

**PENGARUH QUENCHING DAN TEMPERING
PADA TEMPERATUR 450 °C TERHADAP STRUKTUR MIKRO,
KEKERASAN DAN KETANGGUHAN
PADA BESI COR NODULAR**



**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Program Studi
Strata I Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

MUHAMAD IRFAN ROSID

D 200 160 005

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2021

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH QUENCHING DAN TEMPERING
PADA TEMPERATUR 450 °C TERHADAP STRUKTUR MIKRO,
KEKERASAN DAN KETANGGUHAN
PADA BESI COR NODULAR**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

MUHAMAD IRFAN ROSID

D 200 160 005

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, sweeping loop followed by a series of smaller, sharp, zig-zagging strokes.

Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH QUENCHING DAN TEMPERING
PADA TEMPERATUR 450 °C TERHADAP STRUKTUR MIKRO,
KEKERASAN DAN KETANGGUHAN
PADA BESI COR NODULAR**

OLEH

MUHAMAD IRFAN ROSID

D 200 160 005

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Senin, 14 Juni 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. **Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T.**
(Ketua Dewan Penguji)
2. **Ir. Sunardi Wiyono, M.T**
(Anggota I Dewan Penguji)
3. **Ir. Agus Hariyanto, MT**
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....
(.....
(.....

Dekan Fakultas Teknik



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 21 Juni 2021

Penulis



MUHAMAD IRFAN ROSID

D 200 160 005

**PENGARUH QUENCHING DAN TEMPERING
PADA TEMPERATUR 450 °C TERHADAP STRUKTUR MIKRO,
KEKERASAN DAN KETANGGUHAN
PADA BESI COR NODULAR**

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh quenching dan tempering 450°C terhadap struktur mikro, kekerasan dan ketangguhan pada besi cor nodular. Bahan dalam penelitian ini menggunakan material besi cor nodular dengan ukuran panjang 150 mm, lebar 150 mm dan tebal 30 mm. Spesimen uji diproses dengan langkah awal austenitizing temperatur 850°C waktu tahan 30 menit. Kemudian diquenching dengan media pendingin air. Setelah quenching, dilakukan perlakuan panas tempering temperatur 450°C waktu tahan 60 menit dan pendingian udara terbuka. Hasil pengujian kekerasan setelah proses quenching terhadap raw material media pendingin air meningkat sebesar 133.17% (56.73 HRC). Hasil pengujian kekerasan setelah proses tempering terhadap quenching media pendingin udara terbuka menurun sebesar 27.18% (41.37 HRC). Harga impak setelah proses quenching terhadap raw material media pendingin air menurun sebesar 17.07% (0.068 J/mm²). Harga impak setelah proses tempering terhadap quenching media pendingin udara terbuka meningkat sebesar 61.76% (0.110 J/mm²).

Kata kunci : quenching, tempering, media pendingin, besi cor nodular, kekerasan, impak.

Abstract

This study aims to determine the effect of quenching and tempering 450°C on the microstructure, hardness and toughness in nodular cast iron. The material in this study using the material nodular cast iron with a length of 150 mm, a width of 150 mm and thickness 30 mm. Test specimens processed with the initial step austenitizing temperature of 850°C holding time 30 minutes. Then diquenching with the cooling medium of water. After quenching, heat treatment tempering temperature of 450°C and holding time of 60 minutes and pendingian the open air. The results of testing the hardness after quenching process of raw material cooling medium of water increased by 133.17% (56.73 HRC). The results of testing the hardness after tempering process against quenching media cooling open air decreased by 27.18% (41.37 HRC). The price impact after the quenching process of raw material cooling medium of water decreased by 17.07% (0.068 J/mm²). The price impact after the tempering process against quenching media cooling open air increased by 61.76% (0.110 J/mm²).

Key words: quenching, tempering, cooling media, nodular cast iron, hardness, impact.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin maju di dunia industri pada pengecoran logam mendorong para pelaku dunia industri untuk berusaha meningkatkan kekerasan besi cor yang dibutuhkan konsumen mengingat kebutuhan material dari hasil peningkatan kekerasan besi cor yang digunakan

pada bahan produk industri harus memiliki sifat mekanik yang lebih baik. Produk cor sering digunakan untuk keperluan dalam kehidupan sehari-hari mulai dari komponen otomotif, perabotan rumah tangga, katup poppet sampai propeller kapal.

Pertimbangan ketika menggunakan material besi cor nodular yaitu kemudahan dalam proses pengecorannya, jika dibandingkan dengan material baja mempunyai temperatur peleburan ± 1600 °C sedangkan besi cor nodular yang lebih rendah yaitu ± 1450 °C. Perbedaan temperatur kerja tersebut berpengaruh pada biaya yang lebih rendah pada proses produksi besi cor nodular. Untuk memperbaiki material besi cor nodular bisa dilakukan dengan meningkatkan sifat mekanik besi cor nodular. Besi cor nodular yaitu sebuah material paduan dengan kandungan karbon sampai 3,8%. Besi cor nodular konvensional memiliki kekuatan dari 40 kgf/mm² sampai dengan 80 kgf/mm² dengan elongasi 1,7% dan 2%. Kebutuhan akan material yang mudah diproses pengecorannya namun memiliki sifat mekanik yang lebih baik, sehingga para peneliti memiliki gagasan untuk mengembangkan sifat mekanik besi cor nodular, menjadikan besi cor nodular memiliki kekuatan yang lebih tinggi (Bandanadjaja, 2009).

