



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA KARAKTERISTIK DAN KETAHANAN *HYDROGEN*  
*EMBRITTELEMENT* PELAT RANTAI SEPEDA MOTOR BAJA  
AISI/SAE 1050 METODE *QUENCH TEMPER* VS *AUSTEMPER***

**SKRIPSI**

**FIKI ARIF PRAMUDYA**

**0606074874**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK**

**JUNI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA KARAKTERISTIK DAN KETAHANAN *HYDROGEN*  
*EMBRITTELEMENT* PELAT RANTAI SEPEDA MOTOR BAJA  
AISI/SAE 1050 METODE *QUENCH TEMPER* VS *AUSTEMPER***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**FIKI ARIF PRAMUDYA**

**0606074874**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK**

**JUNI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Fiki Arif Pramudya**

**NPM : 0606074874**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 6 Juni 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Fiki Arif Pramudya  
NPM : 0606074874  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Analisa Karakteristik dan Ketahanan *Hydrogen Embrittlement* Pelat Rantai Sepeda Motor Baja AISI/SAE 1050 Metode *Quench Temper Vs Austemper*

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.Si ( )

Penguji : Dr. Ir. Dedi Priadi, D.E.A ( )

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juni 2010

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama ALLAH Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, saya panjatkan puji syukur atas semua rahmat-Nya yang diberikan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisa Karakteristik dan Ketahanan *Hydrogen Embrittlement* Pelat Rantai Sepeda Motor Baja AISI/SAE 1050 Metode *Quench Temper Vs Austemper*”** dengan baik.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Saya juga menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ibu Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Bapak Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi M S. DEA selaku pembimbing akademik yang selalu memberikan saran-saran terbaik dalam bidang akademik;
- (3) Seluruh dosen di Departemen Metalurgi dan Material FT UI atas ilmu yang telah diberikan baik di dalam kelas maupun di luar kelas;
- (4) PT. X Manufacturing Indonesia, perusahaan yang telah menyediakan sarana dan prasarana untuk penelitian ini;
- (5) Bapak Alfian Hamdan (Eng. Division Head), Bapak Abdullah Hinduan (Process Eng. HT), Bapak Heri Kristiyono (Eng. Coordinator), Bapak Almahsus (Process Eng. HT Staff) dan Bapak Adi Widagdo (R&D Staff) serta seluruh staff PT. Federal Superior Chain Manufacturing (FSCM) Indonesia yang telah banyak membimbing, membantu dan meluangkan waktunya bagi saya dalam menjalankan penelitian ini;
- (6) Kedua orang tua tercinta; Eko Wahyono dan Surahmi Lukityowati serta adik; Hafidz Laksono dan keluarga besar saya yang senantiasa mendoakan, memberikan bantuan baik moril maupun materil;

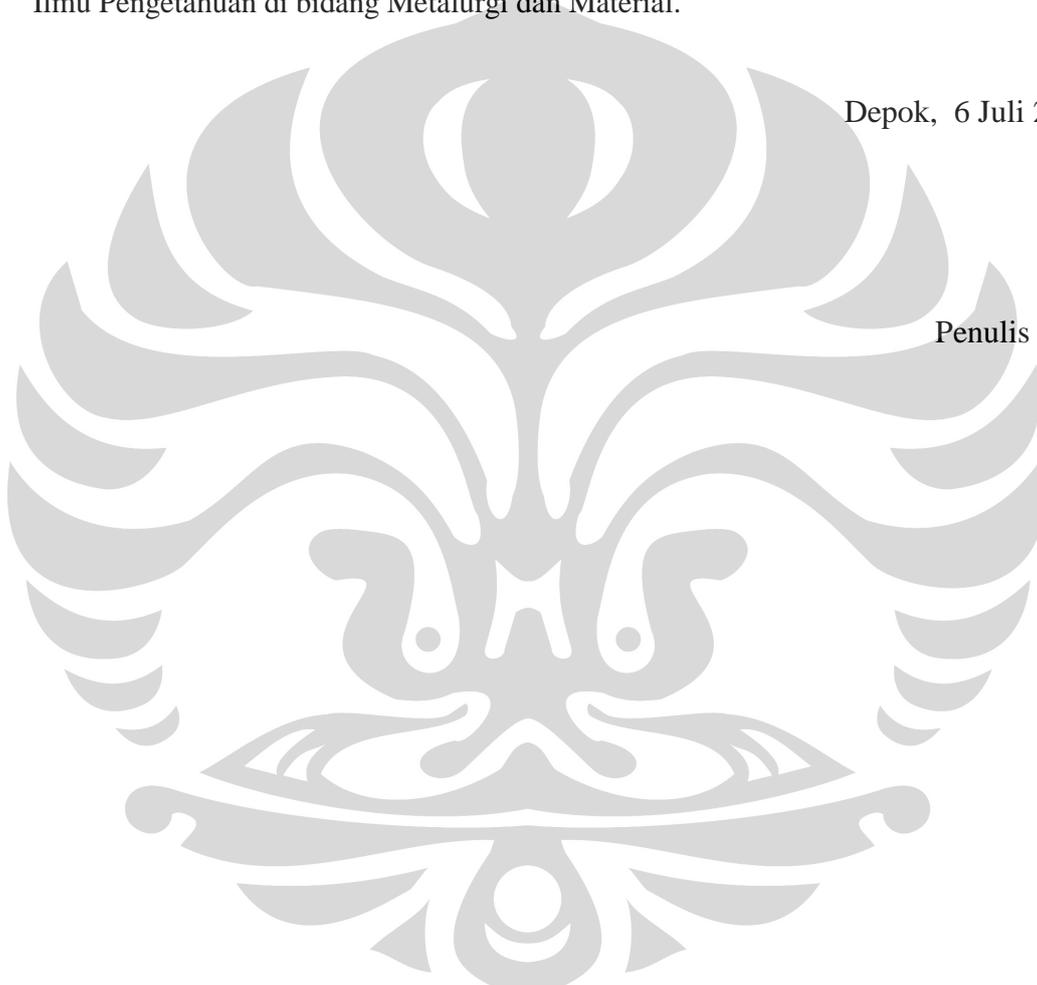
(7) Fandy Irwanto selaku rekan kerja yang telah sangat membantu saya dalam penelitian ini;

(8) Chintya Viola, Sahabat dan Teman-teman terbaik saya yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Besar harapan bagi saya skripsi ini dapat bermanfaat bagi kepentingan bersama dan memberikan kontribusi dalam kemajuan Ilmu Pengetahuan di bidang Metalurgi dan Material.

Depok, 6 Juli 2010

Penulis



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

---

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

Nama : Fiki Arif Pramudya  
NPM : 0606074874  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**Analisa Karakteristik dan Ketahanan Hydrogen Embrittlement Pelat Rantai Sepeda Motor Baja AISI/SAE 1050 Metode *Quench Temper Vs Austemper***

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 atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Juni 2010

Yang menyatakan

(Fiki Arif Pramudya)

## ABSTRAK

Nama : Fiki Arif Pramudya  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Analisa Karakteristik dan Ketahanan *Hydrogen Embrittlement* Pelat Rantai Sepeda Motor Baja AISI/SAE 1050 Metode *Quench Temper Vs Austemper*

Peralihan metode perlakuan panas konvensional dari metode *quench temper* ke metode *austemper* dilakukan sebagai salah satu bentuk inovasi dan peningkatan efisiensi dalam persaingan industri otomotif. Karakteristik sampel *outer link plate* (OLP) jenis 420 (AISI/SAE 1050) hasil *quench temper* dan *austemper* serta perbandingannya terhadap ketahanan *hydrogen embrittlement* dibahas pada penelitian ini. *Quench temper* dilakukan dengan pemanasan hingga temperatur 850°C dan ditahan selama 40 menit, kemudian di-*quench* dengan media oli (40-70°C), setelah itu di-*temper* (350°C) selama 40 menit. *Austempering* dilakukan dengan pemanasan hingga temperatur 880°C dan ditahan selama 40 menit lalu didinginkan pada temperatur di atas temperatur Ms ( $\pm 315^\circ\text{C}$ ) dengan media lelehan garam. Waktu tahan 10, 20 dan 30 menit dilakukan sebagai variabel dari *austemper*. Hasil penelitian menunjukkan sampel *quench temper* mengalami kenaikan kekerasan permukaan sebesar 6,97%, sedangkan pada *austemper* hanya 0,56%, 0,68% dan 0,89%. Perbedaan mode perpatahan makro dan mikro pada sampel *quench temper* (martensit temper) dan *austemper* (bainit bawah) juga diamati dalam penelitian ini.

Kata kunci: *quench temper, austemper, hydrogen embrittlement, martensit temper, bainit bawah*

## ABSTRACT

Name : Fiki Arif Pramudya  
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
Title : An Analysis of Characterize and Hydrogen Embrittlement Resistance of Quench Temper Vs Austemper Methods of AISI/SAE 1050 Steel Motorcycle Chain Plate

Conventional Heat Treatment method substitution from quench temper into austemper has been done as an innovation and an efficiency improvement in otomotive industries. Properties of 420 outer link plate (AISI/SAE 1050) quench temper and austemper product, also the hydrogen embrittlement comparison studied by this research. Heating by 850°C for 40 min, oil quenched at 40-70°C, and then tempered at 350°C for 40 min used in quench temper method. Otherwise, the austempering was heated at 880°C for 40 min, salth-bath quenched above Ms temperature ( $\pm 315^\circ\text{C}$ ). 10, 20, and 30 min holding time used as an austemper variables. The result shows that quench temper sample has an increase in hardness value by 6.97 %, meanwhile the increase values from austemper product are 0.56, 0.68, and 0.89 %. The differencies of quench temper and austemper macro and micro fracture mode also provide by this research.

Keywords: quench temper, austemper, hydrogen embrittlement, tempered martensite, lower bainite

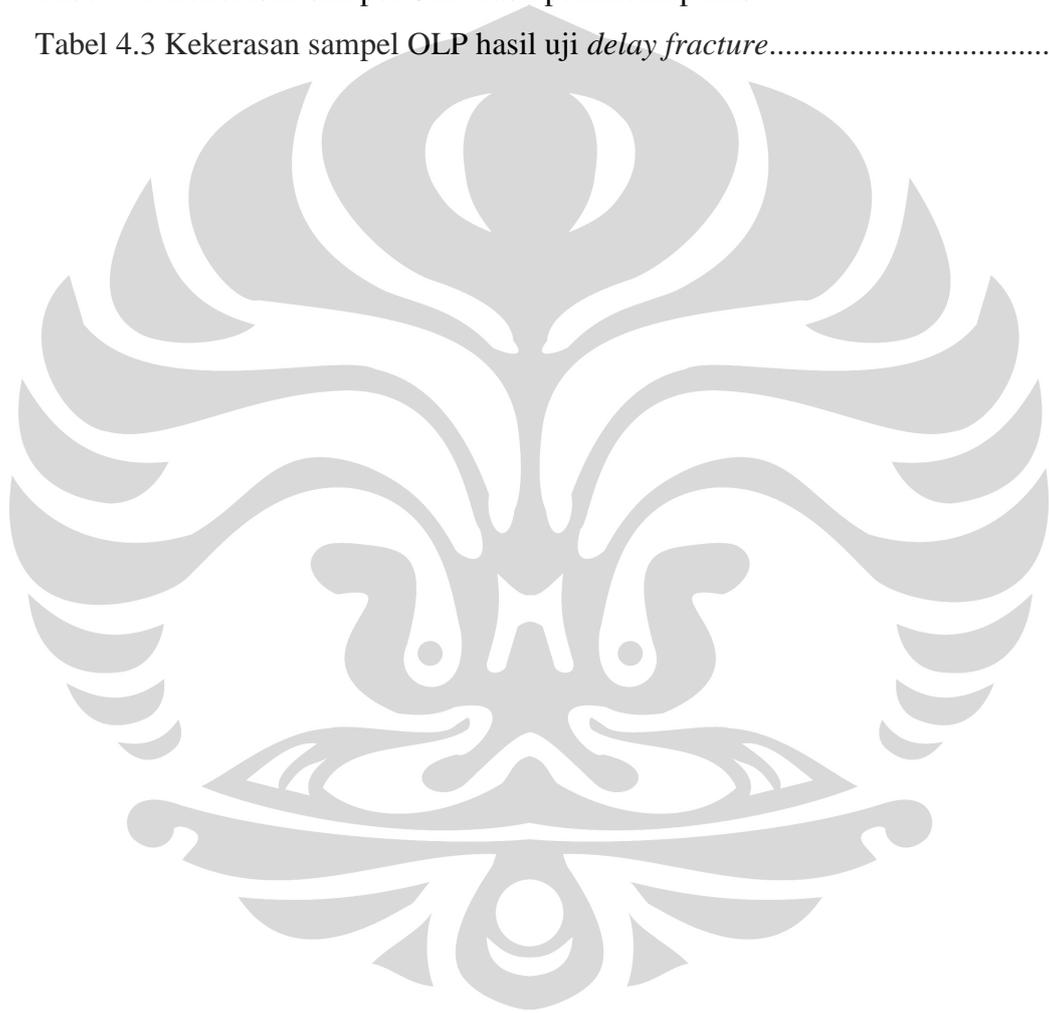
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR RUMUS .....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Baja Karbon.....	5
2.1.1 Klasifikasi Baja Karbon <sup>[4]</sup> .....	5
2.2 Perlakuan Panas.....	6
2.2.1 <i>Quenching</i> .....	7
2.2.2 Tempering.....	8
2.2.3 Austempering.....	10
2.3 Struktur Mikro.....	12
2.3.1 Martensit.....	12
2.3.2 Martensit Temper.....	14
2.3.3 Perlit.....	15
2.3.4 Bainit.....	16

2.4	Tegangan Sisa.....	18
2.5	Hidrogen Embrittlement.....	19
2.5.1	Internal Reversible Hydrogen Embrittlement (IR-HE) .....	20
2.6	Perpatahan .....	23
2.6.1	Perpatahan Makro .....	23
2.6.2	Perpatahan Mikro.....	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		26
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	26
3.2	Alat dan Bahan .....	27
3.2.1	Alat.....	27
3.2.2	Bahan .....	27
3.3	Prosedur Penelitian .....	28
3.3.1	Pembuatan Sampel Pelat Rantai .....	28
3.3.2	Perlakuan Panas .....	29
3.3.3	Pengujian .....	30
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....		37
4.1	Komposisi Kimia.....	37
4.2	Pengamatan Visual .....	38
4.3	Pengujian Kekerasan .....	38
4.3.1	Kekerasan Hasil Perlakuan Panas.....	39
4.3.2	Kekerasan Hasil Uji <i>Delay Fracture</i> .....	41
4.4	Pengamatan Struktur Mikro .....	43
4.5	Pengujian <i>Delay Fracture</i> .....	49
4.6	Pengamatan Perpatahan.....	51
BAB 5 KESIMPULAN.....		56
DAFTAR PUSTAKA .....		57

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan sifat mekanik antara produk <i>austemper</i> dengan.....	1
Tabel 2.1 Pengaruh media <i>quench</i> <sup>[2]</sup> .....	8
Tabel 2.2 Kekerasan baja karbon setelah temper <sup>[2]</sup> .....	9
Tabel 4.1 Komposisi kimia baja AISI/SAE 1050 <i>as-received</i> .....	37
Tabel 4.2 Kekerasan sampel OLP hasil perlakuan panas .....	39
Tabel 4.3 Kekerasan sampel OLP hasil uji <i>delay fracture</i> .....	41



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Efek temperatur temper pada sifat mekanik baja karbon 1050 diameter 38 mm setelah di <i>quench</i> air dan di temper selama 1 jam pada temperatur berbeda <sup>[2]</sup> .....	10
Gambar 2.2 Perbandingan skema diagram TTT antara proses <i>quenching</i> tempering dengan proses austempering <sup>[2]</sup> .....	11
Gambar 2.3 Diagram TTT ( <i>time-temperature transformation</i> ) dari baja 1050 <sup>[6]</sup> .....	12
Gambar 2.4 Komposisi karbon di dalam baja sebagai fungsi temperatur Ms dan membedakan bentuk martensit <i>lath</i> dan <i>plate</i> <sup>[7]</sup> .....	13
Gambar 2.5 Martensit (a) <i>lath</i> dan (b) <i>plate</i> <sup>[8]</sup> .....	14
Gambar 2.6 Diagram transformasi isothermal baja 1080 dengan di austenisasi pada 900°C .....	15
Gambar 2.7 Foto struktur mikro baja 1080 terlihat koloni-koloni lamelar dari perlit. Perbesaran 200x .....	16
Gambar 2.8 Ilustrasi pertumbuhan bainit dan pembentukan <i>lower</i> dan <i>upper bainite</i> .....	17
Gambar 2.9 Komponen tegangan di dalam material <sup>[9]</sup> .....	18
Gambar 2.10 Ilustrasi tegangan sisa terhadap perambatan retak <sup>[10]</sup> .....	19
Gambar 2.11 Skema masuknya hidrogen di dalam baja. C = karbida <sup>[12]</sup> .....	22
Gambar 2.12 Pengamatan makro (a) perpatahan ulet dan (b) getas hasil uji tarik 24	
Gambar 2.13 Perpatahan <i>cleavage</i> TG yang menunjukkan <i>river marks</i> <sup>[9]</sup> .....	25
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	26
Gambar 3.2 Komponen rantai sepeda motor .....	28
Gambar 3.3 Dimensi ukuran dari <i>outer link plate</i> (OLP) .....	29
Gambar 3.4 Grafik perlakuan panas metode <i>quench temper</i> .....	29
Gambar 3.5 Optical emission spectrometer (OES) .....	31
Gambar 3.6 Skema pemantulan cahaya pada permukaan sampel .....	33
Gambar 3.7 Peralatan yang digunakan pada uji <i>delay fracture</i> .....	35
Gambar 4.1 Satu rangkaian rantai sepeda motor .....	38
Gambar 4.2 Grafik nilai kekerasan hasil perlakuan panas .....	40
Gambar 4.3 Grafik kekerasan sampel sebelum vs. setelah uji <i>delay fracture</i> .....	42

Gambar 4.4 Struktur mikro sampel <i>quench temper</i> . Nital 2-3%. 500x.....	43
Gambar 4.5 Struktur mikro sampel <i>quench temper</i> . Picral 15%. 500x.....	44
Gambar 4.6 Struktur mikro sampel <i>austemper</i> 10 menit. Nital 2-3%. 500x .....	45
Gambar 4.7 Struktur mikro sampel <i>austemper</i> 20 menit. Nital 2-3%. 500x .....	45
Gambar 4.8 Struktur mikro sampel <i>austemper</i> 30 menit, Nital 2-3%. 500x .....	46
Gambar 4.9 Struktur mikro sampel <i>austemper</i> 10 menit. Nital 15%. 500x.....	47
Gambar 4.10 Struktur mikro sampel <i>austemper</i> 20 menit. Picral 15%. 500x .....	47
Gambar 4.11 Struktur mikro sampel <i>austemper</i> 30 menit. Picral 15%. 500x .....	48
Gambar 4.12 Struktur mikro <i>low-alloy steel</i> menunjukkan struktur dari bainit. Picral 4%. 500x <sup>[8]</sup> .....	48
Gambar 4.13 Gelembung gas H <sub>2</sub> yang terjadi selama pengujian <i>delay fracture</i> ...	50
Gambar 4.14 (a) Rantai setelah dicelup selama 25 jam, (b) sebelum pencelupan	51
Gambar 4.15 Perpatahan makro (a) <i>quench temper</i> , (b) <i>austemper</i> , (c) <i>quench temper</i> dan <i>austemper</i> (kiri-kanan). OM 50x .....	52
Gambar 4.16 Perpatahan makro (a) <i>quench temper</i> dan (b) <i>austemper</i> . Tampak samping. OM 50x .....	52
Gambar 4.17 Perpatahan <i>quench temper</i> setelah uji <i>delay fracture</i> . SEM 2000x	53
Gambar 4.18 Perpatahan <i>austemper</i> setelah uji <i>delay fracture</i> . SEM 2000x .....	54

## DAFTAR RUMUS

(2.1) Rumus Temperatur Ms.....	13
--------------------------------	----



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kompetisi yang semakin ketat di industri komponen otomotif ditambah dengan terjadinya krisis perekonomian global belakangan ini menuntut industri untuk terus melakukan inovasi dan efisiensi pada produk yang dihasilkannya. Industri otomotif sebagai salah satu penopang perekonomian nasional pada tahun 2010 ini diperkirakan omzetnya mencapai 197 triliun rupiah. Diantaranya sumbangan sebesar 17 triliun rupiah berasal dari sektor industri komponen<sup>[1]</sup>.

