



UNIVERSITAS INDONESIA

**MODIFIKASI METODE ETSA TERHADAP
PENAMPAKAN BATAS BUTIR AUSTENIT PADA
BAJA HSLA A572 *GRADE* 50 HASIL PROSES CANAI PANAS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**ANUGRAH MARTUA RAJA
0606074584**

**FAKULTAS TEKNIK METALURGI & MATERIAL
PROGRAM STUDI S1 REGULER
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Anugrah Martua Raja

NPM : 0606074584

Tanda Tangan :

Tanggal : 8 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Anugrah Martua Raja
NPM : 0606074584
Program Studi : S1 Reguler Teknik Metalurgi & Material
Judul Skripsi : Modifikasi Metode Etsa Terhadap Penampakan
Batas Butir Austenit Pada Baja HSLA A572 *Grade 50* Hasil Proses Canai Panas

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Reguler Teknik Metalurgi & Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA ()

Penguji I : Dr. Ir. Myrna Ariati, M.S ()

Penguji II : Dr. Ir. Winarto, M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 8 Juli 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan YME, karena atas segala berkat dan rahmat yang diberikan, penulisan skripsi ini dapat terlaksana dengan baik. Adapun penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Metalurgi dan Material di Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, akan sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing penulis dalam menyusun skripsi ini;
2. Semua dosen dan staf pengajar beserta karyawan departemen yang telah berperan memberikan ilmu pengetahuan dan bantuan selama masa penelitian skripsi;
3. Pak Richard A.M. Napitupulu, selaku pembimbing kami dilapangan yang telah menawarkan tema skripsi, memberikan saran dan masukan yang membangun selama penyusunan skripsi;
4. Orang tua dan keluarga penulis yang senantiasa mendoakan, memberikan semangat dan perhatian selama masa penyusunan skripsi;
5. Semua sahabat seangkatan dan kerabat penulis, yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis selama masa perkuliahan sampai selesainya skripsi ini.
6. Semua pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung telah berperan dalam terlaksananya skripsi ini.

Akhir kata, penulis hanya bisa berdoa agar Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan dari semua pihak dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 25 Juni 2010

Penulis

Universitas Indonesia

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

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

Nama : Anugrah Martua Raja
NPM : 0606074584
Program Studi : S1 Reguler
Departemen : Metalurgi & 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 :

Modifikasi Metode Etsa Terhadap Penampakan Batas Butir Austenit Pada Baja HSLA A572 Grade 50 Hasil Proses Canai Panas

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 8 Juli 2010

Yang menyatakan

(Anugrah Martua Raja)

ABSTRAK

Nama : Anugrah Martua Raja
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Modifikasi Metode Etsa Terhadap Penampakan Batas Butir Austenit Pada Baja HSLA A572 *Grade* 50 Hasil Canai Panas

Penelitian ini membahas modifikasi metode etsa untuk melihat batas butir austenit. Digunakan baja HSLA A572 *Grade* 50 dengan kadar karbon rendah yaitu 0.0085 wt% yang dipanaskan dahulu pada temperatur 1150 °C dengan waktu tahan 10 menit, lalu dideformasi panas dengan variasi temperatur 860 °C - 1060 °C dan reduksi 20 - 30% yang diikuti *quenching* air kemudian pengujian metalografi dengan berbagai metode etsa. Foto mikro batas butir austenit hasil proses etsa dengan larutan etsa standar (4 % picral), larutan etsa villeda dan larutan etsa lewat jenuh kurang optimal. Metode larutan etsa hasil modifikasi dapat memperoleh batas butir austenit yang paling optimal apabila dilakukan pada temperatur 80-90 °C dengan kondisi sampel dalam keadaan panas (50-60 °C) selama 5 menit.

Kata kunci : Metode etsa, baja HSLA, deformasi panas, batas butir austenit

ABSTRACT

Name : Anugrah Martua Raja
Study Program: Metallurgy and Material Engineering
Title : Modifications of Etching Methods to Reveal Austenite Grain Boundaries in HSLA Steel A572 *Grade* 50 After Hot Deformation.

This research tells about modifications of etching methods to reveal austenite grain boundaries. HSLA Steel A572 *grade* 50 which have low carbon content (0.0085 %wt) was employed to the examination. For the beginning, HSLA Steel A572 *grade* 50 was reheated at 1150 °C for 10 minutes followed by hot deformation in 860 °C – 1060 °C for 20 – 30 % reduction and water quenching. And then metallography examination has been studied with variety etching methods. The result of austenite grain boundaries appearance for (4 % picral), villeda and super saturated etching methods is not visually clear, but the modifications have shown better appearance. The performance of this etching modification method can be optimized if applied at 80-90 °C with sample condition at 50-60 °C for 5 minutes etching time.

Keywords : Etching Methods, HSLA Steel, Hot Deformation, Austenite Grain Boundaries

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
2. DASAR TEORI.....	6
2.1 Baja dan Klasifikasinya.....	6
2.2 Baja HSLA.....	8
2.3 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja HSLA.....	10
2.4 Proses Canai Panas.....	14
2.4.1 Tahapan Proses Canai Panas.....	16
2.5 Pengujian Metalografi.....	21
2.5.1 Teori Etsa.....	22
2.5.2 Teknik Etsa.....	25
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	30
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	30
3.2 Bahan Sampel Penelitian.....	32
3.3 Peralatan Penelitian.....	32
3.4 Prosedur Penelitian.....	34
3.4.1 Pemanasan Awal.....	34
3.4.2 Proses Deformasi Panas.....	35
3.4.3 Preparasi Sampel Pengujian Metalografi.....	35
3.4.4 Proses Etsa.....	36
3.4.5 Pengamatan Struktur Mikro.....	38
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Hasil Proses Canai Panas.....	40
4.2 Hasil Foto Mikro Baja HSLA A572 Grade 50 Dengan Berbagai Teknik Etsa.....	40
4.2.1 Hasil Foto Mikro Baja HSLA A572 Grade 50 Dengan Metode Etsa Larutan Picral Modifikasi.....	40
4.2.2 Hasil Foto Mikro Baja HSLA A572 Grade 50 Dengan Metode Etsa Larutan Picral Villela.....	57
4.2.3 Hasil Foto Mikro Baja HSLA A572 Grade 50 Dengan Metode Etsa Larutan Picral Standar (4 % picral).....	61

4.2.4 Hasil Foto Mikro Baja HSLA A572 Grade 50 Dengan Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh.....	64
4.3 Pengaruh Temperatur Deformasi dan Besar Deformasi Pada Proses Canai Panas Terhadap Penampakan Batas Butir Austenit...	69
4.4 Pengaruh Komposisi Larutan Etsa, Temperatur Larutan Etsa, Temperatur Sampel dan Waktu Etsa.....	71
5. KESIMPULAN	74
DAFTAR REFERENSI.....	75



DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Klasifikasi Baja Berdasarkan Komposisinya.....	7
Gambar 2.2	Pengaruh Mn Sebagai Penstabil Fasa Austenit.....	11
Gambar 2.3	Pengaruh Paduan Terhadap Ukuran Butir Pada Baja.....	12
Gambar 2.4	Pengaruh Kadar Cr Sebagai Penstabil Fasa Ferit.....	13
Gambar 2.5	Perubahan Struktur Mikro dan Butir Pada Proses Canai Panas.....	14
Gambar 2.6	Siklus Skematik Tahapan Proses Canai Panas.....	16
Gambar 2.7	Pengaruh Temperatur Terhadap Perubahan Struktur Mikro Baja.....	17
Gambar 2.8	Perbandingan Waktu Tahan Dengan % Austenit yang Terbentuk.....	17
Gambar 2.9	Grafik Hubungan Peningkatan Temperatur Dengan Ukuran Butir.....	19
Gambar 2.10	Pengaruh Laju dan Temperatur Pendinginan Terhadap Ukuran Butir.....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3.2	Skematis Bentuk Sampel Baja HSLA Untuk Penelitian.....	32
Gambar 3.3	<i>Hardware</i> dan <i>Software</i> Untuk Proses Canai Panas.....	33
Gambar 3.4	Peralatan Proses Canai Panas.....	33
Gambar 3.5	Perangkat Metalografi dan Foto Mikro.....	34
Gambar 3.6	Pantulan Sinar Mikroskop Pada Kondisi Permukaan Sampel Tertentu.....	39
Gambar 4.1	Foto Mikro Batas Butir Austenit Sampel <i>Dummy</i> Austenit. 200x.....	41
Gambar 4.2	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 1. 200x.....	42
Gambar 4.3	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 2. 200x.....	42
Gambar 4.4	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 3. 200x.....	42
Gambar 4.5	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 8. 200x.....	43
Gambar 4.6	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 28. 200x.....	43
Gambar 4.7	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 30. 200x.....	43
Gambar 4.8	Batas Butir Austenit Prior Pada Baja HSLA 0.019 % Nb. Etsa 4 % Picral. 200x.....	44
Gambar 4.9	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 1. 200x.....	45
Gambar 4.10	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 2. 200x.....	46
Gambar 4.11	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 3. 200x.....	46

