

## PENGARUH NORMALISING PASCA COLDWORKING PADA BAJA KARBON

*Juriah Mulyanti<sup>1</sup>, Ismanto<sup>2</sup>, Eko PutroKris Hartanto<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra  
Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta 55231 Telp/Fax . (0274) 543676  
*E-Mail : jm.yanti@gmail.com*

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra  
Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta 55231 Telp/Fax . (0274) 543676  
*E-Mail : ismanto\_ujb@yahoo.com*

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Yogyakarta  
Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta 55231 Telp/Fax . (0274) 543676  
*E-Mail : ekoputro@yahoo.com*

### ABSTRACT

*Metal forming processes relating with dimensional changes and microstructure of the metal material. One type of metal forming process is the coldworking process, the metal forming process under the crystallization temperature. Carbon steel is a metal material which has many advantages to the use of engine components who need high strength, high temperature resistant, able to form and good machineable. Meanwhile the normalizing heat treatment is a process that aims to eliminate the stress and make the fine grain microstructure due to process coldworking on steel. This study aims to determine the change in microstructure and mechanical properties of carbon steel and the effect of variation holding time after the coldworking process.*

*Materials coldworking process conducted in this study is a low carbon steel with a normalizing process at a temperature of 890°C and holding time variation of 10 minutes, 30 minutes and 50 minutes. The changes material properties are known from observations microstructure, hardness test and pressure test (bending).*

*Research results show that the hardness value of the material normalizing decreased compared to raw material or the material forming without normalizing, in addition to the properties of its ductility increases with the ferrite grain structure that is getting bigger and homogeneous at the time that the longer lasting normalizing*

**Keyword:** *Low carbon steel coldworking, Normalising, hold time*

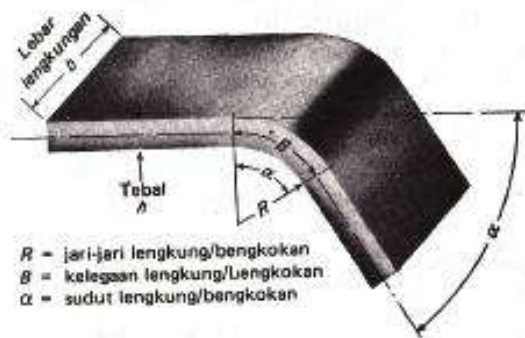
### PENDAHULUAN

Material baja karbon (senyawa Fe dengan komposisi karbon sampai dengan 1,7%) adalah material yang masih mendominasi kebutuhan akan material komponen-komponen mesin yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan panas tinggi. Sedangkan material baja karbon rendah (kadar karbon sampai dengan 0,3%) adalah material baja yang paling banyak dipilih dalam perancangan komponen mesin yang membutuhkan proses pembentukan. Hal ini didasarkan pada sifat baja karbon rendah yang ulet, tangguh, lunak, dengan mampu mesin dan mampu bentuk yang baik. (lihat Tabel 1 dan Tabel 2.).

Proses pembentukan baja adalah proses yang dilakukan untuk merubah bentuk asli *raw material* baja dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan cara pembengkokan atau *bending*.

*Bending* adalah proses di mana bentuk-bentuk yang lurus diubah menjadi lengkung. Proses ini merupakan proses yang sering digunakan untuk mengubah lembaran dan pelat menjadi saluran, drum, tangkidan lain-lain. Jari-jari pembengkokan *R* didefinisikan sebagai jari-jari lengkung cekung atau permukaan dalam bengkokan. Untuk pembengkokan elastik dibawah batas elastik, regangan melalui pertengahan tebal pada sumbu netral. Pada pembengkokan

plastik melampaui batas elastik, sumbu netral bergeser lebih dekat ke permukaan dalam lengkungan pada saat proses pembengkokan dilakukan. Karena regangan plastik, serat-serat pada permukaan luar mengalami regangan lebih besar dibanding serat di permukaan dalam, dan serat di permukaan dalam mengalami pengkerutan. Makin kecil jari-jari lengkungan, makin besar penurunan tebal pada bengkokan.