Besi cor nodular mempunyai grafit berbentuk bulat sehingga konsentrasi tegangan lebih kecil. Besi cor nodular disebut juga sebagai besi cor spherulitic karena bentuk grafitnya yang bulat atau sering disebut ductile iron. Jika material tersebut memiliki nilai regangan terlalu kecil sehingga material tersebut akan mempunyai sifat getas. Sifat getas di mana material akan patah pada saat mencapai regangan tertentu. Pada dasarnya pemakaian pada komponen pemrosesan harus mampu menahan regangan yang fluktuatif dengan jangka waktu yang lama.

Proses perlakuan panas pada material baja yang meliputi pemanasan dengan suhu tertentu, dipertahankan dengan waktu tertentu dan melakukan pendinginan pada material dengan media tertentu. Perlakuan panas tersebut bertujuan untuk menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir, meningkatkan ketahanan, tegangan tarik logam, meningkatkan kekerasan dan

sejenisnya. Tujuan-tujuan tersebut bisa berhasil dicapai jika memperhatikan faktor yang mempengaruhinya, meliputi suhu pemanasan dan media pendingin yang digunakan (Djaprie, 1985).

Material baja dapat diperkeras dengan proses pengerasan (hardening), yaitu proses pemanasan baja yang mencapai suhu di daerah atau di atas daerah kritis yang kemudian dilakukan pendinginan yang cepat dinamakan quench (Djaprie, 1995).

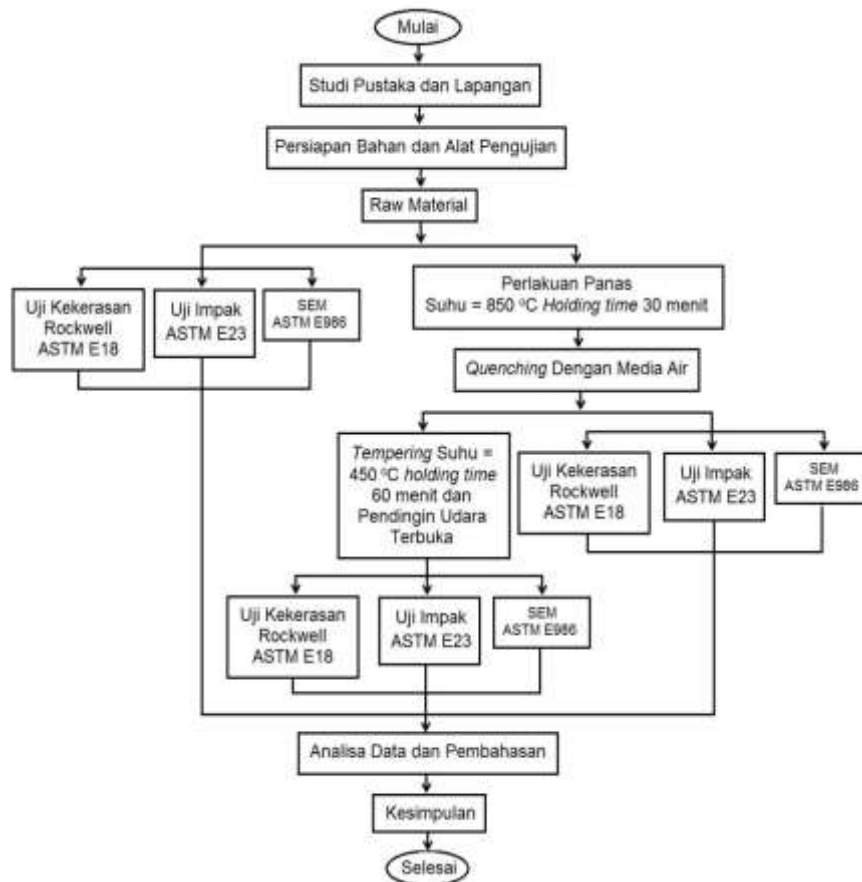
Untuk menciptakan suatu produk yang memiliki sifat mekanik seperti keliatan dan tahan terhadap gesekan, perlu adanya perlakuan proses tempering yang bertujuan untuk meningkatkan ketangguhan serta mengurangi kegetasan. Namun, pengaruh dari suhu pada proses tempering ini akan menurunkan tingkat kekerasan dari logam (Harun, 1986).

Kenawy dkk (2001) melakukan penelitian yang membuktikan bahwa yang mempengaruhi sifat mekanik (kekuatan, ketangguhan, dan kekerasan) pada besi cor nodular adalah fraksi fasa ferit atau perlit dari matrik dan besarnya ukuran grafit. Jika fraksi fasa perlit semakin tinggi maka kekuatan dan kekerasan juga akan semakin tinggi. Kemudian jika ukuran grafit semakin besar maka kekuatan dan ketangguhan besi cor nodular juga akan semakin rendah.

