

## METODE PENINGKATAN TEGANGAN TARIK DAN KEKERASAN PADA BAJA KARBON RENDAH MELALUI BAJA FASA GANDA

**Joko Tri Wardoyo**

*Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang*

### ABSTRACT

*This research is conducted to get a method to make-up tension and hardness of low carbon steel through double-phase steel with a specific parameter of heating temperature at 732°C, 770°C, and 810°C with the variation of detention time 5, 10, 20, and 30 minutes. Before conducting the process, all of specimens are normalized at temperature 900°C within 20 minute to get early condition of homogeneous structure after double phase forming, hereinafter every specimen get the treatment process at 200°C holding time 20 minutes to make-up of the resilient and less the tension, hereinafter conducted the ossification stretch to make-up the tension and its hardness. Result of this research indicate, that with the double phase forming at low carbon steel can increase the tension equal to 83% (from 310 N/mm<sup>2</sup> to 567 N/mm<sup>2</sup>) and make-up of hardness 40% (from 133.1 HV to 186.6 HV) which reached with the treatment process at warm-up temperature 770°C with the time during 20 minutes. This result indicates that this method may be used as an alternative to increase of the mechanical nature of low carbon steel.*

*Keywords: low carbon steel, double phase steel*

### 1. PENDAHULUAN

Penggunaan baja karbon rendah sangat banyak digunakan meskipun terbatas pada konstruksi yang tidak membutuhkan tegangan tarik dan kekerasan relatif tinggi, hal tersebut dikarenakan harganya relatif murah dan mudah pembentukannya. Untuk memperluas penggunaan baja karbon rendah, diperlukan peningkatan sifat mekaniknya terutama dari segi kekuatan (*tegangan tarik dan kekerasan*) tetapi harganya masih relatif murah dibandingkan dengan jenis baja karbon lainnya.

Salah satu alternatif untuk perbaikan sifat mekanik baja karbon rendah adalah dengan menjadikannya baja fasa ganda dengan metode treatment yang tepat agar peningkatan tegangan tarik dan kekerasan dapat dicapai. Jika proses pembentukan baja karbon fasa ganda dengan metode yang tepat maka fasa ganda yang dihasilkan memiliki kombinasi struktur martensit yang keras dan ferrite yang lunak, sehingga selain mudah dalam proses pembentukan juga adanya peningkatan tegangan tarik dan kekerasannya dibandingkan dengan pra fasa ganda baja karbon rendah. Pada proses pembuatan baja karbon fasa ganda, variabel yang menentukan peningkatan tegangan tarik serta nilai kekerasan adalah temperatur pemanasan dan waktu penahanan pada daerah campuran ferrit dengan austenit ( $\alpha + \gamma$ ). Temperatur pemanasan dan waktu penahanan yang menghasilkan tegangan tarik dan kekerasan yang tertinggi merupakan metode

terbaik untuk peningkatan kekuatan baja karbon rendah melalui proses baja fasa ganda. Untuk mendapatkan temperatur pemanasan dan waktu penahanan yang tepat guna mencapai maksud tersebut maka diperlukan uji coba memberikan variasi temperatur pemanasan dan waktu penahanan di daerah ( $\alpha + \gamma$ ). Variasi temperatur pemanasan dipilih sesuai dengan kondisi baja karbon rendah yaitu dimulai dari 732°C, 770°C dan 810°C, sedangkan waktu penahanan masing-masing selama 5 menit, 10 menit, 20 menit dan 30 menit.

## 2. TEORI

### 2.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah salah satu jenis baja karbon, di mana prosentase unsur karbonnya di bawah 0,25%, untuk lebih jelas ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan unsur pembentuk lainnya seperti Mn tidak lebih dari 0,8%, Si tidak lebih dari 0,5%, demikian pula unsur Cu tidak lebih dari 0,6%. Di samping jenis baja karbon berdasarkan kandungan karbonnya, juga dikelompokkan berdasarkan komposisi prosentasi unsur pemandu karbonnya seperti yang perlihatkan pada diagram fasa Fe-C Gambar 1, baja hypoeutektoid kurang dari 0,8% C, baja eutektoid 0,8% C, sedangkan baja hypereutektoid lebih besar dari 0,8% C.