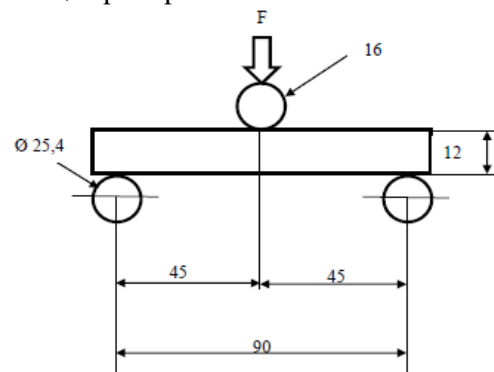


**Gambar 1.**  
 Definisi istilah yang digunakan pada pembengkokan.  
 Sumber : Gorge E. Dieter (1993)

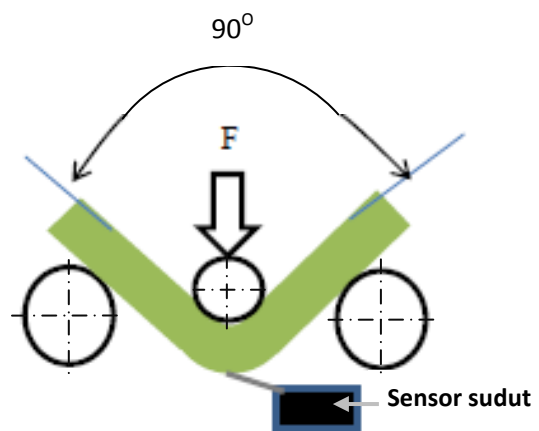
**Gaya tekan pada proses pembentukan**

Suatu batang logam yang menerima gaya atau tekanan di atas tumpuan (lihat Gambar 2.) akan

mengakibatkan batang mengalami perubahan bentuk, seperti pada Gambar 3.



**Gambar 2. Proses Bending**



**Gambar 3. Mekanisme Pembentukan Bending**

**Tabel 1. Klasifikasi baja karbon**

Jenis dan kelas		Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang kawat
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum
Baja karbon sedang	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
Baja karbon tinggi	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-90	30-17	140-170	Alat-alat mesin perkakas
	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	
	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	Rel, pegas kawat piano

Sumber : Harsono Wiryosumarto, dan Toshie Okumura, 1991

Tabel 2. Klasifikasi Baja Karbon dan Penggunaannya

Jenis	Kandungan karbon C	Penggunaan utama
Baja karbon rendah atau baja lunak	0.08%-0.3%	Baja roll biasa atau plat baja, profil, pipa, gulungan
Baja karbon sedang	0.31%-0.9%	Baja untuk struktur mesin poros, roda gigi, mur baut
Baja karbon tinggi atau baja keras	0.6%-2.0%	Rel kereta api, baja perkakas, baja pegas, baja alat ukur

Sumber: (<http://id.scribd.com/doc/34208909/15/Tabel-1-Klasifikasi-baja-karbon>)

**Coldworking (Proses Pembentukan Dingin)**

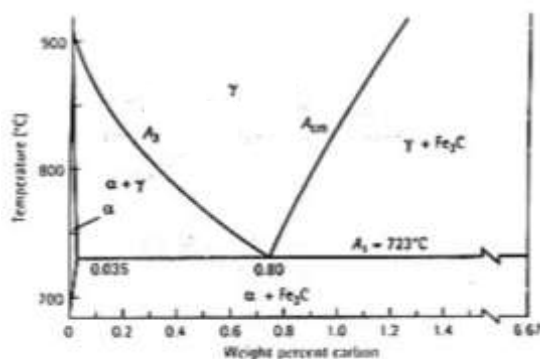
Proses pembentukan logam bisa dilakukan dengan pengerjaan panas (*hotworking proses*), atau dengan pengerjaan dingin (*coldworking proses*), tergantung dari kebutuhan sifat material yang diinginkan. Proses pengerjaan dingin (*cold working*) pada baja adalah proses pembentukan plastis baja di bawah suhu rekristalisasi yaitu di bawah 723°C sampai dengan suhu kamar. Suhu rekristalisasi yang dimaksud adalah suhu pada saat material logam akan mengalami perubahan bentuk kristal dan kemudian perubahan struktur mikronya.

Perubahan struktur mikro ini akan mengakibatkan perubahan karakteristik material logam tersebut. *Coldworking* sangat baik untuk produksi massal, biasanya diperlukan untuk mesin-mesin yang kuat dan perkakas yang mahal. Produk-produk yang dibuat, harganya bisa sangat rendah, selain itu material yang terbuang (menjadi sampah) relatif sedikit dibandingkan pada proses permesinan.