Dari uraian di atas maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh temperatur temper terhadap struktur mikro, kekerasan dan ketangguhan besi cor nodular setelah diproses tempering. Penelitian ini kemudian dilakukan dengan judul “PENGARUH QUENCHING DAN TEMPERING PADA TEMPERATUR 450 °C TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KETANGGUHAN PADA BESI COR NODULAR”.

2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat Dan Bahan Penelitian

2.2.1 Bahan Penelitian

Bahan dalam penelitian ini menggunakan material besi cor nodular dengan ukuran panjang 150 mm, lebar 150 mm, dan tebal 30 mm. Material penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Besi Cor Nodular

2.2.2 Alat Penelitian

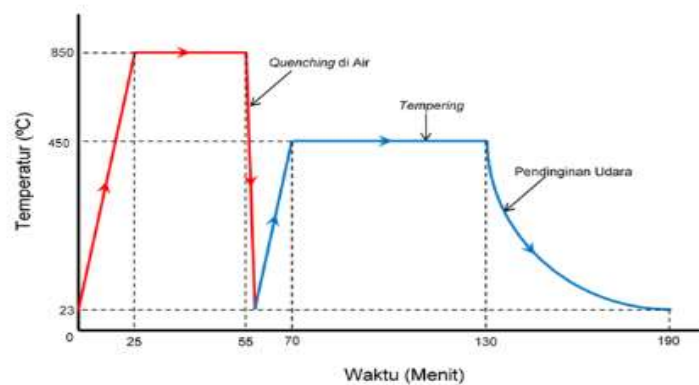
Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Gerinda Potong.
2. Mesin Milling

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 3. Vernier Caliper (jangka sorong). | 9. Etsa |
| 4. Tungku pemanas. | 10. Alat Uji Scanning Electron Microscopy (SEM) |
| 5. Media Quenching Air | 11. Alat Uji Impak |
| 6. Thermometer | 12. Alat Uji Kekerasan Rockwell |
| 7. Mesin Amplas | |
| 8. Autosol. | |

2.3 Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas dalam penelitian ini, spesimen uji diperlakukan panas dengan menggunakan tungku pemanas dengan temperatur 850 °C dengan diholding time 30 menit. Kemudian dilakukan proses quenching menggunakan media air. Kemudian spesimen dilanjutkan proses tempering dengan temperatur 450 °C dengan holdingtime 60 menit pada pendinginan suhu ruangan. Siklus perlakuan panas dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Siklus Perlakuan Panas

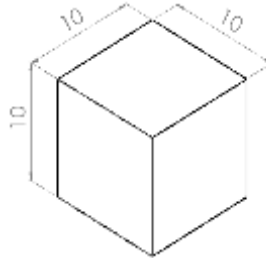
2.4 Proses Pembuatan Spesimen Uji dan Proses Pengujian

1. Proses Pembuatan Spesimen Uji SEM dan Uji Kekerasan Rockwell

Langkah – langkah pada proses pembuatan spesimen untuk pengujian SEM dan Uji Rockwell adalah:

 - a. Material besi cor yang berukuran 150 mm x 150 mm x 30 mm dipotong menjadi spesimen dengan ukuran 15 mm x 15 mm dengan menggunakan gerinda potong, kemudian diratakan menjadi ukuran 10 mm x 10 mm dengan menggunakan mesin milling agar spesimen

menjadi rapi dan halus. Dimensi spesimen uji SEM dan uji kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Dimensi spesimen Uji SEM dan Kekerasan

- b. Proses pengamplasan pada spesimen menggunakan mesin amplas dengan lembar amplas yang sesuai dengan nomer grid yaitu: 100, 180, 400, 600, dan 1000 dilakukan secara urut sehingga menghasilkan spesimen uji yang rata dan halus. Pada proses pengamplasan diikuti dengan pemberian air yang bertujuan untuk menghindari efek panas pada material yang dapat mempengaruhi struktur mikro material dan mengalirkan butiran kotoran logam kecil yang tidak digunakan.
 - c. Untuk pemolesan spesimen dilakukan secara manual dengan menggosokkan spesimen uji di bagian sisi yang akan diuji dengan kain bludru serta penambahan autosol sebagai cairan poles. Proses tersebut untuk menghasilkan permukaan yang mengkilap, sehingga saat melakukan pengujian struktur mikro mendapatkan pantulan sinar yang baik.
 - d. Proses esta, pada bagian permukaan spesimen yang akan diuji dicelupkan ke dalam larutan etsa selama ± 3 detik, agar dapat memperjelas foto stuktur mikronya. Dengan komposisi larutan esta yaitu: Alkohol 95% dan dengan HNO₃ 5% maka kandungan total 30 ml.
 - e. Spesimen dicuci dengan air bersih dan sabun.
 - f. Spesimen uji diangin-anginkan agar spesimen uji kering.
2. Proses Pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy)

