

PENGARUH PENAMBAHAN 1,3% Mn DAN QUENCHING TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS BESI COR KELABU

Gunawan Dwi Haryadi¹, Dwi Basuki Wibowo², Sumar Hadi Suryo³,
Budi Setiyana⁴ dan I.M.W. EKAPUTRA⁵

ABSTRAK

Besi cor kelabu merupakan salah satu material yang paling sering digunakan karena mudah dibentuk dalam bentuk rumit, proses pembuatan yang mudah, mudah dalam proses pemesinan, dan harganya yang relatif murah. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan unsur mangan dan proses quenching terhadap nilai kekerasan dan perubahan struktur mikro yang terbentuk. Karakteristik dari besi cor kelabu ditentukan oleh kadar karbon yang terdapat di dalam struktur pembentuknya. Untuk meningkatkan sifat mekanis, besi cor kelabu dapat ditambahkan unsur paduan lain yang sesuai, salah satunya adalah unsur mangan. Unsur mangan dapat meningkatkan kekerasan besi cor kelabu. Selain penambahan unsur paduan lain, untuk meningkatkan sifat mekanis besi cor kelabu dapat dilakukan dengan proses perlakuan panas quenching. Penambahan unsur mangan sebesar 1,3% ini dilakukan ketika proses pengecoran besi cor kelabu dilakukan dengan metode open ladle. Mangan disebut sebagai unsur penstabil austenite penggalak pearlite. Unsur mangan dapat menurunkan temperatur eutektoid yang mengakibatkan kisaran austenite meningkat, sehingga fase yang dominan terbentuk adalah pearlite. Besi cor kelabu terbentuk akibat pendinginan lambat ketika proses pengecoran, sehingga laju pendinginan lambat ini mengakibatkan fase austenite cenderung berubah membentuk pearlite. Proses quenching dilakukan untuk melihat adanya perubahan fase yang terjadi. Pemanasan pada suhu 900°C mengakibatkan karbon terdifusi untuk membentuk struktur lain ketika dipanaskan, selanjutnya dilakukan proses pendinginan cepat menggunakan media air. Hasil pengujian kekerasan pada spesimen, terlihat kekerasan tertinggi dimiliki besi cor kelabu Fc-25 dengan Mn 1,3% setelah quenching sebesar 433,943 kg/mm², dibandingkan dengan tanpa perlakuan memiliki kekerasan sebesar 224,336 kg/mm². Pada spesimen besi cor kelabu Fc-25 setelah quenching memiliki kekerasan sebesar 173,743 kg/mm², dibandingkan dengan tanpa perlakuan memiliki kekerasan sebesar 153,221 kg/mm². Hasil yang didapatkan dari pengujian ini adalah unsur mangan dan proses quenching dapat meningkatkan nilai kekerasan dari spesimen pengujian. **Keywords :** Besi cor kelabu Fc-25, Kekerasan, Mangan, Media Pendingin, Quenching

PENDAHULUAN

Besi cor merupakan paduan Besi-Karbon dengan kandungan C diatas 2%. Beberapa

^{1, 2, 3, 4} Tenaga Pengajar (Dosen) Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Indonesia

⁵ Tenaga Pengajar (Dosen) Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma, Indonesia

*Corresponding author:
gunawan_dh@ft.undip.ac.id

sifat mekanisnya yang unggul menjadikan besi cor sebagai bahan material yang masih sering diterapkan pada dunia industri untuk berbagai komponen. Sekitar 94% dari total kebutuhan dunia akan material besi adalah dalam bentuk baja dan besi cor (V.B. John: 1983: 178). Klasifikasi besi cor terdiri dari empat golongan utama yaitu : besi cor kelabu, besi cor putih, besi cor nodular, dan besi cor mampu tempa. Beberapa kelebihan dari besi cor diantaranya mudah dituang menjadi bentuk cetakan yang rumit, mudah dalam proses pemesinan, dan peredam getaran yang baik.

Besi cor kelabu merupakan salah satu jenis dari golongan besi cor yang banyak digunakan di dunia industri. Besi cor kelabu memiliki kadar karbon yaitu antara 2,5% - 4% dan kadar silikon antara 1% - 3%. Karakteristik dari besi cor kelabu adalah patahan dari besi cor ini berwarna kelabu memiliki bentuk grafit berupa serpih (*flake*) (Callister, William D,367, 2007). Karakteristik besi cor kelabu memiliki kekuatan tarik yang rendah sekitar 10-30 kgf/mm², kekerasan yang cukup baik sekitar 130-240 BHN, memiliki titik cair sekitar 1.200⁰C, dan struktur mikro yang terdiri dari *ferrite* dan atau *pearlite* serta grafit karbon bebas (Tata Surdia, 1986). Bentuk grafit karbon yang khas yaitu berbentuk *flake* atau serpih.

Bentuk dari struktur mikro besi cor kelabu menyebabkan logam ini bersifat getas dan kurang optimal untuk menahan beban tarik. Hal ini dipengaruhi oleh bentuk grafit yang runcing pada batas butir matriksnya. Bentuk runcing pada grafit ini menimbulkan adanya konsentrasi tegangan yang tersebar pada bagian dalam material (Callister, William D,367, 2007). Upaya untuk meningkatkan sifat mekanis dari besi cor kelabu salah satunya adalah dengan melakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut (B.H. Amstead). Perlakuan panas pada besi cor umumnya dilakukan dengan cara memanaskan pada suhu *austenite* dan dipertahankan pada waktu tertentu kemudian didinginkan pada media tertentu. Beberapa tujuan dari perlakuan panas adalah untuk meningkatkan keuletan, meningkatkan kekerasan, menghaluskan butir kristal, dan menurunkan tegangan dalam.