Gambar 4.12	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 8. 200x.....	46
Gambar 4.13	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 28. 200x.....	47
Gambar 4.14	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 30. 200x.....	47
Gambar 4.15	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 1. 200x.....	48
Gambar 4.16	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 2. 200x.....	49
Gambar 4.17	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 3. 200x.....	49
Gambar 4.18	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 8. 200x.....	49
Gambar 4.19	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 28. 200x.....	50
Gambar 4.20	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 30. 200x.....	50
Gambar 4.21	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 1. 200x.....	51
Gambar 4.22	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 2. 200x.....	52
Gambar 4.23	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 3. 200x.....	52
Gambar 4.24	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 8. 200x.....	52
Gambar 4.25	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 28. 200x.....	53
Gambar 4.26	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 30. 200x.....	53
Gambar 4.27	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 1. 200x.....	54
Gambar 4.28	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 2. 200x.....	54
Gambar 4.29	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 3. 200x.....	55
Gambar 4.30	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 8. 200x.....	55
Gambar 4.31	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 28. 200x.....	55
Gambar 4.32	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 30. 200x.....	56
Gambar 4.33	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel Dummy 200x.....	57
Gambar 4.34	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel 1. 200x.....	58
Gambar 4.35	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel 2. 200x.....	58

Gambar 4.36	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel 3. 200x.....	58
Gambar 4.37	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel 8. 200x.....	59
Gambar 4.38	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel 28. 200x.....	59
Gambar 4.39	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel 30. 200x.....	59
Gambar 4.40	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel Dummy 200x.....	61
Gambar 4.41	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 1. 200x.....	61
Gambar 4.42	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 2. 200x.....	62
Gambar 4.43	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 3. 200x.....	62
Gambar 4.44	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 8. 200x.....	62
Gambar 4.45	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 28. 200x.....	63
Gambar 4.46	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 30. 200x.....	63
Gambar 4.47.	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 1. 200x.....	64
Gambar 4.48.	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral LewatJenuh Modifikasi. Sampel 2. 200x.....	65
Gambar 4.49.	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 3. 200x.....	65
Gambar 4.50.	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 8. 200x.....	65
Gambar 4.51.	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 28. 200x.....	66
Gambar 4.52.	Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 30. 200x.....	66
Gambar 4.53.	Penampakan Area Putih di Batas Butir Austenit Mengindikasikan Segregasi Fosfor Pada <i>As Cast ASTM A36 Steel Slab</i> . Etsa 4% Picral dan HCl. 100x.....	67
Gambar 4.54.	(a) Nukleasi Ferit Pada Batas Butir Austenit Baja AISI/SAE 1060. Etsa 2% nital. 500x (b) <i>Widmenstatten Ferrite</i> Baja AISI/SAE 1025. Etsa 4% picral 100x.....	68

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Berbagai Jenis Larutan Etsa Untuk Menampakkan Batas Butir Austenit..... 29
Tabel 3.1	Komposisi Baja HSLA A572 <i>Grade 50</i> 32
Tabel 3.2	Komposisi Baja HSLA A572 <i>Grade 50</i> 32
Tabel 3.3	Data Perlakuan Sampel Yang Diberikan Selama Proses Canai Panas..... 35
Tabel 3.4	Data Metode Etsa dan Proses Etsa..... 37
Tabel 4.1	Data Perlakuan Sampel dan Hasil Proses Canai Panas..... 40



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini tingkat kebutuhan akan baja sebagai bahan pokok untuk industri seperti manufaktur dan konstruksi telah mengalami peningkatan yang sangat pesat. Tentunya untuk mendukung pertumbuhan industri tersebut maka diperlukan kriteria produk baja yang berkualitas dengan harga yang kompetitif. Untuk memenuhi kebutuhan akan baja dengan kriteria tersebut maka dikembangkanlah baja HSLA (*High Strength Low Alloy*). Baja HSLA merupakan salah satu tipe baja karbon paduan rendah yang memiliki karakteristik khusus yaitu kekuatan dan ketahanan terhadap korosi yang lebih baik daripada baja karbon biasa, memiliki *tensile strength* yang tinggi, tahan terhadap abrasi, mudah dibentuk, ulet, ringan, sifat mampu mesin yang baik serta sifat mampu las yang tinggi^[1]. Kekuatan dan sifat mekanis yang baik dari baja HSLA tersebut dapat diperoleh melalui berbagai variasi mekanisme penguatan, seperti penghalusan butir dan penguatan presipitat oleh paduan^[1]. Kekuatan yang tinggi dari baja HSLA dipengaruhi oleh adanya fasa akhir ferit berbutir halus dengan karakteristik kekuatan yang baik. Selain itu adanya penambahan paduan seperti Mn dan Nb dapat mendorong terjadinya mekanisme penguatan presipitat dan mendukung mekanisme penghalusan butir ferit^[2]. Terbentuknya fasa akhir ferit berbutir halus sangat dipengaruhi oleh butir austenit yang terbentuk selama pemanasan awal. Apabila butir austenit yang dihasilkan berukuran besar (kasar), maka akan diperoleh fasa akhir ferit dengan butir yang kasar pula sehingga akan menurunkan kekuatan dari baja HSLA tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu proses terkendali yang dapat mengontrol struktur mikro akhir baja HSLA yang sering dikenal dengan proses canai panas^[2]. Proses ini diharapkan dapat mengontrol pertumbuhan butir austenit pada saat pemanasan awal dan pada akhir proses ini diharapkan terbentuk butir ferit yang halus melalui pengerolan terkendali, sehingga dapat meningkatkan kekuatan mekanis baja HSLA.

Untuk mengetahui karakteristik butir dari fasa ferit yang terbentuk maka kita perlu meneliti struktur mikro dan perilaku butir fasa austenit dari baja HSLA dengan melakukan pengujian metalografi. Pengujian metalografi merupakan pengujian untuk mengamati struktur mikro dari suatu material yang terdiri dari beberapa tahap antara lain preparasi sampel yang terdiri dari *mounting*, *grinding*, *polishing*, dan *etching* yang diakhiri dengan pengamatan struktur mikro pada mikroskop. Proses yang sangat menentukan pada pengujian metalografi adalah proses etsa. Proses etsa merupakan proses korosi terkontrol yang diperlukan untuk menampilkan struktur mikro batas butir dari fasa austenit guna mengevaluasi perilaku butir fasa austenit dari baja HSLA^[11]. Untuk memperoleh penampakan struktur mikro batas butir fasa austenit yang baik diperlukan metode etsa yang tepat. Parameter yang perlu diperhatikan dalam proses etsa secara umum meliputi komposisi larutan etsa, cara pengetsaan, temperatur etsa dan waktu pengetsaan. Pertimbangan pemilihan zat kimia untuk larutan etsa, harus dipertimbangkan faktor untuk tidak memperbesar *cavity*, menimbulkan pit, menghasilkan segregasi dan lain-lain^[11]. Proses pengetsaan secara umum dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain melalui etsa kimia yaitu pencelupan permukaan material uji pada larutan etsa, penetasan larutan etsa pada permukaan material uji atau dengan elektro-etsa. Temperatur larutan etsa perlu dipertimbangkan untuk mendukung reaksi pengkorosian batas butir yang terkontrol sehingga tidak terjadi reaksi yang berlebihan. Waktu pengetsaan perlu diperhatikan agar tidak terjadi *over-etching* yang dapat berakibat rusaknya permukaan sampel. Selain itu masih ada beberapa hal yang berpengaruh dalam keberhasilan proses pengetsaan seperti temperatur larutan etsa dan temperatur material uji.

