

PERUBAHAN FASA BAJA MANGAN (FE-MN) HADFIELD 3401 PADAPROSES PEMANASAN DAN PERLAKUAN PENDINGINAN CEPAT (WATER QUENCHING) DAN PENDINGINAN MEDIA UDARA (AIR COOLING)

Reza Fadhila¹⁾, Riski Elpari Siregar²⁾

^{1) dan 2)} Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNIMED, Jl, Willem Iskandar Psr V, Medan
Estate, Medan

ABSTRAK

Baja Hadfield diteliti dengan proses pemanasan pada temperatur 1000 °C-1090 °C kemudian didinginkan cepat (water quenching). Bahan yang telah didinginkan cepat (water quenching) kemudian diteliti perkembangan mikrostrukturnya setelah pemanasan kembali dengan temperatur yang berbeda (500 °C, 550 °C dan 600 °C) dengan dua kali waktu penahanan yaitu 30 menit dan 60 menit, pada pendinginan lambat (air cooling) dan pendinginan cepat (water quenching). Efek dari pendinginan cepat menghasilkan migrasi ferrite dari butir kebatas butir pada fasa austenit. Berbeda dengan kondisi diatas, pada pendinginan lambat akan menghasilkan beberapa fasa. Untuk memastikan, mikrostruktur kemudian diuji morfologi dengan menggunakan scanning electron microscopy (SEM) dan untuk memastikan analisa unsur dengan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan juga X-Ray fluorescence spectroscopy (XRF). Seluruh bentuk keadaan mikrostruktur pada temperatur pemanasan ini ditunjukkan dengan perbedaan peta morfologi. Hasil pemetaan morfologi menunjukkan pengintian presifitasi terjadi pada proses pendinginan cepat. Pada pendinginan lambat ikatan permukaan ferrite paralel yang diintikan pada permukaan butir austenit kurang jelas kelihatannya. Pada temperatur tinggi proses pendinginan lambat fasa baru terbentuk diikuti dengan pengisian struktur ferrite dengan karbida mangan yang kemudian diamati dengan X-Ray Diffraction (XRD) pada daerah indeks Miller (hkl) yang dipastikan sebagai fasa pearlit.

Kata Kunci : perbaikan mutu baja, perlakuan panas,

1. PENDAHULUAN

Baja sangat berperan penting bagi kehidupan manusia dan tidak lepas dari kebutuhan mulai dari peralatan dapur, transportasi, generator, sampai kerangka gedung dan jembatan pada umumnya menggunakan baja. Baja Hadfield AISI 3401 dengan kandungan mangan austenit tinggi menunjukkan kombinasi sifat-sifat unik, misalnya, kekuatan tinggi dan kekenyalan tinggi, dan resistansi terhadap aus dan pembebanan tubrukan berat. [1,2,4,7,9] Sifat-sifat ini menjadikan baja sangat berguna dalam berbagai aplikasi, misalnya, jalan kereta api, pelapis kilang penggiling, jepitan dan kerucut penghancur, palu dan bahkan helm anti-peluru. Penelitian sebelumnya juga melaporkan bahwa baja mangan Hadfield dengan komposisi Fe 1,2%C dan 12%Mn, biasanya mempunyai struktur fase austenit yang bisa bermetastatis yang diperoleh dengan pendinginan-air atas baja dari temperatur pemanasan 1050°C. Pengolahan ini disebut "pengerasan air". Proses ini menghasilkan larutan padat karbida yang menyebabkan kerapuhan dan produksi austenit yang