Selain perlakuan panas sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan sifat mekanis dari besi cor kelabu, dapat dilakukan dengan penambahan unsur lain. Salah satu contoh penambahan unsur paduan adalah pada unsur tembaga dan nikel, unsur ini mampu membentuk grafit dan cenderung menjaga besi cor kelabu bebas dari chill sehingga efeknya

akan menekan pembentukan *ferrite* bebas (Suprihanto, A, 2005). Unsur lain yang dapat digunakan sebagai paduan adalah mangan. Mangan dapat berperan menjadi penstabil *austenite* dan penggalak *pearlite* (ASM Handbook Vol. 1). Kehadiran Mangan-Sulfida adalah hasil dari penambahan yang diharapkan untuk mencegah pembentukan besi sulfida rapuh yang terbentuk pada batas butir (ASM Handbook Vol.15).

Pada tugas akhir, pengaruh perlakuan panas *quenching* dan penambahan unsur mangan pada besi cor kelabu diinvestigasi. Proses *quenching* diawali dengan memanaskan besi cor kelabu pada suhu *austenite*, yaitu pada suhu 900⁰C, kemudian ditahan selama 15 menit dan selanjutnya didinginkan secara cepat menggunakan media pendingin air. Selain proses *quenching*, penelitian ini juga melakukan investigasi tentang pengaruh penambahan mangan sebesar 1,3% pada besi cor kelabu melalui pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro.

METODE DAN BAHAN

Material pengujian yang dipilih adalah besi cor kelabu Fc-25 yang diperoleh dari hasil pengecoran logam di Koperasi Batur Jaya, Klaten dengan kapasitas tanur induksi sebesar 500 kg. Komposisi unsur yang terdapat dan penambahan unsur Mn 1,3% dilakukan menggunakan standar komposisi perusahaan dan dilakukan oleh operator perusahaan. Metode penambahan mangan 1,3% menggunakan open *ladle*. Proses pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin pengujian Vickers dengan pembebanan 10 kg dan lama waktu pijakan selama 10 detik. Proses perlakuan panas dilakukan dengan metode *quenching* pada suhu 900⁰C ditahan selama 15 menit dan kemudian didinginkan secara cepat menggunakan media pendingin air.

Pengujian Kekerasan

Kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Deformasi adalah perubahan bentuk suatu material. Pada logam kekerasan diukur terhadap ketahanannya terhadap deformasi plastis. Deformasi plastis terjadi kemungkinan terjadi pada permukaan yang lunak, sedangkan deformasi permanen

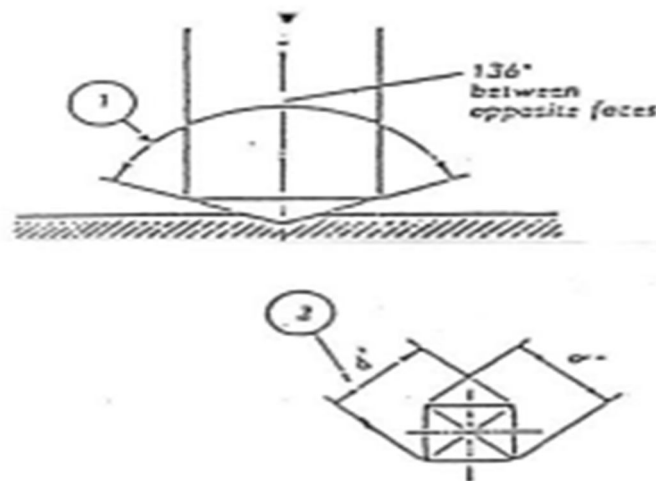
kemungkinan terjadi pada permukaan benda yang lebih keras (Maulana, 2018). Metode pengujian kekerasan yang dilakukan adalah menggunakan alat uji kekerasan Vickers. Ukuran dari setiap spesimen ini yaitu panjang 1 cm dan diameter 1,7 cm. Pembebanan yang diberikan pada pengujian ini sebesar 10 kg dengan lama waktu penekanan indenter selama 10 detik. Setiap spesimen pengujian diambil 14 titik secara merata pada bagian permukaan dengan tujuan untuk memperoleh hasil nilai kekerasan yang mewakili setiap titik dan diambil nilai rata-rata serta standar deviasi. Hasil pengujian kekerasan diperoleh secara otomatis menggunakan pengukuran digital yang terlihat pada layar uji kekerasan Vickers. Rumus kekerasan Vickers dapat dihitung secara rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{HV} &= \frac{[2P \cdot \sin(\frac{\alpha}{2})]}{D^2} \\ &= \underline{1,845} \times \frac{F}{D^2} \end{aligned} \quad (1)$$

Dimana :

F = beban yang digunakan (kg)

D = panjang diagonal rata-rata bekas pijakan (mm)



Gambar 1. Indentor Piramida

Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro adalah suatu pengujian untuk mengetahui susunan logam pada suatu benda uji atau spesimen (Nugroho, P.A, 2015). Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan Mikroskop Metalografi seri Union Tokyo 2900. Proses terjadinya perbedaan warna, besar butir, bentuk, dan ukuran butir yang mendasari penentuan dari jenis dan sifat fasa pada hasil pengamatan struktur mikro adalah adanya pengetsaan. Prinsip dasar dari pengetsaan merupakan proses pengikisan mikro terkendali yang menghasilkan alur pada permukaan akibat *crystal faceting* yaitu orientasi kristal yang berbeda, sehingga terjadi reaksi kimia yang berbeda intensitasnya. Fasa-fasa yang terdapat dalam logam memiliki kekerasan yang berbeda maka fasa lunak akan terkikis lebih dalam. Akibat adanya perbedaan ini dan arah cahaya pantulan yang tertangkap lensa maka akan terlihat fasa lunak akan lebih terang dibandingkan fasa keras akan terlihat gelap (Nugroho, P.A, 2015).

