

# Pengaruh Media Pendingin pada Proses Hardening terhadap Strukturmikro Baja Mangan Hadfield AISI 3401 PT Semen Gresik

Mohammad Ismanhadi S dan Yuli Setyorini

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail:* gbp\_ismanhadi@gmail.com

**Abstrak**—Baja Mangan Hadfield termasuk dalam kategori baja mangan austenitic dengan kandungan Mn (mangan) yang tinggi, antara 12-14% Mn dan 0.8-1.25% C. Baja mangan hadfield memiliki kekerasan, kekuatan, ketangguhan, serta ketahanan terhadap aus yang tinggi. Proses hardening diberikan dengan melakukan pendinginan yang relatif cepat dengan menggunakan media pendingin air, oli, polivinylalcohol 10%, dan polyvinylalcohol 40% bertujuan untuk mendapatkan nilai kekerasan yang lebih tinggi yakni dengan pendinginan air 275VHN sedangkan tanpa perlakuan 206VHN. Viskositas dari media pendingin yang berbeda-beda berpengaruh terhadap laju pendinginan pada baja mangan hadfield.. Jenis media pendingin yang bervariasi mempengaruhi perubahan austenit menjadi martensit. Strukturmikro yang terbentuk pada baja mangan hadfield yang mengalami proses hardening tampak butir-butir kristal yang seluruhnya martensit, sedangkan pada baja mangan hadfield yang tanpa mendapatkan perlakuan tampak karbida mangan lamellar dengan matriks austenit.

**Kata Kunci**—austenitic, fasa, matriks.

## I. PENDAHULUAN

**B**AJA Mangan Hadfield termasuk dalam kategori baja mangan austenitic baja dengan kandungan Mn (mangan) yang tinggi, antara 12-14% Mn dan 0.8-1.25% C serta nilai kekerasan as cast 200-300 BHN. Dengan struktur fasa austenite yang stabil hingga temperature kamar. Baja mangan hadfield memiliki kekerasan, kekuatan, ketangguhan, ductility, serta ketahanan terhadap aus yang tinggi. Ke khasan dari baja ini apabila semakin menerima tumbukan dengan besaran tumbukan tertentu yang berulang-ulang semakin meningkatkan nilai kekerasannya tanpa terjadi retak atau cracking. Baja Mangan Hadfield berbeda dari baja lain yang mendapatkan pengerasan permukaan dengan kedalaman kekerasan tetap seperti nitriding dan carburizing. Kekerasan yang dimiliki baja magan terdapat keuletan tinggi didalamnya. Sehingga dapat dikatakan baja mangan hadfield memiliki ketangguhan yang tinggi. Perlakuan panas diberikan untuk mendapatkan nilai tertentu pada baja mangan hadfield. Perlakuan panas dengan didinginkan cepat menggunakan media pendingin air, polivinil alkohol 10%, polivinil alkohol 40%, oli memberikan variasi nilai kekerasan yang berbeda-beda sebelum penggunaan baja[1]. dengan nilai kekerasan awal yang tinggi, dapat memperpanjang usia pemakaian pada baja hadfield mangan steel.

Penelitian tentang baja mangan ini berkembang dengan berbagai macam metode, salah satunya yang pernah dilakukan sebelumnya ialah dengan proses pemanasan pada temperatur 1000 °C-1090 °C kemudian didinginkan cepat (quenching). Menggunakan media pendinginan yang berbeda-beda dengan waktu penahanan 60 menit menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda-beda pula [1].

Salah satu metode perlakuan panas yang dilakukan dalam penelitian ini untuk meningkatkan nilai kekerasan suatu baja yaitu dengan melakukan quenching, yaitu perlakuan panas dengan cara memanaskan baja pada temperatur austenisasinya kemudian didinginkan cepat menggunakan media pendingin yang bervariasi dengan tujuan mendapatkan nilai kekerasan yang berbeda-beda [4]. Untuk lebih memastikan bahwa dalam perlakuan ini terjadi perubahan fasa maka dilakukan juga karakterisasi material dengan bantuan alat XRD dan pengamatan mikrosrtuktur dengan menggunakan mikroskop optik.

