

PENGAMATAN SEL SATUAN PADA BAJA MANGAN AUSTENITIK AKIBAT FORGING DENGAN MENGGUNAKAN DIFRAKSI SINAR-X

N. Neni Triana

*Program Studi Teknik Industri, Universitas Buana Perjuangan Karawang
Jl. HS. Ronggowaluyo Telukjambe Timur, Karawang 41361.
Email: neni.triana@ubpkarawang.ac.id*

ABSTRAK

Baja mangan austenitik merupakan material yang memiliki sifat ulet, ketangguhan yang tinggi, ketahanan terhadap benturan dan keausan yang baik serta pengerasan regangan yang tinggi. Karena sifat tersebut, baja ini banyak digunakan untuk komponen-komponen yang dalam pemakaiannya mengalami benturan dan gesekan. Baja mangan austenitik atau disebut juga sebagai baja hadfield mempunyai kandungan unsur mangan (Mn) antara 10-14% dan karbon C 1,0-1,4%, pada saat baja mangan austenitik di deformasi plastis, terjadi proses peningkatan kekerasan dan kekuatan. Beberapa penelitian menyebutkan hal ini terjadi karena adanya perubahan fasa austenit menjadi martensit (strain induced martensitic transformation) dan terjadinya pengerasan regangan (strain hardening).

Penelitian ini dilakukan untuk memperkuat hasil penelitian sebelumnya tentang fenomena proses peningkatan kekerasan dan kekuatan pada baja mangan austenitik dengan menggunakan metode pengujian difraksi sinar-x untuk mengetahui pola difraksi pada bidang-bidang kristal material sebelum dan sesudah dilakukan deformasi plastis (forging).

Dari hasil pengujian metalografi (sinar-x) yang dilakukan, terdapat garis-garis dislokasi pada struktur mikro specimen as forged yang berbeda setiap butirnya. Garis-garis dislokasi yang muncul dikenal sebagai penyebab terjadinya mekanisme slip yang menyebabkan terjadinya proses peningkatan kekuatan pada baja mangan austenitik akibat deformasi plastis. Hasil pengujian kekerasan Brinnel menunjukkan peningkatan yaitu dari 185,50 BHN sebelum deformasi plastis menjadi 375,94 BHN setelah dideformasi plastis.

Keywords : Baja mangan austenitic, Deformasi plastis, Difraksi sinar, Pegujian kekerasan brinnel.

PENDAHULUAN

Baja mangan austenitik atau biasa juga disebut sebagai baja hadfield mempunyai kandungan unsur mangan antara 10-14% dan karbon 1,0-1,4%. Kedua unsur ini merupakan unsur yang paling dominan yang berhubungan dengan peningkatan kekuatan terhadap kekerasan pada baja mangan dengan cara deformasi plastis. Baja ini memiliki sifat ulet, ketangguhan yang tinggi, ketahanan terhadap benturan dan keausan yang baik, serta pengerasan regangan yang tinggi, dalam penggunaannya komponen-komponen tersebut selalu mengalami benturan dan gesekan, oleh karena itu baja mangan austenitik

banyak digunakan untuk komponen alat-alat berat seperti pemecah batu, sambungan rel kereta api, alat pengeruk dan sebagainya.

Untuk mempelajari pengaruh deformasi plastis terhadap sifat mekanik pada baja mangan austenitik, maka pada penelitian ini akan dibahas pengaruh *forging* terhadap perubahan sel satuan baja mangan austenitik dengan pengujian sinar-x, analisis metalografi, pengujian kekerasan & pengujian sifat magnetik. Berdasarkan penelitian terdahulu (Kurniawan B.E, 2014), diperoleh adanya pembentukan karbida dan austenit pada semua spesimen baja mangan austenitik AISI 3401 setelah dilakukan proses *quench annealing* pada temperatur 10000° C dengan empat variasi waktu tahan 30 menit, 60 menit, 120 menit dan tanpa perlakuan yang dilanjutkan dengan proses pendinginan cepat dengan media air, hasil kekerasan yang didapat dengan menggunakan pengujian Hardness Rockwell C didapat nilai kekerasan paling tinggi yaitu pada saat waktu tahan 30 menit.

