



UNIVERSITAS INDONESIA

PENGARUH *CARBON POTENTIAL* (CP) PADA PROSES *HIGH CONCENTRATION CARBURIZING* TERHADAP KARAKTERISTIK BAJA SCM 440 PADA KOMPONEN *PIN* RANTAI TIPE *TIMING CHAIN*

SKRIPSI

VIDYA RINA WULANDARI

0806332061

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JANUARI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

PENGARUH *CARBON POTENTIAL* (CP) PADA PROSES *HIGH CONCENTRATION CARBURIZING* TERHADAP KARAKTERISTIK BAJA SCM 440 PADA KOMPONEN *PIN* RANTAI TIPE *TIMING CHAIN*

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

VIDYA RINA WULANDARI

0806332061

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Vidya Rina Wulandari

NPM : 0806332061

Tanda Tangan : 

Tanggal : 17 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh

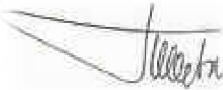
Nama : Vidya Rina Wulandari
NPM : 0806332061
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh *Carbon Potential* (CP) Pada Proses *High Concentration Carburizing* Terhadap Karakteristik Baja SCM 440 Pada Komponen *Pin Rantai Tipe Timing Chain*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Myrna Ariati, MS. ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc ()

Penguji : Dwi Marta Nurjaya S.T., M.T. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada berbagai pihak, antara lain :

1. Ibu Dr. Ir. Myrna Ariati, MS selaku pembimbing skripsi I yang telah banyak membimbing dan membantu kelancaran proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Alfian Hamdan selaku Kepala Pabrik yang telah memberikan kesempatan untuk dapat melakukan tugas akhir di PT FSCM Manufacturing Indonesia.
3. Kedua orang tua tercinta, Papi dan Ibuk, adik-adik tersayang, Tika, dan Bima, serta keluarga besar yang selalu memberi dukungan dan mendoakan penulis
4. Bapak Fandy Irwanto, S.T selaku pembimbing skripsi II yang selalu menyediakan waktu bagi penulis untuk berkonsultasi dalam pemecahan masalah dan penyusunan skripsi ini. Semoga berguna untuk studi dan pengembangan produk.
5. Bapak Kosasih , Bapak Choky, Bapak Fiki, Bapak Paul, Bapak Dede, Bapak Tohang, Bapak Didik, Bapak Mawan beserta seluruh staf karyawan PT FSCM Manufacturing Indonesia atas segala bantuan dan dukungan selama melakukan pengujian
6. Bapak Dr. Ir. Donanta Dhaneswara, M.Si. sebagai pembimbing akademis yang selalu memberikan perhatian dan dukungan penuh terhadap perkembangan akademis penulis
7. Bapak Prof. Dr-Ing. Bambang Suharno sebagai Kepala Departemen
8. Bapak Dr. Ir. Winarto, M.Sc. sebagai Sekretaris Departemen
9. Bapak Dr. Ir Akhmad Herman Yuwono, M.Sc. selaku koordinator tugas akhir

10. Seluruh dosen di Departemen Metalurgi dan Material FT UI atas ilmu yang telah diberikan baik di dalam kelas maupun di luar kelas
11. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Soegiarto, M.Eng., Bapak Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA., Ibu Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Sc., Bapak Prof. Dr-Ing. Nandy Setiadi, Bapak Prof. Dr. Ir. Anondho Widjanarko, M.Sc. serta Bapak Prof. Dr. Ir. Yuri Maemunyah, M.Eng.Sc. atas keteladanan serta kepemimpinannya di Fakultas Teknik ini
12. M. Dimas Sanjaya selaku rekan kerja yang telah bekerja sama dengan baik dalam menjalani 4 bulan masa tugas akhir ini. Akhirnya kita sarjana, Njay
13. Rekan-rekan Metalurgi 2008 tanpa kecuali
14. Rekan-rekan asisten Laboratorium Metalurgi Fisik 2011
15. Bapak Zaenal, Bang Mamat, dan Bang Ucok, Bang Udin atas segala bantuan dan kerjasama yang sangat baik selama masa tugas akhir
16. Mbak Tyas, Mbak Dewi, dan Pak Min atas bantuannya terhadap administrasi kemahasiswaan dan data-data buku dari perpustakaan Departemen Metalurgi dan Material
17. Teman-teman kost Pondok Putri Asri, Yuliana dan Kiki (TL 2008), Sisca, Iis, dan Fajar (Metal 2008)
18. Seluruh pihak yang telah membantu (sampai skripsi ini selesai dijilid) yang tidak dapat ditulis satu per satu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 17 Januari 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Vidya Rina Wulandari
NPM : 0806332061
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh *Carbon Potential* (CP) pada Proses *High Concentration Carburizing* Terhadap Karakteristik Baja SCM 440 pada Komponen *Pin Rantai Tipe Timing Chain*

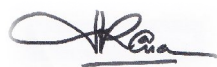
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 17 Januari 2011

Yang menyatakan



(Vidya Rina Wulandari)

ABSTRACT

Name : Vidya Rina Wulandari
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering
Title : Carbon Potential (CP) Effect of High Concentration Carburizing Process on Characteristics of SCM 440 Steel Pin of Timing Chain Component

Innovation in heat treatment method which done from conventional carburizing into high concentration carburizing was purposed to increase the surface hardness of SCM 440 steel used in timing chain pin. This method done by two carburizing stages, primary carburizing and secondary carburizing which has function to form nuclei and to obtain ultrafine carbide precipitated in outermost surface layer, respectively. Primary carburizing was done by heating up to 950^oC for 60 minutes with Carbon Potential 0,9 and high pressure gas quenching to 690^oC. Secondary carburizing with different carbon potentials, 1,1; 1,2; and 1,3, was done by heating up to 850^oC for 60 minutes, and oil quenching. The result of hardness testing in the surface shows that hardness increase with the increase of CP, 65,3 HRC; 66,525 HRC, 65,727 HRC and the optimum hardness was reached in CP 1,2. This research also discussing about comparison of carbides spread in the surface on ieach variable.

Keyword : heat treatment, carburizing, high concentration carburizing, SCM 440 Steel.

ABSTRAK

Nama : Vidya Rina Wulandari
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh *Carbon Potential* (CP) pada Proses *High Concentration Carburizing* Terhadap Karakteristik Baja SCM 440 pada Komponen *Pin* Rantai Tipe *Timing Chain*

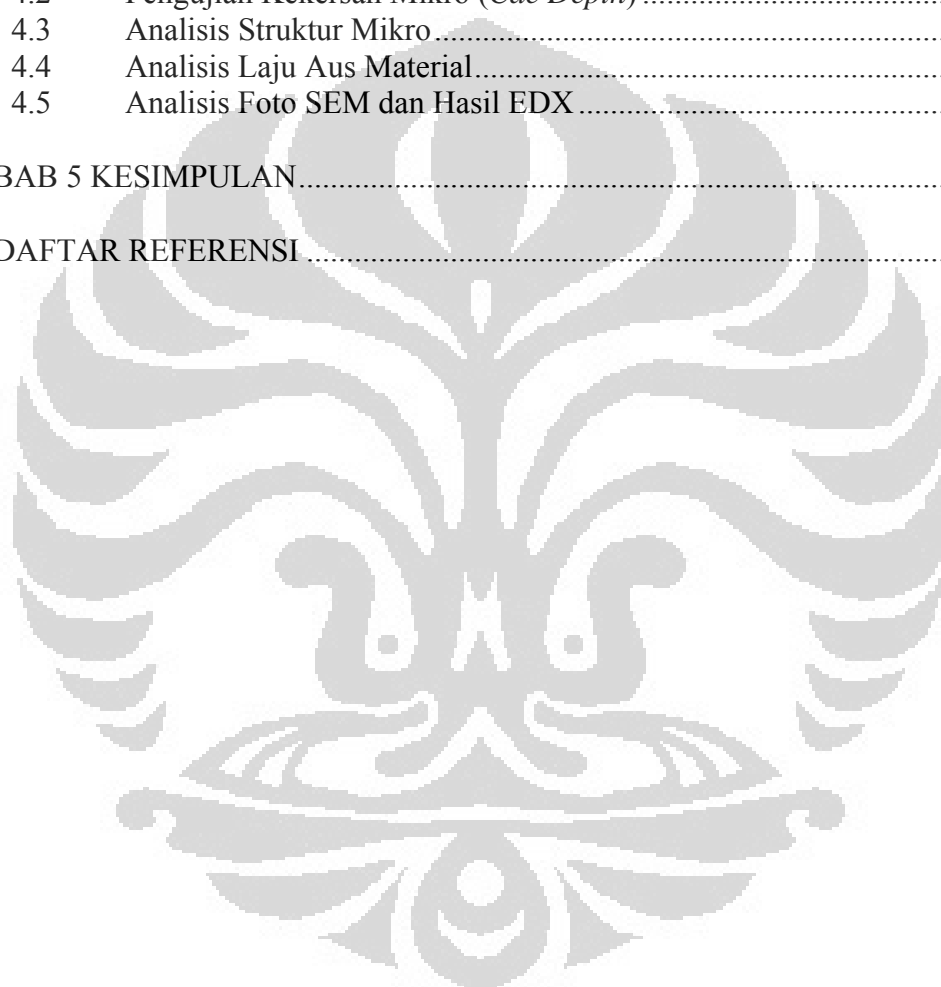
Inovasi perlakuan panas yang dilakukan dari metode karburisasi konvensional menjadi metode *high concentration carburizing* bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan *pin* rantai tipe *timing chain* berbasis baja SCM 440. Metode ini menggunakan dua tahap karburisasi, yaitu *primary carburizing* dan *secondary carburizing* yang masing-masing berfungsi untuk membentuk inti karbida dan membentuk karbida dengan ukuran lebih besar dan tersebar merata pada permukaan. *Primary carburizing* dilakukan dengan pemanasan hingga temperatur 950°C dengan *Carbon Potential* (CP) 0,9 selama 60 menit, kemudian di-*quench* pada *high pressure gas quenching* hingga mencapai temperatur 690°C. *Secondary carburizing* dengan variasi CP 1,1; 1,2; dan 1,3 dilakukan dengan pemanasan hingga 850°C selama 60 menit dan dilanjutkan dengan *quenching oil*. Hasil pengujian kekerasan permukaan menunjukkan nilai kekerasan permukaan pada masing-masing variabel 65,3 HRC; 66,525 HRC; dan 65,727 dengan kekerasan optimal dicapai pada variabel CP 1,2. Penelitian ini juga membahas mengenai perbandingan persebaran karbida di permukaan pada masing-masing variabel. Dengan sifat mekanis yang diperoleh maka metode *high concentration carburizing* dapat diaplikasikan sebagai substitusi produk komponen *pin* impor.

Kata kunci :
Perlakuan Panas, Karburisasi, *High Concentration Carburizing*, Baja SCM 440.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
1.6 Sistematikan Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Baja Karbon.....	6
2.2 Baja Karbon Medium SCM 440 (AISI 4140).....	7
2.3 Perlakuan Panas Permukaan.....	7
2.3.1 Daigram <i>Isothermal Transformation</i>	8
2.3.2 Krburisasi.....	9
2.3.3 <i>High Concentration Carburizing</i>	14
2.3.4 Pendinginan Cepat (<i>Quenching</i>).....	15
2.3.5 Media Celup (<i>Quenchant</i>).....	17
2.4 Struktur Mikro.....	19
2.4.1 Martensit.....	19
2.4.2 Bainit.....	21
2.4.3 Perlit.....	22
2.4.4 Austenit Sisa.....	23
2.4.5 Karbida.....	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2 Bahan dan Peralatan.....	28
3.2.1 Peralatan.....	28
3.2.2 Bahan.....	31
3.3 Prosedur Penelitian.....	32
3.3.1 Preparasi Sampel.....	32
3.3.2 Karakterisasi Awal.....	33

3.3.3	<i>High Concentration Carburizing</i>	33
3.3.4	Pengamatan Struktur Mikro.....	34
3.3.5	Pengujian Kekekeraan.....	36
3.3.5.1	Pengujian Kekerasan Makro.....	36
3.3.5.2	Pengujian Kekerasan Mikro.....	37
3.3.6	Pengujian Keausan.....	38
3.3.7	Pengujian EDX.....	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		41
4.1	Pengujian Kekerasan Makro (Permukaan).....	41
4.2	Pengujian Kekerasan Mikro (<i>Case Depth</i>).....	45
4.3	Analisis Struktur Mikro.....	48
4.4	Analisis Laju Aus Material.....	55
4.5	Analisis Foto SEM dan Hasil EDX.....	58
BAB 5 KESIMPULAN.....		65
DAFTAR REFERENSI.....		66



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Komposisi Baja SCM 440/AISI 4140	3
Tabel 2.1	Klasifikasi Baja AISI-SAE.....	6
Tabel 2.2	Tabulasi Data Difusi.....	13
Tabel 2.3	Nilai <i>Gaussian Error Function (erf)</i>	14
Tabel 2.4	Karakteristik Umum Oli Celup	18
Tabel 3.1	Karakterisasi <i>Semi Hot Quench Oil bw-2110</i>	31
Tabel 3.2	Kondisi <i>Oriental Batch Furnace</i>	32
Tabel 3.3	Standar Pengujian Rockwell C.....	34
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Kekerasan Makro (HRC).....	42
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Kekerasan Makro (HRC) <i>Pin Tipe Timing Chain</i> Impor	45
Tabel 4.3	Data Pengujian <i>Case Depth</i>	46
Tabel 4.4	Data Penjejakan Fasa Austenit pada CP 1,3 (Vicker).....	54
Tabel 4.5	Data Pengujian Aus CP 1,1	56
Tabel 4.6	Data Pengujian Aus CP 1,2	57
Tabel 4.7	Data Pengujian Aus CP 1,3	57
Tabel 4.8	Presentase Unsur-Unsur Pada Karbida Variabel CP 1,1.....	60
Tabel 4.9	Presentase Unsur-Unsur Pada Karbida Variabel CP 1,2.....	62
Tabel 4.10	Presentase Unsur-Unsur Pada Karbida Variabel CP 1,3.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	8
Gambar 2.2	Diagram <i>Time Temperatur Transformation (TTT)</i> pada Baja SCM 440/AISI 4140.....	9
Gambar 2.3	Grafik Hubungan Kedalaman Penetrasi dan Waktu untuk Temperatur Berbeda	10
Gambar 2.4	Profil Konsentrasi untuk <i>Nonsteady-State</i> Difusi pada Tiga Waktu yang Berbeda	12
Gambar 2.5	Mekanisme Pendinginan Cepat pada Baja Hasil Austenisasi dalam Media Celup Air	17
Gambar 2.6	Fotomikro <i>Lath Martensit</i> hasil Quench	20
Gambar 2.7	Martensit (a) <i>Lath</i> dan (b) <i>Plate</i>	21
Gambar 2.8	Ilustrasi Pertumbuhan Bainit dan Pembentukan <i>Lower</i> dan <i>Upper</i> Bainit	22
Gambar 2.9	Fotomikro Perlit dengan Layer α ferite (fasa berwarna terang) dan Fe ₃ C (lapisan tipis dan gelap)	23
Gambar 2.10	Variasi Jumlah Austenit Sisa terhadap Kadar Karbon pada Pengerasan.....	24
Gambar 2.11	Pengaruh Austenit Sisa pada Kekerasan Baja	24
Gambar 2.12	Struktur Mikro Austenit Sisa (terang) dan Martensit pada permukaan terkarburisasi.....	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.2	Mesin Mesotom	28
Gambar 3.3	<i>Oriental Batch Furnace</i>	29
Gambar 3.4	Mikroskop Optik Digital	29
Gambar 3.5	<i>Vicker micro-hardness Tester</i>	30
Gambar 3.6	<i>Rockwell Hardness Tester</i>	30
Gambar 3.7	Mesin Ogoshi.....	30
Gambar 3.8	<i>Scanning Electron Microscope</i>	31
Gambar 3.9	Dimensi Sampel.....	32
Gambar 3.10	Indentor Rockwell C.....	34
Gambar 3.11	Skema Penjejakan Metode <i>Vicker</i>	35
Gambar 3.12	<i>Grinding Machine</i>	36
Gambar 3.13	Skema Pemantulan Cahaya pada Permukaan Sampel.....	37
Gambar 3.14	Pengujian Keausan dengan Metode Ogoshi	38
Gambar 3.15	Spektrum Sinar X dari Beberapa Unsur Sebagai Hasil EDX... ..	39
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Kekerasan Sampel Awal dan Hasil Perlakuan HCC	43
Gambar 4.2	Grafik <i>Case Depth</i>	46
Gambar 4.3	Grafik <i>Case Depth pin</i> rantai tipe <i>Timing Chain</i> impor	48
Gambar 4.4	Struktur Mikro Sampel Awal Baja SCM 440/AISI 4140.....	48
Gambar 4.5	Foto Mikro Permukaan Terkarburisasi.....	50
Gambar 4.6	Foto Mikro <i>Subsurface</i> Hasil HCC CP 1,1 Nital 3%.....	50
Gambar 4.7	Foto Mikro <i>Subsurface</i> Hasil HCC CP 1,1 Nital 3%.....	50

Gambar 4.8	Foto Mikro <i>Subsurface</i> Hasil HCC CP 1,1 Nital 3%.....	51
Gambar 4.9	Foto Mikro <i>Subsurface</i> Hasil HCC CP 1,2 Nital 3%.....	52
Gambar 4.10	Foto Mikro <i>Subsurface</i> Hasil HCC CP 1,2 Nital 3%.....	52
Gambar 4.11	Foto Mikro <i>Subsurface</i> Hasil HCC CP 1,2 Nital 3%.....	53
Gambar 4.12	Foto Mikro <i>Subsurface</i> Hasil HCC CP 1,3 Nital 3%.....	54
Gambar 4.13	Foto Mikro <i>Subsurface</i> Hasil HCC CP 1,3 Nital 3%.....	54
Gambar 4.14	Foto Mikro <i>Subsurface</i> Hasil HCC CP 1,3 Nital 3%.....	55
Gambar 4.15	Jejak Aus pada Sampel.....	55
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Laju Aus.....	58
Gambar 4.17	Lokasi Penembakan Elektron CP 1,1.....	59
Gambar 4.18	Grafik Hasil Pengujian EDX pada Karbida Variabel CP 1,1.	60
Gambar 4.19	Lokasi Penembakan Elektron CP 1,2.....	61
Gambar 4.20	Grafik Hasil Pengujian EDX pada Karbida Variabel CP 1,2.	62
Gambar 4.21	Lokasi Penembakan Elektron CP 1,3.....	63
Gambar 4.22	Grafik Hasil Pengujian EDX pada Karbida Variabel CP 1,3.	63



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Standar Konversi Kekerasan	68
Lampiran 2	Dokumen PT FSCM Manufacturing Indonesia.....	69
Lampiran 3	Hasil Pengujian EDX	70



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan dunia otomotif di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang cukup pesat, hal ini ditunjukkan oleh laju penjualan motor nasional yang mencapai 7,36 juta unit selama tahun 2010^[1]. Pesatnya laju penjualan kendaraan bermotor ini menuntut perusahaan-perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur komponen kendaraan bermotor untuk dapat menghasilkan produk berkualitas dengan kuantitas yang cukup banyak dalam waktu seefisien mungkin. Hal ini tentunya menjadi tantangan bagi industri komponen nasional dalam menjawab tuntutan pasar tersebut.

Dengan meningkatnya penjualan sepeda motor akan berpengaruh terhadap naiknya kebutuhan komponen sepeda motor, salah satunya rantai. Di Indonesia terdapat sebuah perusahaan rantai berskala nasional bernama PT X Manufacturing Indonesia yang bertindak sebagai produsen dan pemasok tunggal rantai sepeda motor di Indonesia. Namun, seiring masuknya rantai-rantai motor dari luar negeri dengan kualitas yang sama dan harga yang lebih murah, maka tidak sedikit konsumen dari PT X Manufacturing Indonesia beralih menggunakan rantai buatan pemasok luar negeri. Oleh sebab itu diperlukan pengembangan serta peningkatan efisiensi produksi secara kontinyu agar didapatkan produk rantai berkualitas baik dengan harga bersaing.

Salah satu komponen penting dalam rantai adalah *pin*, di mana material yang digunakan untuk aplikasi tersebut harus memiliki ketahanan aus dan ketangguhan yang baik. Sehingga dibutuhkan material yang keras dibagian permukaan namun masih cukup ulet di bagian inti. Selama ini PT X Manufacturing Indonesia masih bergantung pada pemasok dari luar negeri untuk kebutuhan material yang digunakan untuk *pin* rantai tipe *timing chain*. Oleh sebab itu harus dilakukan inovasi agar material dengan spesifikasi tersebut dapat di produksi secara lokal sehingga ketergantungan terhadap pasokan luar negeri dapat dihilangkan dan biaya yang dikeluarkan dapat ditekan. Untuk menjawab tantangan tersebut dilakukan studi untuk melokalkan proses perlakuan panas pada baja SCM 440

agar didapatkan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan *pin* rantai tipe *timing chain*.

Pada baja karbon dapat dilakukan beberapa proses perlakuan panas seperti normalisasi, anil, *tempering*, *case hardening*, pengerasan langsung, dan lain-lain.^[2] Perlakuan panas *case hardening* yang dimaksud di sini adalah proses pengerasan permukaan, dimana hanya permukaan baja saja yang mengalami peningkatan kekerasan sampai kedalaman tertentu. *Case hardening* dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain karburisasi, nitridisasi, nitrokarburisasi, karbonitridisasi.^[2]

Agar didapatkan karakterisasi baja yang sesuai untuk *pin* rantai tersebut dapat dilakukan dengan proses karburisasi, yaitu peningkatan kandungan karbon pada permukaan baja sehingga permukaan baja tersebut memiliki *hardenability* yang baik. Hal ini bahkan menghasilkan sifat unggul pada baja karbon terkarburisasi tersebut, dimana permukaan baja memiliki kekerasan yang tinggi sedangkan bagian inti baja tetap mempertahankan sifat baja karbon medium, yaitu ulet. Dengan perpaduan dua sifat tersebut diharapkan baja karbon medium terkarburisasi akan dapat menggeser penggunaan produk impor sebagai bahan baku *pin*.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan melihat tantangan pasar yang begitu besar, maka fokus terhadap efisiensi produksi sangatlah penting. Salah satunya adalah proses perlakuan panas untuk menghasilkan produk dengan spesifikasi yang diinginkan. Proses karburisasi adalah proses perlakuan panas yang sangat penting untuk meningkatkan sifat mekanis dari baja SCM 440 (*medium carbon steel*) dengan komposisi kimia seperti pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 1.1. Komposisi baja SCM 440/AISI 4140 ^[3]

Spesifikasi Carbon Steel	Komposisi kimia						
	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Cr (%)	Mo (%)
SCM 440/	0.38-	0.75-	0.035	0.04	0.15-	0.80-	0.15-
AISI 440	0.43	1.00	(max)	(max)	0.30	1.10	0.25

Proses karburisasi tersebut bergantung pada beberapa variabel diantaranya adalah komposisi atmosfer, temperatur, dan waktu karburisasi.^[4] Di dalam atmosfer *furnace* terdapat komponen penting yaitu *Carbon potential*, yang merupakan ketersediaan karbon dalam atmosfer karburisasi yang ada di dalam *furnace* dimana kadar karbon ini akan menjadi faktor penting penentu kekerasan permukaan yang dapat dicapai oleh material baja terkarburisasi. Temperatur karburisasi umumnya berkisar antara 850 s.d. 950 °C dimana fasa austenit stabil dengan kelarutan karbon yang tinggi.^[5] Sedangkan waktu karburisasi merupakan lamanya proses karburisasi berlangsung dan akan berpengaruh kepada ketebalan lapisan terkarburisasi yang dapat dicapai. Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh variasi *carbon potential* terhadap karakteristik *pin* rantai tipe *timing chain* berbasis baja SCM 440 dengan metode *high concentration carburizing*. Yang membedakan proses ini dengan proses karburisasi biasa adalah kandungan karbon pada atmosfer *furnace* yang relatif tinggi, yaitu berkisar antara 1,1 hingga 1,3 dan proses karburisasi yang terdiri dari dua *stage* yaitu *primary carburizing* dan *secondary carburing*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mempelajari mekanisme pengerasan permukaan pada produk *pin* rantai baja SCM 440 dengan metode *high concentration carburizing*.
- b. Mempelajari dan menganalisa karakteristik dari produk *pin* rantai baja SCM 440 hasil *high concentration carburing* yang meliputi fasa yang terbentuk, penyebaran karbida, kekerasan (permukaan dan inti), *case depth*, dan ketahanan aus.

