

# PENGARUH DOUBLE HARDENING DI MEDIA PENDINGIN AIR TERHADAP KETANGGUHAN MATERIAL BAJA SCM 440 YANG TELAH MENGALAMI PROSES CARBURIZING

Syawaldi, Irwan Anwar, Heri Widodo

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau

Jl. Kaharuddin Nasution Km 11 No. 113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Telp. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834

Email: syawaldi\_a.empat@yahoo.co.id

## ABSTRAK

*Double hardening merupakan proses pengerasan setelah mengalami proses carburizing yang diakhiri proses tempering. Penelitian menggunakan metode eksperimental yang dilakukan pada material baja karbon dengan kandungan 0,40 % C. Proses double hardening dilakukan pada material hasil carburizing. Proses double hardening dibagi menjadi tiga tahap: tahap I adalah proses pengerasan inti yaitu pada temperatur 900 °C dengan holding time 20 menit dan media pendinginnya air, tahap II pengerasan bagian kulit yaitu pada temperatur 780 °C dengan holding time 20 menit dan media pendinginnya air, selanjutnya proses ini diakhiri dengan proses tempering pada temperatur 200 °C dan 600 °C.*

*Hasil proses carburizing dengan menggunakan arang cangkang kelapa sawit setelah itu dilakukan pengujian, hasilnya menunjukkan ada peningkatan unsur karbon sebesar 1,056 % hasilnya meliputi prosentase unsur: Fe: 96,2; C: 1,47; Si: 0,167; Mn: 0,611; P: 0,0349; S: 0,0261; Cr: 0,972; Mo: 0,235; Ni: 0,0412; Al: 0,0288; Co: 0,0095; Cu: 0,0900; Nb: 0,0467; Ti: 0,0048; V: 0,0338; W: <0,0250; Pb: <0,0100; Ca: 0,0011; Zr: 0,0048 dalam %.*

*Hasil pengujian impak menunjukkan harga impak meningkat yang meliputi spesimen tanpa perlakuan, non carburizing, carburizing, double hardening I 900 °C, double hardening II 780 °C, tempering 200 °C dan tempering 600 °C sebesar 0,74; 0,58; 0,98; 0,83; 1,04; 1,87; 2,24 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan hasil pengujian kekerasan dengan metode Rockwell mengalami perubahan nilai kekerasan yaitu: 51,32; 61,8; 47,42; 64,58; 66,38; 61,06; 56,56 HRC.*

*Keywords: Double Hardening, Carburizing, Tempering, Impact, Hardness*

## 1. Latar Belakang

Logam adalah unsur kimia yang mempunyai sifat kuat, liat, keras, dan mempunyai titik cair yang tinggi. Logam terbuat dari bijih logam yang ditemukan dalam keadaan murni atau bercampur. Bijih logam ini didapat dari proses

penambangan mulai dari pendahuluan, pengeboran, sampai pengolahan logam.

Besi, baja dan aluminium merupakan salah satu bahan-bahan utama pada konstruksi mesin. Biasanya baja memiliki peranan penting dalam konstruksi permesinan pada industri besar,

menengah, kecil dan rumah tangga maupun mesin-mesin alat transportasi. Hampir setiap bagian mesin dibuat dari baja dengan sebagai kekuatan.

Permasalahan dari bagian mesin, sering dijumpai suatu bahan yang diperlukan kekerasan dan keliatannya. Misalnya poros transmisi dan roda gigi. Saat mengalami perpindahan persneling, poros transmisi dan roda gigi mengalami aus, patah serta menerima beban puntir. Komponen tersebut juga harus mempunyai sifat lentur, karena dengan sifat lentur ketika terjadi perpindahan transmisi, diharapkan dapat mengurangi hentakan keras pada saat roda gigi mengalami perkaitan. Gabungan antara beban puntir dan lentur, juga diperlukan pada saat transmisi dan roda gigi mengalami beban berat dan putaran tinggi.