Pengujian yang dilakukan menggunakan bahan etsa nital dengan komposisi HNO_3 100% dicampur dengan alkohol. Larutan bahan etsa dicampur di dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pipet disesuaikan dengan kegunaan etsa. Proses pengetsaan dilakukan selama 60 detik kemudian spesimen dibersihkan menggunakan air mengalir. Perlu diperhatikan pada saat proses pengetsaan, lama waktu yang digunakan harus disesuaikan dengan kondisi perubahan warna menjadi keabu-abuan yang terlihat pada permukaan spesimen. Apabila bahan etsa dan lama waktu pengetsaan tidak disesuaikan, dapat terjadi resiko adanya *over etching* pada spesimen sehingga ketika dilakukan pengamatan struktur mikro terlihat pada gambar 2 akan muncul seperti terbakar.

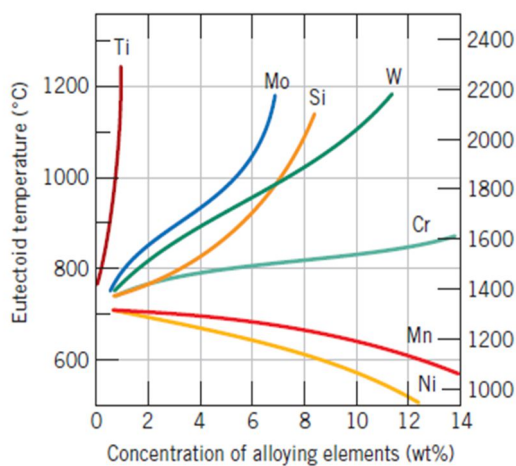
Pengaruh Unsur Paduan dan Diagram *Time Temperature Transformation*

Penambahan elemen paduan seperti Kromium, Nikel, Mangan, Silikon, dan elemen paduan lainnya memberikan perubahan pada diagram fase Fe-Fe₃C (Callister, W.D, 2007). Karbon adalah elemen dasar yang mengubah besi menjadi baja dan elemen paduan lain ditambahkan untuk memberikan variasi sifat yang diinginkan. Tingkat perubahan posisi batas fase dan bentuk bidang fase ditentukan pada elemen tertentu dan konsentrasinya. Salah satu perubahan yang terjadi adalah pergeseran posisi *eutectoid* terhadap suhu dan konsentrasi karbon (Callister, W.D, 2007). Pengaruh penambahan elemen diberikan gambaran tentang

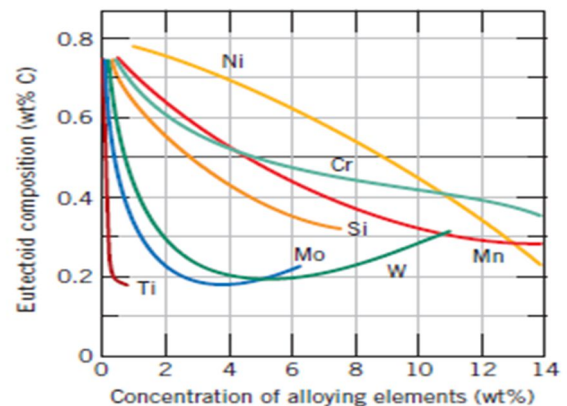
perubahan suhu *eutectoid* dan konsentrasi karbon pada gambar 3.

ETCHING REAGENT	COMPOSITION	USES	REMARKS
Nitric acid (nital)	White nitric acid 1-5 ml Ethyl or methyl alcohol (95% or absolute) 100 ml (also amyl alcohol)	In carbon steels: (1) to darken pearlite and give contrast between pearlite colonies, (2) to reveal ferrite boundaries, (3) to differentiate ferrite from martensite	Etching rate is increased, selectivity decreased, with increasing percentages of HNO ₃ . Reagent 2 (picric acid) usually superior Etching time a few seconds to 1 min
Picric acid (picral)	Picric acid 4 g Ethyl or methyl alcohol (95% or absolute) 100 ml	For all grades of carbon steels: annealed, normalized, quenched, and tempered, spheroidized, austempered. For all low-alloy steels attacked by this reagent	More dilute solutions occasionally useful. Does not reveal ferrite grain boundaries as readily as nital Etching time a few seconds to 1 min or more
Ferric chloride and hydrochloric acid	Ferric chloride 5 g Hydrochloric acid 50 ml Water 100 ml	Structure of austenitic nickel and stainless steels	
Ammonium hydroxide and hydrogen peroxide	Ammonium hydroxide 5 parts Water 5 parts Hydrogen peroxide 2-5 parts	Generally used for copper and many of its alloys	Peroxide content varies directly with copper content of alloy to be etched Immersion or swabbing for about 1 min. Fresh peroxide for good results
Ammonium persulfate	Ammonium persulfate 10 g Water 90 ml	Copper, brass, bronze, nickel silver, aluminum bronze	Use either cold or boiling; immersion
Palmerton reagent	Chromic oxide 200 g Sodium sulfate 15 g Water 1,000 ml	General reagent for zinc and its alloys	Immersion with gentle agitation
Ammonium molybdate	Molybdic acid (85%) 100 g Ammonium hydroxide (sp gr 0.9) 140 ml Water 240 ml Filter and add to nitric acid (sp gr 1.32) 60 ml	Rapid etch for lead and its alloys; very suitable for removing thick layer of worked metal	Alternately swab specimen and wash in running water
Hydrofluoric acid	Hydrofluoric acid (conc) 0.5 ml H ₂ O 99.5 ml	General microscopic for aluminum and its alloys	Swab with soft cotton for 15 s

Gambar 2. Bahan Etsa (Avner. 1974)



Gambar 3. Penurunan temperatur Austenite (Callister, W.D. 2007)