Logam akan bersifat semakin keras dan kuat tetapi getas apabila mengalami deformasi plastis. Deformasi plastis yang dapat dilakukan pada logam dengan cara yang paling sederhana yaitu dengan memukul-mukul permukaan benda kerja itu sendiri atau *forging* sampai terjadi perubahan bentuk dan dimensi benda kerja. Dalam penggunaannya baja mangan hadfield dibuat untuk komponen-komponen yang menggabungkan ketahanan korosi, kekerasan, keuletan dan ketahanan terhadap benturan atau deformasi plastis. Terjadinya proses pengerasan akibat deformasi plastis dalam hal ini *forging* menjadi fenomena tersendiri. Beberapa pendapat menyatakan penyebab terjadinya pengerasan akibat deformasi plastis di antaranya adalah pengerasan regangan (*strain hardening*) akibat mekanisme slip yang dihasilkan oleh suatu gerak dislokasi dan adanya perubahan fasa austenit menjadi fasa martensit (*strain induced martensitic transformation*).

Pengujian difraksi sinar-x adalah pengujian yang dilakukan untuk memperoleh sudut pola difraksi dan mengetahui perubahan sel satuan baja mangan austenitik setelah dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*) tanpa deformasi plastis dan setelah deformasi plastis.

TINJAUAN PUSTAKA

Baja mangan austenitik ditemukan oleh Sir Robert Hadfield, oleh karena itu sering disebut sebagai baja mangan Hadfield yang mengandung 1,0-1,4% karbon (C) dan 10-14% mangan (Mn). Sifat-sifat seperti kekerasan, ketangguhan, keuletan dan ketahanan terhadap benturan sangat dibutuhkan pada material teknik. Oleh karena itu, baja ini sangat berguna sebagai material teknik untuk pelayanan perbaikan alat-alat berat yang berkaitan dengan ketahanan aus dan ketahanan terhadap impact. Proses pembuatan komponen-komponen dari baja mangan austenitik ini pada umumnya adalah dengan proses pengecoran yang mempunyai sifat getas akibat terbentuknya fasa karbida pada batas butir dan fasa-fasa lain yang menyebabkan kegetasan.

Untuk memperoleh sifat tangguh, tahan aus dan keras maka pada produk hasil pengecoran dilakukan proses perlakuan panas dan deformasi plastis. Proses perlakuan panas dilakukan untuk memperoleh fasa austenite dan deformasi plastis untuk mendapatkan pengerasan pada permukaan bagian baja. Banyak variasi yang telah dibuat dari baja mangan austenitik asli yang ada, tetapi sedikit yang memberikan perbaikan sifat yang berarti. Variasi yang dilakukan biasanya meliputi kandungan karbon dan mangan dengan atau tanpa penambahan unsur paduan seperti khrom, nikel, molybdenum, vanadium, titanium dan bismuth. Komposisi yang paling umum dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Komposisi standar ASTM untuk baja mangan austenitik hasil pengecoran

ASTM	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si %	P %
A128	%	%	%	%		(max)	(max)
A	1.05-1.35	11.0 min				1.00	0.07
B-1	0.9-1.05	11.5-14.0				1.00	0.07
B-2	1.05-1.2	11.5-14.0				1.00	0.07
B-3	1.12-1.28	11.5-14.0				1.00	0.07
B-4	1.2-1.35	11.5-14.0				1.00	0.07
C	1.05-1.35	11.5-14.0	1.5-2.5			1.00	0.07
D	0.7-1.3	11.5-14.0			3.0-4.0	1.00	0.07
E-1	0.7-1.3	11.5-14.0		0.9-1.2		1.00	0.07
E-2	1.05-1.45	11.5-14.0		1.8-1.2		1.00	0.07
F	1.05-1.35	6.0-8.0		0.9-1.2		1.00	0.07
Sumber (ASTM, 2004)							