Dari pertimbangan-pertimbangan tersebut di atas maka perlu diadakan penelitian (eksperimen) “Analisa Pengaruh *Double Hardening* Dengan Media Pendingin Air Terhadap Ketangguhan Material Baja SCM 440 Yang Telah Mengalami Proses *Carburizing*”.

## 2. Rumusan Masalah

Rumusalah dalam penelitian ini adalah bagaimana menganalisa pengaruh *double hardening* dengan media pendingin air terhadap ketangguhan material Baja SCM 440 yang telah diperlakukan proses *carburizing*.

## 3. Tinjauan Pustaka

Pada umumnya untuk memperoleh kekerasan baja dapat dilakukan dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) dan proses kimia (*chemical heat treatment*). Salah satu metode proses kimia yang dapat diterapkan untuk meningkatkan

kekerasan bahan adalah melalui proses *carburizing*. Proses *carburizing* merupakan proses penambahan unsur karbon (C) ke dalam logam khususnya pada bagian permukaan bahan dimana unsur karbon ini didapat dari bahan-bahan yang mengandung karbon sehingga kekerasan logam dapat meningkat, akan tetapi proses *carburizing* kurang menghasilkan kekerasan yang baik pada logam (Palallo, 1995:57). Kekurangan pada proses *carburizing* pada logam dapat diperbaiki dengan proses perlakuan panas yaitu dengan cara pengerasan lanjut (*double hardening*). Pemanasan pertama dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki bagian dalam benda kerja akibat pemanasan yang berlebihan pada waktu proses *carburizing* kemudian didinginkan dengan cepat, pemanasan kedua dilakukan untuk memperbaiki kekerasan yang tinggi pada bagian kulit kemudian didinginkan dengan cepat pada media pendingin. Proses ini harus diakhiri dengan pemudaan (*tempering*) bahan yang telah dikeraskan kemudian dipanaskan kembali dan dibiarkan dingin secara alami yaitu diudara luar yang bertujuan agar benda kerja tidak terlalu getas.

## Klasifikasi Baja

Bahan logam pada jenis besi merupakan material yang sering digunakan dalam pembuatan paduan logam lain untuk mendapatkan sifat bahan yang diinginkan. Baja merupakan paduan yang terdiri dari besi, karbon dan unsur lainnya seperti *mangan (Mn)*, *phosfor (P)*, *sulfur (S)* dan *silikon (Si)*. Menurut komposisi kimianya tersebut baja dapat di bagi dua kelompok besar yaitu: Baja karbon dan baja paduaan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain, selain besi dan karbon. Baja karbon

mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi atau baja seperti mangan, Silikon, dan beberapa unsur pengotoran seperti belerang, oksigen, nitrogen dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil.

### Jenis-Jenis Baja

Secara umum baja dapat digolongkan atas beberapa macam, yaitu:

1. Berdasarkan struktur mikro baja digolongkan atas:
  - a. Baja *Hypoeutectoid* ( $< 0,8\% C$ )
  - b. Baja *Eutectoid* ( $0,8\% C$ )
  - c. Baja *Hypereutectoid* ( $> 0,8\% C$ )
2. Berdasarkan proses pembuatannya
  - a. Baja *Bessemer*
  - b. Baja *Siemen-Martin*
  - c. Baja Listrik
3. Berdasarkan Kadar karbonnya
  - a. Baja karbon rendah ( $< 0,3\% C$ )
  - b. Baja karbon sedang ( $0,3 - 0,6\% C$ )
  - c. Baja karbon tinggi ( $0,6 - 1,7\% C$ )

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) adalah baja yang mengandung kurang dari  $0,3\%$  karbon sehingga baja ini tidak termasuk baja yang keras. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur *martensit*. Baja jenis ini banyak beredar dalam bentuk batang, profil, pelat, pipa, dan lain-lain. Sifat-sifat baja karbon rendah diantaranya adalah:

