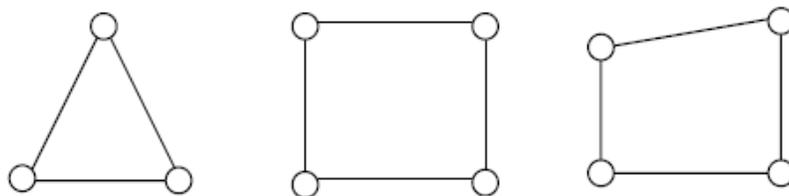
( Gambar II.10 ). Elemen Satu Dimensi

### b. Elemen Dua Dimensi

Elemen ini digunakan untuk memodelkan benda yang mempunyai satu dimensi jauh lebih kecil dari dua dimensi lainnya dan benda tiga dimensi yang memiliki sifat seragam pada panjangnya.

Elemen pada dua dimensi dibagi menjadi dua yaitu :

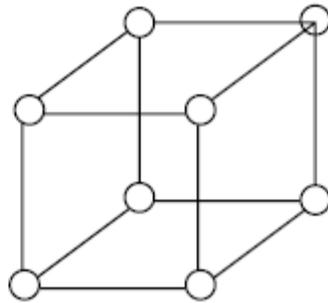
- a. Membran : Hanya dapat menahan beban yang sejajar pada bidangnya.
- b. Plate : Selain sejajar pada bidangnya juga dapat menahan beban tegak lurus terhadap bidangnya.



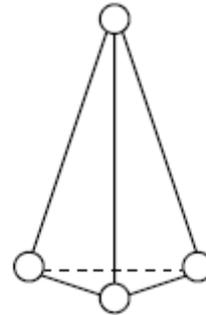
( Gambar II.11 ) Elemen Segitiga, Segiempat, *Quadrilateral*

### c. Elemen Tiga Dimensi

Elemen ini digunakan untuk memodelkan struktur secara utuh.



Hexahedron



Tetra hedron

( Gambar II.12 ) Elemen Tiga Dimensi

Program *ABAQUS* 6.5-3 merupakan salah satu dari program *finite element system* yang ada yang digunakan untuk mensimulasi proses pembuatan suatu komponen material dan untuk menganalisa kekuatan material tersebut, kemudian ditarik suatu kesimpulan dari hasil simulasi dan analisa tersebut sebagai hasil pendekatan dari proses produksi yang sebenarnya. Jadi digunakan *ABAQUS CAE* dengan pemodelan meshing sebagai pendekatannya.