Salah satu hal yang dilakukan industri komponen untuk mampu berkompetisi di pasaran adalah dengan melakukan inovasi dan efisiensi proses produksi. Inovasi dan efisiensi proses produksi bertujuan untuk menghasilkan produk dengan sifat yang lebih baik dan unggul. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan beralih dari proses perlakuan panas konvensional seperti metode *quench temper* (Q&T) ke metode *austemper*. Alasan beralihnya metode proses ini karena produk hasil *austemper* memiliki beberapa kelebihan seperti *yield strength*, nilai kekerasan dan ketahanan fatik yang lebih baik daripada produk hasil *quench temper* seperti terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.1** Perbandingan sifat mekanik antara produk *austemper* dengan *oil-quenched tempered* baja 1090<sup>[2]</sup>

<i>Properties</i> (a)	<i>Austempered</i> at 400°C (b)	<i>Quenched and</i> <i>Tempered</i> (c)
<i>Tensile strength, MPa (ksi)</i>	1415 (205)	1380 (200)
<i>Yield strength, Mpa (ksi)</i>	1020 (148)	895 (130)
<i>Elongation, %</i>	11.5	6.0
<i>Reduction of area, %</i>	30	10.2
<i>Hardness, HB</i>	415	388
<i>Fatigue cycles (d)</i>	105.000 (e)	58600 (f)

(a) average values. (b) six tests. (c) two tests. (d) fatigue specimens 21 mm (0.812 in.) in diameter. (e) seven tests; range, 69050-137000. (f) eight tests; range 43120-95220

Salah satu kelebihan lain yang dimiliki metode *austemper* adalah ketahanannya terhadap serangan *hydrogen embrittlement* (HE) yang lebih baik dibandingkan dengan metode *quench temper*. Ketahanan terhadap *hydrogen embrittlement* ini nantinya akan dipengaruhi oleh karakteristik dari produk yang dihasilkan seperti sifat mekanik dan struktur mikro. Metode *quench temper* akan menghasilkan produk yang memiliki struktur mikro berupa *martensite temper*, sedangkan pada metode *austemper* akan dihasilkan struktur mikro bainit bawah (*lower bainite*). Selain itu penggunaan metode *austemper* ini juga sangat dibutuhkan untuk aplikasi yang membutuhkan pembatasan distorsi dan tegangan sisa (*residual stress*) yang baik.

Tantangan terhadap performa produk yang diikuti oleh perkembangan mesin dan teknologi proses, aspek bahan baku yang memiliki spesifikasi sesuai menjadi sangat penting dalam menjawab tantangan tersebut. Material baja AISI/SAE 1050 merupakan baja karbon menengah yang banyak digunakan sebagai bahan baku pada industri manufaktur komponen otomotif. Kelebihan material ini adalah dengan kadar karbon yang menengah mudah untuk dilakukan proses pengerjaan dingin maupun proses perlakuan panas. Ketersediaan dan harga bahan baku yang relatif murah membuat material ini sangat ekonomis untuk digunakan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Pelat rantai sepeda motor yang memiliki dimensi cukup tipis (~1.2mm) pada aplikasinya sangat membutuhkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap lingkungan yang baik. Beberapa sifat mekanik yang sangat penting hubungannya dengan aplikasi pelat rantai sepeda motor adalah nilai kekerasan dan kekuatan tarik. Dengan meningkatkan nilai kekerasan dan *yield strength* ini nantinya akan dapat memperpanjang umur pakai atau ketahanan seperti aus dan fatik dari pelat rantai tersebut. Namun pada teorinya peningkatan nilai kekerasan dan *yield strength* ini juga akan menurunkan ketahanannya terhadap serangan *hydrogen embrittlement*. Hal ini diperburuk dengan hadirnya *residual stress* akibat proses perlakuan panas selama proses produksi. Kestabilan fasa struktur mikro dan

komposisi kimia bahan baku juga ikut berperan terhadap kemampuan pelat rantai menahan serangan *hydrogen embrittlement*.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi kontradiksi antara tuntutan konsumen dengan produsen yaitu kebutuhan akan performa produk (seperti kekerasan, kekuatan luluh dan ketahanan fatik) dengan ketahanan terhadap *hydrogen embrittlement* dan tegangan sisa akibat dari proses produksi. Selain faktor untuk menghasilkan produk dengan spesifikasi yang baik, tuntutan faktor efisiensi jugalah yang memaksa produsen komponen untuk mencari metode proses yang tepat sehingga dapat secara optimal memenuhi kedua faktor tersebut.

Mengingat pentingnya kedua faktor tersebut maka pada penelitian ini akan dibahas mengenai karakteristik; kelebihan dan kekurangan dari produk yang dihasilkan oleh kedua metode proses; *quench temper* dan *austemper* yang mampu memenuhi kebutuhan konsumen dan sesuai dengan kemampuan produsen.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari karakteristik produk hasil proses metode *quench temper* dan *austemper*
2. Membandingkan ketahanan terhadap *hydrogen embrittlement* antara produk hasil metode *quench temper* dan metode *austemper*
3. Analisa hubungan karakteristik produk terhadap ketahanan *hydrogen embrittlement*

### **1.4 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini akan membandingkan sampel berupa pelat rantai sepeda motor hasil *quench temper* dan *austemper*. Sampel yang digunakan adalah *outer link plate* (OLP) jenis 420 produk buatan perusahaan manufaktur rantai sepeda motor Indonesia, PT. X Manufacturing Indonesia. Bahan baku yang digunakan adalah baja karbon standar AISI/SAE 1050 dengan melalui pengerjaan awal berupa *cold working* untuk pembentukan OLP dari bahan baku berupa lembaran. Setelah itu OLP akan melewati proses pembersihan atau *finishing* dengan metode *barreling* baru kemudian masuk ke proses perlakuan panas.

Perlakuan panas yang dilakukan pada metode *quench temper* adalah pemanasan ke temperatur 850°C dan ditahan selama 40 menit, kemudian pendinginan cepat ke media oli bertemperatur antara 40°C sampai 70°C. Proses selanjutnya adalah di-*temper* di temperatur 340°C selama 40 menit kemudian didinginkan di udara. Pada proses terpisah, *austemper* dilakukan dengan memanaskan OLP ke temperatur 880°C ditahan selama 40 menit kemudian di *quench* di temperatur di atas *martensite start* (Ms) ( $\pm 315^\circ\text{C}$ )<sup>[3]</sup>. Proses *quench* dilakukan di lelehan garam atau *salt bath*. Proses *austemper* ini dilakukan dalam 3 variabel waktu tahan *quench* yang berbeda yaitu 10, 20 dan 30 menit.

Karakteristik material akan diketahui melalui uji komposisi kimia, uji kekerasan, dan pengamatan struktur mikro. Sedangkan ketahanan HE akan diuji menggunakan metode *delay fracture test*, yaitu pencelupan OLP ke dalam larutan 4 liter HCl 0,1 N selama 100 jam dengan setiap 25 jam dilakukan penggantian larutan. Kemudian perpatahan yang terjadi pada sampel akan diamati menggunakan SEM.

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Baja Karbon

Baja karbon biasa atau *plain carbon steel*, merupakan jenis baja yang memiliki komposisi karbon (C) kurang dari 1,4 % dengan unsur paduan lainnya yang juga rendah. Baja karbon diklasifikasikan berdasarkan komposisi karbon yang terkandung di dalamnya (rendah, menengah dan tinggi). Standar seperti AISI (*American Iron and Steel Institute*) atau SAE (*Society of American Engineers*) memberikan 4 angka untuk membedakan tipe-tipe dari baja (3 untuk baja tahan karat). Contohnya, AISI/SAE 1050, 10 merupakan tipe baja karbon biasa (non-resulfurisasi) sedangkan 50 untuk kadar karbonnya 0,5%<sup>[4]</sup>. Kelompok baja karbon biasa ini memiliki sifat mekanik yang sangat bergantung pada komposisi karbonnya.

##### 2.1.1 Klasifikasi Baja Karbon<sup>[4]</sup>

Baja karbon biasa berdasarkan kadar karbonnya dibagi menjadi tiga yaitu, baja karbon rendah, baja karbon menengah dan baja karbon tinggi.

###### 1. Baja Karbon Rendah (*Low-Carbon Steels*)

Baja karbon tipe ini memiliki kadar karbon kurang dari 0,25%. Baja karbon ini tidak responsif terhadap *heat treatment* yang tujuannya untuk mendapatkan martensit, proses penguatan didapatkan melalui proses pengerjaan dingin/*cold work*. Struktur mikro terdiri dari fasa ferit dan perlit, karena itu baja karbon rendah relatif lunak dan lemah namun keuletan dan ketangguhannya sangat baik. Baja karbon rendah ini memiliki *machinability* dan *weldability* yang sangat baik, namun baja karbon rendah ini merupakan baja yang paling mahal biaya produksinya jika dibandingkan dengan baja karbon biasa lainnya. Baja karbon ini banyak digunakan sebagai *body* mobil, baja struktural, pipa dan kemasan.

###### 2. Baja Karbon Menengah (*Medium-Carbon Steels*)

Baja karbon menengah memiliki kadar karbon sekitar 0,25% sampai 0,60%. Baja jenis ini mampu untuk dilakukan *heat treatment* dengan austenisasi, *quenching* yang kemudian diikuti dengan *temper* untuk meningkatkan sifat

mekaniknya. Baja karbon ini umumnya digunakan setelah melalui kondisi *temper*, yang memiliki struktur mikro berupa martensit temper. Baja karbon menengah ini memiliki kemampukerasan/*hardenability* yang rendah, karena itu untuk mendapatkan hasil *heat treatment* yang baik, maka benda atau komponen harus cukup tipis dan diikuti dengan proses pendinginan cepat.

Penambahan unsur seperti kromium, nikel, vanadium dan molybdenum akan meningkatkan kemampukerasan dari baja ini, namun akan sedikit mengorbankan keuletan dan ketangguhannya. Aplikasi baja ini banyak digunakan sebagai *gear*, *crankshaft*, *chain link*, dan komponen lainnya yang membutuhkan kombinasi antara kekuatan tinggi, ketangguhan dan ketahanan aus yang baik.

### 3. Baja Karbon Tinggi (*High-Carbon Steels*)

Baja karbon tinggi memiliki kadar karbon antara 0,6% sampai 1,4%. Baja karbon ini adalah yang paling keras dan kuat di antara 2 baja biasa sebelumnya. Umumnya digunakan dalam kondisi *hardened* dan *tempered* sebagai material tahan aus. Baja karbon tinggi yang memiliki kandungan seperti unsur kromium, vanadium, dan wolfram akan membentuk karbida yang sangat keras ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{V}_4\text{C}_3$  dan WC)

## 2.2 Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas merupakan suatu tahapan proses yang penting pada pengerjaan logam yang bertujuan untuk mendapatkan atau memperbaiki sifat-sifat mekanis seperti kekerasan, ketangguhan, dan sebagainya.

Proses pemanasan yang dilakukan adalah dengan cara menaikkan temperatur logam di atas temperatur kritis ( $A_1$ ) yaitu temperatur dimana mulai terjadinya transformasi struktur dari fasa ferit ( $\alpha$ ) menjadi fasa austenit ( $\gamma$ ). Kemudian logam ditahan pada temperatur tersebut untuk waktu tertentu dan dilanjutkan dengan pendinginan cepat dan media *quench* tertentu.

Perlakuan panas yang banyak dilakukan pada baja karbon adalah proses pengerasan (*hardening*) dan dilanjutkan dengan penemperan, dimana hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan ketangguhan meskipun menurunkan kekerasannya.

### 2.2.1 *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*.<sup>[2]</sup>

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

- Air
- Oli
- Lelehan garam
- Lelehan logam
- 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 juga akan mempengaruhi kecepatan pendinginan dari komponen. Hal ini terjadi karena energi panas di dalam komponen 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<sup>[2]</sup>.

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 2.1 di bawah. Semakin tinggi nilai H, maka semakin tinggi pula kecepatan pendinginan pada komponen.

**Tabel 2.1** Pengaruh media *quench*<sup>[2]</sup>

Circulation or agitation	Grossman Quench Severity Factor, H			
	Brine Water	Water	Oil and Salt	Air
None	2	0,9-1,0	0,25-0,30	0,02
Mild	2-2,2	1,0-1,1	0,30-0,35	...
Moderate	...	...,2-1,3	0,35-0,40	.
Good	...	...,4-1,5	0,4-0,5	.
Strong	...	...,6-2,0	0,5-0,8	.
Violent	5	4	0,8-...,1	.

Media *quench* air walaupun mudah digunakan namun pada aplikasi baja karbon menengah dan tinggi sangat rentan terjadi retak dan melengkung/*warping*. Media *quench* yang paling banyak digunakan adalah oli dan lelehan garam karena sangat baik dalam mentransfer panas secara konveksi. Lelehan garam lebih banyak digunakan pada metode perlakuan panas seperti *austemper* dan *martempering*.

### 2.2.2 Tempering

*Tempering* adalah proses pemanasan di temperatur kritis yang dilakukan setelah proses pengerasan dan diikuti dengan pendinginan normal. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan. *Tempering* pada baja juga bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa akibat *quenching* dan untuk memperbaiki stabilitas dimensi komponen. Beberapa faktor yang berpengaruh dalam proses tempering antara lain:

- Temperatur *temper*
- Waktu *temper*
- Kecepatan pendinginan setelah *temper*
- Komposisi baja (karbon, paduan, inklusi)

Baja yang mengalami *quench* akan memiliki struktur mikro berupa martensit yang sangat keras, ini terjadi karena atom karbon terjebak di dalam kisi besi (Fe) yang menimbulkan adanya tegangan di dalam kristal bcc (*body-centered cubic*) menjadi kristal bct (*body-centered tetragonal*). Selama proses pemanasan

kembali, atom karbon akan berdifusi menjadi sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) atau karbida paduan di dalam matrik ferit yang akan secara perlahan menurunkan nilai tegangan. Perubahan ini biasanya akan menyebabkan turunnya nilai kekerasan, *yield strength*, *tensile strength*, namun *ductility* dan ketangguhannya akan naik. Pada proses *temper* dapat terjadi penggetasan atau *embrittlement* yang disebabkan oleh hadirnya unsur pengotor seperti fosfor. *Embrittlement* ini biasanya terjadi pada karbon baja tinggi yang memudahkan fosfor untuk bersegregasi ke batas butir austenit *prior* sehingga menyebabkan kegetasan.

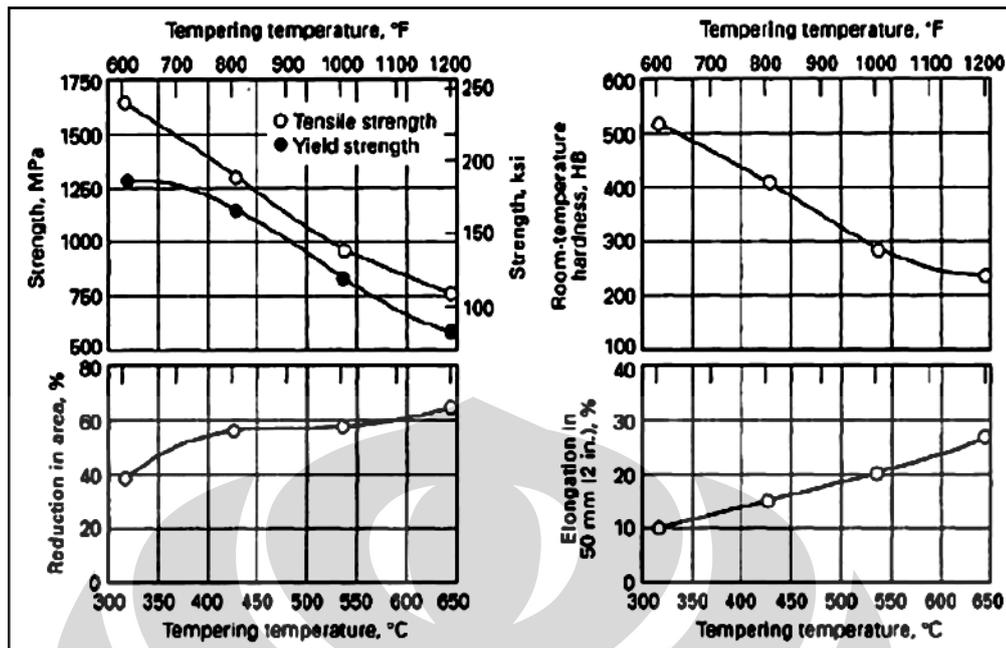
Nilai kekerasan hasil *temper* beberapa baja karbon akan ditampilkan di Tabel 2.2 di bawah ini. Temperatur dan waktu merupakan variabel yang sangat penting di dalam proses *temper*. Menurunkan temperatur dan memperlama waktu *temper* akan memiliki efek yang hampir sama dengan menaikkan temperatur dan mempercepat waktu *temper*. Namun, perubahan minor pada temperatur akan lebih besar efeknya daripada perubahan minor pada waktu.