**Normalising**

Normalising adalah salah satu proses perlakuan panas yang tepat untuk menghilangkan tegangan dalam dan memperhalus butiran struktur mikro. Proses normalising baja dilakukan pada temperatur di atas austenit tauris A3 pada diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C (lihat Gambar 4.). Normalising dapat juga dilakukan pada benda hasil tempa untuk menghilangkan tegangan dalam dan menghaluskan butiran kristalnya. Sehingga sifat mekanisnya menjadi lebih baik. Normalising dapat juga

membuat struktur mikro homogen sehingga dapat memberikan hasil yang bagus dalam proses *hardening*, sehingga umumnya sebelum di *hardening* baja harus di normalising terlebih dahulu.



Gambar 4. Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C  
Sumber : Amsted, B, H., 1995

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui peningkatan sifat fisis dan mekanis baja karbon yang di-normalising pasca proses *coldworking* (pengerjaan dingin). Untuk itu dilakukan pengujian bending pada temperatur kamar, pengujian metalografi dan pengujian kekerasan pada baja karbon sebelum dan sesudah dilakukan pengerjaan dingin dan normalising. Dari penelitian ini dapat diperoleh informasi tentang pengaruh normalising pada baja karbon akibat proses *coldworking* yang dilakukan.

**METODE PENELITIAN**

Eksperimen dilakukan pada sampel plat baja karbon (Gambar 5.) yang mendapat

proses bending dengan sudut 90° pada temperatur kamar (Gambar 6.), menggunakan mesin desak *die bending* dengan lampu indikator untuk memastikan pembetulan sudut 90°. Mesin ini dibuat oleh Ir. Ismanto untuk kebutuhan penelitian ini. (Gambar 7.).

Proses normalising dilakukan pada temperatur 890°C, yaitu 50°C diatas garis A3 pada diagram Fe-C.  *Holding time* (waktu tahan) pada proses normalising dilakukan dengan 3 variasi, yaitu 10, 30 dan 50 menit untuk mengetahui hasil perbandingan dan waktu yang terbaik.

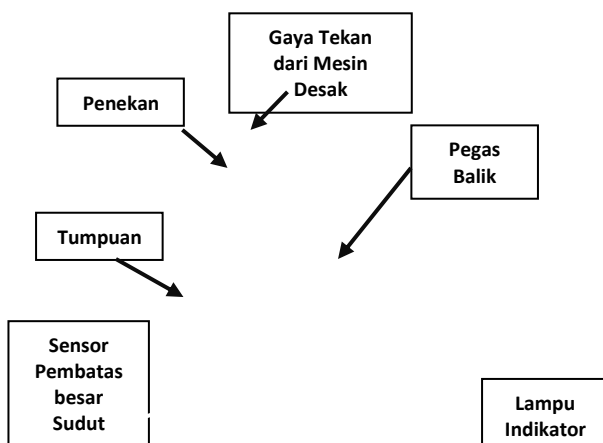
Untuk mengetahui jenis material baja dilakukan pengujian tarik, dan untuk mengetahui perubahan sifat fisis dan mekanis pada baja karbon yang mendapat perlakuan normalising setelah proses coldworking tersebut dilakukan pengujian-pengujian yang meliputi pengukuran gaya pada prosesbending, pengujian metalografi, dan pengujian kekerasan, sebelum dan sesudah normalising.



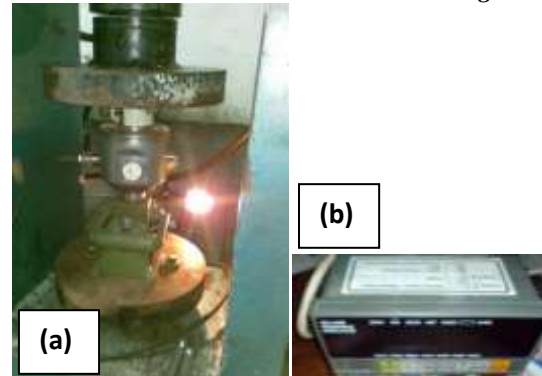
Gambar 5. Sampel Baja Karbon



Gambar 6. Setelah Proses Bending



Gambar 7. Mesin Desak Die Bending



Gambar 8. (a). Indikator Bending 90° pada mesin desak  
(b). Load Sel Tranduser Digital.

Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui klasifikasi material baja karbon agar diketahui posisi material pada garis A3 diaganr Fe-Fe<sub>3</sub>C. Penarikan benda uji akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (*deformasi*) pada material. Proses terjadinya deformasi pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik atom-atom logam sehingga melepaskan ikatan kristalnya akibat penarikan gaya maksimum.

