

# PENGARUH *QUENCHING* DAN MEDIA PENDINGIN TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS BAJA PADUAN $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$

Budi Arto<sup>1</sup> dan Kimar Turnip<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia  
Jl. Sutoyo, Cawang, Jakarta Timur  
<sup>1</sup>email : budidamz @ yahoo. com

## ABSTRACT

*The mechanical properties of  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  steel alloy have improved, especially hardness after been subjected to various quenching media. Samples were heated at austenite temperature  $800^{\circ}C$  and 2 hours holding time, then quenched in water, oil, and salt water. The microstructures obtained were used to explain the results using optical microscope. Crystal structure and hardness were studied using X-Ray Diffractometer and Brinell Hardness Test. The hardness values of the quenched samples were 375 HB in salt water media, 257 HB in water media, and 231 HB in oil media. Crystal transformation from FCC  $\gamma$ -austenit to BCT  $\alpha$ -martensit were observed in optical microscope and  $2\theta$  peak values of XRD test result.*

*Keywords :  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  steel alloy, quenching, physical and mechanical properties.*

## 1. PENDAHULUAN

Penelitian sifat fisis dan mekanik pada baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  dilakukan dalam rangka melaksanakan kebutuhan untuk mengetahui karakter dari bahan struktur yang dipergunakan pada temperatur dan tekanan tinggi serta kekuatan tinggi. Karakterisasinya dilakukan untuk mencari bahan struktur yang dapat digunakan sebagai komponen braket untuk alat berat dan komponen pembangkit listrik, memerlukan taraf ketangguhan yang tinggi. Secara umum bahan tidak selalu terbebas dari tegangan internal yang tertinggal; yakni tegangan sisa. Efek tegangan ini muncul ketika bahan mudah terserang korosi lingkungan dan saat diberi beban terjadi retak patahan. Banyak kegagalan komponen diakibatkan oleh sifat mekanik yang satu ini. Kehadiran tegangan sisa dalam komponen hasil proses manufaktur, dapat menginduksi tegangan sisa tarik atau tekan. Tegangan sisa menyebabkan prematur *yielding* dan menurunkan kekakuan bahan. Tegangan ini dapat menurunkan

daerah proporsional, sehingga kelakuan elastik bahan tidak dapat diprediksi dengan benar. Besar rata-rata tegangan sisa dalam bahan penting diketahui dalam memahami pengaruh tegangan sisa pada kelakuan komponen. Beberapa usaha untuk meminimumkan pengaruh tegangan sisa banyak dilakukan. Proses celup cepat (*quenching*) merupakan salah satu usaha untuk meningkatkan sifat mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses celup cepat pada baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  akibat perlakuan panas kemudian dicelup cepat pada media pendingin bervariasi yaitu air garam, air, dan oli.

## Teori

Pengamatan tegangan internal dalam bahan dapat ditelusuri dari fenomena tegangan internal kisi dalam sebuah kristal. Tegangan ini berbanding langsung dengan regangan elastik kisi yang terjadi di dalam kristal penyusun bahan. Besaran regangan dapat diturunkan dari hukum difraksi Bragg,

$$2 d_{hkl} \sin \theta_{hkl} = \lambda \dots\dots\dots (1)$$

dimana  $d_{hkl}$  adalah jarak bidang kisi kristal yang berkaitan dengan bidang refleksi Bragg ( $hkl$ ) yang teramati pada suatu sudut hambur  $2\theta_{hkl}$ ,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X dan ( $hkl$ ) adalah indeks Miller bidang difraksi. Kebanyakan alat menggunakan metode pengukuran panjang gelombang tetap, seperti Difraktometer sinar-X, maka pada kondisi ini digunakan diferensiasi  $d_{hkl}$  terhadap  $\theta_{hkl}$  menjadi persamaan:

$$\Delta d/d = -\cot \theta \Delta \theta \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan ini menggambarkan regangan kisi,

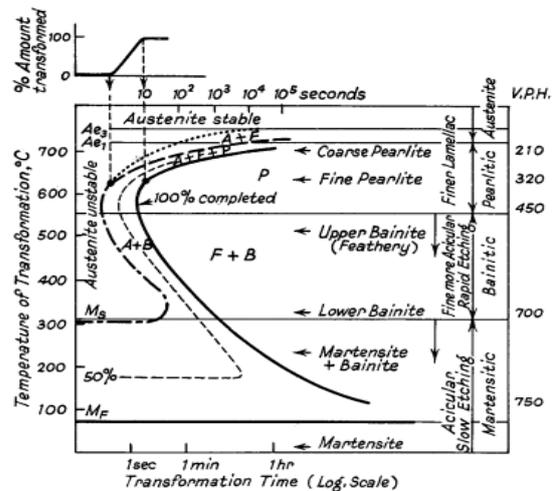
$$\varepsilon = (d-d_0)/d_0 = \Delta d/d_0 \dots\dots\dots (3)$$