Tabel 1. Klasifikasi baja karbon berdasar kandungan karbon

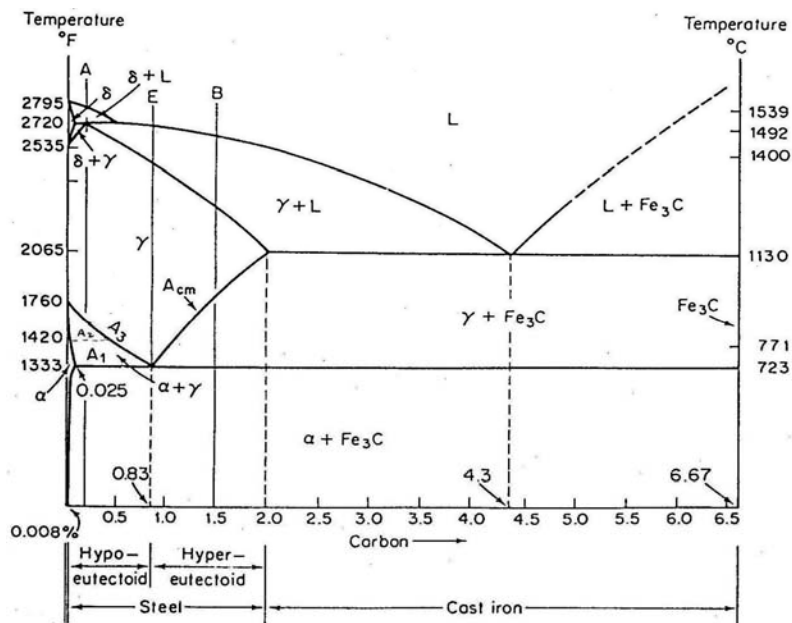
	<i>Jenis baja karbon</i>	<i>Prosentase unsur karbon (% C)</i>
1	Baja karbon rendah	$\leq 0,25 \%$
2	Baja karbon medium	$0,25 \% \div 0,55 \%$
3	Baja karbon tinggi	$\geq 0,55 \%$

Dengan memperhatikan diagram fasa tersebut maka baja karbon rendah adalah jenis baja hypoeutektoid karena prosentase unsur pemandu karbonnya tidak melebihi 0,8% dan hanya mengandung 0,112% C.

Yureman Zain (1993), komposisi kimia lembaran pelat baja karbon rendah produk PT. Krakatau Steel sebagai spesimen penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia baja karbon rendah

<i>Unsur</i>	<i>Prosentase (%)</i>	<i>Unsur</i>	<i>Prosentase (%)</i>
C	0,112	Ni	0,0143
Si	< 0,117	Mo	0,0065
Mn	0,443	Cu	0,0176
P	< 0,0008	Al	0,0381
S	< 0,0002	Fe	99,350
Cr	0,0085		



Gambar 1. Diagram Fe-C

## 2.2 Perlakuan Panas

Perlakuan panas (*heat treatment*) didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan yang terkontrol dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu pada baja/logam atau paduan. Terjadinya perubahan sifat tersebut dikarenakan terjadi perubahan struktur mikro selama proses pemanasan dan pendinginan, di mana sifat baja/logam atau paduan sangat dipengaruhi oleh struktur mikronya.

Perlakuan panas dibedakan: (a) proses laku panas dengan kondisi equilibrium, seperti annealing, normalising (b) proses laku panas non-equilibrium, seperti pengerasan (*hardening*).

Proses annealing untuk baja hypoeutektoid dilakukan dengan memanaskan sampai temperatur sedikit di atas temperatur kritisnya  $A_3$ , lihat Gambar 1 ( $25^\circ\text{C}$ – $50^\circ\text{C}$  di atas temperatur  $A_3$ ), dan ditahan beberapa saat pada temperatur tersebut, kemudian didinginkan dengan laju pendinginan lambat di dalam dapur. Sifat baja hasil proses annealing adalah menjadi lebih lunak dan ulet. (*tegangan tarik dan kekerasannya menurun*).

Proses normalising untuk baja hypoeutektoid dilakukan dengan memanaskan sampai temperatur sedikit di atas temperatur proses annealing yaitu mencapai  $50^\circ\text{C}$  di atas temperatur kritis  $A_3$  dengan laju pendinginan lebih cepat dari annealing yaitu pendinginan dengan udara terbuka. Hasil proses normalising baja akan berbutir lebih halus, lebih homogen dan lebih keras dari hasil annealing.

Proses pengerasan atau hardening untuk baja hypoeutektoid temperatur pemanasannya di atas temperatur kritisnya atau berada di fase austenit dan pendinginannya sangat cepat menggunakan media pendingin zat cair, seperti air,

oli dan sejenisnya, sehingga hasilnya diperoleh struktur martensit yang keras dan menjadikan sifat baja tersebut keras dan rapuh.

