



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KARBURISASI TERHADAP KARAKTERISTIK PELAT
RANTAI MOTOR BERBASIS BAJA SAE 1025 DENGAN MEDIA
QUENCH LELEHAN GARAM**

SKRIPSI

HENDY SETIAWAN

0706268556

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KARBURISASI TERHADAP KARAKTERISTIK PELAT
RANTAI MOTOR BERBASIS BAJA SAE 1025 DENGAN MEDIA
QUENCH LELEHAN GARAM**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

HENDY SETIAWAN

0706268556

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JUNI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Hendy Setiawan

NPM : 0706268556

Tanda Tangan : 

Tanggal : 16 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

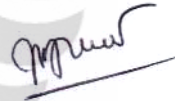
Nama : Hendy Setiawan
NPM : 0706268556
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi :

Pengaruh Karburisasi Terhadap Karakteristik Pelat Rantai Motor Berbasis Baja SAE 1025 Dengan Media *Quench* Lelehan Garam

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar, M.S.

()

Penguji 1 : Dwi Marta Nurjaya, ST, MT

()

Penguji 2 : Deni Ferdian, ST, M.Sc.

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena atas berkah dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, mulai dari masa perkuliahan sampai dengan penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar, M.S., selaku dosen pembimbing yang telah banyak menyediakan waktu, tenaga, pemikiran, dan kesabaran untuk mengarahkan saya dalam melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini;
2. PT FSCM yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melaksanakan penelitian dan menyediakan fasilitas bagi penulis selama penelitian;
3. Fandy Irwanto, ST dkk serta seluruh karyawan PT FSCM yang telah membantu penelitian ini secara langsung maupun tidak langsung; dan
4. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan material dan moral.

Akhir kata, saya berharap Allah Subhanahu Wa Ta'ala berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat sekecil apa pun itu bagi dia yang membacanya.

Depok, Juli 2011

Penulis

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

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

Nama : Hendy Setiawan
NPM : 0706268556
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik 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 Karburisasi Terhadap Karakteristik Pelat Rantai Motor Berbasis Baja SAE 1025 Dengan Media *Quench* Lelehan Garam

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 mempublikasikan 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 : 16 Juni 2011

Yang menyatakan,



(Hendy Setiawan)

ABSTRAK

Nama : Hendy Setiawan
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul :

Pengaruh Karburisasi Terhadap Karakteristik Pelat Rantai Motor Berbasis Baja SAE 1025 Dengan Media *Quench* Lelehan Garam

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh karburisasi, dengan tiga *carbon potential* yang berbeda, terhadap karakteristik pelat rantai motor berbasis baja SAE 1025. Tiga *carbon potential* berbeda yang diberikan adalah 0.35; 0.55; dan 0.75. Media *quench* yang digunakan dalam penelitian ini adalah lelehan garam dengan temperatur di atas temperatur *martensite start*. Karakterisasi mencakup pengujian kekerasan permukaan, pengujian *depth hardness*, pengujian tarik, dan pengamatan struktur mikro. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan meningkatnya *carbon potential* menyebabkan meningkatnya kekerasan permukaan dan juga penghalusan struktur *platelike* dari bainit bawah. Kekerasan permukaan untuk masing-masing *carbon potential* adalah 50.4 HRC, 46.7 HRC, dan 54 HRC. Kekerasan tertinggi dicapai oleh material dengan *carbon potential* 0.75. Pengamatan struktur mikro juga disajikan dalam penelitian ini.

Kata kunci:

baja SAE 1025, perlakuan panas, karburisasi, *carbon potential*, lelehan garam, struktur mikro, *depth hardness*

ABSTRACT

Name : Hendy Setiawan
Study Program : Metallurgy and Materials Science Engineering
Title :

Carburization Effect for Properties of SAE 1025 Steel Based Motor Chain Plate with Molten Salt Quenchant

The objective of this research is to see the influences of carburization, with three different carbon potentials, to the characteristic of motor chain plate based of SAE 1025 Steel. Three different carbon potentials that given are 0.35; 0.55; and 0.75. The quenchant that use in this research is a molten salt that have temperature above the martensite start temperature. The material characterizations including surface hardness testing, depth hardness testing, tensile testing, and microstructure analyzing. The results show that increasing the carbon potential causes the increasing of surface hardness and decreasing the coarseness of the platelike structure of lower bainite too. The surface hardness for each carbon potentials are 50.4 HRC, 46.7 HRC, and 54 HRC. The highest surface hardness is achieved by the material that have carbon potential number of 0.75. Microstructure analyzing is provide in this research too.

Key words:

SAE 1025 steel, heat treatment, carburizing, carbon potential, molten salt, microstructure, depth hardness

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pernyataan Orisinalitas	ii
Halaman Pengesahan	iii
Kata Pengantar	iv
Halaman Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah.....	v
Abstrak	vi
Abstract	vii
Daftar Isi.....	viii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Lampiran.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	
2.1 Baja Karbon Rendah SAE 1025	7
2.2 Perlakuan Panas dan Permukaan	7
2.2.1 Karburisasi	8
2.2.1.1 Karburisasi Gas	10
2.3 <i>Quenching</i>	14
2.4 Austempering.....	15
2.5 Struktur Mikro	16
2.5.1 Martensit.....	16
2.5.2 Bainit	17
2.5.3 Perlit.....	18
2.5.4 <i>Prior Austenite</i>	19

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian.....	20
3.2	Peralatan dan Bahan	21
3.2.1	Peralatan	21
3.2.1.1	Peralatan Perlakuan Panas	21
3.2.1.2	Peralatan Karakterisasi Sampel	21
3.2.2	Bahan	23
3.2.2.1	Bahan Perlakuan Panas.....	23
3.2.2.2	Bahan Karakterisasi Sampel.....	24
3.3	Prosedur Penelitian	24
3.3.1	Preparasi Sampel	24
3.3.2	Proses Perlakuan Panas	25
3.3.3	Pengujian	25
3.3.3.1	Uji Komposisi Kimia	25
3.3.3.2	Pengamatan Struktur Mikro	26
3.3.3.3	Uji Kekerasan.....	29
3.3.3.4	Uji Tarik.....	30

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Komposisi Kimia.....	31
4.2	Pengujian Kekerasan	31
4.2.1	Kekerasan Makro.....	32
4.2.2	Kekerasan Mikro.....	34
4.3	Pengujian Tarik.....	36
4.4	Pengamatan Struktur Mikro.....	37
4.4.1	Pengukuran Butir	38
4.4.2	Struktur Mikro	41

BAB 5 KESIMPULAN	48
-------------------------------	----

DAFTAR PUSTAKA	49
-----------------------------	----

LAMPIRAN	51
-----------------------	----

DAFTAR GAMBAR

BAB 1 PENDAHULUAN

Gambar 1.1. Skema Pembentukan Bainit Atas dan Bainit Bawah.....	4
--	---

BAB II LANDASAN TEORI

Gambar 2.1. Diagram TTT baja SAE 1027.....	8
---	---

Gambar 2.2. Grafik <i>Total Case Depth Versus Carburizing Time</i> Pada Empat Temperatur Berbeda.....	12
--	----

Gambar 2.3. Perbandingan Skema Diagram Antara Proses <i>Quenching Tempering</i> Konvensional dan <i>Austempering</i>	15
---	----

Gambar 2.4. Bentuk Martensit.....	16
--	----

Gambar 2.5. Skema Pembentukan Bainit Atas dan Bainit Bawah.....	18
--	----

Gambar 2.6. Foto Struktur Mikro Baja SAE 1080 Terlihat Koloni-koloni Lamelar dari Perlit. Perbesaran 200x.....	19
---	----

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	20
---	----

Gambar 3.2. <i>Meshbelt Furnace</i>	21
--	----

Gambar 3.3. <i>Rockwell Hardness Tester</i>	21
--	----

Gambar 3.4. <i>Vickers Hardness Tester</i>	21
---	----

Gambar 3.5. <i>Optical emission spectrometer (OES)</i>	22
---	----

Gambar 3.6. Mikroskop Optik Digital.....	22
---	----

Gambar 3.7. Mesin Amplas dan Poles.....	22
--	----

Gambar 3.8. <i>Mounting Set</i>	23
--	----

Gambar 3.9. Mesin Mesotom.....	23
---------------------------------------	----

Gambar 3.10. <i>Hair Dryer</i>	23
---	----

Gambar 3.11. Jangka Sorong.....	23
--	----

Gambar 3.12. Zat Etsa.....	24
-----------------------------------	----

Gambar 3.13. Spesimen Uji Tarik Pelat Berdasarkan JIS Z 2201 Tipe 13B.....	24
---	----

Gambar 3.14. Skema Pemantulan Cahaya Pada Permukaan Sampel.....	27
--	----

Gambar 3.15. Skema Penjejukan Metode <i>Vickers</i>	29
--	----

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4.1. Grafik Nilai Kekerasan Permukaan Sampel	33
Gambar 4.2. Grafik <i>Depth Hardness</i>	35
Gambar 4.3. <i>Stress-Strain Curve</i> Ketiga Sampel	37
Gambar 4.4. Struktur Mikro Sampel Awal SAE 1025. <i>Modified Picral</i> . 500x	38
Gambar 4.5. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.35. <i>Modified Picral</i> . 500x	38
Gambar 4.6. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.55. <i>Modified Picral</i> . 500x	39
Gambar 4.7. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.75. <i>Modified Picral</i> . 500x	39
Gambar 4.8. Struktur Mikro Sampel Awal baja SAE 1025. Nital 2-3%. 500x ...	41
Gambar 4.9. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.35. Nital 2-3%. 500x	42
Gambar 4.10. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.35. Nital 2-3%. 100x	42
Gambar 4.11. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.55. Nital 2-3%. 500x	43
Gambar 4.12. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.55. Nital 2-3%. 100x	44
Gambar 4.13. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.75. Nital 2-3%. 500x	45
Gambar 4.14. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.75. Nital 2-3%. 200x	45

DAFTAR TABEL

BAB 2 LANDASAN TEORI

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Baja SAE 1025.....	7
Tabel 2.2. <i>Typical Characteristics of Diffusion Treatments</i>	9
Tabel 2.3. <i>Compositions of Carbon-Controlled Atmospheres For Carburizing</i> ...	10
Tabel 2.4. Tabel <i>Grossman Quench Severity Factor</i> untuk beberapa media <i>quench</i>	14

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4.1. Tabel Hasil Pengujian Komposisi dan Standar SAE.....	31
Tabel 4.2. Kekerasan Permukaan Sampel Awal dan Hasil Perlakuan Panas.....	32
Tabel 4.3. Data Pengujian <i>Depth Hardness</i>	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Fick's Law	52
Lampiran 2 Diagram TTT untuk Baja SAE 1035	56
Lampiran 3 Diagram TTT untuk Baja SAE 1045	56
Lampiran 4 Diagram TTT untuk Baja SAE 1050	57
Lampiran 5 Diagram TTT untuk Baja SAE 1055	57
Lampiran 6 Diagram TTT untuk Baja SAE 1060	58
Lampiran 7 Hasil Uji Komposisi.....	59
Lampiran 8 Perhitungan Besar Butir.....	60

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan signifikan penjualan sepeda motor dari tahun ke tahun, menunjukkan besarnya potensi pangsa pasar otomotif di Indonesia. Penjualan motor nasional sepanjang semester pertama 2010 telah mencapai 3.599.322 unit. Di penghujung tahun ini, diperkirakan penjualan motor akan melampaui penjualan pada 2009^[1]. Hal ini tentunya juga berimbas pada peningkatan penjualan komponen motor. Tak dapat dihindari pula bahwa persaingan antar perusahaan komponen otomotif akan semakin tinggi.

Hal tersebut menuntut perusahaan untuk unggul dalam persaingan dengan pengembangan-pengembangan baru serta efisiensi yang lebih baik. Dalam industri komponen otomotif, sebagian besar digunakan material baja karbon medium sebagai bahan baku pembuatannya karena sifatnya yang fleksibel dalam proses pengerjaan dingin dan perlakuan panas. Namun untuk meningkatkan efisiensi, dikembangkanlah penggunaan baja karbon rendah sebagai bahan baku. Baja karbon rendah digunakan dengan pertimbangan harga yang lebih murah dan ketangguhannya yang baik. Namun di sisi lain, baja karbon rendah memiliki *hardenability* yang lebih rendah.

Untuk mencapai sifat yang dibutuhkan, baja karbon rendah dapat ditingkatkan kinerjanya dengan beberapa proses perlakuan panas seperti normalisasi, anil, *tempering*, *case hardening*, pengerasan langsung, dan lain-lain^[2]. Perlakuan panas *case hardening* adalah proses pengerasan permukaan, dimana hanya permukaan baja saja yang mengalami peningkatan kekerasan sampai kedalaman tertentu. *Case hardening* dapat dilakukan dengan beberapa proses yang berbeda, antara lain karburisasi, nitridisasi, nitrokarburisasi, karbonitridisasi^[3]. Perlakuan panas yang dapat dilakukan pada baja karbon rendah cukup beragam, namun untuk pengerasan langsung, dimana baja dipanaskan ke temperatur austenit, lalu kemudian di-*quench*, baja jenis ini tidak dapat memperoleh kekerasan yang maksimal. Kekerasan baja SAE 1025 dengan pengerasan langsung hanya mencapai kekerasan sekitar 45 HRC dan setelah

ditemper pada temperatur sekitar 320 °C kekerasan mencapai sekitar 38 HRC^[2]. Hal ini dikarenakan kadar karbon yang rendah sehingga sulit untuk terbentuknya martensit atau bainit. Hal ini juga yang menyebabkan rendahnya *hardenability* baja karbon rendah.

Kekurangan baja karbon rendah tersebut dapat diatasi 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 rendah terkarburisasi tersebut, dimana permukaan baja memiliki kekerasan yang tinggi sedangkan bagian inti baja tetap mempertahankan sifat baja karbon rendah, yaitu ulet. Dengan perpaduan dua sifat tersebut diharapkan baja karbon rendah hasil karburisasi akan dapat mempertinggi efisiensi biaya industri komponen otomotif.

1.2. Perumusan Masalah

Dengan persaingan yang sangat ketat pada industri komponen otomotif 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 SAE 1025 (*low carbon steel*). Proses karburisasi dipengaruhi oleh beberapa variabel diantaranya adalah *carbon potential*, temperatur, dan waktu karburisasi. *Carbon potential* adalah ketersediaan karbon dalam atmosfer karburisasi yang ada di dalam *furnace*. Temperatur karburisasi umumnya berkisar antara 850 s.d. 950 °C dimana fasa austenit stabil dengan kelarutan karbon yang tinggi^[4]. Sedangkan waktu karburisasi merupakan lamanya proses difusi atom karbon berlangsung dan akan berpengaruh kepada ketebalan lapisan terkarburisasi. Karakteristik dari material hasil karburisasi juga dipengaruhi oleh media *quench* yang digunakan karena masing-masing media *quench* memiliki kecepatan pendinginan yang berbeda-beda dan akan mempengaruhi mikrostruktur yang akan terbentuk. Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh variasi *carbon potential* terhadap karakteristik pelat rantai berbasis material baja SAE 1025 dengan penggunaan media *quench* lelehan garam.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

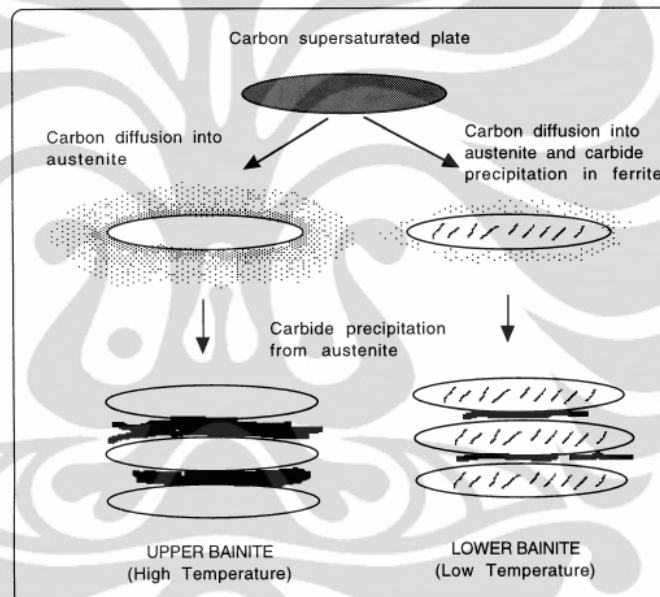
- a. Mengetahui mekanisme penguatan produk pelat rantai baja SAE 1025 dengan metode penguatan karburisasi dan diikuti dengan proses *austemper* pada lelehan garam.
- b. Mengetahui dan menganalisa karakteristik dari produk pelat rantai baja SAE 1025 hasil karburisasi yang meliputi struktur mikro, ukuran butir, kekerasan (permukaan dan inti), dan uji tarik.
- c. Mengetahui pengaruh *carbon potential* terhadap karakteristik pelat rantai baja SAE 1025.
- d. Membandingkan karakteristik sampel pelat rantai baja SAE 1025 hasil karburisasi dengan media *quench* lelehan garam dengan karakteristik sampel pelat rantai baja SAE 1050 hasil *austemper* konvensional.

1.4. Hipotesis

Carbon potential adalah ketersediaan karbon dalam atmosfer karburisasi. *Carbon potential* berpengaruh terhadap transfer karbon ke dalam komponen yang dikarburisasi. Semakin tinggi *carbon potential* maka *driving force* yang tersedia untuk proses transfer karbon ke dalam komponen akan semakin tinggi^[4]. Setelah proses karburisasi, dilakukan proses *quenching* untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja yang telah terkarburisasi. Pada tahap ini yang berperan penting adalah media *quench* yang digunakan, karena media *quench* akan menentukan struktur mikro dari komponen yang terkarburisasi tersebut. Dalam penelitian ini digunakan media *quench* lelehan garam. Penggunaan media *quench* lelehan garam bertujuan untuk terjadinya proses *austemper* dimana struktur mikro yang terbentuk adalah bainit, yang memiliki ketangguhan dan kekuatan yang baik serta ketahanan terhadap *hydrogen embrittlement*^[6]. Lelehan garam juga cenderung lebih menghasilkan distorsi yang lebih sedikit dan memiliki rentang temperatur pendinginan yang lebih besar^[3,5].

Pembentukan struktur mikro bainit dipengaruhi oleh temperatur pendinginan dan juga kandungan karbon pada material baja. Ada dua jenis struktur mikro bainit yaitu bainit atas (*upper bainite*) dan bainit bawah (*lower*

bainite). Bainit bawah terbentuk pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan bainit atas, skema pembentukan bainit atas dan bainit bawah dapat dilihat pada **gambar 1.1**. Bainit bawah memiliki kekuatan yang lebih tinggi karena keberadaan karbida baik di dalam plat ferit maupun di antara plat ferit. Ohmori dan Honeycombe (1971) dan juga Oka dan Okamoto (1986) menunjukkan baja karbon rendah, dengan kandungan karbon kurang dari 0.3 wt%, tidak dapat untuk membentuk struktur mikro bainit bawah. Sejalan dengan itu, struktur mikro bainit atas tidak terbentuk pada baja karbon dengan kandungan karbon lebih dari 0.4 wt%^[7].