**Tabel 2.2** Kekerasan baja karbon setelah *temper*<sup>[2]</sup>

Grade	Carbon content, %	Hardness, HRC, setelah temper 2 jam									Heat treatment
		205 °C	260 °C	315 °C	370 °C	425 °C	480 °C	540 °C	595 °C	650 °C	
1030	0,30	50	45	43	39	31	28	25	22	95 <sup>a</sup>	Water quench dari 830-850 °C
1040	0,40	51	48	46	42	37	30	27	22	94 <sup>a</sup>	
1050	0,50	52	50	46	44	40	37	31	29	22	

(a) *hardness, HRB*

Beberapa hubungan empiris antara nilai kekerasan dan *tensile strength* telah banyak dibuat untuk mengetahui pengaruh temperatur *temper* pada baja. Pada Gambar 2.1 di halaman selanjutnya menunjukkan pengaruh dari temperatur *temper* pada nilai kekerasan, *tensile* maupun *yield strength*, elongasi dan *reduction area* dari baja AISI/SAE 1050 dengan waktu *temper* selama 1 jam.



**Gambar 2.1** Efek temperatur *temper* pada sifat mekanik baja karbon 1050 diameter 38 mm setelah di *quench* air dan di *temper* selama 1 jam pada temperatur berbeda<sup>[2]</sup>

### 2.2.3 Austempering

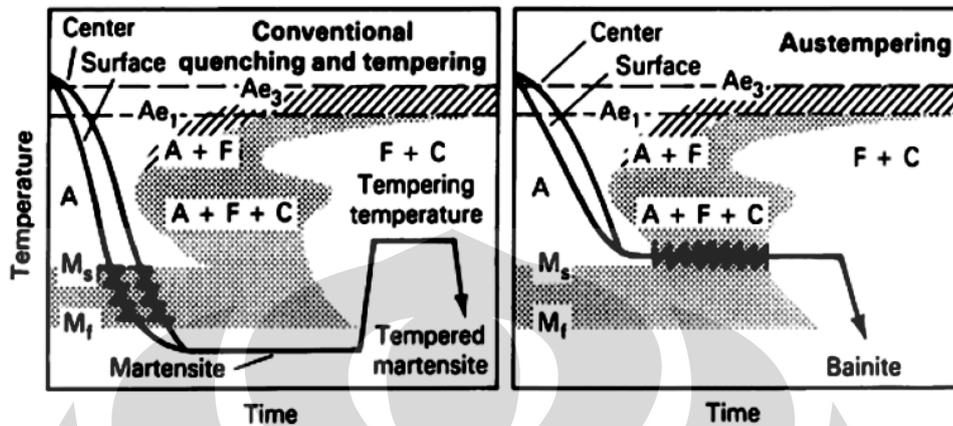
*Austempering* adalah proses transformasi secara isothermal dari paduan *ferrous* pada temperatur di bawah transformasi perlit dan di atas transformasi martensit. Proses *austemper* memiliki beberapa kelebihan antara lain<sup>[5]</sup>:

- Memiliki kekuatan, keuletan dan ketangguhan yang baik
- Mengurangi resiko distorsi
- Waktu proses rata-rata yang cepat untuk mendapat kekerasan 35-55 HRC
- Biaya produksi relatif rendah dan hemat energi

Proses *austempering* ini dilakukan dalam beberapa tahap antara lain:

- Pemanasan hingga mencapai temperatur austenisasi (790-915°C)
- Pendinginan cepat ke temperatur sedikit di atas martensit start umumnya di temperatur sekitar 270-400°C
- Temperatur di tahan dalam waktu tertentu untuk menghasilkan bainit
- Kemudian dilakukan pendinginan di temperatur ruang

Proses *austempering* memiliki perbedaan yang mendasar jika dibandingkan dengan proses *quenching* dan *tempering* konvensional, hal ini dapat dilihat dari diagram TTT (*Time-Temperatur Transformation*) pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Perbandingan skema diagram TTT antara proses *quench tempering* dengan proses *austempering*<sup>[2]</sup>

### Media Quench

Pada proses *austemper* ini media *quench* yang umum digunakan adalah lelehan garam. Lelehan garam banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan antara lain:

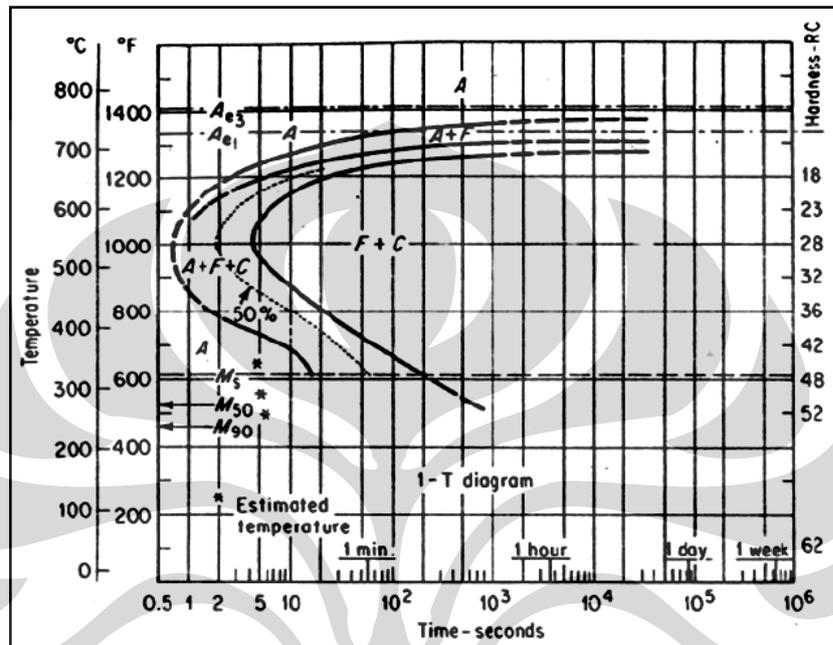
- Transfer panas baik
- Mengurangi masalah kondisi *vapour barrier* di tahap awal *quenching*
- Viskositas seragam di hampir semua temperatur
- Viskositas rendah sehingga mengurangi kehilangan selama *quenching*
- Larut di dalam air dan mudah dibersihkan

Media *quench* oli sebenarnya juga dapat digunakan, namun untuk *quench* yang berada pada temperatur di bawah 245°C. Pada temperatur di atas itu oli akan menjadi tidak stabil, viskositas berubah drastis sehingga menyebabkan oli menjadi media *quench* yang lambat dan mudah terbakar.

### Pemilihan Baja

Pemilihan baja yang dapat dilakukan *austempering* harus mengacu pada karakteristik transformasinya pada diagram TTT. Ada tiga faktor penting yang harus diperhatikan, antara lain:

- Bentuk dan lokasi hidung pada diagram TTT serta kecepatan pendinginan yang dapat dilakukan
- Waktu tahan pada temperatur *austemper* yang dibutuhkan untuk merubah dari austenit menjadi bainit secara menyeluruh.
- Letak temperatur *martensite start* ( $M_s$ )



**Gambar 2.3** Diagram TTT (*Time-Temperature Transformation*) dari baja 1050<sup>[6]</sup>

Gambar 2.3 diagram TTT baja 1050 di atas menunjukkan bahwa baja ini bisa dilakukan *austempering*. Jika dilihat dari letak hidungnya, baja 1050 harus dilakukan pendinginan sangat cepat untuk menghindari pembentuk fasa perlit di temperatur  $\pm 540^\circ\text{C}$ . Pendinginan cepat dilakukan sampai temperatur di atas garis transformasi martensit/*martensite start* ( $315\text{-}320^\circ\text{C}$ ). Temperatur *austemper* yang makin mendekati *martensite start* akan didapatkan baja yang kekerasannya optimal dengan struktur mikro berupa bainit. Baja 1050 ini juga memiliki waktu *austemper* yang cukup singkat sekitar 600-1800 detik tergantung paduan yang terkandung di dalamnya<sup>[3]</sup>.

## 2.3 Struktur Mikro

### 2.3.1 Martensit

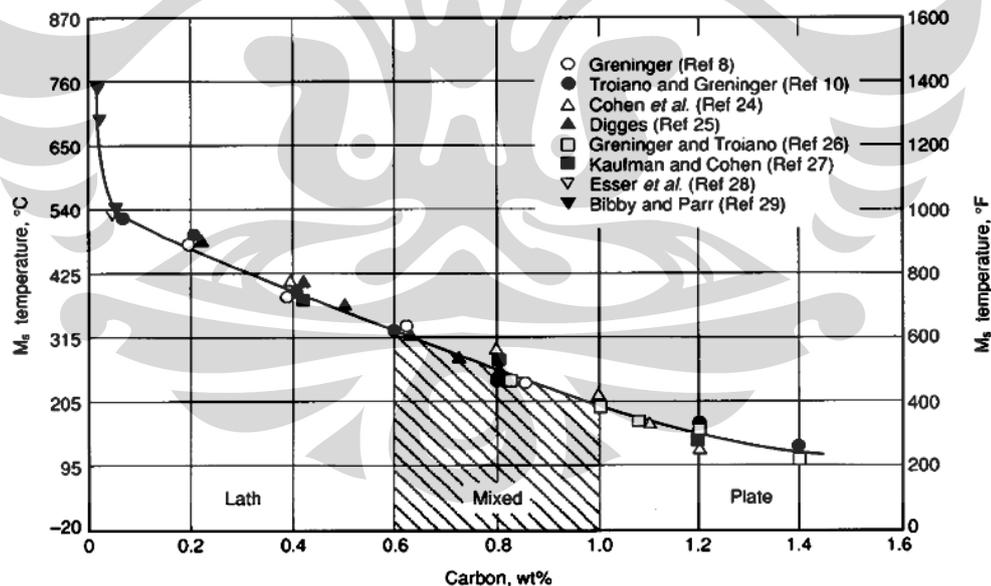
Martensit adalah fasa yang memiliki tingkat kekerasan paling tinggi di dalam baja. Martensit terbentuk melalui mekanisme *diffusionless* dan terjadi pada

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 ferit dan sementit, melainkan akan terperangkap di dalam bentuk oktahedral dari struktur kristal bcc. Ketika martensit terbentuk, kelarutan karbon di dalam struktur bcc akan menjadi jenuh. Ini yang akan membentuk struktur kristal baru berupa struktur bct.

Martensit mulai terbentuk pada temperatur kritis atau temperatur *martensite start* ( $M_s$ ). Temperatur  $M_s$  adalah fungsi dari karbon dan unsur paduan yang terkandung di dalam baja. Temperatur  $M_s$  logam paduan Fe dapat dicari dengan menggunakan rumus perhitungan komposisi sederhana.

$$\text{Rumus: } M_s (^{\circ}\text{C}) = 512 - 453C - 16,9\text{Ni} + 15\text{Cr} - 9,5\text{Mo} + 217(\text{C})^2 - 71,5(\text{C})(\text{Mn}) - 67,6 (\text{C})(\text{Cr}) \quad (2.1)$$

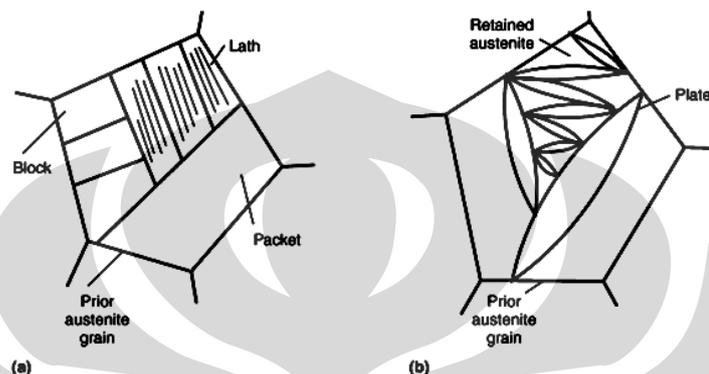
Hampir semua paduan akan menurunkan temperatur  $M_s$  dari baja. Pada Gambar 2.4 di bawah ditunjukkan bahwa temperatur  $M_s$  semakin turun dengan bertambahnya komposisi karbon di dalam baja.



**Gambar 2.4** Komposisi karbon di dalam baja sebagai fungsi temperatur  $M_s$  dan membedakan bentuk martensit *lath* dan *plate*<sup>[7]</sup>

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 di Gambar 2.5. *Plate* martensit terbentuk pada baja karbon tinggi. Bentuk dari *plate* martensit ini memiliki struktur seperti jarum dan tidak paralel/acak. Di dalam martensit jenis ini terdapat banyak austenit sisa karena rendahnya temperatur Ms.



Gambar 2.5 Martensit (a) *lath* dan (b) *plate*<sup>[8]</sup>

### 2.3.2 Martensit Temper

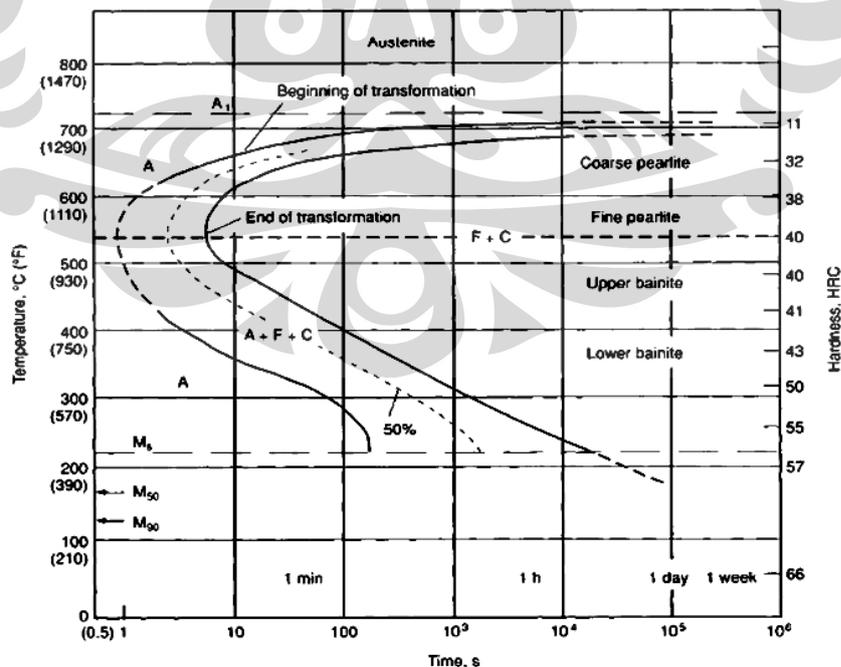
Produk martensit hasil *quench* memiliki kekerasan yang sangat tinggi namun sangat getas dan ketangguhan yang rendah. Maka dari itu hampir semua baja yang di *quench* akan menjalani proses *temper* untuk mendapatkan keuletan dan ketangguhan yang baik. Karena tingginya kadar karbon jenuh di dalam martensit membuat fasa ini menjadi metastabil. Nilai tegangan sisa yang tinggi, kerapatan dislokasi dan *ratio lath/plate* per satuan volum yang juga tinggi, serta banyaknya austenit sisa inilah yang membuat martensit menjadi fasa yang tidak stabil<sup>[4]</sup>. Selama proses *temper*, martensit akan berubah dari struktur kristal bcc menjadi struktur kristal bcc besi (ferit) dan endapan karbida/sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). ferit maupun sementit akan menjadi lebih kasar/besar jika waktu dan temperatur *temper* dinaikkan.

Dalam proses *tempering* terdapat tiga (3) tahap yang mewakili setiap terjadinya perubahan struktur<sup>[7]</sup>. **Pertama** adalah pemanasan yang terjadi di temperatur 100-250°C, disini akan terjadi pembentuk karbida-karbida transisi dan penurunan kadar karbon di dalam martensit sampai 0.25%. Tahap **kedua** (200-300°C), terjadi pembentuk ferit dan sementit dari austenit sisa yang berada di dalam *lath* atau *plate* dari martensit. Tahap **ketiga** terjadi pada temperatur 250-

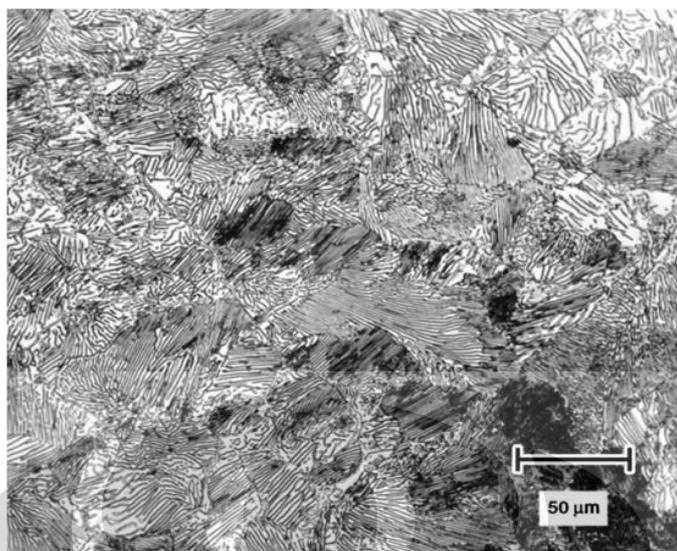
350°C, karbida transisi dan karbon yang berada di dalam martensit akan berubah menjadi sebagian besar ferit dan sementit. Pada tahap ketiga ini juga terjadi pengkasaran karbida dan pembentukan *spheroidal* karbida di dalam butir ferit. Hal ini biasanya tidak diinginkan jika terjadi dalam jumlah banyak karena akan menimbulkan efek *softening*<sup>[4]</sup>.

### 2.3.3 Perlit

Perlit merupakan struktur mikro akibat transformasi eutektoid pada baja dari austenit ( $\gamma$ ) yang menghasilkan fasa ferit ( $\alpha$ ) dalam bentuk koloni-koloni lamelar dan sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) (Gambar 2.7). Ferit dan sementit di dalam perlit akan terbentuk di temperatur  $A_1$  atau sekitar 727°C. Fasa perlit terjadi ketika baja didinginkan secara normal atau lambat sampai mengenai hidung perlit (ferit + sementit). 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. Di bawah ini Gambar 2.6 adalah transformasi isothermal dari baja AISI/SAE 1080 dengan 0,8% karbon akan berubah menjadi perlit sepenuhnya dengan temperatur di bawah 727°C.