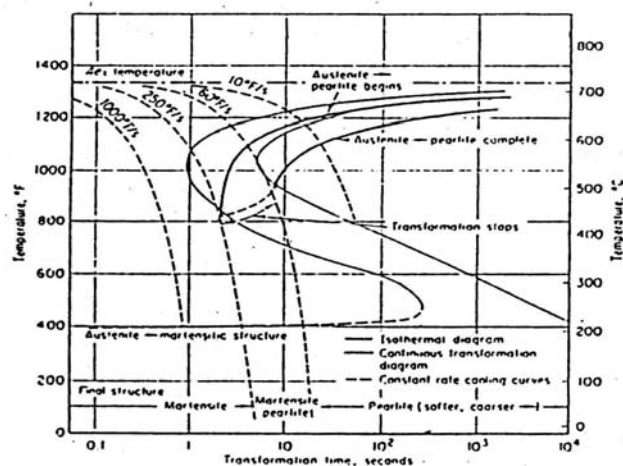
Proses tempering adalah pemanasan kembali hasil proses hardening, pemberian panas 50°C-100°C di bawah temperatur kritis  $A_1$  dan membiarkannya atau menahan temperatur tersebut beberapa saat, kemudian didinginkan dengan pendinginan lambat yaitu pada media udara terbuka. Hasil proses tempering adalah menghilangkan tegangan sisa dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhan bahan meskipun kekerasan dan tegangan tariknya menurun.

### 2.3 Pengerasan Regang (*Strain Hardening*)

Pengerasan regang merupakan salah satu proses pengerasan yang dilakukan pada logam yang sukar dikeraskan dengan proses heat treatment. Proses pengerasan regang yaitu membebani logam mencapai beban luluhnya ( $F_Y$ ) atau di daerah tegangan luluh ( $yield\ stress = \sigma_Y$ ). Konsep pengerasan regang adalah dislokasi yang menumpuk di bidang slip dalam struktur kristal, tumpukan tersebut menghasilkan tegangan balik (*back stress*) yang melawan tegangan pada bidang slip, atau dislokasi yang berinteraksi satu sama lain dengan penghalang (*barriers*) yang menghalangi gerak dalam sisi kristal.

### 2.4 Baja Fasa Ganda

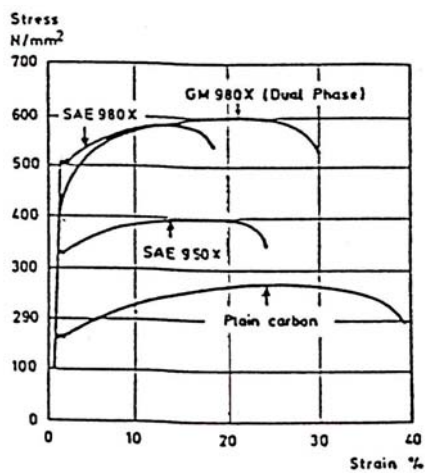
Baja hypoeutektoid dipanaskan di antara temperatur kritis atas ( $A_3$ ) dan temperatur kritis bawah ( $A_1$ ) (lihat Gambar 1), kemudian didinginkan dengan cepat melebihi laju pendinginan kritisnya (lihat Gambar 2), maka akan didapat baja fasa ganda (*dual phase*). Sebagai contoh baja dengan kadar karbon 0,2% dipanaskan sampai temperatur 800°C maka baja tersebut setelah kesetimbangan akan terdiri dari 50% ferrit ( $\alpha$ ) dan 50% austenit ( $\gamma$ ) yang mengandung 0,4% C seperti terlihat pada Gambar 5. Pendinginan cepat dari temperatur 800°C akan menghasilkan struktur martensit dalam matrik ferrit, di mana butir ferrit yang terbentuk setelah proses pembentukan fasa ganda adalah poligonal (*memiliki sisi banyak*).



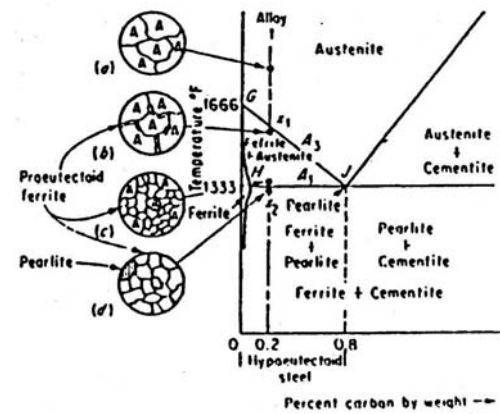
Gambar 2. CCT Diagram Baja Hypoeutektoid

Struktur martensit dalam bentuk matrik ferrit memiliki ciri atau sifat tegangan luluhnya rendah akibat adanya tegangan sisa dari proses transformasi austenit ke martensit dan penguatan regang yang mengikat (lihat Gambar 4).

