

PENINGKATAN SIFAT MEKANIS BESI COR KELABU MELALUI PROSES TEMPERING

A. Noor Setyo HD¹, Sri Widodo²

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
email : noorsetyo@yahoo.com

² Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
email : sriwidodoft@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan dan ketangguhan besi cor setelah mengalami proses tempering dengan variabel independent lama waktu pemanasan dan dependent kekerasan, struktur mikro dan ketangguhan impact. *Quenching* dilakukan pada temperatur 775^oC, 800^oC dan 825^oC dalam media air dingin, sedang *Tempering* dilakukan pada temperatur 200^oC, 300^oC dan 400^oC dengan *holding time* selama 15 menit. Hasil pengujian kekerasan Vickers dengan menggunakan "Micro Hardness Tester" setelah dilakukan *Quenching* rata-rata mengalami kenaikan sebesar 95,6% pada temperatur *Quenching* 775^oC, 99,8% pada temperatur *Quenching* 800^oC dan 107,1% pada temperatur *Quenching* 825^oC dari nilai kekerasan *row material* sebesar 256,6 BHN atau 260,8 VHN_{0,040}. Nilai kekerasan maksimum diperoleh 531,4 BHN atau 553,6 VHN_{0,040} pada temperatur *Quenching* 825^o dan kekerasan terendah 501,8 BHN atau 541,8 VHN_{0,040} pada temperatur *Quenching* 775^oC, memiliki fasa sementit sebagai matrik dengan sedikit martensit, sedang akibat perlakuan *Tempering* sebagian martensit tergantikan oleh fasa ferrit diantara sementit. Hasil penelitian menyimpulkan pada temperatur *Tempering* 200^oC, 300^oC dan 400^oC, ketangguhan FC 30 mengalami peningkatan 106,5 %, 121,9% dan 130,5 % dari energi mula-mula 5,21 Joule/mm², sebaliknya kekerasan mengalami penurunan sebesar 88,6 % , 80,8% dan 40,4% dari kekerasan semula 260,8 VHN_{0,040}.

Kata Kunci : *quenching, tempering, sementit, ketangguhan*

Abstract

This study aims to determine the Hardness and Toughness of cast iron after undergoing a Tempering process with independent variables heating time and dependent Hardness, microstructure and toughness Impact. Quenching was carried out at temperatures of 775^oC, 800^oC and 825^oC in cold water media, while Tempering was carried out at temperatures of 200^oC, 300^oC and 400^oC with a holding time of 15 minutes. Vickers Hardness test results using "Micro Hardness Tester" after Quenching have increased by an average of 95.6% at Quenching 775^oC, 99.8% at Quenching 800^oC and 107.1% at Quenching temperature 825^oC from Hardness value of row material of 256.6 BHN or 260.8 VHN_{0,040}. The maximum hardness value is obtained 531.4 BHN or 553.6 VHN_{0,040} at Quenching temperature 825^oC and the lowest Hardness of 501.8 BHN or 541,8 VHN_{0,040} at Quenching 775^oC temperature, has Cementite phase as a matrix with little Martensite, is due to treatment The partial tempering of Martensite is replaced by the ferrite phase between Cementites. The results of the study concluded that at Tempering temperatures of 200^oC, 300^oC and 400^oC, the toughness of FC 30 experienced an increase of 106.5%, 121.9% and 130.5% from the initial energy of 5.21 Joule / mm², whereas violence decreased by 88, 6%, 80.8% and 40.4% of the original Hardness of 260.8 VHN_{0,040}.