Untuk memperoleh penampakan struktur mikro yang optimal dari batas butir fasa austenit, maka perlu penyesuaian terhadap parameter proses etsa yang telah disebutkan diatas. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan dilakukan modifikasi metode etsa untuk menyesuaikan parameter proses etsa tersebut agar dapat menghasilkan penampakan struktur mikro batas butir fasa austenit yang paling optimal, efektif dan efisien dari baja HSLA A572 *Grade 50* hasil proses canai panas.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini ingin didapatkan struktur mikro batas butir fasa austenit dari baja HSLA A572 Grade 50 hasil proses canai panas. Pada beberapa jurnal penelitian sebelumnya yang juga membahas tentang pengujian metalografi etsa, untuk memperoleh struktur mikro fasa austenit dari baja HSLA memang tidak mudah dikarenakan fasa austenit merupakan fasa *metastable* yang hanya dapat stabil pada temperatur tinggi^[5]. Selain itu fasa akhir ferit yang terbentuk di batas butir austenit sebagai matriks juga mempersulit pengamatan struktur mikro batas butir austenit. Pada akhirnya struktur mikro batas butir fasa austenit tersebut dapat diperoleh dengan larutan etsa picral yang lewat jenuh pada temperatur kamar dengan waktu pengetsaan yang cukup lama yaitu 10 menit^[3]. Kemampuan larutan etsa ini untuk menyerang batas butir fasa austenit dipengaruhi oleh temperatur pemanasan awal, temperatur deformasi dan % reduksi yang diberikan pada baja saat proses canai panas. Diterangkan pula pada beberapa jurnal referensi, larutan etsa picral yang digunakan dibuat dengan melarutkan terlebih dahulu asam picric yang lewat jenuh pada aquades selama 1-2 hari sampai terbentuk endapan, setelah itu larutan diambil dan meninggalkan endapan asam picric tanpa digunakan^{[3]&[4]}. Hal ini mengakibatkan ketidakakuratan komposisi larutan picral yang digunakan dikarenakan adanya endapan asam picric yang tidak ikut diambil sehingga mempengaruhi komposisi larutan etsa picralnya. Selain itu apabila menggunakan asam picric dalam jumlah besar (lewat jenuh) maka berarti akan sangat memakan biaya yang besar dan waktu yang lama.

Oleh karena itu pada penelitian ini ingin dicari komposisi asam picric yang akurat dan tidak lewat jenuh untuk dipakai sebagai larutan etsa picral guna memperoleh struktur mikro batas butir fasa austenit yang baik. Selanjutnya akan dilakukan modifikasi metode etsa yaitu dengan mengatur temperatur larutan etsa, temperatur sampel dan waktu etsa dengan lebih akurat sehingga dapat diperoleh penampakan struktur mikro batas butir fasa austenit yang optimal. Selain itu akan diteliti pengaruh temperatur deformasi dan % reduksi terhadap penampakan struktur mikro yang dihasilkan. Pada akhirnya modifikasi metode etsa tersebut juga dapat menekan jumlah biaya yang dikeluarkan dan mempersingkat waktu kerja.

Universitas Indonesia

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun secara singkat tujuan dari dilakukannya penelitian ini antara lain :

1. Untuk memperoleh struktur mikro batas butir fasa austenit yang terbaik pada baja HSLA A572 Grade 50 hasil proses canai panas dengan menggunakan metode etsa yang akurat, paling efektif dan efisien dari segi biaya dan waktu.
2. Untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan, temperatur deformasi dan % reduksi yang dipakai pada proses canai panas terhadap hasil dari penampakan struktur mikro batas butir fasa austenit
3. Untuk mengetahui pengaruh dari variabel modifikasi metode etsa seperti komposisi larutan etsa picral, temperatur larutan etsa, temperatur sampel, dan waktu etsa terhadap hasil dari penampakan struktur mikro batas butir fasa austenit.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini mencakup 3 tahapan proses, antara lain :

1. **Proses canai panas pada baja HSLA**, dimana dilakukan pemanasan awal (*reheating*) baja HSLA pada temperatur 1150 °C dan waktu tahan 10 menit. Kemudian dilanjutkan dengan deformasi panas pada temperatur dan % reduksi yang berbeda-beda untuk setiap sampel antara lain 1060 °C, 960 °C, dan 860 °C dengan variasi % reduksi 20 % dan 30 %. Tujuan proses ini adalah untuk mengatur pertumbuhan butir dan pembentukan struktur mikro fasa austenit.
2. **Proses pengujian metalografi**, dimana dilakukan pengamplasan mulai dari ukuran mesh 80-1500 diikuti dengan pemolesan dengan cairan poles. Kemudian dilakukan pengetsaan dengan metode etsa yang berbeda-beda dari segi variabel temperatur, komposisi, dan waktu etsanya. Tujuan dari proses ini adalah untuk memperoleh metode etsa dengan komposisi yang pasti dan akurat, paling efektif dan efisien dari segi biaya dan waktu kerja hingga didapatkan struktur mikro batas butir fasa austenit yang terbaik.

3. **Foto mikro sampel plat HSLA**, dimana dilakukan pengambilan foto mikro dari struktur mikro batas butir fasa autenit untuk setiap sampel dengan metode etsa yang bervariasi yang diambil dengan perbesaran 200x atau 500x. Tujuannya untuk memudahkan dalam membandingkan penampakan struktur mikro batas butir fasa austenit untuk setiap sampel yang diperoleh dengan metode etsa yang bervariasi. Kemudian diikuti dengan analisa hubungan antara modifikasi metode etsa yang diterapkan dengan hasil foto mikro yang diperoleh.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun sedemikian rupa sehingga konsep dalam penulisan skripsi menjadi berurutan sehingga akan didapat kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika tersebut dapat diuraikan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan satu sama lain, diantaranya ialah:

Bab 1 Pendahuluan

Membahas mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Membahas mengenai dasar teori baja HSLA, proses canai panas dan pengujian metalografi etsa.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat, bahan, prosedur penelitian, dan mekanisme pengujian sampel.

Bab 4 Hasil Penelitian & Pembahasan

Membahas mengenai pengolahan data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik berupa angka, gambar, maupun grafik dan analisa dari hasil pengujian lalu membandingkannya dengan teori serta hasil penelitian lain sebelumnya.

Bab 5 Kesimpulan

Membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja dan Klasifikasinya

Baja merupakan salah satu material logam yang sangat penting dan banyak dipakai hampir disemua bentuk industri besar maupun kecil terutama industri manufaktur, elektronik, otomotif, konstruksi, minyak dan gas. Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat.^[6] Baja banyak digunakan didunia industri dikarenakan memiliki beberapa kelebihan, antara lain :

1. Relatif Murah
2. Kekuatan dan keuletan memadai
3. Ketangguhan tinggi
4. Dapat dilas

Namun disamping memiliki kelebihan, baja juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain :

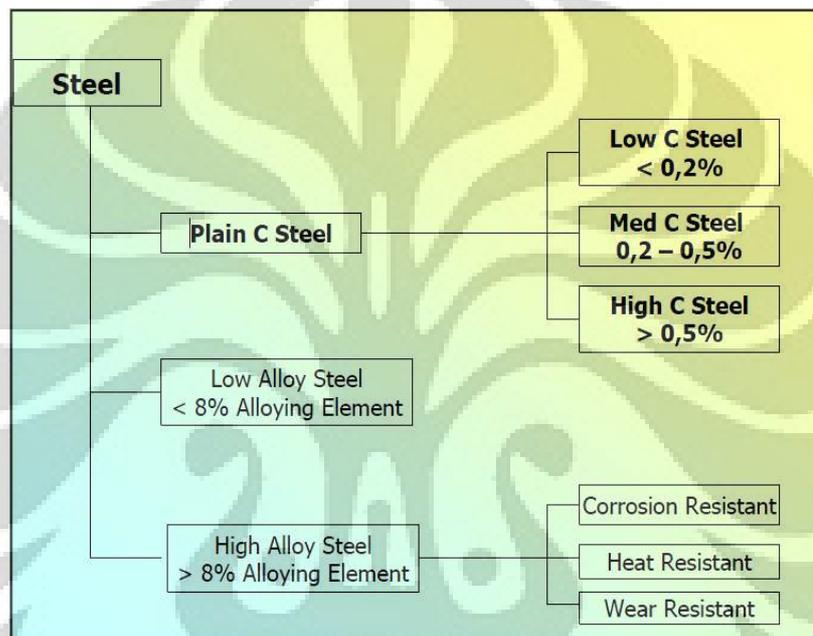
1. Berat jenis tinggi
2. Mudah berkarat
3. Tidak tahan temperatur tinggi
4. Tidak tahan aus

Beberapa kekurangan dari baja tersebut sebenarnya dapat dihindari dengan cara menambahkan unsur lain (*alloying*) yang berguna sebagai paduan. Sebagai contoh untuk menghasilkan baja yang tahan karat maka perlu adanya penambahan unsur paduan seperti Ni dan Cr.

Baja dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa hal, antara lain^[6] :

1. Berdasarkan komposisinya, antara lain :
 - a) Baja karbon biasa (*Plain Carbon Steel*) → Baja karbon rendah ($C < 0.2 \%$), Baja karbon menengah ($0.2 \% < C < 0.5 \%$) dan Baja karbon tinggi ($C > 0.5 \%$)

- b) Baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*) → Baja dengan penambahan unsur paduan $< 8\%$. Contohnya : baja HSLA (*High Strength Low Alloy*)
- c) Baja paduan tinggi (*High Alloy Steel*) → Baja dengan penambahan unsur paduan $> 8\%$. Contohnya : Baja tahan karat (*Corrosion Resistant Steel*), Baja tahan panas (*Heat Resistant Steel*) dan baja tahan aus (*Wear Resistant Steel*).