- c. Mendapatkan *carbon potential* optimal dari proses *high concentration carburizing*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Bagi industri rantai sepeda motor
Menciptakan *pin* rantai yang mempunyai ketahanan aus tinggi di bagian permukaan, mempunyai ketangguhan yang baik pada inti material, dan memenuhi spesifikasi pin rantai tipe *timing chain*.
2. Bagi peneliti di bidang metalurgi dan material
Penelitian diharapkan dapat menjadi dasar atau acuan bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan topik yang serupa maupun topik yang akan dikembangkan lebih lanjut.

1.5 Batasan Penelitian

Dalam menganalisa masalah pada penelitian ini, peneliti membatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah baja karbon rendah SCM 440.
2. Penelitian dilakukan dengan metode *high concentration carburizing*.
3. Proses *high concentration carburizing* dilakukan dengan dua tahap *carburizing*, yaitu *primary carburizing* dan *secondary carburizing*.
4. Pada *Primary Carburizing Carbon Potensial* yang digunakan 0,9%, temperatur 950^oC dengan waktu penahanan 60 menit dan diikuti dengan *high pressure gas quenching* hingga mencapai temperatur 690^oC.
5. Pada *Secondary Carburizing*, variasi *Carbon Potensial (CP)* yang digunakan adalah 1,1%; 1,2%; 1,3% T= 850^oC dan t = 60 menit dan dilanjutkan dengan *quenching oil*.
6. Karakterisasi yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan mikro dan makro, pengamatan struktur mikro, uji keausan, dan uji komposisi.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam sistematika penulisan ini, peneliti hendak memberikan gambaran umum mengenai apa yang diuraikan dalam masing-masing bab, sehingga isi dari Tugas Akhir ini dapat terlihat dengan jelas tanpa melupakan hubungan antara bab yang satu dengan bab yang lainnya.

Pembahasan dalam lima bab secara ringkas dapat diuraikan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang dibuatnya penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian serta sistematika dari penulisan Tugas Akhir ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori umum yang relevan dengan penelitian sehingga dapat diperoleh pengertian dan pengetahuan yang menunjang analisis permasalahan dalam penelitian ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Dalam bab ini dijelaskan mengenai rancangan penelitian, prosedur pelaksanaan, spesifikasi peralatan, dan spesifikasi material uji.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Merupakan inti dari penelitian yang berisi data-data yang diperoleh selama penelitian dan pembahasan tentang data yang ada sesuai dengan permasalahan yang ditetapkan pada penelitian.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab terakhir ini diuraikan mengenai simpulan dari hasil penelitian yang dilakukan yang diharapkan akan berguna bagi semua pihak yang memiliki kepentingan serupa terhadap topik penelitian ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Karbon

Baja dapat disebut baja karbon ketika tidak ada kandungan minimum yang khusus untuk kromium, cobalt, niobium, molybdenum, titanium, tungsten, vanadium, zirkonium, atau unsur lain yang ditambahkan untuk memperoleh efek paduan, ketika kandungan minimum untuk tembaga tidak melebihi 0,4% atau ketika kandungan maksimum dari unsur berikut tidak melebihi presentase : mangan 1,65%, silikon 0,6%, dan tembaga 0,6%.^[6]

Baja dapat diklasifikasikan berdasarkan karakteristiknya seperti komposisi dan kekuatan. AISI (*American Iron and Steel Institute*) dan SAE (*Society of Automotive Engineering*) merumuskan suatu sistem indeks untuk mengklasifikasikan baja berdasarkan komposisi kimia.

Tabel 2.1 Klasifikasi baja AISI-SAE^[7]

Nomor AISI atau SAE	Komposisi
10xx	Baja karbon
11xx	Baja karbon (ditambah belerang untuk mampu permesinan)
15xx	Mangan (1,0 – 2,0 %)
40xx	Molibden (0,20 – 0,30 %)
41xx	Khromium (0,40-1,20%), molibden (0,08 – 0,25%)
43xx	Nikel (1,65-2,00%), khromium (0,40-0,90%), molibden (0,20-0,30%)
44xx	Molibden (0,5%)
46xx	Nikel (1,40-2,00%), molibden (0,15-0,30%)
48xx	Nikel (3,25-3,75%), molibden (0,20-0,30%)
51xx	Khromium (0,70-1,20%)
61xx	Khromium (0,70-1,10%), vanadium (0,10)
81xx	Nikel (0,20-0,40%), khromium (0,30-0,55%), molibden (0,08-0,15%)
86xx	Nikel (0,30-0,70%), khromium (0,40-0,55%), molibden (0,05-0,25%)
87xx	Nikel (0,40-0,70%), khromium (0,40-0,60%), molibden (0,20-0,30%)
92xx	Silikon (1,80-2,20%)

2.2 Baja Karbon Medium SCM 440 (AISI 4140)

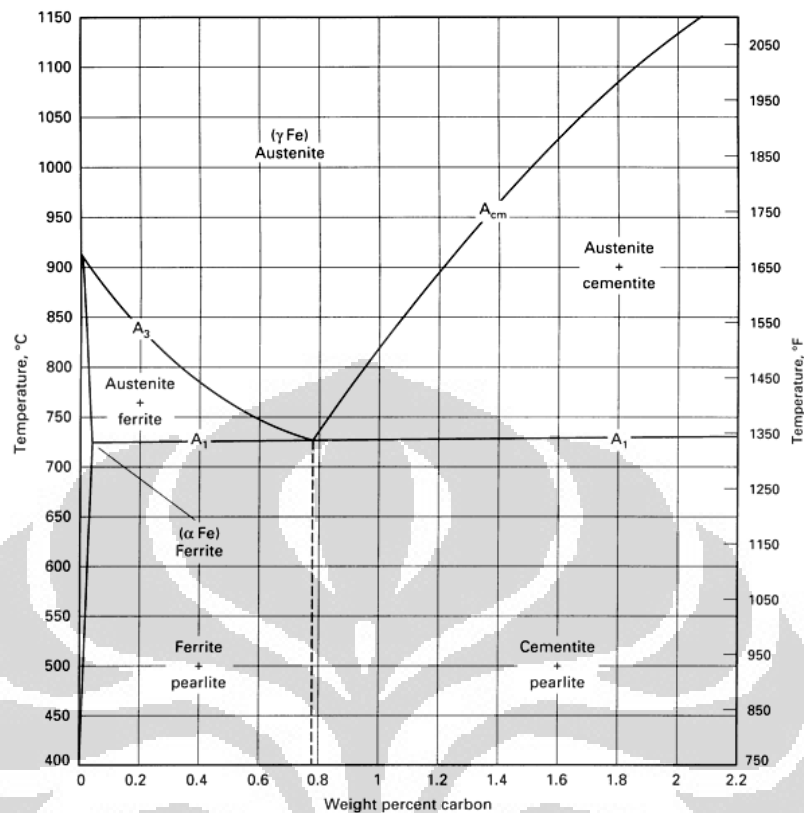
Sampel yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis baja karbon medium, dengan kandungan karbon mencapai 0,43%, dan memiliki kemampukerasan yang cukup baik dikarenakan kandungan karbon yang tidak terlalu rendah. Pada **Tabel 1.1** telah disajikan kandungan unsur yang terdapat dalam baja karbon medium SCM 440 yang digunakan sebagai sampel dalam proses *high concentration carburizing*.

Baja karbon SCM 440/AISI 4140 merupakan baja chromium-molybdenum yang memiliki rentang kadar karbon antara 0,38 s.d. 0.43 %C. Baja paduan rendah ini sering digunakan karena memiliki beberapa keunggulan antara lain sifat mampu keras yang baik dan mampu tempa yang sangat baik. Namun baja jenis ini juga memiliki mampu mesin yang biasa dan kemampulasan yang buruk karena kerentanannya terhadap retak pada lasan.

2.3 Perlakuan Panas Permukaan

Perlakuan panas adalah suatu tahapan proses yang bertujuan untuk mendapatkan atau memperbaiki sifat-sifat mekanis seperti kekerasan dan keuletan. Perlakuan panas sangat beragam jenisnya, salah satunya adalah perlakuan permukaan. Pemberian perlakuan panas bergantung pada jenis logam itu sendiri, karena ada beberapa logam yang tidak dapat dikeraskan dengan proses perlakuan panas yang umum dilakukan.

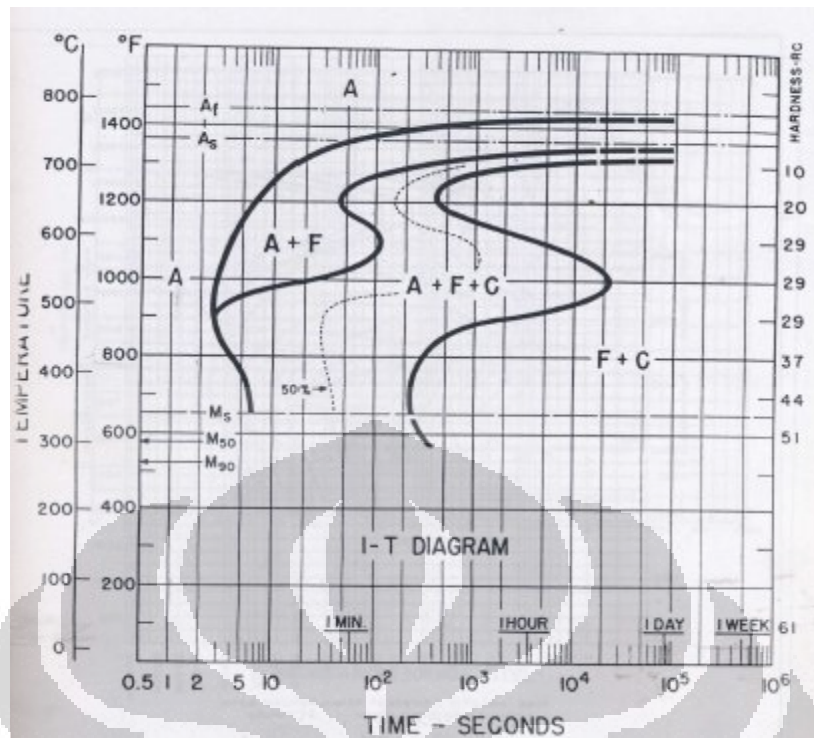
Perlakuan panas pada baja dilakukan untuk menghasilkan sifat-sifat yang sesuai dengan aplikasinya. Perlakuan panas diawali dengan proses austenisasi atau pemanasan hingga temperatur austenit di atas temperatur kritis (A_1). Kemudian logam mengalami penahanan temperatur selama waktu tertentu lalu disusul dengan pendinginan dengan beragam kecepatan pendinginan yang akan menghasilkan fasa akhir yang berbeda-beda. Dengan pendinginan yang lambat, akan terbentuk struktur mikro perlit kasar dan lapisan tipis ferit sementit. Dengan ditingkatkannya laju pendinginan, maka akan mengurangi ketebalan lamela. Jika ditingkatkan lagi akan membentuk struktur mikro bainit. Laju pendinginan yang sangat cepat akan menghasilkan struktur mikro martensit. Diagram transformasi baja ditunjukkan **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-Fe₃C^[8]

2.3.1 Diagram *Isothermal Transformation*

Diagram TTT (*Time Temperatur Transformation*) atau diagram *Isothermal Transformation* digunakan untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada baja selama proses *heat treatment* serta untuk mengetahui struktur mikro metastabil yang terbentuk selama proses tersebut.



Gambar 2.2 Diagram *Time Temperatur Transformation (TTT)* pada baja SCM 440/AISI 4140^[9]

Pada diagram pendinginan di atas, **Gambar 2.2**, dapat dilihat bahwa dengan pendinginan cepat akan menghasilkan struktur martensit dibandingkan dengan pendinginan lambat. Untuk memperbesar kemungkinan terbentuk struktur martensit maka digunakan baja paduan. Adanya unsur padu di dalam baja SCM 440 ini dapat menggeser hidung kurva ke kanan sehingga mempermudah pembentukan martensit untuk waktu yang cukup.

2.3.2 Karburisasi

Karburisasi adalah proses perlakuan panas dimana terjadi peningkatan konsentrasi karbon pada permukaan dari suatu baja karbon rendah atau sedang setelah baja tersebut dimasukkan ke dalam suatu lingkungan tertentu pada suatu temperatur di daerah fasa austenit.^[11] Gradien kadar karbon dibawah permukaan menyebabkan gradien kekerasan, kekuatan yang dihasilkan, serta ketahanan aus pada permukaan material sampai sub permukaan dimana semakin ke inti semakin rendah.

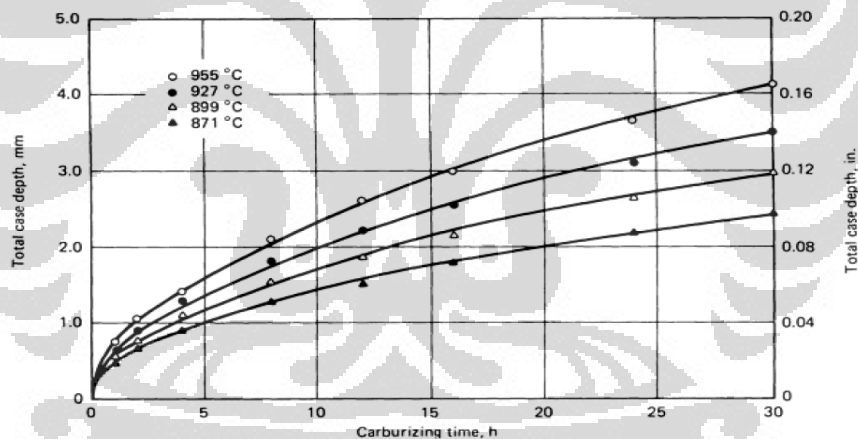
Variabel-variabel utama yang mempengaruhi hasil karburisasi adalah :

1. Temperatur

Kecepatan maksimum dimana karbon dapat ditambahkan ke dalam baja dibatasi oleh kecepatan karbon berdifusi pada fasa austenit. Temperatur yang umum digunakan untuk proses karburisasi adalah 925°C . Kecepatan karbon berdifusi pada temperatur ini lebih besar 40% dibandingkan pada temperatur 870°C . Dalam sebuah kasus temperatur yang digunakan dapat meningkat hingga $955-980^{\circ}\text{C}$, hal ini digunakan untuk mempersingkat waktu karburisasi untuk mencapai kedalaman penetrasi. Untuk hasil yang seragam temperatur harus seragam di seluruh bagian spesimen.^[4]

2. Waktu

Lama waktu karburisasi berpengaruh terhadap kedalaman penetrasi karbon yang dihasilkan proses karburisasi. Semakin lama waktu karburisasi, semakin dalam penetrasi karbon pada permukaan logam.



Gambar 2.3 Grafik hubungan kedalaman penetrasi dan waktu untuk temperatur yang berbeda

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara waktu karburisasi dengan temperatur karburisasi. Waktu karburisasi akan berkurang seiring dengan meningkatnya temperatur karburisasi yang digunakan selama proses.

3. Komposisi Atmosfer^[4]

Syarat terjadinya karburisasi pada sebuah material adalah keadaan atmosfer di dalam *furnace*. Atmosfer di dalam *furnace* harus memiliki *karbon potential* yang lebih tinggi dari *karbon potential* yang dimiliki material tersebut sehingga memungkinkan terjadinya difusi karbon dari atmosfer ke dalam material sampai dicapai keseimbangan *carbon potential* antara baja dengan atmosfer di sekitarnya.

Komposisi atmosfer terdiri dari gas *carrier* endhotermic yang diperkaya dengan penambahan methana, yang berfungsi menyediakan karbon yang akan didifusikan ke dalam sampel. Zat-zat utama atmosfer karburisasi adalah CO, N₂, H₂, CO₂, H₂O dan CH₄. Dalam hal ini N₂ bersifat inert dan hanya berfungsi sebagai *diluent*. Jumlah CO, CO₂, H₂O dan H₂ dalam atmosfer diharapkan sama berdasarkan reaksi reversible berikut :



Meskipun urutan reaksi yang berlangsung dalam proses karburisasi tidak diketahui secara detail, namun diketahui bahwa karbon dapat ditambahkan atau dihilangkan secara cepat dari baja dengan reaksi-reaksi sebagai berikut :



dan



Metana yang berasal dari gas endhothermik menghasilkan karbon untuk proses melalui reaksi lambat berikut :



dan



Dengan mengurangi konsentrasi H₂O dan CO₂ maka reaksi akan berjalan ke kanan. Biasanya konsentrasi methana pada atmosfer karburisasi jauh di atas kadar kesetimbangan, sehingga reaksi 2.4 dan 2.5 tidak akan mencapai titik seimbang. Sehingga reaksi yang terjadi selama proses karburisasi adalah sebagai berikut :

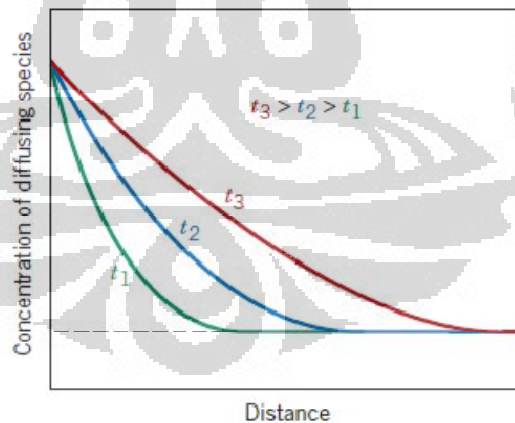


2.5.1. Difusi karbon

Masuknya karbon ke dalam baja melalui mekanisme difusi. Difusi dapat terjadi secara sendiri dimana atom berpindah dari satu posisi ke posisi lainnya di dalam benda padat karena adanya perbedaan konsentrasi antara dua buah medium.^[12]

Mekanisme yang mungkin terjadi pada proses difusi adalah mekanisme *vacancy* dan intersisi. Pada mekanisme *vacancy*, kekosongan di dalam kristal logam mengakibatkan terjadinya pergerakan atom-atom untuk mengisi tempat yang kosong tersebut. Dengan peningkatan temperatur maka kekosongan tersebut akan meningkat sedangkan mekanisme intersisi dimungkinkan jika atom-atom yang masuk memiliki diameter yang jauh lebih kecil dibandingkan ukuran matrik logam yang dimasuki seperti carbon dan nitrogen.

Kombinasi efek dari waktu, temperatur, dan konsentrasi karbon pada difusi dinyatakan dalam hukum difusi “*Fick's Second Law*”. Dimana hukum ini menjelaskan difusi pada keadaan *non-steady state* yaitu *diffusion flux* dan gradien konsentrasi pada beberapa titik pada suatu material padat berubah sesuai dengan waktu.^[13] **Gambar 2.4** berikut menunjukkan profil konsentrasi pada tiga waktu difusi yang berbeda.



Gambar 2.4 Profil konsentrasi untuk *nonsteady-state* difusi pada tiga waktu yang berbeda^[6]

Fick's Second Law :

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (2.7)$$

Dengan C_0 = konsentrasi karbon awal pada baja
 C_x = konsentrasi karbon pada kedalaman tertentu
 C_s = konsentrasi karbon di permukaan
 x = kedalaman difusi yang diinginkan (m)
 D = koefisien difusi (m²/s)
 t = waktu difusi (s)
 erf = *error function*

Persamaan untuk Koefisien difusi :

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right) \quad (2.8)$$

Dengan D_0 = preexponential yang tergantung pada temperatur
 Q_d = energi aktivasi untuk difusi (J/mol)
 R = konstanta gas, 8,31 J/mol-K
 T = temperatur (K)

Nilai D_0 dan Q_d untuk beberapa jenis elemen dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.2. Tabulasi data difusi ^[13]

Diffusion Species	Host Metal	D_0 (m ² /s)	Activation Energy Q_d		Calculated Values	
			kJ/mol	eV/atom	T (°C)	D (m ² /s)
Fe	α -Fe (BCC)	2.8×10^{-4}	251	2.60	500	3.0×10^{-21}
					900	1.8×10^{-15}
Fe	γ -Fe (FCC)	5.0×10^{-5}	284	2.94	900	1.1×10^{-17}
					1100	7.8×10^{-16}
C	α -Fe	6.2×10^{-7}	80	0.83	500	2.4×10^{-12}
					900	1.7×10^{-10}
C	γ -Fe	2.3×10^{-5}	148	1.53	900	5.9×10^{-12}
					1100	5.3×10^{-11}

Universitas Indonesia

Tabel 2.3 Nilai *Gaussian error function* (*erf*)^[13]

<i>z</i>	<i>Erf</i> (<i>z</i>)	<i>Z</i>	<i>Erf</i> (<i>z</i>)	<i>z</i>	<i>Erf</i> (<i>z</i>)
0	0	0.55	0.5633	1.3	0.9340
0.025	0.0282	0.60	0.6039	1.4	0.9523
0.05	0.0564	0.65	0.6420	1.5	0.9661
0.10	0.1125	0.70	0.6778	1.6	0.9763
0.15	0.1680	0.75	0.7112	1.7	0.9838
0.20	0.2227	0.80	0.7421	1.8	0.9891
0.25	0.2763	0.85	0.7707	1.9	0.9928
0.30	0.3286	0.90	0.7970	2.0	0.9953
0.35	0.3794	0.95	0.8290	2.2	0.9981
0.40	0.4284	1.0	0.8427	2.6	0.9998
0.50	0.5205	1.2	0.9103	2.8	0.9999

2.3.3 High Concentration Carburizing

Proses *High Concentration Carburizing* (HCC) merupakan proses *carburizing* dengan nilai karbon potensial diatas titik eutektoid ($CP \geq 0,8\%$) dan lebih disarankan 1% - 2%.^[14] Melalui proses ini diharapkan agar diperoleh kekerasan permukaan yang tinggi dibandingkan melalui proses karburisasi biasa. Kekerasan yang tinggi ini diperoleh dari keberadaan karbida yang terbentuk selama proses. Morita *et al* menyatakan pada jurnalnya bahwa karbida yang berbentuk *spherical* ini diharapkan terbentuk di permukaan dan tersebar secara merata karena memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan karbida kasar yang mengendap di batas butir yang dapat mengakibatkan penurunan kekuatan.

Pada dasarnya proses HCC ini sama dengan proses karburisasi biasa, namun pada HCC selain nilai CP lebih tinggi, proses karburisasi terdiri dari 2 *stage*. *Primary carburizing* yang diikuti dengan quenching dengan gas bertekanan tinggi berfungsi untuk membentuk *ultrafine carbide* dan inti karbida (*nuclei*) pada permukaan^[14], dan *secondary carburizing* dengan temperatur penahanan yang lebih rendah dari *primary carburizing* diharapkan membentuk karbida yang tumbuh karena pemanasan kembali dan berukuran lebih besar serta memiliki bentuk *granular* (butiran-butiran kecil) yang tersebar secara merata pada fasa

martensit,. Karbida yang terbentuk merupakan $M_{23}C_6$ yang merupakan ikatan *carbide former* seperti Cr dan Mo didalam Fe_3C .^[14]

Temperatur proses yang digunakan pada *primary carburizing* terletak pada rentang $900-1100^{\circ}C$ ^[14], yaitu temperatur austenisasi dimana atom-atom karbon dapat larut sempurna pada baja, oleh sebab itu rentang temperatur ini dipilih untuk meningkatkan konsentrasi atom karbon pada bagian permukaan. Lama waktu penahanan pada temperatur ini dihitung berdasarkan persamaan (2.7). Setelah waktu penahanan tercapai, dilakukan pendinginan cepat dengan menggunakan *high pressure gas* dengan kecepatan pendinginan $3-15^{\circ}C/detik$ sampai di bawah temperatur A_1 .^[14] Dengan kecepatan pendinginan ini akan terbentuk *ultrafine carbide* dan inti karbida (*nuclei*) di permukaan.

Pada *secondary carburizing*, temperatur proses dibuat lebih rendah dari proses pertama yaitu dibawah Acm. Morita *et al* menyebutkan bahwa agar *fine carbide* dapat tumbuh, temperatur *secondary carburizing* harus berada pada rentang $50-150^{\circ}C$ di atas garis transformasi A_1 atau berada pada area di bawah Acm. Daerah di bawah Acm merupakan daerah dengan fasa $\gamma+Fe_3C$, pada daerah ini kecepatan karbon berdifusi lebih rendah dari *primary carburizing* sehingga karbida akan lebih sulit berpresipitasi di batas butir. Ketika temperatur *secondary carburizing* tercapai, selama waktu penahanan *ultrafine carbide* berperan sebagai inti pertumbuhan karbida sehingga dapat terbentuk karbida dengan bentuk *spherical* dengan ukuran yang lebih besar.