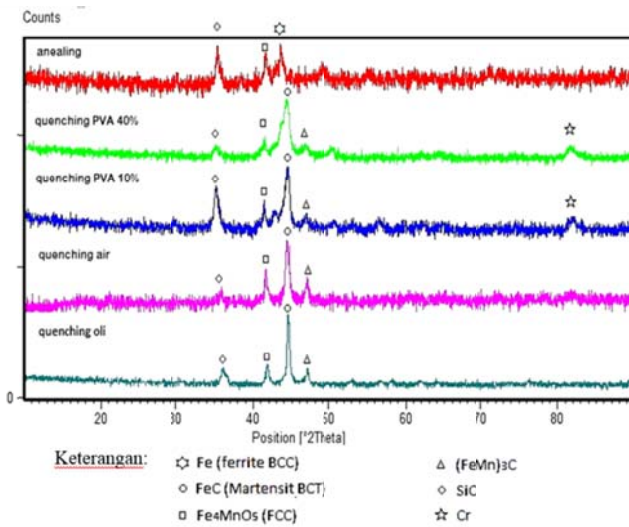
## II. METODE PENELITIAN

Spesimen baja mangan dipotong sebanyak 5 buah menggunakan *cutting wheel* kemudian dihaluskan menggunakan Grinding Machine. Dengan dimensi dan ukuran 25 x 15 x 10 mm. Satu specimen yang tanpa mendapatkan perlakuan diisikan untuk dilanjutkan pada proses metalografi selanjutnya. Setelah itu didapatkan 4 spesimen kemudian dipanaskan pada electric furnace hingga temperatur 950° C. Kemudian diholding selama 60 menit. Tiap –tiap specimen dicelupkan ke dalam media pendingin: Air Aquades, Oli SAE 20W, PVA 10%, PVA 40% dengan volume sama 750ml kedalam cawan pendingin.

Kemudian dilakukan grinding, polishing, etching menggunakan larutan etsa nital, glyceresia, dan Natrium sulfid. Dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop optic *Olympus Trinocular BX 51M* menggunakan perbesaran yang bertahap. Mulai dari perbesaran 100x.

Penghitungan kekerasan (*uji hardness*) yang digunakan menggunakan metode penghitungan vickers. Menggunakan indentor berbentuk piramida dengan hasil tapak tekan berbentuk persegi dengan diagonal 1 dan diagonal 2. Diambil pada 3 titik specimen yang berbeda untuk menghasilkan variasi kekerasan yang berbeda.

Kelima specimen kemudain dianalisa fasa menggunakan



Gambar 1. Pengaruh variasi media pendingin pada proses hardening terhadap pola grafik XRD, (a) anealing, (b) quenching PVA 40%, (c) quenching PVA 10%, (d) quenching air dan (e) quenching oli.

XRD (*X-Ray Diffraction*) dianalisa peak atau puncak yang terdapat setelah hasil uji XRD menggunakan software *High Score Plus, Match*, kemudian dianalisa secara Kualitatif menggunakan software iso PCPDF.

### III. HASIL DAN DISKUSI

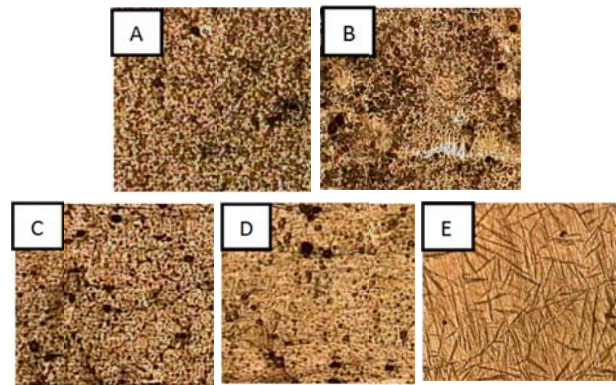
#### A. Analisa dan Hasil XRD

Pada baja mangan hadfield yang diberikan perlakuan pendinginan lambat (*annealing*), austenit yang mempunyai struktur atom FCC (*Face center cubic*) mengalami perubahan menjadi ferrit dengan struktur atom BCC (*Body center cubic*). Perubahan ini terjadi karena perpindahan atom-atom yang disebabkan oleh proses difusi. Karbon (C) yang berikatan dengan Fe pada struktur FCC akan melepaskan diri seiring lepasnya energi berupa turunya temperatur pemanasan yang terdapat pada spesimen menjadikan karbon berikatan dengan senyawa lainnya [3].