yang kecil dalam kristal bahan yang dapat diidentifikasi dari sedikit pergeseran puncak difraksi. Dari pengukuran perubahan sudut hamburan  $\Delta 2\theta = -2 \varepsilon \tan \theta$ , regangan  $\varepsilon$  dapat diprediksi. Pada cuplikan yang berukuran besar, regangan  $\varepsilon$  merupakan harga rata-rata dari regangan yang terjadi didalam bahan untuk bidang ( $hkl$ ) tertentu. Pada kasus ini  $\varepsilon$  akan diukur untuk arah sumbu kristalografi  $a$ . Dalam bahan ada sejumlah kristal dengan bidang hambur ( $hkl$ ) tegak lurus terhadap arah pengukuran regangan yang diamati dari sudut puncak difraksi. Jarak antar bidang kristal bahan yang tidak mengalami regangan harus ditentukan dengan cermat agar regangan mutlak (*absolute strain*) dapat ditentukan dengan pasti. Oleh karena perubahan yang bervariasi terhadap nilai  $d_0$  akibat perubahan komposisi fasa dalam bahan, sangat mempengaruhi terjadinya regangan, bila fluktuasi selisih  $d_0$  yang dibandingkan dengan  $d_0$  mengakibatkan perubahan tegangan pada besaran skalar dan volume.

**Perlakuan Panas**

Proses perlakuan panas baja adalah memanaskan baja sampai suhu tertentu, kemudian diikuti dengan proses penahanan suhu pada kurun waktu tertentu dan diakhiri dengan proses pendinginan dengan laju tertentu untuk menghasilkan sifat baja sesuai kebutuhan. Melalui proses perlakuan panas sifat mekanik baja berubah, tergantung dari beberapa faktor dibawah ini.

- a. Kondisi baja sebelum dipanaskan: Jumlah dan jenis struktur mikro, dimensi dan tingkat deformasi.
- b. Proses pemanasan: tinggi dan rendah serta cepat atau lambatnya laju pemanasan diharapkan mencapai target terjadi transformasi dari larutan padat Fe- $\alpha$  (*ferrit*) menjadi larutan padat Fe- $\gamma$  (*austenite*).
- c. Proses penahanan: Kurun waktu penahanan suhu diharapkan menjadi target keseragaman *austenite* di dalam baja. Kurun waktu pemanasan tergantung pada struktur mikro awal, dimensi, komposisi baja, waktu penahanan suhu dan media di ruang reaksi.



Gambar 1. TTT Diagram (Time Transformation Temperature)

- d. Proses pendinginan: yaitu cepat atau lambatnya laju pendinginan. Proses pendinginan diharapkan menghasilkan

struktur mikro sesuai dengan yang diinginkan. Sifat baja yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kondisi baja setelah penahanan suhu (struktur mikro, dimensi dan komposisi) dan proses pendinginan (kecepatan laju serta suhu pendinginan yang diberikan).

### Transformasi Austenite

Seperti kita ketahui fasa padat *austenite* didalam baja karbon terjadi diatas suhu  $900^{\circ}\text{C}$ . Dari suhu tersebut, apabila dilakukan proses pendinginan lambat maka pada saat suhu mencapai titik  $\text{Ac}_3$  larutan padat Fe- $\gamma$  (*austenite*) tertransformasi membentuk Fe- $\alpha$  (*ferrit*). Mekanisme transformasi tersebut terjadi karena pergeseran atom-atom besi dari *face centered cubic* (FCC) menjadi *body centered cubic* (BCC).

Kondisi diatas tidak akan terjadi pada proses pendinginan cepat, karena proses transformasi dari Fe- $\gamma$  menjadi Fe- $\alpha$  mengalami penekanan sehingga atom-atom besi dalam *latis* FCC tidak memiliki waktu untuk membentuk *lattice* BCC. Akibatnya titik  $\text{Ac}_3$  bergeser lebih rendah dan apabila pergeseran tersebut terjadi sehingga suhu kamar maka pada suhu kamar didapat larutan padat  $\gamma$ -Fe (sisa fasa  $\gamma$ -austenit). Selain kecepatan atau laju pendinginan, jumlah kandungan karbon atau unsur paduan, temperatur pencelupan akan mempengaruhi jumlah sisa *austenite* yang terjadi hingga suhu kamar. Oleh karena itu pengamatan terhadap struktur mikro, struktur Kristal dan kekerasan baja paduan perlu dilakukan untuk mengetahui sejauh mana efektifitas proses celup cepat dalam pendinginan yang beda yang telah dilakukan dalam penelitian ini.

## 2. METODOLOGI

### Bahan:

Baja paduan  $\text{Fe}_{97,91}\text{Mn}_{1,60}\text{C}_{0,41}$  diperoleh dari laboratorium perusahaan pengecoran di Jakarta.