Proses ini menghasilkan baja dengan sifat mekanik yang sempurna seperti kekerasan tinggi pada permukaan, ketahanan aus, fatik baik dan ketahanan terhadap pelunakan yang tinggi. Dimana sifat-sifat tersebut sangat cocok dipakai untuk komponen-komponen permesinan.

2.3.4 Pendinginan Cepat (*Quenching*)

Setelah proses karburisasi maka dilakukan proses pencelupan untuk menghasilkan fasa martensit. Struktur, kekerasan, dan kekuatan yang dihasilkan oleh perlakuan panas ditentukan oleh laju pendinginan aktual yang dicapai selama proses *quench*. Jika laju pendinginan aktual melampaui laju pendinginan kritis, hanya martensit yang akan dihasilkan. Jika laju pendinginan aktual lebih kecil

daripada laju pendinginan kritis, komponenen baja tidak sepenuhnya mengalami pengerasan. Semakin besar perbedaan di antara kedua laju pendinginan tersebut, produk hasil transformasi akan semakin lunak.^[10]

Pada pendinginan cepat, logam panas akan mengikuti mekanisme penghilangan panas melalui perpindahan panas dari benda kerja menuju media pendingin sebagai berikut^[8]:

1. Pembentukan selimut uap (*vapour blanket stage*)

Pembentukan selimut uap pada sekeliling benda kerja akan mencegah proses perpindahan panas sehingga proses pendinginan berjalan lambat.

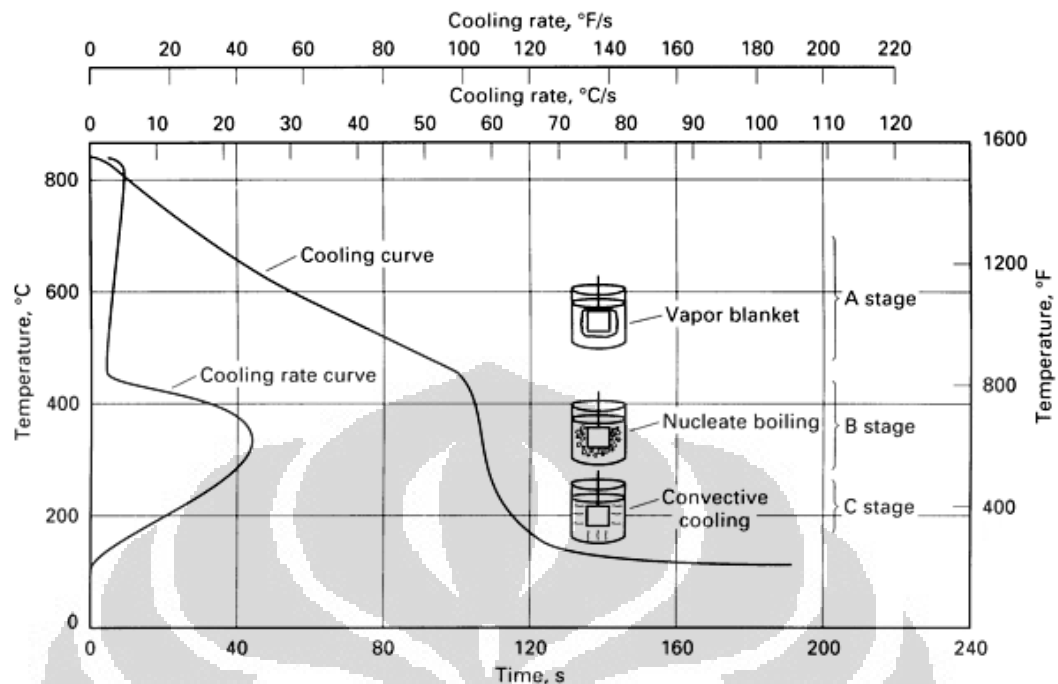
2. Pendidihan (*boiling stage*)

Pada proses selanjutnya akan terbentuk daerah transisi pendidihan lapisan uap (*transition boiling stage*). Pada daerah ini perpindahan panas menjadi lebih cepat karena panas yang terisolasi di benda kerja mencapai titik didih media pendingin sehingga lapisan uap mendidih.

3. Pemindahan panas (*Convection stage*)

Pada tahap ini terjadi proses perpindahan panas yang cepat sehingga temperatur permukaan benda kerja turun sampai dengan temperatur media pendingin.

Salah satu faktor yang berpengaruh pada kemampuan suatu media celup adalah kecepatan laju pendinginan (*cooling rate*), yang berbeda-beda untuk tiap media celup sehingga diperlukan pemilihan media yang tepat tergantung pada jenis baja dan kekerasan yang diinginkan. Laju pendinginan dan temperatur dari tiga tahap pada pencelupan bervariasi tergantung jenis media celup dan ukuran atau dimensi benda yang dicelup. Laju perpindahan panas pada tahap pencelupan dipengaruhi oleh agitasi, viskositas, dan temperatur media.



Gambar 2.5 Mekanisme pendinginan cepat pada baja hasil austenisasi dalam media celup cair

Pada *convection stage* media celup terjadi transformasi austenit menjadi martensit. Sehingga tahap ini merupakan tahap penting di dalam mekanisme *quenching* untuk mengatur dan mengurangi distorsi.

2.3.5 Media Celup (*Quenchant*)

Sifat material yang diperoleh dari proses pencelupan cepat (*quenching*) sangat bergantung pada media celup (*quenchant*) yang digunakan selama proses tersebut. Terdapat beberapa media yang sering digunakan dalam proses pendinginan cepat diantaranya air. Media air memiliki tahap *vapor blanket* yang lebih lama dengan meningkatnya temperatur. Hal ini akibat dari sifat air yang membentuk uap air ketika temperaturnya mendekati titik didih. Sehingga dengan peningkatan temperatur akan berakibat pada menurunnya laju pendinginan media celup^[15,16]

Sebagai media celup, air mempunyai kelebihan yaitu kemampuannya memecah *scale* pada permukaan baja yang dicelup dari dapur yang belum memiliki atmosfer pelindung. Sedangkan kelemahannya adalah *rapid cooling*

terjadi pada selang temperatur yang rendah dimana distorsi dan retak terjadi, sehingga umumnya air digunakan untuk benda sederhana dan simetri.

Media lain yang digunakan sebagai media *quench* adalah oli. Viskositas dan *flash point* oli sangat berpengaruh terhadap kemampuannya sebagai media celup. Viskositas oli mempengaruhi laju pendinginan. Berbeda dengan air, peningkatan temperatur oli akan menurunkan viskositas sehingga terjadi peningkatan mekanisme turbulensi yang mencegah tahap *vapor blanket* sehingga kecenderungan retak dan distorsi berkurang.

Oli diklasifikasikan berdasarkan laju perpindahan panas yang dimilikinya. Secara umum oli dibagi menjadi *conventional*, *accelerated*, dan *marquenching*.

Tabel 2.4 Karakteristik umum Oli celup ^[16]

Type of oil	Bath Temperature		Flash Point		Typical viscosity at 40°C (100°F), SUS	GM quenchometer (nickel ball) time,s	Hot wire test, A
	°C	°F	°C	°F			
Conventional	< 65	< 150	170	340	105	16.0	30
Accelerated	< 120	< 250	180	355	94	10	39
Marquenching	< 200	< 400	300	570	700	30	30

Oli konvensional umumnya mineral oli yang mengandung anti oksidan yang bertujuan mengurangi laju oksidasi dan degradasi termal. Dengan viskositasnya antara 100-110 SUS pada temperatur 40°C. Jenis oli *accelarated* memiliki aditif yang lebih banyak sehingga laju pendinginannya lebih tinggi dan viskositasnya antara 50-100 SUS. Oli *marquenching* bekerja pada temperatur 95 – 230°C dan dibuat dari oli mineral yang dimurnikan sehingga memiliki fraksi parafin yang sangat tinggi yang berguna untuk mengoptimalkan stabilitas oksidasi dan panas.^[16] Karena penggunaannya pada temperatur tinggi maka lingkungan yang terlindung sering digunakan sehingga memungkinkan temperatur mendekati *flash point*.

Larutan garam atau *brine* sering juga digunakan sebagai media celup. Penambahan garam kedalam larutan akan mempercepat laju pendinginan dibandingkan air biasa. Penambahan 5% NaCl hampir menghilangkan tahap

vapor blanket. Laju pendinginan optimal diperoleh dengan penambahan 10% NaCl.^[16]

Kelebihan *brine* adalah pengaturan temperatur media yang tidak terlalu penting karena *cooling power* tidak terlalu dipengaruhi oleh variasi pada temperatur operasional, kelemahannya adalah sifatnya yang korosif sehingga dibutuhkan peralatan yang lebih tahan karat. *Brine* digunakan jika kekerasan yang diinginkan tidak diperoleh dengan penggunaan oli atau air. Selain NaCl, dapat digunakan garam inorganik lainnya seperti MgCl, LiCl dan CaCl₂.^[15]

Pencelupan dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain^[16]:

1. *Direct Quenching*, pencelupan dilakukan langsung dari proses karburisasi
2. *Single Quenching*, pemanasan dan pencelupan dilakukan setelah material dibiarkan dingin sampai temperatur kamar dari temperatur karburisasi.
3. *Double Quenching*, terdiri dari *direct quenching* dan kemudian dilakukan pencelupan kembali pada temperatur yang lebih rendah atau dilakukan *single quenching* yang dilanjutkan dengan pencelupan kedua pada temperatur antara 780-820°C

2.4 Struktur Mikro

2.4.1 Martensit

Martensit merupakan fasa dengan tingkat kekerasan yang paling tinggi di dalam baja. Fasa ini terbentuk melalui mekanisme *diffusionless* dan terjadi pada kecepatan pendinginan tinggi yang mampu menekan perubahan secara *diffusion-controlled* dari austenit menjadi ferit, perlit maupun bainit. Pada baja, martensit akan tumbuh dari dalam austenit sebagai fasa induknya. Melalui mekanisme *diffusionless* ini, karbon tidak berubah menjadi ferit dan sementit, melainkan akan terperangkap di dalam bentuk oktahedral dari struktur kristal bcc. Ketika martensit terbentuk, kelarutan karbon di dalam struktur bcc akan menjadi jenuh. Ini yang akan membentuk struktur kristal baru berupa struktur bct.

Martensit mulai terbentuk pada temperatur kritis atau temperatur *martensit stars* (*M_s*) yang merupakan fungsi terhadap kandungan karbon dan unsur paduan yang terdapat di dalam baja dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

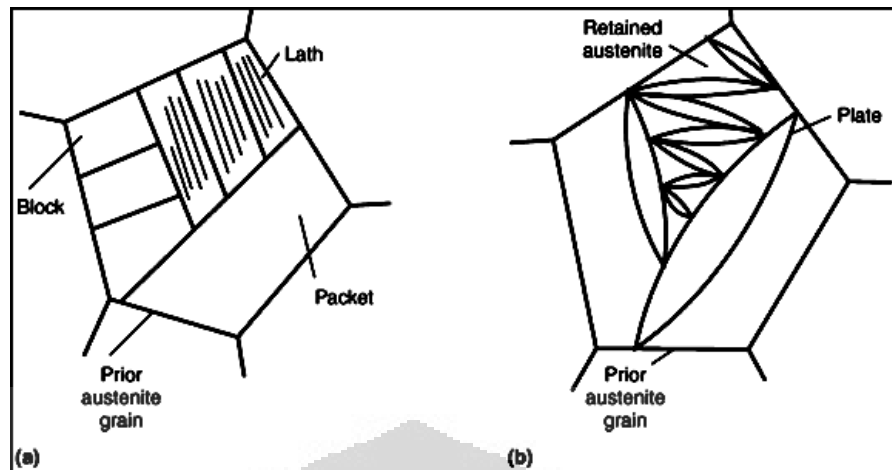
$$M_s (^{\circ}C) = 512 - 453C - 16,9Ni + 15Cr - 9,5Mo + 217(C)^2 - 71,5(C)(Mn) - 67,6(C)(Cr) \quad (2.9)$$

Pada baja karbon rendah, martensit akan berbentuk *lath martensit*. *Lath martensit* akan membentuk seperti bilah-bilah halus yang diantaranya terdapat sedikit austenit sisa. Struktur *lath martensit* memiliki bentuk yang sangat halus sehingga sulit untuk diamati dibawah mikroskop optik biasa^[17] seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6**



Gambar 2.6 Fotomikro *Lath Martensit* hasil Quench^[13]

Pada baja yang mengandung karbon di atas 0,6% akan terbentuk martensit yang berbentuk *plate* dengan struktur seperti jarum kembar paralel dan tersusun secara acak. *Plate* tersebut terkadang dikelilingi oleh sejumlah besar austenit sisa dikarenakan semakin tinggi kandungan karbon maka temperatur M_s akan semakin rendah sehingga transformasi dari austenit menjadi martensit menjadi sulit.^[17] Perbedaan struktur martensit tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.7**

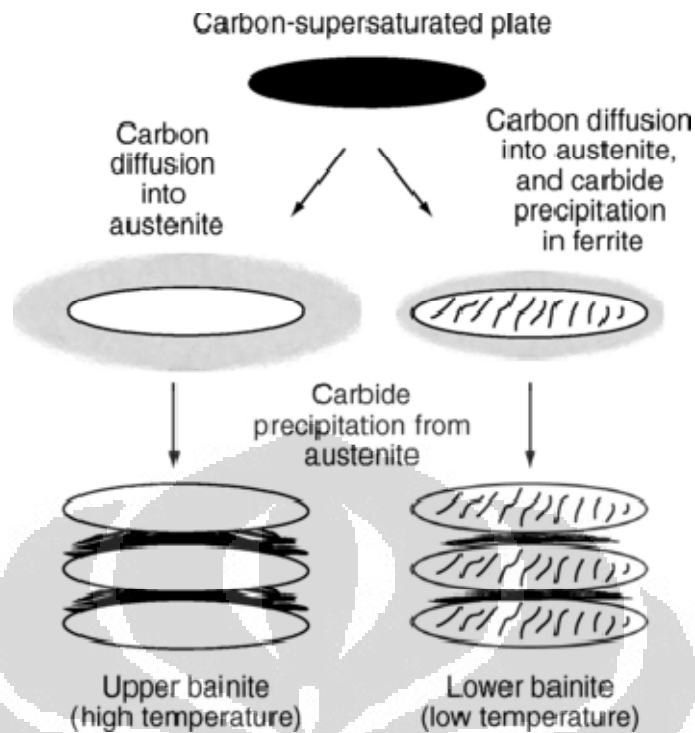


Gambar 2.7 Martensit (a) *lath* dan (b) *plate*^[18]

2.4.2 Bainit

Salah satu fasa metastabil selain martensit adalah bainit, karena fasa ini didapatkan melalui pendinginan cepat. Fasa ini memiliki bentuk umum berupa *non-lamellar* yang terdiri dari ferit *lath* atau *plate* dan terdapat endapan karbida di dalam maupun di antara *lath* atau *plate* dari ferit. Pada temperatur transformasi kritis yang lebih rendah, mekanisme difusi antar atom yang terjadi seperti pembentukan fasa perlit sudah sangat sulit terjadi. Atom besi akan membentuk kristal baru dengan mekanisme *gaser/shearing*. Perubahan mekanisme transformasi ini akan menghasilkan struktur mikro baru yaitu bainit. Bainit ini memiliki ferit yang bentuknya memanjang dan bentuk dari sementit yang tidak lagi *continuous* dan lamelar.

Berdasarkan temperatur pembentukannya, bainit dibagi menjadi dua yaitu bainit atas dan bainit bawah. Bainit atas atau *upper bainite* terbentuk pada temperatur tepat dibawah temperatur pembentukan perlit. Pada baja karbon menengah dan tinggi, biasanya akan terbentuk ferit bentuk *lath* dengan butiran sementit kasar di tengah-tengahnya. Bainit bawah atau *lower bainite* terbentuk pada temperatur yang lebih rendah atau tepat di atas temperatur M_s . Bainit bawah memiliki bentuk seperti jarum-jarum *plate*. Sementit maupun karbida di dalam bainit bawah ini letaknya tidak hanya berada diantara *plate* tapi juga berada di dalam ferit dalam butiran-butiran halus yang kerapatannya tinggi.^[18] Gambar 2.8 merupakan ilustrasi pertumbuhan bainit atas dan bawah.



Gambar 2.8 Ilustrasi pertumbuhan bainit dan pembentukan lower dan upper bainit^[18]

2.4.3 Perlit

Mikrostruktur pada baja eutektoid yang mengalami pendinginan lambat di sekitar temperatur eutektoid terdiri dari *alternating layers* atau lamela dari 2 fasa (α dan Fe_3C) yang terbentuk secara simultan selama transformasi. Fasa ini yang disebut dengan fasa perlit. **Gambar 2.9** adalah fotomikro baja eutektoid yang menunjukkan adanya perlit. Perlit muncul sebagai koloni, dimana layer pada setiap koloni mempunyai orientasi pada arah yang sama dan berbeda untuk koloni lainnya. Layer tebal dan terang merupakan fasa ferit, dan fasa sementit terlihat sebagai lamela tipis dan berwarna gelap. Secara mekanik, perlit mempunyai properti ditengah-tengah antara lunak dari ferrite yang bersifat ulet dan keras dari sementit yang getas.^[13]



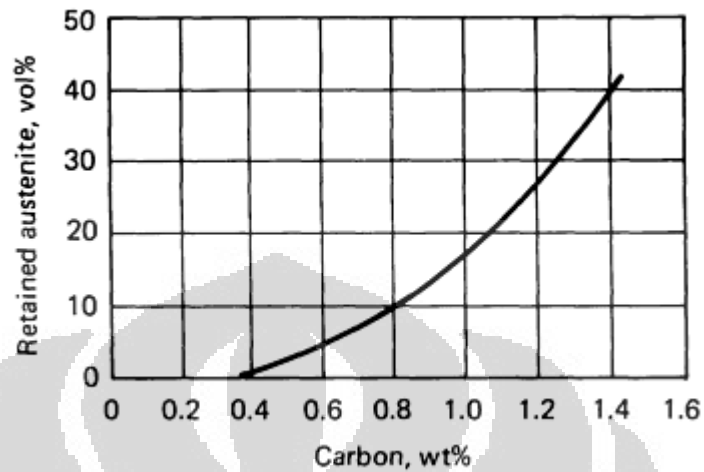
Gambar 2.9 Fotomikro perlit dengan layer α ferit (fasa berwarna terang) dan Fe_3C (lapisan tipis dan gelap)^[13]

Lapisan selang-seling dari α dan Fe_3C pada perlite ini akan terbentuk pada temperatur A_1 atau sekitar 727°C . Fasa ini terbentuk ketika baja didinginkan secara normal atau lambat sampai mengenai hidung perlit. Perlit akan bernukleasi dan tumbuh dibatas butir austenit. Mekanisme pengaturan ulang atom besi dari struktur kristal FCC austenit menjadi struktur BCC ferit terjadi pada *interface austenit-ferrite*. Sementara itu atom karbon karena kelarutannya rendah akan masuk ke dalam austenit sisa yang tidak bertransformasi menjadi sementit di dalam ferit.

2.4.4 Austenit Sisa

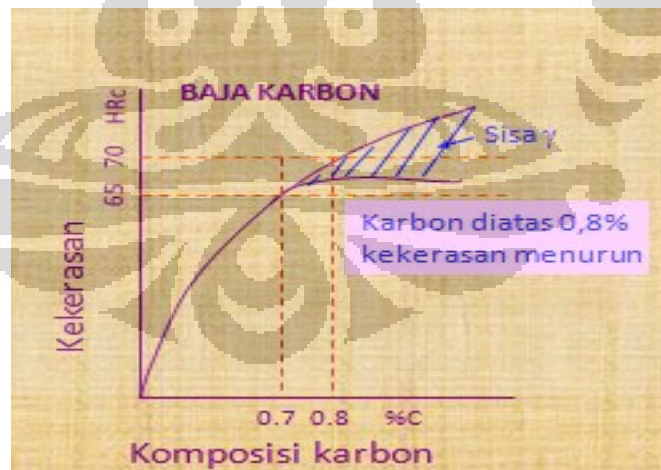
Setelah material mengalami pendinginan secara cepat atau *rapid cooling*, maka akan terbentuk fasa martensit. Pada diagram TTT, martensit terbentuk sempurna ketika pendinginan telah melewati garis 100 Mf. Namun, pada kenyataannya tidak semua austenit bertransformasi menjadi martensit. Austenit yang masih ada pada material setelah di *quench* ini dinamakan austenit sisa atau *retain austenit*. Jumlah dari austenit sisa bergantung pada kadar karbon pada baja dan adanya unsur penstabil fasa austenit. Semakin tinggi kadar karbon, maka kemungkinan terbentuknya austenit sisa juga akan semakin besar. Hubungan

antara volume austenit sisa dengan kadar karbon austenit diperlihatkan pada grafik dibawah ini :



Gambar 2.10 Variasi Jumlah Austenit Sisa terhadap Kadar Karbon pada Pengerasan^[4]

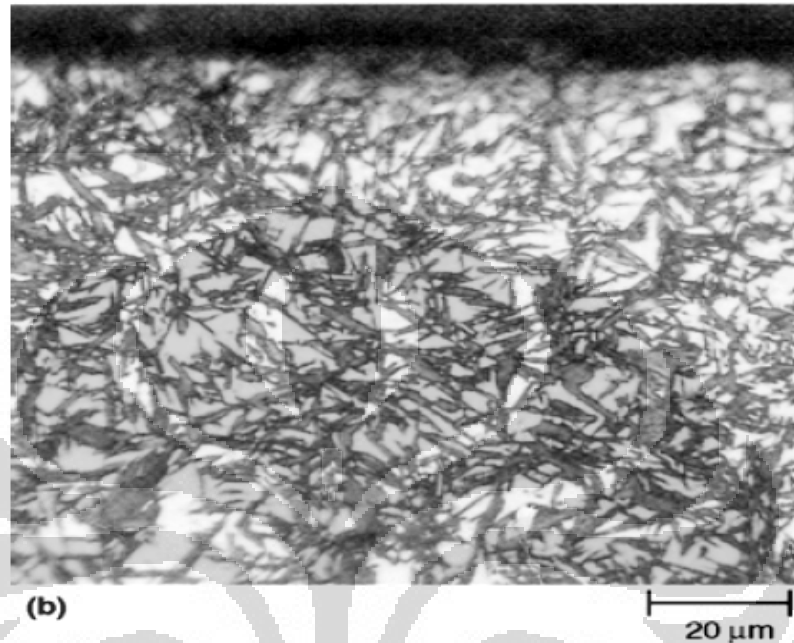
Adanya austenit sisa menyebabkan nilai kekerasan baja menurun karena austenit sisa ini dapat bertransformasi ke fasa lain seperti ferrit, pearlite atau bainit jika dipanaskan pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi benda menjadi tidak stabil karena selama transformasi terjadi perubahan volum pada baja.



Grafik 2.11 Pengaruh Austenit Sisa pada Kekerasan Baja

Subzero treatment merupakan suatu metode yang digunakan untuk menghilangkan austenit sisa pada baja. Biasanya baja dicelupkan ke dalam nitrogen cair yang bersuhu sangat dingin sehingga austenit sisa akan

bertransformasi menjadi martensit. Selain subzero treatment, metode lain yang digunakan untuk menghilangkan austenit sisa adalah dengan melakukan temper pada baja. Proses temper ini dilakukan pada suhu di bawah garis A1 dan akan mengubah austenit sisa menjadi fasa lain seperti ferrit, pearlite atau martensit.



Gambar 2.12 Struktur Mikro Austenit Sisa (terang) dan martensit pada permukaan terkarburisasi^[18]

2.9.5 Karbida

Karbida merupakan senyawa yang mengandung carbon dan salah satu elemen lain seperti logam, boron, atau silikon. Secara umum, karbida diperoleh dengan memanaskan logam, oksida logam, atau hidrida logam dengan karbon atau senyawa karbon. Pada baja, unsur-unsur pembentuk karbida umumnya merupakan pembentuk ferit. Dengan keberadaan element seperti chromium (Cr), tungsten (W), molybdenum (Mo), vanadium (V), titanium (Ti), niobium (Nb), tantalum (Ta), dan zirconium (Zr) akan terbentuk karbida keras sehingga terjadi peningkatan kekerasan dan kekuatan.