- a. Mudah dibentuk

- b. Tak dapat dikeraskan
- c. Baik untuk pengerasan dengan karburasi

Baja karbon rendah banyak aplikasinya dijumpai pada:

- a. Industri mobil
  - b. Konstruksi pabrik
  - c. Industri lemari es
  - d. Plat kapal, batang pipa dan lain-lain.
- b. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon ini memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik dari pada baja karbon rendah. Baja ini dapat ditingkatkan kekuatannya melalui proses *heat treatment*, baja karbon sedang mengandung  $0,3 - 0,6\% C$  (*sumber: Hari Amanto, 2010: 3*). Baja karbon sedang ini banyak diproduksi masal oleh industri dalam bentuk batang, balok, pelat, pipa, bahan poros, batang torak dan lain-lain. Baja karbon sedang ini memiliki ciri khas sebagai berikut :

- a. Lebih kuat dan keras dari pada baja karbon rendah.
- b. Baik untuk dikeraskan
- c. Kekuatan tinggi
- d. Tidak mudah di bentuk dengan mesin.
- e. Dapat dikeraskan dengan baik.
- f. Ketahanan panas tinggi

Aplikasi baja karbon sedang ini banyak dijumpai pada.

- a. Poros
  - b. Poros engkol dan batang torak
  - c. Stang kawat pipa gas tekanan tinggi  
Baut dan mur
  - d. Rel kereta api
  - e. Roda gigi
  - f. Pegas
  - g. *Bucket excavator* dll.
- c. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Baja yang mengandung 0,7% – 1,7% C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, baja jenis ini tahan terhadap gesekan, baja karbon tinggi memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Kuat sekali
- b. Sangat keras dan getas/rapuh
- c. Sulit dibentuk mesin
- d. Tahan terhadap panas yang tinggi
- e. Mengakibatkan kurang sifat ulet
- f. Dapat dilakukan proses *Heat treatment*

Baja karbon tinggi biasanya aplikasinya digunakan untuk:

- a. Pegas yang memerlukan kekuatan besar.
- b. Untuk penggunaan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi.
- c. Pembuatan gergaji, bor, kikir, pahat, perkakas potong.
- d. Pembuatan tap dan snei, pisau cukur perkakas transing dan lain-lain.

#### 4. Metode Penelitian

Metode penelitian ini adalah eksperimental deskriptif yaitu menganalisa pengaruh *double hardening* dengan media pendingin air terhadap ketangguhan material baja SCM 440 yang telah mengalami proses *carburizing*. Tahapan penelitian ini terdiri dari: Waktu dan Tempat Penelitian, Peralatan dan Bahan, Tahapan Proses Pemanasan, dan Tahapan Pengujian Bahan.

### 5. Hasil dan Pembahasan

#### 5.1. Hasil Uji Komposisi

Hasil uji komposisi material dilakukan untuk memastikan bahwa komposisi pemilihan bahan yang digunakan untuk pengujian sesuai

dengan yang diharapkan. Pengujian ini menggunakan peralatan yang disebut Optical Emission Spectroscopy (OES) dan dilakukan di Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten – Jawa Tengah. Material yang di uji meliputi spesimen tanpa perlakuan (standar) dan spesimen yang di proses karburasi (*carburizing*). Hasil pengujian komposisi ini dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Hasil Uji Komposisi Spesimen Tanpa Perlakuan (Standar)

NO	UNSUR	Prosentase (%)
1	Fe	97,2
2	C	0,414
3	Si	0,0734
4	S	0,0220
5	P	0,0283
6	Mn	0,790
7	Cr	0,955
8	Mo	0,202
9	Ni	0,141
10	Al	0,0296
11	Co	<0,0050
12	Cu	0,0442
13	Nb	0,0252
14	Ti	< 0,0020
15	V	0,0434
16	W	<0,0250
17	Pb	< 0,0100
18	Ca	< 0,0007
19	Zr	0,0071

