



Pengaruh Variasi Proses Peregangan terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja St. 37 pada Proses *Roll Bending*

Adi Ganda Putra.

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik- Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak . Proses pembentukan merupakan perubahan bentuk benda kerja yang dilakukan dengan jalan memberikan gaya supaya terjadi deformasi plastis. Besarnya gaya luar untuk pembentukan yang dapat mengubah benda kerja harus diberikan secara permanen. Proses rol tekuk (*roll bending*) merupakan salah satu proses pembentukan pelat dimana pelat material jenis St. 37 merupakan bahan yang sering digunakan karena memiliki kemampuan bentuk yang baik. Dalam proses rol tekuk (*roll bending*) dengan memberikan variasi regangan 5%, 10%, dan 15%, pada suatu material akan mengalami perubahan sifat mekanik dan struktur mikronya.

Semakin tinggi regangan yang diberikan pada proses *roll bending* terhadap pelat baja karbon rendah (Baja St. 37) akan menyebabkan peningkatan kekerasan, kekuatan, keuletan (elongasi dan reduksi penampang) dan perubahan bentuk butir dari *equiaxial* menjadi semakin pipih dalam struktur mikro yang berfasa perlit didalam matrik ferrit.

Kata kunci: *roll bending, regangan, sifat mekanik, elongasi, reduksi penampang dan equiaxial*

1 PENDAHULUAN

Proses pembentukan logam adalah proses merubah bentuk logam menjadi produk yang diinginkan. Dalam proses pembentukan inipun digunakan perkakas (tooling) yang fungsinya memberikan gaya terhadap benda kerja. Salah satu caranya untuk membentuk logam adalah proses rol tekuk (*roll bending*).

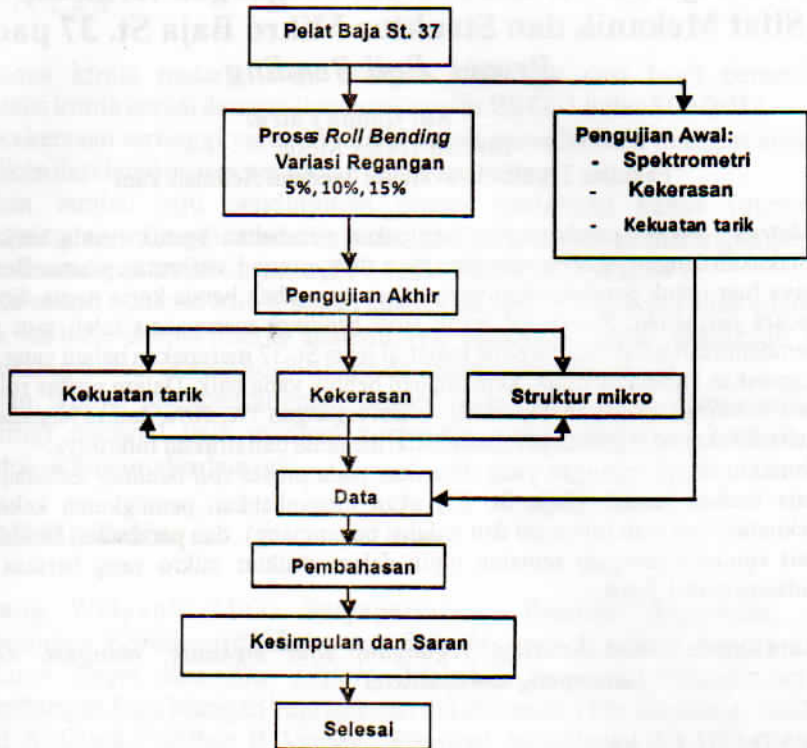
Pemakaian bahan logam memegang peranan penting dalam dunia perindustrian. Salah satu logam yang sering digunakan dalam dunia industri adalah pelat baja St. 37. Baja St. 37 banyak digunakan karena mempunyai mampu bentuk yang baik, selain itu juga mudah didapat dan harganya murah.

Penelitian yang dilakukan yaitu proses pembentukan pelat (*Sheet Metal Forming*) pada pelat baja St. 37 yang dilakukan dengan proses rol tekuk (*roll bending*). Pada proses rol tekuk (*roll bending*) ini sering terjadi kerusakan atau cacat pada pelat baja akibat dari gaya atau regangan. Dengan demikian dilakukan penelitian pengaruh dari proses rol tekuk (*roll bending*) dengan memberikan variasi regangan pada pelat baja St. 37 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro.