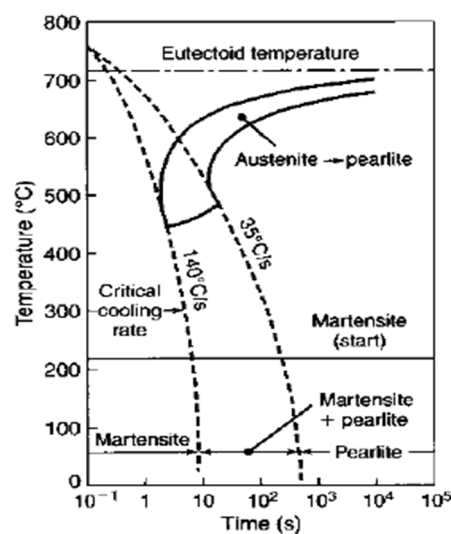


Gambar 4. Perubahan konsentrasi karbon (Callister, W.D. 2007)

Suhu *eutectoid* dapat dinaikan atau diturunkan dari 727 °C bergantung pada elemen paduan yang ditambahkan. Menurunkan suhu *eutectoid* itu berarti meningkatkan kisaran *austenite*. Gambar 2.8 menjelaskan bahwa unsur nikel dan mangan mampu menurunkan suhu *austenite*. Nikel dan mangan termasuk unsur penstabil *austenite* (ASM Handbook Vol. 1).

Diagram *Time Temperature Transformation*

Diagram yang menggambarkan hubungan transformasi *austenite* terhadap temperatur dan waktu. Diagram ini digunakan untuk menentukan fase mana yang akan terbentuk berdasarkan waktu pendinginan. Proses perlakuan panas dilakukan untuk memperoleh struktur material yang diinginkan dan disesuaikan dengan penggunaan dan tujuan pembuatan material. Hasil dari struktur yang dihasilkan merupakan transformasi fase awal kemudian dilakukan pendinginan. Proses transformasi dapat digambarkan menggunakan diagram TTT sebagai berikut.



Gambar 5. Diagram TTT (Kalpakjian.2013)

Terlihat pada diagram TTT, bahwa laju pendinginan cepat akan menghasilkan struktur *martensite*. Semakin tinggi suhu atau semakin lama waktu, maka semakin banyak *austenite* yang berubah menjadi *pearlite* (Kalpakjian, 2013). Untuk setiap suhu terdapat waktu minimum untuk memulai awal transformasi. Periode waktu ini dapat menentukan laju

pendinginan kritis, waktu yang lama maka *austenite* akan berubah menjadi *pearlite*, sedangkan waktu yang cepat akan cenderung merubah *austenite* menjadi *martensite*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini telah dilakukan investigasi terhadap besi cor kelabu Fc-25 dengan penambahan Mn 1,3%. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan material besi cor kelabu Fc-25 tanpa dan dengan penambahan mangan 1,3%. Terdapat dua macam pengujian, yaitu pengujian kekerasan Vickers dan pengamatan struktur mikro. Hal ini dilakukan untuk melihat secara lebih detail tentang perubahan sifat mekanis yang diperoleh melalui metode penambahan unsur Mn dan perlakuan panas *quenching*. Data yang diperoleh ini ditampilkan dalam bentuk tabel nilai kekerasan dan hasil pengujian struktur mikro berupa gambar. Pada data hasil pengujian kekerasan Vickers disajikan dalam bentuk tabel dan grafik perbandingan nilai kekerasan pada setiap spesimen pengujian. Sementara untuk melihat perubahan fase yang terjadi akibat proses *quenching* disajikan dalam bentuk foto struktur mikro.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan nilai kekerasan dari besi cor kelabu Fc-25 dan besi cor kelabu Fc-25 dengan Mn 1,3%. Metode pengujian kekerasan yang dilakukan adalah pengujian kekerasan Vickers. Pembebanan yang dilakukan yaitu sebesar 10 kg dan waktu penekanan selama 10 detik dengan indentor pijakan berupa piramida. Pengambilan data kekerasan dilakukan sebanyak 14 titik dengan persebaran acak dari tepi hingga tengah agar diperoleh persebaran nilai kekerasan yang merata dan mewakili setiap bagian pada permukaan spesimen.

Pengujian kekerasan dilakukan pada 4 spesimen yang berbeda. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen besi cor kelabu Fc-25 dengan Mn 1,3% setelah *quenching* yaitu sebesar 422,473 kg/mm². Nilai kekerasan terbesar berikutnya pada spesimen besi cor kelabu Fc-25 dengan Mn 1,3% tanpa perlakuan yaitu sebesar 225,18 kg/mm². Pada spesimen besi cor kelabu Fc-25 setelah *quenching* memiliki nilai kekerasan 170,127 kg/mm², nilai ini tidak mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan spesimen besi cor kelabu Fc-25 tanpa perlakuan dengan nilai kekerasan 151,827 kg/mm².

Tabel 1: Data Hasil Pengujian Kekerasan Besi Cor Kelabu Fc-25 Tanpa Perlakuan

No	Bahan	Perco- baan ke-	Beban	Diagonal		Hasil HV10
				d ₁ (μ M)	d ₂ (μ M)	
1	Besi Cor Kelabu Fc-25	1	10	318,36	323,88	179,7
		2	10	339	342,12	159,8
		3	10	377,16	351,72	139,5
		4	10	359,88	379,8	135,5
		5	10	341,4	358,8	151,1
		6	10	356,88	331,8	156,3
		7	10	335,76	357	154,5
		8	10	344,76	348,24	154,3
		9	10	353,76	365,04	143,4
		10	10	344,52	348	154,6
		11	10	351,24	348,84	151,2
		12	10	332,76	337,2	165,2
		13	10	333,48	351,84	157,8
		14	10	356,88	365,16	142,2
Rata-rata nilai kekerasan Vickers						153,221
Standar Deviasi						10,862