hampir murni. Batas-batas butir austenit memperlihatkan struktur yang memiliki daerah twin yang terdefinisi dengan baik dan memiliki ketebalan yang kira-kira merata dengan nilai kekerasan yang diperlihatkan pada mikrostruktur baja mangan. [5,6,7,8] Jika baja mangan hasil pengerasan air diheat-treatment kembali, maka terjadilah dekomposisi parsial pada fasa austenit tersebut. Tingkat dekomposisi ini tergantung pada waktu dan temperatur perlakuan pemanasan. Ini segera dimulai dengan pengendapan besi dan mangan karbida pada batas-batas butir, yang secara progresif diikuti oleh kemunculan unsur accicular yang kemudian meluas sampai ke interior butir. [13,14,15,17,19] Pengendapan karbida di batas-batas butir dengan cara ini menghasilkan pembentukan fase baru dengan kondisi rapuh. Baja Mangan Hadfield standar (Fe - 1,2%C - 13%Mn) dalam kondisi as-cast mengandung karbida accicular (Fe, Mn)₃C. Praktek industri yang umum untuk mengatasi masalah potensial adalah mengolah-panas bahan pada 1000°-1090°C hingga selama 60 menit yang diikuti dengan pendinginan air. Prosedur ini biasanya bisa melarutkan seluruh karbida

(Fe, Mn)₃C. Dalam kondisi ini, baja sangat lunak.[15,18,21]

2. METODOLOGI PENELITIAN

Spesimen test untuk penelitian metallografik dipotong dan dipreparasi dari pelat-pelat di atas, yang mempunyai ukuran 1 × 2 × 2,5 cm dengan mesin pemotong presisi untuk menghindari perubahan transformasi fase. Benda uji yang telah dipreparasi diheatreatment pada temperatur 1050°C selama 1 jam pada tungku listrik PID pengolah-panas tipe Vectar VHT-3, kemudian semua benda uji didinginkan dengan cara dicelup cepat (quench) ke dalam air

Selanjutnya sampel-sampel diheatreatment kembali pada temperatur yang berbeda dengan waktu yang bervariasi. Temperatur yang dipilih reheatreatment sampel adalah dari 400°C sampai 600°C dengan selang peningkatan temperatur 50°C dengan variasi waktu pemanasan yaitu 30 menit dan 60 menit dan diikuti dengan pendinginan di udara. Pemilihan temperatur diatas atas dasar prediksi yang ada pada diagram fase Fe-Mn. Untuk pengujian metalografinya sampel sample digerinda di dalam mesin pemoles dengan menggunakan kertas ampelas dari ukuran kekasaran 100, 350, 600, 800, 1000, 1500 hingga 2000 mesh. Untuk sebagian besar operasi, dengan laju rotasi 450 putaran/menit. Setelah penggerindaan selesai pada kertas ampelas 2000 mes, sampel dipoles dengan menggunakan pasta alumina 1μ pada kain beludru untuk memperoleh permukaan mirip cermin. Preparasi sampel metalografi diakhiri dengan pembersihan sample-sampel dengan menggunakan mesin pembersih ultrasonik, Branson I210, Model B1210E-MT 47 KHz, 230 Volt. Etsaan yang digunakan untuk memunculkan fasa-fasa pada sample diperlihatkan pada table 1.

Tabel 1: Komposisi Larutas Etsa Spesimen penelitian

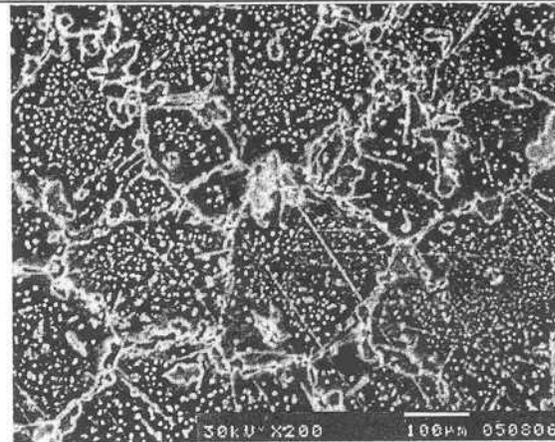
Jenis larutan	Komposisi	
Larutan A	100 ml alkohol	3 ml HNO ₃
Larutan B	90 ml ethanol	10 ml HCl
Larutan C	100 ml ethanol	2 ml NH ₄ OH