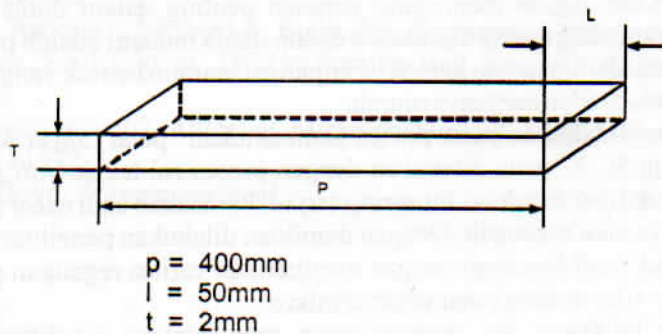
Dengan latar belakang itu, penulis ingin mengadakan penelitian menganalisa perubahan sifat mekanik dan struktur mikronya setelah mengalami proses rol tekuk (*roll bending*) dengan memberikan variasi regangan 5%, 10%, dan 15%. Sehingga penulis dapat mengetahui sejauh mana perubahan terhadap sifat mekanik dan struktur mikronya pada pelat baja St. 37 setelah mengalami proses rol tekuk (*roll bending*).

2 SKEMA PENELITIAN

Gambar 1 memperlihatkan metodologi penelitian yang dilakukan secara garis besar langkah-langkah yang dilakukan disampaikan dalam bentuk *flowchart*.


Gambar 1. Skema Penelitian

Sampel penelitian merupakan material dari bahan baja St. 37 dalam bentuk pelat dengan dimensi seperti diperlihatkan pada Gambar 2.


Gambar 2. Bahan awal material baja karbon rendah St. 37

3 DATA DAN PEMBAHASAN

Dari serangkaian pengujian dan pemeriksaan serta studi literatur diperoleh data yang dihasilkan, analisa serta pembahasan yang dapat mendukung penelitian yang dilakukan.

3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Tabel 1. Komposisi kimia spesimen awal

Unsur	Baja AISI 1015	
	Material awal (%)	Standar AISI 1015 (%)
C	0.132	0.13 – 0.18
Si	0.2089	0.103 – 0.3
Mn	0.42	0.3 – 0.6
P	0.0361	0.04 Max
S	0.0206	0.05 Max
Cr	0.059	-
Fe	Sisa	Sisa

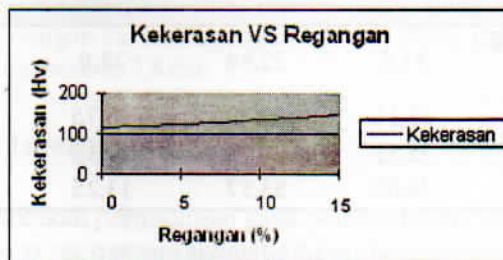
Dari data hasil pemeriksaan komposisi kimia tersebut diketahui bahwa material diatas telah memenuhi spesifikasi material baja karbon AISI 1015 dan setara dengan standar DIN St.37

3.2 Pengujian Kekerasan

Tabel 2. Kekerasan material awal AISI 1015

Titik Pengujian	Jarak (μm)	Kekerasan (Hv)
1	10	115
2	30	113
3	50	110
4	70	114
5	90	115
Rata-rata		113.4

Hasil pengujian kekerasan pada material setelah proses *roll bending* dengan variasi regangan yang diberikan yaitu 5 %, 10 % dan 15 % ditunjukkan pada tabel 3 dan gambar 3.