Gambar 2.1. Klasifikasi Baja Berdasarkan Komposisinya^[6]

2. Berdasarkan bentuk produk
 - a) Pelat batangan (*billet, slab*)
 - b) Tabung
 - c) Lembaran (*strip*)
 - d) Pita/gulungan (*Wire*)
3. Berdasarkan struktur mikro
 - a) Perlitik (didominasi oleh fasa perlit)
 - b) Martensitik (didominasi oleh fasa martensit)
 - c) Austenitik (didominasi oleh fasa austenit)
 - d) Feritik (didominasi oleh fasa ferit)

2.2 Baja HSLA

Baja HSLA (*High Strength Low Alloy*) merupakan baja paduan mikro berkadar karbon rendah (0.05-0.20 %C) dengan penambahan unsur paduan seperti mangan yang komposisinya dapat mencapai maksimum 2.0 wt % serta paduan lainnya seperti tembaga, nikel, niobium, nitrogen, vanadium, kromium, molibdenum, titanium ataupun zirkonium dalam jumlah kecil^[1]. Paduan mikro tersebut efektif untuk membentuk karbida, nitrida atau karbonitrida. Adapun fungsi pokok elemen paduan mikro adalah^[7]:

1. Pembentukan presipitat yang kaya akan karbonitrida yang stabil pada temperatur tinggi
2. Pembentukan karbonitrida yang mengendap selama dan setelah temperatur transformasi
3. Pembentukan endapan dalam ferit *acicular* selama atau setelah pendinginan dipercepat
4. Pembentukan endapan pada transformasi martensit selama perlakuan temper untuk menghasilkan *secondary hardening*
5. Menghambat laju transformasi struktur austenit menjadi ferit dan mempromosikan pembentukan martensit

Baja HSLA tidak dibuat untuk mendapatkan komposisi kimia yang spesifik melainkan untuk mendapatkan sifat mekanik yang spesifik. Baja HSLA memiliki karakteristik khusus yaitu sifat kekuatan dan ketahanan terhadap korosi yang lebih baik daripada baja karbon biasa, memiliki *tensile strength* yang tinggi, anti bocor, tahan terhadap abrasi, mudah dibentuk, ulet, sifat mampu mesin yang baik dan sifat mampu las yang tinggi^[1]. Sifat kekuatan yang baik dihasilkan dari mekanisme penghalusan butir oleh paduan seperti niobium dan penguatan presipitat oleh paduan seperti titanium dan vanadium pada kondisi *hot rolled, cold rolled, anil, stress relieved, direct quenching* atau normalisasi^[7]. Selain itu baja HSLA memiliki rasio perbandingan antara kekuatan dan berat yang lebih besar dan lebih baik dibandingkan dengan baja karbon biasa. Dengan komposisi karbon dan kekuatan yang sama, baja HSLA dapat memiliki ukuran berat sekitar 20-30% lebih ringan daripada baja karbon biasa. Dikarenakan baja HSLA memiliki rasio

perbandingan antara kekuatan dan berat yang lebih baik maka baja HSLA banyak digunakan untuk aplikasi bidang industri yang membutuhkan reduksi ukuran berat yang besar atau dengan kata lain lebih ringan namun tetap kuat seperti dalam industri manufaktur, rangka mobil, jembatan dan pesawat. Baja HSLA dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori^[1]:

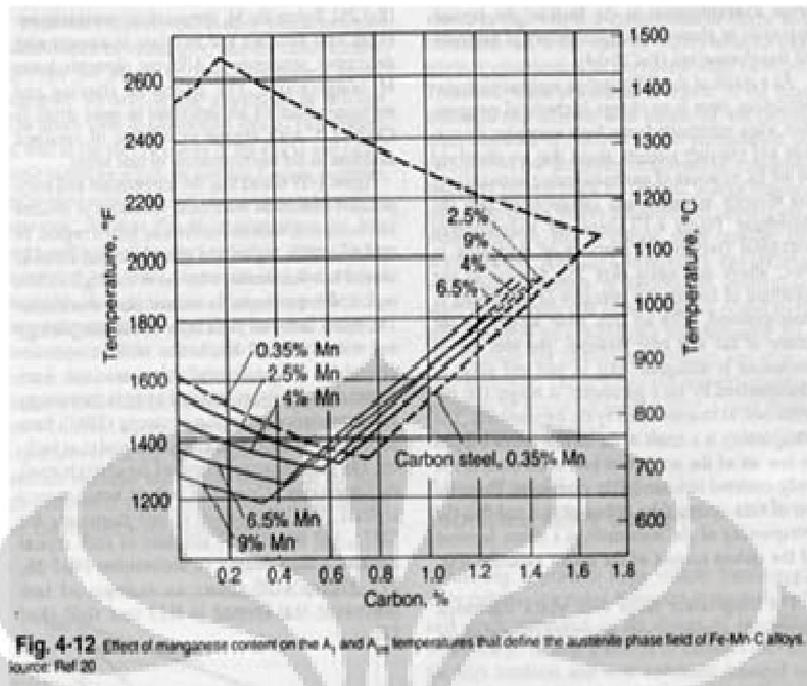
1. ***Weathering Steel***. Baja HSLA ini mengandung sejumlah kecil elemen paduan seperti Tembaga dan Fosfor yang berfungsi untuk meningkatkan ketahanan korosi atmosferik serta berfungsi sebagai penguat butir dengan penguatan larutan padat (*solid solution strengthening*).
2. ***Microalloyed Ferrite-Pearlite Steel***. Baja HSLA ini mengandung elemen paduan pembentuk karbida atau karbon-nitrida (umumnya kurang dari 0,1%), seperti Niobium, Vanadium, dan/atau Titanium yang berfungsi sebagai penguat presipitat, penghalus butir, serta mengontrol temperatur transformasi.
3. ***As Rolled Pearlitic Steel***, yang merupakan baja karbon–mangan (C-Mn) dengan penambahan sejumlah kecil elemen paduan lain untuk meningkatkan kekuatan, ketangguhan, mampu bentuk, serta mampu las.
4. ***Acicular Ferrite (Low Carbon Bainite) Steel***. Baja HSLA ini mempunyai kandungan karbon yang rendah (kurang dari 0,05 %C) dengan kombinasi sifat kekuatan luluh yang tinggi, mampu las, mampu bentuk, serta ketangguhan yang baik.
5. ***Dual Phase Steel***. Ciri baja HSLA jenis ini memiliki mikrostruktur pulau-pulau martensit yang tersebar dalam matriks ferit serta mempunyai kombinasi sifat yang baik antara keuletan dan kekuatan tarik yang tinggi.
6. ***Inclusion Shape Controlled Steel***. Baja HSLA ini mempunyai keuletan serta ketangguhan yang baik dengan adanya penambahan sejumlah kecil Kalsium (Ca), Zirconium (Zr), Titanium (Ti) bahkan mungkin logam tanah jarang (*rare earth*) yang dapat mengubah bentuk inklusi sulfida dari bentuk balok pipih menjadi bentuk yang lebih kecil, tersebar, dan bulat (*globular*).

Untuk aplikasi baja HSLA meliputi penggunaan sebagai baja konstruksi, otomotif, bejana tekan, saluran pipa minyak dan gas dengan diameter besar, *automotive beams*, struktur lepas pantai dan *shipbuilding*.