Keywords: *quenching, tempering, cementit, toughness*

PENDAHULUAN

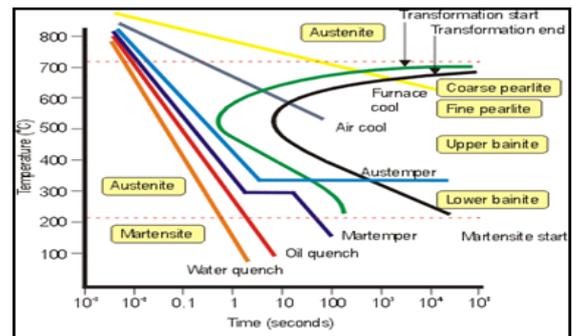
Besi cor masuk dalam golongan besi paduan yang memiliki titik cair sekitar 1200 °C, kekuatan tarik 10 s/d 40 kg/mm², kekuatan tekan (*compressive strength*) 3 ÷ 5 kali kekuatan tarik, modulus elastisitas 75 sampai 150 Gpa, mampu meredam getaran dan memiliki mampu cor yang cukup baik sehingga banyak dipakai di industry-industri otomotif, permesinan, permesinan dan pertanian (E.Sigley, Joseph. Dkk., 1994). Besi cor mengandung unsur C, Si, Mn P, dan S, kehadiran silicon (Si) dalam besi cor mengakibatkan terjadinya dekomposisi karbida menjadi besi dan grafit: $Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$ (grafit), dekomposisi karbida (Fe_3C) terjadi akibat sifat Fe_3C yang metastabil. Dalam kondisi stabil Fe_3C tidak ditemukan struktur murni *ferit*, selain *grafit* yang berbentuk *lamelar*, *vermikular* maupun *nodular*, sedang struktur dasar terdiri *ferit-perlit*, *perlitik* dan *sementit* yang bersifat metastabil, untuk itu melalui proses perlakuan panas, sebagian besar unsur karbon dari sementit (Fe_3C) akan bertransformasi menjadi grafit dan perlit atau ferit (Djaprie, S., dkk., 1991).

Akibat tingginya kebutuhan, dan mahalnya bahan baku besi cor di industri otomotif, manufaktur, dan pertanian teknik rekayasa material diantaranya *Thermal Hardening* sangat diperlukan dengan tujuan untuk menurunkan biaya produksi dan untuk mendapatkan sifat fisis dan mekanis logam sesuai dengan yang diinginkan, berharga murah. (Albertin, E., and Sinatora, A. 2001)

Perlakuan panas *Tempering* terhadap besi cor bertujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*), menghaluskan ukuran butir kristal, meningkatkan kekerasan, tegangan tarik dan ketahanan logam . Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, diantaranya yaitu suhu

pemanasan, waktu penahanan (*holding time*), laju pendinginan dan suhu lingkungan. untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk itu maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur akan sangat menentukan Gambar 1.1.

Tempering merupakan bagian dari *Thermal hardening* yaitu bagian dari proses perlakuan panas yang dilakukan dengan jalan memanaskan benda kerja sampai dengan temperatur austenit, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan secara cepat (*Quenching*). Adanya pendingin cepat, mengakibatkan struktur mikro ferit dan austenite berubah menjadi struktur martensit dan bainitik yang bersifat keras, sebaliknya jika logam mengalami pendinginan yang perlahan-lahan akan menghasilkan fasa yang memiliki sifat sebaiknya yaitu berupa fasa perlit dari austenit (Karl-Heinz Zum Gahr. 1980).



Gambar 1.1 Hubungan Waktu Terhadap Temperatur *Tempering*

Perlakuan panas (*heat treatment*) *Quenching* selalu menyisakan tegangan sisa, meningkatkan kekerasan, kerapuhan dan mengurangi ketangguhan bahan akibat struktur martensit yang terbentuk, untuk itu guna memperoleh hasil ketangguhan yang tinggi proses *Quenching* perlu ditindak lanjuti dengan proses *Tempering* atau *Penemperan*.

Tempering merupakan kelanjutan proses *Quenching* dengan jalan

memanaskan logam dalam tungku pemanas di kisaran suhu 200^oC–500^oC yang kemudian didinginkan secara perlahan-lahan dalam tungku berlahan-lahan untuk menghasilkan fasa martensit pada bagian luar sedang pada bagian dalam perlit, sehingga akan menaikkan kekuatan, keuletan, ketangguhan dan penurunan kekerasan (E.Dieter, dkk., 1988).