Gambar 1.1. Skema Pembentukan Bainit Atas dan Bainit Bawah^[8].

Berdasarkan literatur maka hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut: “Proses karburisasi dengan *carbon potential* yang lebih tinggi dan dengan media *quench* lelehan garam mungkin akan menghasilkan karakteristik sampel pelat rantai berbasis baja SAE 1025 yang lebih baik”.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini akan membahas karakteristik sampel berupa pelat rantai sepeda motor hasil karburisasi yang dilanjutkan dengan pendinginan dengan media *quench* lelehan garam. Bahan baku yang digunakan adalah baja karbon rendah

SAE 1025 yang telah melalui pengerjaan dingin untuk pembentukan pelat rantai dari bahan baku berupa lembaran dengan tebal 1.5 mm.

Perlakuan panas yang dilakukan adalah pemanasan ke temperatur 870 °C (dengan toleransi ± 5 °C) dan diberikan atmosfer karburisasi dengan variasi *Carbon Potential* (CP). Atmosfer karburisasi yang digunakan terdiri dari CH₃OH, N₂, LPG, dan udara dengan komposisi yang sudah diatur secara otomatis. Proses ini dilakukan selama 45 menit, kemudian dilanjutkan dengan *quenching* pada temperatur di atas temperatur *martensite start* (Ms). Proses *quench* dilakukan dengan menggunakan media *quench* lelehan garam atau *salt bath* selama 30 menit. Pada penelitian ini dilakukan tiga variasi CP yang berbeda yaitu 0.3, 0.55, dan 0.75.

Karakteristik sampel akan diketahui melalui uji komposisi kimia, uji kekerasan yang dilakukan pada bagian permukaan dan juga inti sampel, uji metalografi untuk mengetahui struktur mikro yang didapatkan, pengukuran besar butir, dan juga uji tarik rantai yang dilakukan setelah pelat rantai di-*assembling* menjadi rantai siap pakai. Setelah itu karakteristik sampel yang telah didapatkan akan dibandingkan dengan karakteristik pelat rantai berbasis baja SAE 1050 yang dilakukan *austemper* tanpa karburisasi untuk melihat apakah karakteristik pelat baja berbasis baja SAE 1025 hasil karburisasi minimal dapat menyamai karakteristik pelat rantai berbasis baja SAE 1050 hasil *austemper* biasa.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan berisi latar belakang penelitian, perumusan permasalahan, tujuan penelitian, hipotesis penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 Landasan Teori berisi studi literatur yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB 3 Metodologi Penelitian berisi diagram alir penelitian, variabel penelitian, formulasi penelitian, komposisi material, spesifikasi dan karakteristik material, peralatan preparasi sampel pengujian, peralatan karakterisasi sampel dan prosedur penelitian secara terperinci.

BAB 4 Hasil dan Pembahasan berisi data-data hasil penelitian dan juga analisis dari hasil penelitian yang diperoleh.

BAB 5 Kesimpulan berisi kesimpulan akhir berdasarkan pembahasan dan analisis akhir dari penelitian ini.



BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Baja Karbon Rendah SAE 1025

Material yang digunakan dalam penelitian ini sebagai sampel adalah baja karbon rendah SAE 1025 yang memiliki sifat *hardenability* yang rendah akibat rendahnya kadar karbon dalam baja tersebut. Berikut ini adalah komposisi kimia baja SAE 1025:

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Baja SAE 1025^[2]

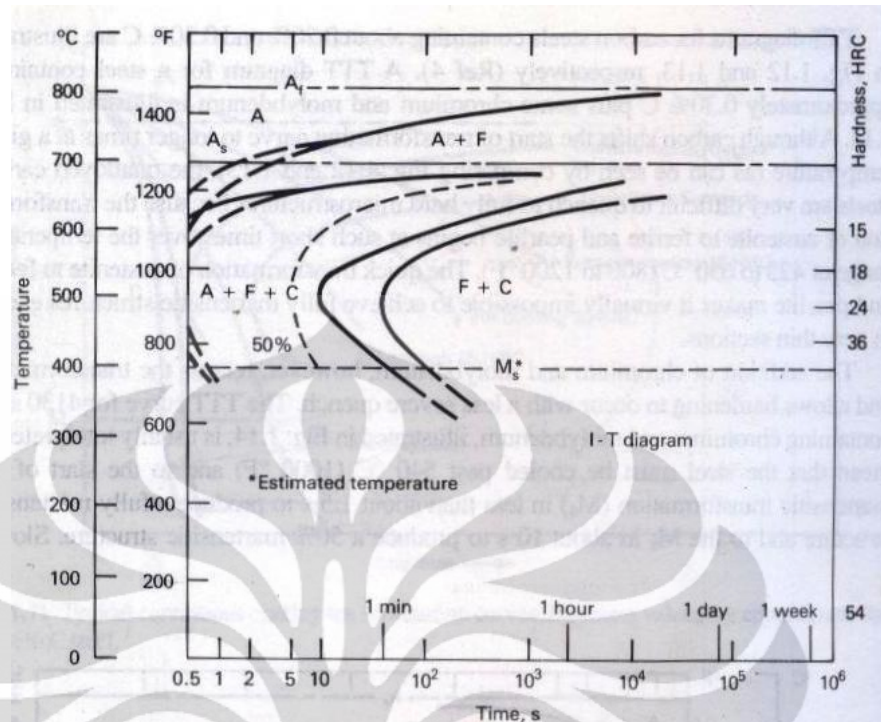
Spesifikasi Baja Karbon	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
SAE 1025 / JIS S25 C	0.22 s.d. 0.28	0.3 s.d. 0.6	Max 0.04	Max 0.05

Baja SAE 1025 termasuk ke dalam keluarga baja karbon rendah yang memiliki kisaran kadar karbon antara 0.22 sampai 0.28 % C. Baja karbon ini penggunaannya cukup luas karena harganya yang murah, keuletan yang sangat baik, dan mampu mesin serta mampu las yang baik. Namun baja ini memiliki kekurangan yaitu *hardenability* yang buruk karena kadar karbon yang dikandungnya sedikit. Baja jenis ini sering digunakan pada aplikasi seperti *body* mobil, baja struktural, baja lembaran untuk pipa, bangunan, jembatan, dan kaleng minuman^[9].

2.2 Perlakuan Panas dan Permukaan

Perlakuan panas adalah suatu tahapan proses yang bertujuan untuk mendapatkan atau memperbaiki sifat-sifat mekanis seperti kekerasan, keuletan, dan sebagainya. 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 yang dapat dilakukan terhadap baja SAE 1025 adalah normalisasi, anil, pengerasan langsung, *tempering*, dan *case hardening*^[2]. Karena *hardenability* baja SAE 1025 buruk maka jika dilakukan proses pengerasan langsung akan dihasilkan kekerasan yang tidak maksimal. Berikut ini adalah diagram TTT untuk baja karbon rendah.



Gambar 2.1. Diagram TTT baja SAE 1027^[5]

Permasalahan yang dihadapi dalam aplikasi baja karbon rendah adalah *hardenability* yang rendah. Hal ini menyebabkan sulitnya untuk meningkatkan kekerasan baja SAE 1025 dengan perlakuan panas biasa (*quench and tempering*). Namun hal ini dapat diatasi dengan proses karburisasi. Dimana *hardenability* baja SAE 1025 dapat ditingkatkan dengan proses karburisasi. Dengan proses karburisasi permukaan baja dapat dikeraskan sampai kedalaman tertentu. Hal ini akan menghasilkan sifat unggul dimana permukaan baja memiliki kekerasan tinggi sedangkan inti baja akan tetap lunak. Sifat ini akan menguntungkan pada aplikasi rantai motor dimana dibutuhkan kekerasan namun di sisi lain dibutuhkan juga ketangguhan.

2.2.1 Karburisasi

Merupakan salah satu jenis dari perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kadar karbon pada permukaan baja. Karburisasi adalah proses penambahan karbon ke dalam permukaan baja karbon rendah pada temperatur austenisasi (biasanya antara 850 s.d. 950 °C) dimana fasa austenit stabil dengan

kelarutan karbon yang tinggi^[4]. Proses karburisasi terjadi melalui mekanisme difusi, mengikuti persamaan Fick's I sebagai berikut^[3]:

$$J = -D \frac{\delta c}{\delta x} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana, J = jumlah substansi yang lewat dalam satuan waktu melalui area dalam bidang normal terhadap sumbu x (gr/cm².s)

D = koefisien difusi (cm²/s)

c = konsentrasi substansi yang berdifusi (g/cm³)

x = koordinat (cm)

dan juga persamaa Fick's II sebagai berikut^[3]:

$$\frac{\delta c}{\delta t} = D \frac{\delta^2 c}{\delta x^2} \dots \dots \dots (2.2)$$

dalam proses karburisasi, konsentrasi karbon dalam atmosfer sangat mempengaruhi kedalaman atom karbon yang masuk ke dalam baja. Konsentrasi karbon dalam atmosfer dikontrol dengan *carbon potential*. Dimana *carbon potential* merupakan fungsi dari a_c (karbon aktif), sedangkan a_c dapat dihitung dengan rumus berikut: $a_c = \frac{[P_{CO}]}{K[P_{O_2}]^{1/2}}$, dimana a_c adalah karbon aktif, P_{CO} adalah tekanan parsial gas CO, P_{O_2} adalah tekanan parsial gas O₂, dan K merupakan konstanta ekuilibrium untuk reaksi (2.8)^[4].

Pengerasan dicapai pada saat lapisan permukaan yang terkarburisasi di-*quench* untuk membentuk martensit sehingga permukaan martensit yang tahan aus dan fatik melapisi inti baja karbon rendah yang tangguh. Juga bisa di-*quench* dengan media quench lelehan garam, seperti yang dilakukan dalam penelitian ini, agar didapatkan fasa bainit yang tangguh dan lebih tahan terhadap *hydrogen embrittlement*. Sebelum dilakukan karburisasi material sudah dibentuk menjadi bentuk yang diinginkan untuk aplikasi.

Karburisasi dibagi menjadi lima macam berdasarkan media karburisasi yang digunakan^[10], yaitu:

1. Karburisasi gas (*gas carburizing*)
2. Karburisasi cair (*liquid carburizing*)
3. Karburisasi plasma (*ion carburizing*)
4. Karburisasi padat (*pack carburizing*)

5. Karburisasi lelehan garam (*salt bath carburizing*)

Masing-masing jenis karburisasi tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan sendiri. Pada survei yang dilakukan di Amerika Serikat dan Kanada 48% memilih karburisasi gas dibandingkan dengan karburisasi lainnya^[11].

Tabel 2.2. *Typical Characteristics of Diffusion Treatments*^[4]

Process	Nature of case	Process Temperature (°C)	Typical case depth	Case Hardness (HRC)	Typical base metals	Process characteristics
Pack	Diffused carbon	815-1090	125 μm -1.5 mm	50-63	Low-carbon steels, low carbon alloy steel	Low equipment costs, difficult to control case depth accurately
Gas	Diffused carbon	815-980	75 μm -1.5 mm	50-63	Low-carbon steels, low carbon alloy steels	Good control of case depth, suitable for continuous operation, good gas controls required, can be dangerous
Liquid	Diffused carbon	815-980	50 μm -1.5 mm	50-65	Low-carbon steels, low carbon alloy steels	Faster than pack and gas processes, can pose salt disposal problem, salt baths require frequent maintenance
Vacuum	Diffused carbon	815-1090	75 μm -1.5 mm	50-63	Low-carbon steels, low carbon alloy steels	Excellent process control, bright parts, faster than gas carburizing, high equipment costs

2.2.1.1 Karburisasi Gas

Karburisasi gas merupakan proses karburisasi dimana media, yang menjadi sumber karbon, berbentuk gas. Karburisasi gas menjadi metode karburisasi yang sangat populer dalam dua dekade terakhir ini^[10]. Media karburisasi utama yang digunakan dalam proses ini adalah gas hidrokarbon seperti metana, propana, atau

LPG. Dalam proses ini gas hidrokarbon harus dicairkan dengan *carrier gas* untuk menghindari pembentukan jelaga (*heavy sooting*). *Carrier gas* yang biasa digunakan adalah gas endotermik, campuran antara karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), nitrogen (N₂), dan dalam jumlah sedikit karbon dioksida (CO₂), uap air (H₂O), dan metana (CH₄). Berikut ini adalah tabel beberapa komposisi atmosfer karburisasi.

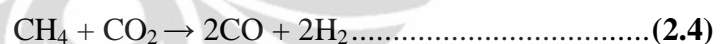
Tabel 2.3. *Compositions of Carbon-Controlled Atmospheres For Carburizing*^[4]

Input Atmosphere	Furnace atmosphere analysis, %					
	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	Trace Impurities	
					H ₂ O	CO ₂
Endothermic + CH ₄	37	48	18	5	0.05	0.1
N ₂ -20% CH ₃ OH + CH ₄	37	40	18	5	0.05	0.1
N ₂ -17% CH ₄ -4% CO ₂	70	16	7	7	0.005	0.05
N ₂ -20% CH ₄ -5% H ₂ O	55	28	10	7	0.01	0.05

Gas CO dan CH₄ berperan dalam karburisasi sedangkan H₂, H₂O, dan CO₂ berperan dalam dekarburisasi. Gas N₂ yang bersifat inert hanya berperan sebagai gas pengencer. Untuk mengatur *carbon potential*, karbon yang tersedia dalam atmosfer karburisasi, digunakan gas hidrokarbon untuk memperkaya *carrier gas* dengan cara mengurangi H₂O menurut persamaan reaksi berikut:



Dan juga mengurangi CO₂ menurut persamaan reaksi berikut:



Serta mengizinkan reaksi karburisasi berikut untuk terjadi:



Selain persamaan (2.3) ada juga beberapa reaksi karburisasi utama yang terjadi pada atmosfer CO – CO₂ – H₂ – H₂O – CH₄, yaitu:



Keberhasilan proses karburisasi bergantung pada tiga variabel yaitu temperatur, waktu, dan komposisi atmosfer (*carbon potential*).

1. Temperatur

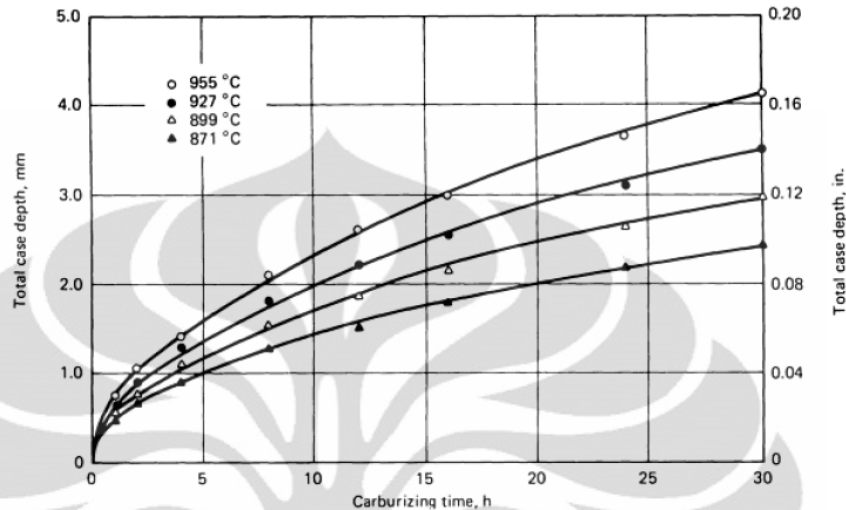
Kecepatan maksimum dimana karbon dapat ditambahkan ke dalam baja terbatas pada kecepatan difusi karbon dalam austenit. Kecepatan difusi tersebut meningkat tajam dengan adanya peningkatan temperatur. Kecepatan penambahan karbon pada 925 °C sekitar 40% lebih besar dari kecepatan pada 870 °C. Temperatur yang sering digunakan dalam proses karburisasi adalah 925 °C. Temperatur ini memberikan kecepatan karburisasi yang layak tanpa kerusakan peralatan *furnace* yang berlebihan, terutama *trays* dan *fixtures*.

Temperatur karburisasi terkadang ditingkatkan sampai 955 °C atau 980 °C untuk mempersingkat waktu karburisasi pada komponen yang membutuhkan lapisan terkarburisasi yang dalam. Di sisi lain, karburisasi yang tipis biasanya dilakukan pada temperatur yang lebih rendah karena kedalaman lapisan terkarburisasi dapat dikontrol lebih akurat dengan kecepatan karburisasi yang lebih lambat yang diperoleh pada temperatur yang lebih rendah.

Untuk hasil yang konsisten dalam proses karburisasi, temperatur harus seragam pada seluruh komponen. Gradien temperatur pada komponen akan berlangsung untuk beberapa waktu saat komponen dipanaskan sampai temperatur karburisasi. Karena bagian luar komponen mencapai temperatur *furnace* pertama kali, bagian tersebut akan mulai mengalami karburisasi sebelum bagian dalam komponen. Konsekuensinya adalah ketidakseragaman pada kedalaman lapisan terkarburisasi, selain itu jelaga dapat terdeposisi pada bagian komponen yang dingin yang terpapar atmosfer karburisasi. Oleh karena itu, untuk hasil yang baik, komponen harus dipanaskan sampai temperatur karburisasi di dalam *furnace* dengan atmosfer yang nyaris netral. Dalam *batch furnaces*, komponen dapat dipanaskan dalam Endogas sampai komponen tersebut mencapai temperatur *furnace*; kemudian karburisasi dapat dimulai dengan penambahan *enriching gas*. Atau dengan penggunaan continuous furnace dimana terdapat beberapa bagian ruang (*chamber*) dan dapat memastikan komponen dalam temperatur yang seragam sebelum komponen tersebut memasuki ruang karburisasi.

2. Waktu

Efek dari waktu dan temperatur pada kedalaman lapisan terkarburisasi dapat ditunjukkan pada grafik berikut ini.



Gambar 2.2. Grafik *Total case depth* versus *Carburizing time* pada empat temperatur berbeda^[4]

Dari **gambar 2.2.** dapat dilihat bahwa semakin lama waktu karburisasi maka ketebalan lapisan terkarburisasi akan semakin dalam (tebal). Dapat dilihat juga bahwa dengan peningkatan temperatur maka waktu yang diperlukan untuk mencapai kedalaman lapisan terkarburisasi yang sama akan lebih singkat. Atau dengan kata lain waktu karburisasi menurun dengan adanya peningkatan temperatur karburisasi. Untuk komponen yang langsung di-*quench* sesudah proses karburisasi, waktu karburisasi mungkin perlu diperpanjang untuk

3. Komposisi Atmosfir

Komposisi atmosfer akan berpengaruh terhadap carbon potential, yang akan menentukan seberapa besar atom karbon yang terdifusi ke dalam komponen yang dikarburisasi. Komposisi atmosfer karburisasi juga harus dijaga keseimbangannya agar tidak terbentuk jelaga baik dalam furnace maupun pada komponen yang dikarburisasi, juga untuk menjaga agar konsentrasi karbon pada permukaan komponen masih di bawah batas kelarutan karbon dalam austenit^[4].