Sumber: Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten – Jawa Tengah

Berdasarkan hasil uji OES diperoleh komposisi unsur yang terdapat di dalam baja SCM 440, salah satu diantaranya adalah unsur karbon (C). Setelah diketahui komposisinya material tersebut akan diberi proses pengarbonan (karburasi) yang bertujuan untuk meningkatkan komposisi karbon. Proses pengarbonan pada material tersebut dengan menggunakan arang cangkang kelapa sawit. Dan kemudian setelah diberi proses pengarbonan spesimen dilakukan pengujian komposisi kembali guna memastikan seberapa besar peningkatan unsur karbon pada material yang telah diberi proses pengarbonan (karburasi). Hasil pengujian OES spesimen proses carburizing dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Data Hasil Pengujian Komposisi Spesimen Proses *Carburizing*

NO	UNSUR	Presentase (%)
1	Fe	96,2
2	<b>C</b>	<b>1,47</b>
3	Si	0,167
4	S	0,0261
5	P	0,0349
6	Mn	0,611
7	Cr	0,972
8	Mo	0,235
9	Ni	0,0412
10	Al	0,0228
11	Co	0,0095
12	Cu	0,0900
13	Nb	0,0467
14	Ti	0,0048
15	V	0,0338
16	W	<0,0250
17	Pb	< 0,0100
18	Ca	0,0011
19	Zr	0,0048

Sumber: Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten – Jawa Tengah

Berdasarkan tabel 5.2 didapat data hasil pengujian komposisi pada spesimen yang telah diberi proses carburizing. Dari hasil pengujian tersebut terlihat bahwa pada spesimen tanpa perlakuan (standar) dengan spesimen setelah diberi proses carburizing mengalami peningkatan unsur, terutama unsur karbon (C). Peningkatan unsur karbon ini disebabkan oleh proses pengarbonan di dalam tungku pemanas (furnace) menggunakan campuran arang cangkang kelapa sawit dan natrium karbonat ( $\text{NaCO}_3$ ) pada temperatur dan waktu tertentu. Peningkatan unsur karbon antara spesimen tanpa perlakuan (standar) dengan spesimen proses carburizing sebesar 1,056 % dari komposisi standarnya.

### Pengukuran Diameter Spesimen

Pengukuran diameter ini dilakukan pada spesimen standar dan spesimen setelah diproses carburizing. Dari hasil pengukuran diameter material pengujian dilakukan pengukuran ulang secara teliti sebelum dan sesudah proses carburizing dengan menggunakan alat ukur jangka sorong diperoleh data bahwa adanya perubahan diameter pada material standar dengan material proses carburizing, dimana diameter material standar (tanpa perlakuan) sebesar 21 mm seperti yang terlihat pada tabel 5.3.

Dalam penelitian proses carburizing ini menurut teori dasarnya terjadi penambahan unsur yakni unsur karbon, maka dari itu secara otomatis terjadi penambahan karbon di bagian pinggir spesimen. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan juga pengukuran diameter spesimen guna mengetahui adakah penambahan diameter spesimen sebelum dan setelah proses carburizing.

Dari hasil hasil pengukuran diameter spesimen di dapat data pada tabel 4.3. data hasil

menunjukkan bahwa ada perubahan antara diameter spesimen sebelum dan setelah proses carburizing. Rata-rata hasil pengukuran diameternya meningkat sebesar 0,01 mm.

### Penimbangan Berat Spesimen

Penimbangan spesimen dilakukan pada spesimen tanpa perlakuan (standar) dan spesimen proses carburizing. Dari penimbangan spesimen dengan menggunakan neraca digital diperoleh data hasil pengujian, dimana berat spesimen antara spesimen tanpa perlakuan (standar) dan spesimen proses carburizing terjadi perubahan berat material pengujian. Perubahan berat spesimen dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Penimbangan Berat Spesimen

No	Berat Spesimen (gram)		Penambahan Berat Spesimen (gr)	Pengurangan Berat Spesimen (gr)
	Sebelum Proses Carburizin g	Setelah Proses Carburizin g		
1	70,05	70,08	0,03	-
2	60,46	60,50	0,04	-
3	70,20	70,24	0,04	-
4	70,52	70,57	0,05	-
5	70,63	70,67	0,04	-

