

# SIFAT MAMPU BENTUK LEMBARAN PLAT BAJA KARBON RENDAH PADA PROSES TARIK DALAM

Sudjito

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. H. Sudarto, SH., Tembalang, Kotak Pos 6199, Semarang 50329  
Telp. 7473417, 7499585, 7499586 (Hunting), Fax. 7472396

## Abstrak

*Proses pembentukan plat baja karbon rendah (sheet metal forming) dapat menempati kedudukan yang sangat penting pada seluruh rangkaian produksi. Yang termasuk dalam proses pembentukan plat baja karbon rendah adalah untuk membentuk badan mobil, rangka mobil dan bagian mobil yang lainnya, pada proses pembentukan plat baja karbon diperlukan bahan yang cukup baik sifat mampu bentuknya. Tujuan dari proses pembentukan lembaran plat baja karbon rendah yang paling utama adalah mengubah bentuk benda kerja menjadi bentuk lain yang dikehendaki tanpa terjadi keriput atau pecah. Pada pengujian peregangan dengan pemakaian pelumas dapat menambah kedalaman hasil produk, dan secara umum distribusi regangan dengan kondisi pelumas polietilen lebih tinggi dari pada kondisi kering. Pada plat lembaran baja karbon rendah mempunyai nilai koefisien pengerasan regangan yang tinggi bila dibandingkan dengan plat yang lain, ini berarti juga mengalami regangan yang besar sebelum terjadi robek.*

**Kata kunci :** “Proses tarik dalam”, “Proses peregangan”, “Limiting Drawing Ratio”.

## 1. Pendahuluan

Pada industri kendaraan bermotor, proses pembentukan plat baja (*sheet metal forming*) dapat menempati kedudukan yang sangat penting dalam seluruh rangkaian produksinya. Yang termasuk dalam proses pembentukan lembaran plat baja karbon rendah antara lain adalah pembentukan badan mobil, kerangka mobil dan beberapa bagian dari mobil yang lain. Disamping hal tersebut diatas masih banyak lagi produk lain yang pembuatannya dengan proses *sheet metal forming* seperti, pembuatan kaleng makanan, pembuatan tabung . Proses tersebut memerlukan bahan yang cukup baik mampu bentuknya, dan bervariasi untuk setiap bahan serta dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor.

Pengertian mampu bentuk dari bahan adalah kemampuan yang dimiliki oleh bahan untuk dibentuk dan dideformasi plastis tanpa terjadinya retak atau penipisan setempat yang berlebihan. Dari pengertian diatas dapat dikatakan bahwa ukuran mampu bentuk bahan adalah besarnya perubahan bentuk yang akan dicapai. Deformasi yang diberikan pada proses pembentukan lembaran plat baja karbon rendah biasanya cukup kompleks, dalam arti

cara deformasi maupun besar deformasinya tidak sama dari titik ketitik yang lain pada benda kerja.

Secara makro deformasi plastis dapat dilihat sebagai perubahan bentuk dan ukuran, sedangkan secara mikro deformasi plastis disebabkan oleh bergesernya atom-atom dari tempat semula. Pada deformasi plastis dengan adanya tegangan, maka akan menggeser kedudukan atom-atom tersebut dan tidak akan kembali ketempatnya semula, secara mikroskopis hal ini berarti pula bahwa perubahan bentuknya secara permanen. Dalam proses pembentukan plat baja karbon rendah seperti telah dikemukakan diatas bahwa perubahan bentuk benda kerja dilakukan dengan deformasi plastis, untuk itu diperlukan gaya pembentukan yang akan mengubah bentuk benda kerja secara permanen.

Dalam pembentukan lembaran plat baja karbon rendah ini diperlukan suatu perkakas yang fungsinya memberikan gaya terhadap benda kerja dan mengarahkan perubahan bentuknya. Tujuan dari proses pembentukan lembaran plat baja karbon rendah ini adalah mengubah bentuk benda kerja menjadi bentuk lain yang dikehendaki.