Tabel 2: Data hasil pengujian kekerasan Vickers pada besi cor kelabu Fc-25 Mn 1,3% tanpa perlakuan

No	Bahan	Perco- baan ke-	Beban	Diagonal		Hasil HV10
				d ₁ (μ M)	d ₂ (μ M)	
2	Besi Cor Kelabu Fc-25 dengan Mangan 1,3%	1	10	293,88	292,44	215,7
		2	10	284,28	281,64	231,5
		3	10	297,48	297,24	209,6
		4	10	300,84	304,56	202,2
		5	10	285,48	282,24	230
		6	10	286,32	287,04	225,6

7	10	284,76	283,08	229,9
8	10	292,8	299,28	211,5
9	10	290,4	287,28	222,1
10	10	275,76	283,56	237
11	10	285,48	287,08	226
12	10	269,52	277,08	248,1
13	10	284,16	276,48	235,8
14	10	300,6	285,84	215,7
Rata-rata nilai kekerasan Vickers				224,336
Standar Deviasi				11,956

Tabel 3: Data hasil pengujian kekerasan Vickers pada besi cor kelabu Fc-25 setelah perlakuan panas quenching

No	Bahan	Percobaan ke-	Beban	Diagonal		Hasil HV10
				d ₁ (μ M)	d ₂ (μ M)	
3	Besi Cor Kelabu Fc-25 Setelah Quenching	1	10	349,32	363,6	145,8
		2	10	385,92	342,36	150,7
		3	10	308,28	297,12	202,2
		4	10	265,92	232,8	298,1
		5	10	380,76	392,4	124
		6	10	365,4	367,32	138,1
		7	10	379,08	351,48	138,9
		8	10	332,76	331,32	168,1
		9	10	362,16	371,76	137,6
		10	10	321,72	333,72	172,5
		11	10	303,96	331,32	183,7
		12	10	337,44	345,24	159

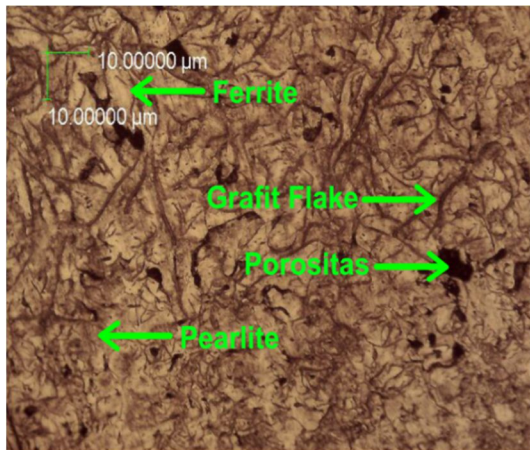
	13	10	400,5	421	109,7
	14	10	253,92	239,89	304
Rata-rata nilai kekerasan Vickers					173,743
Standar Deviasi					56,8643

Tabel 4: Data hasil pengujian kekerasan Vickers pada besi cor kelabu Fc-25 Mn 1,3% setelah perlakuan panas quenching

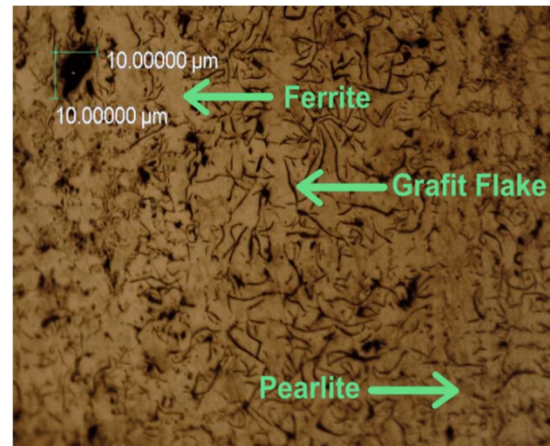
No	Bahan	Percobaan ke-	Beban	Diagonal		Hasil HV10
				d ₁ (μ M)	d ₂ (μ M)	
4	Besi Cor Kelabu Fc-25 dengan Man- gan 1,3% setelah <i>Quenching</i>	1	10	220,44	212,4	395,7
		2	10	240,48	225,72	341
		3	10	196,8	185,16	508,5
		4	10	198,72	189,72	491,3
		5	10	196,44	193,44	487,8
		6	10	222,96	224,76	370
		7	10	243,48	240,6	316,4
		8	10	194,64	192,36	494,9
		9	10	202,68	193,92	471,2
		10	10	220,56	220,56	381,1
		11	10	195,6	197,16	480,9
		12	10	204,48	198,72	455,9
		13	10	201,72	195,6	469,8
		14	10	212,16	212,64	410,7
Rata-rata nilai kekerasan Vickers						433,943
Standar Deviasi						61,041

Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro yang terlihat dari pengamatan melalui mikroskop ditampilkan dalam bentuk foto dan dilakukan untuk menganalisa hasil dari nilai kekerasan pada setiap specimen.

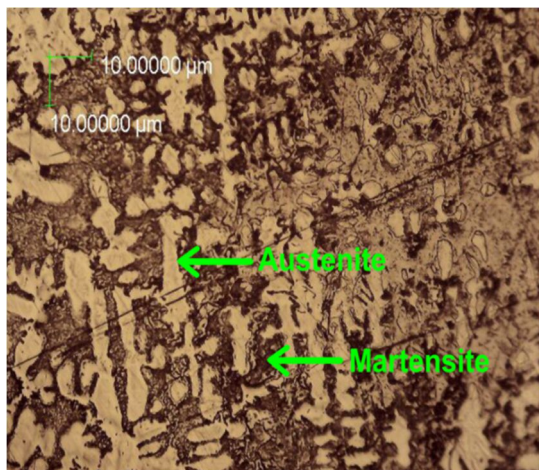


(a)