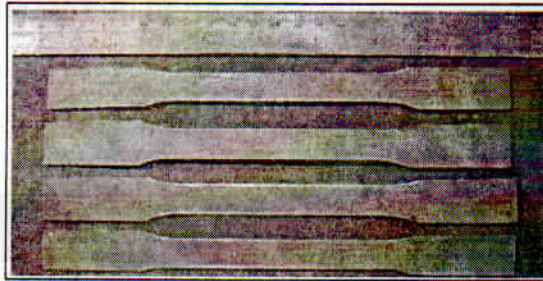
Gambar 3. Kuva kekerasan terhadap regangan

Tabel 3. Kekerasan material proses *Roll Bending*

Kode Spesimen	Proses Rol Bending	Nilai Kekerasan Vicker's (Hv)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
B	Regangan 5 %	122	121	125	122	123	122,6
C	Regangan 10 %	130	132	136	133	135	133,2
D	Regangan 15 %	142	147	148	147	145	145,8

3.3 Pengujian Tarik

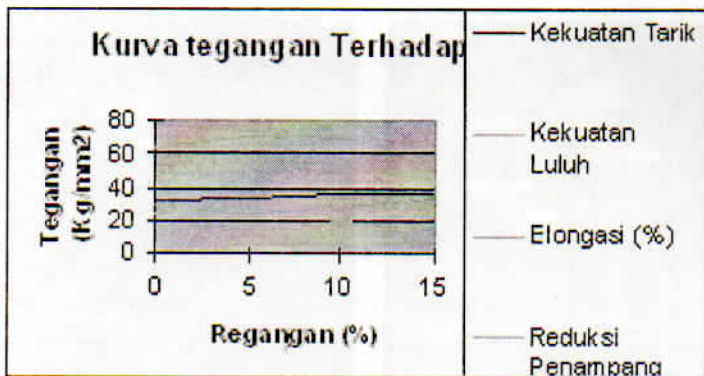
Spesimen baja pelat St. 37 untuk proses pengujian tarik berdasarkan standar ASTM E 370

**Gambar 4.** Spesimen Uji Tarik material pelat Baja St. 37

Data hasil pengujian tarik terhadap material baja pelat St. 37 untuk material awal dan yang telah mengalami proses roll bending dengan variasi regangan 5 %, 10 % dan 15 % ditunjukkan pada tabel 4 dan gambar 5.

Tabel 4. Pengujian Tarik material proses *Roll Bending*

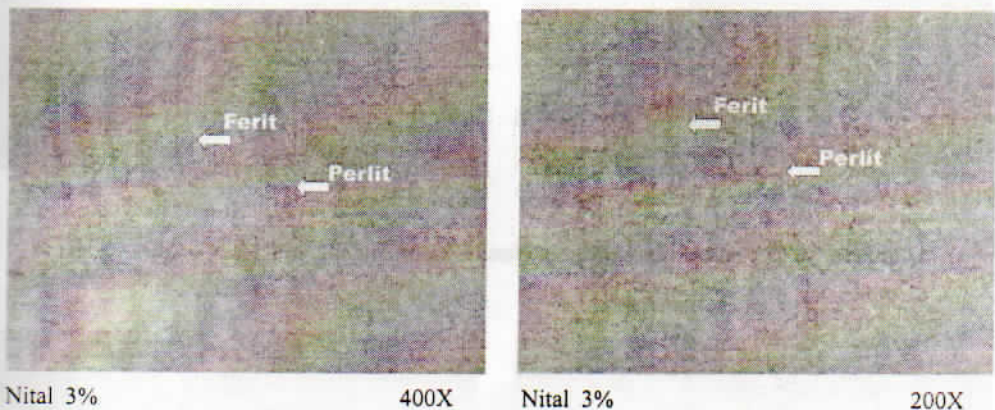
Kode	Proses Rol Bending	Sifat-sifat Mekanik			
		σ_u (Kgf/mm ²)	σ_y (Kgf/mm ²)	Elongation (%)	Reduksi Penampang (%)
A	Material Awal	31,5	22,84	28,9	63,19
B	5 %	33,31	23,30	23,75	70,71
C	10 %	35,53	28,19	19,38	69,86
D	15 %	36,05	33,57	13,25	67,51



Gambar 5. Kurva tegangan terhadap variasi regangan

3.4 Pemeriksaan Struktur Mikro

Hasil pemeriksaan struktur mikro spesimen awal dapat dilihat pada gambar 6. Dari gambar tersebut didapat struktur awal dari baja karbon rendah AISI 1015 yang terdiri dari fasa ferrite (α) dan perlite ($\alpha + Fe_3C$). Komposisi fasa yang terbanyak adalah fasa ferrit (α).