Penentuan gambar mikrostruktur dilakukan dengan menggunakan alat mikroskop analisator bayangan optik (Epiplan Hdlenz, Carl Zeiss, 220 V – 60 Hz, 80 VA) dengan pembesaran 100X. Pengujian karakteristik fasa dilakukan dengan menggunakan XRDiffractometer (Philips PW/1835 NC9430)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Pada Pemanasan 1050°C Yang Diikuti Dengan Pendinginan-Air

Mikrostruktur baja mangan austenit Hadfield bila diolah panas pada 1050°C dan kemudian diikuti dengan proses pendinginan cepat diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar.1 Menunjukkan serat-serat austenit baja Hadfield dengan twin-twin.

3.2 Analisa Mikrostruktur Pada Aturan Pemanasan Kembali 500°C

Media pendinginan sangat mempengaruhi proses pengintian, batas butir, butir, accocular dan klaster dan fasa-fasa yang terbentuk Gambar 3.2a. Proses Pemanasan kembali 500°C dan waktu penahanan 30 menit kemudian didinginkan media air diakibatkan pada proses terbentuk pengintian (nukleasi) dengan warna bintik hitam dalam butir terlihat jelas Gambar 3.2a. Butir diperkaya oleh elemen pembentukan fasa austenit sehingga kelihatan tidak seragam (tidak homogen). Saat yang sama terlihat bidang kembaran (twin-twin) pada butir, maupun batas butir.

Sampel kemudian dipanaskan kembali 60 menit, pada proses ini pengintian berkurang tetapi sebaliknya terbentuk proses pengklasterisasian. Pengaruh pengklasterisasian dapat menyebabkan penghomogenan terlarut pada butir (grain). Garis baru bidang kembaran (twin-twin) yang terdapat pada butir (grain) maupun batas butir (grain boundary) mulai tersolidifikasi sebagai persifitat-presifitat yang terlarut didalam butir akan bermigrasi kebatas butir sehingga kehomogenan fasa austenit sudah mulai signifikan Gambar 3.2b. Proses pemanasan dengan temperatur 500°C waktu penahanan 30 menit kemudian pendinginan memakai media udara. Hasil makro Gambar 3.2c terlihat adanya pengintian berkurang dan garis kembaran (twin-twin) terlihat pada batas butir maupun pada butir. Terlihat jelas awal terbentuknya accicular-accicular. Pada waktu penahanan 60 menit, elemen-elemen tersolidifikasi dalam butir austenit secara signifikan bermigrasi keluar butir maupun batas butir dan dapat memperkaya bidang-bidang kembaran (twin) ferrit accicular.

3.3 Analisa Mikrostruktur Pada Pemanasan Kembali 550°C

Proses Pemanasan kembali waktu penahanan 30 menit dengan media pendinginan air gambar .2e,

Proses pengintian mulai berkurang, dan kluster-kluster tebal banyak terlihat jelas, dimana presifatat bermigrasi dari dalam kebatas butir proses ini mempercepat pembentukan kluster (Klasterifikasi) dipermukaan butir Gambar .2e. Waktu pemanasan kembali 550°C dan penahanan 60 menit kluster-kluster yang terbentuk lebih banyak, dibandingkan pada perlakuan panas 500°C dan penahanan 30 menit Gambar .2f. Pengaruh water quenching dimana elemen-elemen yang terlarut dalam kluster terdistribusi kembali kedalam butir. Kehomogenan elemen terlarut pada kluster akan terdistribusi kedalam butir (grain) dimana pearlit terdistribusi Gambar .2g. Proses Pemanasan kembali 550°C waktu perlakuan 30 menit dengan media pendinginan udara, terjadi proses pengendapan dan disertai terbentuknya accicular sehingga proses pengklasterifikasian jelas terlihat lebih signifikan Gambar .2g. Perlakuan panas dengan waktu penahanan 60 menit, accicular - accicular mulai