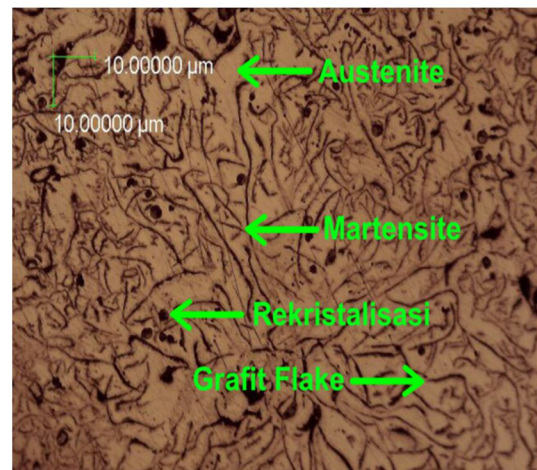


(b)

Gambar 6. Foto struktur mikro besi cor kelabu Fc-25 tanpa perlakuan (a) Tanpa penambahan Mn 1,3% dan (b) dengan penambahan Mn 1,3%



(c)



(d)

Gambar 7. Foto struktur mikro besi cor kelabu Fc-25 setelah *quenching* (c) Tanpa penambahan Mn 1,3% dan (d) dengan penambahan Mn 1,3%

Struktur mikro dari beberapa spesimen menunjukkan adanya perbedaan tampilan yang disebabkan oleh perbedaan kandungan Mn dan proses perlakuan panas *quenching*. Pada gambar 6(a) ini terlihat persebaran grafit yang merata. Untuk fase yang terlihat yaitu *ferrite*, *pearlite*, dan grafit *flakes*. Grafit *flake* terlihat tersebar merata dengan dikelilingi oleh matriks *ferrite* dan *pearlite*. Grafit *flakes* yang terbentuk berukuran relatif besar, panjang, dan tersebar secara mendominasi. Fase lain yang dominan terlihat adalah *ferrite* yang mengakibatkan nilai kekerasan pada spesimen ini bernilai relatif kecil dibandingkan dengan spesimen yang lain. *Ferrite* pada struktur mikro terlihat pada bagian yang berwarna terang. *Ferrite* bersifat sangat lunak dan ulet (Kalpakjian, 2013). Matriks struktur yang terbentuk salah satunya adalah *ferrite*. *Ferrite* bersifat lunak dan ulet (ASM Specialty Cast Iron, 2013). Besi cor kelabu terbentuk karena pendinginan lambat dari hasil coran. Pada gambar 6(b) terlihat fase yang dominan terlihat yaitu adalah *pearlite*. Letak *pearlite* yang menyebar dan cenderung berkumpul menjadi satu. Mangan adalah satu unsur yang berperan menjadi penggalak *pearlite* terkuat (ASM Specialty Handbook Cast Iron, 2013) yang artinya dapat berperan sebagai unsur dengan kemampuan membantu besi untuk dominan membentuk *pearlite*. Terlihat pada gambar diketahui *pearlite* tersebar secara hampir merata. *Pearlite* adalah kombinasi dua fase antara *ferrite* dan *cementite*. Mangan juga berperan sebagai penstabil *austenite* (ASM Specialty Handbook Cast Iron, 2013). Proses pengecoran ini dilakukan penambahan mangan pada saat hasil coran masih bertemperatur tinggi kemudian dituang dalam cetakan. Metode yang dilakukan adalah *open ladle*. Keberadaan mangan ini mengakibatkan pada suhu tinggi cenderung membentuk fase *austenite* pada besi cor kelabu. *Austenite* yang terbentuk dan mengalami pendinginan secara lambat cenderung bertransformasi menjadi *pearlite*. Sehingga dengan demikian mangan mampu meningkatkan kekerasan besi cor kelabu karena fase yang terbentuk didominasi oleh *pearlite*.

Spesimen setelah mengalami proses *quenching* juga terlihat bahwa terdapat perbedaan dari hasil struktur mikronya. Pada gambar 7(c) terlihat transformasi fase setelah dilakukan proses *quenching*. Fase yang terbentuk yaitu fase *martensite* sebagian, hal ini dapat terjadi karena sebagian fase masih mengalami proses rekristalisasi yaitu atom-atom belum sepenuhnya bertransformasi membentuk fase baru. Difusi karbon masih terhambat pada saat