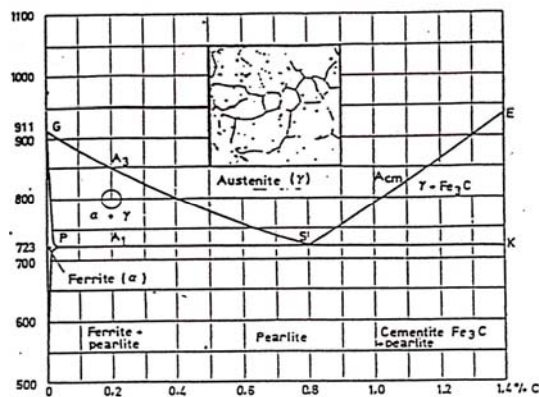
Pada temperatur kamar, baja hypoeutektoid terdiri dari butiran kristal ferrit dan pearlit. Apabila temperatur pemanasan mencapai tempertaur keitis bawah  $A_1$ , maka pearlit akan mengalami reaksi eutektoid sehingga lamel-lamel ferrit dan cementit dari pearlit akan bereaksi menjadi austenit. Transformasi austenit didahului dengan pengintian yang selanjutnya diikuti pertumbuhan kristal austenit (*ferrit BCC menjadi austenit FCC*) dan setelah temperatur mencapai  $A_3$  seluruh ferrit akan menjadi austenit, lihat Gambar 3 skema perubahan struktur mikro selama pemanasan.



Gambar 3. Skema Perubahan Struktur Mikro



Gambar 4. Diagram Stress-Strain Selama Pemanasan Fasa Ganda dan Baja karbon



Gambar 5. Pemanasan Equilibrium pada 800°C baja 0,2%C mengandung 50%  $\alpha$  dan 50%  $\gamma$

### 3. METODE PENELITIAN

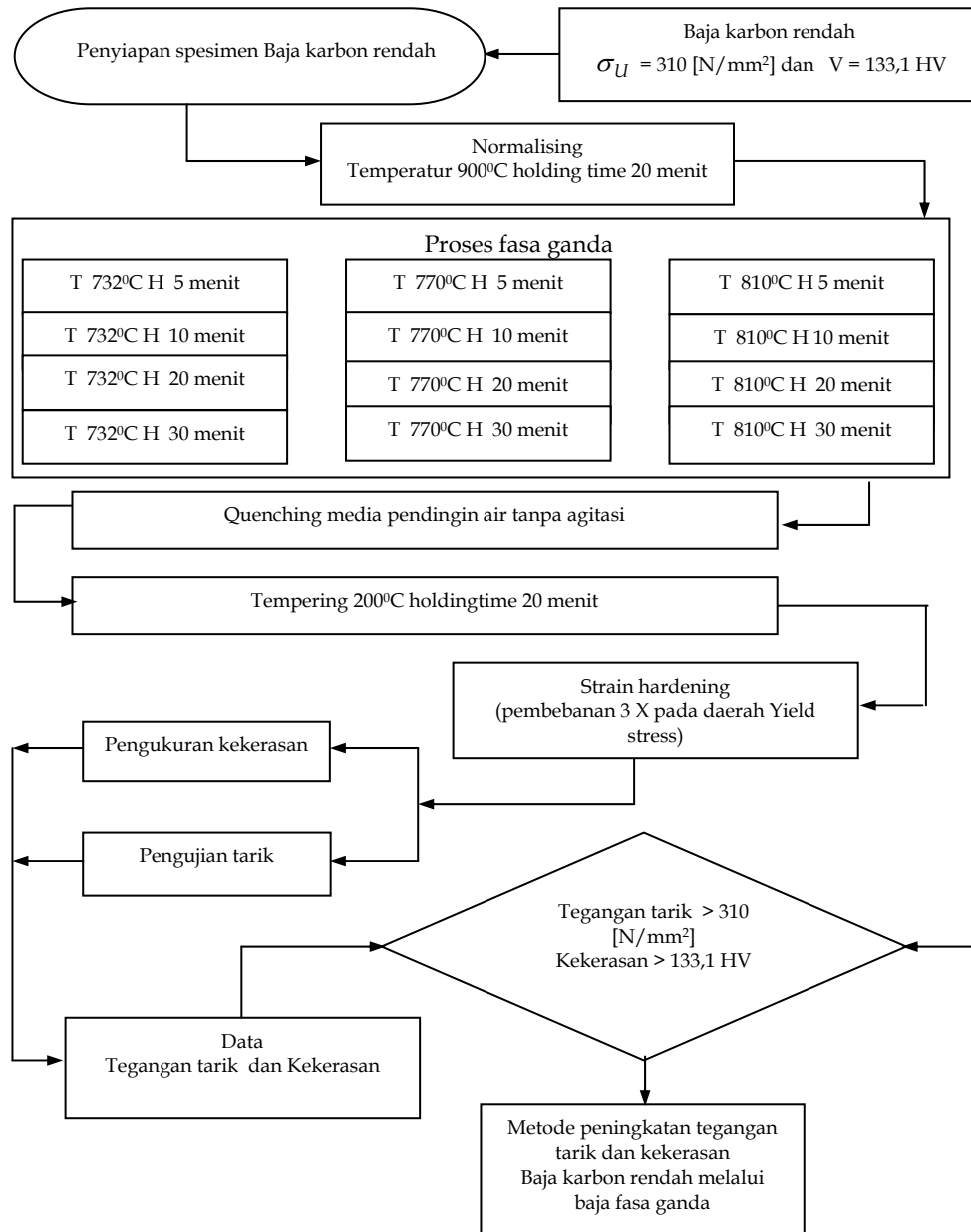
Sebelum proses pembentukan fasa ganda seluruh spesimen terlebih dahulu dinormalising pada temperatur 900°C dengan waktu penahanan 20 menit guna mendapatkan kondisi struktur bahan yang homogen. Kemudian melakukan pembentukan fasa ganda untuk masing-masing kelompok spesimen, yaitu kelompok pemanasan temperatur 732°C, kelompok pemanasan temperatur 770°C, dan kelompok pemanasan temperatur 810°C, dengan waktu penahanan masing-masing kelompok spesimen dikelompokkan juga, yaitu kelompok waktu penahan 5 menit, kelompok 10 menit, kelompok 20 menit, dan kelompok 30 menit. Seluruh spesimen hasil proses pemanasan didinginkan dengan cepat (*di-quick*) dalam air tanpa agitasi, selanjutnya semua spesimen di temper pada temperatur 200°C dengan waktu penahanan (*holding time*) selama 20 menit dan langkah terakhir spesimen di keraskan dengan pengerasan regang (*strain hardening*). Setelah baja karbon fasa ganda terbentuk maka dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui tegangan tarik yang dihasilkan dan pengukuran nilai kekerasannya. Tolok ukur keberhasilan penelitian adalah adanya peningkatan tegangan tarik dan nilai kekerasan baja karbon rendah paska fasa ganda lebih besar dari pra fasa ganda yaitu tegangan tarik lebih besar dari 310 [N/mm<sup>2</sup>] dan nilai kekerasan lebih besar dari 133,1 [HV]. Untuk lebih jelasnya metode penelitian ditunjukkan diagram alir penelitian Gambar 6.