2.3 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja HSLA

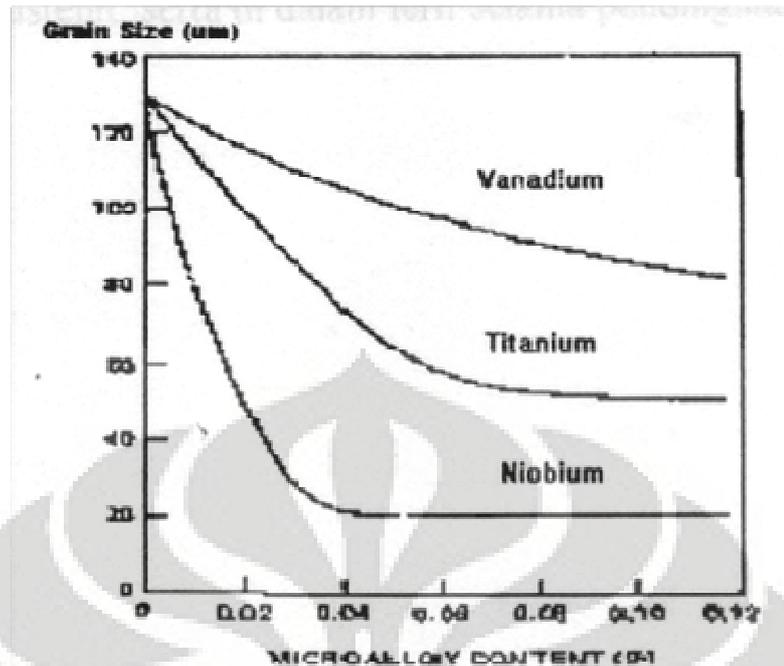
Baja HSLA (*High Strength Low Alloy*) merupakan baja paduan mikro berkadar karbon rendah (0.05-0.25%C) dengan penambahan unsur paduan seperti mangan yang komposisinya dapat mencapai maksimum 2.0 wt % serta paduan lainnya seperti tembaga, nikel, niobium, nitrogen, vanadium, kromium, molibdenum, titanium ataupun zirkonium dalam jumlah kecil. Adanya unsur-unsur paduan tersebut dapat memberikan pengaruh tersendiri terhadap sifat dan karakteristik dari baja HSLA, antara lain^[5]:

1. **Karbon (C)** → Merupakan elemen paduan yang sangat penting pada berbagai jenis baja. Kekuatan dan kekerasan meningkat dengan naiknya % C. Menunjang penguatan larutan padat dan pembentukan sementit (dan karbida lainnya), perlit, bainit. Peningkatan kadar karbon dapat menurunkan *weldability* dan ketangguhan impak pada baja.
2. **Mangan (Mn)** → Merupakan bahan *oxidizer* (mengurangi O dalam baja) yang dapat menurunkan kerentanan *hot shortness* pada aplikasi pengerjaan panas. Larut, membentuk *solid solution strength* dan meningkatkan efek penguatan presipitat pada baja niobium. Dengan Sulfur membentuk Mangan Sulfida, meningkatkan sifat permesinan (*machineability*). Sebagai penstabil fasa austenit yang dapat menurunkan temperatur transformasi austenit-ferit.



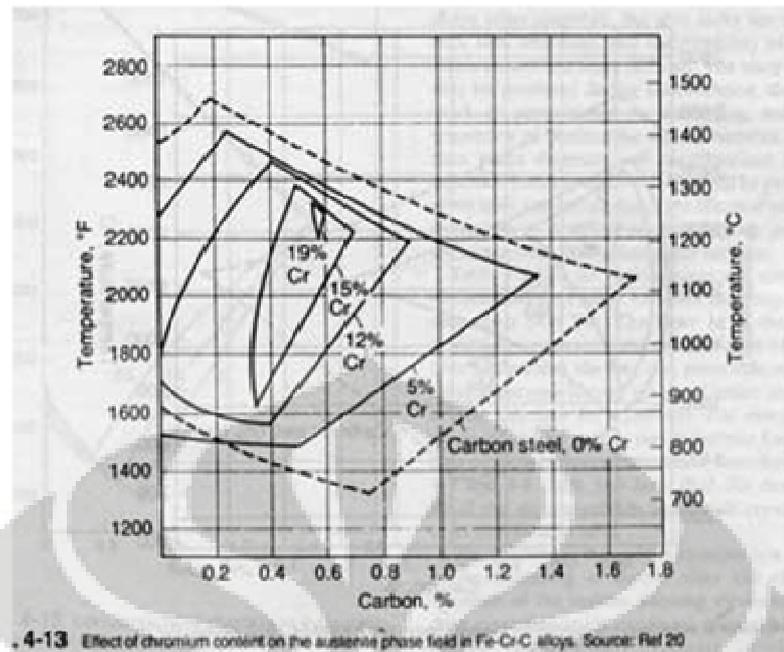
Gambar 2.2 Pengaruh Mn Sebagai Penstabil Fasa Austenit^[8]

3. **Tembaga (Cu)** → Dapat meningkatkan kekuatan pada baja karbon rendah maupun sedang dengan sifatnya sebagai penguat ferit. Ketahanan korosi atmosferik dapat ditingkatkan dengan penambahan Fosfor, namun ketika sejumlah kecil Tembaga ditambahkan dalam baja, ketahanan terhadap korosi menjadi lebih besar.
4. **Nikel (Ni)** → Dengan Cr menghasilkan baja paduan dengan kemampuan kekerasan tinggi, ketahanan impak dan fatik yang tinggi. Paduan ini juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi atmosferik. Selain itu juga sebagai penstabil fasa austenit.
5. **Niobium (Nb)** → Sebagai penstabil fasa ferit. Dapat bersifat sebagai penghalus butir dan meningkatkan *yield strength* melalui penguatan presipitat. Niobium dapat membentuk karbida dimana karbida Niobium memiliki kelarutan yang rendah pada baja dan ditemukan dalam bentuk endapan atau presipitat. Partikel yang tidak larut membatasi pertumbuhan austenit sehingga dapat dihasilkan butir ferit yang lebih halus.



Gambar 2.3 Pengaruh Paduan Terhadap Ukuran Butir Pada Baja^[8]

6. **Nitrogen (N)** → Sebagai penstabil fasa austenit. Ditambahkan pada baja HSLA yang mengandung Vanadium. Penambahan Nitrogen dibatasi hingga 0.005%. Paduan ini sangat penting karena dapat meningkatkan kekerasan melalui pengerasan presipitat. Presipitat Vanadium-Nitrida (VN) dapat memberikan efek penghalusan butir karena mempunyai kelarutan yang rendah dalam austenit^[8].
7. **Vanadium (V)** → Dapat mengontrol pertumbuhan butir (meningkatkan kekuatan dan ketangguhan). Dapat meningkatkan kemampukerasan baja. Dalam jumlah berlebih menurunkan *ductility* (pembentukan karbida berlebih). Sebagai penstabil fasa ferit.
8. **Kromium (Cr)** → Meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi. Meningkatkan kemampukerasan. Meningkatkan kekuatan pada temperatur tinggi. Meningkatkan ketahanan terhadap abrasi. Dapat membentuk karbida yang meningkatkan kekerasan. Sebagai penstabil fasa ferit yang memperluas daerah pembentukan fasa ferit pada diagram Fe-Fe₃C^[8].

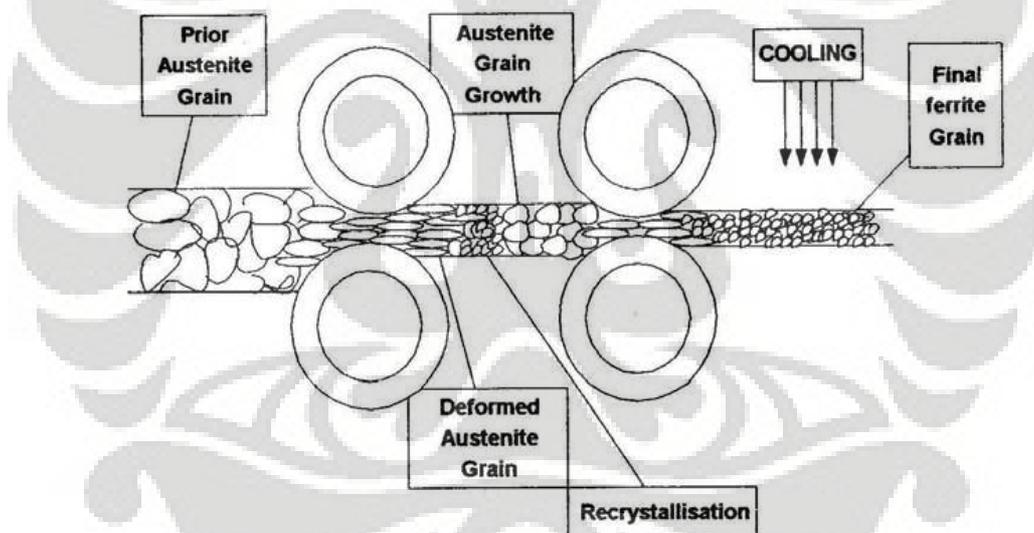


Gambar 2.4 Pengaruh Kadar Cr Sebagai Penstabil Fasa Ferit^[8]

9. **Molibdenum (Mo)** → Meningkatkan kemampukerasan. Menurunkan kerentanan terhadap *temper embrittlement* (450-550 °C). Dapat meningkatkan kekuatan tarik pada temperatur tinggi dan kekuatan *creep*.
10. **Titanium dan Silikon (Ti & Si)** → **Titanium** berfungsi sebagai deoksidiser dan pengontrol pertumbuhan butir. Penambahan Titanium meningkatkan *impact toughness* dengan penghalusan butir ferit. **Silikon** dalam jumlah besar, meningkatkan ketahanan baja terhadap efek *scaling*, tetapi mengalami kesulitan dalam pemrosesannya (*High-Silicon Steel*).
11. **Fosfor (P)** → Meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada baja karbon rendah, meningkatkan ketahanan korosi, serta meningkatkan *machinability* pada *free-cutting steels*.
12. **Sulfur (S)** → Umumnya merupakan pengotor pada baja. Penambahan pada baja dapat meningkatkan *machinability*.
13. **Aluminium (Al)** → Berfungsi sebagai deoksidiser, penstabil fasa ferit dan membantu dalam proses pengontrolan pertumbuhan butir.
14. **Zirkonium (Zr)** → Berfungsi sebagai penstabil fasa ferit dan dapat membentuk karbida keras yang dapat meningkatkan kekerasan.