**Gambar 2.6** Diagram transformasi isothermal baja AISI/SAE 1080 dengan austenisasi pada 900°C<sup>[7]</sup>



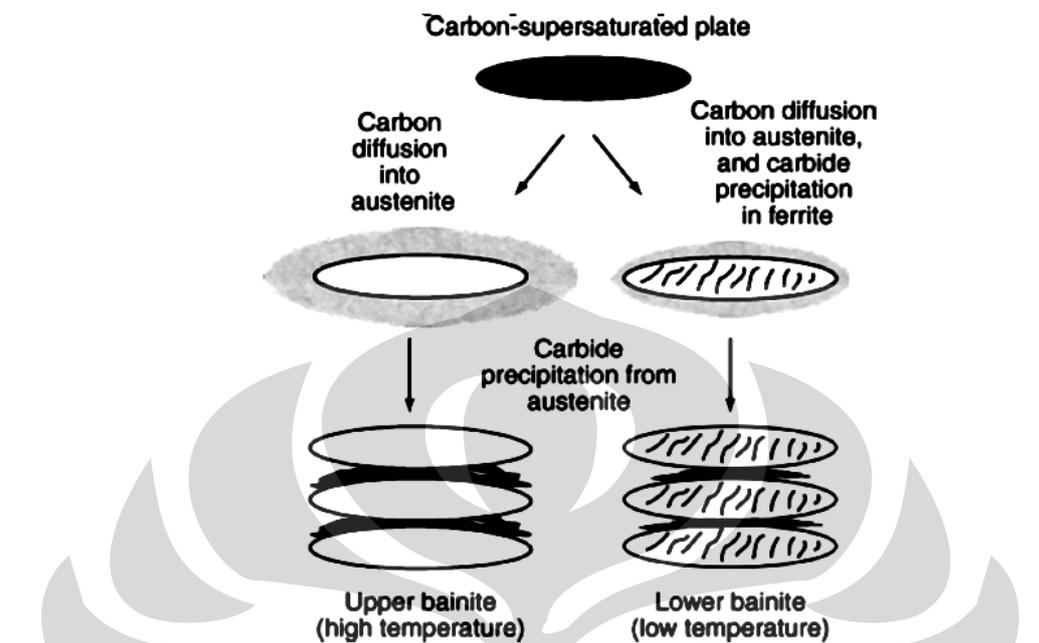
**Gambar 2.7** Foto struktur mikro baja 1080 terlihat koloni-koloni lamelar dari perlit. Perbesaran 200x<sup>[8]</sup>

#### 2.3.4 Bainit

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 atau *upper bainite*. Pada baja karbon menengah dan tinggi, biasanya akan terbentuk ferit bentuk *lath* dengan butiran sementit kasar di tengah-tengahnya. Pada Gambar 2.8 di halaman berikutnya akan diilustrasikan mekanisme pertumbuhan bainit. Sementara itu, bainit yang terjadi pada temperatur yang lebih rendah atau tepat di atas temperatur  $M_s$  adalah bainit bawah atau *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<sup>[8]</sup>.



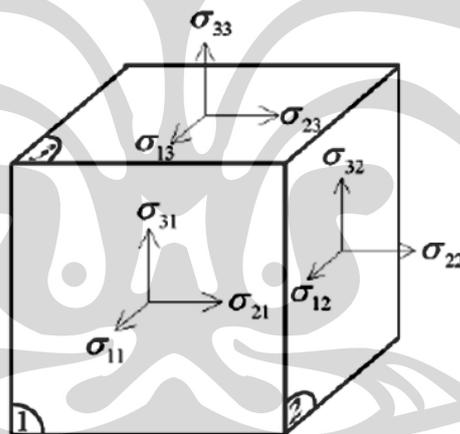
**Gambar 2.8** Ilustrasi pertumbuhan bainit dan pembentukan *lower* dan *upper bainite*<sup>[8]</sup>

Pengamatan karbida di dalam struktur bainit menggunakan mikroskop optik sangat sulit karena bentuknya yang sangat halus, oleh karena itu yang terlihat hanyalah fasa ferit-nya. Struktur bainit ini pada umumnya memiliki bentuk yang hampir sama dengan martensit temper. Strukturnya sama-sama memiliki bentuk jarum dan sama-sama mengandung fasa ferit dan sementit. Namun, sementit maupun endapan karbida pada bainit letaknya ada di dalam fasa ferit, sedangkan pada martensit temper karbida akan berada di luar dari ferit. Beberapa kesamaan inilah yang membuat pengamatan dalam membedakan bainit dan martensit temper menggunakan mikroskop optik biasa sangat sulit dilakukan

Pada baja karbon rendah dan menengah dengan paduan seperti mangan dan silikon akan lebih mudah terbentuk struktur bainit yang berisi ferit + austenit atau ferit + martensit yang terbentuk dari austenit sisa<sup>[7]</sup>.

## 2.4 Tegangan Sisa

Tegangan sisa atau *residual stress* adalah tegangan yang terdapat pada suatu komponen atau struktur setelah dikurangi semua beban kerja yang berasal dari luar komponen. Tegangan sisa dibedakan menjadi dua berdasarkan arah dan besarnya. Tegangan sisa tekan/*compressive* adalah tegangan yang arahnya menekan material dari arah luar. Sedangkan tegangan sisa tarik/*tensile* adalah tegangan sisa yang arahnya menarik material ke arah luar. Secara matematis, *compressive* akan bernilai negatif sedangkan *tensile* akan bernilai positif. Tegangan juga dapat dikarakterisasi menjadi tegangan normal/*normal stress* jika arahnya tegak lurus dengan bidang pada material dan tegangan geser/*shear stress* jika arahnya searah/paralel dengan bidang pada material. Dalam suatu material pada tiap titik terdapat 6 komponen tegangan seperti pada Gambar 2.9 di bawah, yaitu 3 *normal stress* dan 3 *shear stress*. Standar internasional (SI) untuk tegangan adalah Mega pascal (MPa).

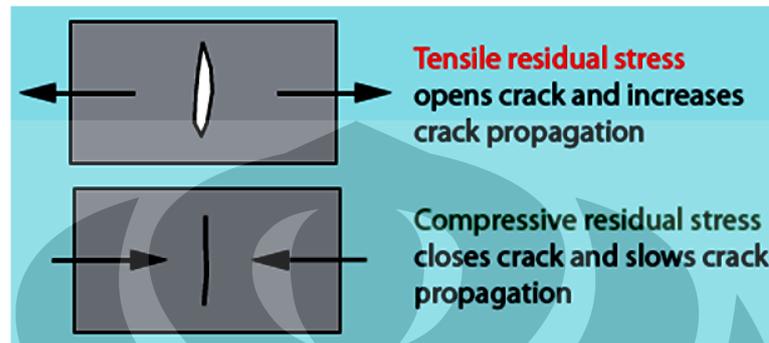


**Gambar 2.9** Komponen tegangan di dalam material<sup>[9]</sup>

Tegangan sisa bisa terjadi ketika titik equilibrium material dilewati atau setelah deformasi plastis akibat dari beban kerja dan perubahan fasa. Aplikasi komponen selama kerja yang melibatkan mekanik dan panas juga dapat menimbulkan tegangan sisa. Tegangan total suatu material dapat dihitung dengan menjumlahkan antara tegangan sisa ditambah tegangan akibat beban kerja.

Pada aplikasi umumnya, tegangan sisa *compressive* memiliki keuntungan karena dapat meningkatkan kekuatan dan umur fatik, memperlambat perambatan retak dan meningkatkan ketahanan material terhadap retak akibat lingkungan yang

seperti *stress corrosion cracking* (SCC) dan *hydrogen induced cracking* (HIC). Sementara itu tegangan sisa *tensile* sangat dihindari karena dapat menurunkan ketahanan dan umur fatik, mempercepat perambatan retak, dan lemah terhadap retak akibat lingkungan. Pada Gambar 2.10 diilustrasikan perbedaan antara tegangan sisa *compressive* dan *tensile* terhadap keretakan.



**Gambar 2.10** Ilustrasi tegangan sisa terhadap perambatan retak<sup>[10]</sup>

Tegangan sisa juga dapat dibedakan menurut besarnya. Tegangan yang terjadi di sepanjang material biasa disebut dengan tegangan makro/*macro-stresses*. Sementara tegangan yang terjadi hanya di suatu tempat atau titik disebut dengan tegangan mikro/*micro stresses*. Jumlah total tegangan sisa pada material di suatu tempat ada jumlah dari 3 jenis tegangan, yaitu<sup>[10]</sup>:

Tegangan tipe 1: Tegangan makro terjadi pada jarak yang panjang dan melibatkan banyak butir pada material tersebut.

Tegangan tipe 2: Tegangan mikro terjadi akibat perbedaan struktur mikro pada material. Tegangan ini juga dapat terjadi pada material *single-phase* namun memiliki butir-butir anisotropi karena bentuk dan hasil pengerjaan dingin.

Tegangan tipe 3: Tegangan berasal dari dalam butir karena adanya cacat/*imperfection* di dalamnya.

## 2.5 Hidrogen Embrittlement

*Hydrogen embrittlement* (HE) adalah suatu bentuk kegagalan (*failure*) yang dipengaruhi oleh lingkungan hidrogen ditambah dengan adanya tegangan kerja atau tegangan sisa. Kerusakan akibat hidrogen tidak sepenuhnya karena

adanya reaksi korosi namun juga karena proses manufaktur. Fenomena HE ini biasanya terjadi pada baja dengan kekuatan tinggi atau baja yang telah mengalami pengerjaan dingin. Beberapa penelitian mengatakan bahwa baja dengan kekerasan di atas 45 HRC atau kekuatan tarik di atas 1240 MPa ketahanannya terhadap serangan hidrogen akan secara drastis turun <sup>[11]</sup>.

Atom hidrogen akan memiliki kelarutan dan *diffusivity* yang rendah ketika berada di temperatur ruang. Ketika logam berada pada temperatur tinggi dan memiliki kelarutan hidrogen yang tinggi, maka ketika dilakukan pendinginan yang sangat cepat hidrogen akan terperangkap di dalamnya. Atom hidrogen yang terperangkap akan membentuk endapan gas di dalam *microvoid*. Tekanan endapan gas ini kadang akan sangat tinggi sehingga menyebabkan *internal crack*. HE juga dapat terjadi ketika material logam berada di dalam suatu larutan korosif, hidrogen memiliki tekanan yang sangat kuat di permukaan hingga atom hidrogen dapat masuk ke dalam celah atau *void*.

Beberapa kerusakan yang ditimbulkan HE adalah seperti mengurangi *reduction area* pada saat patah (perpatahan brittle) dan perpatahan yang terjadi di bawah tegangan kerja/*applied stress* atau di bawah *yield strength*. Beberapa ppm/*part per million* hidrogen yang terlarut ke dalam baja sudah cukup untuk membuat kerusakan seperti retak rambut/*hairline cracking* dan hilangnya *ductility*. Bahkan jika jumlah hidrogen memang sangat sedikit sekali, kegagalan masih dapat terjadi dengan mekanisme *hydrogen-induced delayed fracture*. HE dapat dibagi menjadi tiga tipe, yaitu<sup>[9]</sup>:

1. Internal reversible hydrogen embrittlement
2. Hydrogen environment cracking
3. Hydrogen reaction cracking

#### 2.5.1 Internal Reversible Hydrogen Embrittlement (IR-HE)

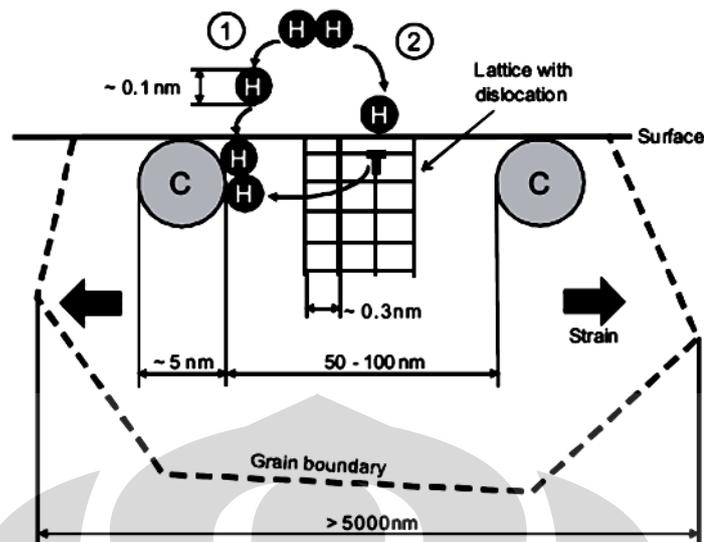
IR-HE adalah kegetasan yang diakibatkan adanya atom hidrogen yang secara internal dapat keluar kembali/*reversible*. IR-HE ini biasa dikenal sebagai *delayed failure* atau *slow strain rate embrittlement*. Untuk dapat tetap *reversible, embrittlement* yang terjadi tidaklah melalui proses perubahan kimia atau pembentukan *crack*.

IR-HE ini bisa terjadi walaupun hidrogen yang terlarut dalam baja jumlahnya sangat kecil. Namun, konsentrasi hidrogen lokal di dalam material akan lebih tinggi dari lingkungannya. Ini terjadi karena hidrogen yang diserap berada di butir atau di batas butir. Mekanisme *embrittlement* ini terjadi dengan regangan yang lambat/*slow strain rate* dengan bergantung pada waktu inkubasi. Temperatur ruang akan membuat *embrittlement* tetap bekerja ditambah dengan adanya tegangan yang konstan. Pada temperatur tinggi, atom hidrogen yang letaknya pada *stress concentration* justru akan berdifusi keluar. Faktor lain yang ikut berperan kuat dalam IR-HE adalah sebagai berikut<sup>[9]</sup>:

- Tingkat kekerasan atau kekuatan dari logam
- Struktur mikro
- Besaran tegangan
- Adanya titik triaxial tegangan
- Hasil pengerjaan dingin
- Inklusi pada batas butir seperti fosfor, mangan, dan sulfur.

*Embrittlement* yang terjadi pada mekanisme IR-HE ini terjadi secara tidak langsung karena membutuhkan jangka waktu tertentu (waktu inkubasi) untuk terjadi perpatahan. Hal inilah yang menjadi suatu bahaya ketika suatu komponen mengalami IR-HE, karena kegagalannya menjadi sangat sulit untuk diprediksi kapan terjadinya.

Ketika masuk ke dalam material umumnya hidrogen akan berada pada batas butir. Atom hidrogen ini pada batas butir akan berdifusi melalui inklusi metalik maupun non-metalik seperti; sulfida dan oksida. Namun hidrogen juga dapat masuk pada daerah cacat/*imperfection* dari kisi kristal<sup>[12]</sup>. Kedua faktor ini dapat memicu terjadinya mekanis *hydrogen enhanced localized plasticity* (HELP). Mekanisme HELP ini yang akan menyebabkan naiknya local stress di permukaan yang akan berakibat pada inisiasi retak/*crack initiation*. Pada Gambar 2.11 akan diperlihatkan skema masuknya atom hidrogen ke dalam material baja.



**Gambar 2.11** Skema masuknya hidrogen di dalam baja. C = karbida<sup>[12]</sup>

Hidrogen juga memiliki pengaruh tersendiri terhadap fasa di dalam baja. Fasa martensit misalnya, tingginya tegangan sisa dan *defect* pada kristal martensit seperti cacat batas butir dan dislokasi. Semua faktor tadi akan berpengaruh terhadap kelarutan dan kemampuan difusi dari atom hidrogen di dalam baja. Beberapa partikel sementit pada struktur mikro martensit temper justru berperan sebagai perangkap atom hidrogen.

Kegagalan akibat serangan hidrogen jenis ini biasanya hanya terjadi pada baja dengan kekuatan tinggi (*high-strength steels*), namun pada baja kekuatan rendah (*low-strength steels*) hasil pengerjaan dingin serangan hidrogen ini tetap dapat terjadi. Retak atau *crack* biasanya terjadi secara internal dan di bawah takik/*notch* yang memiliki titik maksimum triaxial tegangan. Tegangan sisa tarik atau *tensile* juga berperan mempercepat terjadinya IR-HE<sup>[9]</sup>. Mekanisme IR-HE secara teori akan hilang di temperatur sekitar 200°C karena pertumbuhan *crack* akan berkurang seiring dengan naiknya temperatur.

Retak yang umumnya terjadi akibat serangan hidrogen ini biasanya tidak menyebar atau terkonsentrasi pada suatu jalur. Jalur retakan ini biasanya berupa intergranular. Pada baja dengan kekuatan tinggi perpatahan intergranular lebih mendominasi, walaupun masih terdapat beberapa bentuk pecahan atau *cleavage* transgranular.

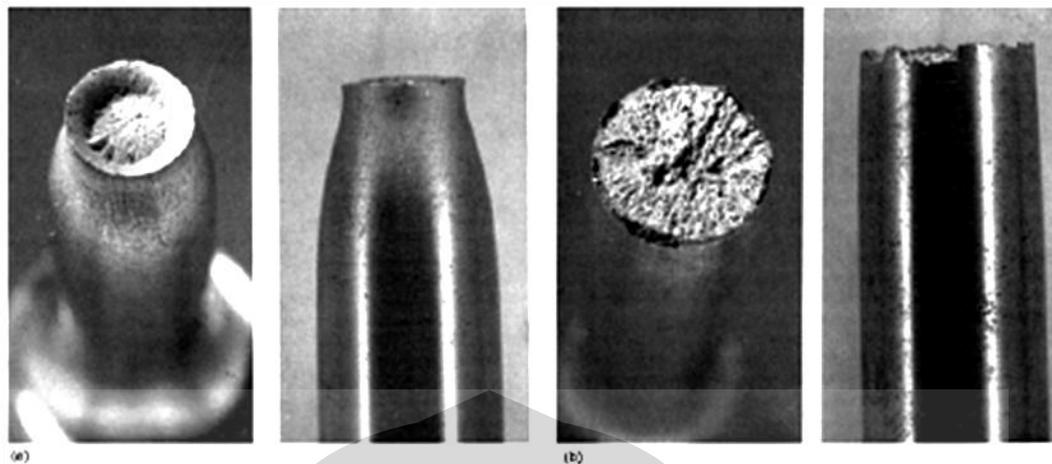
## 2.6 Perpatahan

Perpatahan adalah fenomena terpisahnya suatu benda menjadi dua atau lebih bagian karena adanya tegangan kerja/*applied stress* baik secara konstan maupun seketika. Tegangan kerja ini dapat berupa tarik, tekan, geser maupun putar. Perpatahan dapat diamati baik secara makro maupun mikro. Pengamatan makro digunakan untuk mengamati tempat terjadi awal retak/*crack initiation* dan arah penjalaran retak/*crack propagation*. Sedangkan pengamatan mikro digunakan untuk melihat cacat apa yang menyebabkan terjadinya retak, jalur perpatahan (IG atau TG) dan mekanisme retak (*microvoid*, *cleavage* atau fatik)<sup>[9]</sup>.

### 2.6.1 Perpatahan Makro

Dalam ilmu material, perpatahan makro secara sederhana dapat dibagi menjadi dua, yaitu perpatahan getas atau *brittle* dan perpatahan ulet atau *ductile*. Klasifikasi ini dibuat berdasarkan kemampuan suatu material mengalami deformasi plastis. Perpatahan ulet ini umumnya terjadi pada logam yang memiliki kekerasan dan kekuatan sedang namun ketangguhannya baik seperti aluminium dan *plain carbon steel*. Ciri khas perpatahan ulet adalah arah rambatnya tidak selalu tegak lurus arah tegangan, bercabang-cabang, halus, tidak memantulkan cahaya dan reduksi area patah yang besar atau terjadi *necking* seperti pada Gambar 2.12 (a) di halaman selanjutnya.