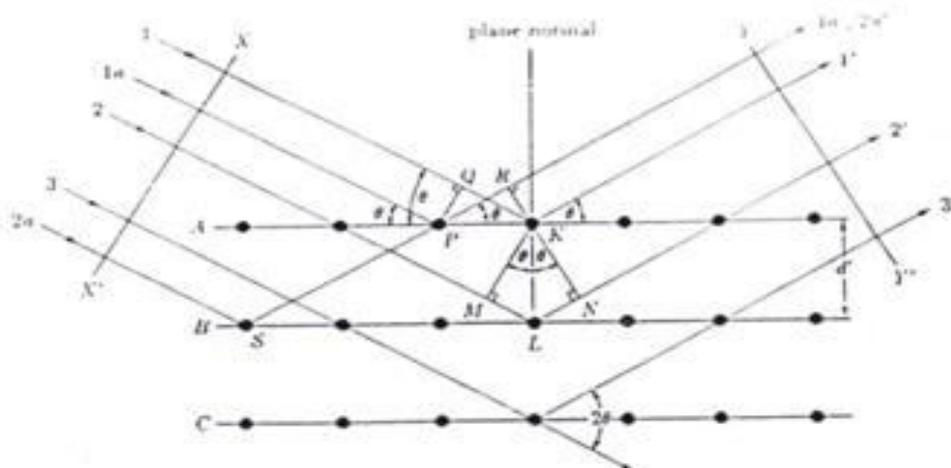
Pada baja mangan austenitik, unsur paduan utama pada besi yang paling dominan adalah unsur mangan (Mn) yang berfungsi untuk menstabilkan fasa austenit, Selain unsur mangan masih terdapat unsur paduan lain yang ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifat dari baja itu sendiri, diantaranya seperti tercantum dalam tabel 2 berikut ini.

Sinar-x adalah gelombang elektromagnetik yang menyerupai cahaya tetapi mempunyai panjang gelombang yang lebih pendek yaitu antara 10^{-2} sampai dengan 10^2 Angstrom. Panjang gelombang yang digunakan untuk mendifraksikan sinar-x adalah sekitar $0.5-2.5 \text{ \AA}$, sedangkan panjang gelombang sinar tampak adalah sekitar 6000 \AA .

Daya tembus sinar-x lebih kuat daripada cahaya biasa dan dapat dengan mudah melalui tubuh manusia, kayu, lembaran logam tipis dan benda-benda yang tidak tembus cahaya. Difraksi sinar-x akan terjadi apabila seberkas sinar-x dijatuhkan pada suatu bahan kristalin, berkas ini akan didifraksikan oleh bidang atom atau ion dalam Kristal tersebut, suatu Kristal terdiri dari atom-atom yang tersusun secara teratur dan periodic dalam ruang dan jarak antar atom hampir sama dengan panjang gelombang sinar-x, oleh karena itu Kristal dapat berfungsi sebagai kisi-kisi yang menghamburkan cahaya.

Tabel 2. Pengaruh unsur paduan pada baja mangan austenitik

No.	Unsur	Pengaruh
1	Karbon (C)	- Pembentuk karbida, menurunkan ketahanan korosi - Menaikkan kekerasan
2	Mangan (Mn)	- Menstabilkan fasa austenit - Menaikkan kekerasan
3	Khrom (Cr)	- Menaikkan kekuatan luluh - Ketahanan terhadap impak dan korosi
4	Molybdenum (Mo)	- Menaikkan ketangguhan, ketahanan terhadap retak - Menaikkan kekuatan luluh
5	Nikel (Ni)	- Pembentuk Austenit - Menaikkan keuletan - Menurunkan kekuatan luluh dan ketahanan abrasi
6	Silikon (Si)	- 1-2 % menaikkan kekuatan luluh - < 0.10% menurunkan viskositas
7	Phospor (P)	- < 0.06% menyebabkan retak pada proses pengelasan
8	Tembaga (Cu)	- Menstabilkan austenit - Menyebabkan kegetasan
9	Bismuth (Bi)	- Memperbaiki Mampu mesin
10	Titanium (Ti)	- Membentuk Karbida yang stabil
11	Sulfur (S)	- Menyebabkan retak leleh
12	Vanadium (V)	- Membentuk karbida yang sangat kuat - Menaikkan kekuatan luluh - Menurunkan keuletan



Gambar 1. Skema difraksi sinar-x oleh atom-atom dalam kristal

Perbedaan lintasan antar muka gelombang XX' dan YY' pada berkas sinar 1' dan 1a' adalah:

$$QK - PR = PK \cos \theta - PK \cos \theta = 0$$

Perbedaan lintasan 1K1' dan 2L2' untuk sinar 1 dan 2 yang dihamburkan oleh atom-atom K dan L adalah:

$$ML + LN = d' \sin \theta + d' \sin \theta = 2 d' \sin \theta$$

Hukum Bragg menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-x harus merupakan kelipatan panjang gelombang, yaitu:

$$n \lambda = 2 d' \sin \theta$$

di mana n = bilangan bulat 1,2,3.....