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy), yaitu:

- a. Menyiapkan spesimen uji yang sebelumnya sudah dipreparasi.
 - b. Meletakkan spesimen uji di atas holder.
 - c. Setelah spesimen menempel pada holder, holder dimasukkan ke dalam mesin uji SEM.
 - d. Menentukan bagian yang akan disinari oleh berkas elektron.
 - e. Mengatur fokus, kontras dan pembesaran 2000x.
 - f. Kemudian melakukan proses pengamatan spesimen, permukaan spesimen akan muncul di layar komputer untuk dianalisis.
 - g. Gambar kemudian disimpan.
3. Proses Pengujian Kekerasan Rockwell

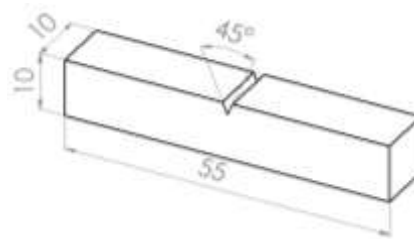
Langkah - langkah pengujian kekerasan Rockwell adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan spesimen uji yang sudah dipreparasi.
 - b. Indentor intan dipasangkan pada pemegang indentor, kemudian pemegang indentor dipasangkan ke mesin.
 - c. Meletakkan spesimen uji pada meja mesin dan menaikkan meja mesin sehingga indentor menyentuh spesimen uji. Jarum penunjuk kecil harus menunjukkan angka 3 yang berarti pada proses ini terjadi pembebanan awal sebesar 10 kg.
 - d. Tuas ditarik manual hingga mentok sehingga terjadi penekanan kemudian tuas dilepaskan, dan menunggu sampai jarum petunjuk tidak bergerak pada skala besar dan tuas berhenti (pembebanan penuh).
 - e. Setelah tuas berhenti, tuas ditarik kembali ke posisi seperti semula dan hasil pengujian bisa dilihat pada indentor mesin uji.
 - f. Diukur dengan mikrometer.
4. Proses Pembuatan Spesimen Uji Impak

Langkah – langkah pada proses pembuatan spesimen uji impak adalah:

- a. Material besi cor yang berukuran 150 mm x 150 mm x 30 mm dipotong menjadi spesimen dengan ukuran 65 mm x 15 mm x 15 mm dengan menggunakan gerinda potong.

- b. Meratakan spesimen uji menjadi ukuran panjang 55 mm x 10 mm x 10 mm dengan menggunakan mesin milling agar presisi dan halus.
- c. Membuat takik (notch) berbentuk V dengan sudut 45° pada bagian tengah spesimen dengan kedalaman takik 2 mm dan radius bawah 0.25 mm pada dimensi ukuran tersebut merupakan standar dari ASTM E23. Dimensi spesimen uji impact dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 5. Dimensi Spesimen Uji Impact

5. Proses Pengujian Impact

Langkah - langkah pengujian ketangguhan impact pada spesimen uji, sebagai berikut :

- a. Menyiapkan spesimen yang sudah dipreparasi.
- b. Pengujian impact ini dilakukan di dalam ruangan dengan kondisi temperatur kamar.
- c. Meletakkan spesimen yang sudah dipreparasi pada landasan (anvil) dengan posisi mendatar (horizontal) dan takikan (notch) menghadap berlawanan dengan arah bandul.
- d. Bandul dinaikkan dengan tinggi (h) atau dengan sudut (α) yang sudah ditentukan.
- e. Mengatur jarum petunjuk skala pada posisi angka nol.
- f. Kemudian pencet tuas bandul maka bandul akan terayun dan memukul spesimen uji.
- g. Setelah terjadi tumbukkan antara bandul dan spesimen uji, bandul masih berayun setengah dari tinggi (h_1) atau sudut (β).

- h. Cara menghitung hasil energi terserap dari patahan spesimen uji sebelumnya dihitung dari panjang lengan bandul (R) dan berat bandul (G).
- i. Kemudian untuk menghitung harga impak (Hch) melalui nilai energi patahan spesimen uji (Ech) dibagi dengan luas dari patahan spesimen uji (A).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil dan Pembahasan Pengujian Komposisi Kimia

Romandhani (2019) melakukan pengujian komposisi kimia dengan menggunakan alat uji spectrometer. Pada pengujian komposisi ini alat dapat melakukan pembacaan secara otomatis sehingga mampu mendeteksi beberapa jenis unsur kimia. Data dari hasil komposisi kimia pada besi cor ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Material Besi Cor.

