

Analisis Rasio Batas Bentuk (RBB) Logam Lembaran

Dedi Priadi

Departemen Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas Teknik-Universitas Indonesia
Email : dedi @eng.ui.ac.id

Abstrak

Logam lembaran memiliki perilaku berbeda pada kondisi dimana rasio tegangan dan regangannya berbeda. Sementara itu kemampuan material untuk di deformasi pada kondisi regangan bidang akan lebih rendah bila dibandingkan dengan kondisi tarikan satu arah.

Tulisan ini membahas analisis Rasio Batas bentuk (RBB) atau Limiting Drawing rasio (LDR) beberapa logam lembaran : baja, baja tahan karat, kuningan dan aluminium. Simulasi eksperimental pembentukan cup drawing dan stretch forming digunakan untuk mengukur kemampuan sifat drawing dan stretching dari logam lembaran tersebut. Hasil simulasi laboratorium akan dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan memasukan parameter anisotropi R.

Nilai Rasio Batas Bentuk (RBB) logam lembaran meningkat dengan meningkatnya nilai anisotropi normal R, dan RBB teoritis memberikan hasil yang berbeda dengan hasil experimental pada R yang besar.

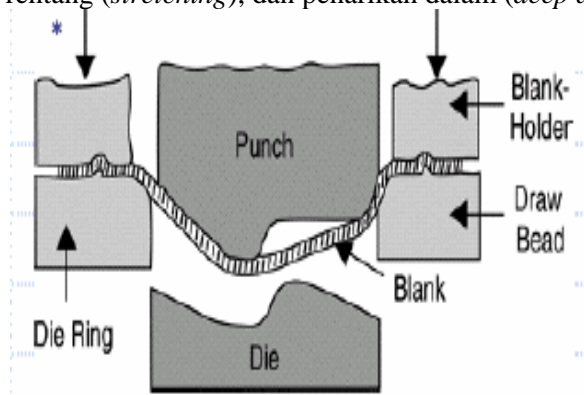
RBB teoritis $\ln(LDR) = \eta \cdot \left[\frac{2R}{R+1} \right]^{0,27}$ cukup sesuai dengan RBB hasil experimental. Nilai tinggi kubah dipengaruhi oleh nilai koefisien pengerasan regang n dan total elongasi %EL.

Kata kunci : mampu bentuk, koefisien anisotropi R, Rasio Batas Bentuk (RBB), koefisien pengerasan regang n

1. Pendahuluan

Proses pembentukan lembaran logam melibatkan banyak variabel seperti sifat material, geometri cetakan, maupun parameter proses seperti kecepatan dan pelumasan.

Pada proses stamping lembaran logam, seperti terlihat pada gambar 1, mode pembentukan yang terjadi umumnya adalah penarikan rentang (*stretching*), dan penarikan dalam (*deep drawing*).



Gambar 1. Contoh proses stamping

Selain itu lembaran logam memiliki perilaku yang berbeda bila ratio antara tegangan dan regangannya berubah. Deformasi arah bidang (*plane strain*) akan lebih rendah bila dibandingkan dengan deformasi akibat penarikan uniaksial/satu arah. Secara teoritis kriteria luluh dari Hill bisa digunakan untuk menggambarkan perilaku deformasi logam lembaran.

Kriteria luluh Hill kwadratik untuk kondisi tegangan bidang dan diasumsikan tanpa adanya anisotropi planar dapat dituliskan :

$$(1+2R)(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 + \sigma_2)^2 = 2(1+R) \sigma_0^2 \quad (1)$$

diamana :

σ_0 adalah nilai tegangan luluh

R adalah koefisien anisotropy normal

Hasil perbandingan perhitungan teori ini dengan hasil pengujian sangat baik, khususnya untuk logam yang nilai $R > 1$ seperti logam baja, akan tetapi untuk $R < 1$ seperti aluminium, kuningan, kriteria ini kurang cocok. Selanjutnya Hill membuat rumusan kriteria non kwadratik untuk kondisi yang sama dengan kriteria Hill kwadratik :

$$(1+2R) [\sigma_1 - \sigma_2]^a + [\sigma_1 + \sigma_2]^a = 2(1+R) \sigma_0^a \quad (2)$$

Rumusan ini bila "a" = 2 akan kembali seperti kriteria Hill kwadratik. Nilai "a" dapat dihitung dengan membandingkan nilai *experimental work hardening* dari penarikan uniaksial dan penarikan balanced biaxial; $1 \leq R \leq 2$, ⁽¹⁾

Nilai anisotropi normal R rata-rata beberapa aluminum lembaran seperti : 7075-0, 2024-0 dan 5005-0, berkisar 0,78, dan nilai a yang didapat sebesar 1,8 ⁽¹⁾. Nilai a ini berpengaruh sekali pada kondisi balanced biaxial tension.