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh *Tempering* terhadap sifat kekerasan, ketangguhan dan perubahan struktur mikro akhir besi cor kelabu (FC 30), walaupun penelitian-penelitian sejenis mengenai peningkatan sifat dan mekanis besi cor telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya diantaranya, yaitu:

Penelitian yang dilakukan oleh Sutrisno dan Soegiyono, 2012 dengan menggunakan cara termokimia, metode boronisasi dalam medium serbuk B4C 50% sebagai donor, SiC 45% sebagai pengencer, dan 5% KBF4 sebagai aktivator pada suhu 1000 °C selama 8 jam terhadap baja karbon rendah ST.37. Hasil penelitian menyimpulkan, terjadi kenaikan kekerasan mikro lapisan besi borida sebesar 700 HVN dari kekerasan semula 123,82 HVN, dengan fase yang terbentuk berupa lapisan Fe2B dan FeB halus dan datar pada kedalaman 20 sampai 60 µm.

Pribadi, Suprpto, Priyantoro (2008), melakukan penelitian dengan teknik Carburizing Plasma Lucutan Pijar untuk pengerasan baja ST 40 dengan memvariasi suhu pemanasan 150 °C, 200 °C, 250 °C dan 300 °C dan memvariasi waktu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Hasil penelitian menyimpulkan, besar kekerasan maksimum pada permukaan yang terjadi sebesar 582 KHN pada suhu 300 °C dan waktu 120 menit.

Suprpto, Sudjatmoko, Sujitno (2010), melakukan pengamatan tentang pengaruh nitridasi plasma terhadap kekerasan permukaan AISI 304 dan baja

karbon rendah. Pengamatan dilakukan dengan cara memvariasi tekanan gas nitridasi. Hasil penelitian menyimpulkan, kekerasan permukaan maksimum terjadi pada tekanan 1,8 mbar yaitu sebesar 2,9 kali kekerasan awal yakni sebesar 624,9 VHN untuk AISI 304 dan 581,6 VHN untuk baja karbon rendah dengan ketebalan lapisan nitrida logam sekitar 30 µm baik untuk AISI 304 maupun baja karbon rendah, sedang kandungan nitrogen setelah nitridasi 10,74% massa untuk AISI 304 dan 6,81% massa untuk baja karbon rendah.

Sedang peneliti Suprpto, Sujitno, Mudjijana (2005) mengamati sifat kekerasan baja ST 40 menggunakan cara nitridasi ion dengan memvariasi waktu deposisi dan tekanan pada jarak dan tegangan anode-katode masing-masing 13 cm, dan 750 Volt. Hasil penelitian menyimpulkan, terjadi peningkatan kekerasan 51,8 % dari material awal untuk waktu nitridasi 3 jam dan tekanan 1,2 mbar yaitu sebesar 325,93 KHN dengan memiliki butir phase ferrit dan perlit yang lebih lembut dari semula.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan untuk penelitian meliputi yaitu :

- a. *Raw material* berupa besi cor kelabu (*ferro casting*) FC 30
- b. Resin dan katalis
- c. Ampelas, autosol dan etsa

B. Alat Penelitian

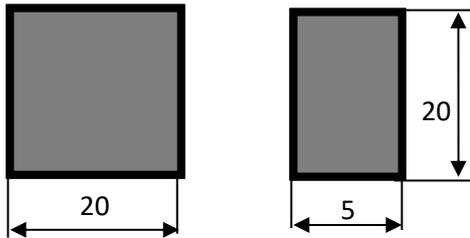
Macam dan jenis alat utama serta pendukung yang digunakan mulai tahap persiapan, tahap pengujian hingga tahap akhir penelitian diantaranya yaitu :

- a. Mesin bubut/CNC, mesin gergaji
- b. Alat uji komposisi bahan
- c. Mikro Hardnes Tester, tungku pemanas (oven) dan alat uji Impact

- d. Mikroskop optik
- e. Alat ukur

C. Spesimen Penelitian

Seluruh spesimen uji menggunakan bahan besi cor kelabu (*ferro casting*) FC 30 dengan bentuk spesimen untuk uji kekerasan, struktur mikro bujur sangkar berukuran 20x20x5 mm dan *Impact-Charpy* terlihat seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Spesimen Uji Kekerasan dan Struktur Mikro.

D. Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan untuk mengetahui, kandungan unsur utama karbon dan paduan unsur lain yang terdapat dalam besi cor kelabu. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan alat penguji “*Desktop Metals Analyser*” merk *Metalscan 2500 series*. Tujuan pengujian untuk menentukan besar temperatur proses *Quenching* dan *Tempering*.

E. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode Vickers dan Brinell untuk mengetahui perubahan kekerasan besi cor kelabu sebelum dan sesudah dilakukan proses *Quenching* dan *Tempering* dengan mengacu standart ASTM E10-18 dan ASTM E92-17 dengan menggunakan mesin “*Micro Hardness Tester*” Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mesin Uji Kekerasan

Pengujian “Vickers” dilakukan dengan penjejakan atau indentasi pada sampel uji menggunakan indenter intan berbentuk piramida sudut 136⁰ pada tekanan 40 gram selama 10 detik, sedang pada pengujian Brinell digunakan beban tekan 187,5 kgf dengan diameter penetrator atau bola baja sebesar 2,5 mm. Nilai kekerasan Vickers ditentukan dengan mengukur jejak diagonal indentasi yang terdapat pada sampel uji berdasarkan yang berbentuk segi empat atau belah ketupat. Nilai kekerasan Vicker ditentukan berdasarkan persamaan “Vander Voort” yaitu:

$$Hv = 1,854 \frac{P}{d^2} \tag{2.1}$$

dengan:

- d : panjang diagonal rata-rata dari jejak berbentuk bujur sangkar (mm)
- P : beban yang digunakan (kg).

Sedang uji kekerasan berdasarkan metode Brinell menggunakan indenter bola baja diameter 10 mm (0,394 in), beban 3000 kg konstan untuk beberapa saat (10-30 detik). Lekukan hasil penekanan diukur diameternya dengan menggunakan mikroskop optik kemudian dikonversi ke nilai kekerasan Brinell berdasarkan persamaan :

$$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

Dengan :

P : Beban penekanan kg

D : diameter bola baja mm

d : diameter bekas penekanan mm

F. Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro besi cor kelabu sebelum dan sesudah dilakukan *Quenching* dan *Tempering* mengacu pada standart ASTM E3 yang dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik digital mulai tahapan pemotongan sampel, mounting, pengampelasan, pemolesan dan etsa sampai dengan pengambilan foto menggunakan mikroskop optik Gambar 2.4..



Gambar 2.4 Mikroskop Optik Digital

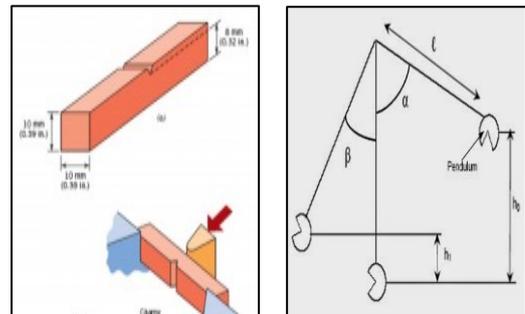
Pembingkaiian benda uji dilakukan dengan menggunakan resin, selanjutnya dilakukan pengampelasan benda uji pada bagian permukaan yang akan diuji dengan amplas sesuai tingkat kekasaran yang menurun sampai permukaan siap untuk dipoles mulai ampelas grade 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500 dan 2000, terus dipoles menggunakan serbuk alumina, lalu dilakukan *etching* menghilangkan kotoran

natibi dan agar mikrostruktur dapat diamati menggunakan campuran larutan 65 % HCl dan 35% HNO₃.

G. Pengujian Ketangguhan

Uji *Impact Charpy* dilakukan dengan cara memberikan pembebanan secara tiba-tiba atau secara kejut terhadap benda yang akan diuji secara statik. Benda uji dibuat takikan sesuai dengan standar ASTM E-23-18 Gambar 2.2. dengan bentuk penampang bujur sangkar ukuran 10x10x55 mm, sudut takik V-45⁰ dengan kedalaman 2 mm, jari-jari 0,25 mm seperti terlihat pada Gambar 2.2.

Besar ketangguhan dan kegetasan brnda uji diketahui dengan mengetahui dan melihat seberapa besar energi yang diserap untuk mematahkan benda uji tepat pada takik dan permukaan hasil patahan.