Pengujian metalografi adalah pengujian yang dilakukan untuk pengamatan struktur mikro. Merupakan pengujian merusak karena material harus dibelah, dihaluskan, dan di etsa, agar kemudian bisa diamati gambar perubahan struktur mikronya. Pada umumnya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginan dari temperatur *austenites* sampai ke suhu kamar. Perubahan struktur mikro akan mempengaruhi sifat-sifat mekanik material. Pada pengujian metalografi, kualitas, dan mutu bahan ditentukan dengan mengamati struktur logam dibawah mikroskop, disamping itu puladapat diamati cacat dan bagai yang

tidak teratur. Dengan pertolongan mikroskop dapat diteliti permukaan logam yang dipolis selain deformasi permukaan dapat diperiksa. Pengamatan struktur mikro juga dapat mengetahui korelasinya dengan komposisi kimia serta kemungkinan proses *heattreatment* yang dilakukan. Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan *Olympus Metallurgical Microscope* di Laboratorium teknik Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Janabrad dengan pembesaran 200X.

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mendapatkan hasil kekerasan permukaan baja yang mengalami proses *coldworking*, dan mengetahui kekerasan permukaan material akibat pengaruh proses normalising dengan 3 variasi waktu tahan (*holding time*) pada material.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Pengujian Kekuatan Tarik

Tabel 3. memperlihatkan hasil pengujian tarik material sampel baja karbon yang digunakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perkiraan kadar karbon pada baja, dengan menggunakan Tabel Kandungan Baja Karbon (Tabel 4.)

Untuk mengetahui Tegangan tarik menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o}$$

dimana:

$\sigma_u$  : Tegangan tarik ultimate (kg/mm<sup>2</sup>)

$F_u$  : Gaya ultimate (kg)

$A_o$  : Luas Penampang (mm<sup>2</sup>)

Berikut ini hasil perhitungan tegangan tarik ultimate.

Sampel 1 :

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o} = \frac{2250 \text{ kg}}{54 \text{ mm}^2} = 41.6 \text{ kg/mm}^2$$

Sampel 2 :

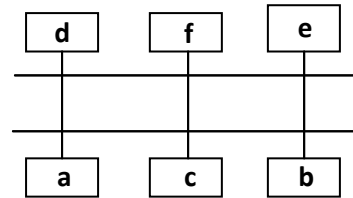
$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o} = \frac{2125 \text{ kg}}{50 \text{ mm}^2} = 42.5 \text{ kg/mm}^2$$

Sampel 3 :

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o} = \frac{2125 \text{ kg}}{50 \text{ mm}^2} = 42.5 \text{ kg/mm}^2$$

Untuk mengetahui kadar karbon, digunakan metoda interpolasi, sebagai berikut :

$$f = d + \left( \frac{a - c}{a - b} \right) x (e - d)$$



dimana :

a : Nilai min kekuatan tarik dari tabel 4

b : Nilai maks kekuatan tarik dari tabel 4

c : Nilai rata-rata pengujian tarik

d : Nilai min karbon dari tabel 4

e : Nilai maks karbon dari tabel 4.

f : Hasil nilai karbon yang dicari

Dari Tabel 4. diperoleh :

a : 38 kg/mm<sup>2</sup>

b : 48 kg/mm<sup>2</sup>

c : 42.2 kg/mm<sup>2</sup>

d : 0.12 % C

e : 0.2 % C

Diketahui hasil uji tarik diperoleh nilai rata-rata  $\sigma_u = 42.2 \text{ kg/mm}^2$

Sehingga

$$f = 0.154$$

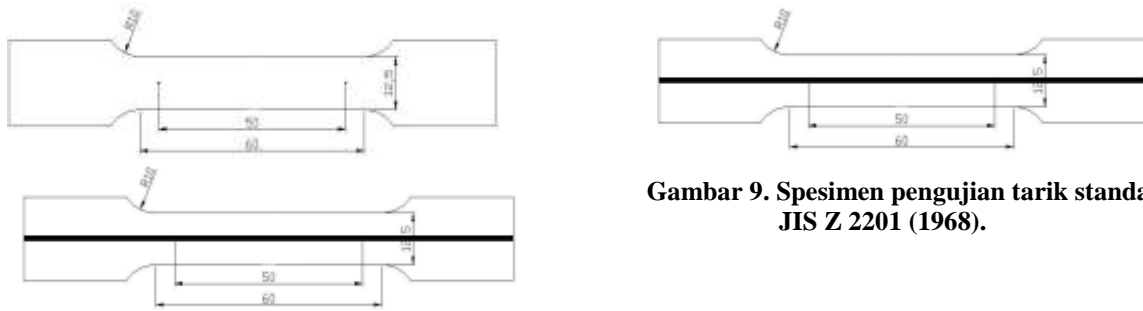
Jadi nilai karbon yang terkandung dalam sampel material baja karbon tersebut adalah 0.154 % C