2.3 *Quenching*

Quenching adalah proses pendinginan cepat suatu komponen logam dari temperatur austenisasi ke temperatur dimana fasa yang kita inginkan dapat terbentuk, pada baja umumnya adalah struktur mikro martensit. *Quenching* dikatakan berhasil jika kita telah mampu mendapatkan struktur mikro, kekerasan, kekuatan maupun ketangguhan yang kita inginkan dengan tetap meminimalisasi tegangan sisa, distorsi dan kemungkinan terjadinya retak (*cracking*)^[4].

Pemilihan media *quench* yang tepat tergantung pada *hardenability* material, ketebalan dan geometri komponen, serta kecepatan pendinginan untuk mendapatkan struktur mikro yang diinginkan. Media *quench* atau *quenchant* yang biasa digunakan antara lain:

- a. Air
- b. Oli
- c. Lelehan garam
- d. Lelehan logam
- e. Larutan polimer

Kemampukerasan adalah kemampuan material untuk mengalami pengerasan dengan membentuk martensit. Baja karbon rendah memiliki kemampukerasan yang rendah karena kelarutan karbonnya yang rendah. Sebaliknya pada baja karbon menengah dan tinggi akan mudah membentuk martensit karena kelarutan karbonnya cukup tinggi untuk memudahkan terbentuknya martensit.

Selama proses *quenching*, bentuk maupun ketebalan benda kerja juga akan mempengaruhi kecepatan pendinginan dari komponen. Hal ini terjadi karena energi panas di dalam benda kerja akan terlebih dahulu mengalir ke permukaan komponen sebelum nantinya dibuang ke media *quench*. Inilah yang menyebabkan kecepatan pendinginan antara di dalam dan di permukaan komponen berbeda tergantung dari ketebalan dan geometri bentuknya^[4].

Penggunaan media *quench* yang tepat juga ikut berpengaruh pada kecepatan pendinginan. Semakin tinggi kecepatan pendinginan maka semakin dalam juga efek dari pengerasan/pembentukan martensit. Pengaruh media *quench* dapat diketahui dengan menggunakan *grossman quench severity factor*, *H*, pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.4. Tabel *Grossman Quench Severity Factor* untuk beberapa media *quench*^[4]

Circulation or Agitation	Grossman Quench Severity Factor, H			
	Brine Water	Water	Oil and Salt	Air
None	2	0.9 - 1.0	0.25 - 0.3	0.02
Mild	2 - 2.2	1.0 - 1.1	0.3 - 0.35	...
Moderate	...	1.2 - 1.3	0.35 - 0.4	...
Good	...	1.4 - 1.5	0.4 - 0.5	...
Strong	...	1.6 - 2.0	0.5 - 0.8	...
Violent	5	4	0.8 - 1.1	...

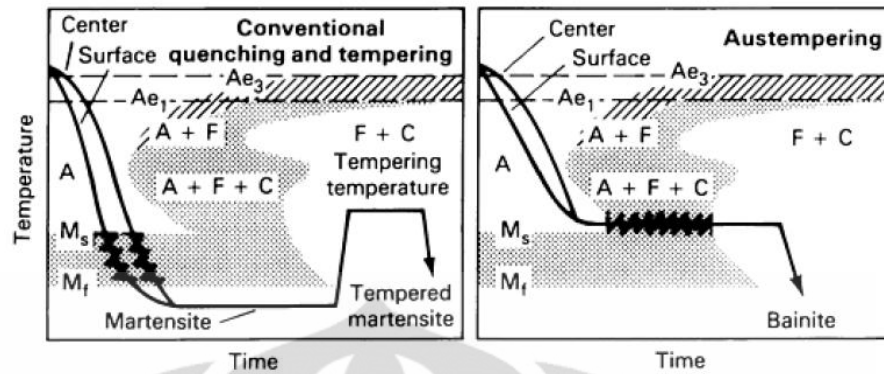
2.4 Austempering

Austempering adalah transformasi paduan besi secara isothermal pada temperatur di bawah temperatur pembentukan perlit dan di atas temperatur pembentukan martensit. Beberapa keuntungan yang didapat dengan proses austempering adalah:

1. Peningkatan keuletan, ketangguhan, dan kekuatan
2. Pengurangan distorsi, yang mana akan mengurangi proses *machining*, *sorting*, *inspection*, serta mengurangi *scrap* yang dihasilkan.
3. Efisiensi proses yang cukup tinggi (cepat, relatif murah, dan hemat energi) dengan hasil kekerasan berkisar antara 35-55 HRC

Austempering diawali dengan proses austenisasi (pemanasan pada temperatur dimana fasa austenit stabil, biasanya 790-915 °C. Setelah semua fasa berubah menjadi austenit, kemudian dilakukan *quenching* sampai ke temperatur sedikit di atas garis *Martensite Start* (Ms), kemudian ditahan beberapa saat. Biasanya untuk proses *quenching* yang ditahan tersebut digunakan media *quench* lelehan garam yang dijaga temperaturnya sehingga terjadi proses *holding*. Setelah itu dilakukan pendinginan sampai ke temperatur ruang.

Banyak peneliti yang menyetujui kemiripan struktur mikro hasil dari *austempering* dengan *quenching* dan *tempering* konvensional. Memang hasil struktur mikro yang dihasilkan kedua proses tersebut sulit untuk dibedakan, namun kedua proses tersebut sebenarnya menghasilkan struktur mikro yang berbeda. *Austempering* menghasilkan struktur mikro bainit sedangkan *quenching* dan *tempering* menghasilkan struktur mikro martensit temper. Dari segi proses pun kedua proses tersebut memiliki perbedaan yang mendasar, hal tersebut dapat dilihat dari diagram proses pendinginan pada gambar berikut.



Gambar 2.3. Perbandingan Skema Diagram Antara Proses *Quenching Tempering* Konvensional dan *Austempering*^[4]

Seperti sudah disinggung sebelumnya, media *quench* yang biasa digunakan untuk *austempering* adalah lelehan garam (*salt bath*). Media *quench* lelehan garam banyak digunakan karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain: transfer panas yang baik, mengurangi masalah *vapour barrier* pada tahap awal *quenching*, viskositas yang sama hampir di semua temperatur, viskositas yang rendah sehingga sukar berkurang pada saat proses *quenching*, dan larut dalam air sehingga mudah dibersihkan. Terlepas dari kelebihan tersebut, sebenarnya media *quenching* oli juga dapat digunakan, namun hanya terbatas untuk temperatur *quench* di bawah 245 °C. Pada temperatur di atas 245 °C oli akan menjadi tidak stabil, viskositasnya berubah drastis sehingga oli menjadi media *quench* yang lambat dan mudah terbakar.

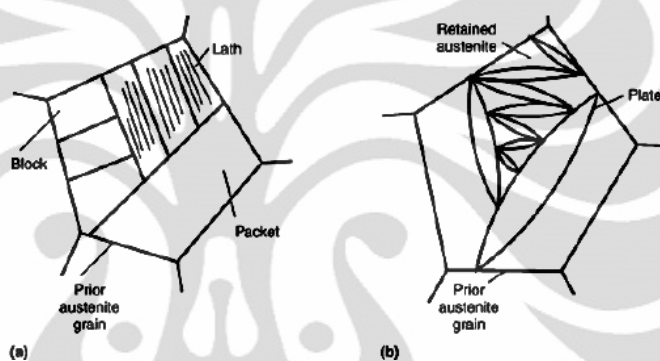
2.5 Struktur Mikro

2.5.1 Martensit

Martensit merupakan fasa metastabil yang memiliki kekerasan sangat tinggi. Martensit 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. Mekanisme *diffusionless* akan membuat karbon tidak berubah menjadi sementit dalam perlit ataupun bainit, melainkan akan terperangkap di dalam bentuk oktahedral dari struktur kristal bcc. Ketika martensit terbentuk, kelarutan karbon di dalam struktur bcc akan menjadi

sangat jenuh. Hal ini yang akan membentuk struktur kristal baru berupa struktur bct.

Pada baja karbon rendah, martensit akan berbentuk *lath* martensit. *Lath* martensit akan berbentuk seperti bilah-bilah halus yang diantaranya terdapat sedikit austenit sisa. Beberapa baja dengan struktur *lath* martensit memiliki bentuk yang sangat halus sehingga sulit dilihat menggunakan mikroskop optik biasa. Perbedaan bentuk *lath* dan *plate* martensit dapat dilihat pada **Gambar 2.4**. *Plate* martensit terbentuk pada baja karbon tinggi. Bentuk dari *plate* martensit ini memiliki struktur seperti jarum dan tidak paralel, melainkan acak. Di dalam martensit jenis ini terdapat banyak austenit sisa karena rendahnya temperatur M_s .



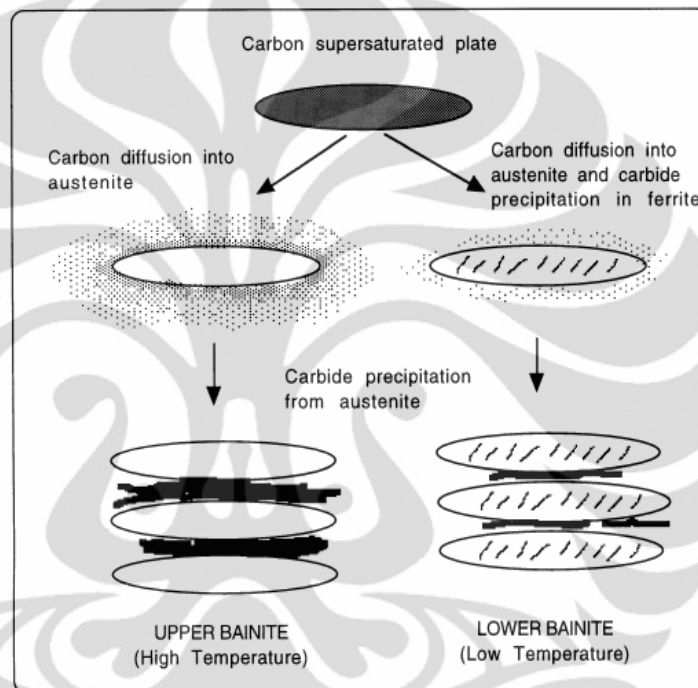
Gambar 2.4. Bentuk Martensit (a) *Lath* dan (b) *Plate*.

2.5.2 Bainit

Bainit merupakan fasa metastabil selain martensit, karena didapatkan dengan melakukan pendinginan cepat. Bainit memiliki bentuk umum berupa *non-lamellar* yang terdiri dari ferit *lath* atau *plate* dengan 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 geser/*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.

Bainit dibagi dua berdasarkan bentuk dan temperatur pembentukannya. Bainit yang terbentuk pada temperatur tepat di bawah temperatur pembentukan perlit adalah bainit atas (*upper bainite*). Pada baja karbon menengah dan tinggi,

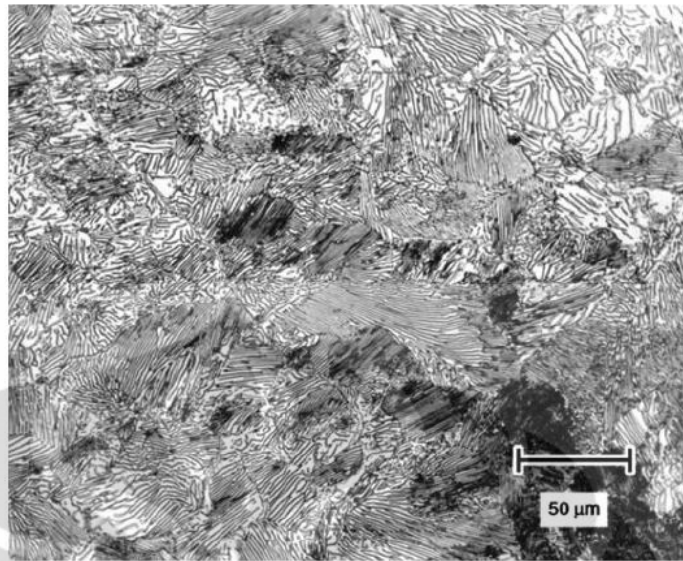
biasanya akan terbentuk ferit bentuk *lath* dengan butiran sementit kasar di tengah-tengahnya. Pada **Gambar 2.5.** akan diilustrasikan mekanisme pertumbuhan bainit atas dan bainit bawah. Sementara itu, bainit yang terjadi pada temperatur yang lebih rendah atau tepat di atas temperatur M_s adalah bainit bawah (*lower bainite*). Bainit bawah ini memiliki bentuk seperti jarum-jarum *plate*. Sementit maupun karbida di dalam bainit bawah ini letaknya tidak hanya berada di antara *plate* tapi juga berada di dalam ferit dalam butiran-butiran halus yang kerapatannya tinggi^[8].



Gambar 2.5. Skema Pembentukan Bainit Atas dan Bainit Bawah^[8].

2.5.3 Perlit

Perlit merupakan struktur mikro akibat transformasi eutektoid pada baja dari austenit (γ) yang menghasilkan fasa ferit (α) dan sementit (Fe_3C) dalam bentuk koloni-koloni lamelar (**Gambar 2.6**). Ferit dan sementit di dalam perlit akan terbentuk di temperatur A_1 atau sekitar $727^\circ C$. Fasa perlit terjadi ketika baja didinginkan secara normal atau lambat sampai mengenai hidung perlit. Perlit akan bernukleasi dan tumbuh di batas butir austenit. Mekanisme pengaturan ulang atom besi dari struktur kristal fcc austenit menuju struktur bcc ferit terjadi pada *interface austenite-ferrite*. Sementara itu atom karbon karena kelarutannya rendah akan masuk ke dalam austenit sisa yang tidak bertransformasi menjadi sementit di dalam ferit.



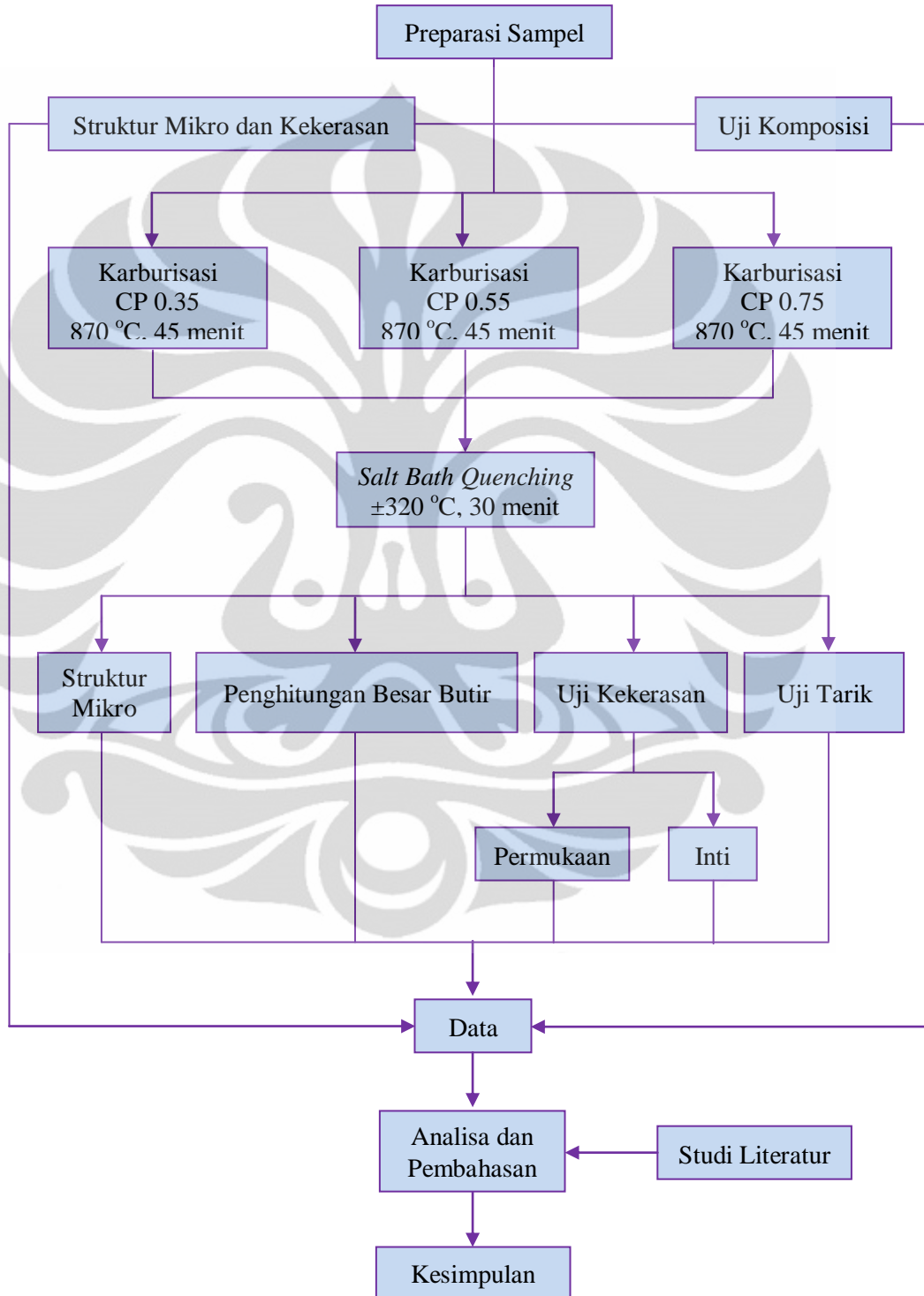
Gambar 2.6. Foto Struktur Mikro Baja SAE 1080 Terlihat Koloni-koloni Lamelar Dari Perlit. Perbesaran 200x^[8].

2.5.4 Prior Austenite

Prior austenite adalah austenit yang terbentuk saat proses austenisasi, sebelum material mengalami pendinginan cepat. Besar butir *prior austenite* mempengaruhi ukuran struktur mikro akhir yang terbentuk. Pada proses karburisasi, setelah material dilakukan proses difusi karbon ke dalam baja, dilakukan pendinginan cepat untuk membentuk fasa martensit di permukaan. Jejak fasa austenit didapat dengan proses etsa menggunakan zat etsa picral 15%.