2.4 Proses Canai Panas

Pengontrolan struktur mikro yang baik merupakan cara yang efektif untuk mendapatkan baja karbon dengan sifat mekanis yang baik. Struktur butir yang diinginkan pada struktur mikro akhir bergantung pada butir yang terbentuk selama proses pemanasan awal (*reheating*), contohnya pada baja HSLA untuk mendapatkan butir ferit yang halus, maka harus terbentuk butir austenit yang berukuran kecil saat proses pemanasan awal. Oleh karena itu diperlukan proses yang dikenal dengan proses canai panas. Proses canai panas merupakan suatu proses yang dapat mengontrol struktur mikro baja karbon selama proses pemanasan awal (*reheating*), deformasi panas (*hot deformed*), serta pendinginan (transformasi akhir)^[9]. Pada proses canai panas ini dapat terjadi perubahan struktur mikro dan butir yang diperoleh dengan pengontrolan temperatur serta besar deformasi^[9]. Perubahan struktur mikro dan butir pada proses canai panas ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Perubahan Struktur Mikro dan Butir Pada Proses Canai Panas^[10]

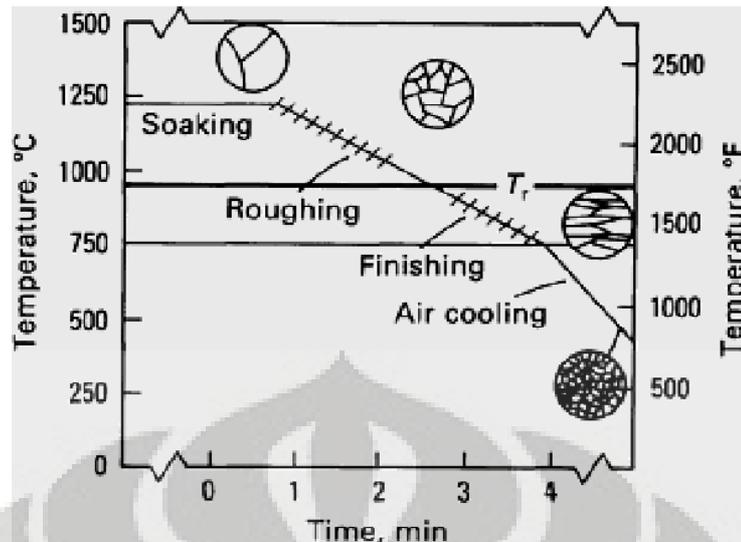
Perubahan morfologi struktur mikro dan butir pada proses canai panas tersebut dapat mempengaruhi beberapa sifat dasar dari material tersebut, salah satunya adalah perubahan terhadap ketahanan korosi. Perubahan struktur mikro ini mengakibatkan terjadinya perubahan kerapatan dislokasi dan perubahan distorsi dalam atom^[17]. Pemberian deformasi ini mengakibatkan meningkatnya besar tegangan yang dimiliki karena makin rapatnya dislokasi yang merupakan

cacat kristal^[18]. Sebagaimana diketahui, bahwa dengan terjadinya peningkatan tegangan akan berakibat pada sifat korosinya, dimana daerah pada suatu material yang memiliki tegangan yang lebih tinggi akan bersifat lebih anodik, sedangkan bagian yang tegangannya lebih rendah akan bersifat katodik^[18]. Hal ini menandakan terjadinya perbedaan potensial antara daerah yang bersifat katodik dan daerah anodik sehingga dapat menciptakan sel korosi galvanis.

Perbedaan potensial juga dapat terjadi akibat adanya perubahan struktur mikro itu sendiri tanpa melihat adanya perbedaan tegangan antar daerah katodik dan anodik. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan energi bebas antara struktur mikro terutama pada daerah butirnya dengan daerah batas butirnya. Energi bebas pada batas butir memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada daerah butir, sehingga apabila batas butir meningkat akibat perlakuan deformasi, maka akan semakin tinggi pula energi bebas dan potensial pun akan menjadi negatif, sehingga laju korosi material tersebut akan meningkat^[19]. Berlaku pula untuk sebaliknya yaitu apabila batas butir berkurang maka energi bebas pun akan menurun dan potensial menjadi positif sehingga laju korosinya akan menurun^[19].

Adapun tahapan proses canai panas^[16] meliputi :

1. Pemanasan sebelum proses pengerolan (*reheating*) pada temperatur austenisasi
2. Pengendalian proses pengerolan austenit di dalam zona rekristalisasi, $T > T_{nr}$ (temperatur non-rekristalisasi);
3. Pengendalian proses pengerolan austenit di dalam zona non-rekristalisasi, $T < T_{nr}$ (temperatur non-rekristalisasi);
4. Pengendalian proses pendinginan setelah pengerolan. Dilakukan dengan variasi media pendinginan dan waktu tahan sebelum mencapai media pendinginan.



Gambar 2.6. Siklus Skematik Tahapan Proses Canai Panas^[16]

2.4.1 Tahapan Proses Canai Panas

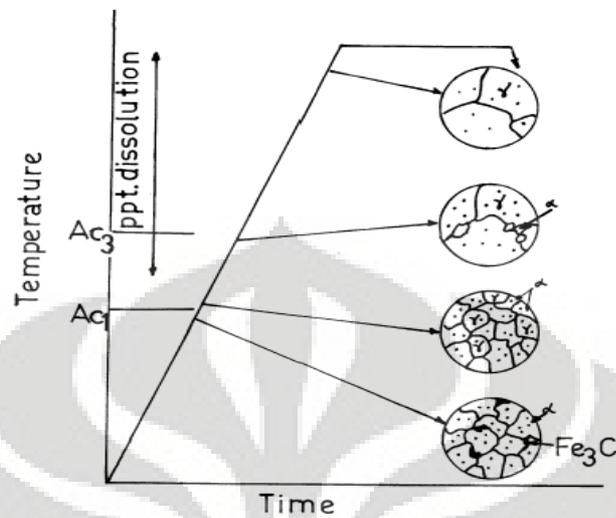
2.4.1.1 Proses Pemanasan Awal (*Reheating*)

Pada proses pemanasan awal ini, sampel baja dipanaskan pada temperatur austenisasi (727 °C-1400 °C) kemudian ditahan selama beberapa waktu. Besar temperatur pemanasan dan waktu tahan harus disesuaikan dan dikontrol sedemikian rupa agar mencapai kondisi yang diharapkan. Proses ini sangat penting dalam menentukan sifat mekanis akhir dari baja HSLA. Hal ini dikarenakan pada proses *reheating* dapat terjadi perubahan struktur mikro dan butir dari fasa austenit melalui pengontrolan temperatur dan pada akhirnya akan berpengaruh terhadap struktur mikro akhir dari baja HSLA. Selama proses pemanasan awal ini terjadi hal-hal sebagai berikut^[20] :

1. Transformasi fasa awal ferit perlit menjadi fasa austenit (Pembentukan Austenit)

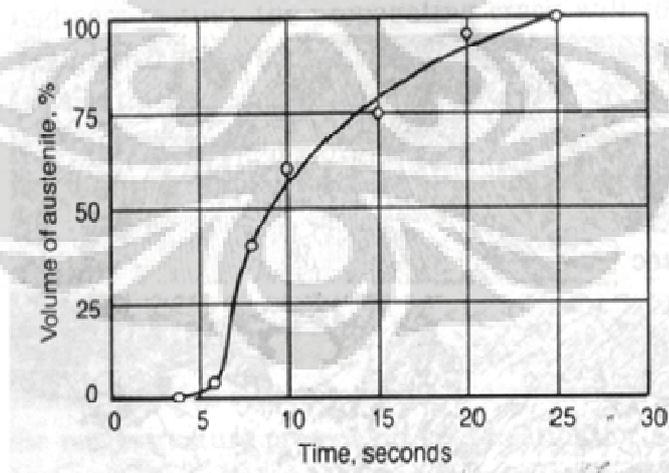
→ Terjadi transformasi fasa dari ferit perlit menjadi austenit dikarenakan proses difusi karbon yang dipengaruhi oleh temperatur pemanasan. Pembentukan austenit membutuhkan waktu untuk *nucleus* pertama terbentuk. Nukleus tersebut kemudian berkembang dengan kecepatan lebih besar sejalan dengan terbentuknya nukleus yang lebih banyak lagi karena pengaruh temperatur dan waktu tahan. Dengan semakin meningkatnya

temperatur pemanasan maka akan mempercepat difusi atom dan pembentukan fasa austenit^[10].



