

# NILAI KOEFISIEN Pengerasan Regangan dan Anisotropi Normal Tembaga

Eko Boedisoesetyo<sup>1)</sup>

## Abstrak

Pada umumnya logam bersifat anisotropy dan untuk mengetahui sifat mekanik yang merata maka pada sample uji tembaga dilakukan pengujian pada berbagai arah yaitu :  $0^\circ$  ,  $45^\circ$  ,  $90^\circ$  , terhadap arah pengerolan. Sampel uji dibentuk berdasarkan Standard JIS No. 5 dimensi maupun bentuknya. Dari hasil pengujian tarik akan didapat besaran untuk membuat kurva tegangan – regangan sebenarnya dan didapatkan harga koefisien pengerasan regangan ( $n$ ). Sedangkan dari pengukuran tebal dan lebar dari sample sebelum dan sesudah ditarik akan didapatkan harga koefisien anisotropy normal ( $R$ ).

**Kata kunci:** “Koefisien Pengerasan Regangan”, “Koefisien Anisotropi Normal”

## 1. PENDAHULUAN

Pada suatu proses pembentukan logam nilai koefisien pengerasan regangan ( $n$ ) dan koefisien anisotropi normal ( $R$ ) sangat penting, hal ini untuk mendapatkan gambaran mengenai mampu bentuk suatu bahan berdasarkan nilai  $n$  dan  $R$  yang diperoleh.

Proses regangan suatu bahan adalah proses pembentukan yang memerlukan gaya tarik sebagai gaya utama, untuk mendeformasi benda uji dan seluruh benda uji yang dideformasi akan mengalami regangan tarik.

Proses regang yang berlebihan akan mengakibatkan material mengalami penipisan setempat (*necking*). Pada berbagai material bila terjadi penipisan setempat dapat ditunda atau diperlambat oleh sifat pengerasan regangan dari material tersebut.

Hubungan antara parameter diatas secara tematik dapat dijelaskan dengan menggunakan rumus pendekatan dan memasukkan kondisi batas pada saat sebelum terjadi *necking*. Arti fisis bila material yang mempunyai koefisien pengerasan regangan besar akan dapat menerima regangan maksimum tanpa terjadi penipisan setempat. Pengaruh harga koefisien anisotropi normal ( $R$ ) pada proses tarik dalam dapat dijelaskan dengan yield locus diagram yang manadiagram tersebut menunjukkan kriteria luluh untuk keadaan tegangan bidang. Keadaan tegangan akan terjadi pada dinding dan flens, tingkat keadaan tegangan dari dinding berada pada kwadran I dan keadaan tegangan dari flens terjadi pada kwadran IV. Dari yield locus diagram akan dapat dilihat bahwa kekuatan pada flens akan berkurang dengan naiknya harga  $R$ . Karena terlihat pada kwadran IV bentuk elip cenderung mengecil, sehingga flens tidak dengan benar. Sebaliknya kekuatan pada dinding akan naik dengan bertambahnya nilai  $R$ , ini menunjukkan bahwa material dengan nilai  $R$  yang besar akan memberikan kekuatan pada dinding yang relatif lebih tinggi dari kekuatan flens, sehingga dinding tabung akan lebih tahan terhadap penipisan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui cara mencari nilai koefisien pengerasan regangan ( $n$ ) dan koefisien anisotropy planar ( $\Delta R$ ).
- Untuk mendapatkan gambaran mengenai mampu bentuk bahan berdasarkan nilai  $n$  dan  $R$  yang diperoleh.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1. Koefisien Pengerasan Regangan ( $n$ )

Pengerasan regangan (*strain hardening*) adalah gejala meningkatnya kekuatan dan kekerasan logam akibat regangan atau pengerjaan dingin yang dialaminya. Selama regangan berlangsung, selain terjadi pergerakan dislokasi juga terjadi peningkatan jumlah dislokasi. Bila suatu logam berdeformasi secara plastis, maka tegangan geser yang diperlukan untuk menghasilkan slip akan bertambah besar sejalan dengan bertambahnya regangan geser.

Bertambahnya regangan geser yang diperlukan untuk menghasilkan slip yang disebabkan oleh deformasi plastis terdahulu dikenal sebagai pengerasan regangan (*strain hardening*). Timbulnya pengerasan regangan disebabkan oleh dislokasi yang berorientasi satu sama lain dan dengan penghalang (*barriers*) yang menghalangi gerakannya dalam kisi kristal.

Besaran yang menunjukkan kemampuan logam untuk bertambah keras akibat regangan yang diterima saat pengerjaan dingin adalah koefisien pengerasan regangan ( $n$ ). Nilai  $n$  ini akan berpengaruh pada proses stretching karena pada proses ini deformasi yang ditimbulkan hanya akibat regangan saja.