spesimen dipanaskan yang dapat meningkatkan kekerasan. Proses *austenizing* adalah pemanasan pada suhu *austenite* dan ditahan pada waktu tertentu sampai jumlah karbon yang diinginkan telah terlarut dalam fase ini (ASM Handbook Vol. 4). Apabila fase *austenite* telah tercapai, selanjutnya dilakukan pendinginan cepat dengan media pendingin air. Laju pendinginan cepat mengakibatkan adanya transformasi fase, yaitu dari fase *austenite* menjadi *martensite*. Pengujian ini belum banyak terlihat adanya fase *martensite* yang terbentuk. Hal ini dapat terjadi karena masih terjadi fase rekristalisasi, yaitu ketika belum semua fase mengalami transformasi menjadi fase *austenite* ketika dipanaskan. Waktu 15 menit menjadi salah satu faktor terjadinya fase rekristalisasi. Dekomposisi grafit terjadi di sekitar grafit itu sendiri dengan waktu yang relatif lama, dengan kata lain waktu 15 menit belum mampu merubah seluruh fase menjadi *austenite* (Gebiril, A, dkk 2014). Proses *quenching* untuk meningkatkan kekerasan dipengaruhi beberapa faktor, yaitu komposisi, media pendingin, dan geometri serta ukuran. Komposisi pada spesimen ini mengacu pada komposisi besi cor kelabu Fc-25 yaitu dengan kadar karbon berkisar 2,5-4,0 % (ASM Handbook Vol.1). Diagram fase Fe-Fe₃C menunjukkan bahwa untuk melakukan proses perlakuan panas dilakukan pada suhu *austenite*, yaitu diatas suhu 727⁰C untuk merubah struktur fase awal menjadi fase *gamma-austenite*. Pada pengujian ini dilakukan pada suhu 900⁰C sehingga dapat dijelaskan bahwa suhu yang dipilih sudah melewati batas suhu *austenite*. Setelah proses pemanasan dan ditahan pada waktu tertentu dilanjutkan dengan proses pendinginan cepat. Media pendingin yang dipilih untuk proses *quenching* adalah air. Air dipilih sebagai media pendingin karena memiliki sifat sebagai penghantar kalor yang baik. Pengaruh viskositas dan densitas perlu diperhatikan pada proses *quenching*. Air memiliki viskositas 1,01 Pa.s dan densitas 998 kg/m³ (Streeter, 1992). Viskositas adalah tingkat kekentalan fluida, dimana nilai viskositas tinggi maka laju pendinginan lambat. Sedangkan densitas adalah perbandingan antara massa dan volume, dimana semakin tinggi nilai densitas maka laju pendinginan semakin cepat (Rama, 2019). Geometri dan ukuran spesimen pada pengujian ini telah disesuaikan bentuk berupa silinder pejal dengan panjang 1 cm dan diameter 1,7 cm. Spesimen ini berukuran kecil dengan bentuk silinder pejal diharapkan pada saat pemanasan seluruh daerah spesimen dapat terkena panas secara merata dengan suhu yang sama. Ukuran spesimen berpengaruh pada laju pendinginan, spesimen dengan ukuran tertentu akan memiliki laju pendinginan yang berbeda. Bagian luar spesimen memiliki laju pendinginan yang cepat sehingga dengan

demikian kekerasan pada bagian luar memiliki nilai tinggi dibandingkan pada bagian dalam. Geometri adalah rasio antara luas permukaan terhadap massa. Semakin besar rasio maka laju pendinginan atau kemampukerasan akan terjadi pada permukaan, sehingga geometri dengan luas permukaan dibandingkan massanya maka kekerasannya lebih tinggi dibandingkan material yang sama pada geometri yang berbeda. Salah satu faktor lain yang mempengaruhi adalah lama waktu penahanan yang dipilih. Secara teoritis suhu 900°C pada pemanasan dalam oven sudah melebihi temperatur *eutectoid* yaitu pada suhu 727°C (Kalpakjian, 2009). Difusi karbon masih terhambat pada saat spesimen dipanaskan yang dapat meningkatkan kekerasan. Pada dasarnya semakin tinggi temperatur pemanasan maka semakin cepat karbon berdifusi sehingga atom bergerak secara cepat untuk membentuk fase baru. Seharusnya pada suhu 900°C sudah termasuk suhu yang tinggi untuk mencapai fase *austenite* yang diinginkan, namun pada kenyataannya dari pengujian spesimen ini karbon belum berdifusi dengan cepat sehingga belum terbentuk fase baru sehingga nilai kekerasan yang diperoleh tidak naik secara signifikan. Apabila fase *austenite* belum terbentuk secara menyeluruh maka dapat dipastikan pula fase *martensite* belum dominan terbentuk akibat dari pendinginan cepat.

Hasil pengujian kekerasan terbesar terdapat pada spesimen besi cor kelabu dengan penambahan Mn 1,3% setelah melalui proses *quenching*. Terlihat pada gambar 7(d) menunjukkan hasil bahwa fase dominan yang terbentuk setelah mengalami *quenching* adalah fase *martensite*. *Martensite* ini terbentuk akibat adanya perubahan fase dari *austenite* menjadi *martensite* akibat adanya proses pendinginan cepat. Transformasi *martensitic* terjadi ketika laju pendinginan cukup cepat untuk mencegah difusi karbon (Callister, W, 2008, 331, 2007). *Martensite* memiliki sifat yang sangat keras dan getas. Terlihat bahwa pada struktur mikro yang ditunjuk dengan anak panah fase *martensite* ini berwarna lebih gelap, sedangkan pada bagian yang berwarna lebih terang adalah fase *austenite* yang gagal bertransformasi menjadi *martensite* ketika proses pendinginan cepat. Munculnya *martensite* saat proses pendinginan disebabkan karena atom karbon tidak sempat terdifusi keluar, terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil sehingga kekerasannya meningkat (Hd, Widodo 2018). Semakin tinggi suhu yang digunakan, semakin tinggi nilai kekerasan yang dihasilkan. Pengaruh ini dapat terjadi juga dikarena efek

dari penambahan unsur mangan. Penambahan unsur mangan mampu menurunkan temperatur *eutectoid* (Avner, 1974). Semakin tinggi kadar *Mn*, semakin turun temperatur γ -a, sehingga baja dengan kadar karbon *Mn* 1,2% pada temperatur kamar masih berstruktur *austenite* (Binudi, 2018). Menurunnya temperatur *eutectoid* memberikan pengaruh terhadap pembentukan fase ketika spesimen dipanaskan. Grafik pengaruh elemen paduan pada Gb. 2.8, memberi gambaran bahwa dengan kadar mangan 1,3% dapat merubah temperatur *eutectoid* menjadi sekitar 700°C. Sehingga diperoleh fakta bahwa unsur mangan mampu menurunkan temperatur *eutectoid* yang semula pada diagram fase Fe-Fe₃C yaitu suhu 727°C berubah menjadi sekitar suhu 700°C. Semakin besar kandungan mangan maka semakin turun temperatur *eutectoid*. Menurunnya temperatur *eutectoid* berpengaruh terhadap pembentukan fase *austenite*. Spesimen ini cenderung terbentuk fase *austenite* ketika dipanaskan dan ketika didinginkan dengan cepat maka akan terbentuk fase *martensite* yang berpengaruh pada nilai kekerasan yang relatif tinggi.