λ = panjang gelombang sinar-x

d' = jarak antar bidang

θ = sudut difraksi

Persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{n\lambda}{2d'} = \sin \theta$$

Karena $\sin \theta < 1$, maka $n\lambda < 2d'$, untuk difraksi sinar-x, $n \geq 1$, maka $\lambda < 2d'$, secara umum persamaan hukum Bragg dapat ditulis sebagai berikut:

$$\lambda = 2 d \sin \theta$$

Jarak bidang d , dalam hukum Bragg di atas dapat dihitung apabila indeks miller dan jenis sel satuannya diketahui. Sel satuan berbentuk kubus maka jarak antar bidang d_{hkl} adalah:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

Di mana : a = ukuran Kristal (\AA)

h, k, l = indeks miller bidang yang bersangkutan

Logam akan bersifat semakin keras dan kuat tetapi getas apabila mengalami deformasi plastis. Ada beberapa pendapat yang menyatakan penyebab terjadinya pengerasan akibat deformasi plastis di antaranya adalah pengerasan regangan (*strain hardening*) akibat mekanisme slip yang dihasilkan oleh suatu gerak dislokasi dan adanya perubahan fasa austenite menjadi masa martensit (*strain induced martensitic transformation*) serta akibat salah tumpu (*stacking faults*).

Metoda deformasi plastis yang lazim dalam logam disebabkan oleh menggelincirnya blok kristal yang satu terhadap yang lainnya sepanjang bidang kristalografi tertentu yang disebut sebagai bidang slip (*slip plane*).

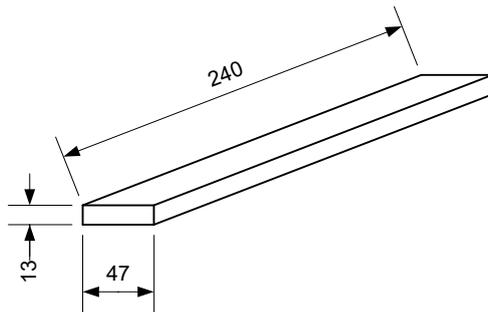
Dislokasi merupakan cacat yang bertanggung jawab terhadap gejala slip (luncur), yang menjadi penyebab sebagian besar logam berubah bentuk secara plastis. Dislokasi dianggap gangguan kisi terlokalisir yang memisahkan daerah slip dengan daerah tanpa

slip. Perubahan fasa austenit (FCC) menjadi martensit (BCC α) yang terdistorsi menjadi BCT terjadi dengan mekanisme geser akibat laju proses pendinginan yang cepat.

METODE PENELITIAN

Spesimen Pengujian

Spesimen yang akan diteliti adalah baja mangan austenitik dengan dimensi awal Panjang 240 cm, Lebar 47 cm dan tinggi 13 cm atau (240 x 47 x 13) mm³, dipotong menggunakan EDM (*Electrical Discharge Machining*) menjadi tiga specimen dengan ukuran masing-masing 16 x 11 x 13 mm³.



Gambar 2. Spesimen awal sebelum dilakukan pemotongan

Komposisi kimia baja mangan austenitik yang digunakan dalam penelitian ini, terdiri dari unsur C (1.17), Mn (13.02), Si (1), Cr (0,36), P (0.086) dan S (0.011).

Prosedur Pengujian

1) Proses *Solution Treatment*

Proses perlakuan panas (*heat treatment*) dilakukan dengan cara memanaskan spesimen sampai temperature 1050° C untuk mendapatkan fasa austenite dengan waktu penahanan (*holding time*) selama 1 jam dan diakhiri dengan pendinginan cepat dalam air (*solution treatment*).

2) *Forging*

Proses deformasi plastis dilakukan dengan pemukulan pada permukaan spesimen sekeras-kerasnya sehingga terjadi perubahan dimensi dan bentuk pada spesimen dengan reduksi ketebalan sebelum dan sesudah deformasi plastis sebesar $\epsilon = 26\%$.

3) Pengujian Sifat Magnetik

Pengujian sifat magnetic dilakukan dengan cara sederhana, yaitu dengan menempelkan magnet pada spesimen sebelum ada perlakuan (*as cast*), setelah perlakuan panas (*as solution treated*) dan setelah deformasi plastis (*as forged*).