Kurva aliran dari sebagian besar logam pada daerah deformasi plastis dapat dinyatakan dengan persamaan Ludwig yaitu :

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n \quad (1)$$

dimana :

$n$  = koefisien pengerasan regangan

$K$  = koefisien kekuatan

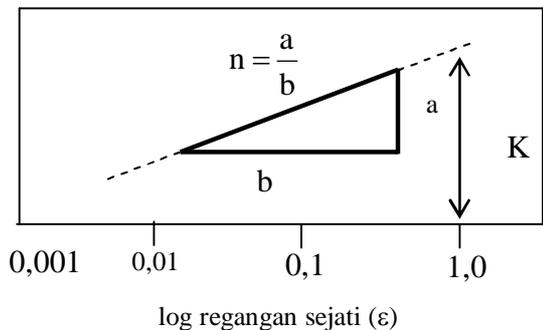
$\sigma$  = besarnya tegangan yang terjadi

$\epsilon$  = besarnya regangan yang terjadi

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin POLINES

Jika kurva tegangan-regangan yang sesungguhnya digambarkan secara logaritmik sampai harga maksimum maka akan didapatkan bagian kurva yang linier

$$\text{Log } \sigma = \text{log } K + n \text{ log } \epsilon$$



Gambar 1. Tegangan - regangan sebenarnya

Kemiringan linier garis hasil pemetakan dari harga n dan K adalah tegangan sejati pada  $\epsilon = 1$ . Jika harga n = 0 berarti material bersifat plastis ideal dan jika n = 1 berarti material bersifat elastis ideal.

Pengukuran harga n dilakukan pada material dengan arah  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$  dari arah pengerolan bahan tersebut. Faktor yang mempengaruhi harga n adalah jenis logam, perlakuan panas logam dan perubahan bentuk yang dialami bahan sebelumnya, konsentrasi substitusional, besar butir dan fraksi volume.

## 2.2 Koefisien Anisotropi

Anisotropi adalah sifat material yang sama ke segala arah atau ketidak seragaman kristal pada material tersebut. Ada dua macam anisotropy pada pelat yaitu :

- Anisotropi planar, adalah perbedaan sifat mekanik dari material pada berbagai arah pelat.
- Anisotropi normal, adalah perbedaan sifat mekanik antara bidang pelat dengan tebal pelat.

Besarnya harga anisotropy planar dapat diketahui dari uji tarik pada berbagai arah dalam bidang lembaran pelat. Sedangkan besarnya anisotropy normal dapat dihitung dari data uji tarik, yang dinyatakan perbandingan regangan plastik pada arah lebar yang terjadi setelah uji tarik.

$$R = \frac{\epsilon \cdot w}{\epsilon \cdot t} = \frac{\ln(W_o/W_i)}{\ln(t_o/t_i)} \quad (2)$$

dimana :

$W_o$  dan  $t_o$  = lebar dan tebal mula-mula

$W_i$  dan  $t_i$  = lebar dan tebal setelah penarikan

Bila harga  $R = 1$ , maka deformasi pada arah lebar sama dengan deformasi pada arah tebalnya yang berarti logam bersifat anisotropi. Sedangkan bila  $R < 1$ ,

berarti kekuatan logam pada arah tebal lebih besar dan material tersebut mempunyai ketahanan yang tidak baik terhadap penipisan.

Dengan adanya sifat yang berbeda-beda pada arah pengerolan, maka harga anisotropi normal dinyatakan sebagai perbandingan regangan plastik rata-rata yaitu :

$$R = \frac{(R \cdot 0 + 2 \cdot R \cdot 45 + R \cdot 90)}{4} \quad (3)$$

dimana :

R 0, R 45 dan R 90 menyatakan derajat anisotropi normal yang diukur pada sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  terhadap arah pengerolan.

Perbedaan harga anisotropi normal diukur pada setiap sudut orientasi dan menyatakan besarnya derajat anisotropi planar yang dinyatakan dengan persamaan :

$$\Delta R = \frac{(R_0 - 2 \cdot R_{45} + R_{90})}{4}$$

Harga anisotropi planar ( $\Delta R$ ) akan mempengaruhi hasil pembentukan, bila  $\Delta R$  ini besar maka akan menyebabkan terjadinya kuping (*earing*) pada saat lembaran pelat di *deep drawing*.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Menentukan Harga n

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian dari berbagai sample untuk mendapatkan harga R dan n, dengan melakukan uji tarik dari setiap sudut orientasi yaitu  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  dari arah pengerolan.