Selain terbentuk Ferrit BCC pada *annealing* juga terbentuk Fe<sub>4</sub>MnO<sub>5</sub> atau Oksida Baja Mangan yang memiliki struktur Kristal FCC atau austenit. Hal ini terjadi karena unsure mangan (Mn) yang tinggi pada baja mangan hadfield. Dominannya unsur mangan kurang lebih 14% membentuk struktur ikatan baru dengan Fe dan O menjadi Fe<sub>4</sub>MnO<sub>5</sub> dengan struktur kristal austenit.

Pada anil tidak terbentuk karbida mangan namun terdapat unsur SiC atau silicon carbida yang membuat baja mangan hadfield tetap keras. SiC dapat terbentuk karena unsur Si (silikon) dibutuhkan dalam proses penuangan logam coran. Unsure Si dapat meningkatkan fluidity saat proses penuangan coran logam. Sehingga Si yang terkandung dalam baja mangan hadfield berikatan dengan unsure karbon membentuk SiC. Meskipun SiC tidak dominan namun dapat mempengaruhi nilai kekerasan baja mangan hadfield.

Pada pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media pendingin air, oli, PVA (*polyvinylalcohol*) 10% dan PVA



Gambar 2. Hasil analisa struktur mikro perbesaran 100x, (a) quenching air (etsa natrium sulfida), (b) quenching PVA 10% (etsa natrium sulfida), (c) quenching PVA 40% (etsa natrium sulfida), (d) quenching oli (etsa natrium sulfida), dan (e) anealing (etsa glyseresia)

40%, austenit yang memiliki struktur FCC mengalami perubahan menjadi martensit dengan struktur BCT (*Body centered tetragonal*). Atom Karbon yang seharusnya keluar dari austenite terperangkap menjadi struktur yang baru BCT.

Kelarutan karbon pada ferrit tergolong rendah kisaran 0.025% lebih rendah jika dibandingkan dengan austenite yang dapat melarutkan karbon hingga 2%. Oleh karenanya atom-atom karbon yang tidak sempat berdifusi akan memperluas kisi atom satu arah dan membentuk struktur baru yakni BCT atau disebut dengan struktur martensit.

Pada pendinginan cepat baja mangan hadfield tidak seluruhnya terbentuk struktur martensit terdapat juga austenit sisa. Namun selain itu juga terbentuk karbida mangan (FeMn)<sub>3</sub>C. Unsur mangan yang tinggi sekitar 14% menjadikannya berikatan dengan Fe dan karbon. Komposisi mangan yang tinggi tidak seluruhnya dapat larut pada struktur austenit. Unsur mangan yang berlebih akan berikatan dengan Fe dan C menjadi unsur baru (FeMn)<sub>3</sub>C dengan kelarutan karbon yang tinggi yakni 3.33%, lebih tinggi jika dibandingkan austenit yang hanya dapat melarutkan karbon 2% saja.

#### B. Analisa Struktur Mikro

Pendinginan yang diperoleh setelah perlakuan panas pada temperature 950o C dan holding selama 1 jam. Pada 4 spesimen yang awalnya semuanya sama. Menghasilkan struktur mikro serta ukuran butir yang berbeda-beda.