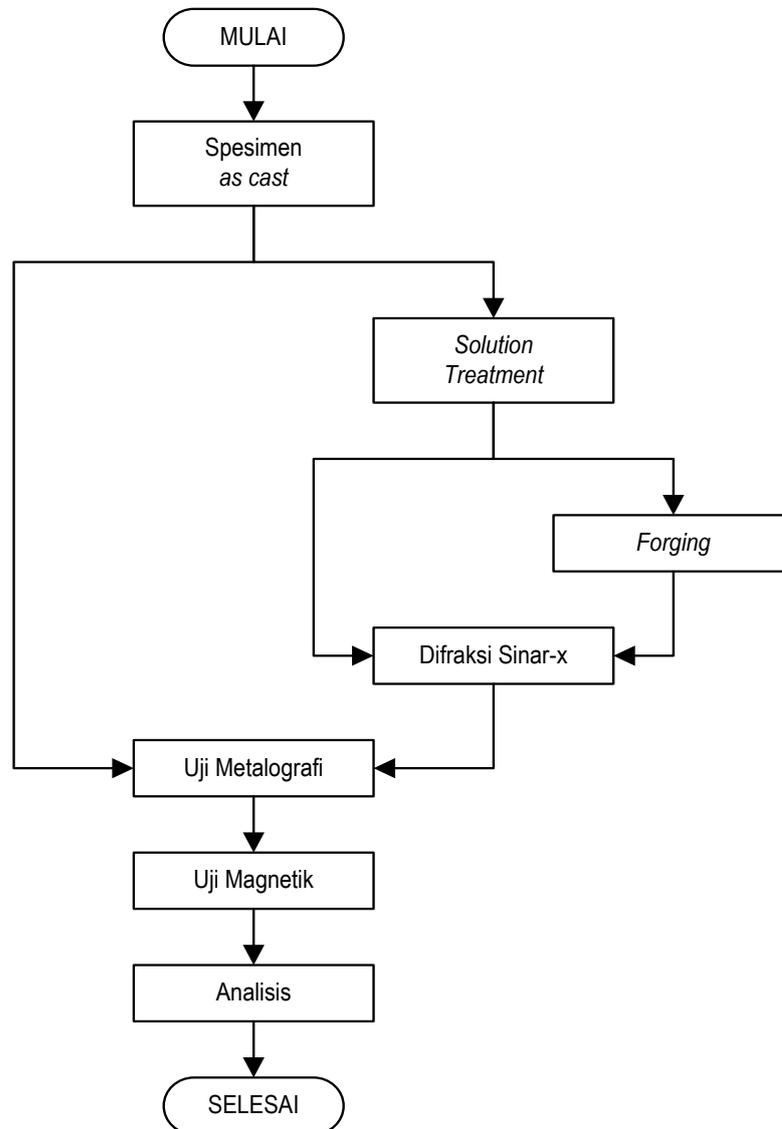
4) Analisis Metalografi

Analisis Metalografi dilakukan dengan mikroskop optic Nikon Metaphot setelah spesimen dioles dan dietsa dengan larutan Nital 3%.

- 5) Pengujian kekerasan
Pengujian kekerasan dilakukan dengan mesin uji Wolpert dengan metoda Brinell pada spesimen *as cast*, *as solution treated* dan *as forged*.
- 6) Pengujian Difraksi Sinar-X
Pengujian sinar-x dilakukan dengan mesin difraksi sinar-x Rigaku dengan metode *wide angle*, tembaga (Cu) sebagai logam target dan filter nikel (Ni).

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir proses penelitian sampai dengan analisis dapat dilihat dari pada gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pengujian Difraksi Sinar-X

Tabel 3 memperlihatkan hasil pengujian difraksi sinar-x untuk material *as solution treated* yang menunjukkan puncak intensitas yang timbul akibat bidang-bidang yang terdifraksi. Sudut 2θ hasil difraksi sinar-x yang dibentuk pada material *as solution treated* mewakili bidang-bidang yang berurutan yaitu bidang $(111)\gamma$, $(200)\gamma$ dan $(220)\gamma$, dari urutan ini apabila dilihat pada (appendix 10, hal. 516 Element of X-ray Diffraction, B.D. Cullity) adalah bidang kubus pusat muka (FCC)

Tabel 3. Bidang-bidang kristal

Sudut 2θ		Cubic				
As solution treated	As Forged	$h^2 + k^2 + l^2$	FCC	BCC	Simple	Diamond
		1	...	...	100	...
		2	...	110	110	...
43.4	43.2	3	111	...	111	111
50.1	50.2	4	200	200	200	...
		5	...	...	210	...
		6	...	211	211	...
		7	...	...	...	...
74.2	74.0	8	220	220	220	220
		9	...	...	300, 221	...
		10	...	310	310	...
	89.7	11	311	...	311	311
	95.1	12	222	222	222	...