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Peralatan dan Bahan

3.2.1. Peralatan

3.2.1.1. Peralatan Perlakuan Panas

i. *Meshbelt Furnace*



Gambar 3.2. *Meshbelt Furnace*

3.2.1.2. Peralatan Karakterisasi Sampel

i. *Rockwell hardness tester*



Gambar 3.3. *Rockwell Hardness Tester*

ii. *Vickers hardness tester*



Gambar 3.4. *Vickers Hardness Tester*

iii. *Optical emission spectrometer (OEM)*



Gambar 3.5. *Optical emission spectrometer (OES)*

iv. Mikroskop optik digital



Gambar 3.6. Mikroskop Optik Digital

v. Mesin amplas dan poles



Gambar 3.7. Mesin Amplas dan Poles

vi. *Mounting set*Gambar 3.8. *Mounting Set*

vii. Mesin Mesotom



Gambar 3.9. Mesin Mesotom

viii. Mesin uji tarik

ix. *Hair Dryer*Gambar 3.10. *Hair Dryer*

x. Jangka sorong



Gambar 3.11. Jangka Sorong

3.2.2. Bahan**3.2.2.1. Bahan Perlakuan Panas**i. Media *quench* lelehan garam

3.2.2.2. Bahan Karakterisasi Sampel

- i. Kertas amplas berbagai *mesh*
- ii. Kain beludru
- iii. *Titanium oxyde*
- iv. Resin
- v. Hardener
- vi. Air
- vii. Larutan nital 2-3 %
- viii. Larutan picral
- ix. Rol film

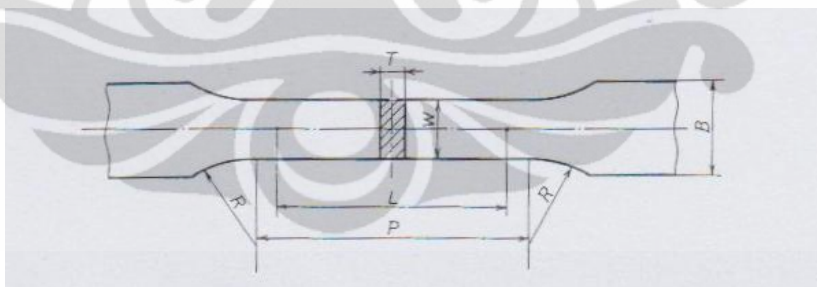


Gambar 3.12. Zat Etsa

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Preparasi Sampel

Sampel yang akan dibuat dalam penelitian ini berbentuk spesimen uji tarik berdasarkan standar JIS Z 2201 tipe 13B. Seharusnya sampel berbentuk pelat rantai, namun karena beberapa masalah pada mesin *blanking* pembentukan pelat rantai maka sampel dibentuk menjadi sampel uji tarik dengan dimensi dan bentuk sebagai berikut.



Width W	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T	Width of gripped portion B
12.5	50	60 approx.	20 to 30	Thickness of material	20 min.

Gambar 3.13. Spesimen Uji Tarik Pelat Berdasarkan JIS Z 2201 Tipe 13B.

Setelah dipreparasi, sampel bisa langsung masuk ke proses perlakuan panas.

3.3.2. Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah karburisasi yang dilanjutkan dengan *quenching* lelehan garam, atau dengan kata lain ini merupakan proses austemper dimana pada saat proses austenisasi diberikan atmosfer karburisasi ke dalam *furnace*. Proses ini diawali dengan pemanasan sampel sampai 870 °C sambil diberikan atmosfer karburisasi dengan variasi *carbon potential* sebesar 0.35, 0.55, dan 0.75 selama 45 menit. Variasi carbon potential dilakukan untuk melihat pengaruhnya terhadap karakteristik sampel yang terbentuk. Kemudian dilanjutkan *quenching* dengan media lelehan garam yang temperaturnya dijaga pada 320 °C (lihat **lampiran 1** s.d. **lampiran 6**) dengan waktu tahan 30 menit, pada tahap ini terjadi proses *austemper*. Setelah itu sampel akan melalui tahap pembersihan dengan air bertemperatur 60 °C untuk membersihkan sampel dari garam. Dan terakhir sampel akan melalui *blower* untuk proses pengeringan.

3.3.3. Pengujian

3.3.3.1. Uji Komposisi Kimia

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui komposisi dari material. Menurut data manufaktur, material yang digunakan adalah baja karbon standar SAE 1025, dengan melakukan pengujian komposisi kimia akan diketahui apakah material tersebut sesuai standarnya atau tidak.

Pengujian ini dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material FTUI dengan menggunakan alat OES (*Optical Emission Spectrometer*). Dimana, sebelum pengujian alat tersebut dilakukan kalibrasi terlebih dahulu.

Prinsip dari pengujian ini adalah, material dipanaskan menggunakan kampuh api (*arc*), dimana akibat proses pemanasan ini atom-atom elemen memiliki energi yang cukup untuk berpindah ke energi yang lebih tinggi. Atom tereksitasi ke energi yang lebih tinggi sambil melepas sinar-x/*light/wave length* dimana akan ditangkap oleh detektor dan kemudian dideteksi karena setiap elemen memiliki karakteristik yang berbeda-beda.

Pada pengujian ini sampel akan mengalami pemanasan sehingga dapat terjadi perubahan struktur mikro atau fasa. Oleh sebab itu, pada penelitian ini, sampel pengujian komposisi dibuat terpisah dan tidak digunakan untuk pengujian lainnya.

3.3.3.2. Pengamatan Struktur Mikro

Untuk mendapatkan hasil struktur mikro yang baik maka pada pengujian metalografi sampel membutuhkan beberapa langkah preparasi dari mulai *mounting*, pengamplasan, pemolesan sampai *etching*.

1. *Mounting* Sampel

Setelah sampel dipotong kemudian dilakukan *mounting*. Tujuan dari proses *mounting* adalah untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dalam proses-proses selanjutnya dan juga agar yang terekspos hanyalah pada permukaan sampel uji saja. Media *mounting* yang digunakan harus sesuai dengan material, pada umumnya bahan *mounting* merupakan material plastik sintetik yaitu, resin (*castable resin*) yang dicampur dengan *hardener* atau katalis. Penggunaan *castable resin* lebih mudah dan alat yang digunakan juga lebih sederhana dibandingkan bakelit. Hal itu dikarenakan tidak diperlukannya aplikasi panas dan tekanan. Namun, bahan *castable resin* ini tidak memiliki sifat mekanik yang baik (lunak) sehingga kurang cocok untuk material-material yang keras.

Dalam pengujian yang dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material, menggunakan *mounting* jenis *castable mounting*. Pertama-tama, cetakan disiapkan dengan menutup salah satu bagian ujung dari silinder dengan isolasi. Kemudian sampel yang telah dipotong diletakkan pada dasar cetakan dimana permukaan sampel yang akan diamati, menghadap ke bawah. Tuang resin sebanyak $\frac{2}{3}$ dari tinggi cetakan (mencukupi sampai menutupi seluruh sampel) dan dicampur dengan ± 10 tetes *hardener*. Setelah diaduk dan tercampur secara merata, campuran resin dengan *hardener* dituang ke dalam cetakan. Cetakan didiamkan selama 20-25 menit, sehingga resin telah mengeras kemudian *mounting* dikeluarkan dari cetakan.

2. Pengamplasan Sampel

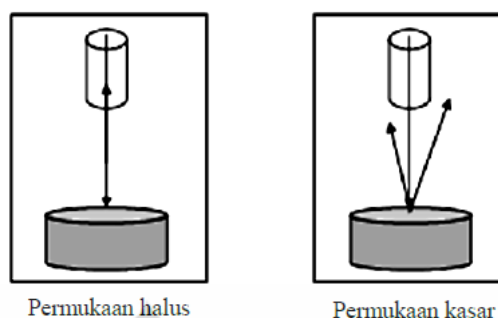
Tujuan dari proses pengamplasan adalah untuk meratakan, menghaluskan permukaan sampel, menghilangkan kotoran atau karat sehingga didapatkan permukaan sampel yang bersih. Biasanya, sampel yang baru dipotong akan memiliki permukaan yang kasar. Permukaan yang kasar membuat pengamatan mikrostruktur sulit dilakukan selain itu, dari hasil pemotongan akan terbentuk banyak bidang pada permukaannya.

Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan mesh. Urutan pengamplasan dilakukan dari nomor *mesh* yang terendah ke nomor *mesh* yang tinggi (200, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2400). Hal yang sangat penting diperhatikan saat proses pengamplasan adalah pemberian air. Dalam proses ini air berfungsi sebagai pemindah geram, memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul, dan memperpanjang masa pemakaian kertas amplas. Selain itu, ketika melakukan perubahan arah pengamplasan maka arah yang baru harus 45° atau 90° dari arah sebelumnya sehingga tidak akan menyebabkan *scratch* baru pada permukaan.

Proses pengamplasan dilakukan di laboratorium metalografi dan HST, Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Pertama, kertas amplas dipasang pada mesin amplas. Kemudian mesin dinyalakan dimulai dari kecepatan rendah dahulu dan dinaikkan sesuai kebutuhan secara perlahan-lahan. Yang paling penting adalah adanya aliran air yang kontinyu pada permukaan amplas ketika sampel diletakkan di permukaan kertas. Ketika diletakkan di atas mesin amplas, sampel dipegang dengan erat dan rata karena jika tekanan tidak rata ketika memegang sampel akan terbentuk banyak bidang pada permukaan sampel. Kertas amplas harus diganti dengan *mesh* yang lebih tinggi untuk mendapatkan permukaan yang halus dan rata.

3. Pemolesan Sampel

Sampel yang dilakukan proses poles adalah sampel untuk pengujian mikrostruktur. Tujuan dari proses ini untuk mendapatkan permukaan sampel yang halus dan mengkilat seperti kaca dan tanpa gores. Permukaan sampel yang akan diamati dibawah mikroskop harus benar-benar rata. Karena jika permukaan sampel kasar atau bergelombang maka pengamatan struktur mikro akan sulit dilakukan. Hal ini disebabkan cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak oleh permukaan sampel.



Gambar 3.14. Skema Pemantulan Cahaya Pada Permukaan Sampel

4. Etsa Sampel

Tahap terakhir dari proses preparasi sampel untuk pengujian metalografi adalah etsa atau *etching*. Tahapan ini dilakukan agar struktur mikro dari sampel dapat terlihat pada mikroskop.

Etsa merupakan proses korosi atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali melalui pencelupan ke dalam larutan pengetsa baik menggunakan listrik maupun tidak ke permukaan sampel sehingga detail struktur yang akan diamati akan terlihat jelas dan tajam. Proses etsa pada umumnya terbagi menjadi dua, yaitu: etsa kimia dan etsa elektrik (*electro-etch*). Pengujian ini menggunakan proses etsa kimia. Proses 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 SAE 1025 merupakan jenis dari kelas baja karbon, karena itu larutan kimia yang digunakan adalah nital 2%. Larutan ini merupakan larutan asam nitrat + alkohol 95%. Tujuannya adalah untuk mendapatkan fasa perlit, ferit, martensit, dan bainit dari sampel^[8].

Pada proses etsa, pastikan dahulu bahwa sampel yang telah dipoles telah bersih. Pengetsaan dilakukan dengan mencelupkan permukaan sampel ke dalam zat etsa (nital 2%) selama 5-10 detik. Selama proses pencelupan sampel sebaiknya diputar/digoyang untuk membantu proses etsa yang merata. Sewaktu pencelupan juga harus diperhatikan jangan sampai permukaan sampel terlalu hangus karena terlalu lama. Setelah dicelup, permukaan dibersihkan dengan air dan alkohol. Air berfungsi untuk menghentikan korosi sedangkan alkohol untuk membantu mempercepat penguapan air sewaktu sampel dikeringkan. Pengeringan dilakukan

menggunakan *dryer* hingga tidak ada lagi air yang menempel pada permukaan sampel.

Pada penelitian ini akan dicoba dibandingkan dengan pengetsaan menggunakan picral 15%. Etsa picral biasanya hanya digunakan untuk melihat fasa perlit, bainit, sementit dan beberapa karbida lainnya. Picral bekerja dengan menyerang *interphase* di sekitar karbida, untuk itu picral digunakan apabila di dalam material itu terdapat karbida. Etsa picral juga biasanya digunakan untuk melihat batas butir dengan jelas.

3.3.3.3. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada sampel dibagi menjadi dua, yaitu pengujian secara mikro dan makro. Tujuan dilakukan pengujian secara mikro adalah untuk melihat secara lebih spesifik kekerasan pada beberapa titik dengan jarak setiap 0,1 mm dari permukaan sampai ke inti. Sedangkan pengujian secara makro bertujuan untuk mengetahui kekerasan permukaan material.

a. Pengujian Kekerasan Mikro

Untuk pengujian kekerasan mikro akan dihitung dengan menggunakan metode *Vickers* sesuai dengan standar ASTM E 92 “*Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*”. Metode ini menggunakan beban 100 gr dalam waktu 10 detik. Indentor yang digunakan adalah intan berbentuk piramida dengan sudut 136° . Prinsip pengujiannya sama dengan metode kekerasan *Brinell*, namun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal^[13]. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Perhitungan nilai kekerasan ini sesuai dengan rumus:

$$VHN = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (6.1)$$

Dimana,

$$A = \frac{d^2}{2 \sin^2(136^\circ/2)}$$

$$A = \frac{d^2}{1.854} \dots \dots \dots (6.2)$$

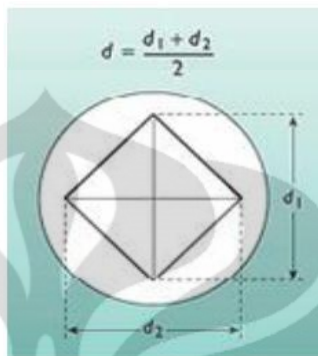
Maka,

$$VHN = \frac{1.854 P}{d^2} \dots \dots \dots (6.3)$$

Dimana:

P = beban yang diberikan (Kg)

d = diameter jejak rata-rata (mm)



Gambar 3.15. Skema Penjejakan Metode *Vickers*^[13].

b. Pengujian Kekerasan Makro

Pengujian makro dilakukan dengan metode *Rockwell C* sesuai dengan standar ASTM E 18 "*Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic material*". Metode ini menggunakan beban 150 gr dengan indenter intan berbentuk kerucut dengan sudut 120°. Metode *Rockwell C* sesuai bila digunakan untuk baja karbon rendah, medium ataupun tinggi^[14].

3.3.3.4. Uji Tarik

Pengujian tarik dalam penelitian ini menggunakan sampel uji tarik dengan standar JIS Z2201 No. 13 B yang berbentuk pelat persegi panjang (*rectangular*). Bentuk dan dimensi sampel uji tarik tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.2**. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik di Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia terhadap material awal (*raw material*) pelat baja SAE 1025 dapat dilihat pada **Tabel 4.1.** di bawah ini. Pengujian dilakukan menggunakan *optical emission spectrometer* (lihat **Lampiran 7**).

Tabel 4.1. Tabel Hasil Pengujian Komposisi dan Standar SAE

Unsur	Persentase (%)	
	Hasil Pengujian	Standar SAE
C	0,259	0,22 s.d. 0,28
Mn	0,520	0,3 s.d. 0,6
Si	0,203	0,15 s.d. 0,3
P	0,033	Max 0,04
S	0,008	Max 0,05
Ni	<0,005	-
Cr	0,016	-
Mo	<0,005	-
Ti	<0,002	-
Cu	0,002	-
Nb	<0,002	-
V	<0,002	-
Al	<0,001	-
Fe	Bal.	Bal.

Pada **Tabel 4.1.** di atas dapat dilihat bahwa komposisi kimia sampel sesuai dengan komposisi kimia standar untuk baja SAE 1025. Unsur lain yang seharusnya tidak ada sangat kecil persentasenya sehingga tidak akan berpengaruh besar terhadap penelitian ini.

4.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan dua metode pengujian yaitu kekerasan makro dan kekerasan mikro. Pengujian kekerasan makro digunakan untuk pengujian kekerasan permukaan sampel, bertujuan agar data kekerasan yang didapatkan mewakili area yang lebih luas. Sedangkan pengujian kekerasan

mikro digunakan untuk pengujian *depth hardness*, bertujuan agar kekerasan sampel dari permukaan sampai ke tengah sampel dapat terpetakan.

4.2.1 Kekerasan Makro

Pengujian kekerasan makro dilakukan menggunakan metode Rockwell C dengan pembebanan sebesar 150 kgf dan waktu penjejakan selama 5 detik. Penjejakan dilakukan terhadap lima sampel untuk masing-masing variabel prosesnya. Setiap sampel dilakukan penjejakan sebanyak tiga kali di tiga area yang berbeda. Sehingga didapatkan 15 data kekerasan untuk setiap variabel prosesnya. Hal ini bertujuan agar data yang didapatkan bisa mewakili nilai kekerasan setiap produk dalam variabel proses tertentu. Berikut ini hasil pengujian kekerasan makro yang didapatkan.

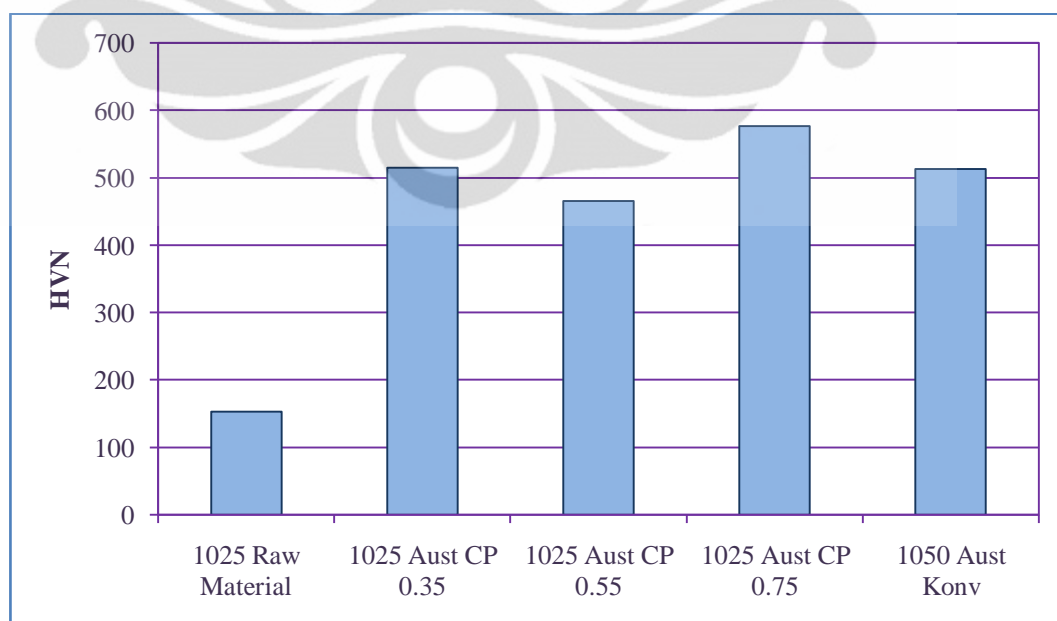
Tabel 4.2. Kekerasan Permukaan Sampel Awal dan Hasil Perlakuan Panas

No.	Raw Material (HRB)	Austemper CP 0.35 (HRC)	Austemper CP 0.55 (HRC)	Austemper CP 0.75 (HRC)
1	79.5	50	45	54
2	80	50.5	46.5	53.5
3	80.5	48.5	47.5	54.5
4	80.5	51	46	54
5	80.5	50	47	54.5
6	81	49.5	45.5	54
7	81	49.5	46	52
8	81	50	45.5	51.5
9	80.5	50.5	45.5	55
10	79.5	50	47	54
11	80.5	51	47	53.5
12	80.5	52	46.5	54.5
13	81	51	48	54.5
14	81	50.5	47	54
15	80	50.5	48	55
Rata²	80.7	50.4	46.7	54

Dari **Tabel 4.2.** di atas dapat dilihat bahwa kekerasan rata-rata sampel awal (*raw material*) baja SAE 1025 adalah 80.7 HRB atau setara dengan 152 HVN. Kekerasan sampel awal masih sangat rendah, hal ini dikarenakan rendahnya kadar karbon dalam baja SAE 1025 sehingga *hardenability*-nya buruk. Sampel awal belum dilakukan proses perlakuan panas sehingga struktur mikro yang terbentuk

masih struktur mikro hasil manufaktur sebelumnya yaitu ferit dan perlit. Menurut diagram TTT untuk baja SAE 1021, yang kadar karbonnya tidak jauh berbeda dengan baja SAE 1025, hasil pendinginan udara, yang menghasilkan struktur ferit dan perlit, akan memiliki kekerasan 75-85 HRB^[15].