### b. Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan dua kali yaitu pada saat temperatur kamar dan setelah dinormalising.

#### 1. Hasil Bending dan Perhitungan Gaya sebelum dinormalising

Dalam penelitian ini pekerjaan bending dilakukan pada temperatur CWP (*coldworking Process*) atau temperatur kamar.



Gambar 9. Spesimen pengujian tarik standar JIS Z 2201 (1968).

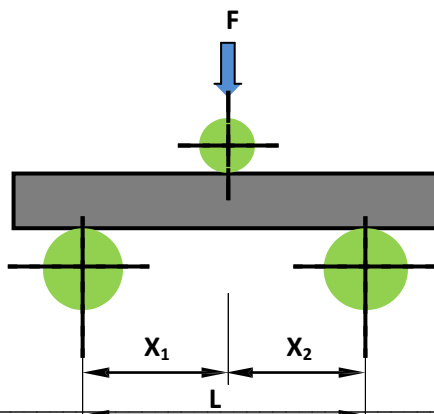
Tabel 3. Hasil Uji Tarik

No. Sampel	D <sub>0</sub> (m m)	L <sub>0</sub> (mm )	A <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> (kg)	σ <sub>u</sub> (kg/mm <sup>2</sup> )
1	8.3	72	54	2250	41.6
2	8	72	50	2125	42.5
3	8	72	50	2125	42.5
Rata <sup>2</sup>	8.1	72	51.33	2.166.66	42

Tabel 4. Kandungan Baja Karbon.

Jenis dan Kelas		Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan
Baja Karbon Rendah	Baja lunak khusus	0.08	18-28	32-36	40-30	95-100	Plattipis
	Baja sangat lunak	0.08-0.12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang kawat
	<b>Baja lunak</b>	<b>0.12-0.20</b>	<b>22-30</b>	<b>38-48</b>	<b>36-24</b>	<b>100-130</b>	Konstruksi umum
Baja setengah lunak	0.20-0.30	24-36	45-55	32-22	112-145		
Baja Karbon Sedang	Baja setengah keras	0.30-0.40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat mesin perkakas, rel, pegas dan kawat piano
	Baja keras	0.40-0.50	34-46	58-70	26-14	160-200	
Baja Karbon Tinggi	Baja sangat keras	0.50-0.80	36-47	65-100	20-11	180-235	

Sumber : Harsono Wiryosumarto, dan Toshie Okumura, 1991



Gambar 10. Jarak antara tumpuan dengan titik pusat pembebanan

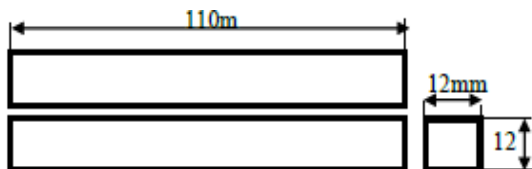
Perhitungan Tegangan Bending :



$$\sigma_b = \frac{(F \cdot x_2)x_1}{x_1 + x_2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{12}(bh^3)} \cdot \frac{1}{\frac{1}{2}h}$$

dimana :

- $\sigma_b$  : Tegangan Bending(kg/mm<sup>2</sup>)
- F : Gaya(kg)
- $x_1$  dan  $x_2$  : Jarak tumpuan dari titik pusat (mm)
- b : Lebar bendauji(mm)
- h : Tinggi bendauji(mm)



Gambar 11. Dimensi sampel

Dari data Tabel 5. dan pengukuran diperoleh besaran sebagai berikut :

- Frata-rata : 1693.8 kg
- $x_1$  : 45 mm
- $x_2$  : 45 mm
- b : 12 mm
- h : 12 mm

Setelah dimasukkan rumus diperoleh :

$$\sigma_b = \frac{(1693,8 \cdot 45)45}{45 + 45} \cdot \frac{1}{\frac{1}{12}(12 \cdot 12^3)} \cdot \frac{1}{\frac{1}{2} \cdot 12} = 132,9 \text{ kg/mm}^2$$

Sehingga diketahui bahwa untuk pembengkokkan material membentuk sudut 90° bending, dibutuhkan gaya sebesar 132,9 kg/mm<sup>2</sup> atau 133 kg/mm<sup>2</sup>.