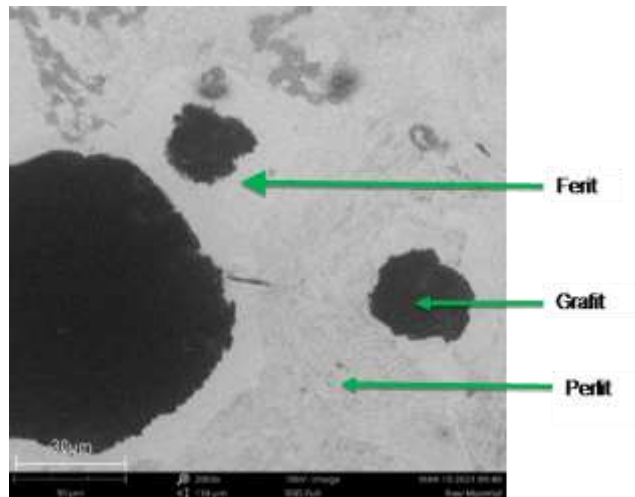
No	Unsur	(%)	No	Unsur	(%)
1.	Fe	91.95	11.	Al	0.0130
2.	C	3.4876	12.	Ni	0.0117
3.	Si	2.6449	13.	S	0.0105
4.	Cu	1.1144	14.	Sn	0.0088
5.	Mn	0.5748	15.	V	0.0048
6.	Cr	0.0896	16.	Co	0.0034
7.	Ti	0.0356	17.	Mo	0.0026
8.	Mg	0.0351	18.	Zn	0.0018
9.	Ca	0.0344	19.	Nb	0.0011
10.	P	0.0163			

Berdasarkan hasil pengujian pada raw material besi cor tabel 1. tersebut terdapat 19 unsur paduan, dimana terdapat 4 unsur paduan yang paling dominan diantaranya Besi (Fe) 91.95%, Karbon (C) 3.4876%, Silikon (Si) 2.6449%, Tembaga (Cu) 1.1144%. Kadar kandungan Karbon (C) sebesar 3.4876% dan Silikon (Si) sebesar 2.6449%, ini mencapai kadar kandungan

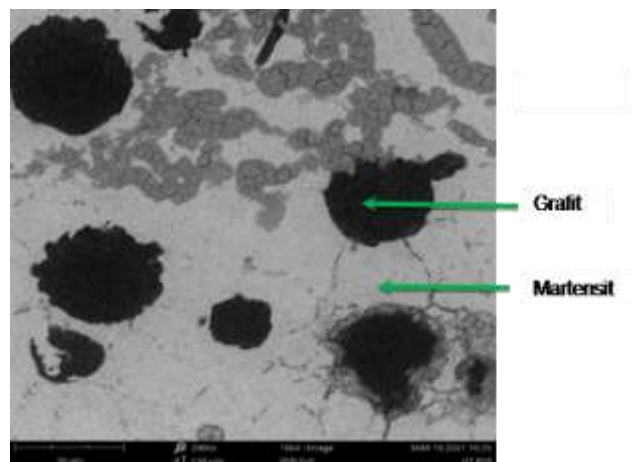
Karbon (C) dan Silikon (Si) yang disyaratkan dalam besi cor nodular yaitu antara 3.4 – 4.1% C dan 2.1 – 2.7 % Si sesuai dengan pesyaratan dalam The Association for International Technical Promotion (AITEP) (Surdia, 1999).

3.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM)

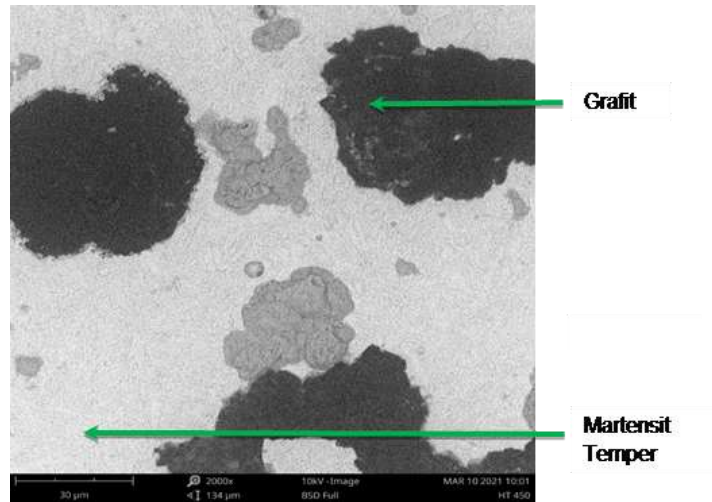
Pengujian struktur mikro atau metalografi bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa dalam bentuk foto pada spesimen raw material, setelah diproses quenching dan setelah proses tempering. Pada pengujian ini dilakukan pada setiap spesimen material (raw material, setelah diquenching 850 °C dan setelah ditempering 450 °C pada hasil foto uji SEM. Hasil foto uji SEM raw Material, Quenching 850°, dan Tempering 450° dapat dilihat pada Gambar 6., Gambar 7. dan Gambar 8.



Gambar 6. Foto SEM Raw Material



Gambar 7. Foto SEM setelah proses Quenching 850°



Gambar 8. Foto SEM setelah proses Tempering 450°

Hasil Uji SEM pada RAW material pada (Gambar 6.) memperlihatkan beberapa fasa yang terkandung dalam besi cor nodular antara lain ferit, grafit bulat, dan perlit.