Proses tarik dalam (*deep drawing*) adalah proses pengerjaan bahan yang digunakan untuk membentuk lembaran plat menjadi benda kerja berbentuk mangkuk (*cup*), salah satu contoh hasil *deep drawing* adalah selongsong peluru, panci dll. Lembaran plat dengan ukuran tertentu (*blank*) yang dipegang oleh *blank holder* ditekan oleh *punch* dengan gaya tekan  $P_z$ , tekanan dari *blank holder* ( $P_b$ ) tidak boleh terlalu rendah karena akan menimbulkan pengkerutan pada pinggir lembaran plat (*wrinkle*), hal ini disebabkan karena aliran bahan terlalu banyak masuk sedangkan pinggirannya tidak cukup ditahan. Sedangkan bila  $P_b$  terlalu tinggi, maka akan menyebabkan robek di daerah *punch profil*. Ada dua daerah yang penting pada lembaran plat selama proses tarik dalam berlangsung yaitu, *flange* dan dinding mangkuk. Pada daerah *flange* adalah yang berdeformasi paling besar dan dinding mangkuk adalah daerah yang harus mendukung gaya yang dapat menyebabkan deformasi pada *flange*. Jika diameter bakalan terlalu besar, maka gaya yang harus dipindahkan oleh dinding akan berlebihan maka hal inilah yang menyebabkan dinding robek.

Kemampuan lembaran plat dari uji tarik dalam dapat dinyatakan dalam *Limiting Drawung Ratio* (LDR) yang merupakan perbandingan antara diameter bakalan maksimum yang dapat dibentuk menjadi sebuah mangkuk yang baik dengan diameter penekan.

$$LDR = \frac{D}{d} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

$D$  = Diameter benda kerja yang masih dapat ditekan menjadi cup yang baik,

$d$  = Diameter alat tekan (*punch*).

Dengan peningkatan nilai koefisien anisotropi ( $R$ ), maka akan meningkatkan LDR ini dapat dinyatakan secara empiris dengan persamaan berikut.

$$\ln LDR = \eta \ln \beta \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

$\beta$  = Kemampuan alir bahan,

$$\beta = n \left( \frac{R + 1}{2} \right)$$

$n$  = Koefisien pengerasan regangan,

$R$  = Koefisien anisotropi normal,

$\eta$  = Efisiensi kondisi proses yang menyangkut tekanan bakalan.

Robek pada mangkuk yang dihasilkan dapat terjadi akibat tekanan penjepit yang diberikan terlalu besar (melebihi batas maksimum).

Tekanan penjepit yang terlalu besar akan meningkatkan efek pengeraman plat diantara cetakan dan penjepit, sehingga mengalirnya lobang cetakan menjadi tertahan yang akan mengakibatkan robeknya mangkuk yang dihasilkan.

Dimana besarnya tekanan penjepit bakalan ( $P_b$ ) ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini.

$$P_b = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot P \dots\dots\dots (3)$$

$$P = 0,25 (\beta_o - 1) + \frac{0,5 d}{100 \cdot S} \cdot \sigma_b$$

dimana :

$\beta_o$  = Perbandingan diameter benda kerja dan diameter penekan,

$\sigma_b$  = Kekuatan tarik bahan,

$d$  = Diameter alat tekan,

$S$  = Tebal plat lembaran.

Besarnya tekanan penjepit yang diperoleh melalui perhitungan diatas merupakan harga terendah yang harus diberikan agar tidak terjadi kerutan pada mangkuk yang dihasilkan. Efek kuping (*earing*) yang terjadi pada produk tarik dalam tidak dikehendaki karena memerlukan proses tambahan untuk memperbaiki dan menyebabkan timbulnya variasi penipisan pada dinding mangkuk.

Proses *stretching* adalah perubahan bentuk yang terjadi akibat pertambahan panjang berbagai arah, dari bagian plat yang tidak berada dibawah penjepit karena adanya gaya dorong alat penekan. Dalam pengujian *stretching*, sistem tegangan yang terjadi disetiap titik akan berbeda, daerah sekitar puncak mengalami tegangan tarik biaksial

sedang pada bagian tepi mengalami tegangan bidang. Akibatnya regangan pada arah tebal yang terjadi disekitar puncak lebih besar dibanding pada daerah lain. Kemampuan lembaran plat baja karbon rendah untuk meregang dipengaruhi oleh nilai koefisien pengerasan regangan ( $n$ ). Makin besar nilai  $n$  plat makin mudah mengalami pengerasan regangan, dengan demikian tegangan akan diteruskan kebagian lain. Hal ini berlangsung terus hingga gradient tegangan rendah, maka regangan yang terjadi disepanjang plat lebih merata bila nilai  $n$  besar. Pada proses peregangannya gaya gesek selalu timbul karena adanya kontak antara benda kerja dengan penekan selama berlangsungnya proses tersebut, gaya gesek ini akan menjadi rintangan bagi penekan untuk meregang. Dengan pemberian pelumas pada permukaan kontak akan mengurangi gesekan yang terjadi sehingga dapat menghambat timbulnya konsentrasi tegangan.