Pelaksanaan penelitian:

1. Menyiapkan spesimen pelat baja yang mempunyai prosentase 0,112%C produk PT. Krakatau Steel, dengan ukuran sesuai sampel uji tarik standar JIS Z 2201 sebanyak 4x3x3+3=39 buah. (3 buah spesimen baja karbon rendah sebagai data awal, 36 buah untuk diproses fasa ganda)
2. Identifikasi spesimen, Spesimen hasil normalising A<sub>0</sub>, proses selanjutnya spesimen hasil pemanasan 732°C=A, 770°C=B, dan 810°C=C, sedangkan parameter waktu penahanan 1=5 menit, 2=10 menit, 3=20 menit, 4=30 menit. (*contoh penjelasan arti spesimen B2 adalah temperatur pemanasan 770°C dengan holdingtime 10 menit*)
3. Spesimen di normalising dengan temperatur 900°C holding time 20 menit dengan maksud untuk mengkondisikan struktur logamnya menjadi homogen, sedangkan media pemanasnya adalah dapur pemanas (*Electrically heated muffle furnace*) merk HOFMAN type E 80, daya 3,3 Kw dan temperatur maksimum 1100°C, kapasitas ruang 200 mmx200 mmx300 mm.
4. Hardening pembentukan fasa ganda menggunakan dapur merk Hofman sama seperti proses normalising.
  - 3 spesimen untuk temperatur 732°C holding time 5 menit. 3 spesimen untuk temperatur 732°C holding time 10 menit. 3 spesimen untuk temperatur 732°C holding time 20 menit. 3 spesimen untuk temperatur 732°C holding time 30 menit.
  - 3 spesimen untuk temperatur 770°C holding time 5 menit. 3 spesimen untuk temperatur 770°C holding time 10 menit. 3 spesimen untuk temperatur 770°C holding time 20 menit. 3 spesimen untuk temperatur 770°C holding time 30 menit.

- 3 spesimen untuk temperatur 810°C holding time 5 menit. 3 spesimen untuk temperatur 810°C holding time 10 menit. 3 spesimen untuk temperatur 810°C holding time 20 menit. 3 spesimen untuk temperatur 810°C holding time 30 menit.

Media pendingin untuk proses pembentukan fasa ganda adalah air tanpa agitasi.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

5. Semua hasil proses pembentukan fasa ganda di tempering dengan temperatur 200°C dan holding time 20 menit.
6. Semua spesimen dilakukan proses pengerasan regang (*strain hardening*) dengan tujuan mempertinggi tegangan tarik dan sekaligus mempertinggi nilai kekerasannya. Cara kerja pengerasan regang : spesimen dibebani mencapai tegangan luluh dan beban dihentikan, kemudian spesimen dibebani kembali sampai tegangan luluhnya dan bebanpun dihentikan, begitulah seterusnya dilakukan pembebanan sampai tiga kali berturut. Pengerasan regang menggunakan mesin uji tarik.
7. Pengujian tarik untuk mendapat tegangan tarik maksimum spesimen setelah menjadi baja fasa ganda. Mesin tarik yang digunakan merk Tarno Test spesimen standar JIS Z 2201.
8. Pengukuran nilai kekerasan setelah spesimen menjadi baja fasa ganda. Kekerasan menggunakan metode Vickers, mesin hardness test gaya tekan 5 [N] kemampuan kekerasan HV5.
9. Membandingkan tegangan tarik dan kekerasan terhadap baja karbon rendah sebelum dijadikan baja fasa ganda.
10. Jika tegangan tarik dan kekerasan baja fasa ganda lebih tinggi dari baja karbon rendah maka proses pembentukan fasa ganda tersebut merupakan metode peningkatan tegangan tarik dan kekerasan baja karbon rendah yang dihasilkan penelitian ini.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