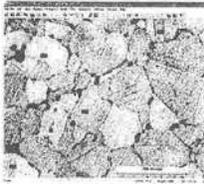
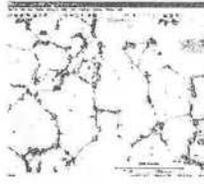
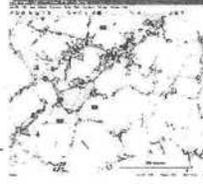
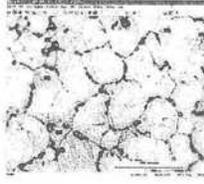
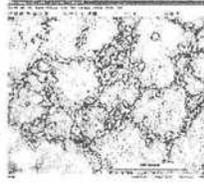
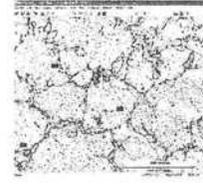
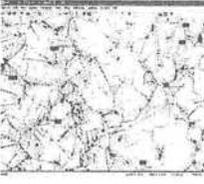
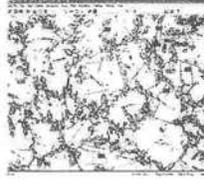
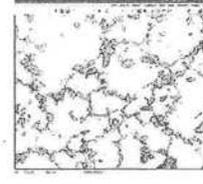
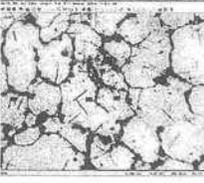
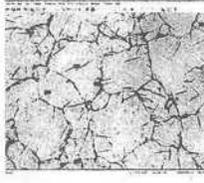
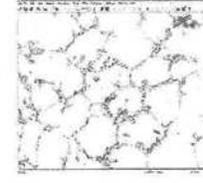
berkurang yang dominan terjadi pengklasterifikasian Gambar .2h.

3.4 Analisa Mikrostruktur Pada Aturan Pemanasan Kembali 600°C

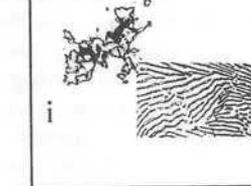
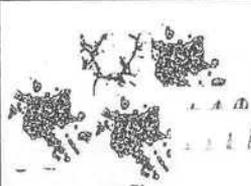
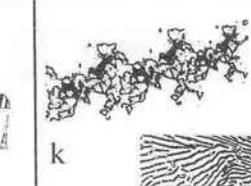
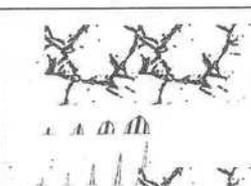
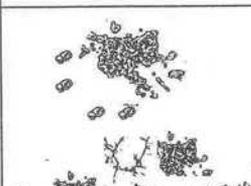
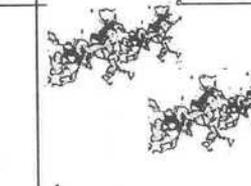
Proses Pemanasan kembali 600°C waktu penahanan 30 menit dengan media pendinginan air, ferrit accicular terbentuk dimana ferrit accicular yang subur akan mulai membentuk fasa pearlitit Gambar 3.2i. Pada perlakuan 60 menit terbentuk presifatat dalam butir dan membentuk fasa perlit dalam butir Gambar 3.2j.

Perlakuan panas kembali 600°C waktu penahanan 30 menit dan 60 menit dengan media pendinginan udara, terbentuk fasa pearlitit stabil Gambar .2k dan .2l.