Suatu teknik yang sangat berguna untuk mengendalikan kegagalan pada pembentukan lembaran plat baja karbon rendah adalah Diagram Batas Pembentukan (*Forming Limit Diagram*). Pada permukaan lembaran plat diberi kisi lingkaran dengan cara elektrokimia, bila lembaran mengalami deformasi maka lingkaran akan berubah menjadi elip. Sumbu panjang dan sumbu pendek elip menyatakan dua buah regangan utama, regangan dalam dua arah ini diukur sebagai perubahan sumbu panjang dan sumbu pendek. Regangan ini pada setiap titik permukaan kemudian dibandingkan dengan diagram *Keeler Goodwin* untuk bahan tersebut. Keadaan regangan diatas kurva menyatakan kegagalan sedangkan regangan yang dibawahnya menyatakan keberhasilan.

## 2. Metode penelitian

Pengujian tarik untuk mendapatkan nilai koefisien anisotropi normal ( $R$ ), lembaran plat baja, yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat baja karbon rendah dengan ketebalan 0,80 mm. Plat lembaran dibuat

benda uji tarik yang dimensi dan bentuknya menurut standart ASTM E 517 – 74 , untuk mendapatkan nilai  $R$  dalam hal ini benda uji ditarik sampai mengalami deformasi 20 %. Pada lebar benda uji diberi tanda 8 titik dan diukur sebelum dan sesudah deformasi, penarikan ini dilakukan pada ketiga sudut orientasi arah pengerolan yaitu pada sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $90^\circ$  sehingga dapat diperoleh nilai  $R$ . Pada pengujian *deep drawing* dilakukan dengan *Universal Set Testing Machine* dengan penahanan penekan beralas datar berdiameter 10 mm dengan cetakan berdiameter 43 mm. Tekanan penjepit (*blank holder pressure*) diambil 1200 kg, sedangkan kecepatan penekanan 5 mm/min, pengujian ini dilakukan pada beberapa bakalan (*blank*) berbentuk bulat dengan diameter berbeda-beda dengan tujuan untuk mendapatkan nilai LDR (*Limit Drawing Ratio*).

Pengujian untuk diagram batas pembentukan dilakukan menurut cara yang dilakukan oleh *Hecker*, yaitu dengan cara penekanan setengah bulat, sedangkan pengaturan mesin dilakukan secara otomatis. Tekanan *blank holder* yang digunakan adalah 4 ton dengan kecepatan penekanan 5 mm/min, sampel yang digunakan lebarnya mulai dari 20 mm sampai 100 mm dengan kenaikan setiap 10 mm. Pada sampel tersebut telah diberi grid-grid berupa lingkaran dengan diameter 2,5 mm. Pengujian meliputi proses penarikan rentang terhadap benda uji sampai mengalami penciutan (*necking*), kemudian diukur besarnya regangan yang terjadi dengan mengukur sumbu elip yang terbentuk akibat deformasi terhadap grid. Kriteria penciutan yang digunakan didasarkan pada pengukuran terhadap elip yang letaknya paling dekat dengan elip yang terpotong oleh penciutan, dan besarnya regangan mayor ( $e_1$ ) dan regangan minor ( $e_2$ ) yang diperoleh kemudian digambarkan sebagai diagram batas pembentukan.

### 3. Hasil dan pembahasan

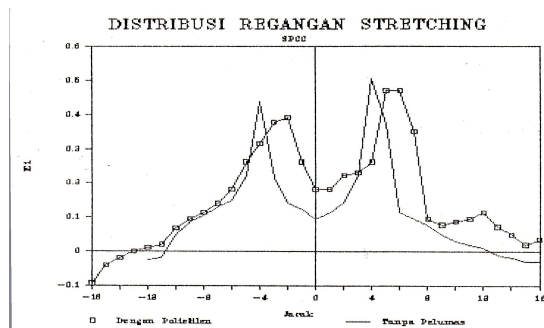
Setelah pelaksanaan pengujian selesai dari beberapa sample uji, maka hasilnya dapat disajikan dalam bentuk tabel dan grafik seperti diperlihatkan berikut ini :