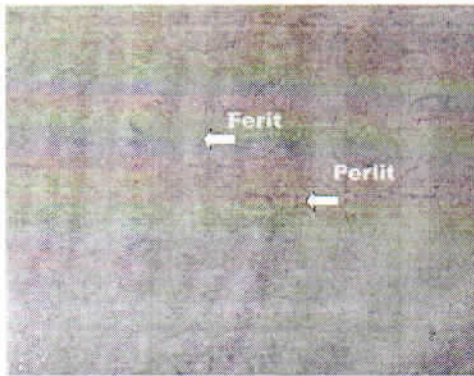


Gambar 6. Struktur Mikro Material Awal terdiri dari Partikel Ferrite dan Perlite

Hasil pemeriksaan struktur mikro pada material baja pelat yang telah mengalami proses roll bending dengan variasi regangan 5%, 10% dan 15% diperlihatkan secara berurutan pada gambar 7, 8 dan 9.

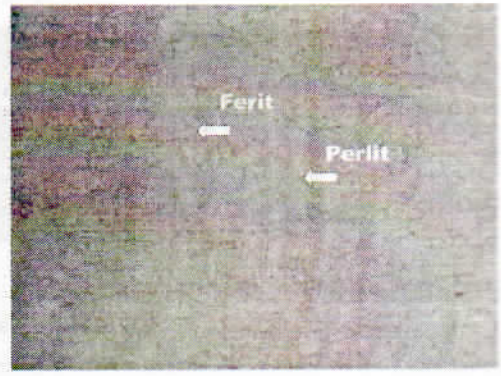
3.5 Analisa Gaya, Tegangan dan Regangan

Pada analisa ini dilakukan perhitungan gaya pembentukan pada proses *roll bending* dengan geometri pelat yang secara skematis diperlihatkan pada gambar 10.