Hasil Uji SEM pada material yang sudah dilakukan proses quenching 850°C kemudian dimasukkan ke dalam media pendinginan berupa media air (Gambar 7.) akan menimbulkan fasa martensit. Martensit ini timbul karena adanya laju pendinginan secara cepat dengan memasukkan material kedalam media pendingin berupa air. Martensit memiliki struktur yang keras berbentuk seperti jarum-jarum dan memiliki sifat yang getas dan tidak liat. Maka, pada proses Quenching ini menghasilkan material yang memiliki tingkat kekerasan yang tinggi.

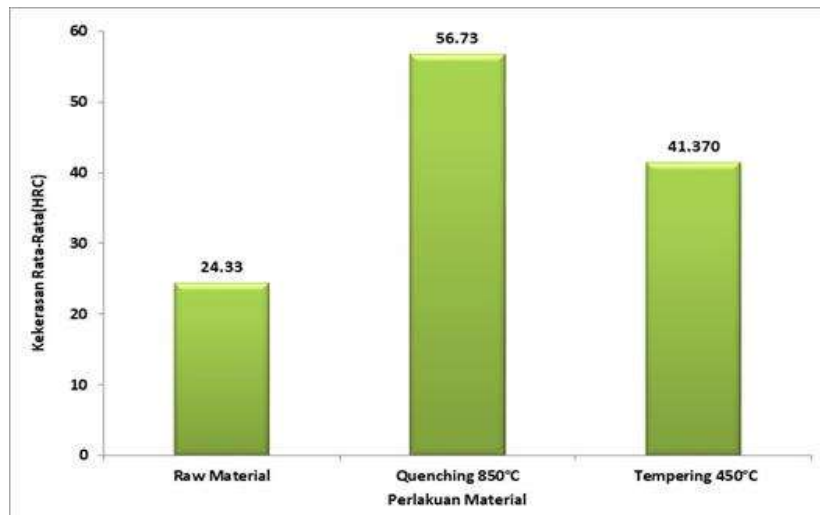
Hasil Uji SEM pada material yang telah dilakukan proses quenching dengan media pendingin air selanjutnya dilakukan proses tempering 450°C (Gambar 8.). Dari tahap ini terjadi transformasi fasa martensit menjadi martensit temper, maka dari itu fasa martensit yang timbul setelah proses tempering ini sering disebut dengan fasa martensit temper, yang artinya fasa martensit yang sudah mengalami proses temper yang mempunyai sifat lebih lunak dibanding martensit hasil proses dari quenching. Setelah proses penemperan ini jumlah martensitnya menjadi berkurang maka material akan cenderung lebih lunak namun pada proses tempering ini memiliki tujuan untuk meningkatkan nilai ketangguhan dan menurunkan kekerasannya.

3.3 Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan nilai kekerasan dari besi cor nodular raw material, sesudah *quenching* media air, dan sesudah proses *tempering* suhu 450°C dengan pendinginan suhu ruangan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan *Rockwell* dengan pembebanan 150 kgf. Adapun data hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel 2, dan diagram hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Perlakuan Material	Titik Uji	Nilai Kekerasan (HRC)	Kekerasan Rata-Rata (HRC)
Raw Material	1	27,00	24,33
	2	20,00	
	3	26,00	
Quenching 850°C	1	53,50	56,73
	2	56,80	
	3	59,90	
Tempering 450°C	1	39,50	41,37
	2	43,80	
	3	40,80	



Gambar 9. Diagram Hasil Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Hasil pengujian kekerasan pada *raw material* besi cor nodular pada titik uji 1 didapatkan hasil 27.00 HRC, pada titik uji 2 didapatkan hasil 20.00

HRC, sedangkan pada titik uji 3 didapatkan hasil sebesar 26.00 HRC. Maka dari itu didapatkan kekerasan rata-rata sebesar 24.33 HRC.

Setelah dilakukakan proses quenching 850 °C hasil nilai kekerasan pada titik uji 1 didapatkan hasil 53.50 HRC, pada titik uji 2 didapatkan hasil 56.80 HRC, sedangkan pada titik uji 3 didapatkan hasil sebesar 59.90 HRC, maka didapatkan hasil kekerasan rata-rata 56.73 HRC. Dengan demikian hal ini menunjukkan bahwa proses *quenching* atau pendinginan secara cepat dengan menggunakan media pendingin berupa air tersebut dapat mengakibatkan adanya peningkatan nilai kekerasan karena munculnya fasa yang berupa martensit yang memiliki sifat yang keras. Peningkatan kekerasan yang terjadi sebesar 133.17%.