Tabel 5. Hasil Uji Bending Coldworking

Bending Coldworking (T=28°C)												
Nomor Sampel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gaya Maks (kgf)	1599	1686	1732	1682	1717	1683	1710	1730	1694	1689	1723	1679
Rata-rata	1693.8 kgf											

**2. Hasil Uji Bending Luluh Kembali setelah dinormalising**

kembali tersebut.

Uji bending luluh kembali material yang sudah dinormalising dimaksudkan untuk mengetahui ketangguhan/keuletan material akibat proses normalising dengan tiga variasi waktu penahanan. Untuk menentukan batas maksimal ketahanan material, dilakukan dengan cara dilakukan proses bending kembali (uji bending luluh kembali) kepada material yang telah dibending sampai terjadi perpatahan atau retak. Gambar 12. dan Tabel 6. memperlihatkan hasil uji bending luluh









Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Bending Luluh Kembali

1. Sampel material bending tanpa normalising
2. Sampel material normalising waktu tahan 10 menit
3. Sampel material normalising waktu tahan 30 menit
4. Sampel material normalising waktu tahan 50 menit

Keterangan gambar.

Tabel 6. Hasil Uji Bending Kembali Sebelum dan Sesudah Normalising

Sampel	Gaya Maksimal (Kgf)	Kondisi Material	Keterangan
Tanpa Normalising	1.830		Material bending yang diberi beban untuk dibending kembali ternyata hanya mampu menahan beban $F = 1830 \text{ kgf}$ sehingga material langsung patah
Normalising 10 menit	2.500		Material yang mengalami pemanasan temperatur tetap dengan waktu tahan 10 menit, mampu menahan beban pada $F = 2500 \text{ kgf}$ .
Normalising 30 menit	3.768		Waktu tahan 30 menit cukup memberikan waktu bagi struktur kristal untuk menyusun diri dengan lebih baik, sehingga material mampu menahan beban $F = 3768 \text{ kgf}$ dan bentuk material mendekati bentuk sebelum dibending cold working.
Normalising 50 menit	4.318		Keuletan sangat baik, sehingga dalam uji bending luluh kembali material ini mampu menahan beban $F = 4318 \text{ kgf}$ .

Tabel 7. Hasil Pengujian Kekerasan

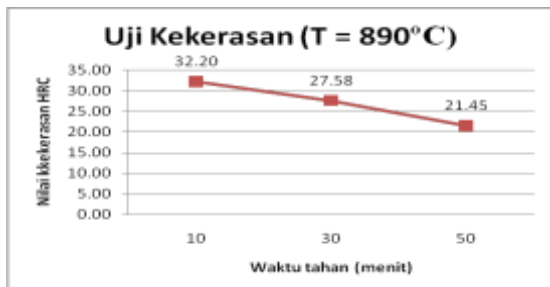
Titik	Nilai Kekerasan $HR_C$				
	Raw material	Bending Temp. $28^\circ\text{C}$	Normalising 10 menit	Normalising 30 menit	Normalising 50 menit
1	36.8	43	33.8	28.3	24
2	38.5	39	34	30	22.6
3	33.8	34	35	27.8	21
4	38	35	32	29	22
5	25.8	33.5	27	22.4	18.6
6	31.8	32	32.4	22.4	20.5
<b>Rerata</b>	<b>34.12</b>	<b>36.08</b>	<b>32.2</b>	<b>27.6</b>	<b>21.5</b>

**c. Pengujian Kekerasan**

Ujikekerasan dilakukan untuk mengetahui perbandingan kekerasan permukaan material sampel baja karbon rendah, sebelum dan sesudah dibending dan normalising.

Tabel 7. memperlihatkan hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan.

Dari hasil pengujian kekerasan terbukti bahwa kekerasan permukaan material baja karbon rendah, meningkat setelah dilakukan proses bending pada temperatur kamar (*coldworking proses*). Pengujian kekerasan ini pun membuktikan fungsi normalising pada material baja karbon rendah yang mengalami proses pengerjaan dingin. Sedangkan proses normalising dengan waktu tahan yang berbeda menunjukkan kekerasan yang berbeda pula. Makin lama waktu tahan, kekerasan permukaan material akan semakin menurun.



Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

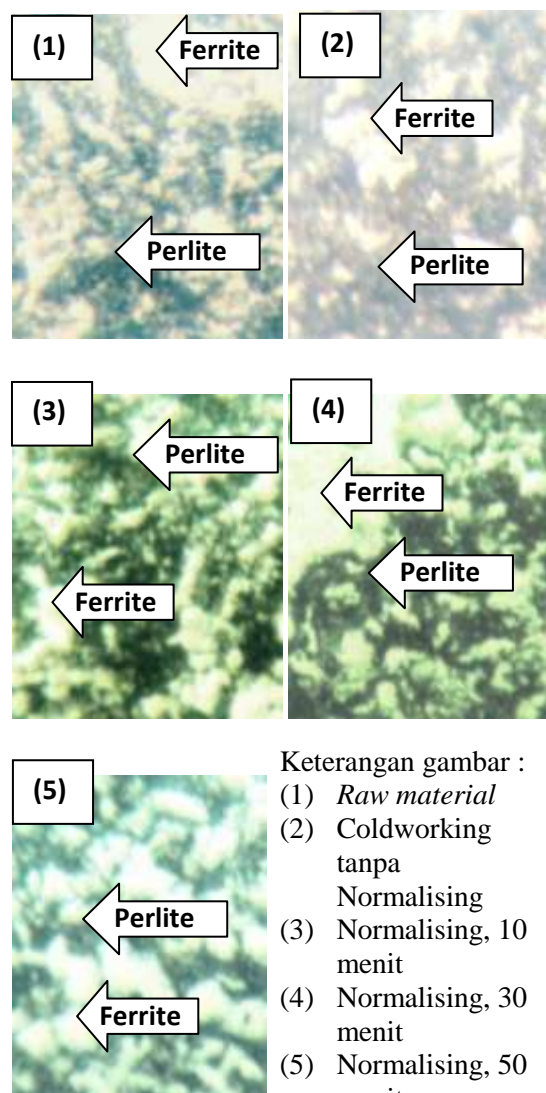
**d. Pengujian Metalografi**

Struktur mikro hasil pengujian metalografi dari material baja karbon yang mengalami proses normalising pasca pengerjaan bending dingin menggambarkan perubahan bentuk butiran ferrite dan perlite yang terjadi. Gambar 14(2) menunjukkan butiran ferrite dan perlite yang lebih rapat akibat penekanan dan tarikan karena proses deformasi (bending) pada temperatur kamar.

Terlihat bahwa proses normalising sangat berpengaruh pada butiran ferrit.

Waktu tahan yang makin lama akan memberi cukup waktu bagi ferrit untuk mengembangkan butirannya, sangat jelas terlihat pada gambar 14(4) & (5). bahwa butiran ferrit lebih dominan pada uji metalografi.

Gambar struktur mikro ini juga menjelaskan sebab dan akibat pengaruh nilai kekerasan dan keuletan material pada penelitian ini.



Keterangan gambar :

- (1) Raw material
- (2) Coldworking tanpa Normalising
- (3) Normalising, 10 menit
- (4) Normalising, 30 menit
- (5) Normalising, 50 menit

Gambar 14. Struktur Mikro Baja Karbon Rendah yang Dinormalising Pasca Coldworking (Bending), pembesaran 200x

## KESIMPULAN

Hasil penelitian Pengaruh Normalising Pasca Coldworking pada Baja Karbon ini, menyimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Proses coldworking akan membuat butiran ferrite dan perlite menjadi rapat dan mengecil, mengeraskan permukaan material dan menurunkan keuletannya.
2. Normalising pada baja karbon rendah yang mengalami proses coldworking akan membuat butiran ferrite membesar sehingga menaikkan sifat ulet dan menurunkan kekerasannya.
3. Waktu tahan (*holding time*) pada normalising baja karbon rendah akan membuat butiran ferrite membesar dan meningkatkan keuletan material.
4. Makin lama waktu tahan pada normalising (50°C), membuat butiran ferrite makin merata (homogen) dan meningkatkan keuletannya, serta menurunkan kekerasan permukaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, Hari; Daryanto., 1999 ;  
*ILMUBAHAN*; Bumi Aksara; Jakarta
- Amsted, B, H., 1995; Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C
- Desai, C. S., 1988 Dasar-dasar *METODE ELEMEN HINGGA*; Erlangga; Jakarta
- Dieter, George E., 1993 ; *METALURGI MEKANIK JILID 1 & 2*; Erlangga; Jakarta
- Fakultas Teknik., *UJI TARIK*; Univ. Darma Persada; Januari 2012.  
[ft.unsada.ac.id/wp-content/uploads/.../bab4-mt.pdf](http://ft.unsada.ac.id/wp-content/uploads/.../bab4-mt.pdf).
- Germano., 2012; *Analisis Variasi Temperatur Pada Proses Pembentukan Dingin*