Untuk menentukan sudut orientasi maka perlu melakukan uji metallografi agar dapat diketahui arah pengerolan dari material tersebut. Bila sudah dapat diketahui arahnya maka yang searah dengan sudut orientasi  $0^\circ$ , sehingga untuk sudut orientasi  $45^\circ$  dan  $90^\circ$  dapat diketahui.

Lembaran pelat dipotong untuk dibuat benda uji yang bentuk dan dimensinya menurut standard JIS No.5 pada arah pengerolan tersebut diatas dan sesudah itu tebal maupun lebarnya diukur. Setelah itu dilakukan uji tarik, penambahan beban dicatat setiap pertambahan panjang 1 mm, penarikan dilakukan sampai benda uji putus. Dan setelah putus maka panjang akhir benda uji diukur, dari data-data tersebut lalu dibuat gambar kurva stress-strain untuk mendapatkan nilai (n).

### 3.2 Menentukan harga (R)

Lembaran pelat dipotong untuk dibuat benda uji sesuai dengan arah pengerolan yang diinginkan. Setelah itu mengukur tebal dan lebar pada lima titik pengujian dengan jarak antara titik satu dengan yang lain adalah 10 mm. Sampel tersebut kemudian diuji tarik hingga mengalami deformasi 15 % untuk bahan tembaga, dan setelah terdeformasi lalu diukur kembali

tebal dan lebarnya dari kelima titik tersebut. Dari perhitungan maka akan didapat nilai koefisien anisotropi normal (R).

Tabel 1 : Hasil pengujian nilai R dari bahan tembaga

Sudut	To (mm)	Ti (mm)	Wo (mm)	Wi (mm)	Ln (Wo/Wi)	Ln (Wo/Wi)	R
0°	0,55	0,53	20,05	19,30	0,0381	0,0370	1,0292
	0,56	0,54	20,05	19,20	0,0433	0,0363	1,1911
	0,56	0,53	20,00	19,25	0,0382	0,0551	0,6842
	0,56	0,53	20,10	19,30	0,0406	0,0551	0,7376
	0,55	0,53	20,05	19,25	0,0407	0,0370	1,0992
R = 0,9501							

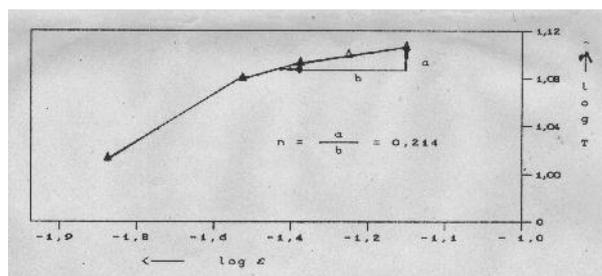
Sudut	To (mm)	Ti (mm)	Wo (mm)	Wi (mm)	Ln (Wo/Wi)	Ln (Wo/Wi)	R
45°	0,56	0,53	20,15	19,75	0,0200	0,0551	0,3641
	0,57	0,52	20,10	19,70	0,0201	0,0918	0,2189
	0,55	0,52	20,15	19,70	0,0226	0,0561	0,4026
	0,56	0,52	20,15	19,75	0,0200	0,0741	0,2706
	0,56	0,52	20,15	19,75	0,0200	0,0742	0,2706
R = 0,3054							

Sudut	To (mm)	Ti (mm)	Wo (mm)	Wi (mm)	Ln (Wo/Wi)	Ln (Wo/Wi)	R
90°	0,57	0,54	20,45	19,70	0,0373	0,0541	0,6911
	0,58	0,56	20,40	19,65	0,0374	0,0351	1,0674
	0,59	0,56	20,40	19,60	0,0400	0,0522	0,7666
	0,58	0,56	20,40	19,60	0,0400	0,0351	1,1400
	0,58	0,55	20,40	19,60	0,0400	0,0531	0,7533