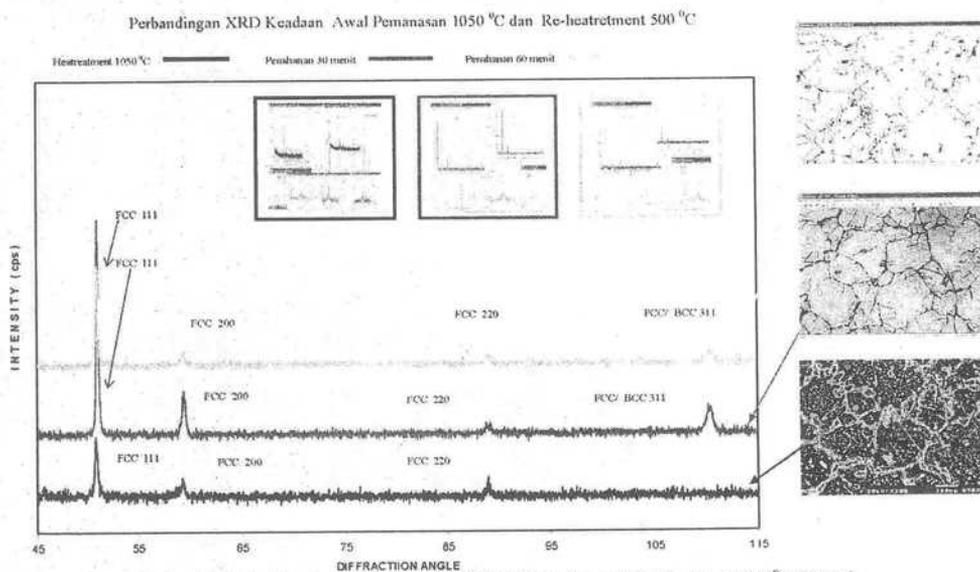
Proses distribusi maupun presifatasi baik pada batas butir (grain boundari) maupun didalam butir (grain) dapat ditampilkan seperti Gambar .2

Media Pendingin	Waktu Perlakuan	Temperatur		
		500°C	550°C	600°C
Water quenching	30			
	60			
Air cooling	30			
	60			

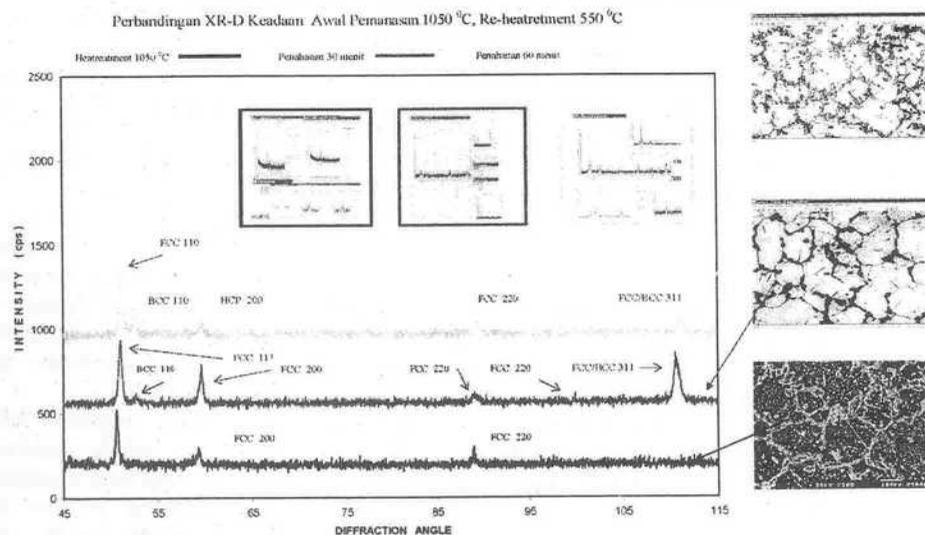
Gambar .2. a-l Hasil Pemetaan Mikrostruktur bahan Fe-Mn

Media pendingin	waktu	Proses Pembentukan Struktur ferrit : $\gamma \rightarrow \gamma + \alpha$		
		Temperatur aging		
		500°C	550°C	600°C
Media air (Water Quenching)	30 menit			
	60 menit			
Media udara (Air Cooling)	30 menit			
	60 menit			