### Peralatan:

Furnace induksi Wilmont dan alat persiapan untuk metalografi di Laboratorium Metalurgi,

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UKI, Mikroskop Optik dan alat Difraktometer sinar-x dari Laboratorium Pusat UIN Jakarta, serta pengukuran kekerasan dengan metode Brihnell sesuai standar ASTM E-92 yang sudah terkalibrasi dengan baik.

### Cara kerja

#### Pembuatan Sampel Uji

Pembuatan material dan sampel uji menggunakan metode pengecoran logam. Diawali dengan pembuatan cetakan pasir, kemudian pelapisan coating. Kemudian dilakukan proses pengecoran baja paduan  $\text{Fe}_{97,91}\text{Mn}_{1,60}\text{C}_{0,41}$  dari proses peleburan logam. Dan setelah itu proses pendinginan hingga suhu ruang dan proses pembersihan dari sisa pasir cetak dilakukan pada PT. X di Jakarta. Pada penelitian ini baja paduan  $\text{Fe}_{97,91}\text{Mn}_{1,60}\text{C}_{0,41}$  yang dihasilkan akan dilanjutkan dengan proses perlakuan panas, dimana dengan menggunakan perhitungan temperatur  $\text{Ac}_3$ , dengan rumus empiris *Andrews* maka didapatkan :

- Temperatur kritis  $\text{Ac}_3$  minimum :  $\text{Ac}_3 \text{ min} = 720,34^{\circ}\text{C}$
- Temperatur kritis  $\text{Ac}_3$  maksimum :  $\text{Ac}_3 \text{ maks} = 799,01^{\circ}\text{C}$

Selanjutnya penentuan temperatur celup cepat diambil dari temperatur kritis  $\text{Ac}_3$  maksimum yaitu  $799,01^{\circ}\text{C}$  dengan pembulatan  $800^{\circ}\text{C}$  ditambah  $\pm 30^{\circ}\text{C}$  dengan pertimbangan jeda waktu 5 detik dari furnace ke tempat media pendingin. Pemanasan ditetapkan  $800^{\circ}\text{C}$  dengan *holding time* 2 jam dan kemudian dicelup cepat dengan variasi media pendingin yaitu air, oli, dan air garam.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian komposisi kimia

Pengujian komposisi unsure kimia menggunakan *Atomic Emission Spectrography*, suatu sistem analisa yang berpatokan pada intensitas pancaran spektrum atom suatu elemen : misalnya C, Mn, Cr, Si. Metode pengukuran intensitas elemen dengan menggunakan

photomultiplier. Tipe mesin yang digunakan yaitu Spektrometer OES 5000-II.

Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia dari baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$

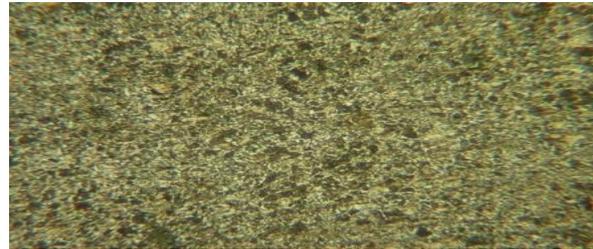
	%	C	Si	Mn	P	S
Standar JIS G5111	Min	0.40	0.30	1.00	-	-
	Maks	0.50	0.60	1.60	0.40	0.04
Hasil pengujian		<b>0,41</b>	<b>0,35</b>	<b>1,60</b>	<b>0,016</b>	<b>0,013</b>

Analisa dari pengujian komposisi kimia diatas seperti tercantum pada tabel 1, hasil uji komposisi kimia baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  yang dihasilkan memenuhi dalam standar komposisi kimia yang dipersyaratkan, terlihat komposisi unsur C, Si, Mn, P dan S berada pada posisi diantara range standar.

**a. Analisa pengamatan struktur mikro dari baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ .**

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik, yang memberikan analisis permukaan bahan cukup lengkap. Studi struktur mikro ini terkait pada kemampuan membedakan secara detail komposisi kimia, struktur atau orientasi berlainan, dalam daerah yang berdekatan. Teknik penampakan struktur mikro hampir seluruhnya didasarkan pada tanggapan detail konstituen terhadap radiasi datang atau pada kualitas intensitas radiasi yang dipancarkan oleh obyek saat tereksitasi secara sempurna. Kekontrasan obyek diperlihatkan sebagai daerah terang dan gelap. Efek refraksi pada batas fasa dapat membiaskan cahaya terang dan menggelapkan daerah tetangganya. Intensitas efek ini bergantung pada indeks bias. Struktur mikro permukaan baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  sebelum dan sesudah di celup cepat pada media pendingin yang berbeda ini dianalisis berdasarkan daerah terang-gelap atau tinggi-rendah intensitas cahaya. Pengamatan struktur mikro sampel baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  sebelum dan sesudah perlakuan panas dan celup cepat di

berbagai media pendingin seperti air, oli dan air garam pada penelitian ini menggunakan mikroskopi optic, dapat dilihat pada gambar 1, 2a, 2b, dan 2c.