**Tabel 1.1. Hasil pengujian peregang**

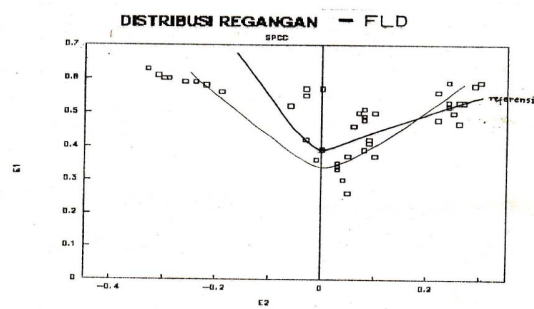
| Kondisi: Pelumas Polietilen<br>Ukuran : 10 x 10 cm |                |                | Kondisi : Tanpa pelumas<br>Ukuran : 10 x 10 cm |                |                |
|--|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
| Jarak  | e <sub>1</sub> | E <sub>1</sub> | Jarak  | e <sub>1</sub> | E <sub>1</sub> |
| 6  | 60             | 0,47           | 6  | 12             | 0,11           |
| 5  | 60             | 0,47           | 5  | 45             | 0,37           |
| 4  | 30             | 0,26           | 4  | 66             | 0,51           |
| 3  | 26             | 0,23           | 3  | 25             | 0,22           |
| 2  | 25             | 0,22           | 2  | 15             | 0,14           |
| 1  | 20             | 0,18           | 1  | 12             | 0,11           |
| 0  | 20             | 0,18           | 0  | 10             | 0,10           |
| -1   | 30             | 0,26           | -1   | 13             | 0,12           |
| -2   | 48             | 0,39           | =2   | 15             | 0,14           |
| -3   | 46             | 0,38           | -3   | 24             | 0,22           |
| -4   | 37             | 0,31           | -4   | 55             | 0,44           |
| -5   | 30             | 0,26           | -5   | 25             | 0,22           |
| -6   | 20             | 0,18           | -6   | 16             | 0,15           |

**Tabel 1.2. Hasil pengujian FLD**

|                   | e <sub>1</sub><br>% | E <sub>1</sub> | e <sub>2</sub><br>% | E <sub>2</sub> |
|-------------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Kondisi : PE      | 80,00               | 0,59           | 35,00               | 0,30           |
| Ukuran : 10x10 cm | 78,00               | 0,58           | 33,00               | 0,29           |
| Pb : 4 ton        | 68,00               | 0,52           | 27,00               | 0,24           |
| Pz : 2,3 ton      | 70,00               | 0,53           | 30,00               | 0,26           |
| Hmax : 25,25 mm   | 65,00               | 0,50           | 29,00               | 0,25           |
|                   | 60,00               | 0,47           | 30,00               | 0,26           |
|                   | 75,00               | 0,56           | 25,00               | 0,22           |
|                   | 62,00               | 0,48           | 25,00               | 0,22           |
| Kondisi : Kering  | 45,00               | 0,37           | 5,50                | 0,05           |
| Ukuran : 10x10 cm | 40,00               | 0,34           | 3,00                | 0,03           |
| Pb : 4 ton        | 30,00               | 0,26           | 5,00                | 0,05           |
| Pz : 1,85 ton     | 35,00               | 0,30           | 4,00                | 0,04           |
| Hmax : 19,22 mm   | 38,00               | 0,33           | 3,00                | 0,03           |
|                   | 41,00               | 0,33           | 3,50                | 0,03           |
|                   | 47,00               | 0,39           | 8,00                | 0,08           |
|                   | 52,00               | 0,42           | 9,00                | 0,09           |



**Gambar 1. Grafik ditribusi regangan stretching**



**Gambar 2. Distribusi regangan FLD**

Pada pengujian *deep drawing* pemakaian pelumas dapat menaikkan harga LDR (*Limiting Drawing Ratio*) bila dibandingkan dengan pengujian tanpa pelumas (kondisi kering) . Dengan pemakaian pelumas, maka energi yang dipergunakan untuk mengatasi gesekan akan berkurang, dan energi lebih banyak digunakan untuk mendeformasi lembaran plat . Dengan demikian maka diameter bakalan maksimum yang terjadi tanpa robek semakin besar. Nilai LDR yang didapat dari pengujian dengan nilai LDR dari perhitungan tidak berbeda terlalu jauh, hal ini tidak lepas dari nilai R yang didapat dari pengujian lembaran plat sebelumnya. Terjadinya *wrinkle* (keriput) pada hasil proses *deep drawing* disebabkan karena besarnya Pb (tekanan penekan) yang terlalu rendah, dimana plat terlalu banyak masuk sedangkan pinggir bakalan tidak cukup ditahan oleh penjepit dan penekan belum banyak turun. Kegagalan pada proses *deep drawing* umumnya terjadi pada daerah badan penekan, robek pada daerah tersebut disebabkan karena Pb yang terlalu besar dan terjadi jumlah tegangan terbesar dan penipisan maksimum. Pada pengujian peregang (*stretching*) pemakaian pelumas dapat menambah kedalaman hasil produk, hal ini disebabkan karena energi yang digunakan untuk mengatasi gesekan berkurang dengan pemakaian pelumas dan energi untuk mendeformasi plat lebih banyak dari pada pengujian dengan kondisi kering. Secara umum distribusi regangan dengan kondisi pelumas polietilen lebih tinggi dari pada kondisi kering. Dari grafik yang telah