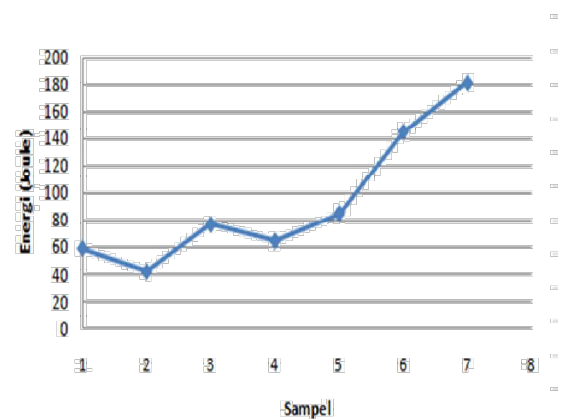
Penelitian proses carburizing ini juga dilakukan penimbangan berat spesimen. Hal ini dilakukan untuk memastikan adakah perubahan berat spesimen tersebut. Penimbangan antara spesimen sebelum dan setelah proses carburizing menunjukkan peningkatan beratnya. Berat yang diperoleh rata-rata sebesar 0,04 gram.

Dari hasil analisa perhitungan dapat dilihat perbandingan antara energi yang diserap

dan harga impact seperti terlihat pada gambar 5.1 dan gambar 5.2.

Tabel 5.2. Energi yang diserap

No Sampel	Proses Perlakuan	Energi (Joule)
1	TP	59,1
2	NC	41,87
3	CR	76,92
4	DH.1	64,54
5	DH.2	85,26
6	TMP.1	145,16
7	TMP.2	181,54

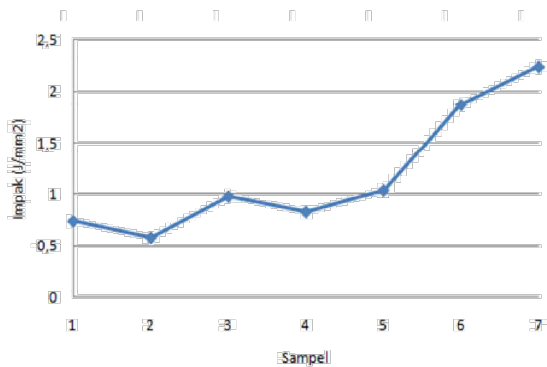


Gambar 5.2 Energi yang Diserap Baja SCM 440

Berdasarkan grafik pada gambar 5.1 terlihat perbandingan energi yang diserap terlihat bahwa energi serap yang tertinggi terdapat pada proses tempering 600 °C sebesar 181,54 Joule. Sedangkan energi serap yang terendah terdapat pada proses non carburizing yaitu sebesar 41,87 Joule. Selain energi serap, didapat juga harga impact dari hasil analisa perhitungan seperti terlihat pada gambar 5.2.

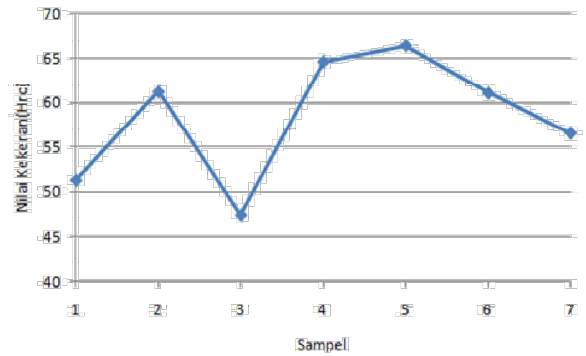
Tabel.5.3. Nilai Impak

No Sampel	Proses Perlakukaan	Energi (Joule)
1	TP	59,1
2	NC	41,87
3	CR	76,92
4	DH.1	64,54
5	DH.2	85,26
6	TMP.1	145,16
7	TMP.2	181,54