Lain halnya dengan perpatahan ulet, perpatahan getas umumnya terjadi pada logam yang memiliki kekerasan dan kekuatan tinggi seperti; *besi tuang*, *tool steels*, *hardened steels*, dll. Perpatahan jenis ini biasanya memiliki ciri khas seperti arah rambatnya yang tegak lurus dengan arah tegangan, permukaan patah tidak banyak cabang, relatif rata, memantulkan cahaya, dan reduksi area patah yang kecil. Pada perpatahan makro getas, perpatahan bentuk *cleavage* maupun perpatahan secara IG dapat terjadi.

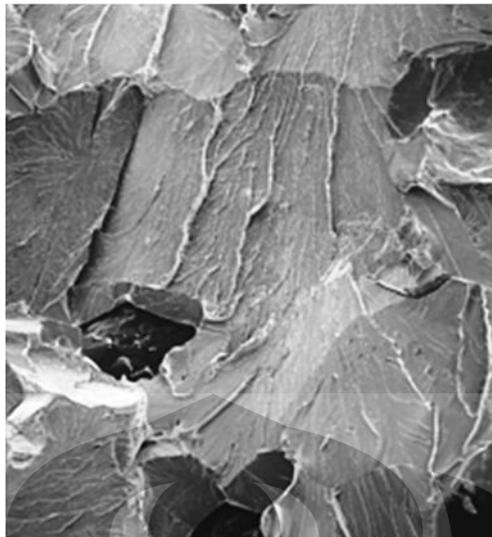


**Gambar 2.12** Pengamatan makro (a) perpatahan ulet dan (b) getas hasil uji tarik<sup>[9]</sup>

Perpatahan getas sangat dihindari karena sifatnya yang *catastrophic*. Perpatahan getas dapat terjadi tanpa adanya indikasi, *high speed crack propagation* dan beberapa perpatahan dapat terjadi tanpa membutuhkan energi yang besar. Secara makro, perpatahan ulet terbentuk karena adanya pembentukan dan berkumpulnya *microvoid* akibat adanya deformasi plastis dan penyerapan energi yang besar. Sedangkan perpatahan getas terbentuk karena terjadinya pecahan-pecahan (*cleavage*) akibat perambatan retak yang sangat cepat dan penyerapan energi yang sedikit.

### 2.6.2 Perpatahan Mikro

Perpatahan secara mikro dapat dibagi menjadi dua, yaitu perpatahan yang terjadi di dalam butir atau *transgranular* (TG) dengan perpatahan pada batas butir atau *intergranular* (IG). Perpatahan TG memiliki dua mekanisme perpatahan mikro yang berbeda, yaitu mekanisme perambatan awal retak ulet/*ductile crack nucleation* dan mekanisme pertumbuhan deformasi slip. Kedua mekanisme ini dapat dibedakan dari bentuknya. Perpatahan *ductile* TG ditandai dengan bentuk permukaan *dimple* (cekungan), sedangkan *brittle* TG ditandai dengan bentuk *cleavage* (pecahan) seperti jalur sungai atau *rivermarks*, Gambar 2.13 di halaman selanjutnya. Bentuk *dimple* dari *ductile* TG berasal dari terbentuknya penggabungan mikrovoid/*microvoid coalescence* (MVC)<sup>[9]</sup>.



**Gambar 2.13** Perpatahan *cleavage* TG yang menunjukkan *river marks*<sup>[9]</sup>

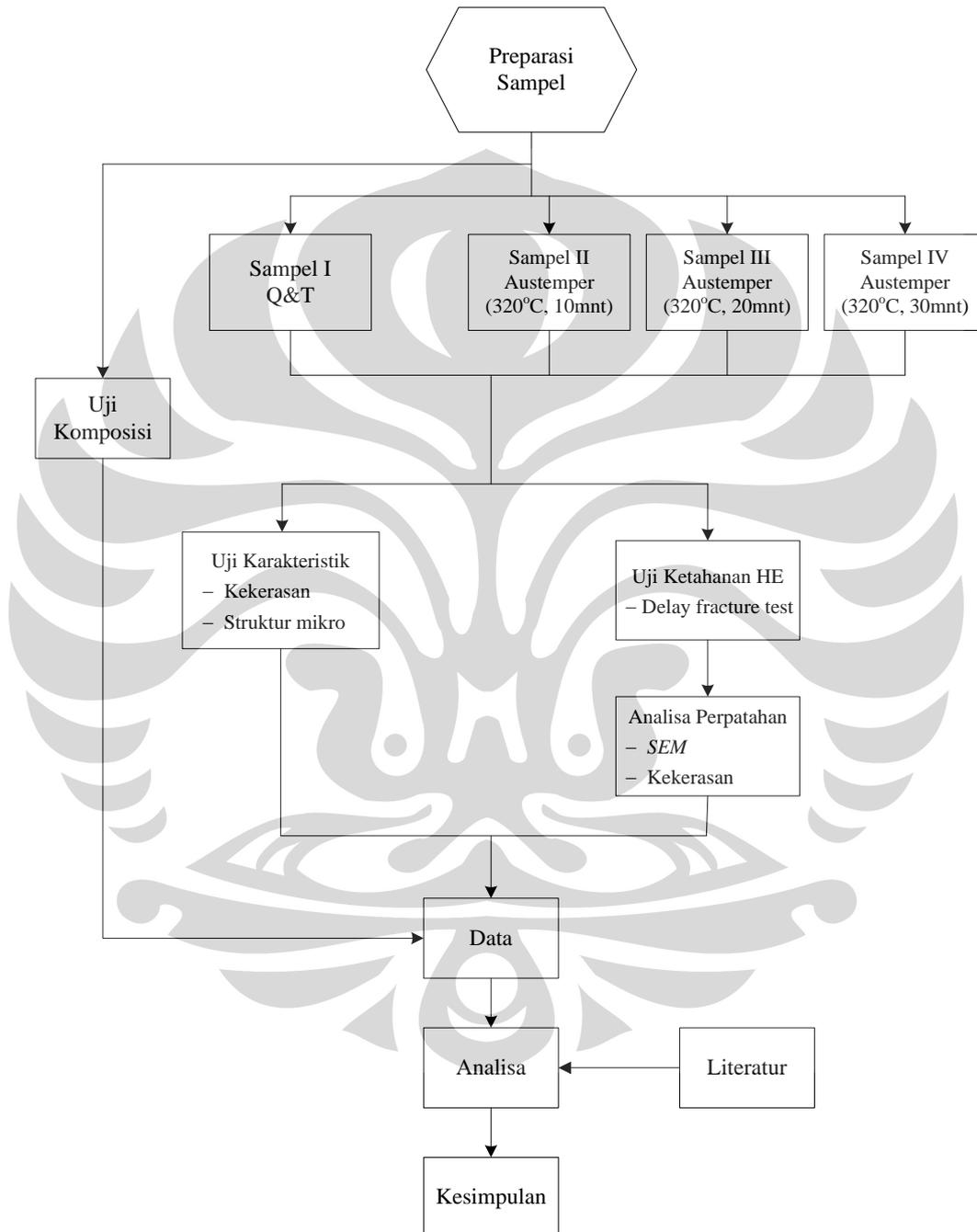
Perpatahan IG dan TG memiliki perbedaan yang jelas namun berbeda dengan TG, perpatahan IG ini tidak memiliki mekanisme perpatahan mikro yang spesifik, sehingga perpatahan IG ini banyak ditemui bersamaan dengan TG. Perpatahan IG dapat dibedakan menjadi dua berdasarkan terbentuknya MVC. Pertama adalah *dimple* IG, terjadi pembentukan MVC akibat pertumbuhan void di sekitar endapan presipitat pada batas butir. Kedua adalah *brittle* IG dimana disini MVC tidak terbentuk. Istilah *dimple* IG dan *brittle* IG sebenarnya sama dengan perbedaan antara mekanisme retak *ductile* dan *brittle* pada perpatahan IG<sup>[9]</sup>.

Mekanisme retak IG pada batas butir biasanya terjadi akibat peristiwa seperti difusi (*hydrogen void formation* dan segregasi pengotor ke batas butir). Perpatahan IG ini terjadi di batas butir karena melemahnya batas butir akibat beberapa faktor antara lain<sup>[9]</sup>:

- Hadirnya endapan/*precipitate* di batas butir
- Perlakuan panas yang menyebabkan terjadinya segregasi *impurities* di batas butir dalam bentuk *second phase*.
- Tegangan pada temperatur tinggi/*creep mechanism*.
- Faktor lingkungan yang terserap dan melemahkan batas butir, seperti hidrogen.
- Besar batas butir dapat mempengaruhi perubahan dari perpatahan TG menjadi IG, dan mempercepat ke semua mekanisme di atas.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

## 3.2 Alat dan Bahan

### 3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan selama penelitian ini meliputi:

1. Alat pembentukan sampel pelat rantai
  - *Progressive press machine*
  - *Barreling finishing machine*
2. Alat proses perlakuan panas
  - *Mesh Belt Continuous Hardening and Tempering Furnace No. ERW-30142-AS/36132-E8W*
  - *Salt bath heating furnace*
  - *Salt bath quenching furnace*
3. Alat uji *delay fracture*
  - *Beaker glass 4000 ml*
  - *Volumetric flask 1000 ml*
  - *Volumetric Pipet*
  - Masker dan sarung tangan
4. Alat metalografi
  - Mesin amplas dan poles
  - *Mounting set*
  - Mikroskop optik
5. Alat pengujian
  - *Optical emission spectrometer (OES)*
  - *Rockwell hardness tester*
  - *Scanning electron microscopy (SEM)*

### 3.2.2 Bahan

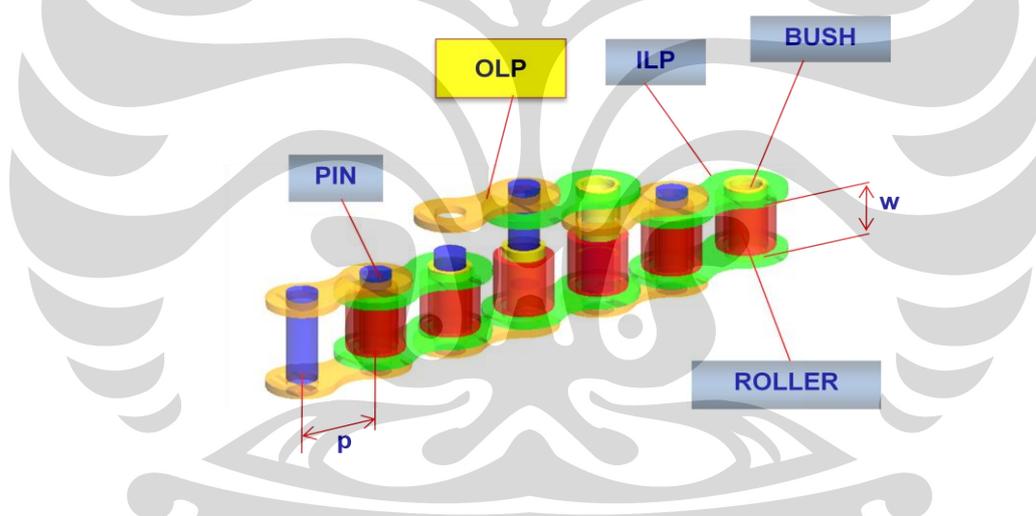
1. Bahan proses perlakuan panas  
Terdiri dari media quench; oli dan lelehan garam.
2. Bahan pengujian *delay fracture*  
Terdiri dari larutan asam klorida (HCl) 33-35% dan aquades
3. Bahan pengujian metalografi

Terdiri dari kertas amplas, kain beludru, resin, hardener, air, nital, picral dan roll film

### 3.3 Prosedur Penelitian

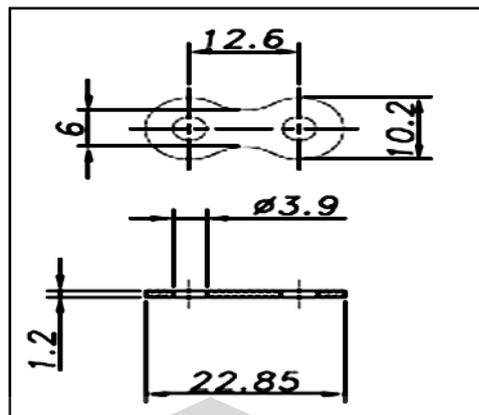
#### 3.3.1 Pembuatan Sampel Pelat Rantai

Sampel yang akan dibuat pada penelitian ini berupa pelat rantai terluar atau *Outer Link Plate* (OLP). OLP ini merupakan salah satu komponen rantai sepeda motor. Pada Gambar 3.2 diperlihatkan komponen-komponen yang membentuk suatu rangkaian rantai sepeda motor. Material OLP yang digunakan adalah baja AISI/SAE 1050 dalam bentuk gulungan lembaran pelat dengan dimensi ukuran 1,2 mm x 79 mm x 1300 mm. Pelat lembaran ini nantinya akan masuk ke dalam *progressive press machine*, kemudian dengan bantuan *dies* dibentuklah menjadi pelat rantai dengan dimensi ditunjukkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.2** Komponen rantai sepeda motor

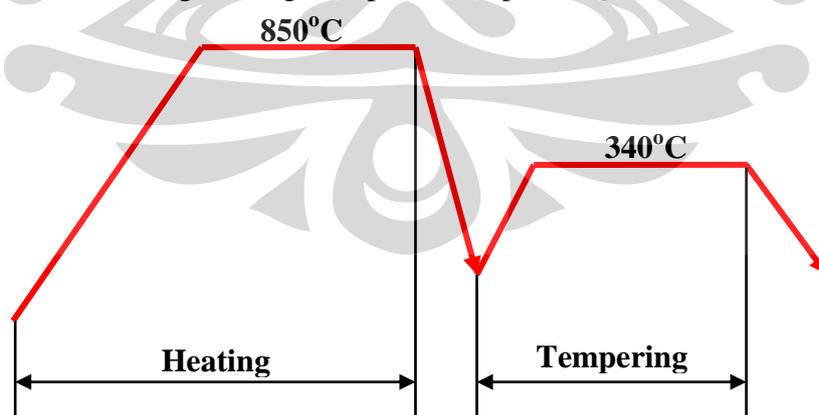
Setelah keluar dari *progressive press machine*, sampel pelat rantai akan masuk ke dalam *barreling finishing machine*. Di dalam mesin ini sampel akan dibersihkan menggunakan *ridolite* (sejenis detergen), pasir silika dan air hangat di dalam suatu silinder kemudian diputar-putar (*tumbling*). Tujuan *barreling* ini adalah untuk membersihkan rantai yang baru saja di *cold forming* dari geram, lemak dan kotoran-kotoran lainnya sebelum masuk ke dalam proses perlakuan panas.



**Gambar 3.3** Dimensi ukuran dari *outer link plate* (OLP)

### 3.3.2 Perlakuan Panas

Perlakuan panas dibagi menjadi 2 metode, *quench temper* dan *austemper*. Pada metode pertama ini, sampel akan dipanaskan dan di *temper* di dalam *furnace* yang sama. Pada penelitian ini menggunakan *mesh belt continuous hardening and tempering furnace* yang merupakan salah satu mesin perlakuan panas dari PT. X Manufacturing Indonesia. Di dalam *furnace*, sampel akan mengalami austenisasi/*heating* ke temperatur 850°C selama 40 menit yang kemudian dilakukan pendinginan cepat menggunakan media pendingin oli ber-temperatur antara 40°C sampai 70°C. Dalam *furnace* yang sama sampel akan dilakukan *tempering* di temperatur 340°C selama 40 menit kemudian didinginkan di udara. Di bawah ini adalah gambar grafik perlakuan panas Q&T.



**Gambar 3.4** Grafik perlakuan panas metode *quench temper*

Metode yang kedua adalah *austemper*. Pada metode ini austenisasi/*heating* dilakukan di dalam *salt bath heating furnace*. Temperatur austenisasi yang digunakan adalah 880°C dengan waktu tahan selama 10 menit dengan terlebih dahulu dilakukan *pre-heating*. Kemudian dilakukan pendinginan cepat ke dalam *salt bath quenching furnace* menggunakan media pendingin lelehan garam bertemperatur 320°C dengan waktu tahan yang bervariasi antara 10, 20, dan 30 menit. Variasi waktu ini dibuat untuk melihat hubungan waktu tahan *austemper* terhadap sifat sampel. Proses pemindahan dari *heating furnace* ke *quenching furnace* ini memakan waktu sekitar 3 detik. Setelah itu sampel dibersihkan menggunakan air bertekanan untuk membersihkan sisa garam yang masih menempel pada sampel.

### 3.3.3 Pengujian

#### 1. Uji Komposisi Kimia

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui komposisi dari material. Menurut data manufaktur, material yang digunakan adalah baja karbon standar AISI/SAE 1050, dengan melakukan pengujian komposisi kimia akan diketahui apakah material tersebut sesuai standarnya atau tidak.

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

Prinsip dari pengujian ini adalah, material dipanaskan menggunakan kumpuh 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.



**Gambar 3.5** *Optical emission spectrometer (OES)*

## 2. Pengujian Metalografi

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  $\pm 10$  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.

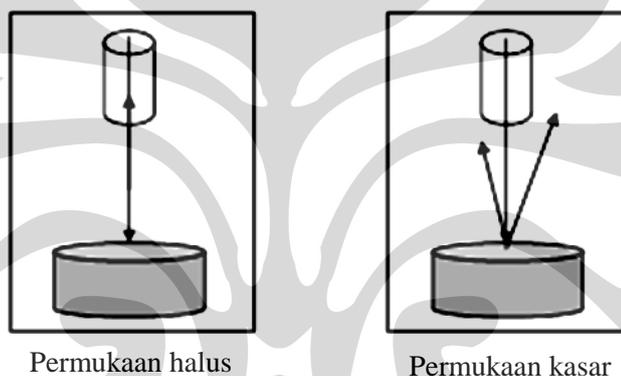
Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan mesh. Urutan pengamplasan dilakukan dari nomor mesh yang terendah ke nomor mesh yang tinggi (200, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2400). Hal yang sangat penting diperhatikan saat proses pengamplasan adalah 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  $45^\circ$  atau  $90^\circ$  dari arah sebelumnya sehingga tidak akan menyebabkan *scratch* baru pada permukaan.

Proses pengamplasan dilakukan di laboratorium metalografi dan HST, Departemen Metalurgi dan Material FT UI. Pertama, kertas amplas dipasang pada mesin amplas. Kemudian mesin dinyalakan dimulai dari kecepatan rendah dahulu dan dinaikkan sesuai kebutuhan secara perlahan-lahan. Dalam hal ini yang paling penting adalah tersedianya 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 grit 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 3.6** 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 (*elektro-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 AISI/SAE 1050 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 perlite, ferit dan martensit dari sampel<sup>[8]</sup>.