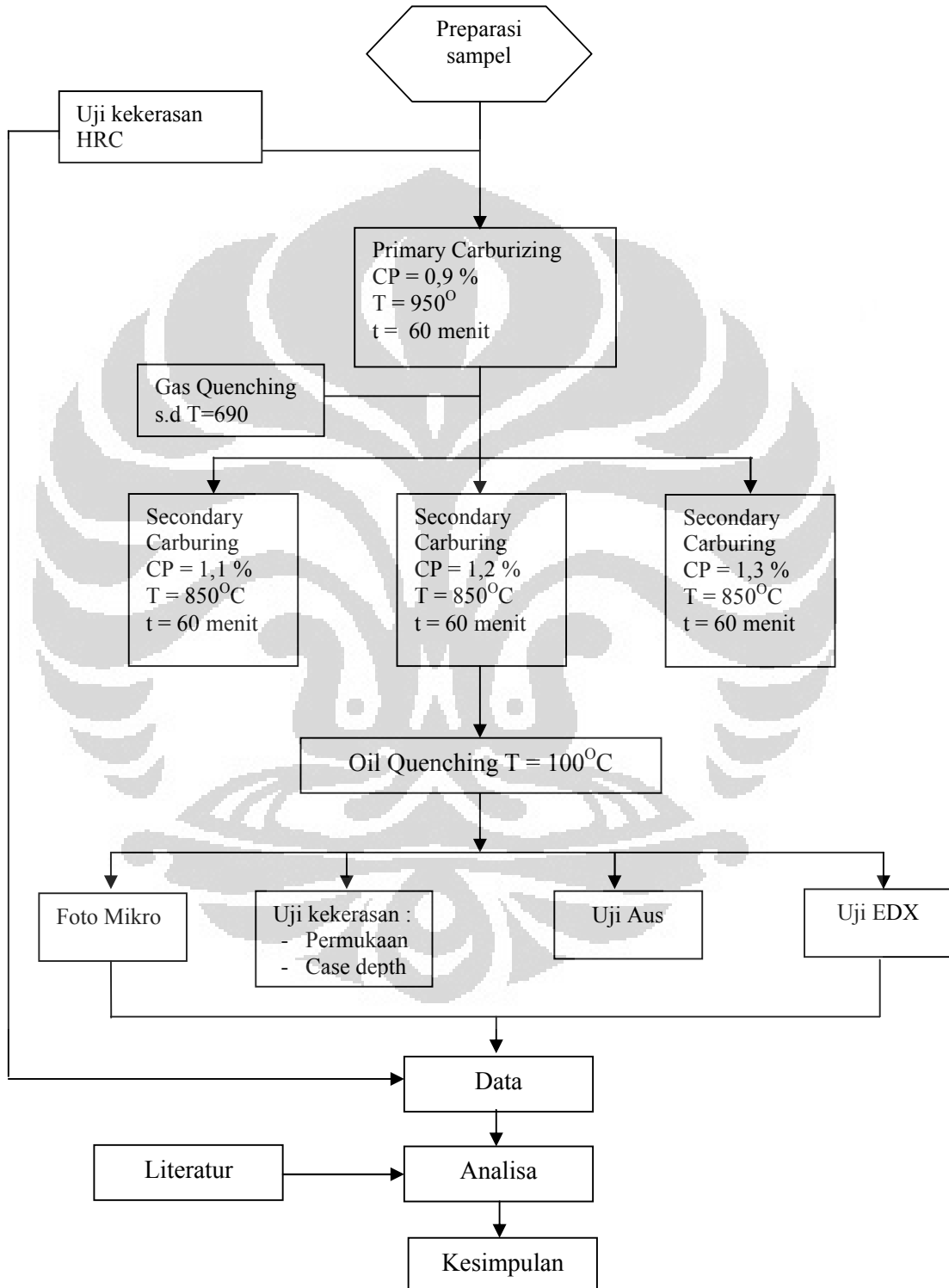
Karbida dibedakan menjadi 3 tipe berdasarkan susunan kimianya, yaitu M_6C , $M_{23}C_6$, dan MC dengan M merupakan simbol atom logam. M_6C mewakili Fe_4W_2C atau Fe_4Mo_2C ; $M_{23}C_6$ mewakili $Cr_{23}C_6$; dan MC mewakili VC atau V_4C_3 . Beberapa karbida digolongkan sebagai karbida khusus jika dalam ikatannya tidak

mengandung unsur Fe, seperti Cr_7C_3 , W_2C , VC , Mo_2C . Golongan karbida ganda atau karbida kompleks didalamnya mengandung Fe dan pembentuk karbida, seperti $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$.



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan dan Peralatan

3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada saat proses penelitian ini meliputi :

a. Alat preparasi sampel

Alat yang digunakan pada saat preparasi sampel, yaitu :

- *Bandsaw machine*
- *Grinding machine*
- *Mesotom Machine*



Gambar 3.2 Mesin Mesotom

b. Alat perlakuan panas

Alat yang digunakan pada saat perlakuan panas, yaitu :

- *Oriental Batch Furnace*
- *Tray*
- *Dummy*



Gambar 3.3 *Oriental Batch Furnace*

c. Alat pengujian

Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian , yaitu :

- *Mounting set*
- Mesin amplas dan poles
- Cawan petri
- Labu *erlenmeyer*
- *Dryer*
- Mikroskop Optik digital



Gambar 3.4 Mikroskop optik digital

- *Vicker micro-hardness Tester*



Gambar 3.5 *Vicker micro-hardness Tester*

- *Rockwel Hardness Tester*



Gambar 3.6 *Rockwell Hardness Tester*

- *Mesin pengujian aus Ogoshi*



Gambar 3.7 *Mesin Ogoshi*

- Mesin Pengujian EDX



Gambar 3.8 Scanning Electron Microscope

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

- a. Bahan proses perlakuan panas

Terdiri dari sampel uji (**Tabel 1.1**) dan media celup berupa *Semi Hot Quench Oil* dengan karakteristik sebagai berikut :

Tabel 3.1 Karakterisasi *Semi Hot Quench Oil BW-2110* ^[19]

Jenis Karakteristik	Data
Viskositas (100 ⁰ C) (mm ² /s)	12,44
Flash point (⁰ C)	>240
Content of Paraffinic Mineral Oil (%)	96-99
Content of others (%)	1-4
Specific gravity (15/4 ⁰ C)	0,887

Keadaan *furnace* saat dilakukan proses *high concentration carburizing* adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Kondisi *Oriental Batch Furnace*

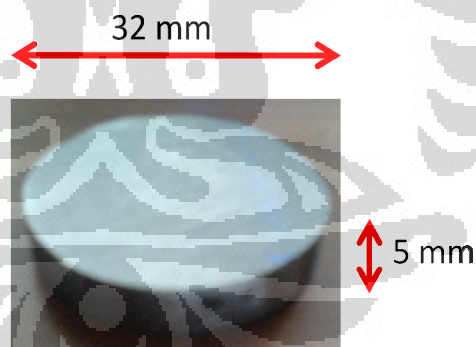
Kondisi	Data	
Nitrogen (N ₂)	300 mmAq	5,2 m ³ /hr
Methanol	1 kg/cm ²	4,7 L/hr
LPG	360 mAq	Controlled by actuator
Total Volume Carrier Gas	13 m ³ /hr	
Tekanan <i>Furnace</i>	3-5 mmAq	
Quenching Temperature	100 ^o C	

b. Bahan uji metalografi

Terdiri dari kertas amplas 400#, 600#, 800#, 1200#, 2400#, kain beludru, air, TiO₂, bakelit, nital 3% (3 ml asam nitrat + 97 ml alkohol)

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel



Gambar 3.9 Dimensi Sampel

Preparasi sampel diawali dengan pemotongan sampel dengan dimensi seperti gambar di atas yaitu, diameter 32 mm dan tinggi 5 mm. Pemilihan dimensi ini dilakukan untuk mempermudah proses pengujian keausan dengan pertimbangan luas permukaan yang dibutuhkan untuk proses abrasi sampel. Sedangkan untuk pengujian lain tidak dibutuhkan dimensi spesifik sampel sehingga selama proses karburisasi digunakan sampel

dengan dimensi yang sama. Selanjutnya untuk karakterisasi kekerasan mikro dan foto mikro dilakukan pemotongan dan *mounting*.

3.3.2 Karakterisasi Awal Material

Karakterisasi awal ini digunakan untuk mengetahui kekerasan awal baja SCM 440 yang belum melalui perlakuan apapun sehingga belum terjadi pengerasan di bagian permukaannya. Pada pengujian kekerasan ini digunakan *Rokwell C* dan hasil yang diperoleh digunakan sebagai perbandingan kekerasan dengan material yang telah melalui proses karburisasi biasa dan *high concentration carburizing*.

3.3.3 *High Concentration Carburizing*

Proses perlakuan panas yang digunakan adalah proses *high concentration carburizing* dengan dua tahapan proses, yaitu *primary carburizing* dengan $CP = 0,9\%$ $T = 950^{\circ}C$ $t = 60$ menit dan diikuti dengan *high pressure gas quenching* hingga mencapai suhu $690^{\circ}C$. Kemudian dilanjutkan dengan *secondary carburizing* dengan variasi *Carbon Potensial* (CP) 1,1%, 1,2%, 1,3% $T = 850^{\circ}C$ dan $t = 60$ menit dan dilanjutkan dengan *quenching oil*. Variasi *Carbon Potensial* ini dilakukan untuk melihat pengaruhnya terhadap karakteristik sampel yang terbentuk.

3.3.4 Pengamatan Struktur Mikro

Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan pada pengamatan struktur mikro ini diperlukan preparasi sampel diantaranya *mounting*, pengamplasan, pemolesan, dan etsa.

1. *Mounting* sampel

Untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk pada *surface* hingga *subsurface* perlu dilakukan pemotongan material secara melintang. Pemotongan ini mengakibatkan ukuran material menjadi lebih kecil sehingga sulit untuk ditangani khususnya ketika dilakukan pengamplasan dan pemolesan akhir. Untuk memudahkan penanganannya, maka spesimen-spesimen tersebut ditempatkan pada suatu media (media *mounting*).

Mounting yang digunakan merupakan jenis *hot mounting*, yang menggunakan material *thermoplastic*. Mula-mula sampel ditempatkan pada cetakan baja berbentuk silinder kecil, kemudian ditambahkan bubuk *thermoplastic* dan temperatur dinaikkan sampai level tertentu, umumnya dibawah suhu 200°C , merupakan suhu yang cukup rendah untuk menghindari terjadinya perubahan struktur pada sampel, serta diberikan tekanan sekitar 25 N/mm^2 untuk menekan isi cetakan selama pemanasan.^[21] Tekanan harus dijaga konstan agar didapatkan hasil *mounting* yang optimal.

2. Pengamplasan

Sampel yang baru dipotong, atau sampel yang telah terkorosi memiliki permukaan yang kasar. Permukaan yang kasar ini harus diratakan agar pengamatan struktur mudah untuk dilakukan. Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan *mesh*. Urutan pengamplasan harus dilakukan dari nomor *mesh* yang rendah (hingga 400 *mesh*) ke nomor *mesh* yang tinggi (hingga 2400 *mesh*). Ukuran grit pertama yang dipakai tergantung pada kekasaran permukaan dan kedalaman kerusakan yang ditimbulkan oleh pemotongan.

Hal yang penting untuk diperhatikan adalah penambahan air yang berfungsi sebagai pemindah geram, memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul, dan memperpanjang umur pakai kertas amplas. Selain itu, perubahan arah pengamplasan harus 45° atau 90° dari arah sebelumnya sehingga tidak akan meninggalkan *scratch* baru pada permukaan.



Gambar 3.12 *Grinding machine*

3. Pemolesan

Setelah diampelas sampai halus (2400#), sampel harus dilakukan pemolesan. Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin dan menghilangkan ketidakrataan sampel hingga orde $0.01 \mu\text{m}$. Permukaan sampel yang akan diamati di bawah mikroskop harus benar-benar rata. Apabila permukaan sampel kasar atau bergelombang, maka pengamatan struktur mikro akan sulit untuk dilakukan karena cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak oleh permukaan sampel. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 3.13 Skema pemantulan cahaya pada permukaan sampel

4. Etsa

Etsa merupakan proses penyerangan atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali dengan pencelupan ke dalam larutan pengetsa baik menggunakan listrik maupun tidak ke permukaan sampel sehingga detail struktur yang akan diamati akan terlihat dengan jelas dan tajam. Untuk beberapa material, mikrostruktur baru muncul jika diberikan zat etsa. Sehingga perlu pengetahuan yang tepat untuk memilih zat etsa yang tepat.

Pada pengujian ini digunakan proses etsa kimia. Etsa kimia merupakan proses pengetsaan dengan menggunakan larutan kimia dimana zat etsa yang digunakan memiliki karakteristik tersendiri sehingga pemilihannya berdasarkan material sampel yang akan diamati. Material SCM 440 merupakan jenis baja karbon, oleh karena itu digunakan nital 2%-3% selama 7 detik. Larutan ini merupakan asam nitrat + alkohol. Tujuan dari penggunaan larutan

kimia ini adalah untuk mendapatkan fasa pearlite, ferit, dan martensit pada sampel.^[18]

5. Pengamatan struktur mikro

Bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan penyebaran karbida pada permukaan pin. Mekanisme pengamatan struktur mikro ini yaitu pengambilan gambar dengan kamera melalui mikroskop dengan perbesaran tertentu sehingga fasa yang terbentuk dan penyebaran karbida dapat diketahui melalui foto yang dihasilkan.

3.3.5 Pengujian kekerasan

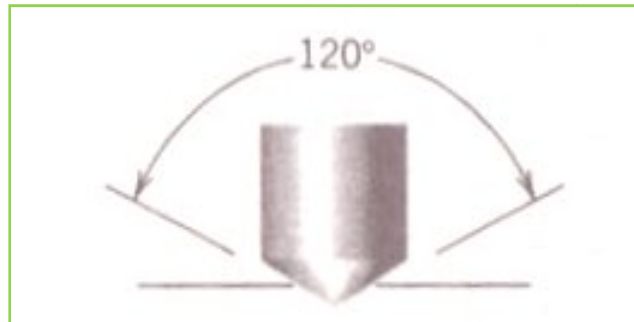
Pengujian kekerasan pada sampel yang telah melalui proses carburizing dibagi menjadi 2, yaitu pengujian kekerasan makro dan mikro. Pengujian kekerasan mikro bertujuan untuk mengetahui kekerasan sampel secara spesifik dari permukaan sampa ke inti dengan jarak 0,05 mm atau biasa disebut *case depth*. Sedangkan pengujian secara makro bertujuan untuk mengetahui kekerasan material hanya pada permukaan.

3.3.5.1 Pengujian kekerasan makro

Pada pengujian ini digunakan metode Rockwell C sesuai dengan standar ASTM E 18 “*Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Material*”^[11]

Tabel 3.3 Standar pengujian Rockwell C^[20]

Scale symbol	Indenter	Total Test force, kgf	Typical Application of scale
C	Diamond	150	Steel



Gambar 3.10 Indentor Rockwell C

3.3.5.1 Pengujian kekerasan mikro

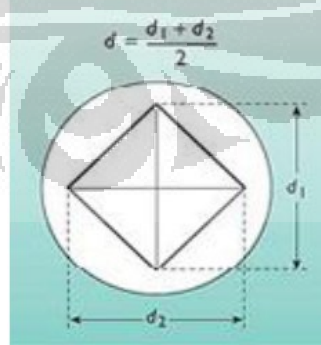
Pada pengujian kekerasan mikro digunakan metode *Vickers* sesuai dengan standar ASTM E 92 “*Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*”. Beban yang digunakan 200 gf dalam waktu 10 detik. Prinsip pengujiannya sama dengan metode kekerasan *Rockwel*, namun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal.^[11] Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Perhitungan nilai kekerasan ini sesuai dengan rumus:

$$= \frac{P}{D^2} \quad (3.1)$$

Di mana:

P = beban yang diberikan (Kg)

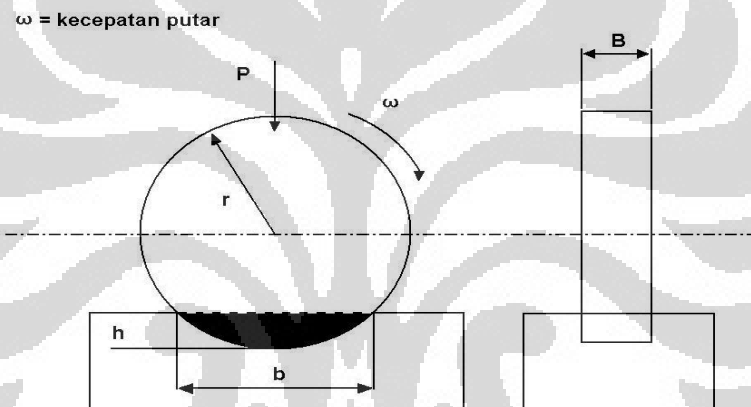
D = diameter jejak rata-rata (mm)



Gambar 3.11. Skema penjejakan metode *vickers*^[11]

3.3.6 Pengujian keausan

Prinsip pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik yang bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah metode **Ogoshi**, dimana benda uji memperoleh beban gesek dari *revolving disc*. Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek inilah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volum material yang terkelupas dari benda uji, sehingga ketahanan ausnya semakin rendah.



Gambar 3.14 Pengujian keausan dengan metode ogoshi

Dengan B adalah tebal revolving disc (mm), r jari-jari disc (mm), b lebar celah material yang terabrasi (mm), maka dapat diturunkan besarnya volume material yang terabrasi (W) :

$$W = B.b^3/12r \quad (3.2)$$

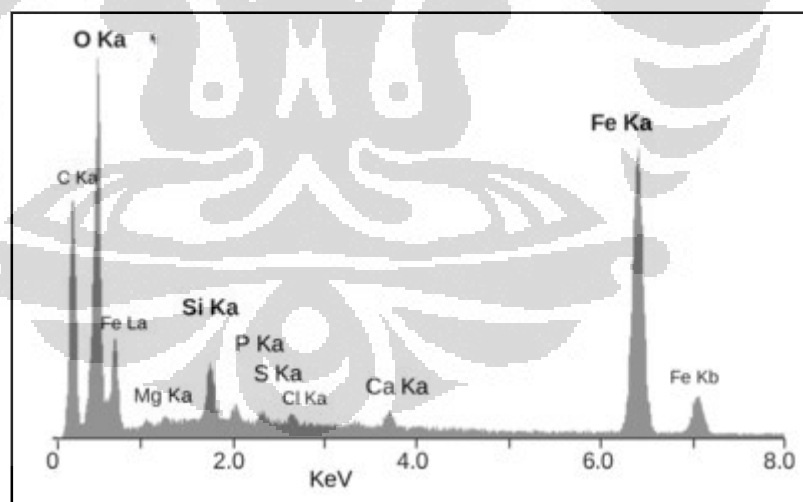
Laju keausan (V) dapat ditentukan sebagai perbandingan volume terabrasi (W) dengan jarak luncur x (setting pada mesin uji):

$$V = W/x = B.b^3/12r.x \quad (3.3)$$

3.3.7 Pengujian EDX

Energy-dispersive X-Ray spectroscopy (EDS atau EDX) merupakan teknik analitis yang digunakan untuk menganalisa unsur atau katakterisasi kimia dari sampel. EDX bekerja dengan memanfaatkan interaksi sumber eksitasi sinar X dengan sampel. Kemampuan pengkarakterisasian ini berkaitan dengan sifat masing-masing unsur yang memiliki struktur atom yang unik yang membedakan dengan yang lainnya sehingga dapat diidentifikasi.^[22]

Bila elektron dengan energi yang cukup besar menumbuk pada sampel, energi tersebut menyebabkan terjadinya emisi sinar-x yang energinya dan intensitasnya bergantung pada komposisi elemental sampel. Dengan memanfaatkan fenomena ini untuk menganalisa komposisi elemental dari volume-mikro (kasarnya satu sampai beberapa ratus kubik micrometer) itulah yang disebut sebagai analisis mikro. Pada EDX di mana sinar-x yang diemisikan dikonversi dan disimpan secara elektronik dan bukan dengan difraksi kristal. **Gambar 3.15** merupakan contoh hasil karakterisasi EDX.



Gambar 3.15. Spektrum sinar-x dari beberapa unsur sebagai hasil EDX.

EDX Spektroskopi ini dapat digunakan untuk menganalisa sampel secara kualitatif dan kuantitatif. Analisa kualitatif adalah proses identifikasi unsur-unsur yang ada dalam sampel sedangkan analisa kuantitaif bertujuan untuk menjawab berapa banyak unsur X, Y, Z yang terdapat di dalam sampel.

Universitas Indonesia

Analisa kualitatif dilakukan dengan cara memantukan energi dari *peak* yang ada dalam spektrum dan membandingkan dengan tabel energi emisi sinar-x dari unsur-unsur yang sudah diketahui. Namun hal itu sudah tidak perlu dilakukan lagi, karena komputer akan secara otomatis memberikan simbol unsur untuk setiap *peak* pada spektrum. Analisa kuantitatif menampilkan data unsur dan konsentrasi unsur yang terdapat di dalam sampel.^[23]



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan secara makro sebelum dan sesudah proses *high concentration carburizing*, pengujian kekerasan mikro, penyajian foto mikro, analisis struktur mikro, analisis laju aus material, dan pengecekan komposisi kimia karbida yang terbentuk di permukaan material.

4.1 Pengujian Kekerasan Makro (Permukaan)

Pengujian kekerasan makro dilakukan berdasarkan standar ASTM E-18 “*Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Material*” dengan menggunakan metode Rockwell C dengan pembebanan total sebesar 150 kgf dan lama waktu penjejakan telah diotomatisasi oleh alat sekitar 5 detik. Penjejakan dilakukan pada masing-masing permukaan sampel untuk tiap variabel sebanyak 20 kali penjejakan. Sehingga diperoleh 20 data kekerasan untuk tiap variabel proses. Hal ini bertujuan agar data yang didapatkan dapat mewakili nilai kekerasan aktual untuk setiap variabel proses.

Dari **Tabel 4.1**, kekerasan rata-rata yang dihasilkan dari penjejakan sampel awal adalah 27,95 HRC. Nilai yang tergolong rendah ini belum memenuhi spesifikasi untuk rantai tipe *timing chain* karena aplikasi dari rantai tipe ini bergesekan secara terus menerus dengan plat rantai sehingga dibutuhkan material dengan kekerasan permukaan yang tinggi, untuk itu dilakukan pengerasan permukaan dengan proses *high concentration carburizing* yang menghasilkan kekerasan permukaan yang tinggi.

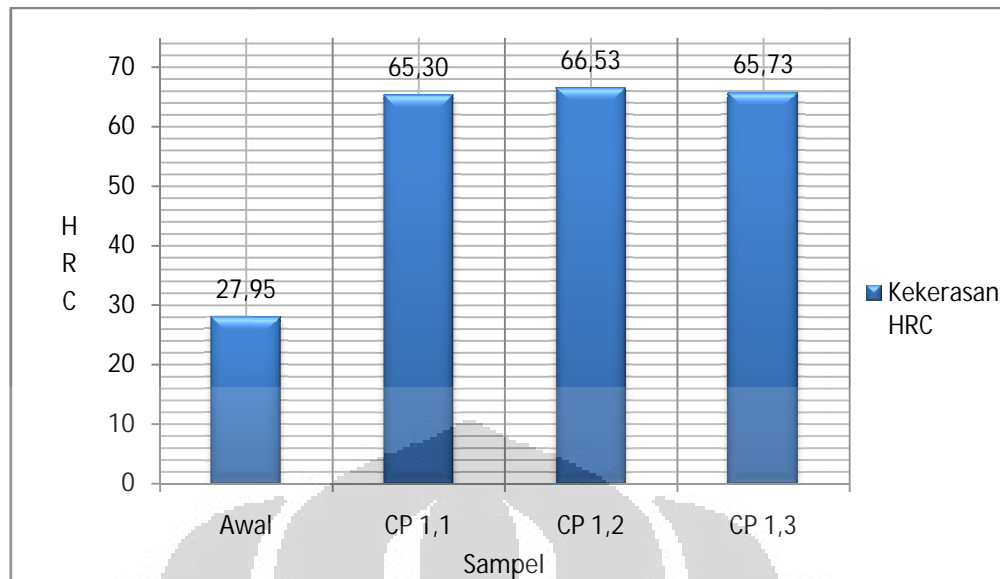
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan Makro (HRC)

No.	<i>Sampel awal</i>	HCC CP = 1,1	HCC CP = 1,2	HCC CP = 1,3
1.	28,00	65,50	67,00	66,00
2.	28,00	65,50	65,50	66,50
3.	28,50	65,00	67,50	66,00
4.	28,50	67,00	66,00	66,00
5.	28,50	66,50	66,50	65,50
6.	27,50	66,50	66,50	66,00
7.	29,00	65,50	66,00	64,50
8.	29,00	59,00	66,00	65,50
9.	28,50	66,00	67,00	66,00
10.	27,00	66,50	66,50	64,50
11.	27,00	66,50	66,00	66,00
12.	27,50	61,50	68,50	66,00
13.	27,00	67,00	67,50	66,00
14.	28,00	62,00	67,50	65,50
15.	27,00	67,50	66,50	66,50
16.	28,00	66,00	62,50	66,50
17.	27,00	67,50	67,50	65,00
18.	27,50	63,50	67,00	65,50
19.	29,00	66,00	67,00	65,50
20.	28,50	65,50	66,00	65,50
Rata-rata	27,95	65,30	66,53	65,73

Pada baja hasil proses *high concentration carburizing*, terlihat memiliki kenaikan kekerasan yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan kekerasan awal. Pada **Tabel 4.1** ditunjukkan bahwa dengan proses *high concentration carburizing* maka kekerasan permukaan akan meningkat hingga mencapai kekerasan sebesar 65,30-66,53 HRC. Namun menurut diagram TTT baja 4140, baja hasil perlakuan panas yang dilanjutkan dengan pendinginan cepat hingga temperatur 100°C akan memiliki kekerasan 59-61 HRC. Penigkatan kekerasan ini terjadi akibat terbentuknya karbida *chromium* dan *molybdenum* di permukaan material ^[14] hasil dari proses *high concentration concentration* sehingga menghasilkan kekerasan tinggi.