Pada baja hasil *austemper* didapatkan kekerasan yang jauh lebih tinggi dari sampel awal. Hal ini dikarenakan pada proses perlakuan panas *austemper* akan dihasilkan baja dengan fasa bainit, yang kekerasannya tidak jauh berbeda dari fasa martensit. Kekerasan baja hasil *austemper* yang dihasilkan berbeda untuk setiap variabel *carbon potential* (CP). Pada **Tabel 4.2.** dapat dilihat bahwa sampel dengan variabel CP 0.75 memiliki kekerasan paling tinggi yaitu sebesar 54 HRC, atau setara dengan 580 HVN. Berdasarkan diagram TTT untuk baja SAE 1080, dengan temperatur quenching aktual 250 °C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit maka akan didapatkan kekerasan 50-55 HRC^[15]. Hal ini sesuai dengan teori karburisasi, dimana semakin besar CP maka ketersediaan karbon akan semakin besar sehingga akan semakin meningkatkan *driving force* pada proses transfer karbon ke dalam baja^[4]. Dengan meningkatnya karbon dalam baja maka *hardenability* baja akan semakin baik, hal ini ditunjukkan dengan peningkatan kekerasan pada sampel. Di bawah ini disajikan grafik kekerasan rata-rata dari setiap sampel.



Gambar 4.1. Grafik Nilai Kekerasan Permukaan Sampel

Pada **Gambar 4.1.** dapat dilihat bahwa cenderung terjadi peningkatan kekerasan seiring dengan meningkatnya CP pada proses perlakuan panas. Namun terjadi penyimpangan pada sampel dengan CP 0.55, dimana kekerasan sampel dengan CP 0.55 lebih rendah dari kekerasan sampel dengan CP 0.35. Hal ini disebabkan karena perbedaan parameter aktual dari temperatur *holding* pada proses *quenching* dengan media lelehan garam. Pada sampel dengan CP 0.55 temperatur aktual lelehan garam sebesar 320 °C, sedangkan pada sampel dengan CP 0.35 temperatur aktual lelehan garam hanya sebesar 215 °C. Hal ini menyebabkan terbentuknya fasa yang lebih keras pada sampel dengan CP 0.35, yaitu martensit. Karena berdasarkan diagram TTT untuk baja SAE 1035, dengan temperatur *quenching* 215 °C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit maka akan didapatkan kekerasan 43-52 HRC^[15]. Sedangkan berdasarkan diagram TTT untuk baja SAE 1055, dengan temperatur *quenching* 320 °C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit maka akan didapatkan kekerasan 42-47 HRC^[15].

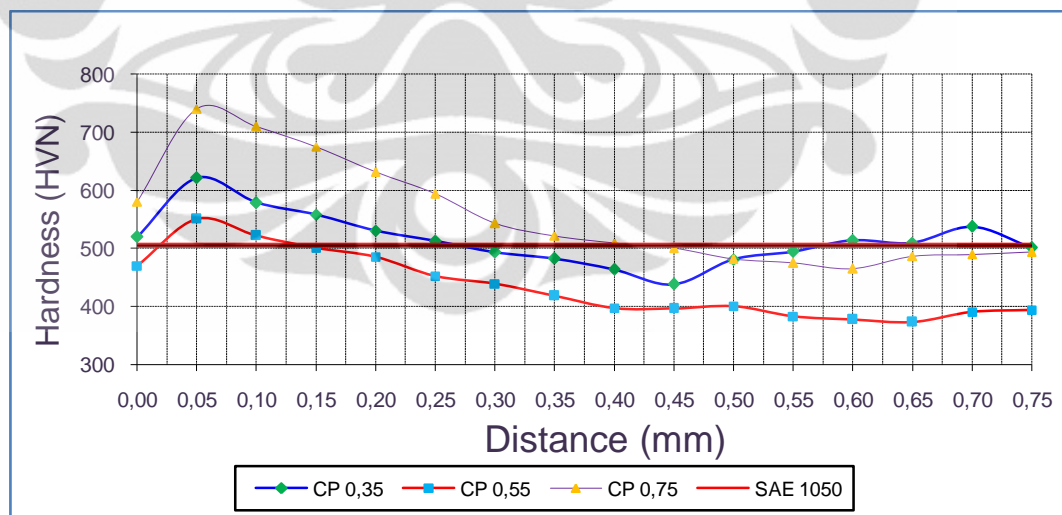
Dari grafik pada **Gambar 4.1.** juga dapat dilihat bahwa kekerasan rata-rata permukaan sampel dengan CP 0.35 dan CP 0.75 sudah melewati kekerasan permukaan dari sampel baja SAE 1050 *austemper* konvensional.

4.2.2 Kekerasan Mikro

Pengujian kekerasan mikro dilakukan untuk memetakan kekerasan sampel dari permukaan sampai ke dalam, metode ini juga disebut pengujian *depth hardness*. Dari data yang didapatkan kita dapat melihat sejauh mana baja dikeraskan dengan adanya proses karburisasi. Pengujian dilakukan menggunakan metode Vickers dengan pembebanan sebesar 500 gram dan waktu penjejakan 10 detik. Pengujian dilakukan terhadap tiga sampel untuk setiap variabel proses dengan jarak penjejakan setiap 0.05 mm dimulai dari permukaan dan berakhir di tengah sampel yaitu pada kedalaman 0.75 mm. Hal ini dilakukan dengan asumsi bahwa pengerasan akibat karburisasi pada kedua sisi sama. Berikut ini data pengujian kekerasan mikro yang didapatkan.

Tabel 4.3. Data Pengujian *Depth Hardness*

Kedalaman (mm)	CP 0.35 (HVN)	CP 0.55 (HVN)	CP 0.75 (HVN)
Surface	520.0	470.0	580.0
0.05	621.7	551.0	740.1
0.10	578.8	522.1	709.7
0.15	558.0	500.5	675.2
0.20	530.6	485.1	631.6
0.25	512.7	452.4	594.2
0.30	493.7	438.8	543.3
0.35	482.3	418.4	521.6
0.40	464.0	397.1	509.5
0.45	438.1	396.7	500.4
0.50	480.8	400.3	481.7
0.55	494.4	382.9	474.9
0.60	513.8	377.5	464.7
0.65	509.8	373.5	486.6
0.70	537.6	390.4	489.6
0.75	501.2	394.0	493.7

**Gambar 4.2.** Grafik *Depth Hardness*

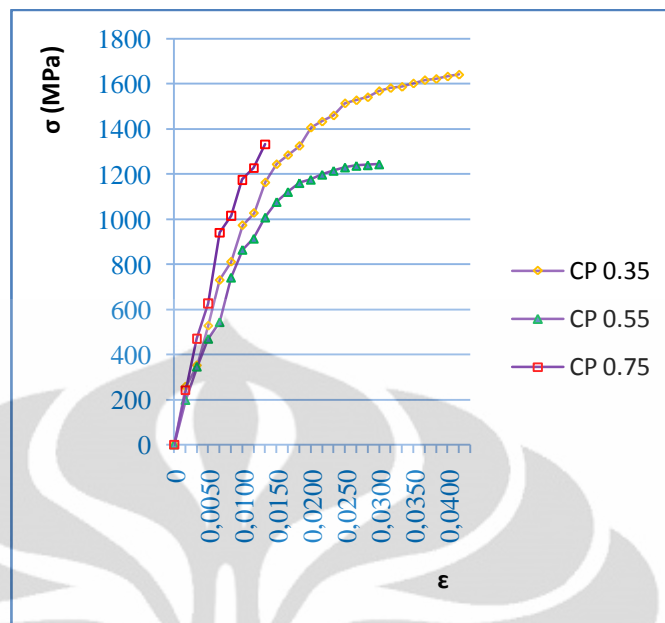
Dari data di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kekerasan dari permukaan menuju inti sampel. Hal ini menunjukkan terjadinya *case hardening* pada sampel akibat proses karburisasi. Dimana karbon bebas yang terkandung

pada atmosfer dalam *furnace* terdifusi ke dalam sampel baja. Sehingga terjadi gradasi kandungan karbon pada sampel dari permukaan sampai ke inti yang ditunjukkan oleh gradasi kekerasan sampel dari permukaan ke inti. Perbedaan karbon berpengaruh terhadap *hardenability* baja, sehingga sampel memiliki *hardenability* yang berbeda-beda dari permukaan ke inti. Kekerasan paling rendah terdapat pada kedalaman 0.45 mm untuk CP 0.35, kedalaman 0.65 mm untuk CP 0.55, dan kedalaman 0.6 mm untuk CP 0.75. Hal ini menunjukkan bahwa difusi karbon ke dalam baja pada kedua sisi sampel tidak seragam.

Pada **Gambar 4.2.** juga dapat dilihat bahwa kekerasan permukaan sampel ketiga variabel lebih rendah dari kekerasan pada kedalaman 0.05 mm. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi proses dekarburisasi pada proses perlakuan panas yang dilakukan, karena menurut penelitian Ming Qin *et al.* proses karburisasi sering kali diikuti juga dengan proses dekarburisasi pada lapisan permukaan komponen yang dikarburisasi^[16]. Proses dekarburisasi ditunjukkan dengan adanya peningkatan kadar karbon dengan peningkatan kedalaman atau saat *peak* kadar karbon berada pada *subsurface*^[17]. Berlebihnya gas CO₂ dalam atmosfer *furnace* akan memicu terjadinya proses dekarburisasi, karena gas CO₂ merupakan gas yang berperan dalam proses dekarburisasi dan akan mengikat karbon yang terlarut dalam baja menjadi gas CO. Dengan demikian *hardenability* pada permukaan sampel akan berkurang. Pada saat *quenching* austenit pada daerah permukaan sampel yang kekurangan karbon tidak dapat bertransformasi menjadi fasa yang keras (bainit atau martensit). Hal ini akan dibuktikan lebih lanjut dengan pengamatan struktur mikro.

4.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk melihat sifat mekanis dari sampel pada setiap variabel. Dari data pengujian tarik kita bisa mendapatkan *ultimate tensile strength* (UTS), persen reduksi, *yield strength*, *modulus young*, dll. Namun pada penelitian ini yang akan dilihat dari data pengujian tarik adalah ketangguhan dari sampel hasil perlakuan panas dengan ketiga variabel.



Gambar 4.3. Stress-Strain Curve Ketiga Sampel

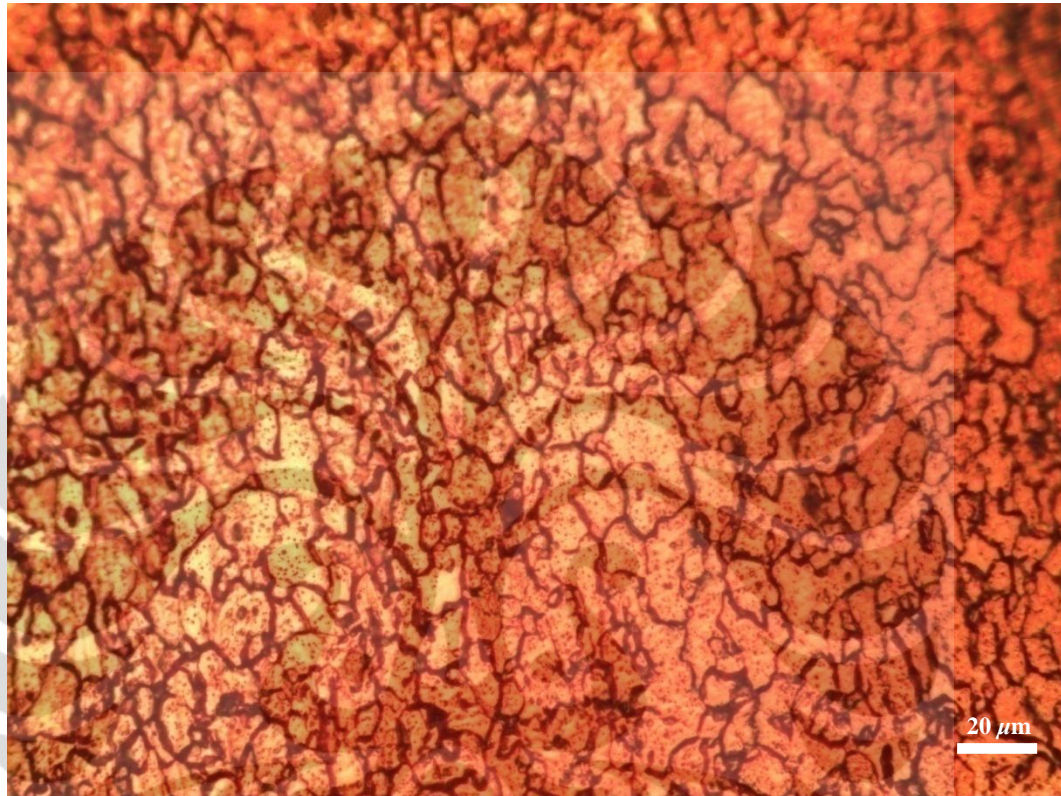
Pada Gambar 4.3. dapat dilihat bahwa ketangguhan paling besar dimiliki oleh sampel dengan CP 0.35. Dalam grafik hasil pengujian tarik ketangguhan dapat dilihat dari luas area di bawah kurva sampai dengan saat terjadi *fracture*^[9]. Dengan meningkatnya CP ketangguhan sampel semakin menurun. Hal ini dikarenakan perbedaan kadar karbon sampel untuk setiap variabel CP. Meningkatnya CP maka akan meningkatkan *driving force* untuk karbon dapat berdifusi ke dalam baja, sehingga kadar karbon dalam baja akan semakin meningkat. Hal ini menyebabkan ketangguhan sampel menjadi turun dengan meningkatnya nilai CP. Namun untuk sampel dengan CP 0.35 terjadi keanehan karena memiliki nilai UTS yang paling tinggi, hal ini dikarenakan terbentuknya fasa martensit dalam sampel dengan CP 0.35, sedangkan sampel yang lain terbentuk fasa bainit. Sehingga sampel CP 0.35 memiliki nilai UTS yang paling tinggi. Elongasi sampel CP 0.35 juga paling tinggi karena sampel 0.35 memiliki CP paling rendah. Terbentuknya fasa martensit pada sampel CP 0.35 akan dibuktikan dengan pengujian struktur mikro.

4.4 Pengamatan Struktur Mikro

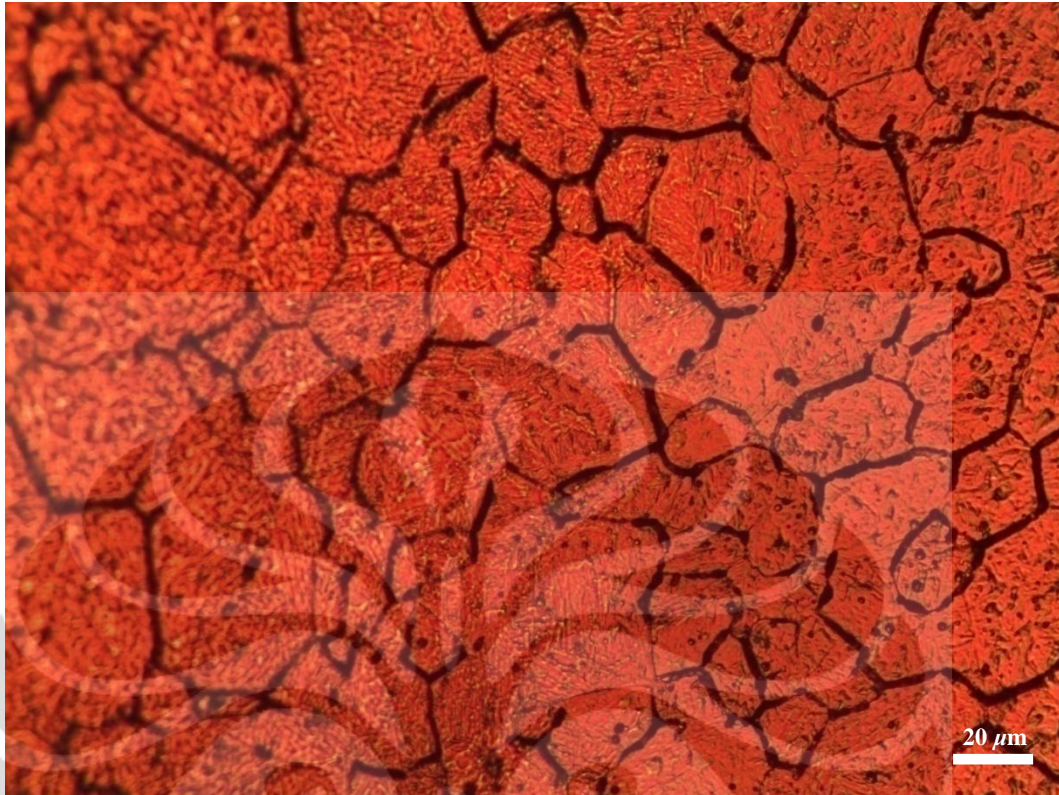
Pengamatan struktur mikro yang dilakukan terdiri dari dua macam yaitu pengukuran besar butir dan pengamatan struktur mikro (fasa yang terbentuk). Pada pengamatan ini digunakan dua zat etsa yaitu nital dan *modified picral*.

4.4.1 Pengukuran Butir

Pada pengukuran butir ini digunakan zat etsa picral. Penghitungan butir dilakukan dengan metode *intercept* sesuai dengan ASTM E 112^[18].