Gambar 2.5 Impact Charpy Tester

Jika besar energi yang diserap oleh bahan pada saat terjadi patahan (E) maka besar nilai *Impact Charpy* (K) ditentukan berdasarkan persamaan:

$$E = m \cdot g \cdot \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha) \quad (2-2)$$

Besar harga *Impact Charpy* (K) ditentukan berdasarkan persamaan :

$$K = \frac{E}{A} \quad (2-3)$$

dengan :

- m = berat pendulum (kg)
- g = gravitasi bumi (9,8 m/dt²)
- cos α = Sudut posisi awal pendulum
- cos β = Sudut posisi akhir pendulum
- R = Jarak lengan pengayun (m)
- A = luas penampang patahan (mm²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) *Quenching* selalu menyisakan tegangan sisa dan meningkatkan kekerasan, kerapuhan dan mengurangi ketangguhan bahan akibat struktur martensit yang terbentuk, untuk itu guna memperoleh hasil ketangguhan yang tinggi proses *Quenching* perlu ditindak lanjuti dengan proses *Tempering* atau *Penemperan*.

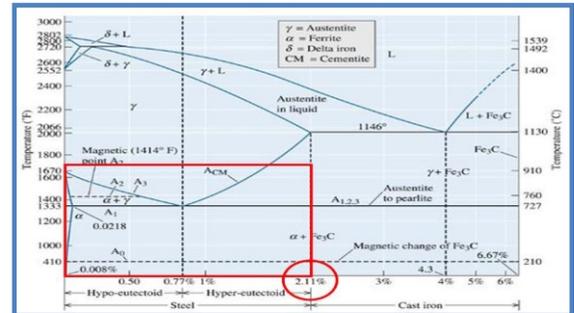
Hasil uji komposisi *row material* besi cor (FC 30) menggunakan mesin uji *Desktop Metals Analyser* merk *Metalscan 2500 series* seperti terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kandungan Unsur *Row Material* (Besi Cor Kelabu)

Komposisi Kandungan							
%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni
91,47	4,436	1,056	0,176	>0,354	>354	0,115	0,040
Komposisi Kandungan							
%Mo	%Cu	%Al	%Ti	%V	%Co	%Mg	
0,039	0,114	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	

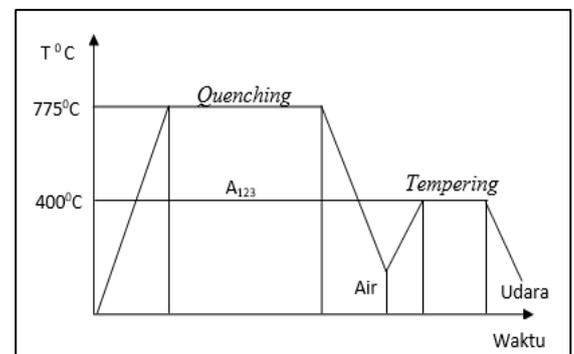
Terlihat pada Tabel 3.1, besi cor masuk dalam golongan standart SNI 07-0313-1989 tentang besi cor, hal ini terlihat dari besar prosentase kandungan utama besi cor yang ada yaitu unsur karbon (C): 4,43%, Si: 1,07% dan Mn:0,18 % dan unsur-unsur lainnya. Batas temperatur perlakuan *Quenching* dan *Tempering* ditentukan dengan berpedoman pada hasil

pengujian komposisi untuk logam dengan kandungan unsur C: 4,43%, batas minimal temperatur yang dipersyaratkan untuk proses *Quenching* berada dikisaran temperatur 727^oC–1140^oC di atas garis *solidus*. Dalam hal ini diambil besar temperature *Quenching* 775^oC, 800^oC, dan 825^oC



Gambar 3.2 Diagram Kesetimbangan Fasa Fe-Fe₃C.

Quenching Gambar 3.3 dilakukan dengan jalan memanaskan benda uji pada temperatur 775^oC, 800^oC, dan 825^oC dalam oven dengan lama waktu penahanan dalam tungku (*Holding Time*) selama 15 menit untuk memperoleh pemanasan yang merata (*Homogeny*) austenit atau supaya kelarutan karbida ke dalam austenite dan difusi karbon dan unsur paduannya berlangsung secara merata.