Variasi pada *carbon potensial* (CP) menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda untuk setiap sampel seperti yang ditunjukkan oleh nilai rata-rata tiap CP

pada **Tabel 4.1** yaitu CP 1,1 ; 1,2 ; 1,3 masing-masing 65,30 ; 66,53; 65,73. Nilai kekerasan permukaan tertinggi dicapai pada variasi CP 1,2 dengan nilai kekerasan 66,53 HRC. Kekerasan yang dicapai tersebut berhubungan dengan kelarutan carbon dalam baja, pada sebuah teori disebutkan bahwa kelarutan carbon maksimum pada temperatur 850⁰C adalah 1,19^[26], sehingga pada CP tersebut karbon yang dapat berdifusi ke dalam baja optimal dan membentuk ikatan dengan atom Fe, Cr, dan Mo. Berdasarkan teori tersebut dapat disimpulkan bahwa kekerasan maksimal seharusnya dapat dicapai pada CP 1,2 dan 1,3. Namun dalam pengaplikasian teori dimana keadaan dianggap standar seringkali tidak sesuai dengan keadaan di lapangan. Dalam penerapan teori *high concentration carburizing* pada PT X Manufacturing Indonesia terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi ketidaksempurnaan proses difusi karbon ke dalam baja. Jelaga yang menempel pada dinding *furnace* merupakan faktor penyebab kurang optimalnya carbon yang berdifusi ke dalam baja. Sebagai contoh ketika CP *controller* menunjukkan angka 1,2, berarti carbon di dalam *furnace* diatur hingga mencapai kadar tersebut, namun karena adanya jelaga pada dinding *furnace* menyebabkan konsentrasi karbon yang dapat berdifusi ke dalam baja tidak sebesar nilai yang seharusnya karena sebagian akan berinteraksi dengan jelaga di dinding *furnace*, sehingga pada CP 1,2 kemungkinan besar belum dicapai kekerasan maksimal. Pada CP 1,3 kekerasan turun dengan nilai 65,73 HRC. Penurunan nilai kekerasan ini berhubungan dengan penambahan unsur C di dalam baja yang menyebabkan temperatur pembentukan martensit (Ms) akan semakin rendah sehingga transformasi dari austenit menjadi martensit menjadi sulit.^[17]



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Kekerasan Sampel Awal dan Hasil Perlakuan HCC

Gambar 4.1. merupakan data berupa grafik perbandingan kekerasan permukaan sampel sebelum diberikan perlakuan panas dengan sampel yang telah melalui proses *high concentration carburizing* dengan variasi *carbon potential*.

Jika dibandingkan dengan kekerasan permukaan yang dibutuhkan oleh *pin* rantai tipe *timing chain* yaitu sekitar 842,7 HV (65,84 HRC), variabel yang memenuhi adalah CP 1,2 dengan kekerasan yang mencapai 66,53. Jika diperhatikan, nilai kekerasan yang dihasilkan oleh CP 1,3 sudah mendekati spesifikasi yang diinginkan, namun terbentuknya austenit sisa yang akan dijelaskan lebih lanjut pada **subbab 4.3** perlu menjadi pertimbangan pemilihan CP yang akan digunakan pada proses. Berikut disajikan hasil pengujian nilai kekerasan *pin* rantai tipe *timing chain* impor pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Makro
pin tipe timing chain impor

Surface Hardness of BW Pin	
Sample	Surface Hardness, HV
1	814
2	851
3	864
4	853
5	807
6	829
7	851
8	865
9	869
10	813
11	872
12	812
13	832
14	890
15	805
16	841
17	864
18	870
19	812
20	840
Average HV	842,70
HRC	65,84

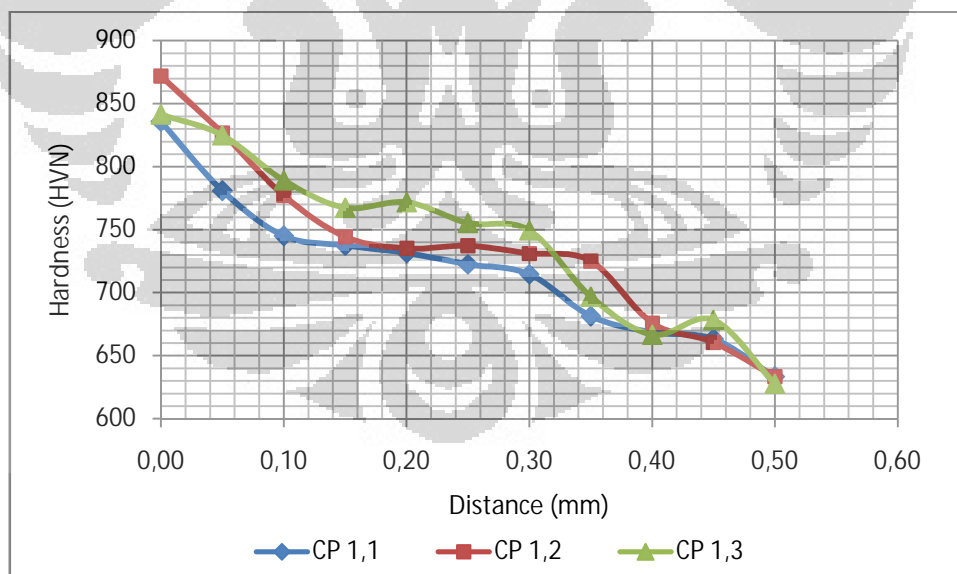
4.2 Pengujian Kekerasan Mikro (*Case Depth*)

Pengujian kekerasan mikro dilakukan berdasarkan standar ASTM E 92 “*Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*”. Penjejukan menggunakan beban sebesar 200 gf dalam waktu 10 detik. Pengujian kekerasan mikro ini dilakukan untuk memetakan kekerasan sampel dari permukaan sampai ke bagian dalam (*case depth*). Dari data yang diperoleh dari pengujian ini, dapat diketahui sejauh mana baja terkeraskan melalui metode *high concentration carburizing* ini. Penjejukan dilakukan pada masing-masing penampang sampel untuk tiap variabel dengan jarak penjejukan sebesar 0,05 mm dimulai dari sub permukaan hingga bagian tengah sampel pada kedalaman 0,5 mm. Pada masing-

masing kedalaman penjejukan dilakukan sebanyak 2 kali agar data dapat mewakili sampel secara keseluruhan. Berikut data pengujian kekerasan mikro yang didapatkan.

Tabel 4.3 Data Pengujian *Case Depth*

Kedalaman	CP 1,1	CP 1,2	CP 1,3
Surface	835,84	871,80	841,30
0,05	780,85	826,60	824,95
0,10	745,05	743,00	789,05
0,15	737,45	739,40	767,50
0,20	731,40	737,40	771,90
0,25	722,50	744,10	760,40
0,30	714,75	756,90	749,50
0,35	681,30	728,40	696,90
0,40	668,70	669,40	666,70
0,45	663,25	662,00	678,40
0,50	633,25	653,60	627,75

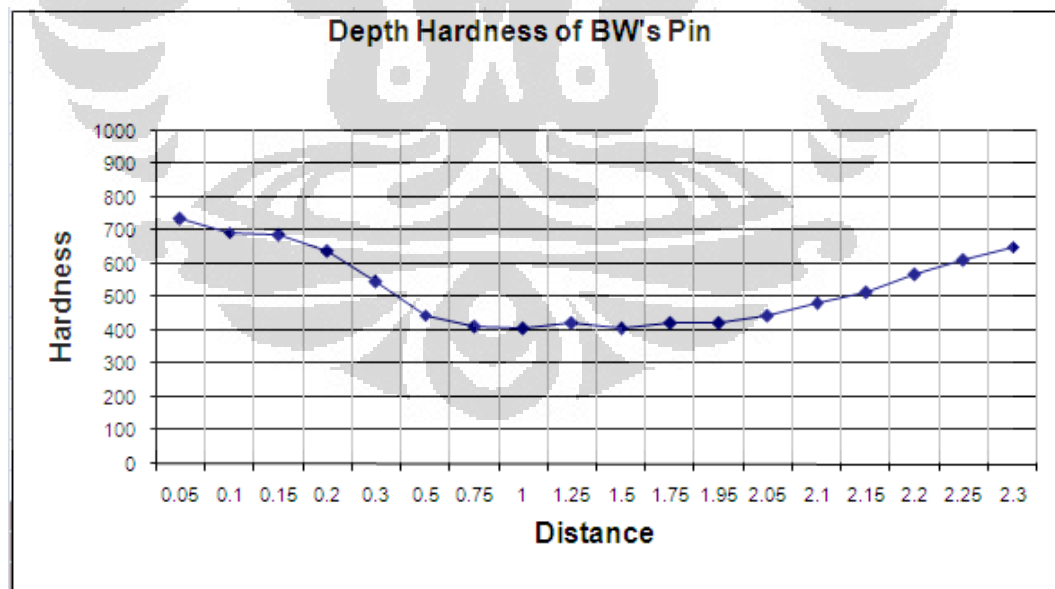


Gambar 4.2 Grafik *Case Depth*

Grafik pada **Gambar 4.2** menunjukkan bahwa semakin jauh dari permukaan, terjadi penurunan kekerasan. Hal ini menunjukkan terjadinya *case hardening* pada sampel karena proses *high concentration carburizing*. Pada proses

ini terjadi difusi karbon dari atmosfer di dalam *furnace* ke dalam baja melalui permukaan sehingga permukaan akan menjadi bagian paling keras, berturut-turut ke bagian inti semakin mendekati kekerasan logam dasar.

Grafik yang bergerak ke bawah seiring pertambahan kedalaman menunjukkan bahwa kekerasan di permukaan lebih tinggi dari kekerasan di sub permukaan. Sehingga sampel dari proses *high concentration carburizing* ini tidak mengalami dekarburisasi karena data yang diperoleh bertentangan dengan teori dekarburisasi yang menyatakan bahwa proses dekarburisasi ditunjukkan dengan adanya peningkatan kadar karbon dengan peningkatan kedalaman atau saat *peak* kadar karbon berada pada *subsurface*.^[24] Menurut penelitian Ming Qin *et al.* proses karburisasi sering kali diikuti dengan proses dekarburisasi pada lapisan komponen yang dikarburisasi^[25], permasalahan tersebut tidak ditemui pada metode ini dengan dua kemungkinan yang dapat terjadi. Pertama, kondisi atmosfer di dalam *furnace* stabil sehingga dapat mempertahankan kadar karbon yang ada di dalamnya dan tidak terjadi penurunan kadar karbon di luar rencana. Kedua, dengan terbentuknya karbida di permukaan dapat menghilangkan efek dekarburisasi karena sifat dasar dari karbida yang sangat keras.



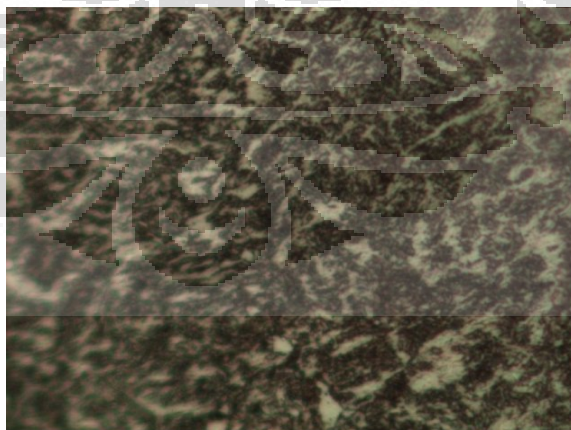
Gambar 4.3 Grafik *Case Depth pin* rantai tipe *timing chain* impor

Pada **Gambar 4.3** ditunjukkan grafik kekerasan terhadap kedalaman (*case depth*) *pin* dari sampel impor yang memiliki diameter 2,5 mm. Menurut literatur

kekerasan martensit adalah 580 HV, kekerasan tersebut dicapai hingga kedalaman 0,2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pada bagian permukaan hingga kedalaman 0,2 mm pengerasan terjadi akibat terbentuk karbida. Selanjutnya pada bagian inti yaitu dimulai dari kedalaman diatas 0,5 mm kekerasannya konstan sekitar 400 HV. Dari hasil perlakuan panas dengan metode *high concentration carburizing* pengerasan terjadi hingga kedalam 0,5 mm sebesar 625 HV, sehingga melalui metode ini kekerasan yang sangat tinggi hingga bagian dalam dapat dicapai. Untuk mengatur kedalaman pengerasan dapat dilakukan dengan pengaturan waktu pada *secondary carburizing*.

4.3 Analisis Struktur Mikro

Pada pengamatan struktur mikro ini digunakan zat etsa nital 3%. Pengetsaan ini dilakukan setelah pada sampel dilakukan preparasi berupa pengamplasan dan pemolesan. Pengamatan struktur mikro dilakukan di bawah mikroskop optik dengan perbesaran hingga 500x. Sebelumnya sampel di etsa dengan menggunakan nital 3% untuk melihat butir ferit dan martensit dengan mekanisme korosi terkontrol pada butir.^[18] Informasi yang didapat melalui pengamatan struktur mikro antara lain berupa fasa yang terbentuk beserta morfologi strukturnya.

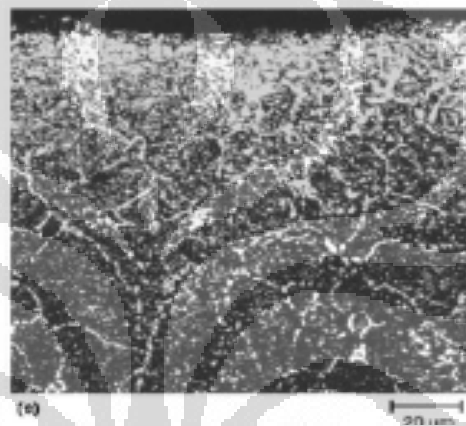


Gambar 4.4 Struktur Mikro Sampel Awal baja SCM 440/AISI 4140

Pada pengamatan struktur mikro sampel awal baja SCM 440/AISI 4140, **Gambar 4.4**, digunakan nital 3% sebagai zat etsa. Pada foto mikro menunjukkan

fasa ferit dan perlit. Fasa ferit ditunjukkan oleh bagian yang terang sedangkan fasa perlit ditunjukkan oleh bagian yang gelap. Fasa yang terbentuk ini merupakan fasa hasil manufaktur baja *rod* dari produsen. Fasa ferit dan perlit ini dapat diperoleh dengan memanaskan baja sampai temperatur austenisasi kemudian dilakukan pendinginan lambat di udara.

Struktur mikro pada baja berubah sesuai dengan perlakuan panas yang diberikan kepada baja tersebut, perubahan mikrostruktur ini memberikan pengaruh yang berbeda-beda karena setiap fasa membawa sifatnya masing-masing.



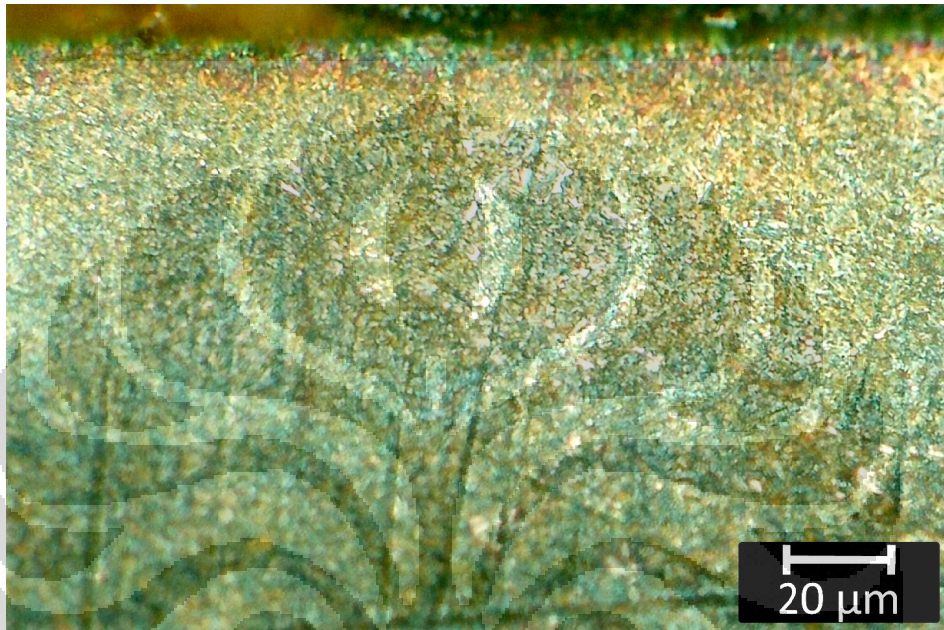
Gambar 4.5 Fotomikro Permukaan terkarburisasi ^[18]

Secara umum, logam yang diberikan perlakuan panas karburisasi akan membentuk fasa martensit yang halus di bagian permukaan hingga beberapa milimeter di bawah permukaan. Hal tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.5**, bagian permukaan memiliki struktur martensit yang lebih halus dibandingkan dengan struktur logam di bagian inti.

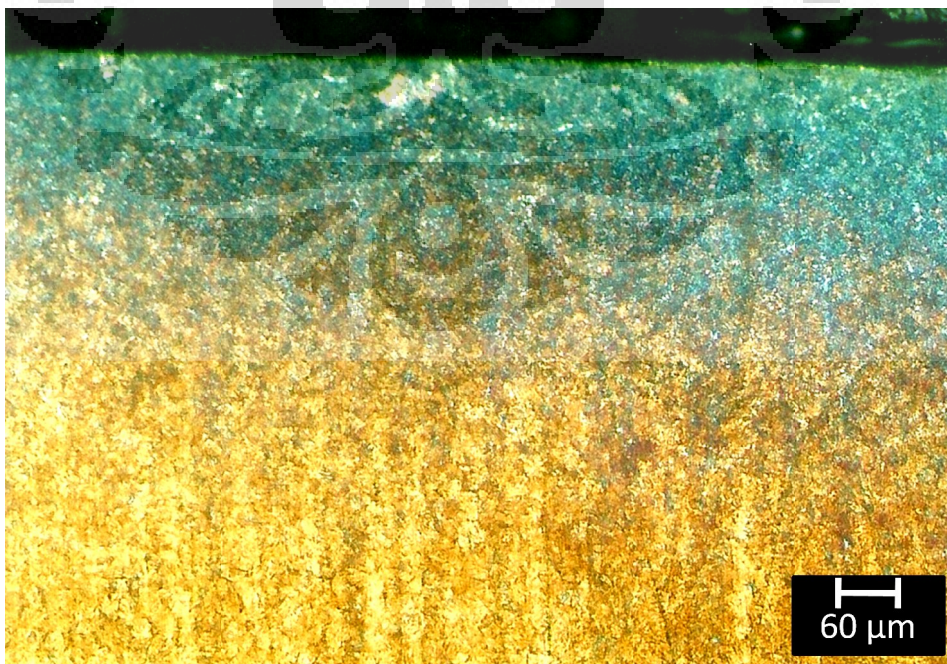
Secara umum, struktur mikro dari baja SCM 440 yang telah diberikan perlakuan panas *High Concentration Carburizing* memiliki fasa martensit dengan jarum-jarum halus di bagian permukaan hingga beberapa milimeter dibawahnya. Tampak bahwa fasa dominan yang terbentuk di permukaan adalah *lath* martensit yang terlihat seperti jarum-jarum berwarna hijau kebiruan dengan orientasi yang berbeda dan dengan persebaran acak. Kemudian di bagian permukaan terdapat bintik-bintik kecil berwarna putih, yang merupakan karbida yang terbentuk selama proses. Jenis karbida yang terbentuk akan dibahas lebih lanjut pada **subbab 4.5**. Perpaduan antara martensit yang terbentuk di permukaan dan

karbida-karbida yang tersebar merata di permukaan inilah yang memberikan kekerasan pada permukaan baja hingga mencapai 65-67 HRC.

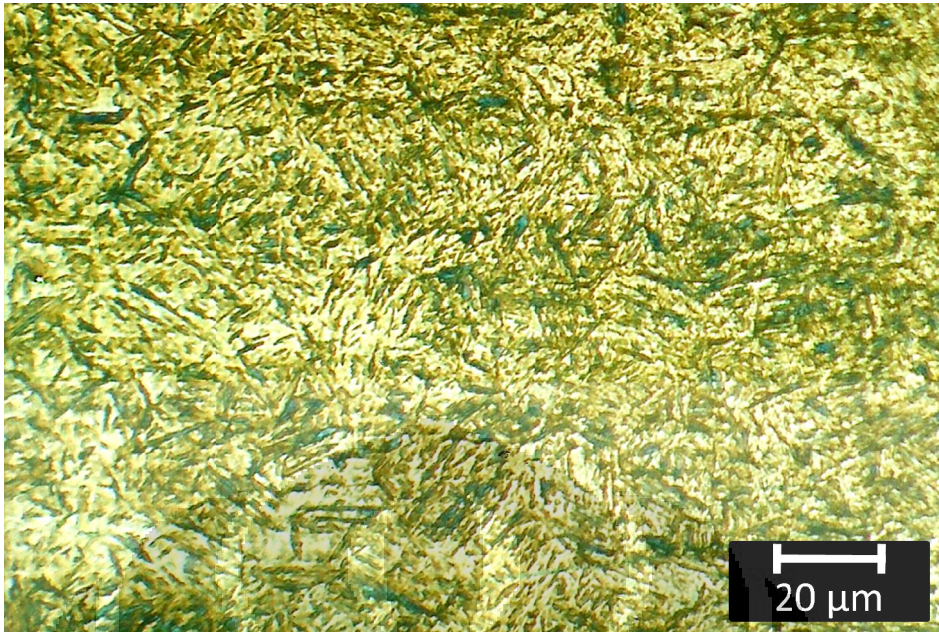
Pengamatan sampel hasil *high concentration carburizing* dengan variabel *carbon potential* (CP) 1,1 dilakukan di bawah mikroskop optik dengan perbesaran 500x dan digunakan nital 3% sebagai zat etsa.