(*Cold Working Proses*)

*Material Baja Karbon Rendah*; Univ.

Janabadra; Yogyakarta

Harsono., 2000 :90 ; *KLASIFIKASI BAJA KARBON*

Okumura, Toshie., 2000; *TEKNOLOGI PENGELASAN LOGAM*;

Pradnya Paramita; Jakarta

Setiawan, A., 2010

Wardana, Y.A.Y., *Kurva Tegangan*

Regangan ( $\tau$  vs  $\epsilon$ ) Materi Baja

Smallman, R. E ; Bishop, R. J., 1978

*METALURGI FISIK MODERN DAN*

*REKAYASA MATERIALE* Edisi Keenam;

Erlangga; Jakarta

Vlack, Lawrence H. Van., 1986; *ILMUDAN TEK*

*NOLOGI (Ilmu Logam dan Bukan*

*Logam) Edisi Keempat*; Erlangga;

Jakarta

Vlack, Lawrence H. Van., 2000; *ELEMEN-*

*ELEMEN ILMUDAN REKAYASA*

*MATERIALE* Edisi Keenam; Erlangga;

Jakarta

Website :

[http://ardra.biz/metalurgi/pembentukan-](http://ardra.biz/metalurgi/pembentukan-logam-metal-forming/proses-pengerjaan-dingin-cold-working)

[logam-metal-forming/proses-](http://ardra.biz/metalurgi/pembentukan-logam-metal-forming/proses-pengerjaan-dingin-cold-working)

[pengerjaan-dingin-cold-working](http://ardra.biz/metalurgi/pembentukan-logam-metal-forming/proses-pengerjaan-dingin-cold-working)

[http://ardra.biz/metalurgi/perlakuan-panas-](http://ardra.biz/metalurgi/perlakuan-panas-logam)

[logam](http://ardra.biz/metalurgi/perlakuan-panas-logam)

[http://id.scribd.com/doc/34208909/15/Tabel-](http://id.scribd.com/doc/34208909/15/Tabel-1-Klasifikasi-baja-karbon)

[1-Klasifikasi-baja-karbon](http://id.scribd.com/doc/34208909/15/Tabel-1-Klasifikasi-baja-karbon)

[http://id.scribd.com/doc/34208909/15/Tabel-](http://id.scribd.com/doc/34208909/15/Tabel-1-Klasifikasi-baja-karbon)

[1-Klasifikasi-baja-karbon](http://id.scribd.com/doc/34208909/15/Tabel-1-Klasifikasi-baja-karbon)

[http://id.scribd.com/doc/56775986/25/Diagra-](http://id.scribd.com/doc/56775986/25/Diagram-Tegangan-Regangan)

[m-Tegangan-Regangan](http://id.scribd.com/doc/56775986/25/Diagram-Tegangan-Regangan)

[http://jakaidamanhutama.blogspot.com/2012/](http://jakaidamanhutama.blogspot.com/2012/11/muatan-lokal.html)

[11/muatan-lokal.html](http://jakaidamanhutama.blogspot.com/2012/11/muatan-lokal.html)

[http://www.alatuji.com/article/detail/3what-](http://www.alatuji.com/article/detail/3what-is-hardness-test-uji-kekerasan)

[is-hardness-test-uji-kekerasan](http://www.alatuji.com/article/detail/3what-is-hardness-test-uji-kekerasan)

[http://www.custompartnet.com/wu/sheet-](http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming)

[metal-forming](http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming)

[http://yohan46.blogspot.com/2012/04/penguji-](http://yohan46.blogspot.com/2012/04/pengujian-kekerasan-brinell.html)

[an-kekerasan-brinell.html](http://yohan46.blogspot.com/2012/04/pengujian-kekerasan-brinell.html)