- a. Hasil pengujian tarik dan pengukuran nilai kekerasan baja karbon rendah 0,112%C dari 3 buah spesimen ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data uji tarik dan nilai kekerasan baja karbon rendah

Spesimen	$A_0$ [mm <sup>2</sup> ]	$F_Y$ [N]	$\sigma_Y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$F_u$ [N]	$\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$L_0$ [mm]	$L_1$ [mm]	$\epsilon$ %	Digonal [mm]	V [HV]	$\bar{V}$
A <sub>0</sub>	28	6500	232,1	8200	292,8	80	106,2	32,2	26,7	130,1	133,1
	28	7000	250,0	8700	310,0	80	105,5	31,5	26,0	137,2	
	28	6900	246,4	8600	307,1	80	106,5	33,1	26,5	132,0	
Tegangan luluh			242,8	Tegangan tarik mak		310	Kekerasan rata-rata		133,1		

- b. Hasil pengujian tarik dan pengukuran nilai kekerasan baja karbon rendah setelah proses pembentukan fasa ganda dan pengerasan regang, diperlihatkan Tabel 4.



Tabel 4. Data uji tarik dan nilai kekerasan baja fasa ganda setelah pengerasan regang

Spesimen	Temperatur [°C]	$F_U$ [N]	$\sigma_U$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$L_o$ [mm]	$L_1$ [mm]	$\epsilon$ %	Diagonal rata-rata [mm]	V [HV]	$\bar{V}$	$F_Y$ [N]	$\sigma_Y$ [N/mm <sup>2</sup> ]
A <sub>1</sub>	732	11700	417,8	80	93,1	16,4	26,3	165,0	167,0	9200	328,6
		10900	389,3	80	92,1	15,1	26,0	1168,0		8700	310,7
		11600	414,3	80	92,5	15,6	25,7	168,0		8800	314,3
B <sub>1</sub>	770	13300	475,0	80	90,5	13,2	24,5	165,0	169,3	10600	378,6
		12900	460,7	80	90,7	13,4	24,7	175,0		9300	332,1
		13100	467,8	80	90,2	12,7	25,0	168,0		10400	371,4
C <sub>1</sub>	810	13200	471,4	80	90,6	13,3	24,7	165,0	170,3	10400	371,4
		12900	460,7	80	90,0	12,5	25,7	178,0		9600	342,8
		12900	460,7	80	91,1	13,9	24,5	168,0		9700	346,4
A <sub>2</sub>	732	12300	439,3	80	91,8	14,8	24,5	175,0	172,7	9500	339,3
		13200	471,4	80	90,9	13,6	25,5	172,0		10300	367,8
		13200	472,4	80	91,6	14,5	25,7	171,0		9600	342,8
B <sub>2</sub>	770	13600	495,7	80	89,7	12,1	24,7	175,0	174,0	10200	364,3
		12900	460,7	80	90,9	13,6	25,5	172,0		10400	371,4
		14000	500,0	80	90,2	12,7	24,3	175,0		11200	400,0
C <sub>2</sub>	810	14000	500,0	80	89,7	12,2	23,2	175,0	166,7	10900	389,3
		13000	464,3	80	90,0	12,5	25,0	164,0		10700	382,1
		14100	503,6	80	90,2	12,8	24,3	161,0		11100	396,4
A <sub>3</sub>	732	13900	496,4	80	90,4	13,0	24,7	172,0	173,3	10800	385,7
		12800	457,1	80	90,4	13,0	25,0	180,0		9900	353,6
		12600	450,0	80	89,7	12,1	24,5	168,0		10500	375,0
B <sub>3</sub>	770	15500	553,6	80	88,2	10,2	24,5	188,0	186,6	11900	425,0
		15900	567,8	80	89,4	11,7	24,7	192,0		12600	450,0
		14800	528,6	80	88,1	10,1	24,0	180,0		11500	410,7
C <sub>3</sub>	810	12800	457,1	80	90,2	12,7	24,8	165,0	169,3	10300	367,8
		14000	500,0	80	89,6	12,0	25,2	168,0		10500	375,0
		12500	446,4	80	89,3	11,6	25,5	175,0		9800	350,0
A <sub>4</sub>	732	13100	467,8	80	89,5	11,9	25,3	180,0	172,0	10300	367,8
		13600	485,7	80	90,6	23,3	24,5	168,0		11100	396,4
		13500	482,1	80	90,5	13,2	24,7	168,0		10400	371,4
B <sub>4</sub>	770	15200	542,6	80	89,8	11,0	24,5	175,0	179,0	12400	442,8
		15600	557,1	80	89,7	12,1	24,2	180,0		12600	450,0
		14800	528,6	80	89,4	11,7	23,7	182,0		10700	362,1
C <sub>4</sub>	810	13700	489,3	80	89,0	11,3	25,7	168,0	171,6	9800	350,0
		13700	489,3	80	89,9	12,4	25,0	175,0		9800	350,0
		13200	471,4	80	89,4	11,7	24,5	172,0		9500	339,3