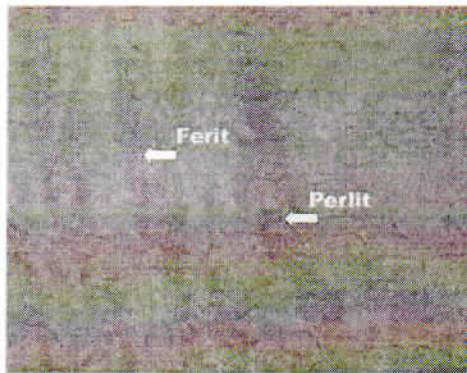
Nital 3%

400X



Nital 3%

200X

Gambar 7. Struktur Mikro Material Hasil Proses Rol Bending Regangan 5 %

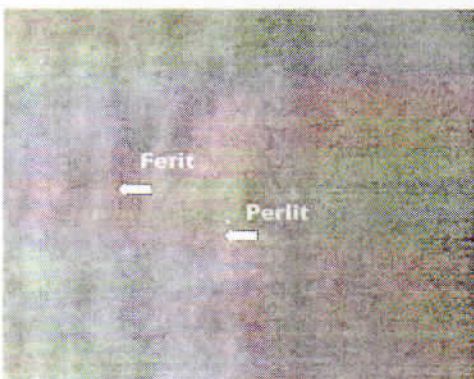
Nital 3%

400X



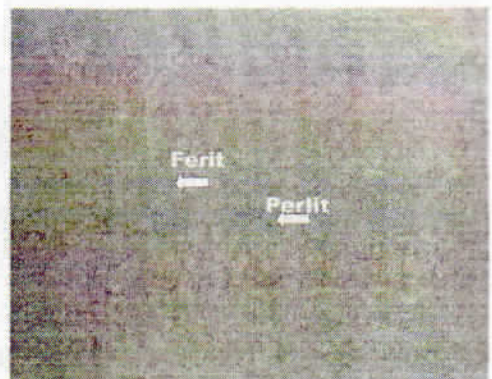
Nital 3%

200X

Gambar 8. Struktur Mikro Material Hasil Proses Rol Bending Regangan 10 %

Nital 3%

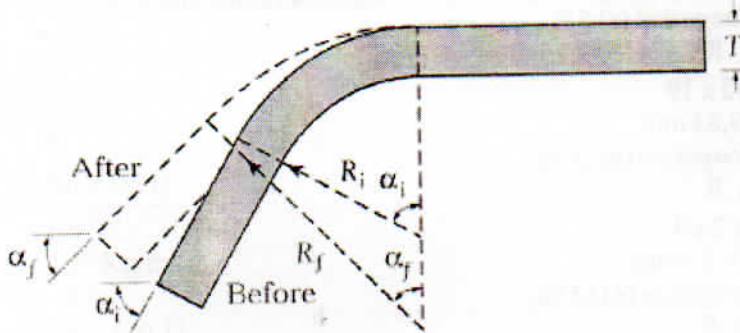
400X



Nital 3%

200X

Gambar 9. Struktur Mikro Material Hasil Proses Roll Bending Regangan 15 %



Gambar 10. Skematis pelat baja pada proses Roll Bending

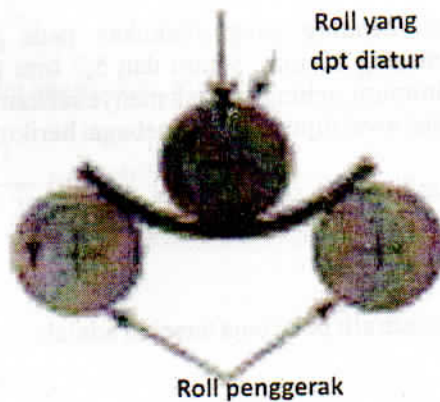
Pada kondisi setiap peregangkan, maka radius bengkokan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

$$e = \frac{1}{2R/h+1} \times 100\%$$

$$5\% = \frac{1}{2R/h+1} \times 100\%$$

$$0,05 = \frac{1}{2R/2+1}$$

$$R_5 = 19 \text{ mm}$$



Gambar 11. Proses Roll Bending

Dengan cara yang sama radius bengkokan pada regangan 10%, $R_{10} = 9 \text{ mm}$ dan regangan 15%, $R_{15} = 5,7 \text{ mm}$

Panjang pelat baja yang mengalami pembungkakan yaitu:

a) Pada *elongation* (ϵ) 5 %;

$$\begin{aligned} l_5 &= \alpha \cdot R \\ &= \pi/2 \times 19 \\ &= 29,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Pada *elongation* (ϵ) 10 %;

$$\begin{aligned} l_{10} &= \alpha \cdot R \\ &= \pi/2 \times 9 \\ &= 14,13 \text{ mm} \end{aligned}$$

c) Pada *elongation* (ϵ) 15 %;

$$\begin{aligned} l_{15} &= \alpha \cdot R \\ &= \pi/2 \times 5,7 \\ &= 8,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

Batas mampu bungkak yang dimiliki pelat baja tersebut adalah:

$$\frac{R_{\min}}{h} = \frac{(1-q)^2}{2q - q^2}$$

dimana;

q = reduksi penampang pelat baja tersebut hasil uji tarik yaitu sebesar 63,19 %.

$$\frac{R_{\min}}{h} = \frac{(1 - 0,6319)^2}{2(0,6319) - (0,6319)^2}$$

$$\frac{R_{\min}}{2} = 0,16$$

$$R_{\min} = 0,32$$

Sehingga proses *roll bending* yang dilakukan pada pelat baja dengan radius bungkakan masing-masing 19 mm, 9 mm dan 5,7 mm tersebut masih diatas radius bungkakan minimum, sehingga tidak menyebabkan terjadinya retak. Dari hasil pengujian tarik material awal diperoleh data sebagai berikut:

$$S_u = 31,5 \text{ Kg/mm}^2$$

$$S_y = 22,84 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\epsilon = 28,9 \%$$

$$q = 63,19 \%$$

maka persamaan tegangan alir pelat baja tersebut adalah:

$$\frac{S_u}{S_y} = (n / \text{off} - \text{set})^n \exp(-n)$$

$$\frac{31,5}{22,84} = (n / 0,2\%)^n \exp(-n)$$

$$1,379 = (n/0,02) n \exp(-n)$$

$$n = 0,11$$

$$K = \frac{S_u(1+n)}{n^n}$$

$$K = \frac{31,5(1+0,11)}{0,11^{0,11}}$$

$$K = 44,57 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\sigma_0 = K \cdot \varepsilon \cdot n$$

$$\sigma_0 = 44,57 \cdot \varepsilon \cdot 0,11$$

Gaya pada setiap proses roll bending adalah sebagai berikut :