Gambar 4.6 Foto Mikro *Subsurface* Hasil HCC CP 1,1 Nital 3%



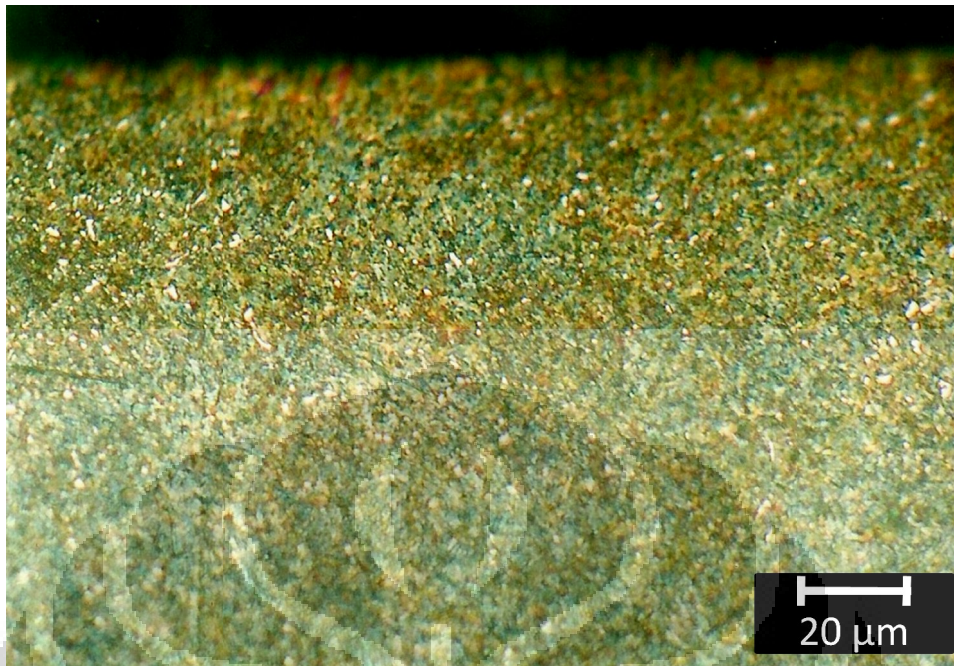
Gambar 4.7 Foto Mikro *Subsurface* Hasil HCC CP 1,1 Nital 3%



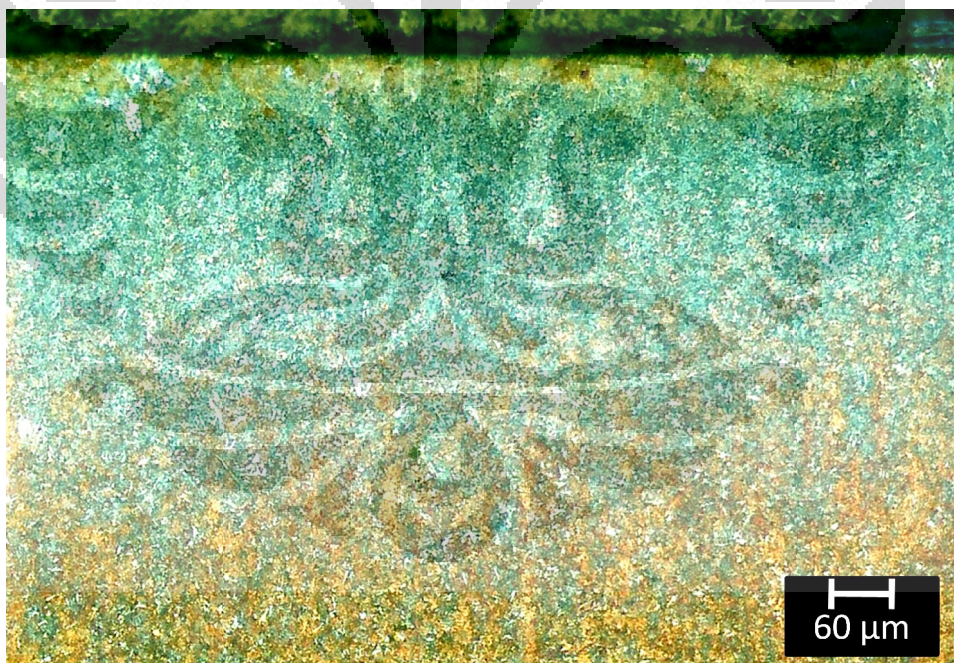
Gambar 4.8 Foto Mikro inti Hasil HCC CP 1,1 Nital 3%

Gambar 4.6, foto mikro bagian tepi untuk variabel CP 1,1, menunjukkan adanya pulau-pulau berwarna putih. Pulau-pulau tersebut merupakan karbida yang terbentuk melalui perlakuan panas *high concentration carburizing*. Karbida tersebut merupakan karbida tipe $M_{23}C_6$ yang terbentuk melalui ikatan antara unsur pembentuk karbida (*carbide former*) yang berada di logam dasar yaitu Cr dan Mo dengan Carbon yang masuk ke permukaan baja melalui proses difusi.^[14] Dengan keberadaan karbida ini, kekerasan meningkat dengan tajam karena terjadi mekanisme penguatan yaitu *precipitation strengthening* yang berfungsi sebagai penghalang bagi pergerakan dislokasi sehingga kekerasan meningkat.

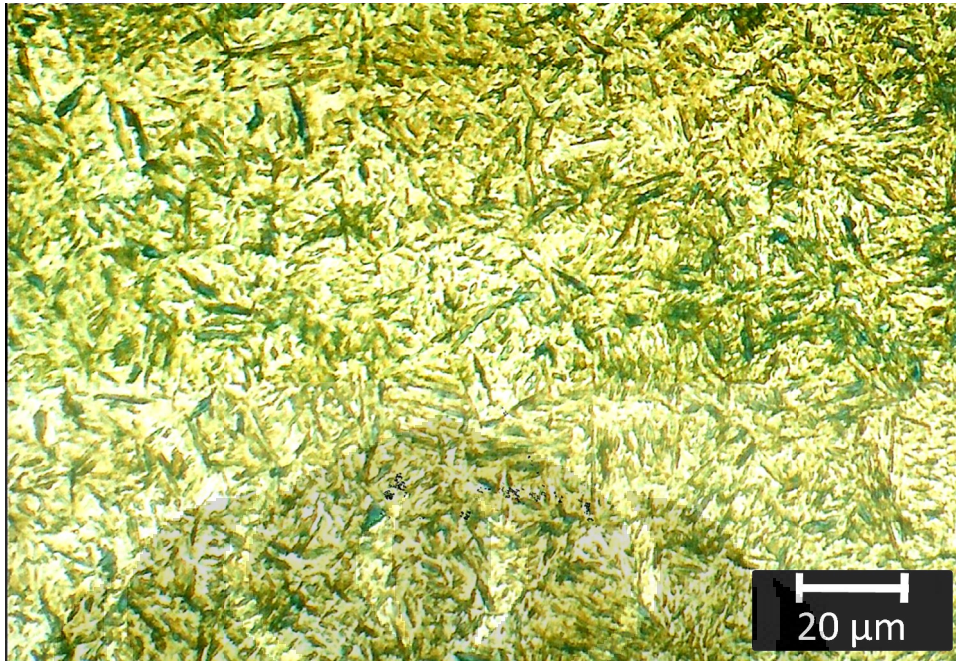
Jika dibandingkan dengan foto mikro pada **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.12** terlihat bahwa jumlah pulau-pulau kecil berwarna putih yang tersebar di permukaan bertambah banyak seiring peningkatan *Carbon Potential*. Sehingga berdasarkan pengamatan struktur mikro ini dapat disimpulkan bahwa karbida paling banyak terbentuk dan tersebar merata pada CP 1,3. Hal ini berhubungan dengan carbon optimal yang dapat berdifusi ke dalam baja. Dalam sebuah sumber dikatakan bahwa pada suhu 850°C yang merupakan temperatur proses *secondary high concentration carburizing*, karbon optimal yang dapat berdifusi ke dalam baja hanya sekitar 1,19%.^[26] Jika keadaan dalam *furnace* standar, maka pada kasus ini karbida pada CP 1,2 dan CP 1,3 kurang lebih sama banyak.



Gambar 4.9 Foto Mikro *Subsurface* Hasil HCC CP 1,2 Nital 3%



Gambar 4.10 Foto Mikro *Subsurface* Hasil HCC CP 1,2 Nital 3%



Gambar 4.11 Foto Mikro inti Hasil HCC CP 1,2 Nital 3%

Kemudian jika dikaitkan dengan nilai kekerasan permukaan (HRC), penyebaran karbida di permukaan ini merepresentasikan kekerasan yang dapat dicapai oleh baja SCM 440 ini. Pada CP 1,1 karbida yang terbentuk paling sedikit dan pada CP 1,3 karbida yang terbentuk paling banyak. Sesuai dengan nilai kekerasan permukaan yang menunjukkan bahwa dengan sedikit karbida maka kekerasan yang dicapai lebih rendah jika dibandingkan dengan permukaan yang mengandung lebih banyak karbida di dalamnya. Namun dari pengamatan struktur mikro ini ditemukan pada CP 1,3 terdapat banyak austenit sisa dibagian permukaan dimana dengan keberadaan fasa ini akan menurunkan kekerasan dari material tersebut. Sesuai dengan hasil pengujian kekerasan baik makro dan mikro yang menunjukkan bahwa kekerasan pada CP 1,3 lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan pada variabel CP 1,2.

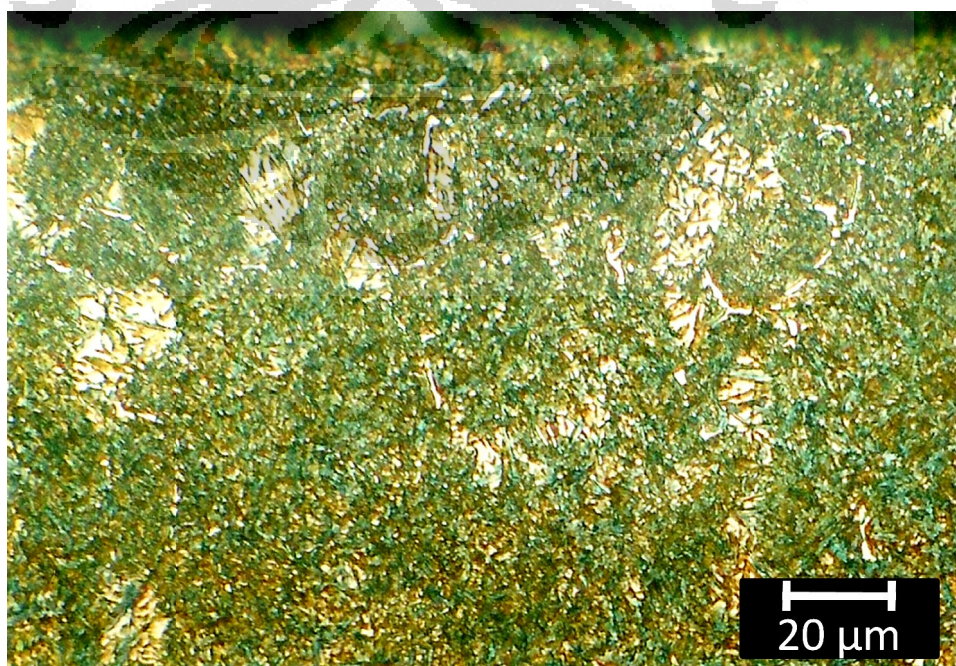
Untuk mengkonfirmasi fasa yang terbentuk pada bagian permukaan dilakukan pengujian kekerasan mikro dengan data hasil pengujian kekerasan pada **Tabel 4.4.**

Tabel 4.4 Data Penjejukan Fasa Austenit pada CP 1,3 (Vickers)

Lokasi	Kekerasan (HVN)
1	426,08
2	426,08
3	373,69
4	456,51
5	412,00
6	373,69
7	490,31
8	398,60
9	412,00
10	456,51
Rata-rata	422,55

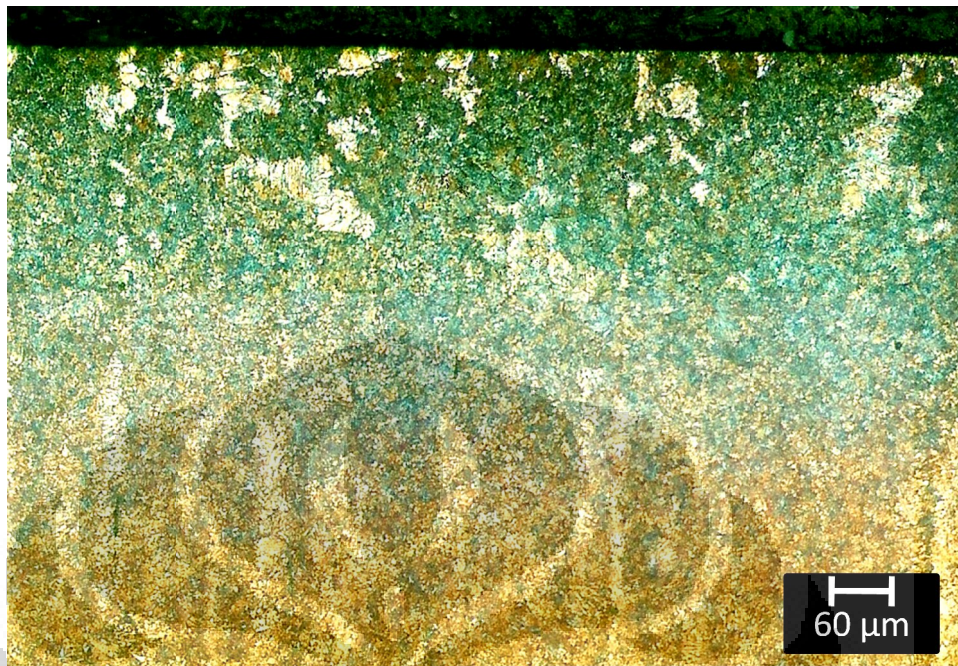
Dari hasil pengujian kekerasan pada daerah yang diduga fasa austenit diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 422,55 HV dimana nilai ini mendekati nilai kekerasan austenit sebesar 392 HV^[10]. Dengan demikian dapat dipastikan fasa yang terbentuk merupakan austenit sisa yang dihasilkan dari proses pencelupan cepat.

Pembentukan austenit sisa pada aplikasi pin harus dihindari karena beberapa sifat negatif dari austenit sisa. Austenit sisa ini dapat bertransformasi ke fasa lain seperti ferrit, pealit atau bainit jika dipanaskan pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi benda menjadi tidak stabil karena selama transformasi terjadi perubahan volum pada baja

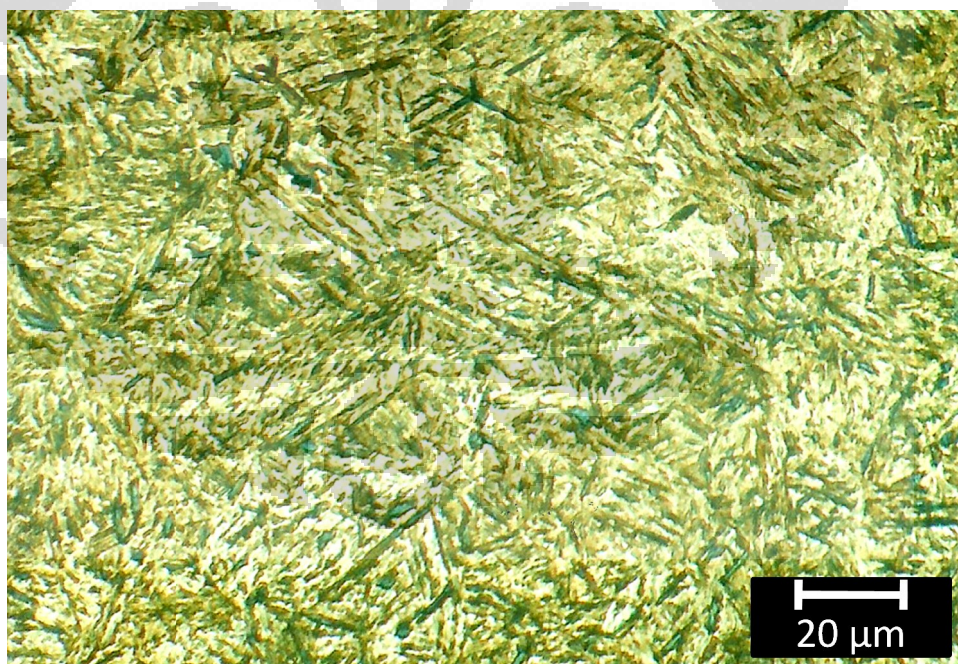


Universitas Indonesia

Gambar 4.12 Foto Mikro *Subsurface* Hasil HCC CP 1,3 Nital 3%



Gambar 4.13 Foto Mikro *Subsurface* Hasil HCC CP 1,3 Nital 3%



Gambar 4.14 Foto Mikro *Subsurface* Hasil HCC CP 1,3 Nital 3%

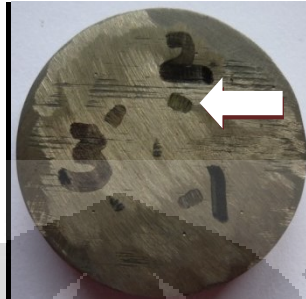
4.4 Analisis Laju Aus Material

Pengujian keausan ini dilakukan untuk mengetahui laju aus sampel pada jarak luncur dan beban yang telah ditentukan serta untuk mendapatkan

Universitas Indonesia

perbandingan laju aus pada variabel *carbon potential* hasil dari proses perlakuan panas *high concentration carburizing*.

Gambar 4.15 berikut merupakan gambar salah satu sampel yang telah terabrasi sehingga meninggalkan jejak di permukaan setelah uji aus.



Gambar 4.15 Jejak aus pada Sampel

Data yang diperoleh dari pengujian disajikan dalam bentuk tabel. Setiap variabel *carbon potential* dilakukan penjejukan sebanyak delapan kali. Dengan jejak-jejak tersebut diharapkan dapat mewakili laju aus seluruh permukaan sampel. Berikut data pengujian aus :

Tabel 4.5 Data Pengujian Aus CP 1,1

Jarak Luncur	Beban	Kecepatan	Lebar celah Aus	Volume Terabrasi	Laju Aus	
x (mm)	P (kg)	(mm/detik)	b (mm)	W (mm ³)	V (mm ³ /mm)	Vrata-rata (mm ³ /mm)
200000	3,16	1970	1,84	0,104504	5,22E-07	5,22E-07
200000	3,16	1970	1,76	0,090863	4,54E-07	
200000	3,16	1970	1,70	0,082318	4,11E-07	
200000	3,16	1970	1,97	0,128201	6,41E-07	
200000	3,16	1970	1,72	0,084217	4,216E-07	
200000	3,16	1970	1,99	0,130356	6,51E-07	
200000	3,16	1970	1,90	0,115222	5,76E-07	
200000	3,16	1970	1,82	0,100808	5,04E-07	

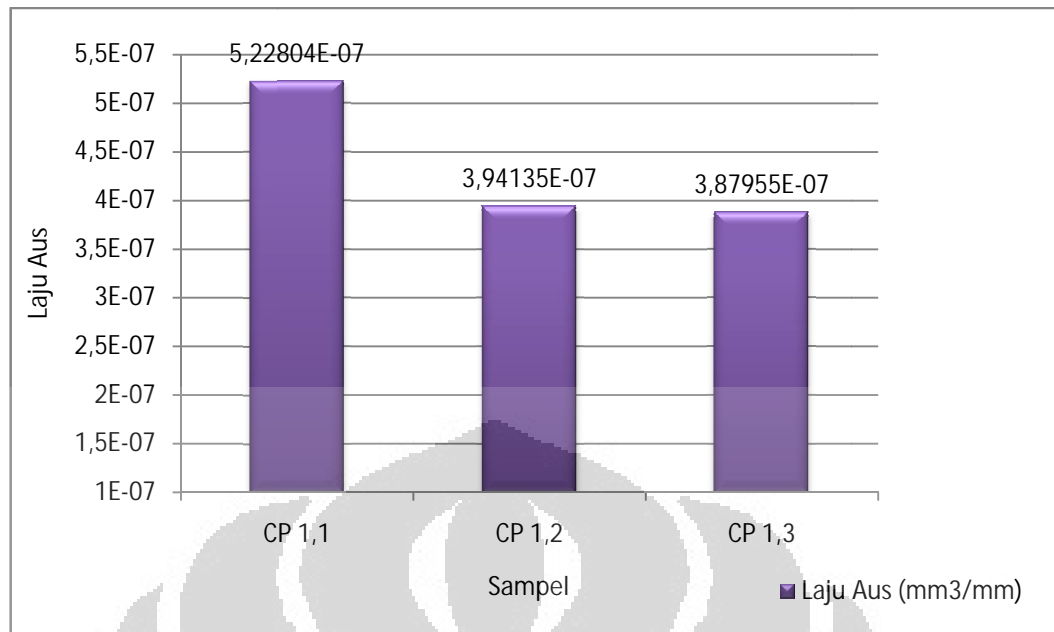
Tabel 4.6 Data Pengujian Aus CP 1,2

Jarak Luncur	Beban	Kecepatan	Lebar celah Aus	Volume Terabrasi	Laju Aus	
x (mm)	P (kg)	(mm/detik)	b (mm)	W (mm ³)	V (mm ³ /mm)	Vrata-rata (mm ³ /mm)
200000	3,16	1970	1,84	0,105356	5,27E-07	3,94E-07
200000	3,16	1970	1,65	0,075963	3,80E-07	
200000	3,16	1970	1,66	0,077068	3,85E-07	
200000	3,16	1970	1,47	0,052942	2,65E-07	
200000	3,16	1970	1,73	0,087347	4,37E-07	
200000	3,16	1970	1,67	0,077764	3,89E-07	
200000	3,16	1970	1,52	0,059226	2,96E-07	
200000	3,16	1970	1,78	0,09495	4,75E-07	

Tabel 4.7 Data Pengujian Aus CP 1,3

Jarak Luncur	Beban	Kecepatan	Lebar celah Aus	Volume Terabrasi	Laju Aus	
x (mm)	P (kg)	(mm/detik)	b (mm)	W (mm ³)	V (mm ³ /mm)	Vave (mm ³ /mm)
200000	3,16	1970	1,66	0,077207	3,86E-07	3,87E-07
200000	3,16	1970	1,70	0,082028	4,10E-07	
200000	3,16	1970	1,64	0,07392	3,70E-07	
200000	3,16	1970	1,67	0,078324	3,92E-07	
200000	3,16	1970	1,67	0,077764	3,89E-07	
200000	3,16	1970	1,63	0,072312	3,62E-07	
200000	3,16	1970	1,63	0,072578	3,63E-07	
200000	3,16	1970	1,73	0,086595	4,33E-07	

Dari ketiga tabel di atas diperoleh grafik perbandingan laju aus terhadap *carbon potential* seperti terlihat pada **Gambar 4.16**.



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Laju Aus

CP 1,1 menunjukkan bahwa laju keausannya paling tinggi diantara dua variabel yang lain. CP 1,2 berada di urutan ke dua dan CP 1,3 memiliki laju aus paling rendah diantara yang lain. Laju aus pada masing-masing variabel berhubungan erat dengan nilai kekerasan dimana semakin keras suatu permukaan maka kemungkinan benda lain untuk menggores atau mengabrasi permukaan tersebut semakin kecil. Hal ini terbukti pada penelitian ini, bahwa CP paling kecil yaitu 1,1 menunjukkan laju keausan atau kemampuan untuk terabrasi oleh benda lain paling besar. Sedangkan CP 1,3 menunjukkan grafik yang paling rendah yang berarti material lain lebih susah untuk mengabrasi permukaan tersebut. Sehingga dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa laju keausan menurun seiring dengan peningkatan kekerasan permukaan suatu material. Semakin keras permukaan material semakin susah untuk diabrasi benda lain atau dengan kata lain material yang keras memiliki ketahanan aus yang tinggi.