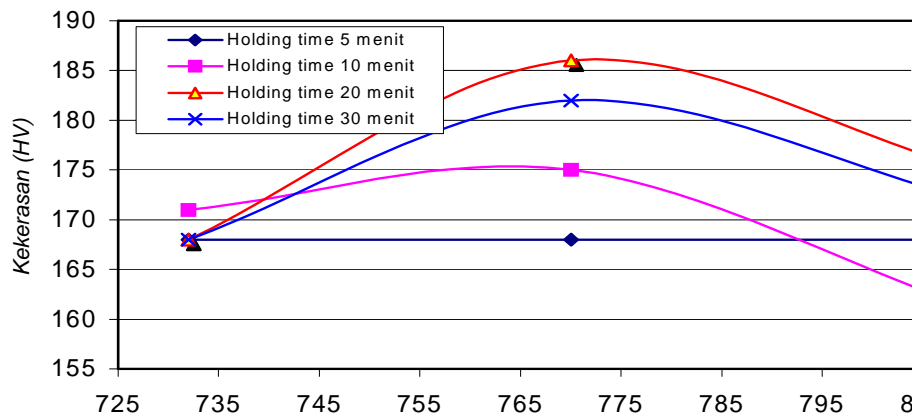
Keterangan :

Tegangan tarik rata-rata 567 [N/mm<sup>2</sup>] dengan nilai kekerasan yang tinggi 186,6 [HV] terdapat pada hasil proses B<sub>3</sub> yaitu baja fasa ganda temperatur 770°C dengan holding time 20 menit.

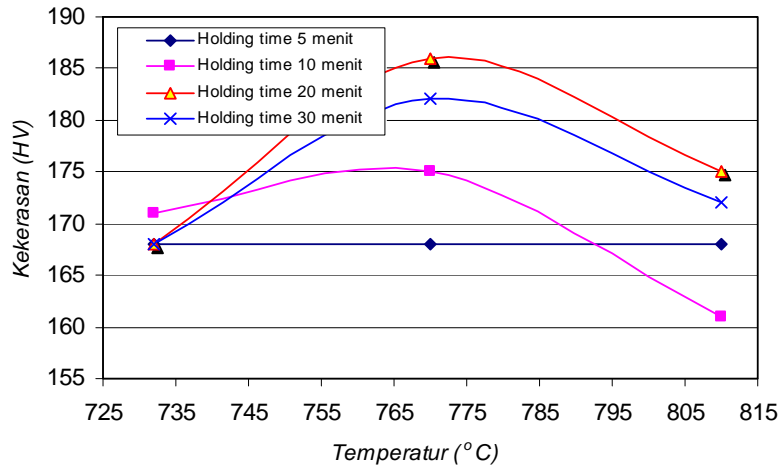
Dari data percobaan yang telah ditebelkan pada Tabel 4, didapatkan bahwa tegangan tarik maksimum dan kekerasan maksimum baja karbon rendah melalui baja fasa ganda dihasilkan menggunakan temperatur pemanasan 770°C dengan holding time 20 menit.

Untuk mengetahui lebih jelas adanya peningkatan sifat mekanik baja karbon rendah setelah pemebentukan fasa ganda, maka data hasil uji tarik dan pengukuran kekerasan tersebut dibuat grafiknya, dan selanjutnya perhatikan