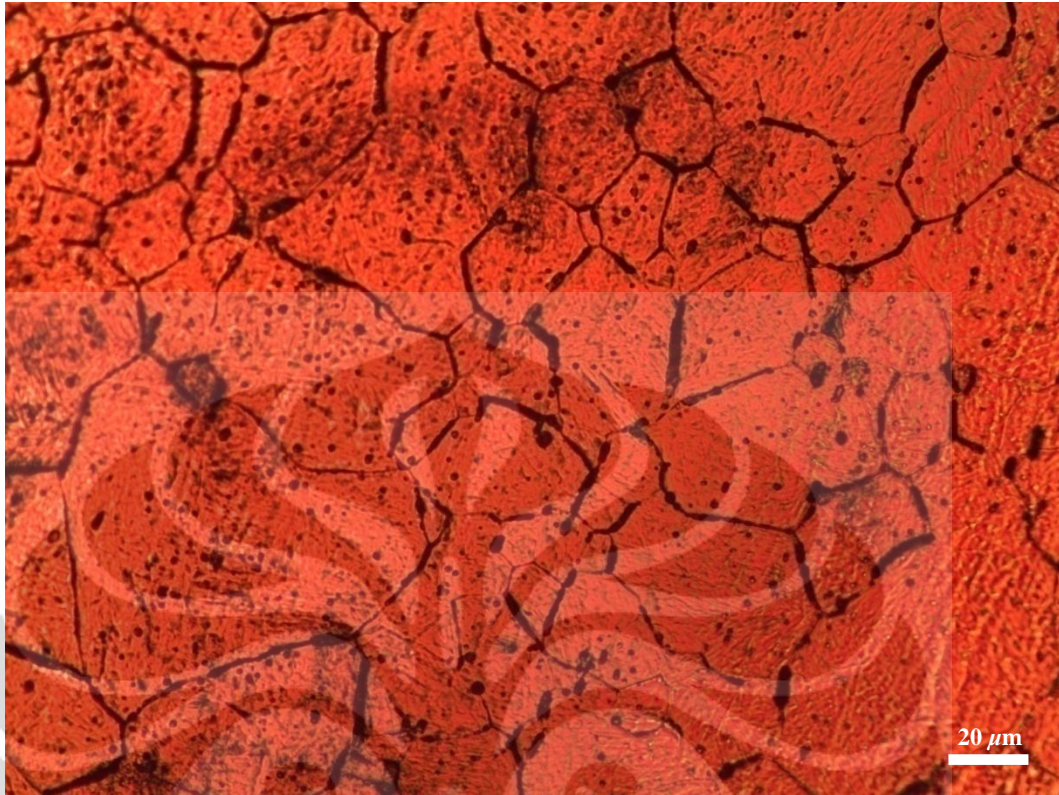
Gambar 4.4. Struktur Mikro Sampel Awal SAE 1025. *Modified Picral*. 500x.



Gambar 4.5. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.35. *Modified Picral*. 500x.



Gambar 4.6. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.55. *Modified Picral*. 500x.



Gambar 4.7. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.75. *Modified Picral*. 500x.

Dengan menggunakan metode *intercept* sesuai ASTM E 112 ukuran butir dari setiap sampel dapat diprediksi (lihat **Lampiran 8**). Untuk sampel awal yang belum mengalami perlakuan panas, diameter butir rata-rata diprediksi sebesar 11.2 μm atau setara dengan butir ASTM nomor 10. Setelah sampel mengalami perlakuan panas, diameter rata-rata butir menjadi besar. Hal ini terjadi karena faktor yang mempengaruhi besar butir adalah temperatur, dengan adanya kenaikan temperatur pada saat perlakuan panas maka proses difusi atom-atom akan menjadi lebih cepat karena ketersediaan energi dari peningkatan temperatur. Dan sebagai akibatnya, pemberian temperatur saat austenisasi akan menghasilkan butir yang relatif besar^[9]. Mekanisme yang terjadi adalah butir yang lebih besar akan bergabung dengan butir yang kecil, seolah-olah butir kecil termakan oleh butir yang lebih besar. Mekanisme ini dikenal sebagai *grain cannibalism*. Besar butir juga berpengaruh terhadap kekuatan mekanis sebuah material, semakin kecil butir dari sebuah material maka kekuatan mekanisnya semakin tinggi. Hal ini dikarenakan dengan ukuran butir yang kecil maka batas butir akan semakin banyak, sehingga dislokasi tidak mudah bergerak dengan leluasa atau dengan kata lain sulit dideformasi.

Sampel dengan CP 0.35 diprediksi memiliki diameter rata-rata butir sebesar $22.5 \mu\text{m}$ atau setara dengan butir ASTM nomor 8, untuk sampel dengan CP 0.55 diameter rata-rata butir diprediksi sebesar $27.5 \mu\text{m}$ atau setara dengan butir ASTM nomor 7.5. Sedangkan sampel dengan CP 0.75 juga memiliki diameter rata-rata butir yang tidak jauh berbeda dengan diameter rata-rata butir sampel dengan CP 0.55, yaitu $29.25 \mu\text{m}$ atau sekitar butir ASTM nomor 7.5. Ukuran butir dari ketiga sampel dapat dikatakan cukup baik, karena dalam industri manufaktur pelat rantai motor biasanya besar butir yang dikatakan baik berkisar antara butir ASTM nomor 8-10.

Dapat dilihat juga bahwa sampel CP 0.35 (dengan temperatur aktual lelehan garam 215°C) memiliki butir yang lebih halus dibandingkan dengan sampel CP 0.75 dan juga sampel CP 0.55 (temperatur aktual lelehan garam 320°C). Sehingga dapat dikatakan bahwa meningkatnya temperatur lelehan garam cenderung menghasilkan butir yang lebih kasar. Dilihat dari kekerasan sampel, sampel dengan CP 0.75 memiliki kekerasan yang paling tinggi. Namun untuk sampel dengan CP 0.55, yang kehalusan butirnya mirip dengan sampel CP 0.75, memiliki kekerasan paling rendah. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan CP sehingga terjadi perbedaan kadar karbon setelah proses karburisasi, baja dengan CP 0.75 akan memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dan menyebabkan kekerasan meningkat. Karena semakin tinggi kadar karbon maka sementit yang terbentuk akan semakin banyak. Sedangkan pada sampel dengan CP 0.35, yang butirnya tidak terlalu jauh berbeda dari sampel dengan CP 0.55, memiliki kekerasan di atas kekerasan sampel CP 0.55. Hal ini dikarenakan perbedaan fasa yang terbentuk, seperti sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, dimana pada sampel CP 0.35 terbentuk fasa martensit sedangkan pada sampel CP 0.55 terbentuk struktur bainit bawah. Hal ini membuktikan bahwa kekerasan material tidak hanya dipengaruhi oleh besar butir.

4.4.2 Struktur Mikro

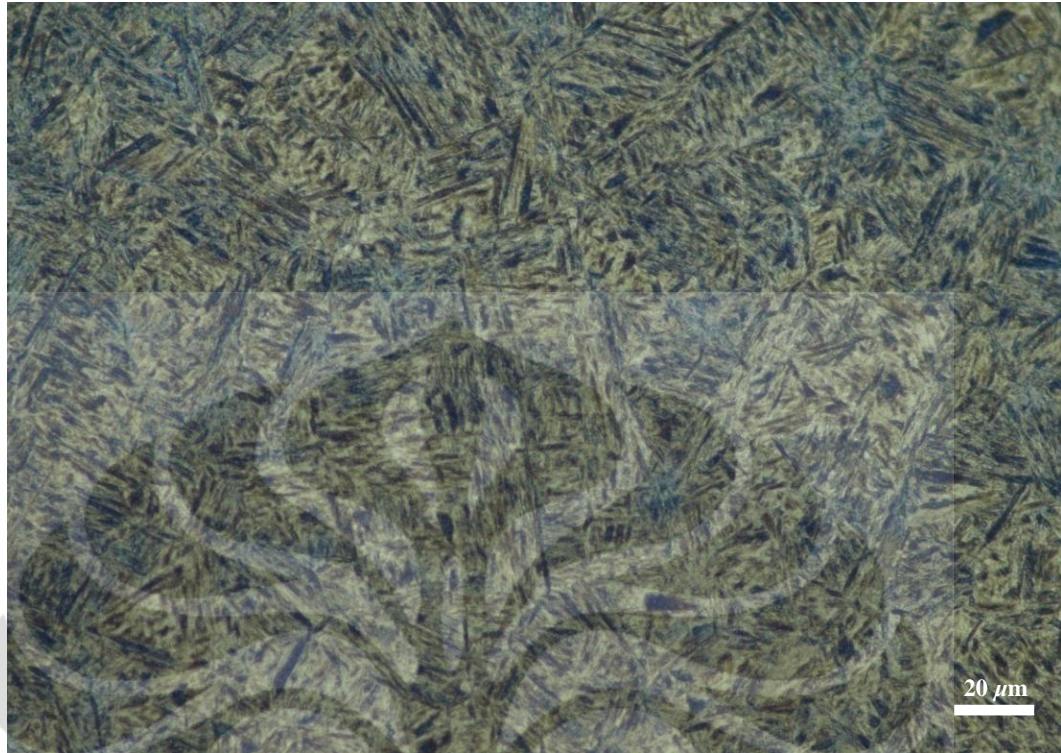
Pada pengamatan struktur mikro ini digunakan zat etsa nital. Pengamatan struktur mikro sampel hasil perlakuan panas dilakukan di bawah mikroskop digital dengan perbesaran 500x dan 100x. Etsa nital 2-3% digunakan untuk

memunculkan fasa ferit, martensit, sementit, dan austenit sisa. Berikut akan disajikan hasil foto struktur mikro untuk masing-masing sampel.

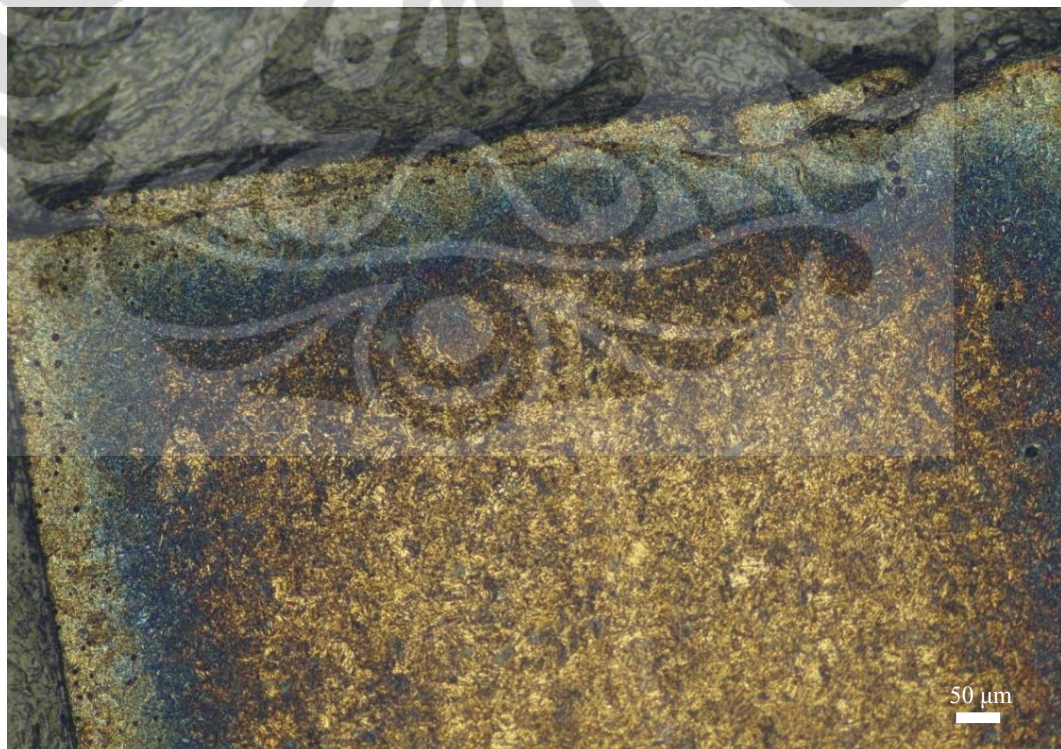


Gambar 4.8. Struktur Mikro Sampel Awal baja SAE 1025. Nital 2-3%. 500x.

Pengamatan struktur mikro sampel awal baja SAE 1025 dengan menggunakan zat etsa nital 2-3% memperlihatkan fasa ferit dan perlit. Fasa ferit ditunjukkan oleh bagian yang terang pada **Gambar 4.8.** sedangkan fasa perlit ditunjukkan oleh bagian yang gelap. Fasa yang terbentuk merupakan fasa hasil manufaktur baja lembaran dari penyedia bahan baku pelat rantai motor. Fasa ferit dan perlit dapat diperoleh dengan memanaskan baja sampai temperatur austenisasi kemudian dilakukan pendinginan lambat di udara.



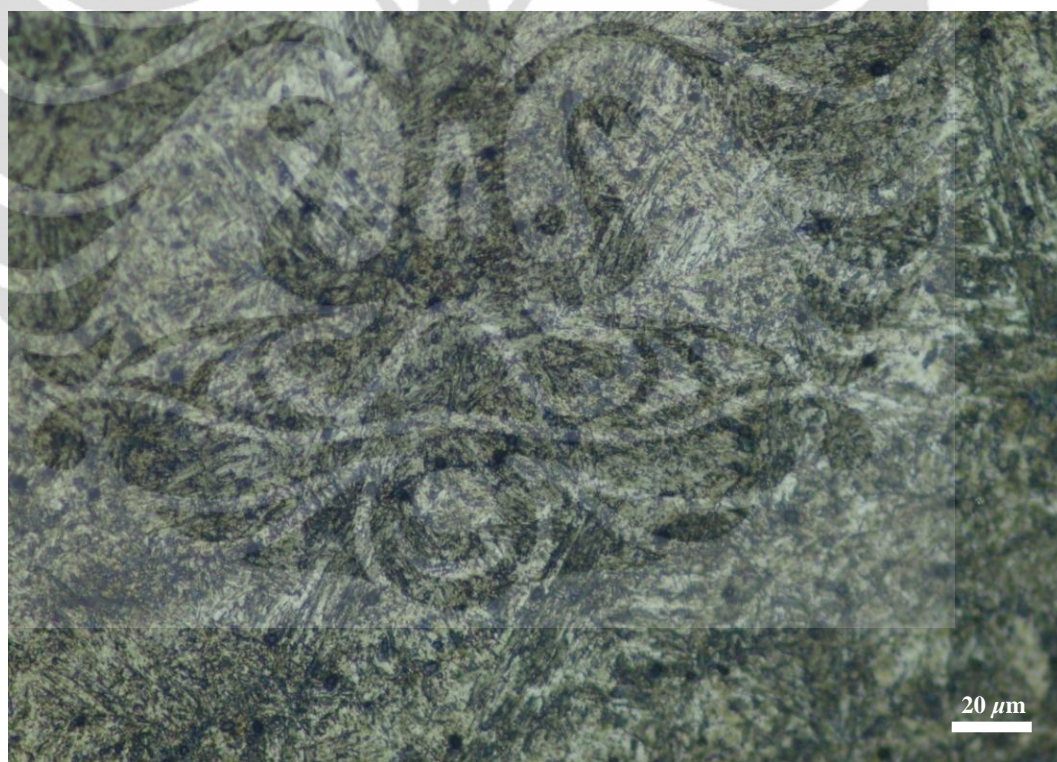
Gambar 4.9. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.35. Nital 2-3%. 500x.



Gambar 4.10. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.35. Nital 2-3%. 100x.

Pengamatan struktur mikro sampel dengan CP 0.35 menggunakan nital 2-3% memperlihatkan fasa martensit, austenit sisa, dan juga ferit. Fasa martensit

ditunjukkan dengan keberadaan jarum-jarum martensit yang tajam. Daerah kecoklatan pada **Gambar 4.9.** merupakan fasa ferit, sedangkan austenit sisa ditunjukkan oleh daerah berwarna putih. Terdapatnya fasa martensit ini membuktikan kenapa nilai kekerasan sampel dengan CP 0.35 lebih tinggi dari nilai kekerasan sampel dengan CP 0.55. Fasa martensit ini terbentuk karena temperatur lelehan garam yang dipakai sebagai media *quench* berada di bawah temperatur martensit *start*. Pada **Gambar 4.10.** terlihat bahwa memang terjadi proses dekarburisasi, hal ini dapat dilihat dengan perbedaan warna pada bagian tepi sampel. Daerah dekarburisasi secara mikroskopik ditunjukkan oleh daerah yang lebih terang^[17]. Mekanisme dekarburisasi terjadi seperti sudah dijelaskan pada sub bab kekerasan mikro.



Gambar 4.11. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.55. Nital 2-3%. 500x.



Gambar 4.12. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.55. Nital 2-3%. 100x.

Pengamatan struktur mikro sampel dengan CP 0.55 menggunakan nital 2-3% memperlihatkan fasa bainit, ferit, dan austenit sisa. Fasa bainit ditunjukkan dengan adanya jarum-jarum *platelike* dari bainit bawah. Hal ini sesuai dengan diagram TTT untuk baja SAE 1050 dimana bila baja diaustenisasi dan kemudian di-*quench* sampai ke temperatur 320 °C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit maka akan terbentuk struktur mikro bainit bawah^[15]. Fasa ferit ditunjukkan oleh daerah yang kecoklatan, sedangkan austenit sisa ditunjukkan oleh daerah yang berwarna putih. Pada **Gambar 4.12.** juga dapat dilihat bahwa terjadi proses dekarburisasi pada bagian permukaan sampel. Proses dekarburisasi ini dapat dihindari dengan mengontrol kadar CO₂ dalam atmosfer *furnace*, karena gas CO₂ berperan dalam proses dekarburisasi seperti dijelaskan pada sub bab kekerasan mikro.



Gambar 4.13. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.75. Nital 2-3%. 500x.



Gambar 4.14. Struktur Mikro Sampel dengan CP 0.75. Nital 2-3%. 200x.

Pengamatan struktur mikro sampel dengan CP 0.75 menggunakan nital 2-3% memperlihatkan fasa bainit, ferit, dan austenit sisa. Sama seperti pada foto struktur mikro sampel dengan CP 0.55, pada **Gambar 4.13**, fasa bainit ditunjukkan dengan adanya jarum-jarum *platelike* bainit bawah. Fasa ferit dan austenit sisa masing-masing ditunjukkan oleh daerah berwarna kecoklatan dan juga daerah berwarna putih. Meskipun temperatur aktual lelehan garam pada proses perlakuan panas sampel CP 0.75 hanya sebesar 250 °C, namun pada diagram TTT untuk baja SAE 1080 temperatur tersebut masih berada di atas temperatur martensit *start*, sehingga struktur mikro yang terbentuk adalah struktur mikro bainit bawah. Proses dekarburisasi juga terjadi pada sampel dengan CP 0.75, hal ini dapat dilihat pada **Gambar 4.14**, dimana terdapat daerah berwarna terang di bagian permukaan sampel. Namun daerah dekarburisasi pada sampel dengan CP 0.75 lebih tipis dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini diprediksi karena kandungan karbon sampel dengan CP 0.75 lebih tinggi, sehingga proses dekarburisasi membutuhkan waktu yang lebih lama untuk karbon berdifusi ke luar baja.