Gambar 1. Struktur mikro baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  sebelum perlakuan panas (Pemb. 100x)

Struktur mikro yang dihasilkan proses pengerasan akan menentukan sifat-sifat mekanis baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ , terutama kekerasan karena salah satu tujuan utama dari proses pengerasan adalah untuk meningkatkan kekerasan baja.

Karena pendinginan yang mendadak, tidak ada waktu yang cukup bagi fasa austenit untuk berubah menjadi fasa perlit dan fasa ferit atau fasa perlit dan fasa sementit.

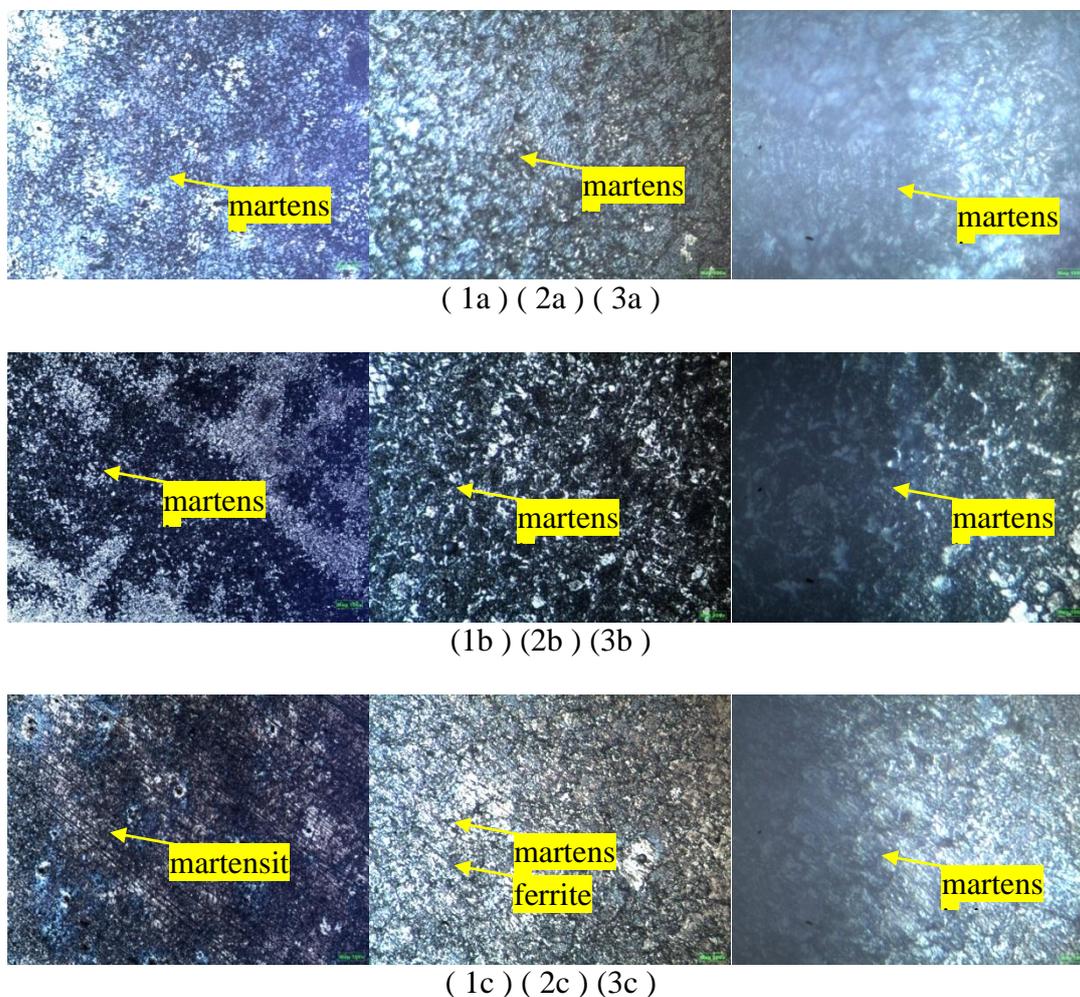
Peningkatam kekerasan ini diperoleh melalui pembentukan fasa martensit sebanyak mungkin melalui perlakuan panas dan celup cepat di media air, air garam, dan oli. Dengan semakin banyak fasa martensit yang terbentuk maka akan semakin tinggi nilai kekerasan baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  tersebut. Oleh karena itu pengerasan terhadap struktur mikro baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  yang terbentuk perlu dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh media pendinginan.

Hasil pengamatan fasa martensit adalah berbentuk martensit lath (berbentuk garis) yang tersusun parallel satu sama lain. Hal ini disebabkan kandungan karbon pada baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  hanya 0,42 % berat, sesuai hasil uji komposisi elemen dengan spektrometer. Ciri-ciri utama dari struktur *lath martensite* adalah kecenderungan membentuk struktur parallel di dalam butir austenit sisa. Kemampuan pengerasan yang

tinggi pada baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  ini disebabkan oleh adanya kandungan sejumlah unsur-unsur paduan seperti C, Mn, Si, P, dan S.

Baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  ditambahkan dengan unsur karbon (C) akan

meningkatkan kekerasan dan kekuatan melalui perlakuan pemanasan tapi penambahan karbon dapat memperlebar range nilai kekerasan dan kekuatan bahan.



Gambar 2. Struktur mikro baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  dicelup cepat pada Media 1a) air garam, 1b). air, dan 1c). oli, Pembesaran (1). 100x, (2). 500x, dan (3). 1000x

Unsur mangan (Mn) yang ditambahkan ke dalam baja akan memperbaiki sifat *hot working* dan meningkatkan kekuatan, ketangguhan dan mampu keras. Sedangkan silikon (Si) digunakan sebagai *deoxidizing (killing) agent* dalam peleburan baja. Namun pada baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  ini adanya unsur unsur (S) yang ditambahkan dalam jumlah kecil, sulfur dapat memperbaiki mampu mesin tapi tidak menyebabkan *hot shortness*. *Hot shortness*

merupakan fenomena getas pada kondisi suhu tinggi yang disebabkan oleh sulfur. Kehadiran sulfur dapat mengikat Fe menjadi FeS. Senyawa ini terkonsentrasi di batas butir dan melebur di bawah *temperature melting* baja. Disebabkan titik lebur FeS, maka kohesi antara butir-butir menjadi hancur dan menyebabkan crack saat butir mengembang. Fenomena terjadi saat baja di tempa atau roll saat suhu kerja meningkat. Sehingga harus ditambahkan Mn untuk mengikat sulfur

menjadi MnS. Unsur fosfor (P) biasanya ditambahkan dengan sulfur(S) untuk memperbaiki mampu mesin di baja paduan rendah. Dengan penambahan sedikit unsur fosfor dapat membantu meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi. Kehadiran fosfor di dalam baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  dapat meningkatkan kekuatan. Penambahan fosfor juga dapat meningkatkan kerentanan terhadap *crack* saat pengelasan. Unsur P dan S sangat diperlukan untuk meningkatkan mampu alir dari cairan besi.

Jika diamati dari baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  belum dipanaskan dan baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  di media air garam, dimana butiran terlihat besar (lunak) sedang pada media air dan air garam, butiran (*grain*) besar bercampur dengan butiran kecil memanjang (presipitat) seperti lempeng dan jarum (lath martensite). Butiran-butiran ini mampu menghalangi pergerakan dislokasi yang menyebabkan kekerasan bahan sedikit naik dari bahan asli (baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ ). Butiran-butiran besar mendominasi seluruh permukaan bahan tidak terbentuk peregangan lokal sehingga dislokasi dapat bergerak bebas dan baja pun menjadi lunak mendekati bahan asli.

#### b. Analisa kekerasan bahan baja paduan $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$

Hasil uji kekerasan dengan metode Brinell pada baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  yang diperlakukan celup cepat dan dimedia pendingin air garam, air, dan oli dapat dilihat pada Tabel 2.

Sebelum proses celup cepat, cuplikan dipanaskan pada temperatur 800°C dengan *holding time* 2 jam, kemudian dicelup cepat pada variasi media pendingin yaitu air garam, air, dan oli. Cuplikan baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  memiliki kekerasan sebesar 210 HB. Namun setelah di celup cepat kekerasan bahan ini bervariasi terhadap media pendinginan, seperti terlihat pada Tabel 1. Kekerasan mencapai tertinggi pada pendinginan air garam sebesar 375 HB, dan nilai kekerasan terendah pada media

pendingin oli sebesar 231 HB. Struktur martensit tampak seperti jarum atau pelat-pelat halus. Halus kasarnya pelat atau jarum tergantung pada ukuran butir dari austenit. Jika butir austenitnya besar maka martensit yang akan diperoleh menjadi lebih kasar. Pembentukan martensit diiringi juga kenaikan volume spesifik sekitar 3%. Hal inilah yang menyebabkan mengapa timbul tegangan pada saat dikeraskan. Tegangan yang terjadi dapat menimbulkan distorsi dan bahkan dapat menyebabkan timbulnya retak. Penyebab tingginya kekerasan martensit adalah karena latis besi mengalami regangan yang tinggi akibat adanya atom-atom karbon. Berdasarkan hal ini, kekerasan martensit sangat dipengaruhi oleh kadar karbon. Makin tinggi kadar karbon dalam martensit, makin besar distorsi yang dialami oleh latis besi dalam ruang dan mengakibatkan makin tingginya kekerasan martensit.

Tabel 2. Hasil uji Kekerasan Baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  sebelum dan sesudah proses celup cepat dan di media pendinginan berbeda.