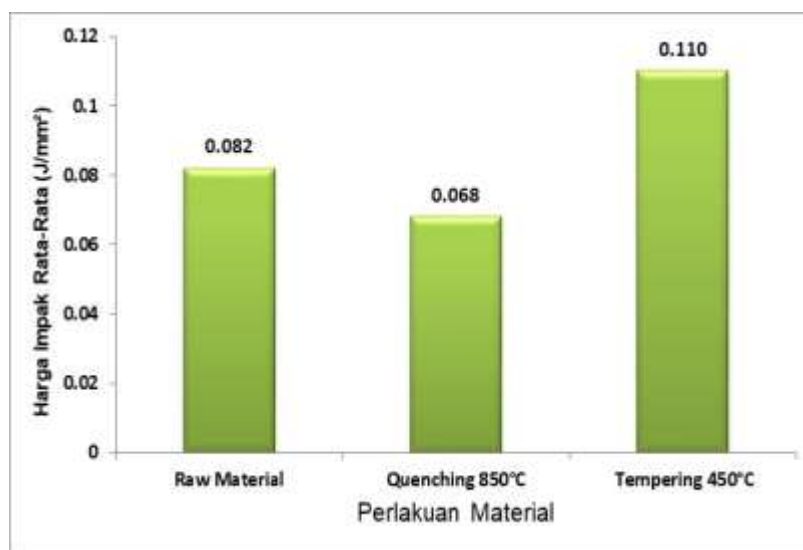
Setelah dilakukan proses tempering 450 °C hasil nilai kekerasan pada titik uji 1 didapatkan hasil 39.50 HRC, pada titik 2 didapatkan hasil 43.80 HRC, sedangkan pada titik uji 3 didapatkan hasil sebesar 40.80 HRC, maka didapatkan hasil kekerasan rata-rata 41.37 HRC. Dengan demikian hal ini menunjukkan bahwa proses tempering mengakibatkan penurunan nilai kekerasan karena martensit bertransformasi menjadi martensit temper. Penurunan nilai kekerasan yang terjadi sebesar 27.18%.

3.4 Hasil dan Pembahasan Pengujian Uji Impak

Pengujian impak dilakukan untuk memperoleh harga ketangguhan suatu bahan material. Ketangguhan dapat diartikan sebagai ukuran suatu energi yang yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak sebuah material. Proses pengujian ini dilakukan dengan cara sebuah benda kerja atau spesimen yang telah diberi lekukan sesuai standar ASTM E23. Adapun data hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel 3. dan Diagram hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 10.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Impak

Perlakuan Material	Spesimen Uji	Energi (J)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga Impact (J/mm ²)	Harga Impak Rata-Rata (J/mm ²)
Raw Material	1	300	7,3	88,61	0,082	0,082
Quenching 850°C	1	300	6,5	89,88	0,073	0,068
	2	300	5,8	87,41	0,066	
	3	300	5,8	86,63	0,066	
Tempering 450°C	1	300	9,7	87,30	0,111	0,110
	2	300	9,7	88,20	0,110	



Gambar 10. Diagram Hasil Pengujian Impak

Harga Impak hasil pengujian impak pada raw material besi cor nodular didapatkan hasil sebesar 0.082 J/mm².

Setelah dilakukan proses quenching 850 °C hasil harga impak pada spesimen uji 1 didapatkan hasil 0.073 J/mm², pada spesimen uji 2 didapatkan hasil 0.066 J/mm², sedangkan pada spesimen uji 3 didapatkan hasil sebesar 0.066 J/mm², maka didapatkan harga impak rata-rata 0.068 J/mm². Dengan demikian hal ini menunjukkan bahwa proses quenching atau pendinginan secara cepat dengan menggunakan media pendingin berupa air tersebut mengakibatkan adanya penurunan nilai ketangguhan sebesar 17.07% karena munculnya fasa berupa martensit yang memiliki sifat getas.

Kemudian setelah dilakukan proses tempering 450 °C hasil harga impak pada spesimen uji 1 didapatkan hasil 0.111 J/mm², pada spesimen uji 2

didapatkan hasil 0.110 J/mm², maka didapatkan harga impak rata-rata 0.110 J/mm². Dengan demikian hal ini menunjukkan bahwa proses tempering mengakibatkan peningkatan nilai ketangguhan (harga impak) sebesar 61.76 % karena adanya perubahan fasa yang terjadi dari martensit menjadi martensit temper, dan pada proses tempering ini bertujuan salah satunya adalah menambah ketangguhan.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan hasil pembahasan tentang Pengaruh Quenching dan Tempering pada Temperatur 450 °C Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan pada Besi Cor Nodular maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposisi kimia hasil penelitian Romandhani (2019) menunjukkan data unsur paduan dari besi cor tersebut memiliki kadar kandungan Karbon (C) dan Silikon (Si) sesuai yang disyaratkan dalam besi cor nodular yaitu antara 3.4 – 4.1% C dan 2.1 – 2.7% Si sesuai dengan persyaratan dalam The Association for International Technical Promotion (AITEP).
2. Setelah dilakukan proses quenching 850 °C dengan media pendingin air, hasil pengujian SEM didapatkan bahwa fasa yang timbul dari proses tersebut adalah fasa martensit, ketika dilakukan pengujian kekerasan Rockwell didapatkan hasil rata-rata 56.73 HRC yang menunjukkan bahwa dengan dilakukannya proses quenching 850 °C maka nilai kekerasan akan meningkat sebesar 133.17% dan ketika dilakukan pengujian ketangguhan didapatkan hasil rata-rata 0.068 J/mm² yang menunjukkan bahwa dengan dilakukannya proses quenching 850 °C maka nilai ketangguhan akan menurun sebesar 17.07%.3.
3. Setelah dilakukan proses tempering 450 °C dengan media pendingin udara, hasil pengujian SEM didapatkan bahwa fasa yang timbul dari proses tersebut adalah fasa martensit yang berubah menjadi martensit temper, ketika dilakukan pengujian kekerasan Rockwell didapatkan hasil rata-rata 41.37 HRC menunjukkan bahwa dengan dilakukannya proses