Penarikan Dalam (Deep drawing)

Kriteria Hill's dapat pula digunakan untuk mempelajari secara teoritis hubungan antara Limiting Drawing Ratio dan nilai anisotropi R dengan asumsi :

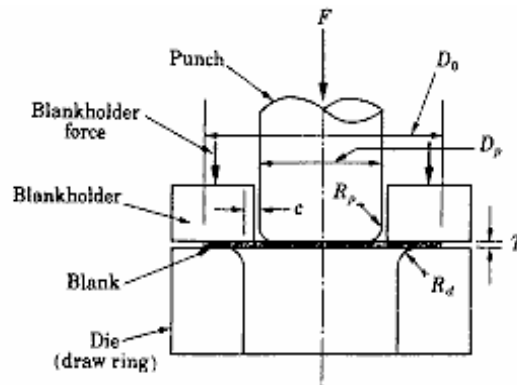
- energi yang digunakan seluruhnya untuk mendeformasi flange
- material tidak mengalami penguatan (n=0)
- kondisi aliran deformasi di flange adalah regangan bidang ($\epsilon_3=0$) dan
- sifat materialnya arah putaran simetris (isotropi planar dan anisotropi normal)

Gaya maksimum Fmax yang dibutuhkan untuk penarikan dalam pada flange ⁽²⁾,

$$F_{max} = \pi d_1 t_0 \sigma_f \ln (d_0/d_1) \quad (3)$$

Dimana

σ_f = kekuatan di flange, d_0 = diameter blank, d_1 = diameter pons, t_0 = tebal awal lembaran.



Gambar 2. Proses penarikan dalam model swift cup

Pada dinding kup, tegangan aksial akibat gaya penarikan di tulis ;

$$\sigma_w = \frac{F_{max}}{(\pi \cdot d_1 \cdot t_0)} = \sigma_f \cdot \ln \frac{d_0}{d_1} \quad (4)$$

$$\ln\left(\frac{d_0}{d_1}\right) = \ln(LDR) = \frac{\sigma_w}{\sigma_f} \quad (5)$$

Persamaan (5) dikenal juga sebagai rumusan Rasio Batas Bentuk logam lembaran (Limiting drawing Rasio-LDR)

Bila diasumsikan bahwa fraktur terjadi di sekitar sudut pons dan kondisi regangan bidang terjadi di bagian fraktur ($\epsilon_2=0$), maka kriteria Hill's kwadratik dari persamaan (1) menjadi ⁽²⁾

$$\sigma_w = \sigma_0 \frac{(1 + R)}{\sqrt{2R + 1}} \quad (6)$$

Pada flange, dimana $\epsilon_3 = 0$, kriteria Hill's kwadratik dari persamaan (1) menjadi

$$\sigma_f = \sigma_0 \left[\frac{\sqrt{(1 + R)}}{(R + 1/2)} \right] \quad (7)$$

Substitusi persamaan (6) dan (7) pada persamaan(5) didapat :

$$\ln(LDR) = \eta \sqrt{\frac{(R+1)}{2}} \quad (9)$$

Prosedur yang sama dapat dilakukan pada persamaan luluh Hill non kwadratik ⁽³⁾,

$$\ln(LDR) = (\eta/2)[(1 + 2R)^{1/(a-1)} + 1]^{(a-1)/a} \quad (10)$$

Persamaan lain yang menggambarkan hubungan antara LDR(RBB) dan nilai anisotropi R berdasarkan percobaan adalah :

$$\ln(LDR) = \eta \cdot \left[\frac{2R}{R+1} \right]^{0.27} \quad (11)$$

Dari persamaan (9), (10), (11) memperlihatkan bahwa nilai LDR(RBB) meningkat dengan naiknya nilai anisotropi R.