4.5 Analisis Foto SEM dan Hasil EDX

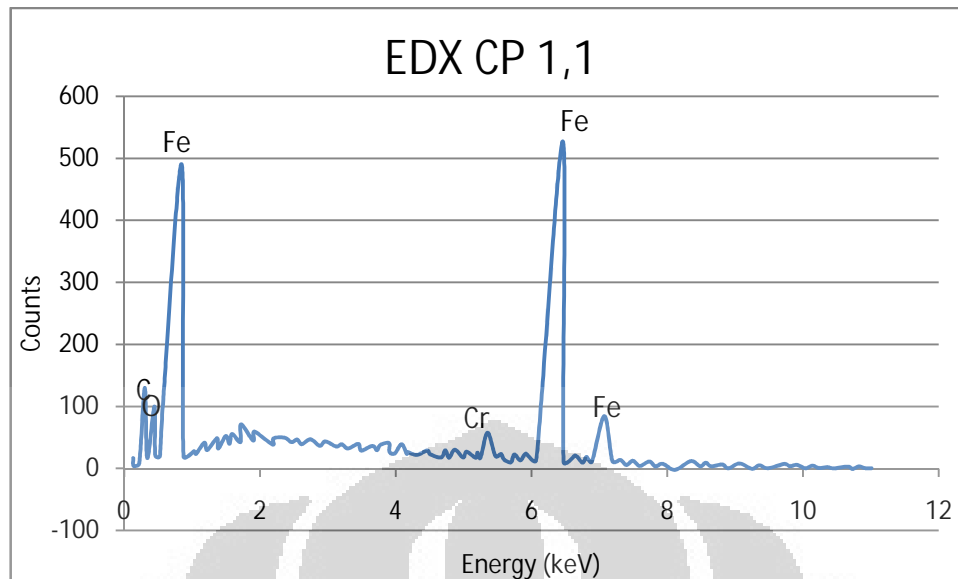
Pengujian ini bertujuan untuk menganalisa unsur-unsur atau karakterisasi kimia dari sampel yang telah diberikan perlakuan *high concentration carburization*. Pada pengujian ini dilakukan tiga kali penembakan pada tiap variabel. Masing-masing penembakan ditujukan pada karbida yang terbentuk di

permukaan. Hal ini bertujuan agar hasil yang diperoleh merepresetasikan keadaan karbida pada *sub-surface* sampel secara keseluruhan. Penentuan area penembakan ini memegang peranan penting karena karbida merupakan area kecil yang tersebar di permukaan. Sehingga sebelum dilakukan penembakan harus dipilih area yang diduga karbida dimana pada pengujian ini, karbida merupakan area kecil berbentuk pulau-pulau berwarna putih yang menyebar di *sub-surface*. **Gambar 4.17** merupakan lokasi penembakan elektron untuk mendapatkan komposisi unsur yang berada pada titik penembakan.



Gambar 4.17 Lokasi Penembakan Elektron CP 1,1

Dari pengujian ini diperoleh data kuantitatif berupa unsur yang terdapat pada daerah yang di tembak dan data kualitatif berupa presentase dari masing-masing unsur tersebut. **Gambar 4.18** berikut merupakan hasil pengujian EDX dari variabel CP 1,1 .



Gambar 4.18 Grafik Hasil Pengujian EDX Pada Karbida variabel CP 1,1

Tabel 4.8 Presentase unsur-unsur pada karbida variabel CP 1,1

Unsur	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Rata-rata %unsur
C	0,55	0,43	0,69	0,55
O	3,53	16,29	6,56	8,79
Cr	2,38	1,9	2,66	2,31
Fe	93,54	81,37	90,08	88,33

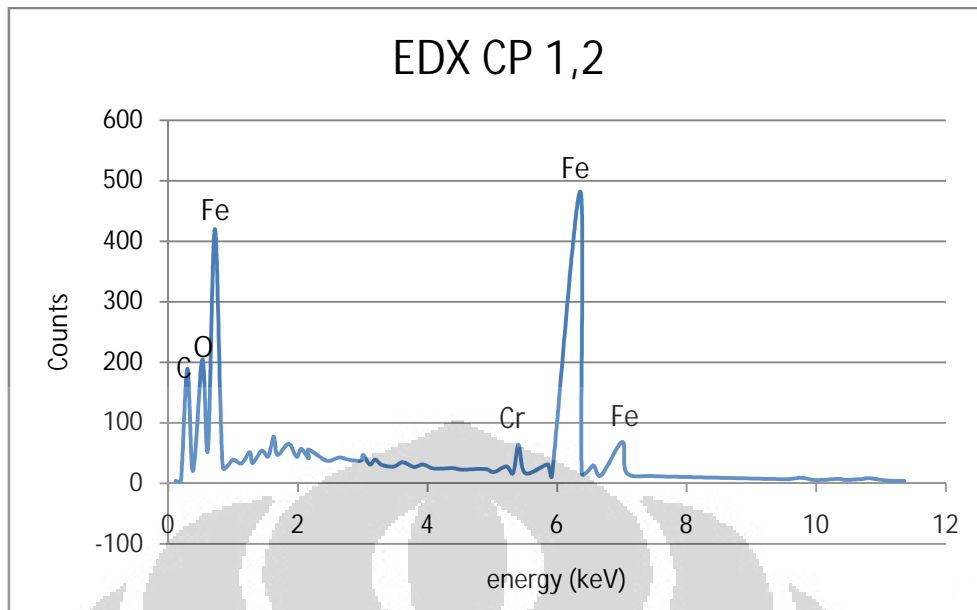
Tabel 4.8 menunjukkan unsur yang terdapat dalam karbida yang terbentuk pada baja SCM 440 setelah diberikan perlakuan *high concentration carburization*. Unsur yang terbentuk dalam karbida tersebut adalah C, O, Cr, dan Fe. Dari pengujian tersebut ditunjukkan bahwa presentase Cr pada karbida sebesar 2,31% dan kandungan C sebesar 0,55%. Berdasarkan **Tabel 1.1**, unsur Cr pada material dasarnya yaitu SCM 440 adalah sebesar 0,80 – 1,10% dan unsur C sebesar 0,38-0,43%. Peningkatan prosentase Cr dan C ini menunjukkan bahwa titik lokasi penembakan merupakan karbida kromium yang ditunjukkan oleh prosentase Cr dan C yang lebih tinggi dari daerah disekitarnya. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa karbida yang terbentuk dari proses *high concentration carburizing* merupakan $M_{23}C_6$ yang merupakan ikatan *carbide former* seperti Cr dan Mo didalam Fe_3C .^[14]

Namun, pada titik-titik penembakan tidak didapatkan unsur Mo karena unsur tersebut memiliki prosentase pada material awal yang sangat rendah yaitu 0,15-0,25%. Dengan prosentase yang kecil tersebut kemungkinan terbentuk karbida dipermukaan sangat kecil. Sehingga pada saat pengujian tidak didapatkan unsur Mo tersebut.

Gambar 4.19 merupakan lokasi penembakan elektron untuk mendapatkan komposisi unsur yang berada pada titik penembakan dan **Gambar 4.20** berikut merupakan hasil pengujian EDX untuk variabel CP 1,2.



Gambar 4.19 Lokasi Penembakan Elektron CP 1,2



Gambar 4.20 Grafik Hasil Pengujian EDX Pada Karbida variabel CP 1,2

Tabel 4.9 Presentase unsur-unsur pada karbida variabel CP 1,2

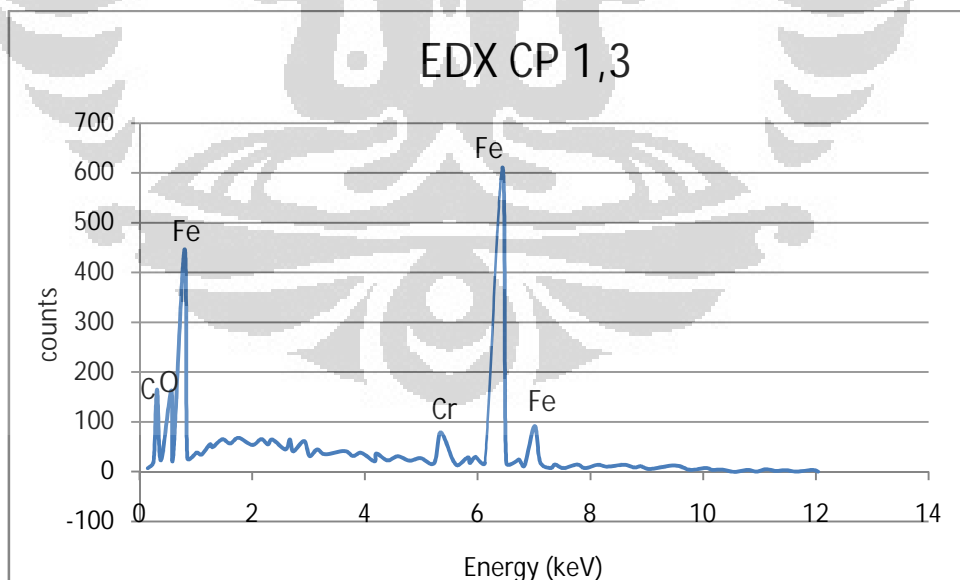
Unsur	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Rata-rata %unsur
C	0,52	0,79	0,92	0,74
O	9,99	5,56	8,03	7,86
Cr	2,49	5,48	4,11	4,02
Fe	87,0	87,81	86,9	87,24

Tabel 4.9 menunjukkan unsur yang terdapat dalam karbida yang terbentuk pada baja SCM 440 setelah diberikan perlakuan *high concentration carburization* yaitu C, O, Cr, dan Fe. Dari pengujian tersebut ditunjukkan bahwa presentase Cr pada karbida sebesar 4,02% dan kandungan Carbon sebesar 0,74%. Berdasarkan **Tabel 1.1**, unsur Cr pada material dasarnya yaitu SCM 440 adalah sebesar 0,80 – 1,10% dan unsur C sebesar 0.38-0.43%. Peningkatan prosentase Cr dan C ini menunjukkan bahwa titik lokasi penembakan merupakan karbida kromium yang ditunjukkan oleh prosentase Cr dan C yang lebih tinggi dari daerah disekitarnya. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa karbida yang terbentuk dari proses *high concentration carburizing* merupakan $M_{23}C_6$ yang merupakan ikatan *carbide former* seperti Cr dan Mo didalam Fe_3C .^[14]

Gambar 4.21 merupakan lokasi penembakan elektron untuk mendapatkan komposisi unsur yang berada pada titik penembakan dan **Gambar 4.22** berikut merupakan hasil pengujian EDX untuk variabel CP 1,3.



Gambar 4.21 Lokasi Penembakan Elektron CP 1,3



Gambar 4.22 Grafik Hasil Pengujian EDX Pada Karbida variabel CP 1,3

Tabel 4.10 Presentase unsur-unsur pada karbida variabel CP 1,3

Unsur	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Rata-rata %unsur
C	0,57	0,68	0,81	0,68
O	2,75	4,46	5,63	4,28
Cr	3,88	4,06	3,35	3,76
Fe	92,80	90,81	90,20	91,27

Tabel 4.10 menunjukkan unsur yang terdapat dalam karbida yang terbentuk pada baja SCM 440 setelah diberikan perlakuan *high concentration carburization* yaitu C, O, Cr, dan Fe. Dari pengujian tersebut ditunjukkan bahwa presentase Cr pada karbida sebesar 3,76% dan kandungan C sebesar 0,74%. Berdasarkan **Tabel 1.1**, unsur Cr pada material dasarnya yaitu SCM 440 adalah sebesar 0,80 – 1,10% dan unsur C sebesar 0.38-0.43%. Peningkatan prosentase Cr dan C ini menunjukkan bahwa titik lokasi penembakan merupakan karbida kromium yang ditunjukkan oleh prosentase Cr dan C yang lebih tinggi dari daerah disekitarnya. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa karbida yang terbentuk dari proses *high concentration carburizing* merupakan $M_{23}C_6$ yang merupakan ikatan *carbide former* seperti Cr dan Mo didalam Fe_3C .^[14]

Dari seluruh pengujian EDX dengan data kualitatif dan kuantitatif yang telah disajikan di atas, terlihat bahwa titik penembakan merupakan area karbida kromium yang dibuktikan dengan peningkatan prosentase unsur Cr di area tembakan yang mencapai prosentase tertinggi 4,02%.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pengerasan permukaan melalui proses *high concentration carburizing* terjadi melalui pembentukan karbida Cr pada permukaan.
2. Hasil pengujian kekerasan mikro (*case depth*) menunjukkan tidak terjadi indikasi dekarburisasi karena permukaan terluar merupakan bagian terkeras dari material tersebut.
3. Proses *high concentration carburizing* menghasilkan struktur mikro martensit, ferit, dan karbida yang tersebar merata di permukaan hingga - sub-permukaan.
4. Pada variabel CP 1,3 dihasilkan austenit sisa yang menyebabkan penurunan sifat mekanis pin.
5. Hasil pengujian aus menunjukkan bahwa semakin tinggi CP yang diberikan saat perlakuan panas, maka ketahanan ausnya pun semakin tinggi.
6. Pengujian kekerasan permukaan hasil proses *high concentration carburizing* menunjukkan nilai kekerasan optimum pada *Carbon Potential (CP)* 1,2 sebesar 66,525 HRC, nilai tersebut mendekati kekerasan komponen pin impor.
7. Dari penelitian ini didapat bahwa perlakuan *high concentration carburizing* dapat diaplikasikan pada komponen pin sebagai substitusi produk komponen pin impor.

5.2 Saran

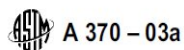
1. Untuk mencapai kedalaman pengerasan yang sama dengan komponen impor perlu dilakukan penelitian lanjut mengenai lama waktu penahanan pada *primary carburizing* maupun *secondary carburizing* dengan waktu tahan yang lebih pendek dari penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Ita, H. “Sebanyak 7,36 Juta Sepeda Motor Terjual selama 2010”. 7 Januari 2011.
<<http://www.harianhaluan.com>.>
- [2] Unterweiser, Paul M. *Heat Treater’s Guide Standard Practices and Procedures for Steel*. American Society for Metals: Ohio, 1982
- [3] ASM Handbook Vol. 1, *Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*. ASM International :USA, 1990. p. 254,
- [4] ASM handbook vol 4. *Heat Treating*. ASM International :USA, 1991. p.103, 163, 721, 727, 730-732, 739
- [5] Pribadi, Bangun *et al.* *Pengerasan Permukaan baja ST 40 dengan metode carburizing plasma lucutan pijar*, 2008
- [6] Davis, J.R *et al.* Carbon and Alloy steel. ASM Specialty Handbook. ASM International: USA, 1996.
- [7] Vlack, Lawrence Van. Terj Sriati Djaprie. Ilmu dan Teknologi Bahan. Erlangga : Jakarta, 1989.
- [8] Thelning, Karl Erik, *Steel and Its Heat Treatment*, 2nd ed. Butterworths, London : 1984
- [9] *Atlas of Isothermal Transformation Diagram*. ASM International, Ohio:1993
- [10] Krauss. G, *Steels. Heat Treatment and Processing Principle*. ASM International, Material Park: Ohio. 1995
- [11] ASTM E 92-00, *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. ASTM International: USA. 2000
- [12] Guy, Albert G *et al.* *Element of Physical Metallurgy*. Addison Wesley Publishing Company Inc : Philipina, 1974.
- [13] Callister, William D. Jr. *An Introduction Materials Science and Engineering*. 7rd Edition. Mc-Graw Hill. 2007
- [14] Machida, Isao *et al.* *High Concentration Carburized/Low-Strain Quenched Member and Process for Producing The Same*. Arlington, 2008.

- [15] Bates, H.J, Quenching of Steel, Metal Handbook Heat Treating, Cleaning and Finishing, Volume 2, ASM International: USA, 1962.
- [16] Totten, G.E *et al*, Handbook of Quenching and Quenching Technology, ASM International :USA, 1993.
- [17] Setiawan, Heri. *Pengaruh Metode Pendinginan Quench Temper Terhadap Sifat Mekanis Plain Carbon Steel AISI 1045*. Skripsi Departemen Metalurgi. Depok: 2001
- [18] ASM Handbook Vol 9, *Metallography and Microstructures*, ASM International: USA, 2004. p. 1500, 1502
- [19] Material Safety Data Sheet. Global Buhmwoo. Korea: 1996
- [20] American Society for Testing Materials (ASTM) E 18, *Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Material*, ASTM International: USA. 2003
- [21] Davies, DJ *et al*. *The structure, properties and heat treatment of metal*. Pitman books limited: london
- [22] Orr, P. J.; Kearns, S. L. (2011). "X-Ray Microanalysis of Burgess Shale and Similarly Preserved Fossils". *Quantifying the Evolution of Early Life*. Topics in Geobiology. **36**. p. 271–299.
- [23] Amerta, Darma. Mikroskop Pemindai Elektron (SEM). Diunduh 2 Januari 2012.
<<http://www.scribd.com/doc/25416900/Mikroskop-Pemindai-Elektron-Sem>>
- [24] Carburizing. THC Company Website. Diunduh pada tanggal 2 Januari 2012.
<http://www.gearandrack.com/gear_information/gear_heat_treatment/carburizing.html>
- [25] Qin, Ming *et al*. *Evaluation of Microstructure and Mechanical Properties in Case Layer of Carburizing-quenched SCr420 Steel by Numerical Simulation and Experimental Methods*. 2004
- [26] Dokumen PT FSCM Manufacturing Indonesia (terlampir)

Lampiran 1



A 370 – 03a

TABLE 2 Approximate Hardness Conversion Numbers for Non-austenitic Steels^A (Rockwell C to Other Hardness Numbers)

Rockwell C Scale, 150-kgf Load, Diamond Penetrator	Vickers Hardness Number	Brinell Hardness, 3000-kgf Load, 10-mm Ball	Knoop Hardness, 500-gf Load and Over	Rockwell A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	Rockwell Superficial Hardness			Approximate Tensile Strength, ksi (MPa)
					15N Scale, 15-kgf Load, Diamond Penetrator	30N Scale 30-kgf Load, Diamond Penetrator	45N Scale, 45-kgf Load, Diamond Penetrator	
68	940	...	920	85.6	93.2	84.4	75.4	...
67	900	...	895	85.0	92.9	83.6	74.2	...
66	865	...	870	84.5	92.5	82.8	73.3	...
65	832	739	846	83.9	92.2	81.9	72.0	...
64	800	722	822	83.4	91.8	81.1	71.0	...
63	772	706	799	82.8	91.4	80.1	69.9	...
62	746	688	776	82.3	91.1	79.3	68.8	...
61	720	670	754	81.8	90.7	78.4	67.7	...
60	697	654	732	81.2	90.2	77.5	66.6	...
59	674	634	710	80.7	89.8	76.6	65.5	351 (2420)
58	653	615	690	80.1	89.3	75.7	64.3	338 (2330)
57	633	595	670	79.6	88.9	74.8	63.2	325 (2240)
56	613	577	650	79.0	88.3	73.9	62.0	313 (2160)
55	595	560	630	78.5	87.9	73.0	60.9	301 (2070)
54	577	543	612	78.0	87.4	72.0	59.8	292 (2010)
53	560	525	594	77.4	86.9	71.2	58.6	283 (1950)
52	544	512	576	76.8	86.4	70.2	57.4	273 (1880)
51	528	496	558	76.3	85.9	69.4	56.1	264 (1820)
50	513	482	542	75.9	85.5	68.5	55.0	255 (1760)
49	498	468	526	75.2	85.0	67.6	53.8	246 (1700)
48	484	455	510	74.7	84.5	66.7	52.5	238 (1640)
47	471	442	495	74.1	83.9	65.8	51.4	229 (1580)
46	458	432	480	73.6	83.5	64.8	50.3	221 (1520)
45	446	421	466	73.1	83.0	64.0	49.0	215 (1480)
44	434	409	452	72.5	82.5	63.1	47.8	208 (1430)
43	423	400	438	72.0	82.0	62.2	46.7	201 (1390)
42	412	390	426	71.5	81.5	61.3	45.5	194 (1340)
41	402	381	414	70.9	80.9	60.4	44.3	188 (1300)
40	392	371	402	70.4	80.4	59.5	43.1	182 (1250)
39	382	362	391	69.9	79.9	58.6	41.9	177 (1220)
38	372	353	380	69.4	79.4	57.7	40.8	171 (1180)
37	363	344	370	68.9	78.8	56.8	39.6	166 (1140)
36	354	336	360	68.4	78.3	55.9	38.4	161 (1110)
35	345	327	351	67.9	77.7	55.0	37.2	156 (1080)
34	336	319	342	67.4	77.2	54.2	36.1	152 (1050)
33	327	311	334	66.8	76.6	53.3	34.9	149 (1030)
32	318	301	326	66.3	76.1	52.1	33.7	146 (1010)
31	310	294	318	65.8	75.6	51.3	32.5	141 (970)
30	302	286	311	65.3	75.0	50.4	31.3	138 (950)
29	294	279	304	64.6	74.5	49.5	30.1	135 (930)
28	286	271	297	64.3	73.9	48.6	28.9	131 (900)
27	279	264	290	63.8	73.3	47.7	27.8	128 (880)
26	272	258	284	63.3	72.8	46.8	26.7	125 (860)
25	266	253	278	62.8	72.2	45.9	25.5	123 (850)
24	260	247	272	62.4	71.6	45.0	24.3	119 (820)
23	254	243	266	62.0	71.0	44.0	23.1	117 (810)
22	248	237	261	61.5	70.5	43.2	22.0	115 (790)
21	243	231	256	61.0	69.9	42.3	20.7	112 (770)
20	238	226	251	60.5	69.4	41.5	19.6	110 (760)

^A This table gives the approximate interrelationships of hardness values and approximate tensile strength of steels. It is possible that steels of various compositions and processing histories will deviate in hardness-tensile strength relationship from the data presented in this table. The data in this table should not be used for austenitic stainless steels, but have been shown to be applicable for ferritic and martensitic stainless steels. The data in this table should not be used to establish a relationship between hardness values and tensile strength of hard drawn wire. Where more precise conversions are required, they should be developed specially for each steel composition, heat treatment, and part.