No.	Media pendingin	Kekerasan (HB)
1.	Baja paduan $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ (belum dipanaskan)	210
2.	Baja paduan $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ (air garam)	375
3.	Baja paduan $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ (air)	257
4.	Baja paduan $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ (oli)	231

#### c. Analisa struktur Kristal dan identifikas fasa dengan difraktometer sinar-x.

Pengujian struktur Kristal dan identifikasi fasa dengan XRD dimaksudkan untuk mengetahui struktur dan fasa yang terbentuk setelah *heat treatment* dan dicelup cepat dengan perbedaan media pendingin. Hasil analisa pengujian XRD pada pendinginan cepat dengan celup cepat air

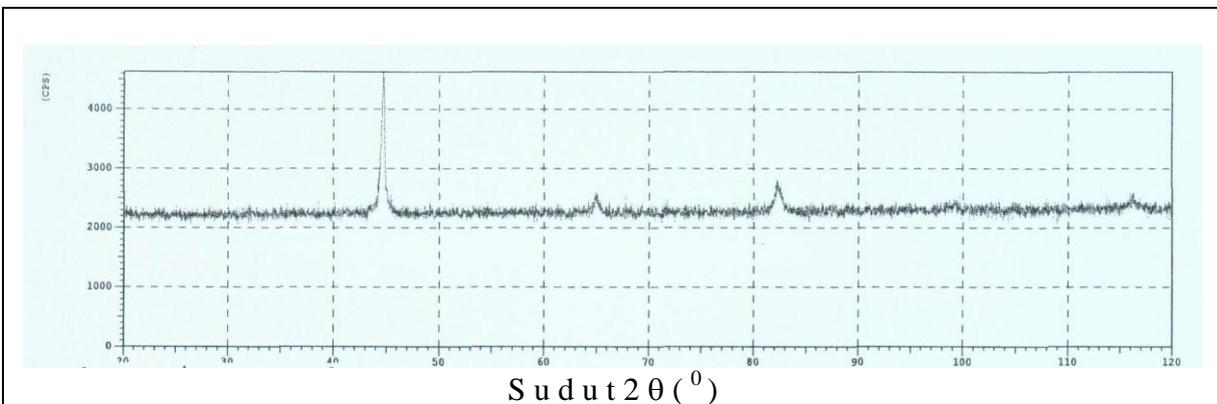
garam, air, dan oli, memperlihatkan puncak-puncak yang sama, dimana  $\gamma$ - austenite bertransformasi menjadi  $\alpha$ -martensit. Austenit yang memiliki struktur FCC (Face Centered Cubic) berusaha mengeluarkan atom karbon, namun karena waktu yang sangat singkat atom karbon tersebut terperangkap dan membentuk struktur baru, yaitu BCT (*Body centered Tetragonal*)  $\alpha$ -martensit. Difraktogram sesudah perlakuan panas dan celup cepat di berbagai media pendingin seperti air, air garam, dan oli dapat

dilihat pada gambar 5a, 5b, dan 5c serta tabel 3 dan 4.

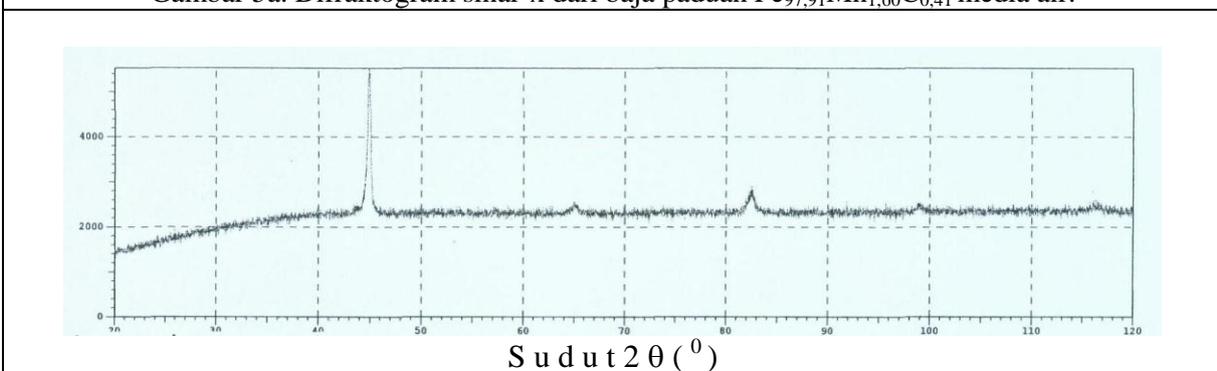
Tabel 3, menunjukkan parameter puncak Bragg pertama untuk mengetahui ukuran butir dari besaran lebar setengah puncak. Dari parameter ini sesuai hipotesa dapat diestimasi seberapa besar medan regangan dan ukuran butir yang ada, untuk setiap perlakuan celup cepat di media pendinginan air garam, air, oli terhadap bahan baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ .

Tabel 3. Ukuran butir baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  hasil proses dicelup cepat dengan media pendingin berbeda.