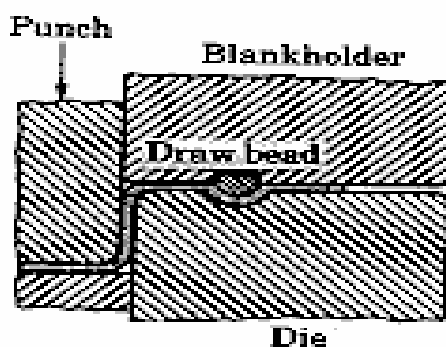
Penarikan rentang (Stretch-forming)

Berbeda dalam kasus penarikan dalam, nilai anisotropi plastik tidak berpengaruh pada proses penarikan rentang (*Stretch-forming*) bila menggunakan pons solid⁽⁴⁾.

Analisa penyusutan lokal (*local necking*) dan fracture pada proses penarikan rentang telah dipelajari oleh Marciniak dan Kuczinski pada kondisi in-plane stretching. Mereka mengasumsikan adanya ketidak homogenan (sumber retak) pada lembaran logam dan akan merambat dengan bertambahnya deformasi plastic sampai terjadinya penyusutan lokal⁽⁵⁾

Selain itu Sowerby dan Duncan memanfaatkan persamaan luluh dari Hill's kwadratik untuk menganalisa mekanisme deformasi modelnya Marciniak dan Kuczinski dan didapat bahwa batas regangan (*limit strain*) meningkat apabila nilai R menurun⁽⁵⁾

Sementara itu Parmar dan Mellor menggunakan persamaan luluh Hill's non kwadratik untuk memprediksi batas regangan dari logam yang nilai $R < 1$, hasilnya menunjukkan adanya kesesuaian yang baik antara hasil prediksi dan pengujian⁽⁵⁾.



Gambar 3. Proses penarikan rentang (*stretching*)

Parameter mampu bentuk logam lembaran

Definisi mampu bentuk logam lembaran adalah kemampuan logam lembaran untuk di stretching atau di drawing menjadi bentuk yang lebih kompleks tanpa adanya kerusakan baik itu penyusutan lokal ataupun fracture. Karakteristik yang penting terhadap mampu bentuk logam lembaran adalah a) kemampuan untuk mendistribusikan regangan local, b) ketahanan terhadap penyusutan maupun penipisan dan c) ketahanan terhadap fraktur pada regangan yang besar⁽²⁾.

Parameter bahan terhadap mampu bentuk adalah

- nilai anisotropi normal R
- nilai penguatan n
- nilai sensitivitas terhadap laju regangan m
- nilai keuletan total %EL
- perpanjangan/elongasi seragam

2. Simulasi Percobaan

Beberapa logam lembaran seperti baja SPCC, baja tahan karat SS-PH 17-7, Aluminium 7075, 2024, 5005 dan kuningan H3100-C24000. telah di lakukan karakterisasi dengan uji tarik uniaksial untuk mendapatkan sifat-sifat tarik seperti nilai kekuatan luluh, nilai kekuatan maksimum dan nilai keuletan %EL.

Nilai-nilai anisotropi normal R didapat dari uji tarik arah 0° , 45° dan 90° dari arah rolling dengan besarnya deformasi adalah 15% dari elongasi total, sedangkan nilai penguatan/pengerasan regangan n didapat dari kurva $\log \sigma$ dan $\log \epsilon$ dengan arah 0° , 45° dan 90° dari arah rolling. Pengujian tarik mengikuti standar ASTM E8-81.

Uji simulasi dengan penarikan dalam (*deep drawing*) menggunakan metoda *swift cup test* dengan pons penekan beralas datar diameter 40 dan diameter cetakannya 42mm untuk mendapatkan nilai RBB/LDR dan penarikan rentang (*stretching*) menggunakan pons beralas setengah bulat (hemispheric) dengan diameternya 45 mm dan diameter *blank* adalah 100mm untuk mendapatkan Batas Tinggi Kubah (BTH) /Limiting Dome High (LDH).