tempering 450 °C maka nilai kekerasan akan menurun sebesar 21.18% dan ketika dilakukan pengujian ketangguhan didapatkan hasil rata-rata 0.110J/mm² yang menunjukkan bahwa dengan dilakukannya proses tempering 450 °C maka nilai ketangguhan akan meningkat sebesar 61.76%.

4.2 Saran

Dalam penelitian selanjutnya, beberapa saran yang mungkin dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, antara lain:

1. Perlu melakukan variasi temperatur untuk mengetahui struktur mikro apa saja yang terdapat dalam material tersebut.
2. Perlu dilakukan variasi material spesimen uji untuk mengetahui apa saja unsur dan fasa yang terkandung dalam material tersebut.
3. Melakukan lebih banyak pengujian guna mengetahui tentang kekuatan dan keliatan dari material yang sudah diberi perlakuan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakri, B., & Sri ChandraBhakty. 2006. *Efek Waktu Perlakuan Panas Temper Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Impak Baja Komersial*. SMARTek.
- Balubun, F. D., & Suriansyah S. 2018. *Pengaruh austemper ductile iron terhadap kekerasan dan struktur mikro ductile cast iron (fcd 45)*. Proton
- Bandanadjaja, B. 2009. *Pengaruh Pemaduan Silisium Terhadap Keseragaman Pembentukan Struktur Bainit Pada Besi Cor Nodular Bainitik (The Influence of Silicium Alloying to Homogenize the Bainitic Structure Formation on Bainitic Nodular Cast Iron)*. Jurusan Teknik Pengecoran Logam Politeknik Manufaktur, and Jl Negeri Bandung.
- Callister, W. D., & D. Rethwisch. 2014. *Materials Science and Engineering: an Introduction*, Hoboken.
- Darmawan, A. S. 2020. *Ilmu Bahan Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Darmawan, A. S. dan Masyrukan. 2019. *Struktur dan Sifat Material*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.

- Diniardi, E., & Iswahyudi I. 2012. *Analisa Pengaruh Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Besi Cor Nodular (Fcd 60)*. SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin.
- Djafrie, S. 1985. *Teknologi Mekanik Jilid 1. Manufacturing Processes*. Jakarta: Erlangga.
- Djafri, Sriati. 1995. *Metalurgi Mekanik, Mechanical Metallurgy*. Jakarta: Erlangga.
- Egerton, R. F. 2005. *Physical Principles of Electron Microscopy*. Canada: Springer Science+Business Media, Inc.
- Harun A.R dan George Love. 1986. *Teori dan Praktek Kerja Logam*. Jakarta: Erlangga.
- Hidayatullah, S. 2018. *Pengaruh Variasi Tempering Terhadap Laju Korosi Baja Karbon A53 Dalam Media Air Laut*. (Universitas Jember).
- Kenawy, M.A., dkk. 2001. *Mechanical and Structural Properties of Ductile Cast Iron*, Egypt. J. Sol, Vol. 24..
- Kumar, R. dkk. 2015. *Effect of tempering temperature and time on strength and hardness of ductile cast iron*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 75, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.
- Oktovianto, D. D. 2019. *Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu FC 25 Dengan Mangan 1,2 %*. (Universitas Sanata Dharma).
- Rajan, T. V. 2011. *Heat Treatment Principles And Techniques*. New Delhi: PHI Learning Private Limited.
- Romandhani, A. B. 2019. *Pengaruh Variasi Kandungan Magnesium (Mg) dalam Proses Pembuatan Besi Cor Nodular terhadap Ketahanan Aus*. (Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Saito, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Sharma, A. 2012. *Heat Treatment Principles And Techniques Vol 2*. New Delhi: PHI Learning Private Limited.
- Silva, Anderson José Saretta Tomaz da, dkk. 2014. *Quenching and partitioning heat treatment in ductile cast irons*. Materials Research.

- Siswanto, Ari. 2019. *Perbaikan Kekerasan dan Struktur Mikro Besi Cor Nodular 700 Fasa Ledeburitik dengan Pengaturan Media Pendingin dan Tempering*. ROTASI.
- Supriyono. 2017. *Material Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Surdia, T. 1999. . *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Wibawa, A. S. K. 2019. *Variasi temperatur tempering pada besi cor nodular (fcd) 500 terhadap kekerasandan struktur mikro di Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM)*. (Doctoral dissertation, Teknik Mesin, Universitas Widyatama).