Gambar 5.3 Harga Impak pada Baja SCM 440

Berdasarkan grafik pada gambar 5.2 terlihat bahwa harga impak pada setiap proses mengalami peningkatan. Harga impak yang tertinggi terdapat pada proses tempering 600 °C sebesar 2,24 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan harga impak terendah terdapat pada proses carburizing yaitu sebesar 0,58 J/mm<sup>2</sup>. Peningkatan harga impak terjadi karena specimen hasil proses carburizing diperbaiki dengan proses double hardening dan dilanjutkan dengan proses tempering. Dengan meningkatnya haarga impak dapat dipastikan bahwa ketangguhan serta keuletan material semakin bagus.



Gambar 5.3 Nilai Kekerasan Rockwell Rata-rata

### Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dalam penelitian ini menggunakan metode rockwell tipe C dengan beban 150 kgf dan waktu penekanan 5 sekon didapatkan data hasil pengujian kekerasan dengan satuan HRc. Setiap proses dilakukan pengujian guana memastikan adakah perubahan nilai kekerasannya, data hasil pengujiannya adalah sebagai berikut:

Hasil pengujian kekerasan Rockwell menggunakan indentor diamond dengan waktu penekanan 5 sekon diperoleh lah nilai kekerasan pada masing-masing variasi. Dari hasil pengujian didapat perbedaan nilai kekerasan seperti yang terlihat pada gambar 5.3.

Tabel 5.3. Nilai Kekerasan rata-rata

No Sampel	Proses Perlakukaan	Nilai Kekerasan rata-rata (HRc)
1	TP	51.32
2	NC	61.8
3	CR	47.42
4	DH.1	64.58
5	DH.2	66.38
6	TMP.1	61.06
7	TMP.2	56.56

Keterangan:

Spesimen Tanpa Perlakuan (standar)/TP, NC/ spesimen Non Carburizing, CR/spesimen

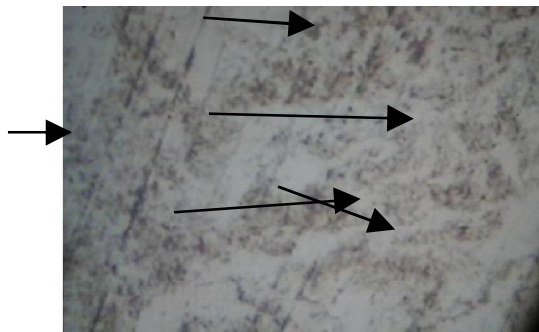
Carburizing, DH I/ spesimen Double Hardening I temperatur 900 °C, DH II/spesimen Double Hardening II temperatur 780 °C, TMP 1/spesimen Tempering 200 °C, TMP 2/spesimen Tempering 600 °C

Berdasarkan grafik pada gambar 5.3 terlihat bahwa nilai kekerasan yang tertinggi terdapat pada proses double hardening II 780 °C sebesar 66,38 HRc. Sedangkan nilai kekerasan yang terendah terdapat pada proses carburizing yaitu sebesar 47,2 HRc.

### Hasil Pengamatan Metalografi (Struktur Mikro)

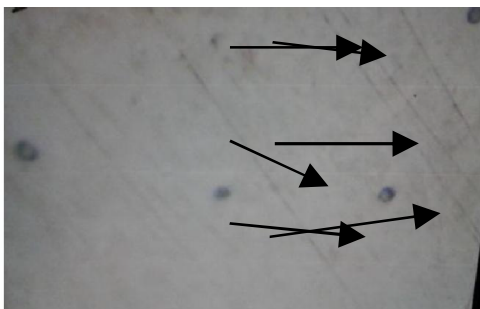
Dari beberapa variasi proses perlakuan yang dilakukan didapatlah perubahan struktur pada material uji, diantaranya sebagai berikut:

a. Hasil pengamatan spesimen Tanpa Perlakuan



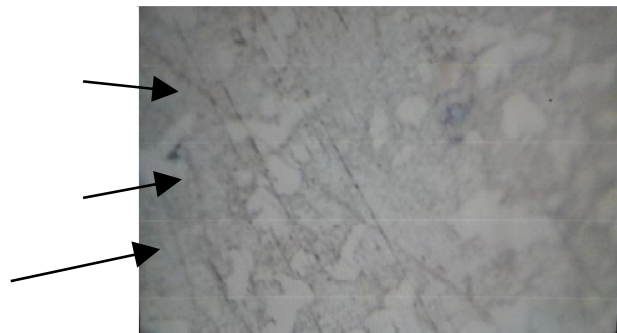
Gambar 5.4 Bentuk struktur mikro baja SCM 440 kondisi tanpa perlakuan (standar) pembesaran 100x

b. Hasil pengamatan spesimen Non Carburizing



Gambar 5.5 Bentuk struktur mikro baja SCM 440 kondisi non carburizing pembesaran 100 x

c. Hasil pengamatan spesimen Carburizing



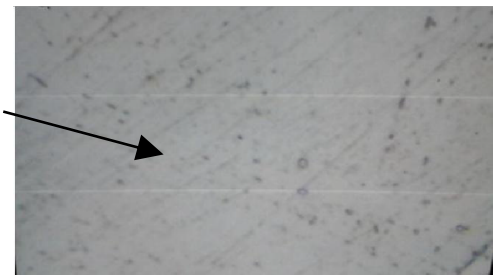
Gambar 5.6 Bentuk struktur mikro baja SCM 440 kondisi setelah di proses carburizing pembesaran 100 x

d. Hasil pengamatan spesimen Double Hardening I 900 °C



Gambar 5.7 Bentuk struktur mikro baja SCM 440 kondisi double hardening I 900 °C pembesaran 100x

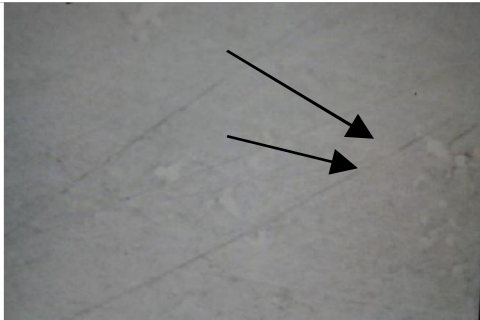
e. Hasil pengamatan spesimen Double Hardening II 780 °C



Gambar 5.8 Bentuk struktur mikro baja SCM 440 kondisi double hardening II 780 °C pembesaran 100 x

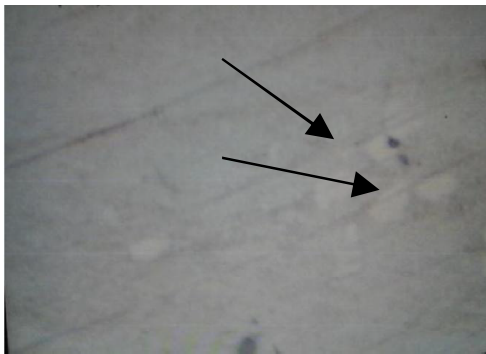


- f. Hasil pengamatan spesimen Tempering 200 °C



Gambar 4.9 Bentuk struktur mikro baja SCM 440 kon tempering 200 °C pembesaran 100 x

- g. Hasil pengamatan spesimen Tempering 600 °C



Gambar 4.10 Bentuk struktur mikro baja SCM 440 kon tempering 600 °C pembesaran 100 x

## 6. Kesimpulan

Dari beberapa proses perlakuan panas dan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Proses carburizing dengan menggunakan media campuran arang cangkang kelapa sawit dengan natrium karbonat ( $\text{NaCO}_3$ ) yang dilakukan pada temperature 900 °C dengan waktu tahan selama 3 jam kemudian di dinginkan di dalam tungku (furnace), setelah di uji komposisi dengan menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES) menunjukkan adanya

perubahan unsur karbon. Perubahan unsur karbon tersebut yakni sebesar 1,056 % atau yang dari awal unsur karbonnya sebesar 0,414 meningkat menjadi 1,47 %. (hasil uji komposisi lihat pada lampiran)

2. Hasil uji ketangguhan (impak) menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai  $E_{\text{serap}}$  dan harga impak (HI). Perubahan tersebut ada yang menurun dan ada juga yang meningkat. Nilai harga impak yang tertinggi adalah pada proses tempering 600 °C sebesar 2,24  $\text{J/mm}^2$ . Sedangkan harga impak terendah terdapat pada proses carburizing yaitu sebesar 0,58  $\text{J/mm}^2$ . Penurunan harga impak disebabkan karena pada proses carburizing hanya bertujuan untuk meningkatkan nilai kekerasan, oleh sebab itu nilai ketangguhannya menjadi menurun. Dan peningkatan harga impak disebabkan karena setelah diproses carburizing, sifat mekanik material uji diperbaiki dengan proses double hardening kemudian diberi proses pemudaan dengan tempering pada temperatur dan waktu tertentu. Sehingga dengan adanya proses lanjutan itu nilai harga impak menjadi meningkat.
3. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai kekerasan yakni pada setiap proses perlakuan. Nilai kekerasan yang tertinggi terdapat pada proses double hardening II 780 °C sebesar 66,38 HRc. Sedangkan nilai kekerasan terendah terlihat pada pada proses carburizing yaitu sebesar 47,2 HRc.

Hasil pengamatan metalografi (struktur mikro) menunjukkan bahwa pada setiap perlakuan

panas yang diberikan terjadi perubahan struktur. Diantaranya struktur yang terkandung pada spesimen standar lebih dominan pearlite dibandingkan struktur ferrite. Pada spesimen proses non carburizing terlihat bahwa lebih dominan struktur martensite dibandingkan pearlite maupun ferrite. Spesimen proses double Hardening I dan II tampak struktur lebih dominan martensite yang lebih halus artinya menunjukkan bahwa material memiliki kekerasan yang tinggi. Spesimen tempering 200 °C tampak struktur lebih dominan ferrite dibandingkan pearlite ataupun martensite. Sedangkan spesimen proses tempering 600 °C tampak struktur yang lebih dominan ferrite dibandingkan pearlite dan martensitenya. Sehingga nilai ketangguhan sedikit meningkat serta sifat rapuhnya berkurang sehingga material uji menjadi lebih ulet.

## DAFTAR PUSTAKA

- Sularso MSME.,** “Kiyokatsu Suga. 2004. *Dasar Perencanaan dan Pemeliharaan Elemen Mesin*”. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Callister, Wiliam D.,.** “*Material Science and Engineering an Introduction*”. Jhon Wiley & Sons. New York,2002.
- Lawrence H. Van Vlack.** “ Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material”. 2001, Edisi keenam. Penerbit Erlangga.
- Daryanto.,** “Proses Pengolahan Besi Dan Baja”. 2010, PT. Sarana Tutorial Nurani Sejahtera. Bandung.
- John A. Schey.,** “Proses Manufaktur”. 2009 Edisi ketiga. Yogyakarta.
- Sukadi.,** “Pengetahuan dan Pengujian Material”, 2004. Tarsito Bandung.

**Joseph E. Shigley., Larry D. Mitchell., Alih bahasa Gandhi Harahap.,**”Perencanaan Teknik Mesin”. 1999, Erlangga.

**Joseph E. Shigley.,** “Mechanical Engineering Design”, 2008,Edisi ke 8, The McGraw-Hell.

**Panduan Pratikum Ilmu Logam,** Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin fakultas teknologi industri institut teknologi Bandung 1994

**Robert L. Mott P.E.,** “ Elemen-Elemen Mesin Dalam Perancangan Mekanis”. Edisi 1. 2009, Penerbit Andi. Yogyakarta.