KESIMPULAN

Pada penelitian yang telah dilakukan telah diperoleh data dan dilakukan analisa terhadap pengujian kekerasan dan struktur mikro besi cor kelabu, dapat ditarik kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Penambahan mangan pada besi cor kelabu mampu meningkatkan nilai kekerasan dari material ini. Pada pengujian yang telah dilakukan, besi cor kelabu Fc-25 dengan Mn 1,3% tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi yaitu sebesar 224,335 kg/mm² dibandingkan dengan besi cor kelabu Fc-25 tanpa perlakuan dengan nilai kekerasan sebesar 153,221 kg/mm². Peningkatan nilai kekerasan termasuk besar, yaitu sekitar 48%.
2. Perlakuan panas *quenching* mampu meningkatkan kekerasan dari besi cor kelabu Fc-25. Hal ini dibuktikan dengan hasil data pengujian kekerasan dan didukung oleh foto struktur mikro. Nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada spesimen besi cor kelabu Fc-25 dengan Mn 1,3% setelah *quenching* yaitu sebesar 433,942 kg/mm². Hal ini terjadi karena fase struktur yang terbentuk sudah menjadi *martensite* yang memiliki sifat kekerasan tinggi. Sedangkan untuk spesimen besi cor kelabu Fc-25 setelah *quenching* terdapat peningkatan kekerasan yang tidak begitu signifikan dibandingkan dengan sebelum mendapat perlakuan *quenching* yaitu sebesar 173,742 kg/mm².

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Metal Handbook Vol. 1.1990. *Properties and Selection: Irons, Steel and high performance alloys*. ASM Handbook Committee.
- ASM Metal Handbook Vol. 4. 1991. *Heat Treating*. ASM International.
- ASM Metal Handbook Vol. 9. *Metallography and Microstructures*. ASM International.
- ASM Metal Handbook Vol. 15. 1992. *Casting*. ASM international: Metal Park, Ohio.
- ASM Specialty Cast Iron. Cast Iron. ASM Handbook Committee.
- Avner, Sidney H. 1974. *INTRODUCTION TO PHYSICAL METALLURGY McGRAW-HILL BOOK COMPANY INTRODUCTION TO PHYSICAL METALLURGY Library of Congress Cataloging in Publication Data*.
- Binudi, Rahardjo, and Bintang Adjiantoro. 2018. "PENGARUH UNSUR Ni, Cr DAN Mn TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KEKUATAN TINGGI BERBASIS LATERIT." *Metalurgi* 29(1): 33.
- Callister, William D. 2007. *Materials Science and Engineering An Introduction*. 7th edition. John Wiley & Sons, Inc. Singapura.
- Cardarelli. 2008. *Materials Handbook A Concise Desktop Reference*. Springer, London.
- Gebriel, Mohamed A., M. S. Aldlemey, and Farag I. Haider. 2014. "The Effect of Heat Treatment of Gray and Nodular Cast Iron with Ferrite Matrix on Mechanical Properties and Corrosion Rate Compared with Medium Carbon Steel." *Advanced Materials Research* 936(June): 1158–62.
- Hd, A Noor Setyo, and Sri Widodo. 2018. "PENINGKATAN SIFAT MEKANIS BESI COR KELABU MELALUI PROSES TEMPERING Abstrak PENDAHULUAN Besi Cor Masuk Dalam Golongan Besi Paduan Yang Memiliki Titik Cair Sekitar 5 Kali Kekuatan Tarik , Modulus Elastisitas 75 Sampai 150 Gpa , Mampu Meredam Getaran Dan Mem." 2(2): 8–17.
- Ekaputra, I.M.W., dkk. 2019. "PENGARUH KOMPOSISI 2,9% DAN 3,8% Si TERHADAP KEKUATAN LELAH BESI COR KELABU. *Rekayasa Mesin*, eISSN 2477-6041 artikel 3, pp. 227-234.
- Kalpakjian, Serope, and Stephen Schmid. 2013. "Manufacturing Engineering and

- Technology, SI 6th Edition.” : 1216.
- Maulana, Nizar Bagas, and Universitas Tidar. 2018. “PENGARUH VARIASI BEBAN INDENTOR VICKERS HARDNESS TESTER TERHADAP HASIL UJI KEKERASAN MATERIAL.” 1(10).
- Nugroho, Prasetyo Jati, Jurusan Teknik, Mesin Fakultas, and Universitas Muhammadiyah Surakarta. 2015. “Naskah Publikasi Tugas Akhir Pengaruh Waktu Kecepatan Pendinginan Pada Besi Cor Inokulasi Whisker Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis.”
- Nugroho, A. 2016. PENGARUH INOKULASI MANGAN PADA BESI COR KELABU TERHADAP KEKUATAN TARIK. UMS, SURAKARTA.
- Rama. 2019. *PENGARUH PROSES QUENCHING TERHADAP KEKERASAN PADA BAJA ASSAB*.
- Rosyidin, Ali. 2019. “Proses Pembuatan Alat Pembuka Kaleng Cat Dengan Metode Cetak Pasir (Sand Casting).” *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9): 1689–99.
- Streeter, V.L. & E. Benjamin Wylie. 1985. “FLUIDS MECHANICS 6th Edition”, McGraw-hill, New York.
- Suprihanto, A. 2005. “PERBAIKAN SIFAT MEKANIS BESI COR KELABU LEWAT PENAMBAHAN UNSUR Cr DAN Cu.” *Rotasi* 8(3): 24–28.
- Syafi'udin, I. 2016. "PENGARUH KADAR MANGAN (Mn) TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA PADUAN Fe-17Cr-xMn MELALUI METODE PELEBURAN. ITS, SURABAYA.
- Villela, lucia maria aversa. 2013. *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9): 1689–99.