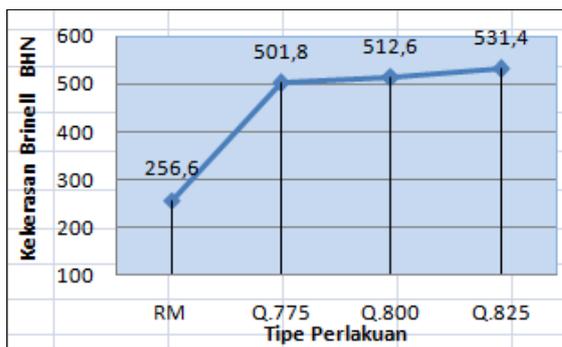
Gambar 3.3 Proses *Quenching* dan *Tempering*

Selanjutnya logam langsung dari dalam tungku pemanas dicelupkan

kedalam air dingin pada suhu kamar dengan kecepatan pendinginan diatas kecepatan pendinginan kritis dengan tujuan agar dapat diperoleh kekerasan tinggi yang memiliki struktur *martensit*,

Dampak dari pendinginan yang begitu cepat, menyebabkan terjadinya kenaikan kekerasan besi cor yang cukup signifikan tinggi, hal ini dikarenakan banyak fasa austenit (FCC) yang bertransformasi menjadi fasa martensit (BCT) pada saat proses pendingin cepat, sebaliknya unsur karbon dalam fasa austenit (FCC) yang bertransformasi menjadi ferrit (BCC) sedikit, hal ini menjadikan sebab besi cor memiliki kekerasan tinggi yaitu 531,4 BHN pada temperatur 825⁰C.

Munculnya martensit saat proses pendinginan disebabkan karena atom karbon tidak sempat berdifusi keluar, terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, sehingga kekerasannya meningkat.

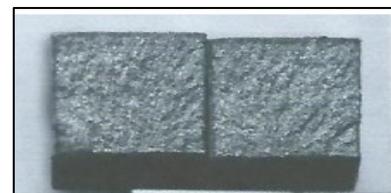


Gambar 3.6 Hubungan Temperatur *Quenching* VS Kekerasan

Besar nilai kekerasan benda uji terlihat, pada temperatur *Quenching* 775⁰C, 800⁰C dan 825⁰C Gambar 3.6 rata-rata mengalami kenaikan kekerasan hasil *Quenching* sebesar 95,6%, 99,8% dan 107,1% dari nilai kekerasan awal (*row material*) sebesar 256,6 BHN atau 260,8 VHN_{0,040}. Kekerasan maksimum diperoleh sebesar

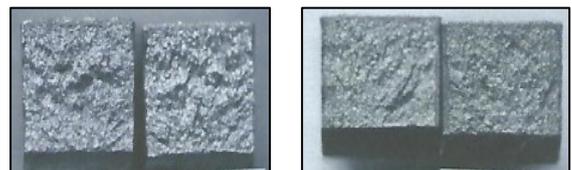
531,4 BHN atau 553,6 VHN_{0,040} terjadi pada temperatur *Quenching* 825⁰C dan kekerasan terendah sebesar 501,8 BHN atau 541,8 VHN_{0,040} terjadi pada temperatur *Quenching* 775⁰C.

Sedang dampak *Quenching* terhadap ketangguhan logam akan mengalami penurunan ketangguhan sebesar 17,14% dari ketangguhan mula-mula sebesar 5,21 Joule. Penurunan ketangguhan diakibatkan karena fasa austenit (kristal FCC) yang bertransformasi menjadi fasa martensit (kristal BCT), atau unsur karbon dalam fasa austenit (FCC) yang bertransformasi menjadi fasa ferrite (BCC) sedikit sehingga logam tidak mampu menahan beban kejut (*impact*).