Pada regangan 5 %

$$\varepsilon_5 = h/2r$$

$$= \frac{h}{2(R+h/2)}$$

$$= \frac{2}{2(19+2/2)}$$

$$= 0,05$$

Pada peregangan 10 %, $\varepsilon_{10} = 0,1$ dan pada peregangan 15 %, $\varepsilon_{15} = 0,15$

$$F = A \cdot \sigma_0 \cdot \varepsilon$$

$$= w \cdot h \cdot \bar{\sigma}_0 \frac{h}{2(R+h/2)}$$

$$= \frac{\bar{\sigma}_0 \cdot w \cdot h^2}{2(R+h/2)}$$

Dengan faktor koreksi sudut bengkokan, maka :

$$F = \frac{\bar{\sigma}_0 \cdot w \cdot h^2}{2(R+h/2)} \text{tg} \alpha / 2 \text{ , dan:}$$

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{K \cdot \varepsilon^n}{1+n}$$

$$= \frac{44,57 \cdot \varepsilon^{0,11}}{1,11}$$

maka:

Pada regangan 5 %, $F_5 = 144,5 \text{ Kg}$, regangan 10%, $F_{10} = 321 \text{ Kg}$ dan regangan 15%,
 $F_{15} = 486,6 \text{ Kg}$

3.6 Hubungan Komposisi Kimia dengan Sifat Mampu Bentuk

Berdasarkan data-data hasil pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan pada pelat baja tersebut maka dapat dianalisis karakteristik dan sifat-sifat pelat baja tersebut. Tabel 1 menunjukkan data komposisi kimia yang terkandung pada pelat baja tersebut, maka material tersebut sesuai dengan standar AISI 1015 atau setara dengan DIN St.37 dan termasuk dalam kategori baja karbon rendah. Kandungan karbon 0,132 %. Dalam baja tersebut akan menyebabkan fasa utama yang dimilikinya adalah ferit dengan sedikit fasa perlit yaitu 12,5 %, sehingga baja tersebut relatif lunak dan ulet serta akan memiliki sifat mampu bentuk yang cukup baik.

Unsur lain yang terkandung dalam baja tersebut adalah Mangan (Mn) sebesar 0,42 %, Unsur tersebut berfungsi sebagai pengikat unsur-unsur pengotor pada baja yaitu Sulfur (S) dan akan membentuk Mangan Sulfida (MnS) pada saat peleburannya yang memiliki titik cair relatif lebih tinggi dari Besi Sulfida (FeS) yang akan terbentuk jika tanpa ada penambahan unsur Mangan, sehingga kehadiran mangan tersebut akan mencegah terjadinya cacat rapuh panas (*Hot-shortness*) pada saat proses pengerolan panas dalam pembuatan pelat tersebut dimana temperatur proses yang dilakukan relatif masih dibawah temperatur *melting* dari Mangan Sulfida. Unsur lainnya yang terkandung pada material pelat baja tersebut adalah Silikon (Si) sebesar 0,2086 %, unsur Sulfur (S) sebesar 0,0206 %, unsur-unsur tersebut merupakan unsur yang tidak diharapkan kehadirannya pada pelat baja ini tetapi hadir akibat reaksi dengan lining dapur pada saat peleburan ataupun sebagai unsur bawaan dari bahan baku scrap sebagai muatan. Sifat mampu bentuk (*formability*) dari pelat baja tersebut sangat bergantung pada komposisi kimianya. Hal ini disebabkan oleh karena komposisi kimia akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mekanik terutama keuletan dari materialnya berhubungan dengan kemampuan dari bahan tersebut untuk diubah bentuk (deformasi plastis), maka semakin rendah kadar karbon dari baja akan semakin ulet baja tersebut sehingga akan semakin mudah diubah bentuknya.

3.7 Pengaruh Deformasi Plastis Terhadap Sifat Mekanik

Proses peregangannya atau perubahan bentuk yang dilakukan pada pelat baja karbon rendah tersebut yaitu sebesar 5 %, 10 %, dan 15 % maka akan menyebabkan peningkatan kekerasan dari baja tersebut (tabel 3 dan gambar 3), Peningkatan deformasi sebesar 5 % akan menyebabkan peningkatan rata-rata kekerasan sebesar diatas 10 Hv. Demikian halnya dengan kekuatan bahan, semakin besar deformasi dilakukan (5 %, 10 % dan 15 %) akan menyebabkan peningkatan kekuatan tarik dan kekuatan luluh dari pelat baja tersebut (tabel 4 dan gambar 5). Rata-rata peningkatan kekuatan tarik dengan meningkatnya deformasi sebesar 5 % adalah 2 Kg/mm², sedangkan rata-rata peningkatan kekuatan luluhnya adalah sebesar 5 Kg/mm².

Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa adanya deformasi plastis akan menyebabkan peningkatan kekerasan dan kekuatan dari logam, hal ini merupakan suatu pengaruh baik terhadap logam tersebut sehingga proses deformasi dapat dipergunakan sebagai suatu metoda penguatan atau pengerasan logam. Dilain pihak, deformasi yang terlalu berlebihan akan menyebabkan bahan menjadi getas karena selain meningkatnya kekuatan atau kekerasan bahan, deformasi ini pun akan

menyebabkan penurunan dari keuletan bahan (tabel 4 dan gambar 5) sehingga kemampuan deformasi plastis bahan akan menjadi terbatas. Hal inilah yang akan menyebabkan terjadinya cacat. Pembentukan (retak) jika bahan tersebut dipaksakan di deformasi plastis lagi setelah mengalami deformasi plastis sebelumnya.

Peningkatan kekerasan atau kekuatan dan penurunan keuletan bahan sebagai akibat proses deformasi tersebut, secara teoritis adalah disebabkan oleh adanya fenomena penguatan regangan (*strain hardening*) dimana pada saat deformasi berlangsung akan menyebabkan terjadinya peningkatan kerapatan dislokasi sebagai akibat adanya reaksi antara dislokasi dan multifikasi dislokasi.

3.8 Pengaruh Deformasi Plastis Terhadap Struktur Mikro

Proses perengan atau deformasi plastis yang dilakukan pada pelat baja karbon rendah yaitu sebesar 5 %, 10 % dan 15 % tersebut akan menyebabkan perubahan struktur mikro bahan atau dengan istilah lain terjadi fenomena penyeratan mekanis (*mechanical fibbering*). Fenomena tersebut dikarakteristik dengan adanya perubahan dari bentuk butir awalnya yaitu *equiaxial* menjadi bentuk butir yang terdeformasi atau terelongasi (pipih).

Dengan semakin besarnya deformasi akan menyebabkan semakin memipih bentuk butir dalam struktur mikro pelat baja tersebut (gambar 7 sampai dengan 9). Dengan demikian maka dapat dinyatakan bahwa deformasi akan menyebabkan terjadinya penyeratan mekanis dari struktur mikro tanpa adanya transformasi fasa, dimana fasa-fasa yang terkandung dalam struktur mikro pelat baja tersebut adalah fasa perlit dalam matrik ferit.

Struktur dengan butir terdeformasi tersebut akan terdapat sub-sub butir atau jaringan-jaringan deformasi didalam butirnya, hal itu pulalah yang menyebabkan terjadinya peningkatan kekerasan atau kekuatan bahan.

Deformasi yang sangat besar akan menyebabkan butir dengan bentuk sangat pipih (garis-garis deformasi) yang akan menghasilkan sifat mekanik yang cukup besar dan bersifat getas sehingga menyebabkan keterbatasan dilakukannya deformasi plastis lanjutan yang jika dipaksakan akan menimbulkan retak. Hal ini dapat diantisipasi dengan proses pelunakkan kembali logam yang telah dideformasi plastis yaitu dengan cara pemanasan (*intermediate annealing*), dimana pemanasan antara tersebut akan menyebabkan menurunnya kembali kerapatan dislokasinya dengan pembentukan butir-butir baru menggantikan butir-butir yang pipih sebelumnya.

3.9 Analisis Gaya Pembentukan pada Proses *Roll Bending*

Berdasarkan analisis gaya pembentukan yang dihitung secara ideal tanpa memperhitungkan efek gesekan maupun geseran, maka dapat dinyatakan bahwa peregangannya sebesar 5 %, 10 % dan 15 % atau proses *roll bending* dengan jari-jari bengkokkan 19 mm, 9 mm dan 5,7 mm berhasil dilakukan tanpa menyebabkan

retakan, Hal ini disebabkan oleh karena radius bengkokkan yang dilakukan masih diatas radius bengkokkan minimum (R_{min}) yang dimiliki oleh pelat baja tersebut yaitu sebesar 0,32 mm. R_{min} tersebut merupakan sifat bahan yang tergantung pada keuletan bahan yaitu nilai reduksi penampang hasil uji tarik (q) dan tergantung pada ketebalan bahan (h).