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. Penggunaan etsa picral pada penelitian ini juga ditambahkan 1 tetes shampo yang mengandung *sodium lauryl sulphate* (shampoo merk sunsilk warna kuning) sebagai wetting agent dari picral. Etsa picral menghasilkan hasil yang baik jika permukaan uji terlihat abu-abu kehitaman<sup>[8]</sup>.

### 3. Pengujian Delay Fracture

Pengujian *delay fracture* ini bertujuan untuk melihat ketahanan terhadap keretakan atau kegagalan suatu material di dalam lingkungan hidrogen.

Material ditempatkan di dalam lingkungan hidrogen nantinya akan mengalami pengisian/masuknya hidrogen ke dalam kisi-kisi antar atom dari material. Atom hidrogen akan sangat mudah masuk ke dalam material secara interstisi karena ukuran yang sangat kecil. Hal ini yang akan menyebabkan material mengalami kegetasan sampai akhirnya terjadi kegagalan.

Prinsip pengujian ini adalah menggunakan salah satu mekanisme kegagalan akibat hidrogen yaitu *internal reversible hydrogen embrittlement* (IR-HE). Uji *delay fracture* akan melihat ketahanan material terhadap serangan hidrogen dengan pemberian beban/tegangan statis selama waktu tertentu pada temperatur ruang. Pada pengujian ini sampel akan dicelupkan ke dalam larutan asam klorida (HCl) konsentrasi 0,1 N untuk mewakili lingkungan hidrogen. Waktu inkubasi (*incubation time*) yang diaplikasikan adalah selama 100 jam dengan setiap 25 jam larutan HCl diganti untuk menjaga konsentrasi hidrogen di dalam larutan selama pencelupan. Alat-alat seperti *volumetric flask* dan *beaker glass* yang digunakan untuk menjalankan uji *delay fracture* ini dapat dilihat pada Gambar 3.7 di bawah ini.



**Gambar 3.7** Peralatan yang digunakan pada uji *delay fracture*

Sampel tidak diaplikasikan tegangan dari luar melainkan berasal dari tegangan sisa hasil pengerjaan dingin maupun perlakuan panas pada proses sebelumnya. Kemudian selama periode 100 jam pencelupan akan dilihat apakah ada sampel pelat yang mengalami patah/retak atau tidak.

#### 4. Pengujian SEM

Teknik SEM pada hakekatnya merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan. Data atau tampilan yang diperoleh adalah data dari permukaan atau dari lapisan yang tebalnya sekitar 20  $\mu\text{m}$  dari permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan gambar topografi dengan segala tonjolan dan lekukan permukaan. Gambar topografi diperoleh dari penangkapan pengolahan elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen. Kata kunci dari prinsip kerja SEM adalah *scanning* yang berarti bahwa berkas elektron “menyapu” permukaan spesimen, titik demi titik dengan sapuan membentuk garis demi garis, mirip seperti gerakan mata yang membaca. Sinyal elektron sekunder yang dihasilkannya adalah dari titik pada permukaan, yang selanjutnya ditangkap oleh detektor *secondary electron* dan kemudian diolah dan ditampilkan pada layar CRT (TV). *Scanning coil* yang mengarahkan berkas elektron bekerja secara sinkron dengan pengarah berkas elektron pada tabung layar TV, sehingga didapatkan gambar permukaan spesimen pada layar TV.

Permukaan spesimen harus bersifat konduktif. Adanya material yang tidak konduktif, misalnya serat kertas atau kotoran di permukaan spesimen akan menyebabkan terjadinya efek *charging* yang kelihatan berwarna sangat terang pada tampilan SEM. Oleh karena itu permukaan spesimen harus bersih dari kotoran dan tidak terkontaminasi oleh minyak dan lemak. Pengamatan ini dilakukan menggunakan SEM-EDX LEO 420i di Departemen Metalurgi & Material FT UI.

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Komposisi Kimia

Hasil uji komposisi kimia pelat baja lembaran AISI/SAE 1050 *as-received* milik PT. X Manufacturing Indonesia diperlihatkan pada Tabel 4.1 di bawah. Pengujian ini dilakukan menggunakan *optical emission spectrometer*.

**Tabel 4.1** Komposisi kimia baja AISI/SAE 1050 *as-received*

Unsur	Persentase (%)	
	Hasil pengujian	Standar (AISI/SAE)
C	0,497	0,47 – 0,55
Mn	0,727	0,6 – 0,9
Si	0,267	0,15 – 0,30
P	0,0179	0,040 max
S	0,0047	0,050 max
Mo	0,0050	-
Cr	0,0149	-
Al	0,0467	-
Ni	< 0,0050	-
Cu	< 0,0020	-

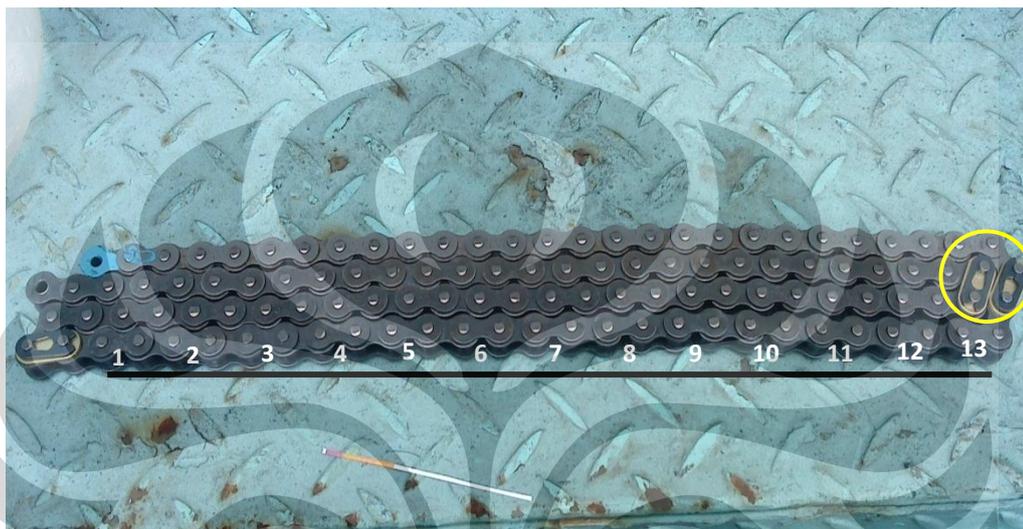
Hasil komposisi kimia yang didapatkan sesuai dengan standar AISI/SAE untuk komposisi baja karbon 1050. Berdasarkan pada hasil pengujian komposisi kimia di atas dapat digunakan untuk menghitung temperatur *martensite start* ( $M_s$ ) menggunakan persamaan (1) pada Bab 2.3.

Temperatur  $M_s$  ini dapat digunakan sebagai sebagai dasar menentukan pada temperatur berapa martensit mulai terbentuk. Menurut rumus tersebut didapatkan hasil temperatur  $M_s$  berada pada temperatur  $314,216^\circ\text{C}$ . Dengan temperatur  $M_s$  sekitar  $314^\circ\text{C}$  ini maka *quenching* bertemperatur  $40-70^\circ\text{C}$  pada proses *quench temper* secara teori telah berhasil mendapatkan 99% martensit. Sementara itu secara teori juga metode *austemper* ini dapat dikatakan berhasil membentuk bainit bawah karena temperatur tahannya berada di  $320^\circ\text{C}$  atau tepat sedikit di atas temperatur  $M_s$ . Rendahnya komposisi paduan seperti

molydenum, nikel dan chromium tidak akan banyak berpengaruh pada penurunan temperatur Ms dari baja AISI/SAE 1050 ini.

#### 4.2 Pengamatan Visual

Material mentah berupa pelat baja yang sudah melalui pengerjaan dingin untuk membentuk komponen rantai kemudian dirakit menjadi satu bagian rantai seperti Gambar 4.1 di bawah.



**Gambar 4.1** Satu rangkaian rantai sepeda motor

Sampel berupa satu rangkaian sepeda motor ini nantinya akan digunakan untuk pengujian *delay fracture*. Ke empat variabel dipisahkan menggunakan komponen rantai jenis pengunci atau *clip* yang dilingkari warna kuning pada gambar di atas. Pada rangkaian ini, satu variabel memiliki 13 pasang (atas-bawah) pelat rantai terluar atau *Outer Link Plate* (OLP). OLP inilah yang akan dilihat ketahanannya di dalam larutan HCl 0,1N pada pengujian *delay fracture*.

#### 4.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Rockwell dengan beban sebesar 150 kgf dan waktu penjejakan selama 5 detik. Pengujian kekerasan dilakukan terhadap 10 sampel OLP setiap satu variabel prosesnya. Metode ini digunakan bertujuan agar nilai kekerasan yang di dapat nantinya dapat mewakili nilai kekerasan rata-rata suatu produk dalam satu variabel tertentu.

## 4.3.1 Kekerasan Hasil Perlakuan Panas

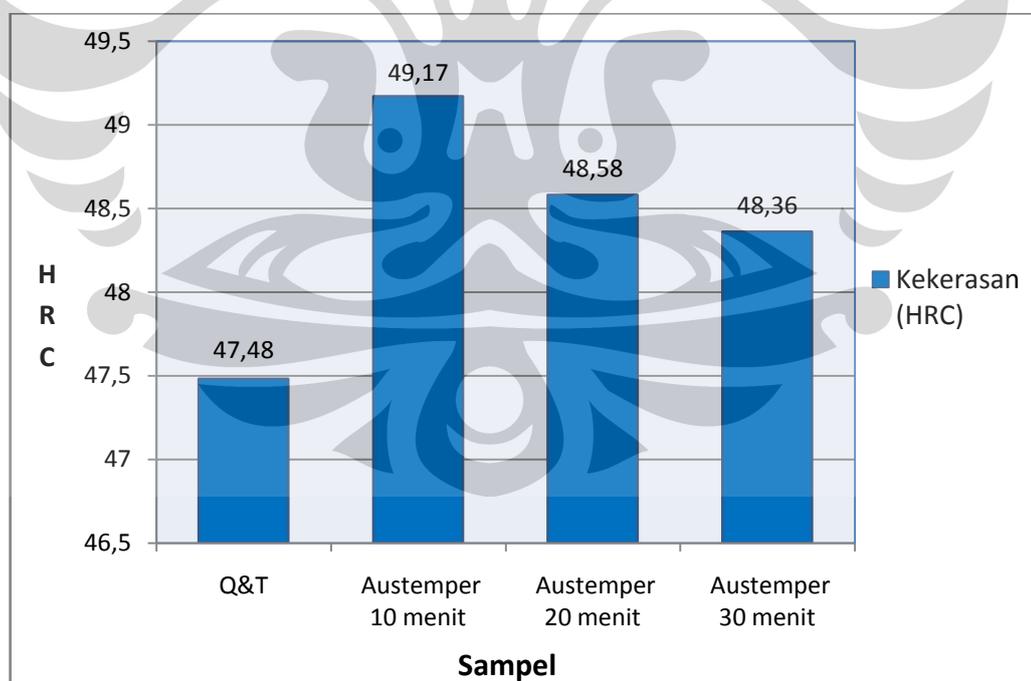
**Tabel 4.2** Kekerasan sampel OLP hasil perlakuan panas

No.	Kekerasan, HRC, Metode perlakuan panas			
	Q&T	Austemper 10 menit	Austemper 20 menit	Austemper 30 menit
1	46,7	49,2	48,3	49
2	45,9	49	49,1	48,2
3	49,3	49,6	48,8	49,1
4	47,8	50,3	47,3	48,6
5	46,9	49,7	48,2	47,7
6	48,3	48,8	50,1	47,9
7	46,2	48,4	48	48,4
8	47,8	49,2	48,7	48,3
9	47,3	48,6	49,1	49,2
10	48,6	48,9	48,2	48,3
<b>Nilai Rata-rata</b>	<b>47,48</b>	<b>49,17</b>	<b>48,58</b>	<b>48,47</b>

Dari Tabel 4.2 di atas kekerasan rata-rata yang dihasilkan sampel *quench temper* adalah 47,48 HRC. Kekerasan ini didapatkan dari memanaskan kembali/*tempering* sampel hasil *quench* yang berstruktur martensit menjadi martensit temper. Menurut diagram TTT baja 1050 hasil *quenching* akan memiliki kekerasan 60-62 HRC, ketika sudah di *temper* di 340°C selama 40 menit maka kekerasannya akan turun menjadi 46-49 HRC. Turunnya kekerasannya ini terjadi akibat berubahnya martensit menjadi sebagian ferit dan sementit. Karbon jenuh di dalam martensit dan austenit sisa ini yang nantinya akan membentuk fasa ferit dan sementit. Hal ini akan meningkatkan ketangguhan dan keuletan martensit karena berkurangnya bentuk jarum yang merupakan tempat dari dislokasi dan tegangan sisa. Selain itu sementit nantinya akan menjadi salah satu mekanisme penguatan di dalam baja, sementara fasa ferit menjadi sumber keuletan.

Pada baja hasil *austemper*, terlihat memiliki perbedaan nilai kekerasan pada setiap variabel waktu tahannya. Pada tabel di atas menunjukkan bahwa *austemper* dengan waktu tahan 10 menit yang memiliki kekerasan paling tinggi. Menurut diagram TTT baja 1050 kekerasan maksimal yang di dapat dari perlakuan panas *austemper* adalah sekitar 48 HRC. Kekerasan sampel *austemper* yang cukup tinggi ini kemungkinan terjadi karena dua hal. Pertama, waktu tahan yang dilakukan kurang lama atau tidak menyelesaikan garis *bainite* finish, akibatnya selain terbentuk fasa bainit bawah juga ikut terbentuk sebagian kecil fasa martensit. Kemungkinan yang kedua adalah paduan yang terkandung dalam sampel OLP ini telah menurunkan garis temperatur Ms sehingga menaikkan kekerasan maksimal yang mampu dicapai perlakuan panas *austemper*.

Untuk mendapatkan kekerasan optimal sekitar 48 HRC dibutuhkan waktu tahan antara 600-900 detik<sup>[3]</sup>. Sementara itu temperatur Ms dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1), semakin banyak unsur paduan di dalam baja akan semakin menurunkan temperatur Ms-nya. Di bawah ini ditampilkan Gambar 4.2 berupa grafik kekerasan tiap sampel.



**Gambar 4.2** Grafik nilai kekerasan sampel hasil perlakuan panas

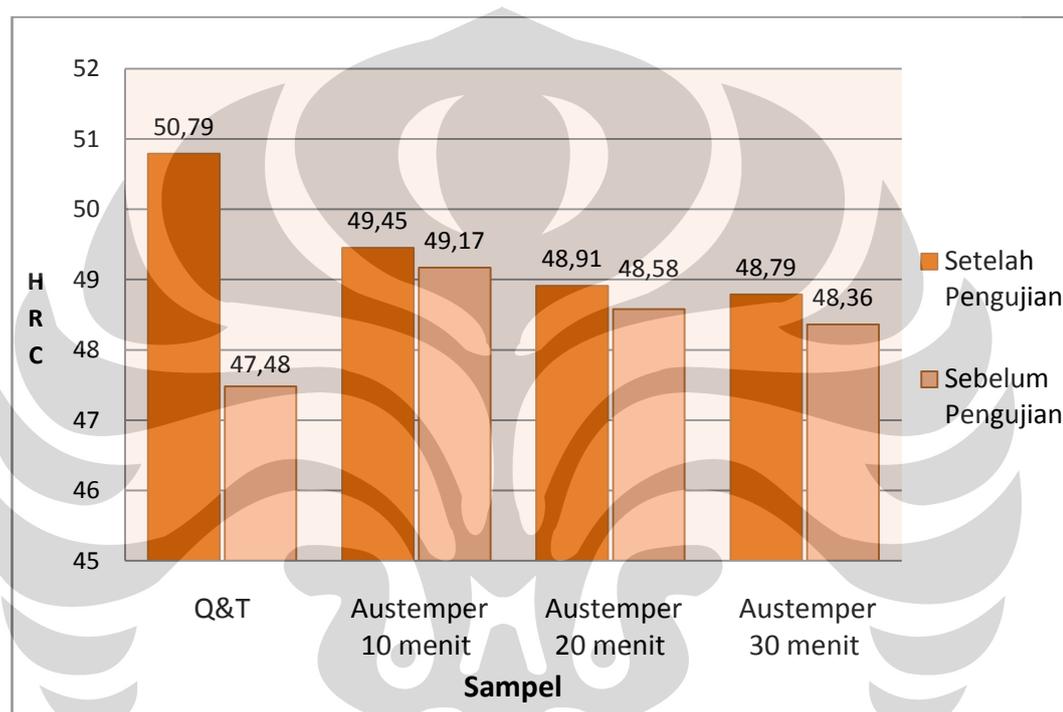
4.3.2 Kekerasan Hasil Uji *Delay Fracture***Tabel 4.3** Kekerasan sampel OLP hasil uji *delay fracture*

No.	Kekerasan, HRC, Metode perlakuan panas			
	Q&T	Austemper 10 menit	Austemper 20 menit	Austemper 30 menit
1	49,7	49,2	49	48
2	50,9	50,3	48,4	50,2
3	51,4	48,6	49,2	49,6
4	49,9	49,5	49,6	47,9
5	52,8	50	49,7	48,3
6	50,4	50,5	48,6	49,5
7	50,8	49,1	48,3	48,6
8	48,8	49,3	49,6	48,4
9	50,2	48,7	48,1	49,3
10	53	49,3	48,4	48,1
<b>Nilai Rata-rata</b>	<b>50,79</b>	<b>49,45</b>	<b>48,91</b>	<b>48,86</b>

Pada Tabel 4.3 di atas terlihat kekerasan rata-rata sampel setelah uji *delay fracture* terjadi kenaikan jika dibandingkan dengan kekerasan rata-rata dari sampel sebelum uji *delay fracture* pada Tabel 4.2. Kenaikan nilai kekerasan ini terjadi karena adanya efek *embrittlement* atau penggetasan yang diakibatkan penetrasi atom hidrogen dalam bentuk gas ke dalam permukaan sampel selama pengujian. Gas H<sub>2</sub> yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.13. Hal ini dapat diprediksi masuknya atom hidrogen ke dalam material dipengaruhi beberapa faktor seperti<sup>[9]</sup>:

- Nilai kekerasan atau kekuatan dari material
- Konsentrasi hidrogen di permukaan
- Struktur mikro dari material
- Hadirnya unsur yang dapat menggetaskan; inklusi metalik dan non-metalik

Sampel *quench temper* terlihat mengalami kenaikan nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan tiga sampel *austemper* lainnya. Kenaikan nilai kekerasan yang tinggi ini disebabkan oleh penetrasi hidrogen pada sampel *quench temper* yang lebih signifikan jika dibandingkan yang terjadi pada sampel *austemper*, Gambar 4.3. Hal ini diprediksi karena struktur dari sampel *quench temper* ini terdiri martensit temper, ferit dan sementit. Fasa martensit temper, ferit dan sementit terbentuk selama proses *tempering*.