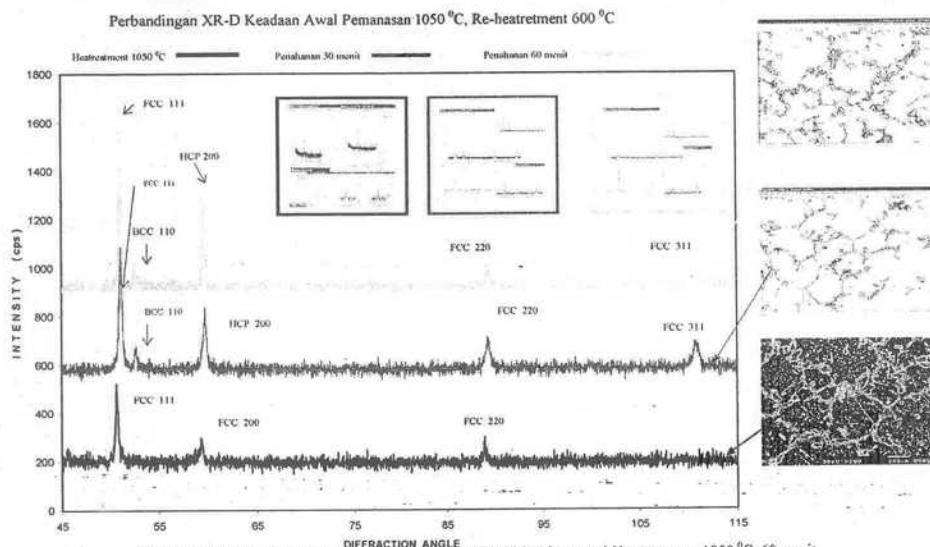
Gambar.3 Pemetaan Interpretasi fasa



Gambar 4.1 Perbandingan sudut difraksi PW/1835 NC9430 keadaan awal Heatreatment 1050 °C, 60 menit Re-heatreatment 500 °C dengan Pendinginan Udara 30 menit dan 60 menit



Gambar 4.2 Perbandingan sudut difraksi PW/1835 NC9430 keadaan awal Heatreatment 1050 °C, 60 menit, Re-heatreatment 550 °C dengan Pendinginan Udara 30 menit dan 60 menit



Gambar 4.3 Perbandingan sudut difraksi PW/1835 NC9430 keadaan awal Heatreatment 1050 °C, 60 menit Re-heatreatment 600 °C dengan Pendinginan Udara 30 menit dan 60 menit

3.5 Pemetaan Interpretasi Fasa

Berdasarkan hasil pemetaan, jelas terlihat bahwa :

1. Pada pendinginan cepat (*Water Quenching*) dengan waktu tahan 30 menit kenaikan temperatur akan mempercepat proses nukleasi membentuk fasa pearlit. Pertumbuhan dimulai dengan pembentukan inti (*nukleasi*) menjadi kluster-kluster yang selanjutnya membentuk paduan (*alloy*) fasa pearlit.
2. Pada pendinginan cepat (*Water Quenching*) dengan waktu tahan 60 menit terlihat jelas bahwa proses *nukleasi* pada waktu tahan yang lebih lama menghasilkan jumlah inti yang lebih banyak. Selanjutnya pengaruh temperatur akan mempercepat pengintian

menjadi *nukleasi* yang memicu proses pembentukan fasa pearlit. Pengaruh pendinginan cepat (*Water Quenching*) juga akan memberikan dampak masih tersisanya proses pengintian didalam butir austenit. Proses pengintian ini dimungkinkan akibat dampak dari pada proses kejut dari laju pendinginan yang cepat, sehingga presifat yang terbentuk didalam batas butir dapat kembali keposisi didalam butirnya. Berdasarkan hal tersebut maka boleh ditarik analog. Pembentukan fasa pearlit yang stabil memerlukan waktu tahan, pemanasan dan media pendinginan yang optimum.

3. Pada pendinginan lambat (*air cooling*) dengan waktu tahan yang sama (30 menit) kenaikan temperature akan mempercepat

proses nukleasi membentuk fasa pearlit. Pertumbuhannya dimulai dengan telah terbentuknya *ferrit acicular* yang menghasilkan kluster-kluster yang berglanurisasi dari keadaan tidak sempurna menjadi sempurna. Proses glanurisasi sempurna akan menghasilkan alloysasi fasa pearlit.

4. Pada pendinginan lambat (*air cooling*) dengan waktu tahan yang sama (60 menit) terlihat bahwa proses *accicularisasi* kluster-kluster lebih banyak, kenaikan temperatur akan menyebabkan pembentukan fasa *accicularisasi* kepada proses pembentukan kluster yang berglanurisasi dan masih ada proses *accicularisasi* yang cukup signifikan. Pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 60 menit, *accicular* dan kluster-kluster tidak terlihat secara signifikan. Pemetaan Interpretasi fasa terlihat secara signifikan bahwa temperatur 600°C merupakan daerah temperatur awal pembentukan fasa pearlit. Proses pembentukan fasa *accicular* dimungkinkan karena migrasi fasa pearlit lebih cepat dibandingkan migrasi fasa paduan lainnya. **3.6 Analisa X-Ray Diffraction (XRD)**

Puncak difraksi dapat diidentifikasi dengan cara membandingkan nilai d terukur (Lampiran B) dengan nilai d pada data standar yang diperoleh dari PCPDFWIN- FERRITE dan PCPDFWIN-AUSTENITE & FERRITE. Puncak-puncak difraksi dari benda uji pada keadaan awal terlihat bahwa ada tiga puncak difraksi. Ketiga puncak difraksi dari fasa α dan fasa γ yang diukur dengan sudut difraksi 50° - 89°. Pada pengukuran benda uji pemanasan 1050 °C diquenching sehingga mencapai fasa austenit, hasil pengukuran diperoleh tiga buah puncak dengan sudut 2θ yang berbeda misalnya, sudut $2\theta = 50.74$ dan $d_{\text{value}} = 2.08722$. (Tabel 4.2) dibandingkan dengan data file PCPDF sudut $2\theta = 50.940$ dan $d_{\text{value}} = 2.08000$ terlihat hasil pengukuran mendekati nilai file maka bidang hkl yang terbentuk 111 dengan struktur kristal FCC pada fasa austenit. Pengukuran pada perlakuan panas kembali temperatur 500°C dengan proses pendinginan lambat (*air cooling*) diperoleh empat puncak difraksi yang berbeda dengan sudut 2θ yang bervariasi, sebagai contoh $2\theta = 110.4$ dan $d_{\text{value}} = 1.09009$ terlihat hasil pengukuran mendekati nilai file PCPDF diperoleh bidang hkl = 311, struktur kristal pada fasa ini kemungkinan kristal FCC atau BCC. Pada temperatur 550 °C terlihat awal terbentuknya struktur kristal HCP. Pada temperatur 550°C waktu penahanan 60 menit terjadi struktur kristal HCP. Temperatur 600°C merupakan fasa terbentuknya perlit. Hasil pengukuran XRD fasa-fasa yang terbentuk di plot pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.3.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini untuk membuktikan kapan/bilamana waktu tertentu terbentuknya fasa-fasa pearlite dan butir serta penyebab-penyebab yang cukup mendukungnya. Berdasarkan hasil intepetasi data fasa-fasa tersebut dan hasil XRD nya, maka penelitian ini sebagai bahan acuan physical metalurgi. Ada beberapa catatan penting yang sangat dominan didalam riset ini yakni :

1. Pada Baja Mangan Hadfield AISI 3401 dominan membentuk fasa austenit setelah diberi perlakuan panas pada temperatur 1050°C.
2. Hasil Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) dari benda keadaan awal dan setelah diquenching memperlihatkan pada benda uji terbentuk struktur kristal FCC. Pemanasan kembali untuk perlakuan pendinginan lambat (*air cooling*) dengan waktu penahanan yang berbeda terbentuk struktur paduan baru dapat berupa struktur FCC atau BCC tidak stabil.
3. Hasil pengujian SEM dengan program semafore diperlihatkan pada benda uji terbentuk butir-butir austenit dengan twin-twin pada fasa austenitnya.
4. Pada proses reheat treatment temperatur 500°C pendinginan lambat dan cepat waktu penahanan berbeda terbentuk pengintian (*nukleasi*).
5. Pada proses reheat treatment temperatur 550°C pendinginan lambat dan cepat waktu penahanan berbeda terbentuk kluster-kluster dan pengintian berkurang. khusus pada pendinginan lambat (*air cooling*) terlihat *accicular-accicular*.
6. Pada proses reheat treatment temperatur 600°C pendinginan lambat dan cepat waktu penahanan berbeda terbentuk awal fase pearlit yang stabil.
7. Kuantitas terbentuknya nukleasi, klusterifikasi dan *accicularisasi* sangat signifikan dengan bertambahnya waktu penahanan pada temperatur sama.
8. Kualitas fase pearlit yang terjadi dominan pada pendinginan lambat, pada pendinginan cepat waktu penahanan dan suhu yang sama terlihat adanya nukleasi sisa.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, W,O, dkk. 1991. Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Amanto, Hari, dan Daryanto. 1999. Ilmu Bahan. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Amstead, B.H, dkk.1993. Teknologi Mekanik. Terjemahan Ir. Sriati Djaprie. Edisi ke-7. Jilid I. Jakarta: Erlangga.

- Beumer, B. J. M. 1980. Pengetahuan Bahan. Terjemahan B. S. Anwil Matondang. Jilid III. Jakarta: Bhatara Karya Aksara.
- Budinski, Kenneth G. 1996. Engineering Materials. Properties and Selection. Fifth Edition. New Jersey Columbus, Ohio: Prentice Hall Upper Saddle Rivers.
- Clarck D.S and Varney W.R, " Metallurgy for Engineers", 2'd ed.p.205 228, 462 .1 (1962)
- Dieter, George E. 1996. Metalurgi Mekanik. Edisi ke-3. Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Edgar C. Bain, Alloying Element in Steel, Second Edition, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1939.
- George S. Brady and Hendry R. Clauser, Material Hand Book, Mc. GrawHill Book Company New York
- Herman W. Pollack, Material Science and Metallurgy, Reston Publsn. Coy Virginia 1981.
- J.L.T. Thong, The Environment SEM, Jurnal Mikroskopik Dan Mikro Analisis, Vol.1, no.2, 1998.
- Lawrence H. Van Vlack, Element Of Materials Science and Engineering, 5th ed. Addison-Wesley Publishing Company, USA (1985)
- R.E. Smallman, Modern Physical Metallurgy, 4th ed. (1985)
- R.W.Smith, A. DeMonte, W. B. F. Mackay, Development Of High-Manganese Steels For Heavy Duty Cast-To-Shape Applications, Journal of Material Processing Technology 153-154 (2004) 589-595.
- Reza Fadhlita, A.G.Jaharah, M.Z. Omar, C.H. Che Haron, and C.H. Azhari, A Microstructural Mapping of the Austenitic Manganese Steel-3401 in Rapid Cooling, Journal of Solid State Science and Technology Letters, vol.12, p 143-148 (2005)
- Shackelford James, Introduction to Materials Science for Engineers, fourth edition, Prentice Hall International Inc.
- Surdia, Tata. MS. dan Saito, Shinroku. 2005. Pengetahuan Bahan Teknik. Cetakan ke-6. PT. Prandnya Paramita, Jakarta.
- Thornton, Peter A. And Colangelo, Viro J. 1985. Fundamentals of Engineering Materials. Inc: Prentice-Hall International.
- Wahid Suherman, " pengetahuan Bahan " ITB Surabaya (1987)
- Vander Voort G.F., Metallography Principle and Practice", McGrawHill, p.215,632 (1984)
- Vernon Jonh, Testing of Materials, Mc. Millan, New York.