Pada tabel 3 menunjukkan kurva intensitas dengan sudut 2θ yang dihasilkan difraksi sinar-x untuk material *as forged*, bidang-bidang yang muncul ialah bidang $(111)\gamma$, $(200)\gamma$, $(220)\gamma$, $(311)\gamma$ dan bidang $(222)\gamma$, yang mewakili bidang kubus pusat muka (FCC). Dari kedua pengujian ini dapat diketahui bahwa tidak terjadi perubahan sel satuan antara material baja hadfield sebelum dan sesudah dilakukan deformasi plastis.

Hasil ini juga menjelaskan bahwa pengerasan yang terjadi pada baja mangan akibat deformasi plastis bukan disebabkan oleh perubahan fasa austenite menjadi martensit, tetapi pada proses deformasi plastis atom-atom hanya bergeser menempati kedudukan baru yang stabil. Atom-atom yang mudah bergeser adalah yang jarak satu sama lainnya berjauhan atau mempunyai kerapatan atom yang tinggi. Penjelasan mengenai adanya mekanisme slip akibat dislokasi diperkuat dengan analisis struktur mikro material *as forged*.

Analisis Struktur Mikro

Pengerasan permukaan yang terjadi pada baja mangan austenitik dapat dijelaskan dengan pengujian metalografi. Gambar 4 menunjukkan struktur mikro pada baja mangan austenitik hasil pengecoran (*as cast*), fasa yang dihasilkan adalah austenit sebagai matriks dan tidak ada fasa lain, kecuali sejumlah karbida pada batas butir. Hal ini menunjukkan adanya segregasi pada saat pembekuan. Fasa karbida inilah yang menyebabkan kegetasan pada baja mangan austenitik hasil pengecoran (*as cast*). Untuk memperoleh fasa austenite seluruhnya dan menghilangkan fasa karbida pada batas butir, maka dilakukan proses *solution treatment*.



Gambar 4. Struktur mikro *as cast* 100x

Gambar 5 menunjukkan struktur mikro baja mangan hasil proses *solution treatment* pada temperature 1050° C dengan waktu penahanan 1 jam. Fasa yang diperoleh adalah fasa austenit.



Gambar 5. Struktur mikro *as solution treated* 100x

Gambar 6 menunjukkan struktur mikro pada baja mangan austenitik setelah dilakukan proses deformasi plastis. Adanya garis-garis dislokasi yang berbeda pada setiap butirnya menerangkan adanya mekanisme slip pada logam hasil proses *forging*.



Gambar 6. Struktur mikro *as forged* 100x

Mekanisme slip ini terjadi karena adanya dislokasi, pergerakan dislokasi terjadi akibat gaya yang diberikan pada saat deformasi plastis. Tegangan yang diberikan menyebabkan dislokasi-dislokasinya bergerak ke permukaan luar spesimen sehingga terjadi deformasi plastis. Selama bergerak dislokasi-dislokasi tersebut bereaksi satu dengan yang lainnya dan hasil reaksinya ada yang mudah bergerak dan ada pula yang sulit bergerak. Hasil reaksi yang sulit bergerak akan berfungsi sebagai sumber dislokasi baru, sehingga kerapatan dislokasi akan bertambah dan gerakan dislokasi semakin sulit sehingga kekuatan logam meningkat. Rangkaian fenomena di atas dapat menjelaskan adanya fenomena pengerasan regangan (*strain hardening*) yang terjadi pada baja mangan austenitic hasil proses *forging*.

Analisis Pengujian Sifat Magnetik

Dari hasil pengujian sifat magnetik dengan cara menempelkan magnet pada spesimen, maka diperoleh sifat-sifat berikut.

- | | |
|--|----------------|
| 1) Material <i>as cast</i> | : Non Magnetik |
| 2) Material <i>as solution treated</i> | : Magnetik |
| 3) Material <i>as forged</i> | : Magnetik |

Diagram fasa Fe-Mn untuk baja mangan austenitik hasil proses pengecoran (*as cast*) dengan kandungan mangan (Mn) 13% dan fasa austenit yang tidak bertransformasi mempunyai sifat non magnetik.