Lampiran 2

Dokumen PT FSCM Manufacturing Indonesia

Kelarutan Karbon pada Temperatur Tertentu

Temperatur (°C)	Kelarutan C (%)	Temperatur (°C)	Kelarutan C (%)
750	0,92	880	1,27
755	0,93	885	1,28
760	0,94	890	1,30
765	0,96	895	1,31
770	0,97	900	1,33
775	0,98	905	1,34
780	0,99	910	1,36
785	1,01	915	1,37
790	1,02	920	1,38
795	1,04	925	1,40
800	1,05	930	1,41
805	1,06	935	1,43
810	1,08	940	1,44
815	1,09	945	1,46
820	1,10	950	1,47
825	1,12	955	1,49
830	1,13	960	1,50
835	1,14	965	1,52
840	1,16	970	1,53
845	1,17	975	1,54
850	1,19	980	1,56
855	1,20	985	1,57
860	1,21	990	1,59
865	1,23	995	1,60
870	1,24	1000	1,62
875	1,26		

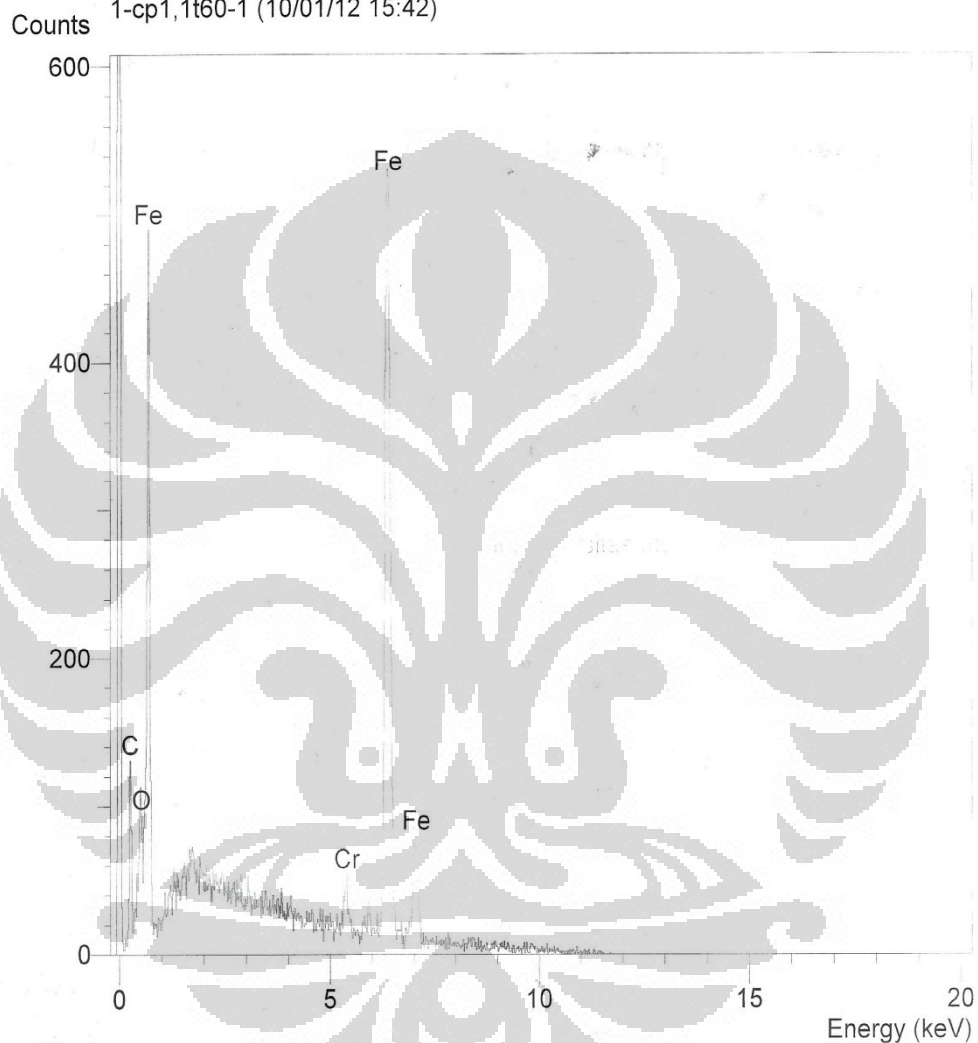
Universitas Indonesia

Lampiran 3

Hasil Pengujian EDX

CP 1,1 t=60 menit Lokasi 1

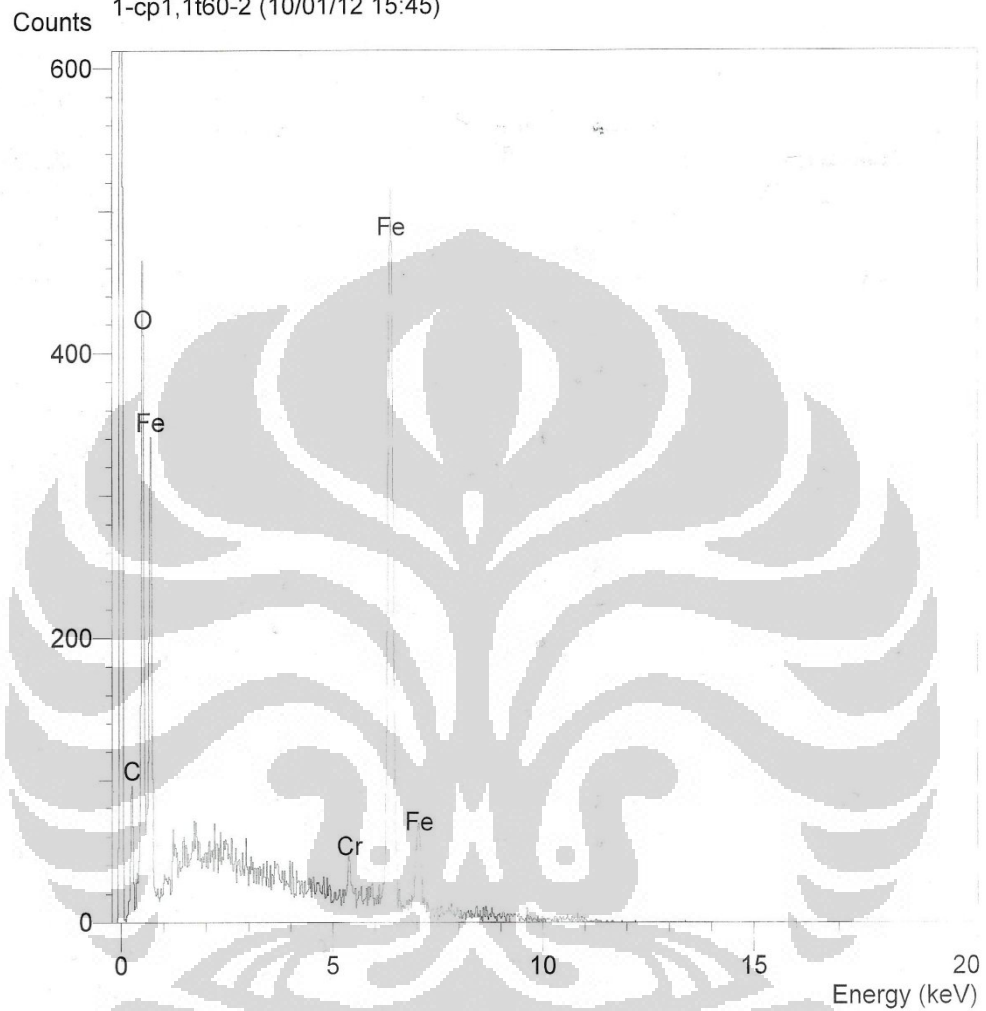
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
1-cp1,1t60-1 (10/01/12 15:42)



Universitas Indonesia

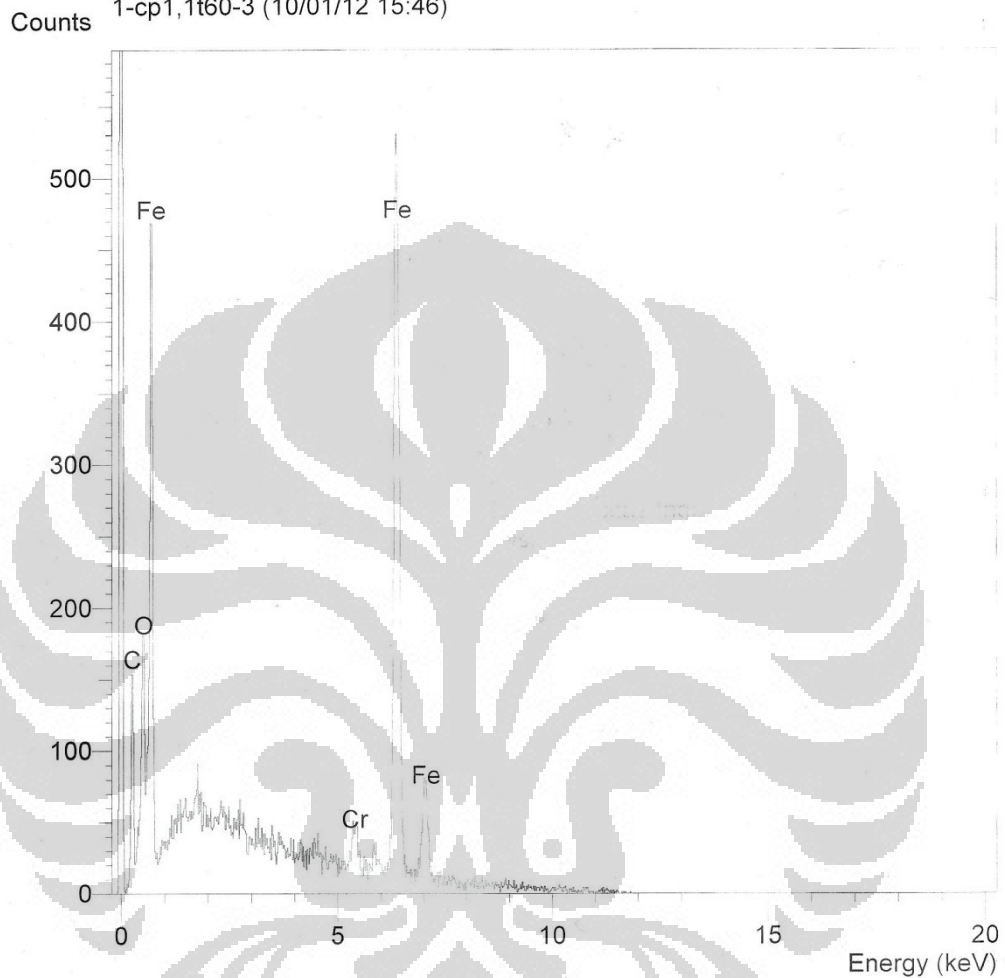
CP 1,1 t=60 menit Lokasi 2

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
1-cp1,1t60-2 (10/01/12 15:45)



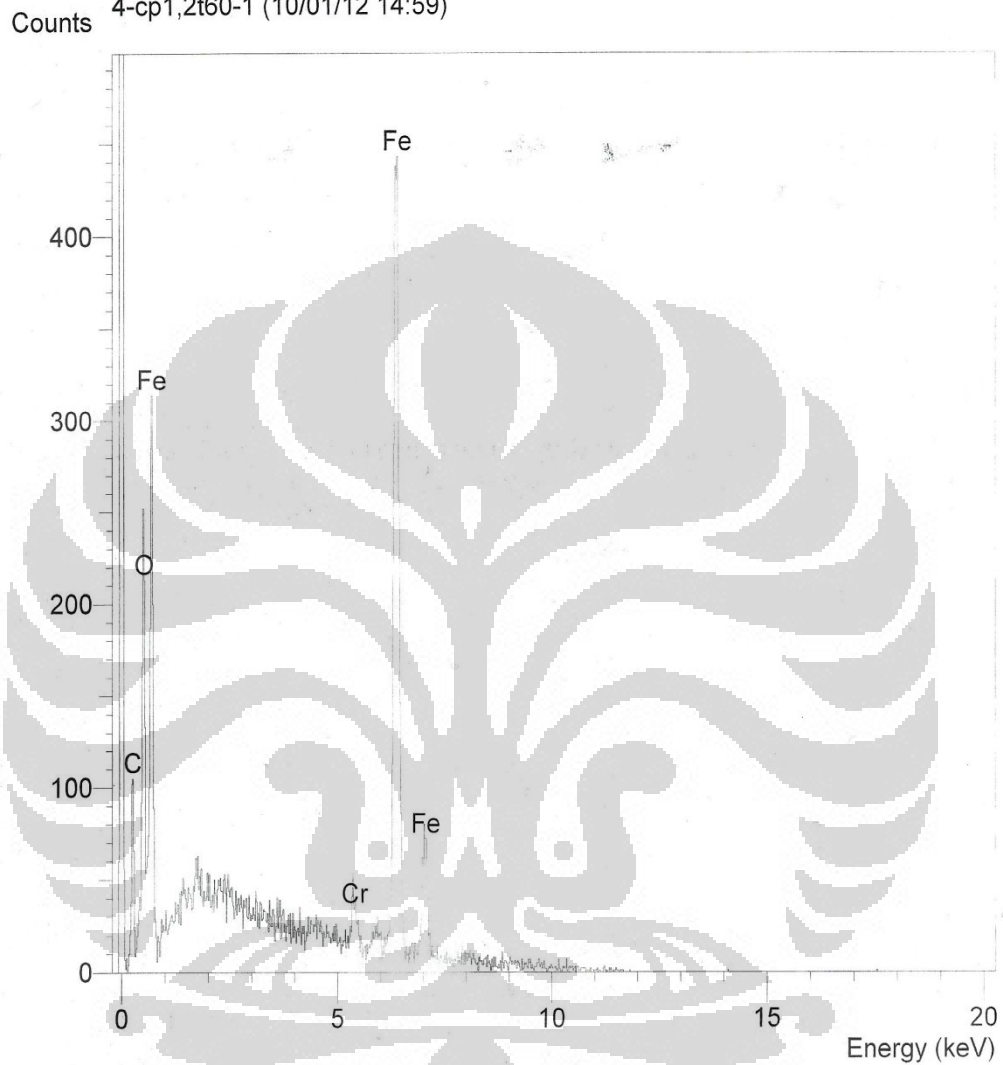
CP 1,1 t=60 menit Lokasi 3

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
1-cp1,1t60-3 (10/01/12 15:46)



CP 1,2 t=60 menit Lokasi 1

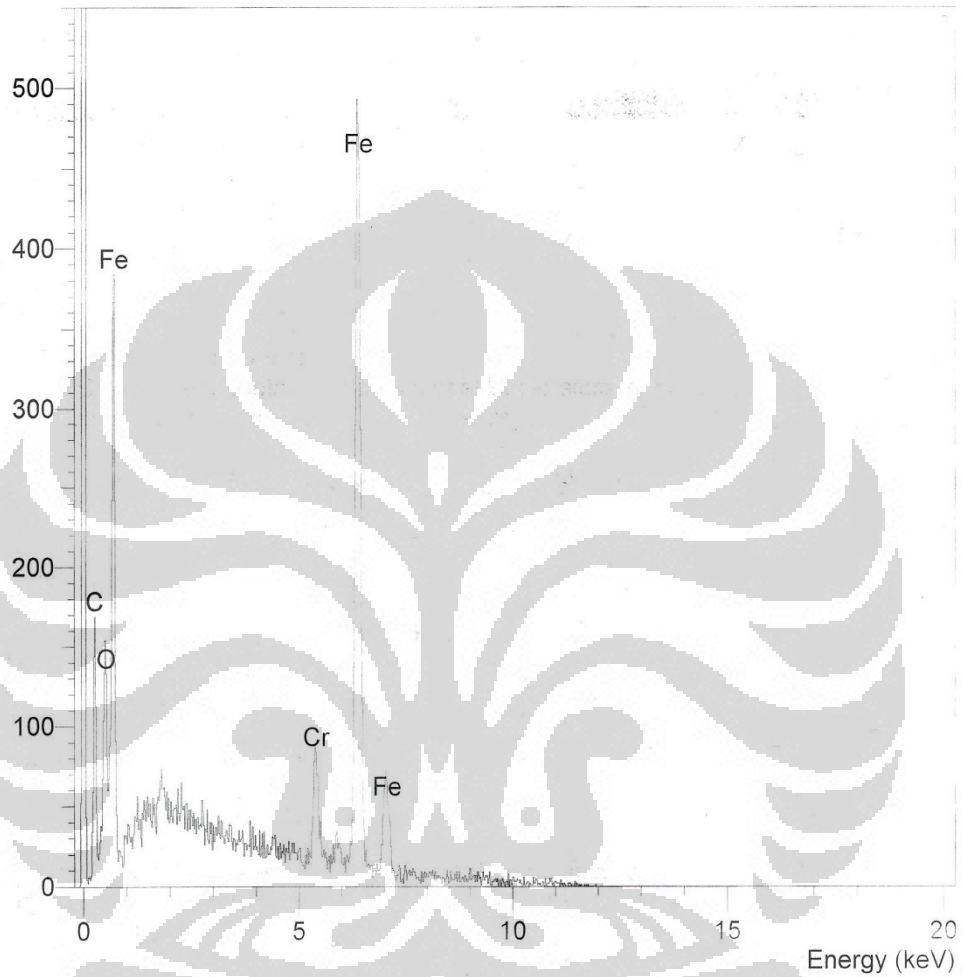
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
4-cp1,2t60-1 (10/01/12 14:59)



CP 1,2 t=60 menit Lokasi 2

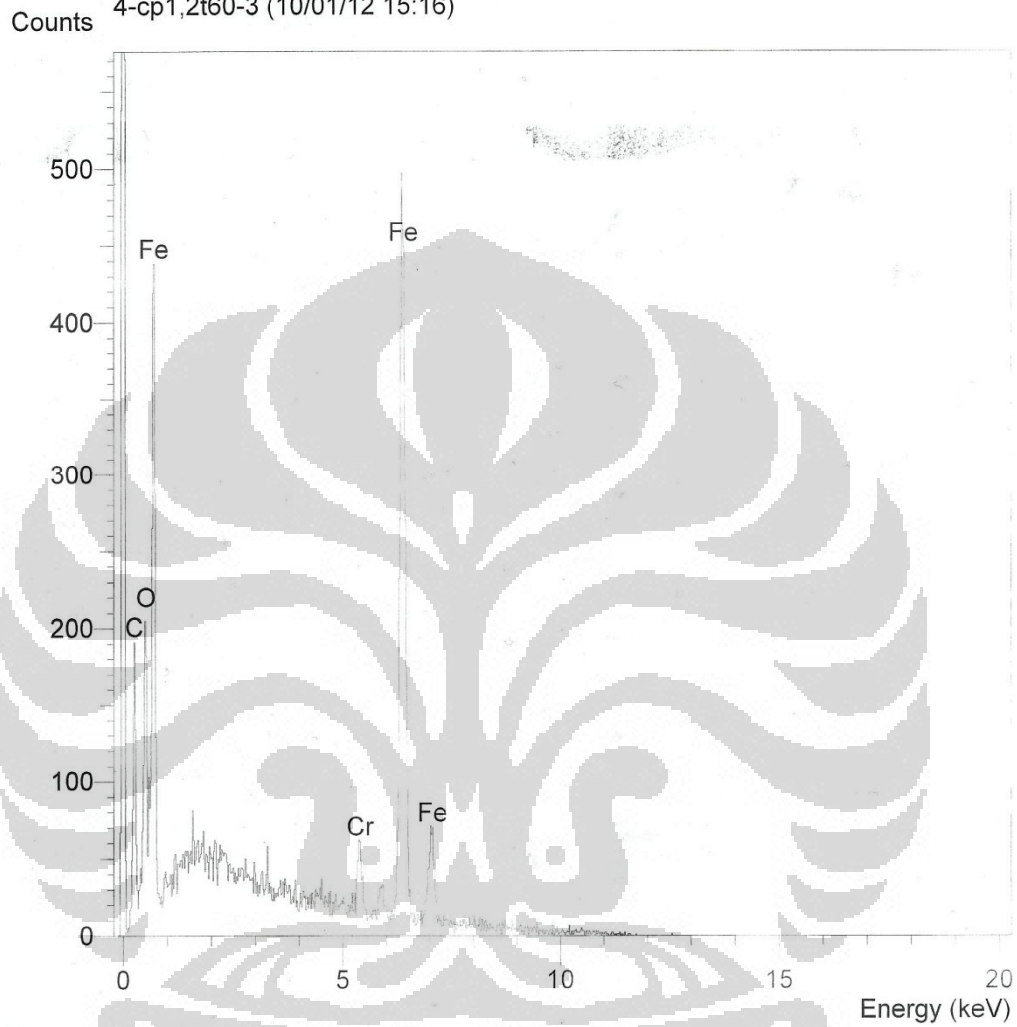
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
4-cp1,2t60-2 (10/01/12 15:11)

Counts



CP 1,2 t=60 menit Lokasi 3

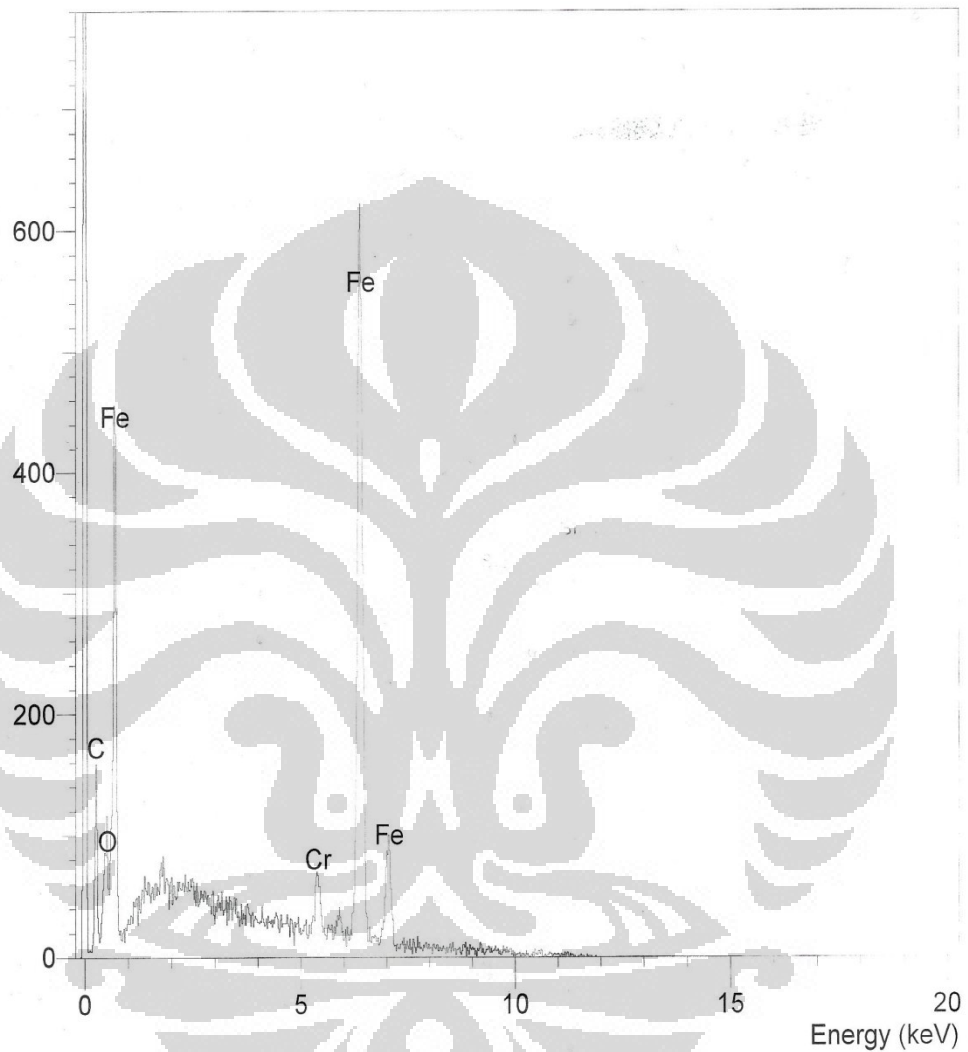
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
4-cp1,2t60-3 (10/01/12 15:16)



CP 1,3 t=60 menit Lokasi 1

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
5-cp1,3t60-1 (10/01/12 18:11)

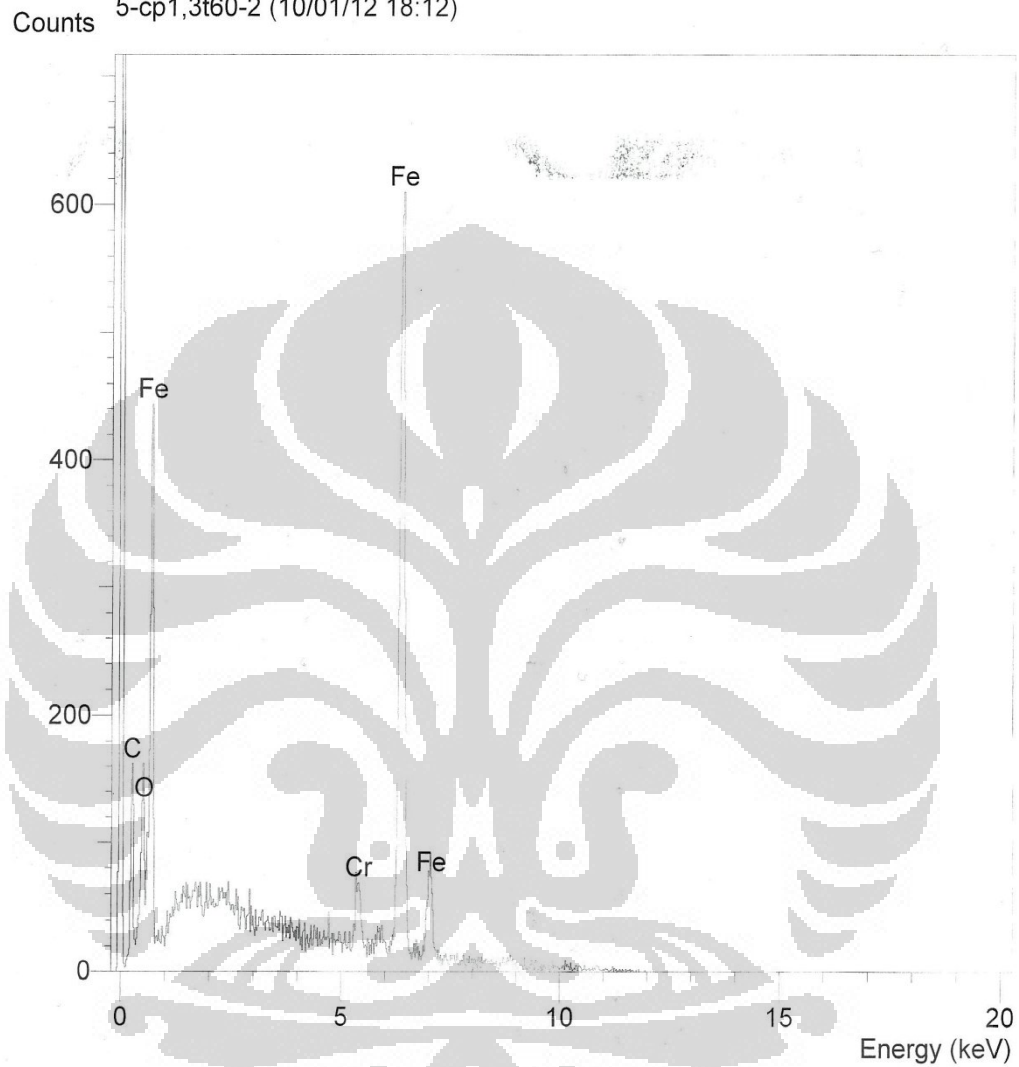
Counts



Universitas Indonesia

CP 1,3 t=60 menit Lokasi 2

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
5-cp1,3t60-2 (10/01/12 18:12)



CP 1,3 t=60 menit Lokasi 3

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
5-cp1,3t60-3 (10/01/12 18:13)