Gambar 2.7. Pengaruh Temperatur Terhadap Perubahan Struktur Mikro Baja^[20]

→ Waktu tahan yang diberikan bertujuan untuk memberikan waktu agar proses transformasi fasa ferit perlit menjadi austenit dapat berlangsung optimal secara keseluruhan. Dengan semakin lamanya waktu tahan maka akan semakin mudah memperoleh fasa austenit sampai terjadi kondisi *full austenite*.



Gambar 2.8. Perbandingan Waktu Tahan Dengan % Austenit Yang Terbentuk^[10]

→ Beberapa elemen yang terdapat pada baja dapat menstabilkan austenit, seperti karbon, nitrogen, dan mangan. Namun elemen paduan lain seperti Nb, Mo, dan Ti dapat juga sebagai pembentuk karbida yang kuat sehingga akan menghambat laju pembentukan austenit.

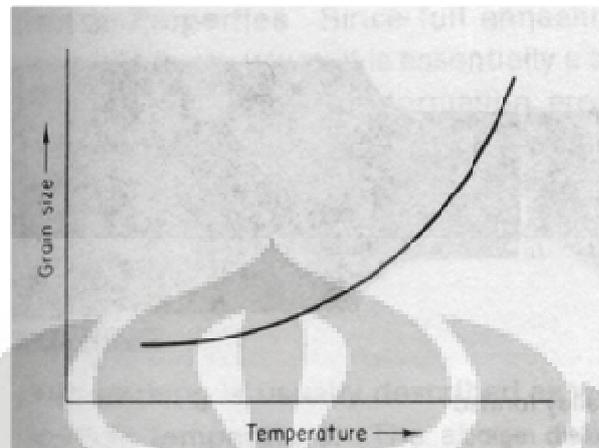
2. Terjadi kelarutan unsur paduan endapan dalam matriks austenit

→ Pada proses pemanasan juga terjadi kelarutan unsur paduan dan senyawa lain seperti karbida, nitrida dan karbonitrida yang ada pada baja dalam fasa austenit. Kelarutan dari unsur paduan ini berpengaruh terhadap perilaku pertumbuhan ukuran butir austenit. Presipitat yang tidak larut dapat menghambat pertumbuhan butir dengan menghambat pergerakan batas butir austenit^[10]. Setiap paduan dan setiap senyawa memiliki temperatur kelarutan yang berbeda. Kelarutan dari presipitat seperti AlN, VC, VN, Nb(CN), dan TiN, dipengaruhi oleh besarnya temperatur.

3. Terjadi pertumbuhan butir austenit

→ Pada proses pemanasan awal juga terjadi pertumbuhan butir austenit seiring dengan peningkatan temperatur pemanasannya. Pertumbuhan butir ini terjadi karena adanya pembesaran butir tertentu dan terdifusinya butir yang lebih kecil^[20]. Batas butir memiliki atom-atom dengan energi bebas yang lebih tinggi dari pada atom-atom yang terdapat dalam butir. Agar tercapai kondisi yang stabil, maka atom-atom pada batas butir mengurangi energi bebasnya yang tinggi dengan cara mengurangi luas permukaan batas butir, sehingga terjadi migrasi batas butir^[20]. Migrasi batas butir pada dasarnya adalah difusi atom-atom pada batas butir. Terjadinya difusi atom-atom pada batas butir ini memerlukan waktu untuk mencapai kondisi optimum, oleh karena itu perlu adanya waktu tahanan beberapa saat setelah mencapai temperatur austenisasi agar memberi kesempatan yang lebih besar untuk atom-atom di batas butir bergabung. Migrasi batas butir akan mengurangi energi bebas batas butir serta meningkatkan ukuran butir^[16]. Semakin tinggi temperatur, maka ukuran butir akan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan energi getaran *thermal* yang

mempercepat difusi atom melalui batas butir dari butir yang kecil menuju butir yang lebih besar^[16].



Gambar 2.9. Grafik Hubungan Peningkatan Temperatur Dengan Ukuran Butir^[10]

- ➔ Pertumbuhan butir ada 2 jenis, yaitu pertumbuhan butir yang kontinyu dan yang tidak kontinyu. Pertumbuhan butir kontinyu memberikan efek ukuran butir yang seragam, namun pada pertumbuhan butir yang tidak kontinyu terjadi pertumbuhan butir istimewa pada butir tertentu sehingga ada butiran besar pada matriks butiran halus^[5]. Pertumbuhan butir pada baja HSLA termasuk pertumbuhan butir yang tidak kontinyu. Pertumbuhan butir sangat lambat pada temperatur rendah. Pada temperatur abnormal pertumbuhan butir meningkat dengan sangat cepat akibat melarutnya presipitat menjadi larutan padat. Kemudian pertumbuhan butir austenit akan meningkat lebih cepat pada temperatur tinggi.
- ➔ Ukurannya bergantung dari kecepatan pertumbuhan serta jumlah inti (*nuclei*) yang ada pada volume dan waktu tertentu. Semakin banyak fasa karbida yang tersebar pada struktur awal, maka semakin kecil ukuran butir austenitnya, karena karbida (partikel fasa kedua) tersebut menghambat batas butir.

2.4.1.2 Pengerolan Terkendali (*Controlled Rolling*)

Tahapan selanjutnya dalam proses canai panas adalah tahap pengerolan terkendali. Proses pengerolan sendiri didefinisikan sebagai reduksi ukuran

ketebalan atau area dari suatu logam dalam bentuk dan ukuran tertentu dengan cara memberikan pembebanan tekan yang bersumber dari sebuah rol yang berputar^[9]. Pengerolan terkendali dilakukan pada temperatur yang terkontrol. Pengerolan terkendali ini dilakukan setelah proses pemanasan awal pada temperatur austenisasi mencapai akhir dari siklusnya dan diperkirakan telah mencapai kondisi *fully austenite*. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanis yang tinggi pada baja untuk berbagai aplikasi teknik. Pengerolan yang terkontrol menghasilkan kombinasi yang baik antara peningkatan kekuatan dan ketangguhan^[5]. Pengerolan terkendali dilakukan pada temperatur dan besar deformasi yang telah disesuaikan dengan harapan akan diperoleh struktur mikro dengan karakteristik butir yang lebih halus dan seragam. Pengerolan terkendali juga dapat mengatur proses transformasi fasa dari austenit menjadi ferit yang akan dihasilkan pada tahap pendinginan dan rekristalisasi butir yang akan terjadi.

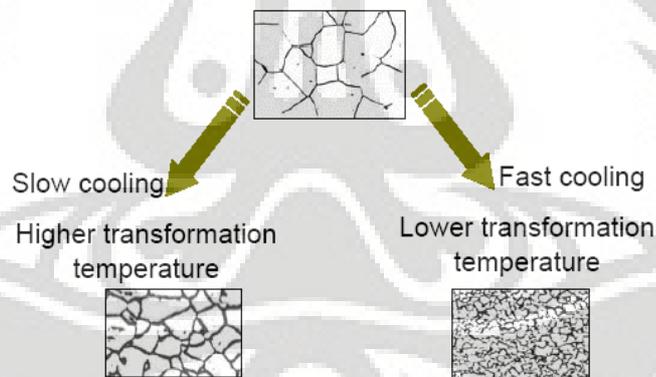
Mekanisme pengerolan terkendali diawali dengan dikeluarkannya sampel yang telah diberikan pemanasan awal (*reheating*) dari dapur pemanas kemudian pada temperatur yang telah ditentukan, sampel dimasukkan ke dalam mesin roll yang sudah diatur deformasinya sampai akhirnya keluar dalam keadaan terdeformasi. Proses pengerolan terkendali kemudian diakhiri dengan pendinginan cepat agar diperoleh sifat mekanis yang baik. Perlu diperhatikan penggunaan temperatur deformasi dan besar deformasi yang sesuai agar diperoleh kondisi rekristalisasi butir yang sempurna dan jangan sampai terjadi pertumbuhan butir abnormal (*grain growth*) yang akan menghasilkan butir-butir dengan ukuran lebih kasar sehingga dapat menurunkan sifat kekuatan^[5].