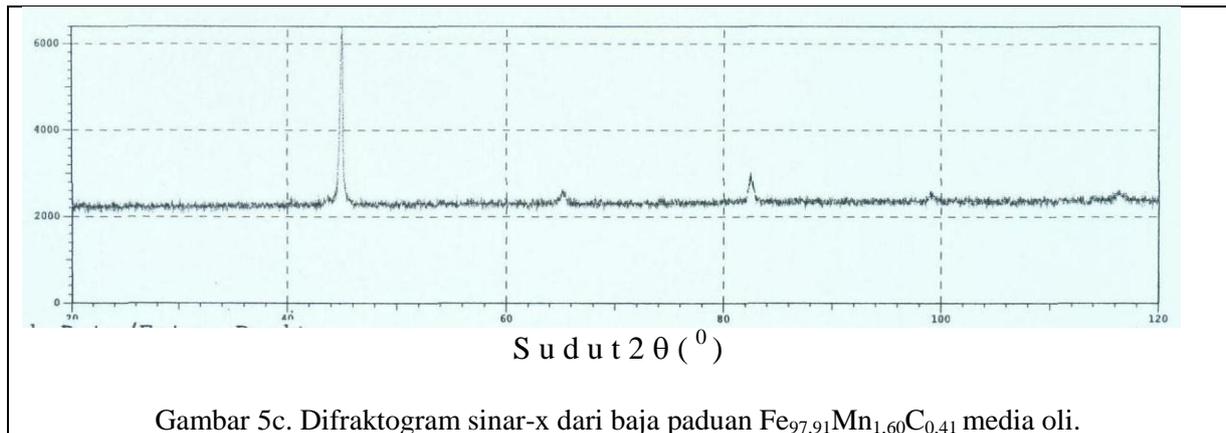
No.	Media pendingin	$\theta_B$	FWHM	Ukuran Butir ( $\mu m$ )
1.	Baja paduan $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ (air garam)	22,4123	0,39030	209,10
2.	Baja paduan $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ (air)	22,3111	0,35090	203,45
3.	Baja paduan $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$ (oli)	22,4315	0,27880	195,21



Gambar 5a. Difraktogram sinar-x dari baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  media air.



Gambar 5b. Difraktogram sinar-x dari baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  media air garam.



Plot data hasil pengolahan ditunjukkan pada Tabel 3. Ukuran butir ini ditentukan dari hubungan harga  $2\theta$  masing-masing puncak bahan cuplikan baja  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  pada  $2\theta = 34^{\circ}$  pada bidang  $hkl$  (111), fasa  $2\theta = 44^{\circ}$

pada bidang  $hkl$  (110), fasa  $\alpha$ - martensit  $2\theta = 65^{\circ}$  dan bidang  $hkl$  (200), fasa  $\gamma$ -austenit pada  $2\theta = 74^{\circ}$  pada bidang  $hkl$  (220), dan  $\alpha$ -martensit  $2\theta = 82^{\circ}$  dan bidang  $hkl$  (211).

Tabel 4. Parameter puncak Bragg pertama baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  hasil proses celup cepat di media pendingin berbeda.

No.	Media pendingin	Sudut $2\theta$	Nama fasa	Bidang (hkl)
1.	Baja paduan $Fe_{97,64}Mn_{1,60}C_{0,41}Si_{0,35}$ (belum perlakuan panas) [8]	43,61	$\gamma$ -austenit	(111)
		50,70	$\gamma$ -austenit	(200)
		72. 58	$\gamma$ -austenit	(220)
2.	Baja paduan $Fe_{97,64}Mn_{1,60}C_{0,41}Si_{0,35}$ (air garam)	43,70	$\gamma$ -austenit	(111)
		44,82	$\alpha$ - martensit	(110)
		64,96	$\alpha$ - martensit	(200)
		72. 61	$\gamma$ -austenit	(220)
		82,33	$\alpha$ - martensit	(211)
3.	Baja paduan $Fe_{97,64}Mn_{1,60}C_{0,41}Si_{0,35}$ (air)	43,35	$\gamma$ -austenit	(111)
		44,62	$\alpha$ - martensit	(110)
		64,82	$\alpha$ - martensit	(200)
		75,43	$\gamma$ -austenit	(220)
		82,17	$\alpha$ - martensit	(211)
4.	Baja paduan $Fe_{97,64}Mn_{1,60}C_{0,41}Si_{0,35}$ (oli)	43,62	$\gamma$ -austenit	(111)
		44,85	$\alpha$ - martensit	(110)
		65,06	$\alpha$ - martensit	(200)
		74,07	$\gamma$ -austenit	(220)
		82,40	$\alpha$ - martensit	(211)