Dengan melihat struktur mikro dari sampel dengan CP 0.55 dan CP 0.75 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan struktur mikro bainit bawah yang terbentuk. Pada sampel dengan CP 0.55 struktur mikro bainit bawah memiliki struktur *platelike* yang lebih kasar, sedangkan pada sampel dengan CP 0.75 struktur mikro bainit bawah yang terbentuk memiliki struktur *platelike* yang lebih halus. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi CP maka struktur *platelike* dari bainit bawah cenderung semakin halus.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Proses karburisasi (difusi atom karbon pada baja karbon rendah) yang diikuti proses austemper dapat menghasilkan fasa martensit atau bainit pada permukaan baja.
2. Baja SAE 1025 sebelum perlakuan panas memiliki kekerasan permukaan sebesar 152 HVN. Setelah dilakukan perlakuan panas kekerasan permukaan sampel naik yaitu menjadi 520 HVN untuk sampel dengan CP 0.35, 470 HVN untuk sampel dengan CP 0.55, dan 580 HVN untuk sampel dengan CP 0.75. Baja dengan CP 0.35 menunjukkan fasa martensit, sedangkan pada sampel dengan CP 0.55 dan 0.75 menunjukkan fasa bainit bawah.
3. Semakin tinggi temperatur lehan garam maka besar butir akan cenderung semakin besar. Butir paling halus diperoleh sampel dengan CP 0.35.
4. Nilai CP yang semakin besar memperlihatkan kecenderungan semakin halus struktur *platelike* dari bainit bawah.
5. Sampel dengan CP 0.35 memiliki ketangguhan paling tinggi karena memiliki CP paling rendah, namun sampel dengan CP 0.35 juga memiliki UTS paling tinggi, hal ini dikarenakan terdapatnya fasa martensit pada sampel CP 0.35.
6. Proses karburisasi sampel baja SAE 1025 dengan CP 0.75 sudah dapat menghasilkan kekerasan 54 HRC, melampaui kekerasan sampel baja SAE 1050 hasil *austemper* konvensional, yaitu 50 HRC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Permintaan *Spare Parts* Motor Terus Melonjak. Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. Diunduh pada tanggal 16 Februari 2011. http://ditjenpdn.kemendag.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=56:permintaan-spare-parts-motor-terus-melonjak
- [2] Unterweiser, Paul M. *Heat Treater's Guide Standard Practices and Procedures for Steel*. American Society for Metals. Ohio. 1982.
- [3] Krauss, George. *Steels: Heat Treatment and Processing Principles*. ASM International, Ohio. 1990.
- [4] ASM Handbook Volume 4. *Heat Treatment*. 2006.
- [5] Totten, G. E. *Handbook of Quenchants and Quenching Technology*. ASM International. 1995.
- [6] Pramudya, Fiki A. *Analisa Karakteristik dan Ketahanan Hydrogen Embrittlement Pelat Rantai Sepeda Motor Baja AISI/SAE 1050 Metode Quench Temper vs Austemper*. Fakultas Teknik, Departemen Teknik Metalurgi dan Material. Universitas Indonesia. Skripsi. 2010.
- [7] M. Oka, H. Okamoto, dan K. Ishida. *Transformation of lower bainite in hypereutectoid steels*. 1986.
- [8] ASM Handbook Volume 9. *Metallography and Microstructures*. 2004.
- [9] Callister, William D. Jr. *An Introduction Materials Science and Engineering. 6th Edition*. Mc-Graw Hill. 1995.
- [10] Jaypuria, Sanjib K. *Heat Treatment of Low Carbon Steel*. Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Rourkela. 2008.
- [11] W.L. Kovacs, *Commercial and Economic Trends in Ion Nitriding/Carburizing, in Ion Nitriding and Ion Carburizing*. ASM International. 1990. p 5-12
- [12] JIS Z 2201, *Test pieces for tensile test for metallic materials*. Japanese Standards Association, Tokyo. 2004.
- [13] ASTM E 92-00, *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. ASTM International, USA. 2000.
- [14] ASTM E 18-03, *Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic material*. ASTM International, USA. 2003.

- [15] Vander Voort, G. F. *Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels*. ASM International, USA. 1991.
- [16] Ming Qin, Dong-Ying Ju, Yang Zhang, dan Pei Bian. *Evaluation of Microstructure and Mechanical Properties in Case Layer of Carburizing-quenched SCr420 Steel by Numerical Simulation and Experimental Methods*. 2004.
- [17] *Carburizing*. THC Company Website. Diunduh pada tanggal 6 Juni 2011. http://www.gearandrack.com/gear_information/gear_heat_treatment/carburizing.html
- [18] ASTM E 112-96, *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*. ASTM International, USA. 2004.





Lampiran 1 Perhitungan Fick's Law

$$C - C_0 = (C_1 - C_0) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$D = D_0 \exp \left(-\frac{Q}{R \cdot T} \right)$$

$$D = 0.21 \exp \left(-\frac{33800}{(1.987)(1143)} \right)$$

$$D = 0.21 \exp \left(-\frac{33800}{2271.141} \right)$$

$$D = 0.21 \exp(-14.5071)$$

$$D = 1.102 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$$

Untuk CP 0.35

- Kedalaman 0.05 mm

$$C - 0.25 = (0.35 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.005}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.1) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.005}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.1)[1 - \operatorname{erf}(0.1449)]$$

$$C - 0.25 = (0.1)[0.8383]$$

$$C = 0.08383 + 0.25$$

$$C = 0.33 \%C$$

- Kedalaman 0.1 mm

$$C - 0.25 = (0.35 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.01}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.1) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.01}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.1)[1 - \operatorname{erf}(0.2898)]$$

$$C - 0.25 = (0.1)[0.68]$$

$$C = 0.068 + 0.25$$

$$C = 0.318 \%C$$

- Kedalaman 0.15 mm

$$C - 0.25 = (0.35 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.015}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.1) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.015}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.1) [1 - \operatorname{erf}(0.4347)]$$

$$C - 0.25 = (0.1) [0.55]$$

$$C = 0.055 + 0.25$$

$$C = 0.305 \%C$$

- Kedalaman 0.2 mm

$$C - 0.25 = (0.35 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.02}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.1) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.02}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.1) [1 - \operatorname{erf}(0.5797)]$$

$$C - 0.25 = (0.1) [0.41]$$

$$C = 0.041 + 0.25$$

$$C = 0.291 \%C$$

Untuk CP 0.55

- Kedalaman 0.05 mm

$$C - 0.25 = (0.55 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.005}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.3) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.005}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.3) [1 - \operatorname{erf}(0.1449)]$$

$$C - 0.25 = (0.3) [0.8383]$$

$$C = 0.251 + 0.25$$

$$C = 0.501 \%C$$

- Kedalaman 0.1 mm

$$C - 0.25 = (0.55 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.01}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.3) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.01}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.3) [1 - \operatorname{erf}(0.2898)]$$

$$C - 0.25 = (0.3) [0.68]$$

$$C = 0.204 + 0.25$$

$$C = 0.454 \%C$$

- Kedalaman 0.15 mm

$$C - 0.25 = (0.55 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.015}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.3) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.015}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.3) [1 - \operatorname{erf}(0.4347)]$$

$$C - 0.25 = (0.3) [0.55]$$

$$C = 0.165 + 0.25$$

$$C = 0.415 \%C$$

- Kedalaman 0.2 mm

$$C - 0.25 = (0.55 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.02}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.3) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.02}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.3) [1 - \operatorname{erf}(0.5797)]$$

$$C - 0.25 = (0.3) [0.41]$$

$$C = 0.123 + 0.25$$

$$C = 0.373 \%C$$

Untuk CP 0.75

- Kedalaman 0.05 mm

$$C - 0.25 = (0.75 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.005}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.5) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.005}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.5) [1 - \operatorname{erf}(0.1449)]$$

$$C - 0.25 = (0.5) [0.8383]$$

$$C = 0.4191 + 0.25$$

$$C = 0.6691 \%C$$

- Kedalaman 0.1 mm

$$C - 0.25 = (0.75 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.01}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.5) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.01}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.5) [1 - \operatorname{erf}(0.2898)]$$

$$C - 0.25 = (0.5) [0.68]$$

$$C = 0.34 + 0.25$$

$$C = 0.59 \%C$$

- Kedalaman 0.15 mm

$$C - 0.25 = (0.75 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.015}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.5) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.015}{0.0345} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.5) [1 - \operatorname{erf}(0.4347)]$$

$$C - 0.25 = (0.5) [0.55]$$

$$C = 0.275 + 0.25$$

$$C = 0.525 \%C$$

- Kedalaman 0.2 mm

$$C - 0.25 = (0.75 - 0.25) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.02}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$$C - 0.25 = (0.5) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.02}{0.0345} \right) \right]$$

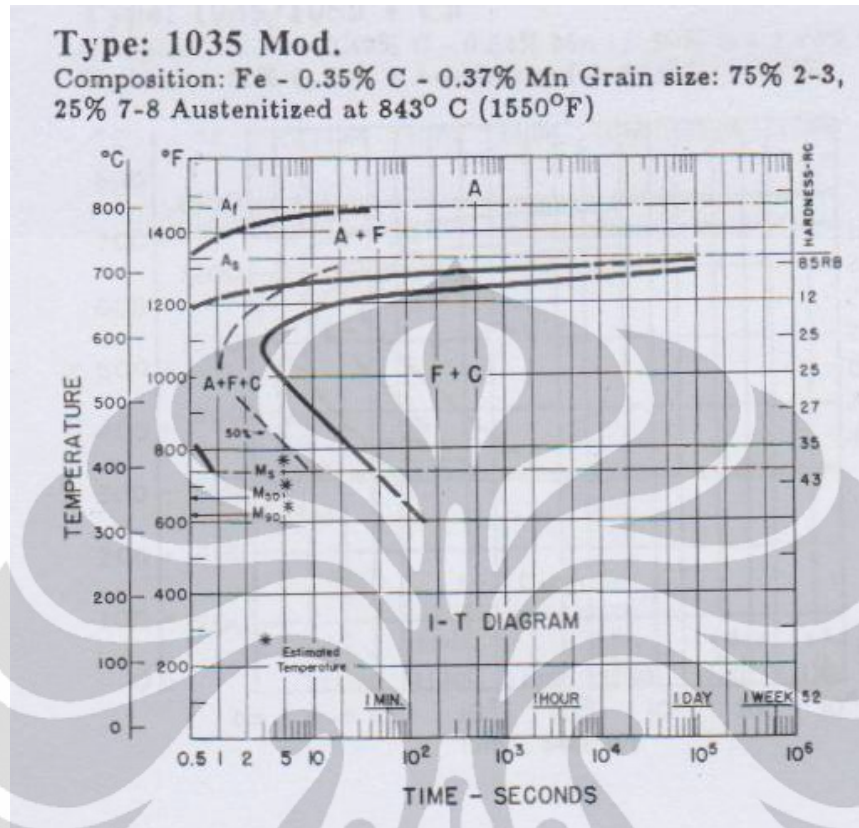
$$C - 0.25 = (0.5) [1 - \operatorname{erf}(0.5797)]$$

$$C - 0.25 = (0.5) [0.41]$$

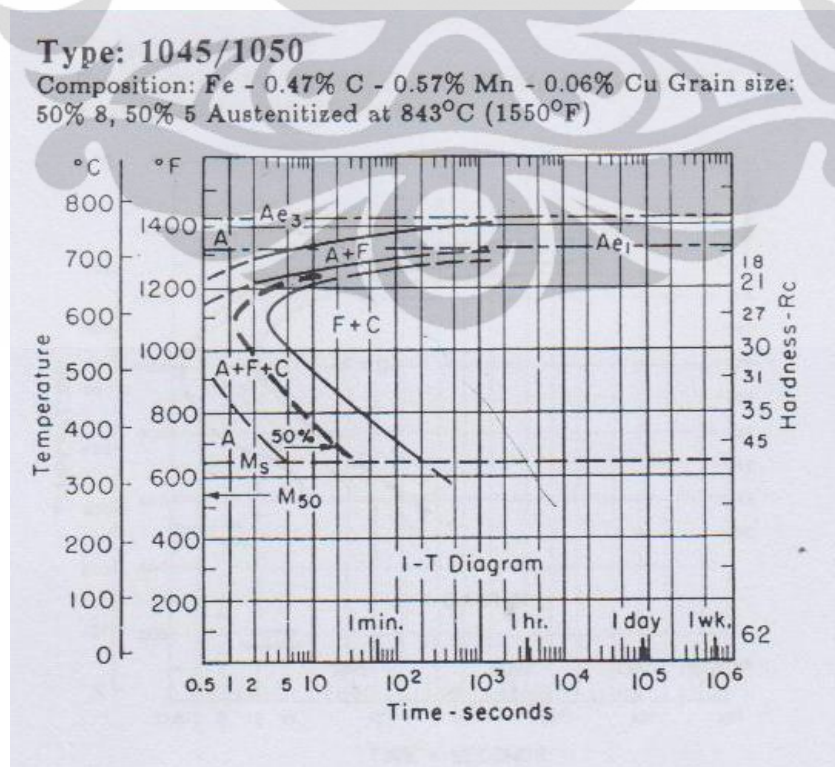
$$C = 0.205 + 0.25$$

$$C = 0.455 \%C$$

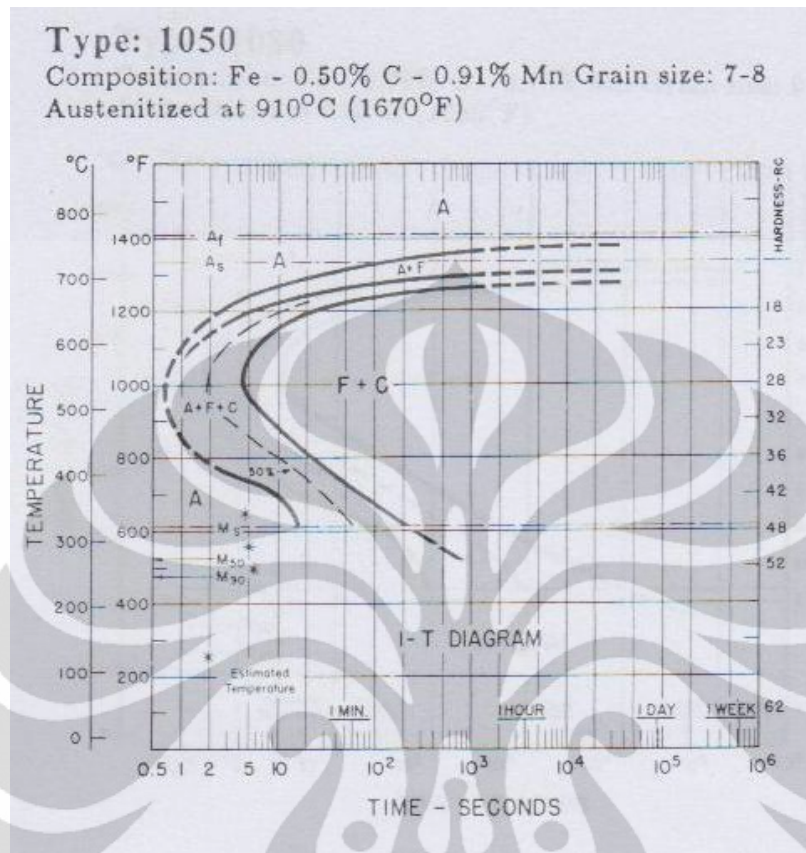
Lampiran 2 Diagram TTT untuk Baja SAE 1035



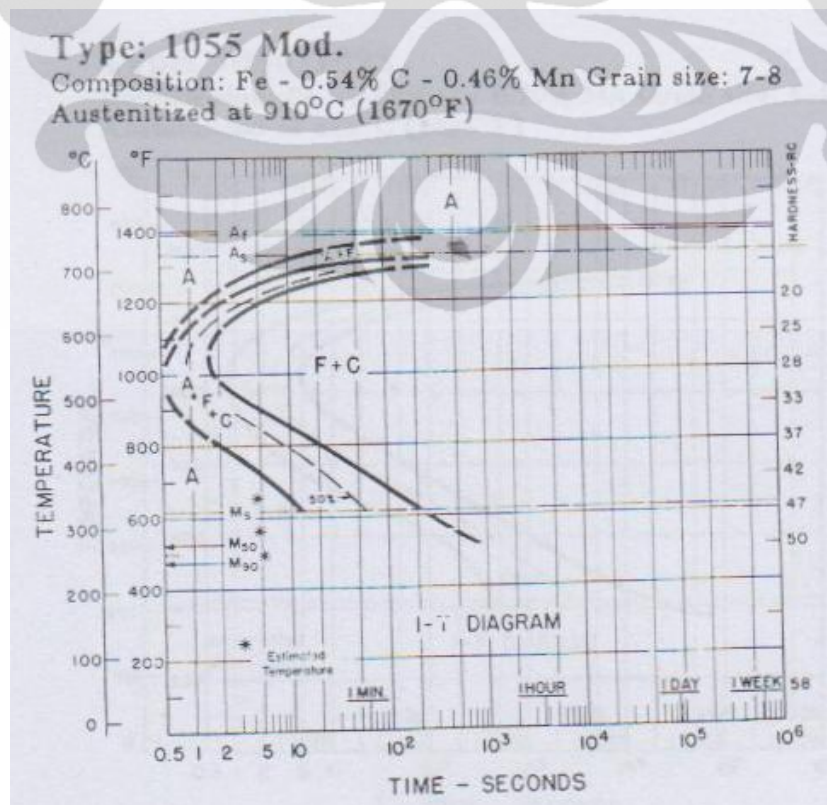
Lampiran 3 Diagram TTT untuk Baja SAE 1045



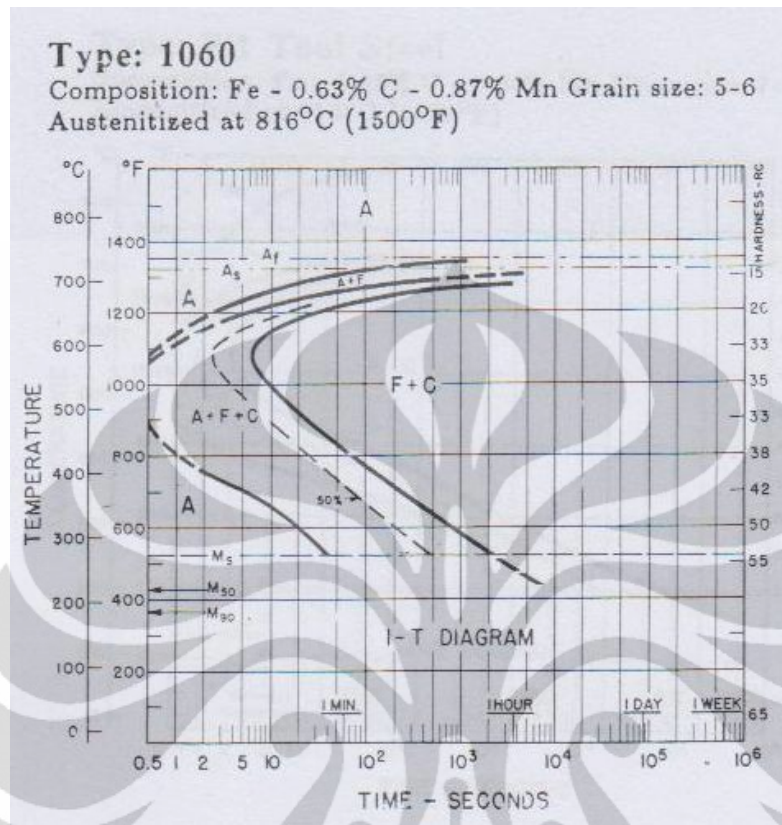
Lampiran 4 Diagram TTT untuk Baja SAE 1050




Lampiran 5 Diagram TTT untuk Baja SAE 1055



Lampiran 6 Diagram TTT untuk Baja SAE 1060



Lampiran 7 Hasil Uji Komposisi



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888 111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 1 of 1

No Laporan <i>Report Nr</i>	0287	Bahan <i>Material</i>	Steel
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Hendi Setiawan	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : 1025 SAE
Alamat <i>Address</i>	DTMM	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	20 Mei 2011
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0573/PT.02/FT04/P/2011	Standar <i>Standard</i>	ASTM E415-08 ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	30 Mei 2011	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer ¹

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
Code : 1025 SAE	0.259	0.203	0.008	0.033	0.520	<0.005 ²	0.016
	Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Al (%)	Fe (%)
	<0.005 ²	<0.002 ²	0.002	<0.002 ²	<0.002 ²	<0.001 ²	bal.

catatan :
 1. ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
 2. (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

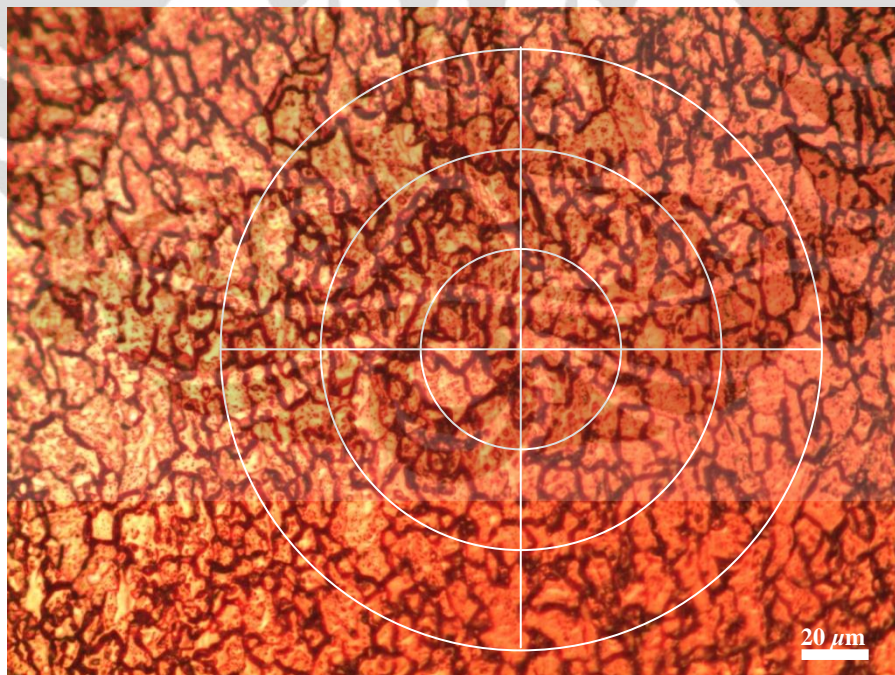
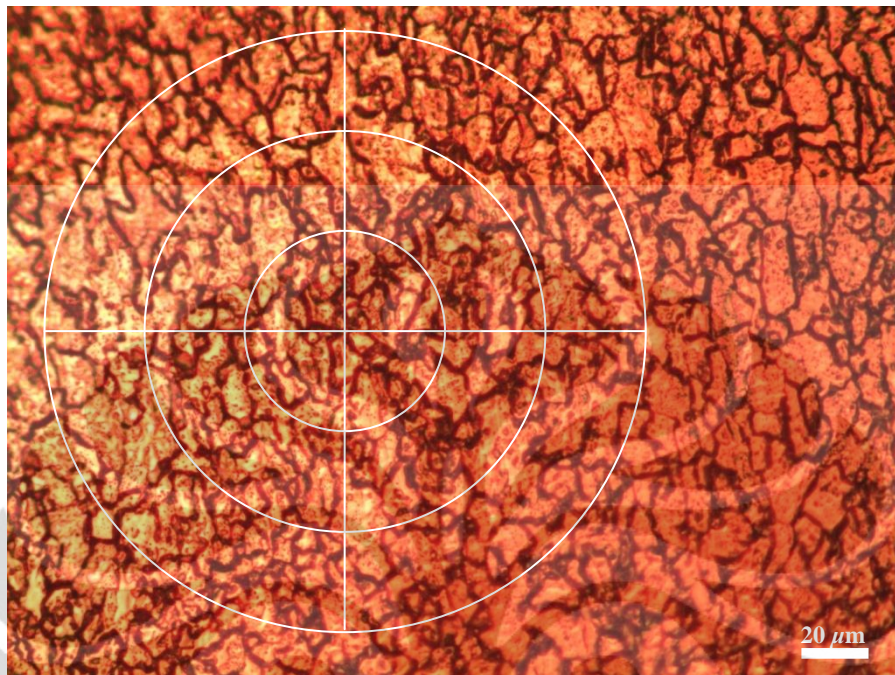
Depok, 30 Mei 2011
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ivan Karayan, ST.,M.Eng)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM

Lampiran 8 Perhitungan Besar Butir
Sampel Baja SAE 1025 (Material Awal)



Perhitungan pertama:

Perbesaran $M=500x$

Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran

$$P = 79 + (13 \cdot 1.5) = 98.5$$

Panjang garis total $L_T = 500$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } P_L &= P / (L_T/M) \\
 &= 98.5 / (500/500) \\
 &= 98.5/1 \\
 L_3 &= 1/P_L = 1/98.5 = 0.01015 \\
 \text{Sehingga } G &= - (6.646 \times \log (L_3)) - 3.298 \\
 &= - (6.646 \times \log (0.01015)) - 3.298 \\
 &= 9.95 \approx 10 \\
 \text{diameter nominal } d_n &= 11.2 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

perhitungan kedua:

Perbesaran $M=500x$

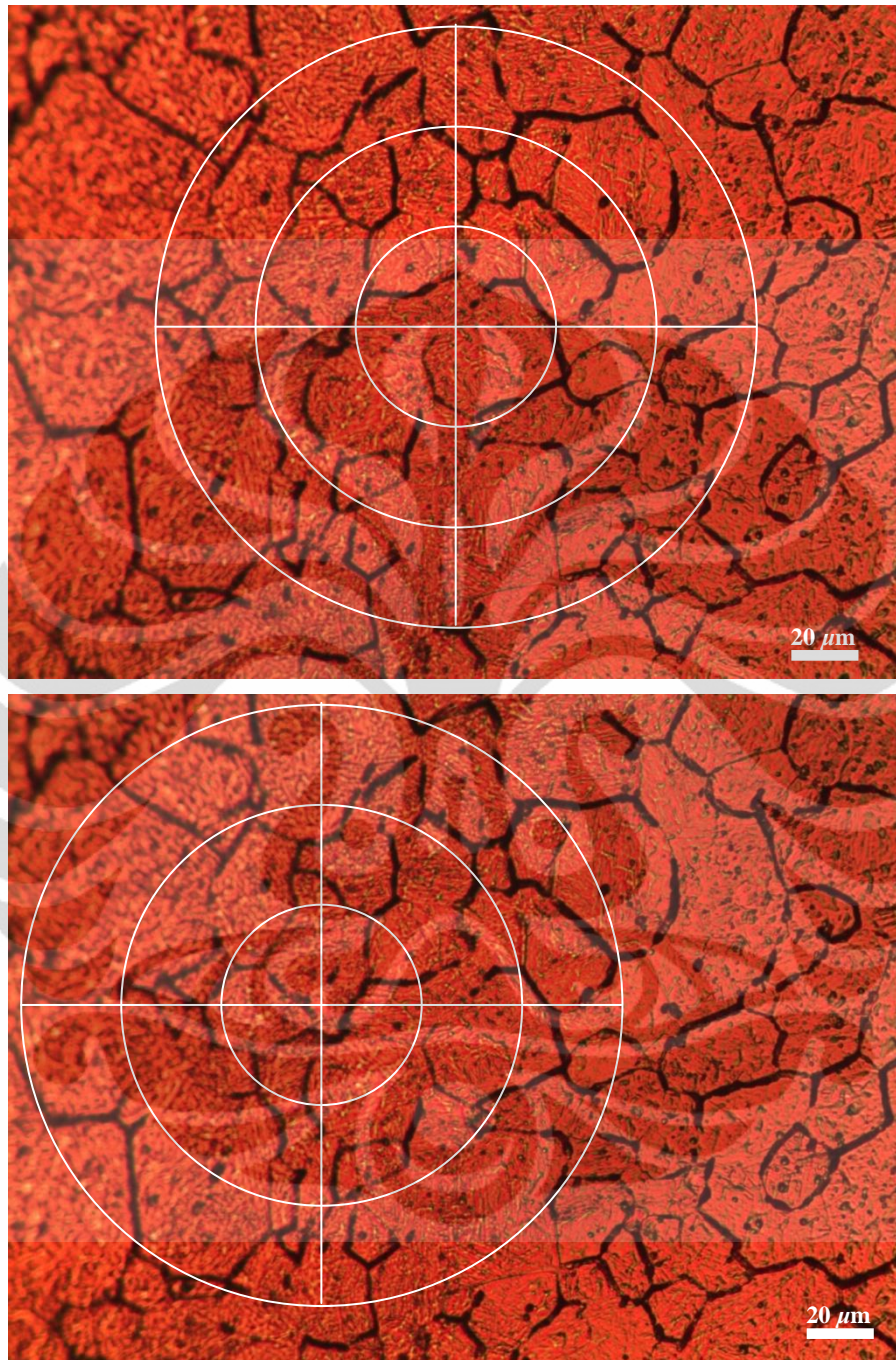
Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran

$$P = 81 + (16 \times 1.5) = 105$$

Panjang garis total $L_T = 500$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } P_L &= P / (L_T/M) \\
 &= 105 / (500/500) \\
 &= 105/1 \\
 L_3 &= 1/P_L = 1/105 = 0.00952 \\
 \text{Sehingga } G &= - (6.646 \times \log (L_3)) - 3.298 \\
 &= - (6.646 \times \log (0.00952)) - 3.298 \\
 &= 10.13 \approx 10 \\
 \text{diameter nominal } d_n &= 11.2 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Sampel CP 0.35

**Perhitungan pertama:**

Perbesaran $M=500x$

Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran

$$P = 40 + (10 \cdot 1.5) = 55$$

Panjang garis total $L_T = 500$

Maka, $P_L = P / (L_T/M)$

$$\begin{aligned}
 &= 55 / (500/500) \\
 &= 55/1 \\
 \text{Sehingga } L_3 &= 1/P_L = 1/55 = 0.01818 \\
 \text{Sehingga } G &= - (6.646 \times \log (L_3)) - 3.298 \\
 &= - (6.646 \times \log (0.01818)) - 3.298 \\
 &= 8.26 \approx 8 \\
 \text{diameter nominal } d_n &= 22.5 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

perhitungan kedua:

Perbesaran $M=500x$

Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran

$$P = 41 + (4 \times 1.5) = 47$$

Panjang garis total $L_T = 500$

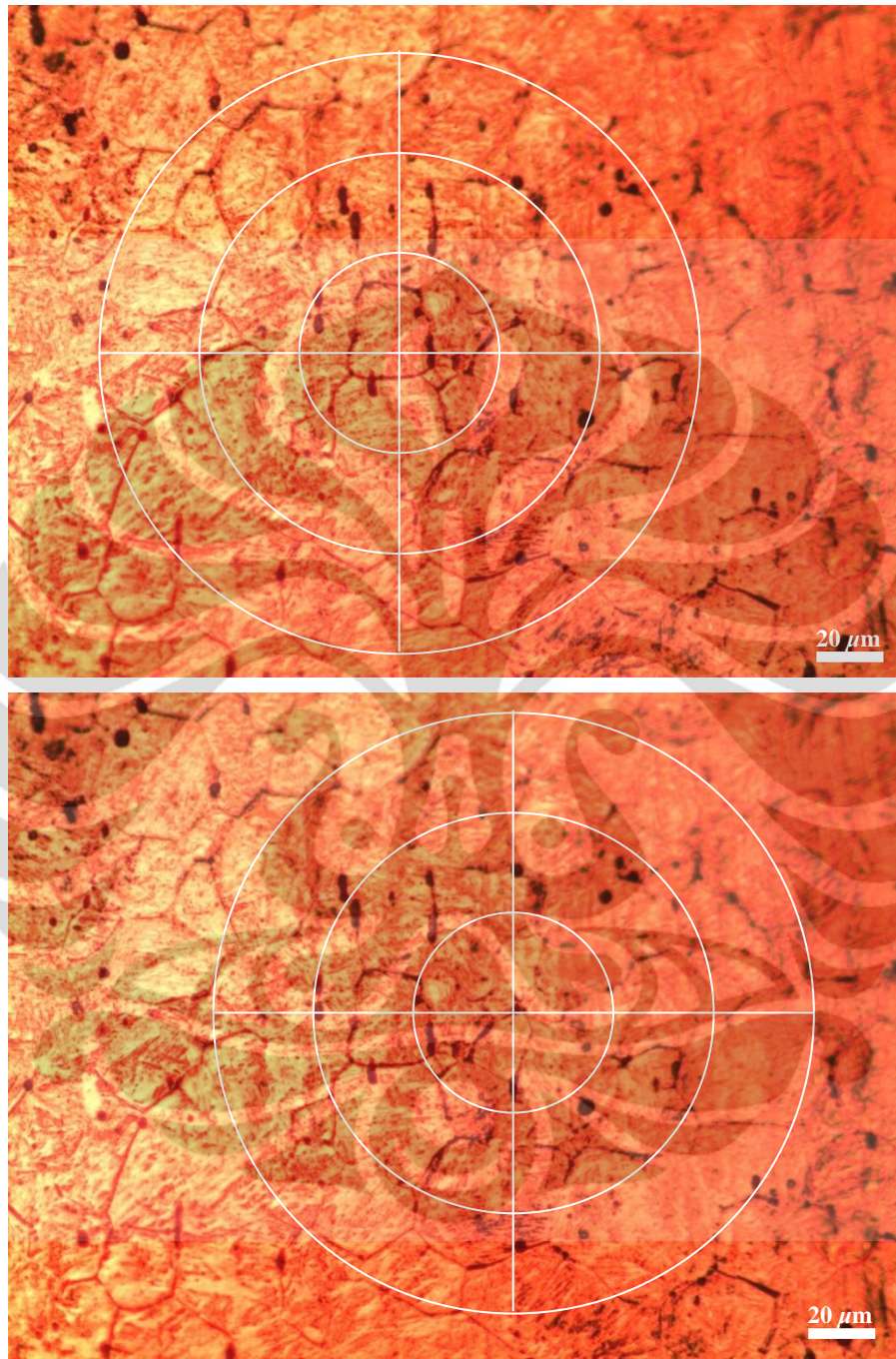
$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } P_L &= P / (L_T/M) \\
 &= 47 / (500/500) \\
 &= 47/1
 \end{aligned}$$

$$L_3 = 1/P_L = 1/47 = 0.0212$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } G &= - (6.646 \times \log (L_3)) - 3.298 \\
 &= - (6.646 \times \log (0.0212)) - 3.298 \\
 &= 7.81 \approx 8
 \end{aligned}$$

$$\text{diameter nominal } d_n = 22.5 \mu\text{m}$$

Sampel CP 0.55

**Perhitungan pertama:**

Perbesaran $M=500x$

Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran

$$P = 36 + (8 \cdot 1.5) = 48$$

Panjang garis total $L_T = 500$

Maka, $P_L = P / (L_T/M)$

$$\begin{aligned}
 &= 48 / (500/500) \\
 &= 48/1 \\
 \text{Sehingga } L_3 &= 1/P_L = 1/48 = 0.0208 \\
 \text{Sehingga } G &= - (6.646 \times \log (L_3)) - 3.298 \\
 &= - (6.646 \times \log (0.0208)) - 3.298 \\
 &= 7.87 \approx 8 \\
 \text{diameter nominal } d_n &= 22.5 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kedua:

Perbesaran $M=500x$

Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran

$$P = 32 + (5 \times 1.5) = 39.5$$

Panjang garis total $L_T = 500$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } P_L &= P / (L_T/M) \\
 &= 39.5 / (500/500) \\
 &= 39.5/1
 \end{aligned}$$

$$L_3 = 1/P_L = 1/39.5 = 0.0253$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } G &= - (6.646 \times \log (L_3)) - 3.298 \\
 &= - (6.646 \times \log (0.0253)) - 3.298 \\
 &= 7.31 \approx 7
 \end{aligned}$$

$$\text{diameter nominal } d_n = 31.8 \mu\text{m}$$

Sampel CP 0.75



Perhitungan pertama:

Perbesaran $M=500x$

Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran

$$P = 32 + (5 \cdot 1.5) = 39.5$$

Panjang garis total $L_T = 500$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } P_L &= P / (L_T/M) \\
 &= 39.5 / (500/500) \\
 &= 39.5/1 \\
 L_3 &= 1/P_L = 1/39.5 = 0.0253 \\
 \text{Sehingga } G &= - (6.646 \times \log (L_3)) - 3.298 \\
 &= - (6.646 \times \log (0.0253)) - 3.298 \\
 &= 7.31 \approx 7 \\
 \text{diameter nominal } d_n &= 31.8 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

perhitungan kedua:

Perbesaran $M=500x$

Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran

$$P = 29 + (8 \times 1.5) = 41$$

Panjang garis total $L_T = 500$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } P_L &= P / (L_T/M) \\
 &= 41 / (500/500) \\
 &= 41/1 \\
 L_3 &= 1/P_L = 1/41 = 0.0243 \\
 \text{Sehingga } G &= - (6.646 \times \log (L_3)) - 3.298 \\
 &= - (6.646 \times \log (0.0243)) - 3.298 \\
 &= 7.42 \approx 7.5 \\
 \text{diameter nominal } d_n &= 26.7 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$