**Gambar 4.3** Grafik kekerasan sampel setelah vs. sebelum uji *delay fracture*

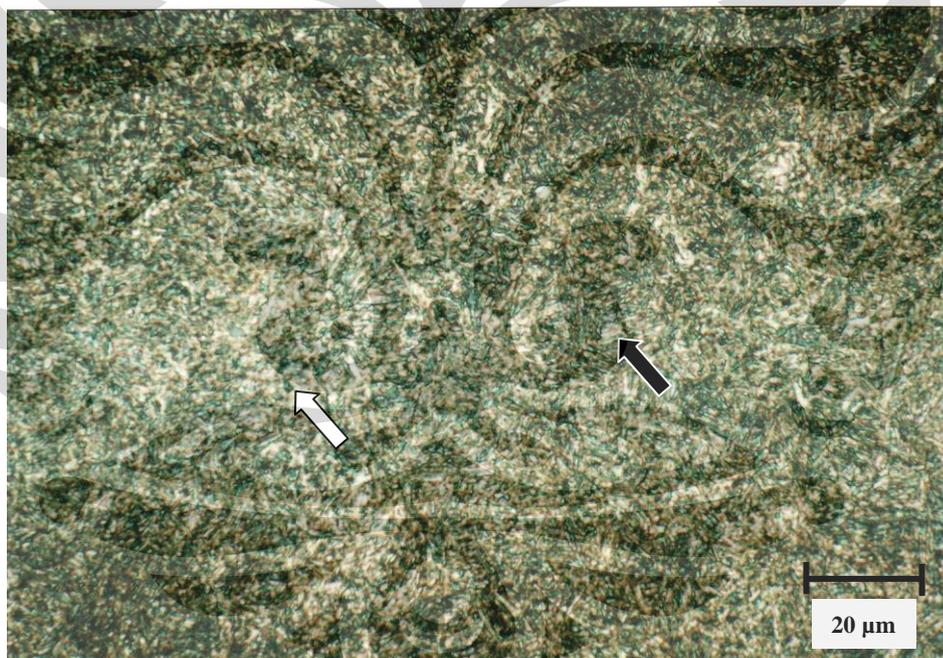
Pada martensit temper, sementit yang terbentuk akan mengendap di batas butir dari butir ferit. Endapan sementit maupun karbida di batas butir merupakan salah satu tempat yang paling mudah untuk dimasuki atom hidrogen. Hadirnya inklusi seperti sulfur dalam bentuk senyawa MnS di batas butir juga menambah kemungkinan terperangkapnya atom hidrogen. Maka dari itu adanya unsur seperti sementit, karbida dan inklusi di batas butir akan meningkatkan terperangkapnya atom hidrogen yang memicu terjadinya mekanisme *hydrogen enhanced localized plasticity* (HELP). Mekanisme HELP ini akan mempengaruhi pergerakan dislokasi yang menyebabkan naiknya *local stress* di permukaan<sup>[12]</sup>.

Pada sampel hasil *austemper*, struktur yang terbentuk adalah bainit bawah dengan fasa ferit dan sementit. Bedanya, sementit yang terbentuk pada bainit ini

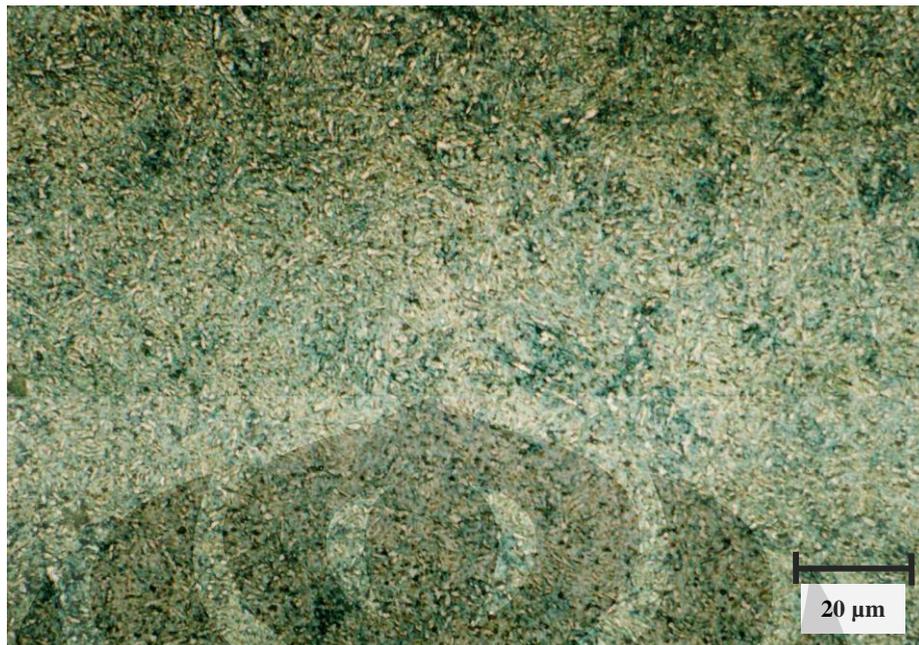
letaknya berada di dalam ferit atau diantara jarum-jarum *platelike* dari ferit dengan skala yang sangat halus. Hal ini menyebabkan tidak terjadinya endapan di batas butir sehingga mengurangi kemampuan dari hidrogen untuk berpenetrasi.

#### 4.4 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro hasil perlakuan panas *quench temper* dan *austemper* dilakukan menggunakan etsa normal. Pada pengamatan ini akan digunakan dua larutan etsa yang berbeda yaitu nital konsentrasi 2-3% dengan picral konsentrasi 15%. Informasi yang didapat dari pengamatan struktur mikro ini adalah melihat fasa apa yang terjadi dan bentuk morfologinya seperti apa untuk setiap variabel proses perlakuan panas. Gambar 4.4 – 4.5 akan diperlihatkan hasil pengamatan struktur mikro menggunakan etsa nital dan picral pada sampel hasil *quench temper*.



**Gambar 4.4** Struktur mikro sampel *quench temper*. Nital 2-3%. 500x



**Gambar 4.5** Struktur mikro sampel *quench temper*. Picral 15%. 500x

Pengamatan struktur mikro sampel *quench temper* menggunakan nital 2-3% memperlihatkan adanya fasa ferit, martensit, endapan karbida, sementit dan sebagian austenit sisa. Nital merupakan etsa yang digunakan untuk melihat butir dari ferit dan martensit. Butir dari ferit dan martensit akan terlihat gelap kecoklatan, karena senyawa nitrat akan menyerang butir dari keduanya<sup>[8]</sup>. Pada Gambar 4.4 di atas, ferit ditunjukkan oleh daerah yang berwarna hijau tua kecoklatan, sementara itu austenit sisa (panah hitam) terlihat berwarna putih dan endapan karbida (panah putih) terlihat seperti partikel kecil. Endapan karbida dalam hal ini dapat berbentuk sementit maupun inklusi seperti MnS.

Beberapa karbida pada martensit temper ini memiliki bentuk seperti bola kecil atau *spheroidal*. Bentuk *spheroidal* ini dapat terjadi jika pemilihan waktu dan temperatur *temper* yang kurang tepat. *Spheroidal* karbida ini dihindari karena akan berpengaruh ke sifat mekanis (*softening*) dan ketahanan terhadap serangan hidrogen di batas butir.

Sementara itu penggunaan etsa picral 15% 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. Pada Gambar 4.5 yang

terlihat hanyalah beberapa endapan karbida dan beberapa austenit sisa yang berwarna putih.

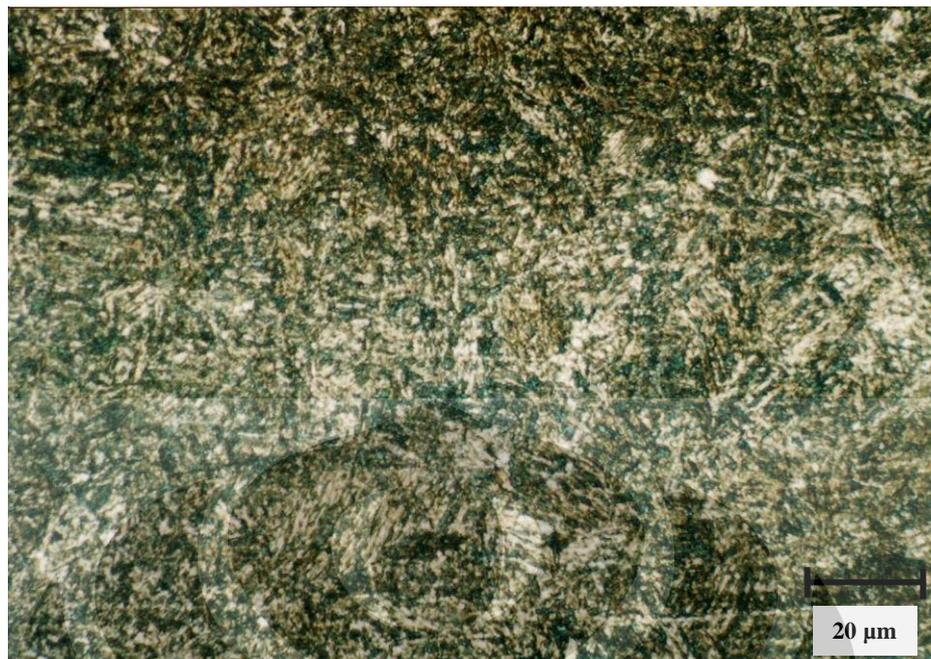
Pengamatan sampel *austemper* juga dibandingkan menggunakan etsa nital 2-3% dan picral 15%. Pada Gambar 4.6-4.8 akan diperlihatkan foto struktur mikro sampel *austemper* menggunakan etsa nital 2-3%.



**Gambar 4.6** Struktur mikro sampel *austemper* 10 menit. Nital 2-3%. 500x



**Gambar 4.7** Struktur mikro sampel *austemper* 20 menit. Nital 2-3%. 500x

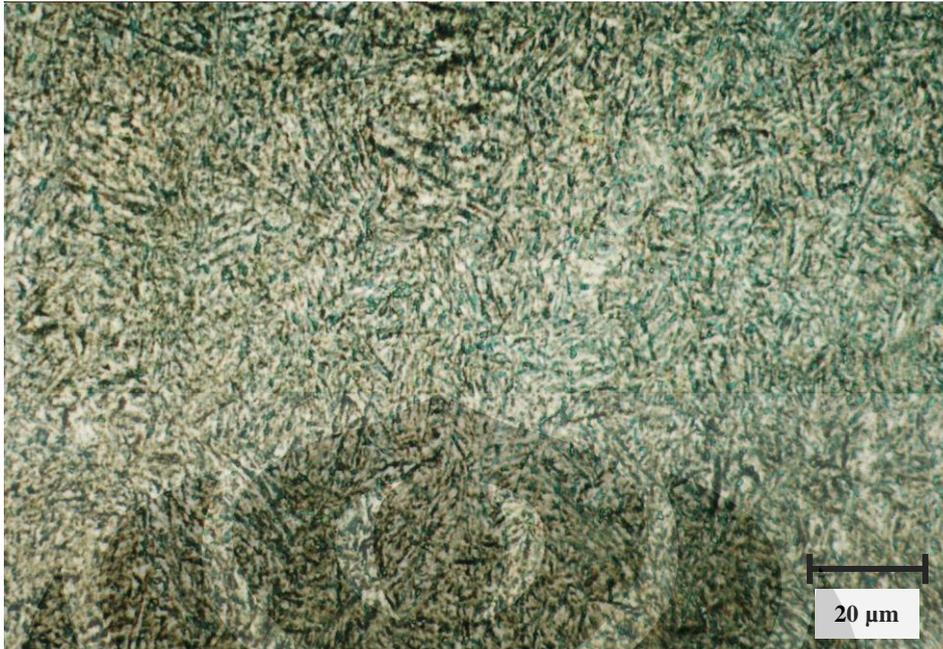


**Gambar 4.8** Struktur mikro sampel *austemper* 30 menit. Nital 2-3%. 500x

Pada Gambar 4.6–4.8, pengamatan struktur mikro hasil *austemper* menggunakan etsa nital, mulai terlihat jarum-jarum *platelike* bainit bawah. Jika dibandingkan dengan struktur mikro hasil *quench temper*, maka struktur mikro hasil *austemper* ini memiliki bentuk jarum yang lebih besar-besar. Namun pengamatan menggunakan etsa nital ini kurang bisa menghasilkan adanya perbedaan antara ferit dan sementit. Karena struktur mikro bainit bawah ini terdiri dari ferit dan sementit, maka seharusnya pada gambar terlihat fasa ferit yang lebih gelap akibat reaksi dengan etsa nital yang menyerang butir dari ferit. Pada gambar 4.6 – 4.8 fasa ferit ditunjukkan dengan daerah berwarna hijau kecoklatan dengan samar-samar terlihat austenit sisa dan sementit.

Hasil struktur mikro sampel *austemper* 10 menit terlihat bentuk jarum-jarum *platelike* dari fasa bainit bawah. Pada gambar ini sementit tidak terlihat begitu jelas karena terdapat goresan hasil poles yang masih tersisa di permukaan sampel. Untuk mengurangi bekas goresan poles dapat digunakan kain poles jenis menengah dan cairan alumina, silikon atau *diamond* berukuran  $0,04\mu\text{m}$ <sup>[8]</sup>.

Pengamatan struktur mikro hasil *austemper* juga dilakukan menggunakan etsa picral 15%, Gambar 4.9–4.11.



**Gambar 4.9** Struktur mikro sampel *austemper* 10 menit. Picral 15%. 500x

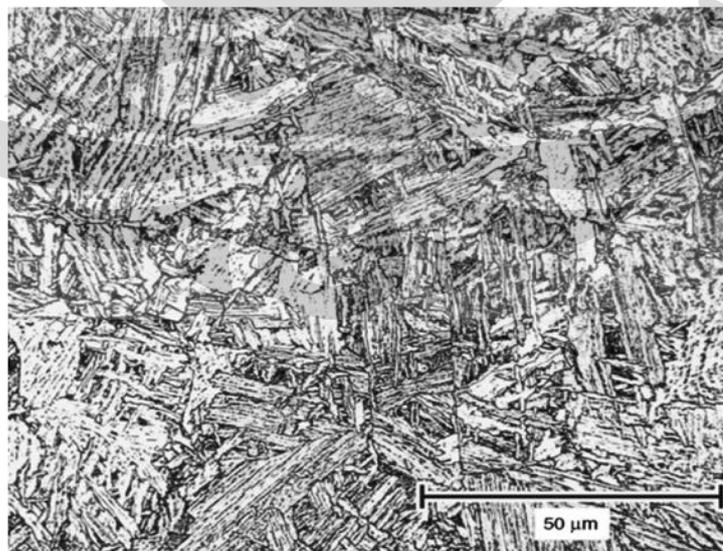


**Gambar 4.10** Struktur mikro sampel *austemper* 20 menit. Picral 15%. 500x



**Gambar 4.11** Struktur mikro sampel *austemper* 30 menit. Picral 15%. 500x

Pengamatan gambar struktur mikro hasil *austemper* menggunakan etsa picral terlihat jelas bentuk dari struktur bainit bawah berupa jarum *platelike*. Etsa picral ini menyerang batas butir dari fasa ferit dan sementit di dalam bainit. Karena itu pada Gambar 4.9–4.11, ferit ditunjukkan dengan bentuk jarum berwarna kecoklatan. Gambar 4.12 di bawah ini merupakan literatur struktur mikro bainit dari baja paduan rendah/*low-alloy steel* hasil perlakuan panas.



**Gambar 4.12** Struktur mikro *low-alloy steel* menunjukkan struktur dari bainit. Picral 4%. 500x<sup>[8]</sup>

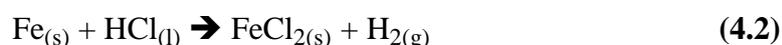
Jika dibandingkan dengan struktur mikro hasil *quench temper* akan terlihat perbedaan dari bentuk jarumnya. Jarum-jarum pada bainit bawah terlihat lebih besar dibandingkan dengan jarum pada martensit hasil *tempering* (Gambar 4.4). Sementara itu sementit pada bainit bawah ini letaknya tidak hanya di luar ferit namun juga terdapat di dalam ferit dalam bentuk partikel-partikel halus, sehingga sangat sulit diamati dengan mikroskop optik biasa.

Pada tiga gambar struktur mikro hasil *austemper* terlihat kecenderungan bentuk jarum yang membesar sejalan dengan lamanya waktu tahan *austemper*. Pada waktu tahan 10 menit (Gambar 4.9) terlihat jarum memiliki bentuk yang masih relatif kecil namun dalam jumlah yang banyak, sementit juga masih dapat terlihat sebagai partikel-partikel kecil. Ketika waktu tahan naik menjadi 20 menit (Gambar 4.10) maka jarum-jarum bainit mulai terlihat besar dan jumlahnya berkurang dengan sementit yang semakin sulit terlihat. Pada waktu tahan 30 menit (Gambar 4.11), struktur jarum memperlihatkan kecenderungan menjadi lebih besar. Hal ini diprediksi akibat waktu tahan yang telah melewati garis *bainite finish*.

Pada proses *austemper*, jika waktu tahan yang dikerjakan telah melewati dari garis pembentukan bainit/*bainite finish* dari sampel, maka bentuk bainit yang dihasilkan akan memiliki kecenderungan menjadi besar dari optimalnya. Bentuk bainit yang membesar ini akan mempengaruhi sifat mekanisnya<sup>[8]</sup>.

#### 4.5 Pengujian *Delay Fracture*

Pada pengujian *delay fracture* di dalam larutan HCl konsentrasi 0,1N terlihat terjadinya reaksi kimia di permukaan rangkaian rantai yang menghasilkan gelembung gas dengan bau yang cukup menyengat. Gelembung gas ini berasal dari reaksi kimia antara permukaan rantai yang materialnya baja (Fe) dengan HCl menghasilkan gas H<sub>2</sub>. Ketika Fe bertemu dengan HCl, maka akan menghasilkan gas H<sub>2</sub> dan endapan tipis FeCl<sub>2</sub><sup>[13]</sup> yang dijelaskan oleh persamaan reaksi di bawah ini.



Gelembung gas yang terjadi pada permukaan rantai dapat diamati secara jelas pada Gambar 4.13 di bawah. Gelembung gas ini juga membuktikan bahwa pengujian *delay fracture* untuk men-*charging* sampel dengan hidrogen di dalam larutan HCl telah berjalan dengan baik.



**Gambar 4.13** Gelembung gas H<sub>2</sub> yang terjadi selama pengujian *delay fracture*

Sementara itu lapisan tipis FeCl<sub>2</sub> baru dapat diamati setelah rantai melewati 25 jam pertama atau ketika rantai diangkat untuk penggantian larutan yang pertama kali. Lapisan tipis ini berwarna hitam kecoklatan dan mudah dibersihkan. Pada Gambar 4.14 (a) diperlihatkan lapisan tipis FeCl<sub>2</sub> yang menutupi permukaan rantai setelah diangkat pertama kali.