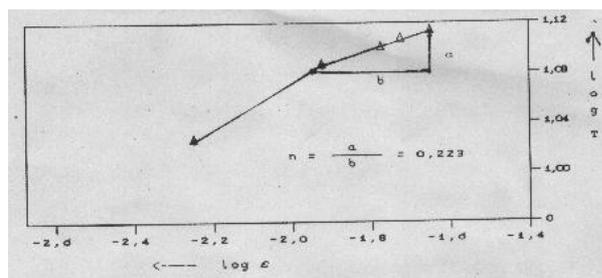
**Keterangan :**

Koefisien anisotropi normal (R) = 0,6111

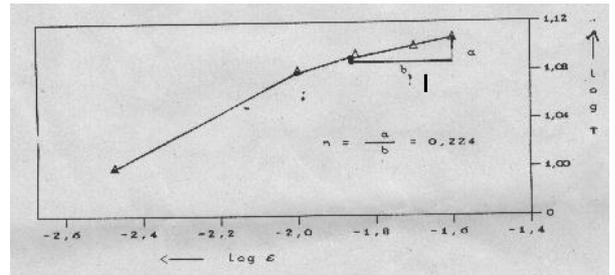
Koefisien anisotropi planar (ΔR) =



Gambar 2. Grafik log T vs log ε tembaga arah rol 0°



Gambar 3. Grafik log T vs log ε tembaga arah rol 45°



Gambar. 4 Grafik log T vs log ε tembaga arah rol 90°

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah pelaksanaan pengujian selesai dari beberapa sampel uji dari berbagai sudut orientasi, maka hasilnya dapat disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Untuk nilai R disajikan dalam tabel 1. dan untuk nilai n dalam grafik 2, 3 dan 4.

Dari hasil pengujian tarik yang dilakukan maka didapatkan nilai  $R_0 = 0,9503$ ,  $R_{45} = 0,3054$  dan  $R_{90} = 0,8837$  dan dari ketiga sudut orientasi tersebut nilai R yang paling besar adalah pada sudut orientasi  $90^\circ$ . Untuk nilai R yang besar ini berarti bahan mempunyai ketahanan terhadap penipisan. Bila perbedaan nilai R pada berbagai arah terlalu besar pada proses deep drawing, maka  $\Delta R$  yang besar akan semakin besar pula.

Dengan adanya  $\Delta R$  yang besar ini akan menyebabkan timbulnya efek kuping (*earing*) pada hasil deep drawing.

Timbulnya *earing* tidak dikehendaki karena memerlukan proses tambahan untuk memperbaiki produk dan menyebabkan timbulnya variasi penipisan pada dinding cup (produk mangkok). Akibat lain yang timbul dari perbedaan nilai R adalah menurunnya kemampuan deep drawability bahan, karena pada arah dengan nilai R yang kecil akan menjadikan titik lemah yang cenderung robek terlebih dahulu. Sedang pada arah lain masih mampu untuk di drawing.

Nilai koefisien pengerasan regangan adalah besaran yang menunjukkan besarnya peningkatan kekuatan dan kekerasan akibat deformasi plastis terdahulu dan pada proses selanjutnya diperlukan tegangan yang lebih besar. Nilai n akan berpengaruh pada proses stretching, karena pada proses ini deformasi yang ditimbulkan hanya akibat regangan saja dan tidak terjadi aliran bahan.

Selain itu nilai n juga menunjukkan kemampuan bahan untuk mendistribusikan regangan secara merata selama deformasi, ini diaplikasikan pada proses stretching yang memerlukan nilai n yang tinggi. Pada proses deep drawing memerlukan nilai R yang tinggi agar dapat berdeformasi tanpa mengalami penipisan. Pada proses stretching yang dibutuhkan adalah nilai n yang tinggi dan nilai R yang minimum untuk mendapatkan hasil yang baik. Sedangkan nilai R terutama pada proses deep drawing, dimana bila nilai R = 1 berarti deformasi pada arah lebar sama dengan pada arah tebal, sedangkan bila  $R > 1$  berarti kekuatan logam pada arah tebal lebih besar dan material mempunyai ketahanan yang baik terhadap penipisan.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil uraian di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Besarnya nilai  $n$  dan  $R$  berbeda untuk arah yang berbeda, hal ini disebabkan oleh adanya sifat anisotropi bahan.
- b. Perbedaan nilai  $R$  pada berbagai arah yang terlalu besar akan menyebabkan terjadinya fenomena earing, hal ini ditunjukkan pada uji deep drawing
- c. Sifat mampu bentuk bahan dapat ditentukan dengan pengujian simulasi  $n$  dan  $R$ , dimana untuk proses deep drawing diperlukan nilai  $R$  yang tinggi sedangkan untuk stretching dibutuhkan nilai  $n$  yang tinggi sedangkan nilai  $R$  yang rendah.

- d. Nilai  $n$  berpengaruh pada proses stretching karena tidak ada aliran bahan sedangkan nilai  $R$  berpengaruh pada proses deep drawing.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Albert Guyan Hern, 1970, *Element of Physical Metallurgy*, Third edition, Addison Wesley Co., London.
2. Dieter, George E., 1987. *Metalurgi Mekanik*, Jilid 1 Terjemahan Sriati Djapri, Erlangga, Jakarta.
3. Haris, J.N, 1983, *Mechanical Working of Metal*, Oxford Pergamon Press.
4. Hasford, William P. and Robert M. Caddel, 1983, *Metal Forming*, Englewood Cliffe, Printice Hall, Inc.