dibuat dapat disimpulkan bahwa robek pada hasil *streaching* terjadi pada daerah tepi kepala mangkuk, dimana regangan pada daerah tersebut paling besar (terjadi penipisan maksimum). Dari pengujian *Forming Limit Diagram* (FLD) didapat distribusi regangan yang diukur dari bagian lembaran plat yang mengalami robek, Robek ini pada pengujian FLD sama dengan robek pada pengujian *streaching* karena proses yang dilakukan pada kedua pengujian sama. Robek pada pengujian FLD terjadi pada tepi kepala mangkuk dan regangan diukur pada daerah yang mengalami robek.

Bila dilihat pada grafik FLD dari referensi, maka daerah yang mengalami robek tidak hanya berada diatas grafik FLD lembaran plat, hal ini disebabkan antara lain karena beban yang dipakai pada pengujian tersebut komposisinya berbeda dengan pada referensi. Pada lembaran plat baja karbon rendah yang mempunyai nilai  $n$  tinggi, akan mengalami peregangan yang terbesar, hal ini dapat dilihat pada pengolahan data bahwa lembaran plat baja karbon rendah mengalami regangan yang besar sebelum terjadi robek.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada lembaran plat baja karbon rendah, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Bahwa terjadinya wrinkle pada hasil deep drawing disebabkan karena tekanan penjepit yang terlalu rendah sehingga plat lembaran terlalu banyak mengalir.
- b. Nilai LDR dapat diperbesar dengan pemakaian pelumasan.
- c. Earing yang terjadi pada hasil deep drawing disebabkan karena nilai  $R$  ( koefisien anisotropi normal ) pada setiap arah pengerolan berbeda banyak, sehingga  $R$  yang didapat menjadi besar.
- d. Terjadinya earing akan mengakibatkan kerugian plat dan cacat bertambah untuk pemotongan.

- e. Robek pada hasil deep drawing terjadi pada daerah badan penekan, karena disebabkan oleh  $P_b$  yang terlalu besar.
- f. Pemakaian pelumas pada proses *streaching* akan menambah kedalaman hasil proses, karena gaya untuk melawan gesekan dapat diperkecil.
- g. Dari grafik FLD dapat dilihat bahwa mampu bentuk lembaran plat, daerah diatas diagram menunjukkan kegagalan dan daerah dibawah diagram menunjukkan keberhasilan yang baik.
- h. Ketidakesesuaian dari distribusi regangan pada pengujian dengan FLD referensi disebabkan karena perbedaan komposisi bahan pengujian, selain itu bisa juga disebabkan oleh ketidaktepatan pengukuran elip dan penempatan benda uji yang tidak tepat pada alat uji.

#### 5. Daftar Pustaka

- *Annual Book of ASTM Standard*, 1975, Designation, E 517-74, part 10,.
- Backopen.W.A. 1973.*Deformation Processing*, Addison Wesley Publishing Company,
- Dieter.G.E, 1986. *Mechanical Metallurgy*, Third Edition, Mc Graw Hill Book Company, Singapore,
- Hosford.W.H and R.M. Caddell, 1983. *Metal Forming Mechanics and Metallurgy*, Prentice Hall, Inc, London,
- Harris.J,N, 1983. *Mechanical Working of Metals*, Qxford Pergamon Press,
- Kurt Lange, 1985. *Hand book of Metal Forming*, Mc Graw Hill, New York,
- Liu .Y.C, 1981A *New Method in The Determination of Forming Limit Diagram*, Sheet Metal Industries, April,.
- Richard. A..K, 1981. *Forming and Drawing of Sheet Steel*, Sheet Metal Industries, Oktober,
- Siswosuwarno.M, 1981. *Teknik Pembentukan Logam*, Jilid I Jurusan Mesin Institut Teknologi Bandung