Tidak adanya fasa martensit pada pola difraksi dari sampel tidak dipanaskan menunjukkan bahwa seluruh cuplikan kubus pusat muka (FCC). Penghalusan struktur

dilakukan menggunakan model dua-fasa yang terdiri dari  $\gamma$ -austenit dengan grup ruang  $Fm\bar{3}m$  (1-225) dan fasa  $\alpha$ -martensit, yang

merupakan tetragonal pusat ruang (BCT) dengan grup ruang  $14/m\bar{2}m2$  (1-139). [8] Analisis struktur Kristal celup cepat di media pendingin air garam menunjukkan fasa  $\gamma$ -austenit pada  $2\theta = 43,70^{\circ}$  pada bidang  $hkl$  (111), fasa  $\alpha$ - martensit  $2\theta = 44,82^{\circ}$  pada

bidang  $hkl$  (110), fasa  $\alpha$ - martensit  $2\theta = 64,96^\circ$  dan bidang  $hkl$  (200), fasa  $\gamma$ -austenit pada  $2\theta = 72,61^\circ$  pada bidang  $hkl$  (220), dan  $\alpha$ - martensit  $2\theta = 82,33^\circ$  dan bidang  $hkl$  (211). Analisis struktur kristal media pendingin oli dan air menunjukkan fasa  $\gamma$ -austenit pada  $2\theta = 43,62^\circ$  pada bidang  $hkl$  (111), fasa  $\alpha$ - martensit  $2\theta = 44,85^\circ$  pada bidang  $hkl$  (110), fasa  $\alpha$ - martensit  $2\theta = 65,06^\circ$  dan bidang  $hkl$  (200), fasa  $\gamma$ -austenit pada  $2\theta = 74,07^\circ$  pada bidang  $hkl$  (220), dan  $\alpha$ - martensit  $2\theta = 82,40^\circ$  dan bidang  $hkl$  (211). Dari ketiga difraktogram dimana puncak-puncak tertinggi pada  $2\theta = 43,70^\circ$  hal ini menunjukkan bahwa fasa  $\gamma$ -austenit yang tersisa masih banyak dan fasa  $\alpha$ -martensit juga terbentuk. Dengan terbentuknya fasa  $\alpha$ - martensit maka pada sampel bahan uji baja paduan  $Fe_{97,91}Mn_{1,60}C_{0,41}$  terjadi tegangan sisa, ini yang menyebabkan sifat mekanis (kekerasan) meningkat. Kekerasan sendiri adalah suatu sifat mekanis yang berkaitan dengan kekuatan (strength) dan merupakan fungsi dari kandungan karbon dalam baja.

## KESIMPULAN

Dari pengamatan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Baja paduan  $Fe_{97,64}Mn_{1,60}C_{0,41}Si_{0,35}$  memiliki kekerasan tertinggi 375 HB di media air garam dan cenderung meningkat oleh presipitasi dan terbentuk fasa martensit.
2. Strukturmikro Baja paduan  $Fe_{97,64}Mn_{1,60}C_{0,41}Si_{0,35}$  memperlihatkan gejala fluktuatif pertumbuhan butiran dan  $\gamma$ -austenit serta fasa  $\alpha$ -martensit.
3. Analisis struktur menunjukkan fasa  $\gamma$ -austenit pada  $2\theta = 34^\circ$  pada bidang  $hkl$  (111), fasa  $\alpha$ - martensit  $2\theta = 44^\circ$  pada bidang  $hkl$  (110), fasa  $\alpha$ - martensit  $2\theta = 65^\circ$  dan bidang  $hkl$  (200), fasa  $\gamma$ -austenit pada  $2\theta = 74^\circ$  pada bidang  $hkl$  (220), dan  $\alpha$ - martensit  $2\theta = 82^\circ$  dan bidang  $hkl$  (211).

## DAFTAR PUSTAKA

- Almen, J. O. & Black, P. H., *Residual Stresses and Fatigue in Metals*, Mc. Graw-Hill, New York, 1963.
- ASM Handbook Volume 4, *Heat Treating*, ASM International, 1991
- George E. Totten, *Steel heat treatment, Metallurgy and Technologies*, Portland State University, 2006
- Noyan, I. C & Cohen, J. B., *Residual Stress Measurements by Diffraction and Interpretation*, Springer Verlag, New York, 1987.
- Parikin, *Determination of Residual Stresses in Cold-Rolled 304 Stainless Steel Plates Using Diffraction Technique and Rietveld Analysis*, Link UI-QUT Australia. 1998.
- Parikin, Sutiarmo, Gunawan, dan A. Purwanto, *Studi peningkatan fasa  $\alpha$ -martensit pada pengerasan baja SS-304 canai dingin dengan teknik difraksi neutron dan analisis Rietveld*, Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan sinar-X ke 4, ISSN: 1410-7686, Serpong, 6 Juni 2001.
- Siswo Suwarno, M., *Pengaruh Jenis Baja & Proses Pembuatan Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Mampu Bentuk*, Seminar on Sheet Formability PT. Krakatau Steel, Bandung, 1991.
- Tata Surdia dan Kenji Chijiwa, *Teknik Pengecoran Logam*, Jakarta : Pradnya Paramita, 1996.