Selain itu juga etsa yang digunakan dapat mempengaruhi penampakan fasa yang terdapat pada struktur mikro. Etsa nital dengan rasio 5 ml HNO<sub>3</sub> + 95 ml Alcohol 95% memperlihatkan karbida yang terdapat pada specimen. Etsa Glyceregia dengan ratio 10 ml HNO<sub>3</sub> + 20 ml HCl + 40 ml Glyserin memperlihatkan fasa austenit yang terdapat pada specimen. Etsa Natrium Sulfida variasi ratio Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 8 gr + HNO<sub>3</sub> 10 ml memperlihatkan struktur martensit specimen. laku panas dengan pendinginan cepat mendapatkan kekerasan yang berbeda-beda yang dapa mempengaruhi perubahan struktur mikro tergantung dari kecepatan laju pendinginan dan media pendinginannya.

Media Pendingin Air memiliki Laju Pendinginan yang

paling cepat jika dibandingkan dengan media pendingin PVA dan Oli. Dengan kecepatan pendinginan dibawah CCR (Critical Cooling Rate) menjadikan pendinginan baja non-equilibrium. Sehingga dengan pendinginan yang cepat menghasilkan struktur fasa martensit yang tampak pada Gambar 2 a-d menggunakan etsa Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Martensit dihasilkan dari austenit yang bertransformasi. Pada temperature media pendingin yang sangat rendah austenite mengalami driving force untuk berubah dari FCC menjadi BCC yang menimbulkan shear force terhadap atom-atom. Hal ini menyebabkan atom-atomnya sedikit bergeser untuk membentuk BCC, tetapi karena didalam austenite masih terdapat banyak karbon dan karbon tidak dapat berdifusi lagi akibat waktu pendinginan yang sangat cepat maka struktur BCC tidak dapat tercapai. Salah satu sel rusuk satuannya lebih panjang daripada yang lain. Sehingga membentuk struktur kristal baru menjadi BCT (Body Centered Tetragonal).[1]

Perbedaan jumlah martensit yang terbentuk berbeda seiring kecepatan laju pendinginannya. Semakin cepat laju pendinginan maka semakin cepat pula martensit yang terbentuk pada pendinginan setelah pemanasan 950oC. Perbandingan nampak kontras pada pendinginan air dengan pendinginan oli. Pada pendinginan air martensit yang terbentuk 90 % sedangkan pada pendinginan oli martensit hanya terbentuk 40 % lebih sedikit jika dibandingkan dengan pendingin air.

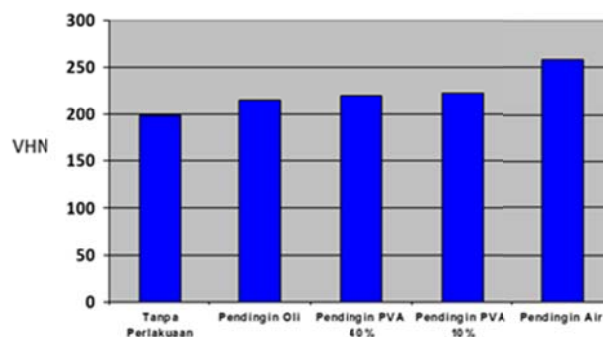
Waktu pendinginan yang lebih lambat, pada pendinginan oli mengakibatkan austenit tidak seluruhnya bertransformasi menjadi martensit (Gambar 2d). austenit sisa memiliki waktu untuk bertransformasi menjadi ferrit dan austenit. Austenit yang terbentuk stagnan tetap menjadi gamma (FCC) terbentuk karena setelah dipanaskan hingga temperatur 950oC kemudian didinginkan hingga temperatur kamar unsur mangan yang tinggi pada baja hadfield berikatan dengan Besi Fe dan O sehingga terbentuk Fe<sub>4</sub>MnO<sub>5</sub> dengan struktur kristal FCC (gamma) austenit.

Spesimen baja mangan hadfield yang tanpa mendapatkan perlakuan hardening menggunakan etsa Gliseregia (Gambar 2 e) menunjukkan austenit berwarna putih sebagai dasar matriks dengan warna hitam yang menunjukkan terbentuknya bainit. Bainit terbentuk akibat pendinginan yang equilibrium sehingga waktu yang digunakan untuk bertransformasi cukup lama untuk menekan terjadinya difusi carbon pada atom Fe sehingga bilah-bilah makin halus, berbentuk jarum-jarum (acicular).

### C. Analisa Kekerasan

Proses laku panas / *Heat treatment* pada proses hardening dengan mendinginkan cepat selain berpengaruh terhadap komposisi dan struktur mikro juga berpengaruh terhadap nilai kekerasan. Semakin cepat laju pendinginan semakin banyak pula terbentuknya martensit.

Terbentuknya martensit meningkatkan nilai kekerasan baja hadfield mangan steel. Namun tidak seluruhnya specimen yang



Gambar 3. Grafik perbandingan nilai kekerasan

diberikan laku panas terbentuk seluruhnya martensit. Sehingga memberikan nilai kekerasan yang berbeda-beda.<sup>[3]</sup>

Nilai kekerasan yang didapatkan dari 5 specimen yang berbeda-beda dengan pengujian di tiga titik menghasilkan nilai yang simultan. Seperti tampak pada Gambar 3.

Spesimen yang tanpa mendapatkan perlakuan hardening memiliki nilai kekerasan terendah. Struktur kristal ferrit yang dominan menjadikan rendahnya nilai kekerasan pada specimen. Namun jumlah terbentuknya Fe<sub>4</sub>MnO<sub>5</sub> yang berstruktur FCC serta karbida mangan (FeMn)<sub>3</sub>C menyumbangkan nilai kekerasan pada baja mangan hadfield yang tanpa diberi perlakuan hardening. Sehingga nilai yang dicapai hampir sama atau masih kurang signifikan jika dibandingkan dengan yang mendapatkan perlakuan panas berupa hardening.

Pada specimen yang diberikan perlakuan panas berupa hardening dengan didinginkan cepat memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan specimen baja mangan hadfield tanpa mendapatkan perlakuan. Unsur martensit berperan penting dalam meningkatkan nilai kekerasan. Adanya tegangan akibat dari karbon yang terperangkap ke dalam struktur kristal BCT.

Selama pendinginan, terjadi perpindahan panas antara specimen dengan media pendingin. Kontak antara media pendingin dengan specimen mengakibatkan perubahan temperature yang relative cepat dan berbeda-beda. Semakin cepat laju pendinginan yang terjadi maka akan semakin tinggi nilai kekerasan yang diperoleh pada specimen.

## IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil analisa dan penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sifat mekanik khususnya kekerasan suatu material tidak hanya dipengaruhi pada komposisi kimia suatu paduan, tetapi juga bergantung pada struktur mikro dan fasanya. Baja mangan hadfield yang memiliki komposisi sama namun memiliki struktur mikro dan kekerasan yang berbeda-beda pula. Dan hal ini dipengaruhi oleh proses laku panas berupa pendinginan cepat yang berdampak pada hardening baja mangan hadfield.
2. Media pendingin memiliki fungsi untuk menurunkan laju pendinginan setelah dilakukan laku panas. Dengan laju pendinginan air, PVA 10%, PVA 40%, dan oli specimen mengalami proses hardening. Akibat pendinginan yang cepat <CCR kurang dari (Critical Cooling Rate) sehingga

terbentuk martensit. Dengan nilai kekerasan yang tertinggi diperoleh dari pendinginan menggunakan air kemudian menggunakan pendinginan PVA 10%, PVA 40%, dan nilai kekerasan terendah menggunakan media pendingin oli SAE 20W.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abrianto. 2008. "Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Mangan Austenitik Hasil Proses Perlakuan Panas" Jurnal Teknik Universitas Jendral Achmad Yani 8 (11): 90-99.
- [2] Alhamidi, Ali. 2008. Penggunaan Polyvinyl Alkohol (PVA) Sebagai Media Quench Terhadap Kekerasan, strukturmikro dan Distorsi Dimensi Baja AISI 1045. Jurnal Teknik Metalurgi Manufaktur Universitas Ageng Tirtayasa. Cilegon.
- [3] Calister, William D. 2000. Materials Science and Engineering. Departement of Metallurgical Engginering The University of Utah.
- [4] Xu, H.F. 2011. Heat treatment effects on the microstructure and mechanical properties of a medium manganese steel (0.2C-5Mn). School of Materials Science and Engineering, Wuhan. China.