Proses roll bending dengan regangan sebesar 5 %, 10 % dan 15 % yang dilakukan pada pelat baja karbon rendah setebal 2 mm tersebut akan menyebabkan peningkatan gaya pembentukannya yang diperlukan untuk melakukan perubahan bentuk (deformasi) tersebut. Peningkatan regangan sebesar 5 % dalam proses roll bending tersebut menyebabkan peningkatan gaya pembentukannya sebesar rata-rata 171,1 Kg.

4 KESIMPULAN

1. Hasil analisa pelat baja St. 37 yang dilakukan proses *roll bending* dapat diketahui karakteristik materialnya yaitu :
 - a) Komposisi kimia pelat baja St. 37 merupakan jenis yang setara dengan baja karbon rendah standar AISI 1015.
 - b) Kekerasan awal pelat baja tersebut adalah 113,4 Hv.
 - c) Kekuatan tarik dan kekuatan luluh awal adalah 31,5 Kg/mm² dan 22,84 Kg/mm².
 - d) Keuletan awal adalah elongasi (e) = 28,9 % dan reduksi penampang (q) = 63,19 %
 - e) Struktur mikro pelat baja tersebut adalah terdiri atas fasa perlit dalam matrik ferit.
2. Hasil analisa proses *roll bending* terhadap pelat baja St. 37 tersebut dengan variasi peregangannya sebesar 5 %, 10 % dan 15 % maka dapat diketahui pengaruh peregangannya tersebut terhadap karakteristik materialnya, yaitu :
 - a) Semakin tinggi regangan yang diberikan pada proses *roll bending* terhadap pelat baja karbon rendah tersebut akan menyebabkan peningkatan kekerasan. Setiap peningkatan regangan 5 % terjadi peningkatan kekerasan material rata-rata sebesar 122,6 Hv.
 - b) Semakin tinggi regangan yang diberikan pada proses *roll bending* terhadap pelat baja karbon rendah tersebut akan menyebabkan peningkatan kekuatan. Setiap peningkatan regangan 5 % terjadi peningkatan kekuatan tarik material rata-rata sebesar 33,31 Kg/mm² dan rata-rata peningkatan kekuatan luluh sebesar 23,30 Kg/mm².
 - c) Semakin tinggi regangan yang diberikan pada proses *roll bending* terhadap pelat baja karbon rendah tersebut akan menyebabkan peningkatan keuletan. Setiap peningkatan regangan 5 % terjadi peningkatan keuletan (elongasi dan reduksi penampang) material rata-rata sebesar 23,75 % dan 70,71 %.
 - d) Semakin tinggi regangan yang diberikan pada proses *roll bending* terhadap pelat baja karbon rendah tersebut akan menyebabkan perubahan bentuk butir dalam struktur mikro yaitu terbentuknya butir pipih dari yang awalnya berbentuk butir *equiaxial*.

5 DAFTAR PUSTAKA

1. Robert E. Reed Hill, Reza Abbaschian, "*Physical Metallurgy Principle*". Third Edition PWS-Kent Publishing Company.
2. Vladimir B. Ginzburg, "*Steel-rolling Technology*". International Rolling Mill Consultant, Inc. Pittsburgh, Pennsylvania.
3. Autor C. W. Wegst, "*Stahlschaussel*". Verlag Stahlschaussel Wegst K. G.
4. Anil Kumar Sinha, "*Ferrous Physical Metallurgy*". Butterworths.
5. Robert F. Mehl, "*ASM, Metal Handbook Vol 7. Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*". American Society For Metal, 1972.
6. ASM, Metal Handbook Vol 9, "*Metallography Structures and Phase Diagrams*". American Society for Metal, 1973.
7. Vander Voort George F. "*Metallography, Principle and Practice*". McGraw-Hill Book Company, 1984.
8. Dieter, George E. "*Mechanical Metallurgy*". McGraw-Hill Inc. New York, 1986.
9. Abrianto Akuan, Diktat Kuliah "*Teknik Pembentukan Logam*". Teknik Metalurgi UNJANI Bandung, 1996.
10. ASTM, "*Annual Book of ASTM Standard*".