3. Hasil Pengujian

Tabel 1. Data Uji tarik uniaksial

| Logam | σ yield (Kg/mm ²) | UTS (Kg/mm ²) | EL (%) |
|-----------|---|------------------------------|------------|
| Bj SPCC | 27 | 39 | 41,9 |
| Al 7075-0 | 9 | 21 | 13 |
| Al 2024-0 | 7 | 20 | 19 |
| Al 5005-0 | 4 | 11 | 24 |
| C2600R-0 | 11 | 32 | 56 |
| Logam | n | R | ΔR |
| Bj SPCC | 0,248 | 1,7 | 1,3 |
| Al 7075-0 | 0,19 | 0,80 | 0,02 |
| Al 2024-0 | 0,20 | 0,78 | 0,06 |
| Al 5005-0 | 0,25 | 0,78 | 0,08 |
| C2600R-0 | 0,55 | 0,99 | 0,031 |

Tabel 2. Data Uji simulasi

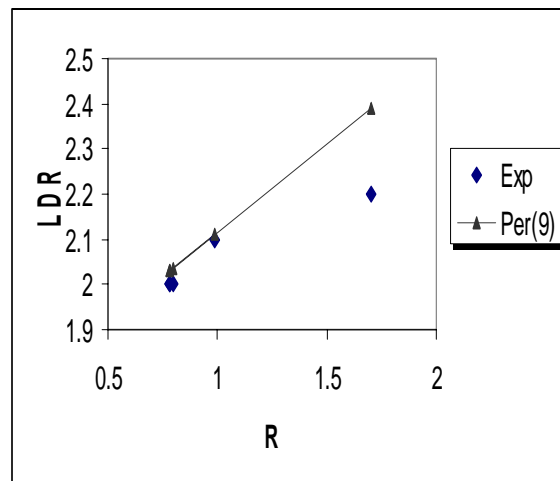
| Logam | RBB | BTH(mm) |
|-----------|-----|---------|
| Bj SPCC | 2,2 | 31 |
| Al 7075-0 | 2,0 | 14 |
| Al 2024-0 | 2,0 | 14,3 |
| Al 5005-0 | 2,0 | 17,2 |
| C2600R-0 | 2,1 | 24 |

Catatan : nilai BTH dan RBB dilakukan tanpa pelumas.

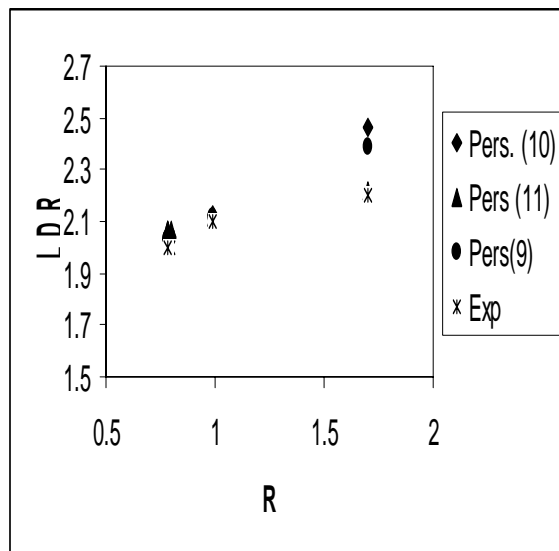
Pengaruh anisotropi normal terhadap nilai RBB

Pada tabel 1 dan 2 terlihat bahwa nilai anisotropi normal R untuk baja lebih besar dari 1 sedangkan untuk material bukan baja lebih kecil dari 1. Untuk kuningan nilai R nya sedikit lebih besar dari R Aluminium. Sementara itu RBB experimental untuk seluruh logam lembaran uji tidak jauh berbeda.

Pada gambar 4, RBB teoritis dihitung dari persamaan (9). Harga factor efisiensi deformasi η dipilih 0,75. Dari gambar 1 terlihat bahwa nilai RBB dipengaruhi oleh nilai anisotropi normal R. Nilai R experimental yang rendah memberikan hasil yang hampir mendekati sama dengan teori persamaan (9).



Gambar 4. Pengaruh nilai R terhadap LDR.

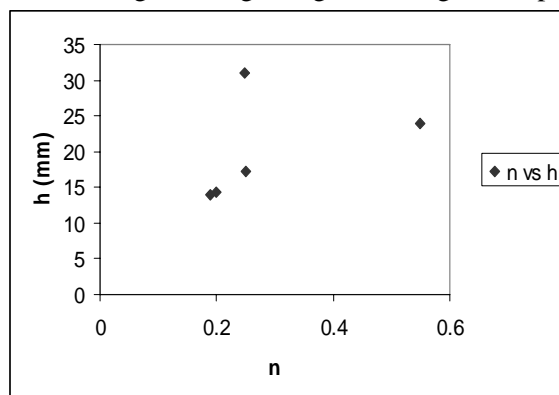


Gambar 5. Perbandingan RBB teoritis untuk persamaan (9), (10), dan (11)

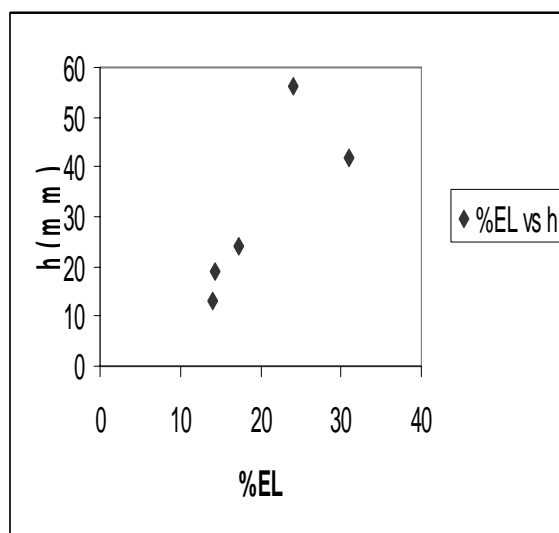
Pada gambar 5, terlihat bahwa persamaan (11) lebih sesuai dengan hasil experimental.

Pengaruh tinggi kubah terhadap nilai n

Pada gambar 6 dan 7 terlihat bahwa nilai batas tinggi kubah sangat dipengaruhi oleh nilai koefisien pengerasan regang n dan nilai elongasi %EL. Makin besar nilai tersebut maka tinggi kubah makin besar. Khusus untuk logam lembaran kuningan, nilai n cukup besar namun nilai batas tinggi kubahnya lebih rendah dari nilai tinggi kubah baja, ini berarti bahwa baja lebih tahan terhadap penyusutan (necking) atau lebih tahan terhadap penipisan dibandingkan dengan logam kuningan maupun aluminium.



Gambar 6. Pengaruh n terhadap tinggi kubah h hasil stretching.



Gambar 7. Pengaruh total elongasi %EL terhadap tinggi kubah h hasil stretching.

4. Kesimpulan

- Rasio Batas Bentuk logam lembaran meningkat dengan meningkatnya nilai anisotropi normal R .
- Rasio Batas Bentuk teoritis memberikan hasil yang berbeda dengan hasil experimental pada R yang besar.
- Rasio Batas Bentuk teoritis dari persamaan (11) cukup sesuai dengan Rasio Batas Bentuk hasil experimental
- Nilai tinggi kubah (BTH) dipengaruhi oleh nilai strain hardening n dan total elongasi %EL
- Lembaran baja memiliki Batas Tinggi Kubah yang terbaik dibandingkan Aluminium dan Kuningan.

Daftar Pustaka

1. Mellor P.B and Parmar A. : Plasticity analysis of sheet metal forming” Proc. of symposium on mechanics of sheet metal forming., D.P Koistinen and N.M Wang., Plenum Press, 1978, pp 53-73.
2. Hosford W.F. and Caddel R.M, : Metal Forming, Mechanic and Metallurgy., Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1983, pp. 247-305.
3. Eshel G., Barash M., and Johnson W. : Rule based modeling for planning axisymetrical deep drawing,; Journal of mechanical working technology, Dec. 1986.
4. Mellor P.B. : “Sheet metal Forming”, International Metal Reviews, No.1, 1981.
5. Mellor P.B. : Appropriate Constitutive Equations in Sheet Metal Forming, Proc. of the International Symposium on New Aspects on Sheet Metal Forming, Tokyo, Japan, pp. 40-41.