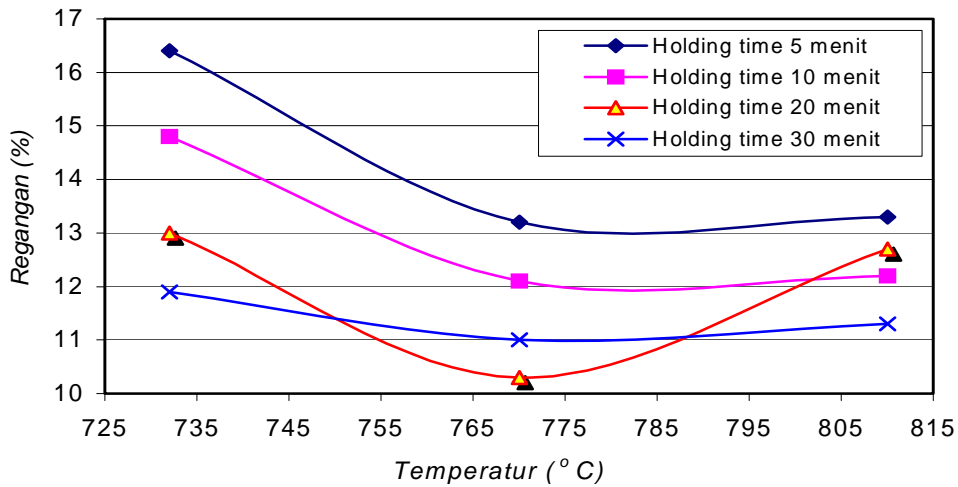
Gambar 6. Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa pada temperatur pemanasan 770°C terjadi kenaikan tegangan tarik untuk semua holding time, demikian pula untuk nilai kekerasannya terjadi kenaikan pula pada temperatur 770°C, lihat Gambar 7. Terjadinya kenaikan tegangan tarik dan kekerasan pada temperatur pemanasan 770°C dikarenakan pada temperatur tersebut jumlah austenit dan atom karbon yang larut mencapai angka optimal, sehingga setelah diquench akan terbentuk kekerasan yang tinggi yaitu struktur logam campuran martensit-ferrit dalam bentuk matrik ferrit. Kenaikan tegangan tarik mencapai maksimum adalah hasil temperatur pemanasan 770°C holding time 20 menit, demikian pula kenaikan kekerasan mencapai maksimum hasil temperatur 770°C holding time 20 menit. Sedangkan regangan yang terjadi setelah proses strain hardening berlangsung 3 kali pembebanan mencapai yield stress  $\sigma_Y=428,6$  [N/mm<sup>2</sup>] atau sampai beban yield  $F_Y=2000$  [N] regangan menjadi 10,7%, artinya untuk metode pembentukan baja fasa ganda dengan temperatur pemanasan 770°C dan holding time 20 menit memiliki nilai regangan lebih kecil dibandingkan dengan hasil temperatur dan holding time yang lain (lihat Gambar 8).



Gambar 6. Tegangan tarik fungsi temperatur dan holding time



Gambar 7. Kekerasan fungsi temperatur dan holding time



Gambar 8. Regangan fungsi temperatur dan holding time

## 5. SIMPULAN DAN SARAN

Metode untuk meningkatkan tegangan tarik dan kekerasan baja karbon rendah hasil penelitian adalah dengan membentuk baja karbon rendah menjadi baja fasa ganda dengan cara sebagai berikut :

“Baja karbon rendah dinormalising terlebih dahulu dengan temperatur 900°C holding timanya 20 menit dan didinginkan dengan media udara terbuka, kemudian proses pembentukan fasa ganda dengan temperatur pemanasan 770°C holding time 20 menit dan diquench media air tanpa agitasi, selanjutnya proses tempering temperatur 200°C holding time 20 menit dan pendinginan media udara terbuka, terakhir pengerasan regang dengan pembebanan mencapai tegangan luluh baja fasa ganda yang dihasilkan sebanyak 3 kali pembebanan”.

Dengan metode tersebut dapat meningkatkan tegangan tarik baja karbon rendah yang semula 310 [N/mm<sup>2</sup>] menjadi 567,6 [N/mm<sup>2</sup>], dan kekerasan meningkat dari 133,1 [HV] menjadi 186,6 [HV].

Penelitian ini berhasil mendapatkan metode perbaikan sifat mekanik baja karbon rendah, sehingga disarankan untuk rekayasa perbaikan sifat mekanik baja karbon rendah sebaiknya menggunakan metode hasil penelitian ini.

#### PUSTAKA

- [1] George, E.D. (1996) *Mechanical Metallurgy 2<sup>nd</sup> ed*, Mc Graw Hill, Kagokusho Ltd, Sigapure.
- [2] Herman, W.P. (1991) *Meterials Sience And Metallurgy*, Reston Publising Company, Virginia.
- [3] Japanese Standart Associatio. (1980) *JIS Hand Book*, Akosaka 4 Chome, Minatuko, Tokyo, Japan.
- [4] Karl-Eric, T. (1994) *Steel and Its Heat Treatment*, Second Edition, Buffer Warth & Co, Boston, London.
- [5] Sidney, H.A. (1994) *Introduktion to Physical Metallurgy*, Second Edition, Mc Graw Hill Book Company, New York.
- [6] Wahid, S. (1990) *Ilmu Logam I*, Teknik Mesin Fakultas Teknik Industri ITS, Surabaya.
- [7] Yureman, Z. (1993) *Laporan Hasil Analisa Komposisi Kimia Bahan Baja*, Lab QC/QA Foundry Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung.