

## FASA MARTENSIT, FERIT PROEUTEKTOID, PERLIT HALUS PADA MEDIUM CARBON STEEL 0,45% C HASIL PROSES HARDENING DAN NORMALIZING

Djoko Andrijono<sup>1</sup>, Ike Widyastuti<sup>2</sup>

### Abstraksi

Baja karbon menengah 0,4% C untuk pembuatan komponen otomotif dengan proses pemesian diperlukan sifat keuletan dan kekerasan. Salah satu cara untuk memperbaiki kedua sifat tersebut, dapat dilakukan dengan proses perlakuan panas jenis proses *hardening* dan *normalizing*. Tujuan penelitian untuk mengetahui, membandingkan, menganalisa baja karbon menengah 0,45% C setelah proses *hardening* 830<sup>0</sup>C pendinginan air, oli SAE 90 dan *normalizing* 780<sup>0</sup>C pendinginan udara dengan waktu tahan 15 menit, 30 menit, 45 menit yang sama serta untuk mengetahui, menganalisa komposisi kimia baja karbon menengah 0,45% C. Manfaat penelitian untuk mengetahui, menganalisa peningkatan sifat keuletan, kekerasan baja karbon menengah 0,45% C setelah proses *hardening* 830<sup>0</sup>C dan *normalizing* 780<sup>0</sup>C serta memberikan kontribusi bagi usaha kecil menengah, khususnya di bidang pemesian pembuatan komponen otomotif. Kesimpulan proses *hardening* 830<sup>0</sup>C terbentuk fasa martensit, angka kekerasan lebih tinggi dibanding proses *normalizing* 780<sup>0</sup>C terbentuk fasa ferit proeutektoid dan perlit halus angka kekerasan semakin menurun, sehingga sifat keuletannya semakin meningkat.

**Kata Kunci :** Baja Karbon Menengah, Perlakuan Panas, Kekerasan

### PENDAHULUAN

Komponen otomotif umumnya sering menerima beban kejut, beban berulang-ulang, sehingga diperlukan material yang mempunyai sifat : keras, kuat, ulet dan tangguh, tahan aus (*wear resistance*), tahan gesekan (*friction resistance*), tahan panas (*heat resistance*), dan tahan korosi (*corrosion resistance*). Untuk memenuhi sifat-sifat tersebut, material yang memenuhi syarat adalah baja yang merupakan paduan antara unsur besi (Fe) dengan unsur karbon (C) tidak lebih dari 2% dengan sedikit unsur lain, sehingga dinamakan baja karbon (*carbon steel*). Untuk melakukan proses pembuatan komponen otomotif dapat dilakukan dengan beberapa proses meliputi : (a) pembentukan (*forming*), (b) pengecoran (*casting*), dan (c) pemesian (*machining*). Komponen otomotif yang telah mengalami proses di atas, diperlukan proses pengerjaan lanjut

dengan perlakuan panas (*heat treatment*) seperti: mengeraskan (*hardening*) dan menormalkan (*normalizing*) yang bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanis (*mechanical properties*) dengan cara memanaskan logam ke dalam dapur perlakuan panas yang meliputi 3 (tiga) tahap terdiri atas : (a) pemanasan (*heating*), (b) penahanan (*holding*), dan (c) pendinginan (*cooling*) (gambar 1).

Proses *hardening* merupakan proses pemanasan pada baja sampai temperatur di atas daerah kritis (tergantung unsur C) yang diikuti dengan pendinginan cepat (*quenching*). Proses *normalizing* merupakan proses pemanasan pada baja sampai fasa austenit ( $\gamma$ ).

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang



Gambar 1. **Dapur Perlakuan Panas**  
Sumber : Laboratorium Uji Logam Jurusan  
Teknik Mesin FT UNMER Malang

Baja karbon (*carbon steel*) merupakan paduan besi (Fe) dan karbon (C) dengan sedikit unsur pengotor atau unsur ikutan (*impurity*) seperti : silikon (Si), mangan (Mn), phosphor (P), sulfur (S), dan tembaga (Cu). Karbon merupakan salah satu unsur utama yang dapat menaikkan sifat kekerasandan kekuatan, tetapi menurunkan keuletan.

Baja karbon ditinjau dari unsur karbon dan aplikasinya diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) macam terdiri atas : (a) baja karbon rendah (*low carbon steel*) dengan unsur C kurang dari 0,30% untuk aplikasi : (1) baut, (2) mur, (3) plat, (4) tangki, (5) kawat sekrup, (6) rangka bangunan, dan (7) rangka kendaraan. Baja ini bersifat lunak kekerasannya relatif rendah dan keuletannya tinggi, (b) baja karbon menengah (*medium carbon steel*) dengan unsur C antara 0,30% - 0,70% yang mempunyai sifat lebih kuat dan keras dibanding baja karbon rendah, baja jenis ini untuk aplikasi : (1) rel kereta api, (2) poros, (3) roda gigi, dan (4) peralatan pertanian.

Baja karbon menengah juga digunakan apabila dibutuhkan kekuatan dan ketangguhan yang cukup, (c) baja karbon tinggi (*high carbon steel*) dengan unsur C antara 0,70% - 1,70% yang mempunyai sifat lebih kuat dan keras, tetapi keuletannya dan ketangguhannya rendah, baja jenis ini untuk aplikasi komponen yang membutuhkan sifat tahan aus (*wear resistance*), misalnya : untuk alat potong mesin perkakas.

### **Peralatan Penunjang Penelitian**

1. Mesin-mesin : dapur perlakuan panas, *quantometer*, *rockwell hardness number*, mikroskop logam, *pregrinder*, *polishing*, *mounting press*, *film processing apparatus*, mesin sekrup, dan mesin frais.
2. Peralatan penunjang lain: jangka sorong, termokopel, dan kertas gosok grade # 300 s.d # 1000, bludru, alcohol.

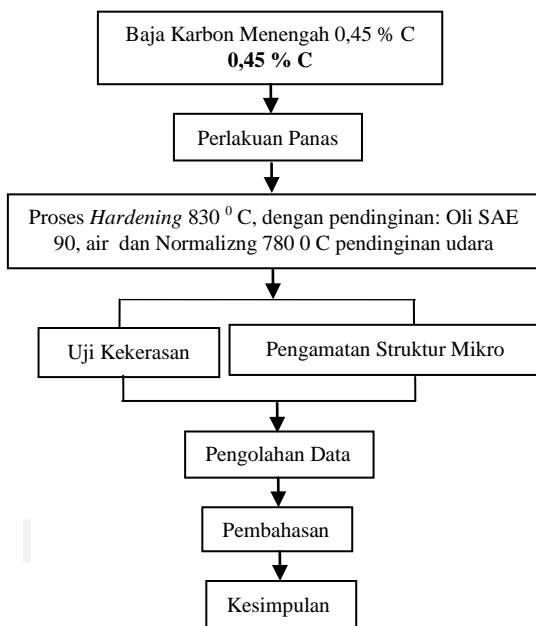
### **Variabel Pengujian**

1. Sampel uji terbuat dari baja karbon menengah 0,45% C bentuk plat (*slab*) dengan tebal 10 mm, panjang 20 mm dan lebar 20 mm.
2. Temperatur *hardening* : 830<sup>0</sup>C, waktu tahan selama 15, 30, 45 menit dengan media pendinginan oli SAE 90 sejumlah 3 spesimen uji.
3. Temperatur *hardening* : 830<sup>0</sup>C dengan waktu tahan selama 15, 30, 45 menit dengan media pendinginan air sejumlah 3 spesimen uji.
4. Temperatur *normalizing* : 780<sup>0</sup>C dengan waktu tahan selama 15, 30 dan 45 menit. dengan media pendinginan udara sebanyak 3 spesimen uji.

5. Waktu pemanasan proses *hardening* 120 menit dan proses *normalizing* 80 menit.
6. Larutan etsa : HNO<sub>3</sub> 2%, 98% alkohol.

## METODOLOGI

### Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. **Diagram Alir Metodologi Penelitian**

### Batasan dan Metode Pengujian

#### 1. Uji Kekerasan dengan Metode *Rockwell Hardness Tester*

Data angka kekerasan diperoleh menggunakan metode penekanan yang disebut alat uji kekerasan *rockwell hardness tester* (gambar 3) dengan memasang indenter bola baja (*steel ball*) dengan diameter bola 1/16 *inch*, beban mayor (*major load*) 100 kg dan beban minor (*minor load*) 10 kg. Spesimen uji terdiri atas : (a) 3 (tiga) specimen uji setelah proses *hardening* 830°C pendinginan oli SAE 90 dan air dengan waktu tahan 15 menit, 30 menit, 45 menit, (b) 3 (tiga) spesimen uji setelah proses

*hardening* 830°C pendinginan air dengan waktu tahan 15 menit, 30 menit, 45 menit, (c) 3 (tiga) spesimen uji setelah proses *normalizing* 780°C pendinginan udara dengan waktu tahan 15 menit, 30 menit, 45 menit.



Gambar 3. **Mesin *Rockwell Hardness Tester***  
Sumber : Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang

#### 2. Uji Komposisi Kimia dengan Mesin *Quantometer*

Data uji komposisi kimia diperoleh menggunakan mesin *quantometer* (gambar 4), sehingga unsur kimia dan komposisi kimia pada sebelum proses *hardening* 830°C pendinginan oli SAE 90, air dan proses *normalizing* 780°C pendinginan udara dapat diketahui.

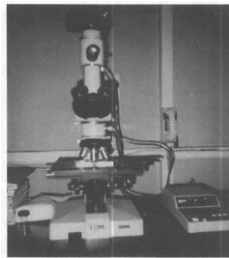


Gambar 4. **Mesin Uji Komposisi Kimia dengan Mesin *Quantometer***  
Sumber : PT. Ispat Indo Desa Kedungturi, Taman, Sidoarjo

#### 3. Uji Pengamatan Struktur Mikro

Data pengamatan struktur mikro diperoleh menggunakan mikroskop logam

(gambar 4) terdiri atas : (a) 3 (tiga) spesimen uji setelah proses *hardening* 830<sup>0</sup>C pendinginan oli SAE 90 dan air dengan waktu tahan 15 menit, 30 menit, 45 menit, (b) 3 (tiga) spesimen uji setelah proses *hardening* 830 C pendinginan air dengan waktu tahan 15 menit, 30 menit, 45 menit, (c) 3 (tiga) spesimen uji setelah proses *normalizing* 780<sup>0</sup>C pendinginan udara dengan waktu tahan 15 menit, 30 menit, 45 menit.



Gambar 5. Mesin Mikroskop Logam  
Sumber : Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia

Tabel 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Baja Karbon Menengah 0,45% C

Unsur kimia	C	Si	Mn
Komposisi kimia	0,45	0,3	0,7

(Sumber : PT. Ispat Indo Desa Kedungturi, Taman, Sidoarjo)

### 2. Data Hasil Perlakuan Panas

Tabel 2. Data Proses *Hardening* 830<sup>0</sup>C Media Pendinginan SAE 90 Baja Karbon Menengah 0,45% C

Media Pendinginan SAE 90, Temperatur Pemanasan dan Penahanan = 830 <sup>0</sup> C		
Pemanasan (menit)	Penahanan (menit)	Pendinginan (menit)
120	15	35
	30	
	45	

(Sumber : Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang)

Tabel 3. Data Proses *Hardening* 830<sup>0</sup>C Media Pendinginan Air Baja Karbon Menengah 0,45% C

Media Pendinginan Air, Temperatur Pemanasan dan Penahanan = 830 <sup>0</sup> C		
Pemanasan (menit)	Penahanan (menit)	Pendinginan (menit)
120	15	25 menit
	30	
	45	

(Sumber : Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang)

Tabel 4. Data Proses *Normalizing* 780<sup>0</sup>C Media Pendinginan Udara Baja Karbon Menengah 0,45% C

Media Pendinginan Udara , Temperatur Pemanasan dan Penahanan = 780 <sup>0</sup> C		
Pemanasan (menit)	Penahanan (menit)	Pendinginan (menit)
80	15	105 menit
	30	
	45	

(Sumber : Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang)

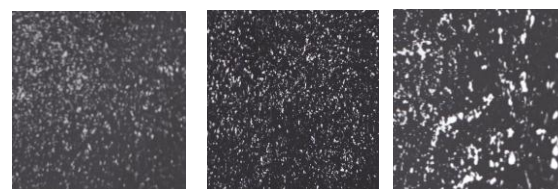
### 3. Data Hasil Uji Kekerasan

Tabel 5. Data Hasil Uji Kekerasan Baja Karbon Menengah 0,45% C Hasil Proses *Hardening* 830<sup>0</sup>C dan *Normalizing* 780<sup>0</sup>C

No	Kekerasan Rata-rata (HR <sub>B</sub> ), Waktu Tahan 15,30,45 Menit			
	Tanpa Perlakuan Panas	<i>Hardening</i> 830 <sup>0</sup> C Oli SAE 90	<i>Hardening</i> 830 <sup>0</sup> C Air	<i>Normalizing</i> 780 <sup>0</sup> C Udara
1	95	105	120	98
2		107	119	97
3		107	110	97

(Sumber : Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang)

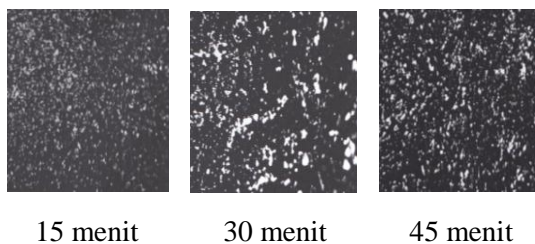
### 4. Data Hasil Uji Pengamatan Struktur Mikro



15 menit                      30 menit                      45 menit

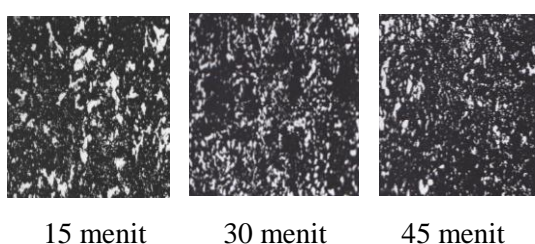
Gambar 6. Hasil Uji Pengamatan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah 0,45% C Hasil Proses *Hardening* 830<sup>0</sup>C Media Pendinginan Oli SAE 90

(Sumber : Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang)



Gambar 7. Hasil Uji Pengamatan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah 0,45% C Hasil Proses *Hardening* 830<sup>0</sup>C Media Pendinginan Air

(Sumber : Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang)



Gambar 8. Hasil Uji Pengamatan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah 0,45% C Hasil Proses *Normalizing* 780<sup>0</sup>C Media Pendinginan Udara

(Sumber : Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang)

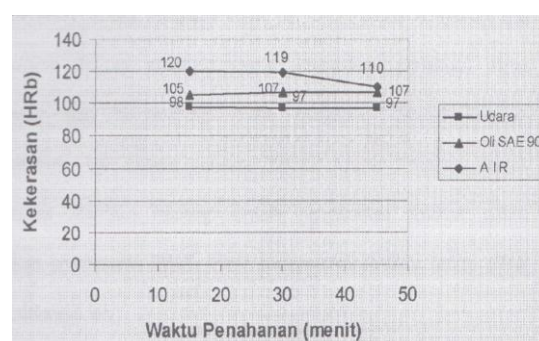
### Pembahasan

Hasil uji komposisi kimia pada specimen uji dengan unsur C 0,45%, maka specimen uji termasuk kelompok baja karbon menengah atau baja karbon biasa (*plain carbon steel*). Berdasarkan struktur mikro baja karbon menengah 0,45% C termasuk kelompok baja hipoeutektoid (*hypoeutektoid steel*) < 0,83% C (diagram keseimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C).

Unsur 0,3% Si dan 0,7% Mn merupakan unsur bersifat deoksidasi yang dapat menurunkan oksigen (tabel 1). Baja karbon menengah 0,45% C sebagai specimen uji sebelum perlakuan panas angka kekerasan mencapai 95 HR<sub>B</sub> dan setelah proses *normalizing* 780<sup>0</sup>C media pendinginan udara,

angka kekerasan rata-rata 98 HR<sub>B</sub> dengan waktu tahan 15 menit, sedangkan waktu tahan 30 menit dan 45 menit angka kekerasan rata-rata 97 HR<sub>B</sub> (tabel 5). Peningkatan angka kekerasan tersebut, dipengaruhi oleh proses *normalizing* 780<sup>0</sup>C media pendinginan udara, maka seluruh fasa bertransformasi menjadi fasa austenit (γ), sehingga fasa γ berubah menjadi fasa ferit proeutektoid dan perlit (α + Fe<sub>3</sub>C) halus.

Waktu tahan 30 menit dan 45 menit angka kekerasan cenderung semakin menurun, hal ini disebabkan energi panas yang diserap logam induk lebih tinggi dibanding waktu tahan 15 menit, sehingga dengan waktu tahan yang lama terjadi pertumbuhan butir (*grain growth*) baru akibatnya butiran yang halus cenderung akan menghilang. Hilangnya butiran yang halus akan berubah menjadi butiran yang lebih kasar akibatnya sifat kekerasan semakin menurun, tetapi sifat keuletannya semakin meningkat (gambar 9).



Gambar 9. Grafik Waktu Tahan terhadap Kekerasan Baja Karbon Menengah 0,45% C setelah Proses Perlakuan Panas

Specimen uji setelah proses *hardening* 830<sup>0</sup>C, waktu tahan 15 menit dengan pendinginan oli SAE 90 angka kekerasan

rata-rata 105 HR<sub>B</sub>, sedangkan waktu tahan 30 menit dan 45 menit angka kekerasan rata-rata 107 HR<sub>B</sub>. Spesimen uji setelah proses *hardening* 830°C, waktu tahan 15 menit dengan pendinginan air angka kekerasan rata-rata 120 HR<sub>B</sub>, sedangkan waktu tahan 30 menit dan 45 menit angka kekerasan rata-rata cenderung menurun menjadi 119 HR<sub>B</sub> dan 110 HR<sub>B</sub> (gambar 9 dan tabel 5).

Angka kekerasan semakin meningkat disebabkan saat logam induk mengalami proses *hardening* 830°C seluruh fasa bertransformasi menjadi fasa  $\gamma$ . Laju pendinginan semakin tinggi, logam induk tidak sempat berdifusi dan struktur tidak menjadi BCC (*Body Centered Cubic*) tetapi unsur karbon (C) terperangkap dalam larutan yang disebut fasa martensit. Larutan padat jenuh lanjut dari unsur C akan membentuk BCT (*Body Centered Tetragonal*). Pada awal terbentuknya fasa martensit dalam jumlah yang kecil, semakin lama fasa tersebut bertambah dan akhirnya akan berhenti pada Mf (*martensite finish*). Fasa martensit mempunyai sifat keras dan getas, tetapi sifat keuletan dan ketangguhan logam induk akan turun, sehingga angka kekerasan semakin meningkat akibat terbentuknya fasa martensit.

Waktu tahan 30 menit dan 45 menit dengan pendinginan air angka kekerasan cenderung menurun, hal ini disebabkan diakibatkan energi panas yang diserap oleh logam induk lebih banyak dibanding dengan waktu tahan 15 menit, sehingga logam induk dengan waktu tahan lebih lama mendorong

terjadinya pertumbuhan butir baru, akibatnya butir-butir yang halus akan menghilang (gambar 6 s.d gambar 8). Hilangnya butiran yang halus akan diganti oleh butiran yang kasar, maka butiran yang kasar cenderung lebih lunak. Apabila laju pendinginan aktual melebihi laju pendinginan kritis, maka akan diperoleh fasa martensit apabila laju pendinginan actual lebih rendah dari laju pendinginan kritis akan diperoleh kekerasan yang menyeluruh. Logam induk setelah mengalami proses *normalizing* 780°C pendinginan udara dengan waktu tahan 30 menit dan 45 menit fasa  $\alpha$  lebih dominan dibanding dengan fasa  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ , sehingga sifatnya menjadi lunak, tetapi waktu tahan 15 menit fasa  $\alpha$  cenderung berkurang dibanding fasa  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ , sehingga sifat logam induk menjadi keras. Logam induk dengan proses *hardening* 830°C dan didinginkan pada air dan oli SAE 90 terbentuk fasa martensit lebih banyak daripada fasa  $\alpha$  (gambar 6 s.d gambar 8). Terbentuknya fasa  $\alpha$  tersebut, disebabkan pada saat dilakukan proses *hardening* 830°C struktur mikro sudah menghasilkan fasa  $\gamma$  tetapi masih ada fasa  $\alpha$ , sehingga bila didinginkan dengan cepat, maka fasa  $\alpha$  tetap tidak berubah, sedangkan apabila pemanasan diteruskan hingga ke temperatur yang lebih tinggi, akan diperoleh struktur mikro yang terlalu getas dan juga akan timbul tegangan dalam (*internal stress*) yang terlalu besar dan dapat menyebabkan distorsi (*distorsion*)

Fasa  $\gamma$  mempunyai sel satuan Kubus Pemusatan Sisi (KPS) (*face centered cubic*)

(FCC) yang mempunyai sifat ulet dan kuat tetapi mudah untuk dilakukan proses pembentukan. Fasa  $\gamma$  terjadi di atas temperatur  $723^{\circ}\text{C}$  atau pada temperatur  $912^{\circ}\text{C}$  s.d  $1394^{\circ}\text{C}$ , di mana fasa ini merupakan larutan padat (*solid solution*) antara Fe dan C dengan kelarutan C maksimum 2% dan sifat ketangguhannya (*toughness*) sangat tinggi dan tidak stabil pada temperatur kamar (*room temperature*). Fasa  $\alpha$  mempunyai sel satuan Kubus Pemusatan Ruang (*Body Centered Cubic*) (BCC) pada temperatur di bawah  $910^{\circ}\text{C}$ . BCC merupakan larutan padat (*solid solution*) terdiri atas beberapa atom C yang ada pada besi murni dan kelarutan unsur C pada fasa  $\alpha$  maksimum 0,025% terjadi di bawah temperatur  $723^{\circ}\text{C}$ , tetapi pada temperatur kamar kelarutan C sekitar 0,008%. Terbentuknya fasa martensit disebabkan pada saat logam induk mengalami proses *hardening*  $830^{\circ}\text{C}$  seluruh fasa bertransformasi menjadi fasa  $\gamma$ . Laju pendinginan semakin tinggi, logam induk tidak sempat berdifusi dan struktur mikro tidak menjadi BCC tetapi unsur C akan terperangkap dalam larutan yang disebut fasa martensit. Larutan padat jenuh lanjut dari unsur C akan membentuk BCT. Pada awal fasa martensit terbentuk dalam jumlah yang kecil, semakin lama bertambah dan akhirnya akan berhenti pada  $M_f$ . Banyaknya fasa  $\gamma$  bertransformasi menjadi fasa martensit tidak tergantung waktu tetapi tergantung pada temperatur. Jika spesimen uji ditahan pada temperatur sebelum  $M_s$  (*martensite start*),

transformasi ke fasa martensit akan terhenti dan fasa martensit tidak akan terjadi walaupun pendinginan dilanjutkan. Semakin banyak terbentuknya fasa martensit mengakibatkan spesimen uji tersebut angka kekerasannya makin meningkat.

## SIMPULAN

1. Proses *normalizing*  $780^{\circ}\text{C}$  pendinginan udara dan proses *hardening*  $830^{\circ}\text{C}$  pendinginan air dan oli SAE 90 dengan waktu tahan 15 menit, 30 menit, dan 45 menit yang sama secara umum angka kekerasan semakin meningkat.
2. Struktur mikro setelah proses *normalizing*  $780^{\circ}\text{C}$  pendinginan udara dengan waktu tahan 15 menit, 30 menit, 45 menit terbentuk fasa ferit proeutektoid dan perlit halus, sedangkan dengan proses *hardening*  $830^{\circ}\text{C}$  pendinginan air, dan oli SAE 90 dengan waktu tahan 15 menit, 30 menit, 45 menit terbentuk fasa martensit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander WO, 1900, **Dasar Metalurgi Rekayasa**, Diterjemahkan oleh E.J. Bradbury Penerbit: P.T. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Avner SH, 1987, **Introduction to Physical Metallurgy**, Singapore, Graw Hill International.
- Chadwick, G.A., 1972, **Metallography of Phase Transformation**, London: Butterworth.
- Dieter, G.E., 1981, **Mechanical Metallurgy. Second Edition**. Tokyo : McGraw-Hill International Book Company.
- Doyle, L.E., 1985, **Manufacturing Processes and Materials for Engineers**, 3<sup>rd</sup> Edition. New Jersey : Prentice Hall.

- Lawrence H. 1983, **Ilmu dan Teknologi Bahan**, Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Smith WF., 1990, *Principles of Materials Science and Engineering*, Second Edition, McGraw-Hill International Editions Alexander WO. 1900. *Dasar Metalurgi Rekayasa*. Diterjemahkan oleh E.J. Bradbury Penerbit: P.T. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Avner SH, 1987, *Introduction to Physical Metallurgy*, Singapore : Graw Hill International.
- Chadwick, G.A., 1972, *Metallography of Phase Transformation*, London: Butterworth.
- Dieter, G.E., 1981, *Mechanical Metallurgy*. Second Edition, Tokyo : McGraw-Hill International Book Company.
- Doyle, L.E., 1985, *Manufacturing Processes and Materials for Engineers*, 3<sup>rd</sup> Edition, New Jersey : Prentice Hall.
- Lawrence H., 1983, *Manufacturing Processes and Materials for Engineers*. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Smith WF., 1990, *Principles of Materials Science and Engineering*, Second Edition, McGraw-Hill International Editions : New York