Perubahan komposisi kimia pada permukaan spesimen terjadi pada saat proses *solution treatment* berlangsung. Hal ini disebabkan oleh adanya proses dekarburisasi, yaitu proses pengurangan karbon pada baja mangan austenitik yang bersifat merugikan karena akan mengurangi kekerasan dan akibat adanya perubahan pada temperatur *curie*, tetapi hal ini hanya terjadi pada permukaan spesimen yang telah diproses *solution treatment*.

Sifat magnetik yang dihasilkan pada material *as forged* selain akibat adanya proses dekarburisasi pada saat proses *solution treatment*, juga adanya perubahan temperatur *curie* akibat daerah austenit yang semakin luas pada diagram fasa fe-Mn. Pengurangan

kadar karbon ini dapat mencapai 50% dan terjadinya sifat magnetik pada spesimen *as forged*.

Analisis Pengujian Kekerasan

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian kekerasan material menggunakan Brinnel (BHN) pada *as cast* lebih tinggi dari material *as solution treated*, hal ini disebabkan pada material *as cast* terdapat fasa karbida pada batas butir yang menyebabkan kekerasan dan kegetasan.

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan Brinnel

Material	ε (%)	BHN	
		Pengujian	Rata-rata
As cast		262.60	213.26
		197.20	
		199.00	
		206.60	
		200.90	
As solution treated		178.60	185.50
		191.00	
		181.00	
		189.30	
		187.60	
As forged		368.60	375.94
		371.30	
		378.30	
		367.20	
		394.30	

Untuk material *as forged* dengan reduksi ketebalan sebelum dan sesudah dilakukan deformasi plastis sebesar $\varepsilon = 26\%$ harga kekerasannya lebih tinggi dari material *as cast* dan *as solution treated*. Hal ini membuktikan bahwa apabila material baja mangan austenitik dideformasi plastis kekerasannya akan semakin meningkat. Kekerasan yang dihasilkan diakibatkan oleh adanya pengerasan regangan (*strain hardening*).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian mengenai perubahan sel satuan pada baja mangan austenitik ini adalah:

- 1) Struktur kristal untuk material *as solution treated* yang diperoleh dari pengujian difraksi sinar-x adalah FCC (kubus pusat muka) yang diwakili oleh bidang (111) γ , (200) γ dan (220) γ .
- 2) Struktur Kristal untuk material *as forged* adalah FCC (kubus pusat muka) yang diwakili oleh bidang (111) γ , (200) γ , (220) γ , (311) γ dan (222) γ . Dari kedua hasil pengujian ini (point 1 dan 2) dapat diambil kesimpulan bahwa tidak terjadi perubahan sel satuan pada baja mangan austenitik sebelum dan setelah dilakukan proses deformasi plastis.
- 3) Harga kekerasan Brinnel rata-rata untuk material *as cast* 213.26 BHN, material *as solution treated* 185.50 BHN dan *as forged* 375.94 BHN. Hasil pengujian ini

menunjukkan bahwa kekerasan yang terjadi pada baja mangan austenitik meningkat setelah dilakukan deformasi plastis (*forging*).

- 4) Fenomena kekerasan dan kekuatan yang meningkat pada baja mangan austenitik akibat deformasi plastis disebabkan oleh adanya mekanisme slip yang ditandai dengan adanya garis-garis dislokasi pada struktur mikro spesimen *as forged* yang disebut sebagai fenomena pengerasan regangan (*strain hardening*).

Penulis menyarankan beberapa hal untuk penelitian berikutnya, antara lain:

- 1) Adanya sifat *ferromagnetic* pada material yang disebabkan oleh deformasi plastis, agar diamati dengan menggunakan *koloid magnetic* sehingga sifat *ferromagnetic* dapat dilihat dari struktur mikro yang dihasilkan.
- 2) Adanya garis-garis dislokasi pada spesimen *as forged* berdasarkan pengamatan dari struktur mikro agar dapat diamati dengan menggunakan mikroskop elektron transmisi.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM International. (2004). *Standard Specification for Chromium-Nickel Stainless Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and General Applications*.
2. Callister, W. D. (2009). *Materials Science and Engineering an Introduction*. Hoboken: Jhon Willey & Sons,inc.
3. Kurniawan B.E, Setiyorini Y., *Pengaruh Variasi Holding Time pada Perlakuan Panas Quench Annealing terhadap Sifat Mekanik dan Mikro Struktur pada Baja Mangan AISI 3401*, Jurnal Teknik POMITS Vol. 3, No. 1, (2014) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).