Gambar 3.4 Hasil Patahan Setelah Setelah Proses *Quenching*

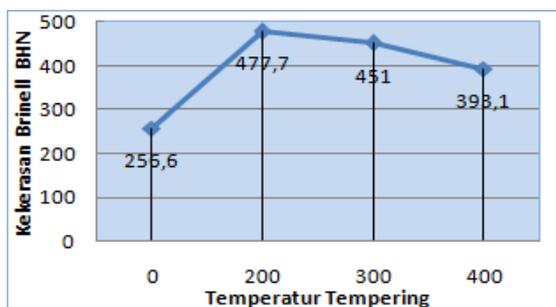
Terlihat hasil patahan benda uji pada Gambar 3.4, memiliki butiran kristal lebih lembut, patahan datar, mengkilat dengan bentuk granular atau kristalin yang mengkilap sehingga termasuk dalam golongan patahan getas (*brittle fracture*), sedang bentuk patahan hasil dari proses *tempering material* memiliki butiran kasar, patahan datar dengan bentuk granular masuk dalam golongan *ductile fracture* Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Hasil Patahan Row material dan Setelah Perlakuan *Tempering*

Hasil pengujian kekerasan terlihat, kekerasan besi cor setelah mengalami *Tempering* akan mengalami penurunan kekerasan dengan semakin naiknya temperatur *tempering*, hal ini terjadi akibat adanya pendinginan lambat didalam tungku, sehingga sebagian besar unsur karbon yang akan berdifusi menjadi struktur ferrit dan karbida atau sebagian fasa martensit akan mengalami perubahan menjadi fasa ferrit dan senyawa karbida pada bagian dalam specimen yang bersifat ulet, sedang pada bagian luar masih didominasi struktur martensit (BCT) yang bersifat keras dan getas.

Gambar 3.6, memperlihatkan hasil uji kekerasan FC 30 setelah mengalami *Tempering*. Secara berurutan diperoleh nilai kekerasan logam pada temperatur tempering 400°C sebesar 398,1 BHN, pada temperatur 300°C, sebesar 451 BHN dan pada temperatur 200°C memiliki kekerasan sebesar 477,7 BHN.



Gambar 3.6. Hubungan Temperatur *Quenching* VS Kekerasan

Penurunan kekerasan setelah *Tempering* terjadi akibat adanya perubahan sebagian struktur martensit menjadi ferrit dan karbida akibat adanya pendinginan lambat. Selain itu akibat *Tempering* tegangan sisa logam akan berkurang, sehingga akan meningkatkan kekuatan tarik dan ketangguhan logam akan meningkat.

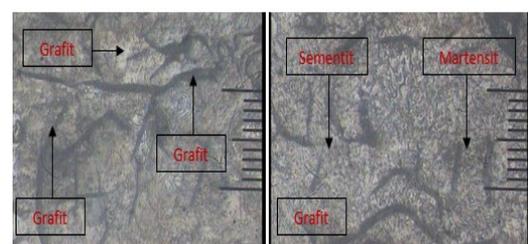
Terlihat hasil uji Impact Tabel 3.2, menunjukkan ketangguhan dan keuletan

besi cor hasil tempering akan mengalami kenaikan masing-masing sebesar 106,5 %, 121,9% dan 130,5 % dari energy mula-mula *row material* 5,21 Joule pada suhu tempering 200°C, 300°C, dan 400°C.

Tabel 3.2 Hasil Uji Impact

No	Kode	Sudut α (°)	Energi Terpasang (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga Impak (J/mm ²)
1	RM	151	300	148,0	5,21	87,9	0,071
2	Q	151	300	148,0	4,3	84,4	0,050
3	T ₂₁	151	300	147,3	5,3	87,0	0,061
4	T ₂₂	151	300	147,0	5,8	89,5	0,064
5	T ₃₁	151	300	146,5	6,5	86,2	0,076
6	T ₃₂	151	300	146,7	6,2	87,9	0,071
7	T ₄₁	151	300	146,3	6,8	87,0	0,079
8	T ₄₂	151	300	146,3	6,8	89,4	0,076

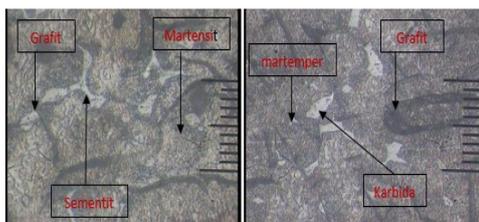
Besar ketangguhan bahan atau besar energy tertinggi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen uji pada temperatur 400°C yakni sebesar 6,80 Joule/mm² dan terendah pada temperatur 200°C sebesar 5,55 Joule/mm². Hasil uji terhadap struktur mikro menunjukkan, bahwa komposisi struktur setelah benda uji setelah mengalami perlakuan *Quenching* banyak mengalami perubahan seperti terlihat pada Gambar 3.7. Butiran struktur mikro menjadi lebih lembut jika dibandingkan butiran *row material*.



Gambar 3.7 a Struktur *Row material*, b Struktur hasil *Quenching*

Selain itu komposisi struktur sebagian juga mengalami perubahan yang awalnya didominasi oleh struktur ferrit dan perlit setelah dilakukan perlakuan *Quenching* berubah menjadi struktur martensit dengan

sedikit ferrit yang bersifat keras dan getas akibat adanya pendinginan yang begitu cepat, karena austenit banyak bertransformasi menjadi fasa martensit, karena karbon tidak sempat berdifusi keluar, karbon terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal dalam ruang kosong karena atomnya kecil, sehingga kekerasannya akan meningkat, sebaliknya karbon dalam fasa austenit yang bertransformasi menjadi ferrit sedikit.



Gambar 3.8 Struktur Mikro Hasil Tempering

Sedang akibat *Tempering* terlihat pada Gambar 3.8, struktur martensit yang awalnya mendominasi diantara struktur ferrit akan berubah menjadi struktur perlit diantara struktur ferrit. Perubahan ini terjadi akibat adanya pendinginan yang berjalan lambat didalam tungku, sehingga menyebabkan sebagian besar unsur karbon berdifusi menjadi struktur ferrit dan karbida atau sebagian fasa martensit akan mengalami perubahan menjadi fasa ferrit dan senyawa karbida dan pada bagian dalam berubah menjadi fasa perlit, hal ini mengakibatkan hasil akhir specimen bersifat ulet, sedang pada bagian luar masih didominasi struktur martensit (BCT) yang bersifat keras dan getas.

KESIMPULAN

Hasil penelitian memberi kesimpulan sebagai berikut:

- a. Kenaikan temperatur *Tempering* akan meningkatkan ketangguhan bahan serta menurunkan kekerasan. Ketangguhan

tertinggi diperoleh sebesar 6,8 Joule atau 0,076 Joule/mm² yang terjadi pada temperatur 400°C, sedang terendah terjadi pada temperatur 200°C diperoleh sebesar 5,3 Joule atau 0,061 joule/mm². Sebaliknya kekerasan tertinggi diperoleh sebesar 477,7 BHN atau 491,9 VHN_{0,040} terjadi pada temperatur 200°C dan terendah 393,1 BHN atau 366,3 VHN_{0,040} terjadi pada temperatur 400°C.

- b. Struktur mikro besi cor setelah mengalami *Quenching* didominasi oleh fasa karbida dengan sedikit fasa martensit. Sedang setelah dilakukan *Tempering* akibat adanya kenaikan temperatur, sebagian fasa martensit yang terdapat dalam matrik karbida berkurang, dan tergantikan oleh fasa perlit dan sementit yang akan meningkatkan ketangguhan besi cor.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E 23-18, *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*
- ASTM E92-17 *Standar Test Method for Vickers Hardness and Knoop Hardness Testing of Metallic Materials.*
- ASTM E10-18 *Standar Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.*
- Djaprie, S., 1991, "*Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- E.Dieter, George. Sriatie Djaprie, "*Metalurgi Mekanik Jilid 2*", Erlangga, Edisi Ketiga, 1988.
- E.Sigley, Joseph. Larry D. Mitchell, "*Perencanaan Teknik Mesin Jilid 1*", Erlangga Edisi Keempat, 1994.
- Karl-Heinz Zum Gahr. 1980., "*Abrasive Wear of White Cast Iron*". *Wear.*: 64, pp. 175-194.
- Vlack, Van. Sriatie Djaprie, "*Ilmu dan Teknologi, Bahan*", Erlangga, 1986.

Surdia, T., 2000, Saito, S., “*Pengetahuan Bahan Teknik*”, PT.Pradnya Paramita, Jakarta.

Smallman, 1985, “*Modern Physical Metallurgy*”, Fourth Edition, Copyright Butterworth and Co (Publishers).

Surdia, T; Chijiwa, K., 1976, “*Teknik Pengecoran Logam*”, Edisi ke-2, Cetakan ke-7, PT. Pradnya Paramita, Jakarta