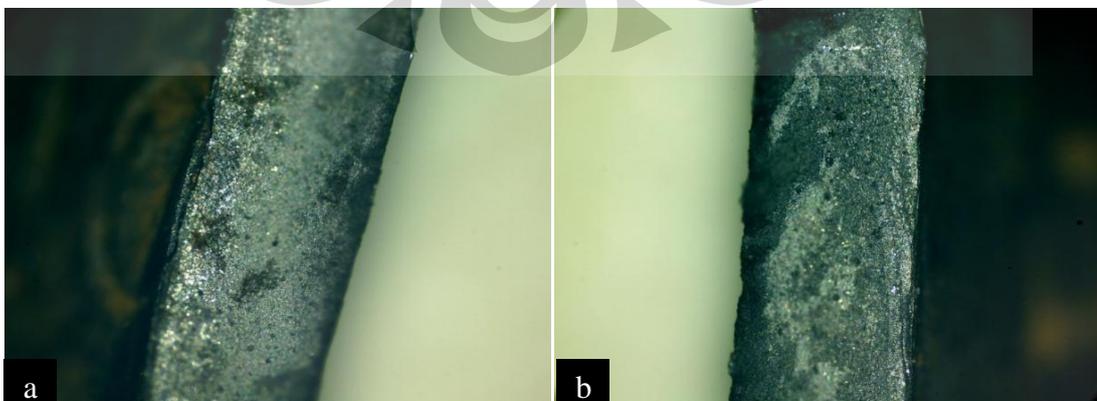


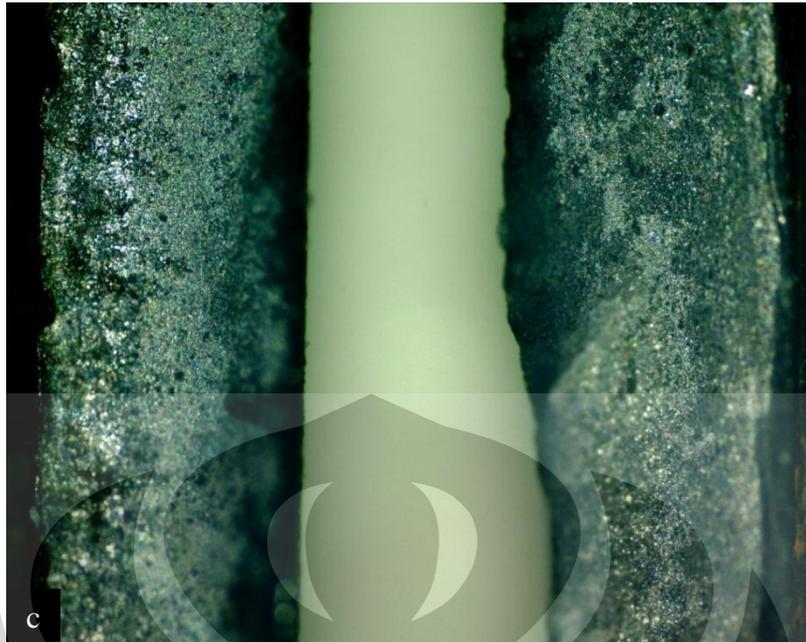
**Gambar 4.14** (a) Rantai setelah dicelup selama 25 jam, (b) sebelum pencelupan

#### 4.6 Pengamatan Perpatahan

Pengamatan perpatahan ini dilihat mekanisme perpatahan apa yang terjadi pada sampel dengan perlakuan panas berbeda setelah mengalami *charging* hidrogen (pengujian *delay fracture*). Mekanisme perpatahan yang terjadi akan dipengaruhi oleh adanya atom hidrogen yang berpenetrasi ke dalam material. Hidrogen di dalam material biasanya akan mempengaruhi perpatahan dengan berada pada batas butir.

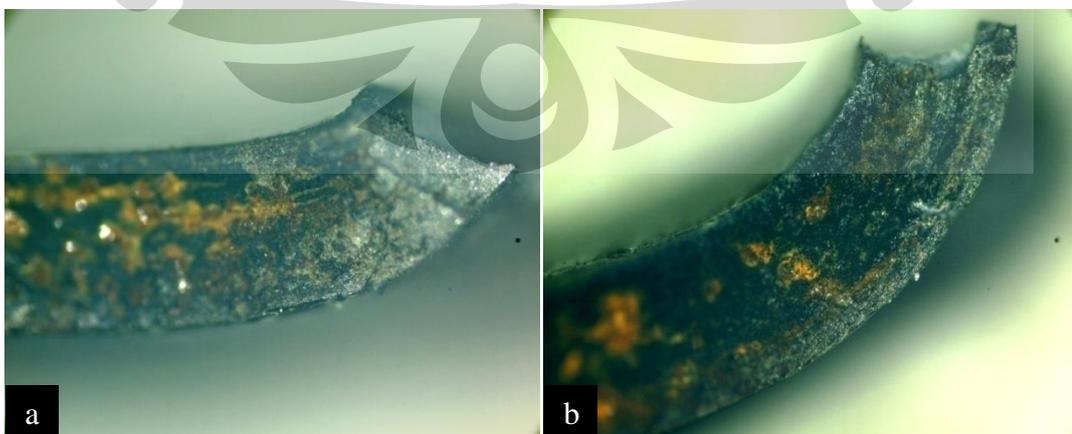
Pengamatan dilakukan secara makro dan mikro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan mikroskop optik sedangkan pengamatan mikro menggunakan SEM. Pada Gambar 4.15 dapat dilihat foto makro dari perpatahan sampel *quench temper* dan *austemper* perbesaran 50 X.





**Gambar 4.15** Perpatahan makro (a) *quench temper*, (b) *austemper*, (c) *quench temper* dan *austemper* (kiri-kanan). OM 50x

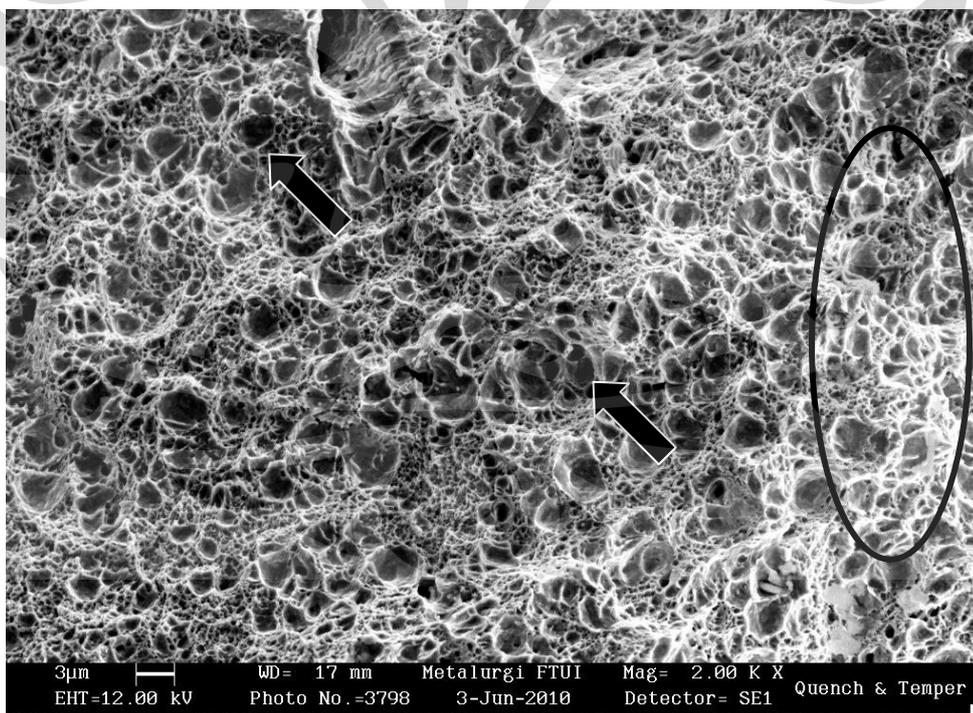
Pengamatan makro Gambar 4.15 menunjukkan bahwa perpatahan sampel *quench temper* ini memiliki bentuk getas dengan permukaan patah yang cerah memantulkan cahaya dan relatif rata. Sedangkan pada perpatahan sampel *austemper* terlihat memiliki perpatahan ulet dengan permukaan patah yang gelap dan memiliki serat. Jika dilihat dari pengamatan makro di Gambar 4.16, sampel *quench temper* terlihat jelas memiliki perpatahan dengan arah tegak lurus dari arah beban dan deformasi plastik yang kecil yang merupakan ciri-ciri dari perpatahan getas/*brittle*.



**Gambar 4.16** Perpatahan makro (a) *quench temper* dan (b) *austemper*. Tampak samping. OM 50x

Pengamatan Gambar 4.16 (b) terlihat perpatahannya memiliki perambatan retak dengan arah  $45^\circ$  dari pembebanan. Perpatahan pada sampel *austemper* ini juga memperlihatkan perpatahan yang terjadi akibat adanya *mikrovoid* pada saat deformasi plastik. Hal ini ditandai dengan terjadinya *necking* pada perpatahannya.

Pada pengamatan mikro Gambar 4.17 menggunakan SEM perbesaran 2000x, terlihat perpatahan sampel *quench temper* memiliki bentuk *dimple* (cekungan) IG dengan *quasi-cleavage* yang mendominasi. *Dimple* IG merupakan perpatahan akibat terbentuknya *microvoid coalescence* (MVC) pada batas butir dimana endapan karbida berada. Terbentuknya mikrovoid ini bisa diakibatkan karena adanya endapan inklusi di batas butir dan/atau masuknya atom hidrogen ke batas butir selama kontak dengan lingkungan korosif yang membuat batas butir menjadi melemah/*decohesion*. Pada gambar di bawah ini terlihat MVC terbentuk berdekatan dengan endapan karbida (panah hitam). *Dimple* ini menunjukkan bahwa ketika terjadinya perpatahan, batas butir yang lemah tadi menjadi tempat menjalarnya retak sehingga terlihat seperti adanya butir-butir yang terambil.

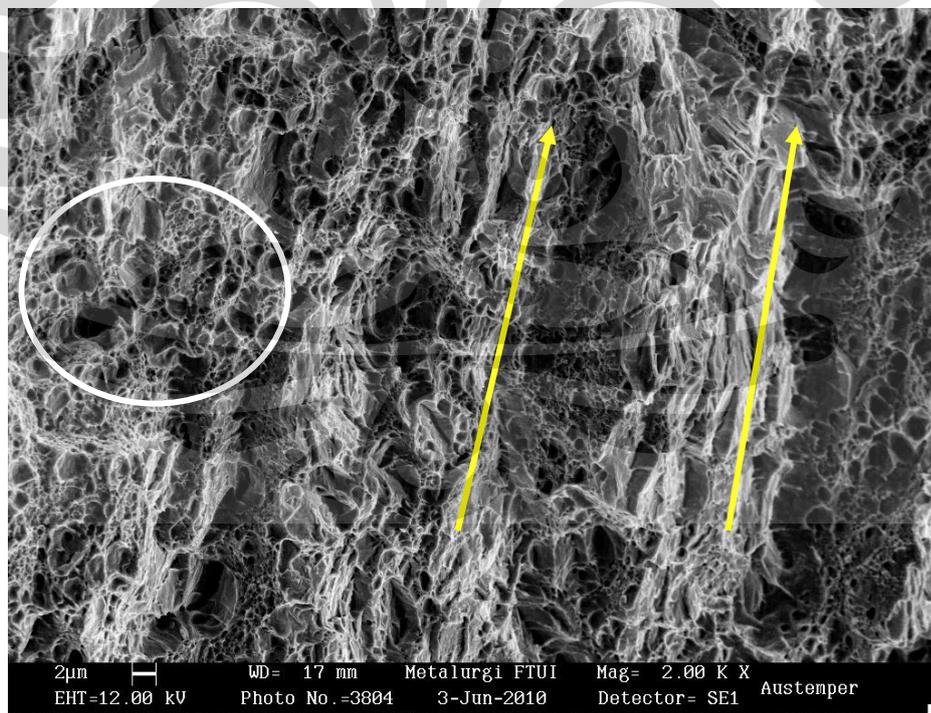


**Gambar 4.17** Perpatahan *quench temper* setelah uji *delay fracture*. SEM 2000x

Pada Gambar 4.17 juga terdapat *quasi-cleavage* (mirip *cleavage*) yang berbentuk seperti serabut-serabut putih (daerah di lingkaran). *Quasi-cleavage* ini

adalah gabungan antara mekanisme *brittle* TG dengan adanya deformasi plastis. *Quasi-cleavage* ini biasanya terjadi pada baja hasil *quenching* dan *tempering*<sup>[9]</sup>.

Berbeda dengan perpatahan sampel *quench temper*, perpatahan sampel *austemper* (Gambar 4.18) ini memiliki permukaan perpatahannya memiliki bentuk *cleavage* TG, *mixed-mode dimple* dan beberapa *quasi-cleavage*. *Cleavage* TG ditandai dengan adanya bentuk pecahan menyerupai jalur sungai atau *rivermarks*. Pada gambar di bawah garis panah kuning menunjukkan arah dari *rivermarks*. Perpatahan jenis ini terjadi di sepanjang butir atau memotong butir. Sedangkan *mixed-mode dimple* ini terjadi karena adanya mekanisme MVC di butir atau di batas butir. Namun pada gambar di bawah ini *mixed-mode dimple* terjadi hampir di semua bagian yang tidak ada *cleavage* TG. *Mixed-mode dimple* jenis ini biasanya disebut dengan *dual-dimple*. *Dual dimple* ini terjadi pada baja yang memiliki distribusi ukuran partikel yang berbeda, contohnya inklusi MnS dan sementit (lingkaran putih). Ukuran partikel MnS yang lebih besar akan menjadi insiasi MVC dengan ukuran dimpel yang lebih besar. Setelah itu MVC juga akan terbentuk di dekat sementit namun dengan ukuran void yang lebih kecil.



**Gambar 4.18** Perpatahan *austemper* setelah uji *delay fracture*. SEM 2000x

Pada pengamatan makro kedua sampel terlihat bahwa sampel *quench temper* memiliki perpatahan getas, sedangkan sampel *austemper* memiliki

perpatahan ulet. Namun pada pengamatan mikro sampel *quench temper* juga terjadi mekanisme *dimple IG* dimana sampel *austemper* terdapat model perpatahan *cleavage TG*. Pada beberapa penelitian hal ini sangat normal ketika perpatahan makro menunjukkan patah getas namun terjadi dengan mekanisme ulet seperti *dimple TG* maupun *IG*. Hal ini biasanya terjadi karena adanya faktor geometri bentuk dari sampel yang tidak memungkinkan, *plastic strain* akan terkonsentrasi pada geometri tertentu dan perpatahan terjadi tanpa adanya deformasi makro<sup>[9]</sup>.



## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Pengujian kekerasan sampel hasil perlakuan panas menunjukkan nilai kekerasan yang sama dengan literatur untuk standar kekerasan baja AISI/SAE 1050 hasil *quench temper* maupun *austemper*.
2. Sampel *quench temper* hasil *delay fracture* mengalami kenaikan nilai kekerasan paling tinggi yaitu 6,97%, sementara itu sampel *austemper* mengalami kenaikan sebesar 0,56% untuk *austemper* 10 menit, 0,68% untuk *austemper* 20 menit, dan 0,89% untuk *austemper* 30 menit.
3. Pengamatan struktur mikro sampel *quench temper* memperlihatkan struktur mikro berupa martenit temper, ferit, sementit dan endapan karbida, sedangkan pada sampel *austemper*, pengamatan struktur mikro memperlihatkan bentuk jarum dari bainit bawah.
4. Waktu tahan *austemper* yang semakin lama (10 menit, 20 menit dan 30 menit) memperlihatkan kecenderungan bentuk bainit yang membesar.
5. *Charging* hidrogen dapat dilakukan dengan baik pada pengujian *delay fracture*. Ini dibuktikan dengan terbentuknya gelembung gas H<sub>2</sub> dan lapisan tipis FeCl<sub>2</sub> pada permukaan sampel.
6. Perpatahan makro pada sampel *quench temper* menunjukkan terjadinya perpatahan getas, sedangkan pada sampel *austemper* perpatahan ulet.
7. Perpatahan mikro sampel *quench temper* menunjukkan terjadinya mekanisme *dimple IG* dan *quasi-cleavage*, sementara itu pada sampel *austemper* menunjukkan terjadinya mekanisme *cleavage TG*, *mixed-mode dimple*, dan beberapa *quasi-cleavage*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. <http://otomotif.kompas.com/read/xml/2010/02/18/08420323/omzet.industri.otomotif.di.2010.capai.rp.197.triliun> (di ambil tanggal 23/3/2010)
2. ASM Handbook, *Heat Treatment, Vol. 4*, ASM International, Cleaveland-Ohio, 2001, p. 155, 160
3. Herring, D.H., *Understanding the Benefits of Austempering, Industrial Heating*, December 2005.
4. Krauss, G. *Heat Treatment and Processing Principles*. ASM International, Materials Park, Ohio 44073
5. Tartaglia, John M et al. *A Comparison of Mechanical Properties and Hydrogen Embrittlement Resistance of Austempered vs Quenched and Tempered 4340 Steel*. Metallurgical and Materials Transaction A. March 2008, vol. 39A. p. 559-576
6. L.F. Reynolds and M.P. Hayes: *Trans. Inst. Met. Finish.*, 1987, vol. 65 (2), pp. 50–57
7. ASM Handbook. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys: Vol. 1*, ASM International, Cleaveland-Ohio, 2001. p. 215
8. ASM Handbook, *Metallography and Microstructures*, Vol 9, ASM International, 2004. 1409, 1472, 1449
9. ASM Handbook, *Failure Analysis and Prevention, Vol. 11*, ASM International, Cleaveland-Ohio, 2001. p. 1714-1732, 1172-1175, 1205-1240, 1355
10. X-Ray Diffraction Residual Stress Measurement. *An Introduction*, Automated NDT System & Services. Proto Manufacturing
11. B. Craig, Hydrogen Damage, ASM Handbook, *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*, vol. 13A, ASM International, Cleaveland-Ohio, 2003 p. 367–380 (E-book)
12. Michler, Torsten et. Al, *Microstructural Aspects Upon Hydrogen Environment Embrittlement of Various BCC Steels*. International Journal of Hydrogen Energy 35 (2010) p. 821-832

13. Shevla, G. *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*, Bagian 1, Edisi 5, PT. Kalman Media Pusaka, Jakarta.
14. Siddiqui. Rafiq A., *Hydrogen Embrittlement in Low Carbon Steel.*, *Archive of Materials Science*, 2007, vol. 28, No. 1-4
15. Tables of Chemicals and Etchants, *Metallography and Microstructures*, Vol 9, *ASM Handbook*, ASM International, 2004, p. 1094–1114