2.4.1.3 Pendinginan Terkendali (*Controlled Cooling*)

Proses canai panas di akhiri dengan tahap pendinginan yang dilakukan dengan menurunkan temperatur sampel hasil proses pemanasan awal dan deformasi panas (*hot rolling*) sampai atau dibawah temperatur kamar. Proses pendinginan ini juga sangat menentukan dalam pembentukan fasa akhir ferit dengan butir halus. Setelah mengalami deformasi panas pada mesin *rolling*, baja kemudian mengalami perubahan butir menjadi pipih yang memiliki tingkat energi dan tegangan yang tinggi dibatas butir. Selanjutnya akan terjadi rekristalisasi butir

yang ditandai dengan tumbuhnya butir-butir ferit berukuran kecil pada batas butir austenit^[10]. Besar butir hasil rekristalisasi ini dipengaruhi oleh besar butir hasil deformasi tahap sebelumnya. Apabila proses rekristalisasi butir telah sempurna maka perlu proses pendinginan cepat agar dapat mengunci pertumbuhan butir ferit sehingga pertumbuhan butir ferit yang abnormal dapat dihindari. Pengontrolan terhadap laju pendinginan setelah *rolling* (deformasi panas) memungkinkan dalam mempengaruhi sifat mekanis yang dihasilkan dikarenakan apabila laju pendinginan tidak dikontrol sedemikian rupa maka kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir abnormal (*abnormal grain growth*) akan semakin besar sehingga akan dihasilkan butir dengan ukuran yang lebih kasar dan tidak seragam yang berdampak pada menurunnya kekuatan baja^[9]. Selain itu transformasi dari austenit menjadi ferit lebih banyak terjadi pada temperatur yang lebih rendah selama proses pendinginan. Rendahnya temperatur transformasi akan menghasilkan produk butir yang lebih halus. Ilustrasi tersebut dapat dijelaskan pada gambar 2.10.

Controlled cooling and grain size



Gambar 2.10. Pengaruh Laju dan Temperatur Pendinginan Terhadap Ukuran Butir^[16]

2.5 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi merupakan pengujian struktur mikro dari suatu material. Metalografi atau mikroskopi bertujuan untuk mempelajari karakteristik struktur logam atau paduan. Hal tersebut memungkinkan dalam menentukan ukuran butir, bentuk, dan distribusi berbagai fasa atau inklusi yang dapat

berpengaruh terhadap sifat mekanis logam. Struktur mikro dapat menggambarkan perlakuan panas atau perlakuan mekanis logam, dan memungkinkan dalam memprediksi sifat yang diharapkan pada kondisi tertentu. Pengujian metalografi terdiri dari beberapa tahap antara lain preparasi sampel yang terdiri dari *mounting*, *grinding*, *polishing*, dan *etching* yang diakhiri dengan pengamatan struktur mikro pada mikroskop^[11]. *Mounting* merupakan tahap awal dalam pengujian metalografi yang bertujuan untuk memposisikan material yang akan diuji pada sebuah media dengan tujuan agar lebih mudah dijamah sehingga membantu dalam tahapan pengujian selanjutnya. *Grinding* atau pengamplasan merupakan tahapan selanjutnya setelah material uji di *mounting*, pada tahap ini permukaan material yang akan diuji diampelas dengan kertas amplas dengan ukuran kekasaran yang berbeda-beda secara bertahap sampai rata dan halus. Kemudian material dipoles (*polishing*) yang bertujuan untuk membuat permukaan dari material uji mengkilap dengan menggunakan kain beludru dan alumina. Selanjutnya tahap yang menentukan dalam pengujian struktur mikro suatu material adalah tahap *etching* (etsa) dimana material uji yang telah diampelas dan dipoles akan ditetesi atau dicelupkan pada larutan etsa yang spesifik untuk menampilkan struktur mikro dari fasa yang diinginkan pada mikroskop. Pada berbagai material, struktur mikro dapat ditampakan dengan aplikasi penggunaan etsa yang sesuai. Berikut merupakan penjelasan mengenai teori dan proses etsa.

2.5.1 Teori Etsa

Prinsip proses etsa adalah proses korosi terkontrol oleh elektrolit antara daerah permukaan dengan potensial yang berbeda untuk memunculkan struktur mikro bahan kristalin berdasarkan reaksi kimia secara diferensial^[12]. Teknik etsa secara umum dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain melalui etsa kimia yaitu pencelupan permukaan material uji pada larutan etsa, penetesan larutan etsa pada permukaan material uji atau dengan *electro-etching*. Teknik etsa yang paling umum digunakan untuk material logam seperti baja adalah etsa kimia yang menggunakan cairan kimia tertentu sebagai pereaksi, sedangkan *electro-etching* merupakan teknik etsa khusus memanfaatkan aliran listrik yang biasanya dipakai untuk material baja khusus seperti baja tahan karat^[12]. Secara umum larutan

etsa/larutan elektrolit yang digunakan dalam proses etsa terdiri dari 3 komponen utama antara lain *corrosive agent* seperti asam HCl, asam sulfat, fosfat atau asetat, kemudian *modifier* yang dapat mereduksi ion seperti *alcohol*, *glycerin* dan *oxidizer* sebagai pengoksidasi seperti *hydrogen peroxide*, Fe^{3+} , Cu^{2+} [11]. Untuk memperoleh struktur mikro dari fasa tertentu maka diperlukan larutan etsa yang tertentu pula. Pertimbangan pemilihan zat kimia untuk larutan etsa, harus dipertimbangkan faktor untuk tidak memperbesar *cavity*, menimbulkan pit, menghasilkan segregasi dan lain-lain. Etsa kimia menghasilkan kontras metalografi yang disebabkan oleh perbedaan orientasi kristal. Karena adanya perbedaan orientasi tersebut, mengakibatkan adanya perbedaan kecepatan reaksi pada proses etsa.

Pada logam murni dan paduan fasa tunggal, potensial dihasilkan antara perbedaan orientasi butir, antara batas butir dan butir bagian dalam, antara fasa pengotor dengan matriks, atau pada gradien konsentrasi dalam paduan-paduan fasa tunggal [11]. Pada paduan dengan dua fasa atau lebih, perbedaan potensial dihasilkan antar fasa dengan komposisi yang berbeda dan digunakan untuk menghasilkan kelarutan yang terkontrol. Pada paduan dua fasa, potensial dari salah satu fasa akan lebih besar dari fasa lainnya; akan ada yang bersifat anodik dan ada pula yang bersifat katodik [12]. Selama proses etsa akan terjadi peningkatan perbedaan potensial antara fasa anodik dan katodik, fasa anodik yang lebih elektropositif diserang terlebih dahulu sementara fasa katodik yang lebih elektronegatif tidak terlalu diserang. Fasa katodik yang tidak teretsa akan tampak lebih terang sedangkan fasa anodik akan tampak lebih kasar pada permukaannya. Karena perbedaan potensial antara dua fasa mengalami peningkatan, maka waktu etsa harus dikontrol dengan seksama untuk mencegah terjadinya *over-etching*. *Over-etching* harus dihindari dikarenakan jika etsa dilakukan melebihi waktu yang dibutuhkan, fasa yang masih bersifat anodik dapat mengalami perubahan potensial dengan pendeposisian produk reaksi atau pembentukan lapisan protektif anodik lainnya [12]&[14]. Jika hal tersebut terjadi, fasa yang mulanya katodik dapat larut sehingga menghasilkan penampakan yang buruk pada struktur.

Dalam etsa kimia terdapat komponen-komponen utama penyusun larutan etsa antara lain *corrosive agent* seperti HCl, asam sulfat, fosfat atau asetat,

kemudian *modifier* yang dapat mereduksi ion seperti *alcohol*, *glycerin* dan *oxidizer* seperti *hydrogen peroxide*, Fe^{3+} , dan Cu^{2+} . Secara umum hampir semua larutan etsa kurang lebih tersusun dari komponen-komponen tersebut diatas. Fungsi masing-masing komponen dalam reagen etsa ini tidak selalu sama dikarenakan ketika larutan etsa digunakan pada logam yang berbeda, komponen dari larutan etsa dapat menghasilkan perlakuan yang berbeda terhadap logam-logam tersebut.

Selain komponen-komponen utama penyusun larutan etsa tersebut, ada pula komponen lain yang sengaja ditambahkan dalam larutan etsa untuk memaksimalkan kinerja dari larutan etsa yaitu *wetting agent*^[13]. Penambahan *wetting agent* dapat menurunkan energi antarmuka (*interfacial energy*) antara permukaan sampel dengan larutan, yang kemudian akan mempengaruhi reaksi dari proses etsa. Pengaruh semakin banyaknya konsentrasi *wetting agent* yang diberikan terhadap respon dari larutan etsa menurut hasil penelitian Nelson^[15] antara lain :

- a. Peningkatan ketajaman penampakan hingga mencapai ketajaman maksimum. Peningkatan konsentrasi lebih lanjut tidak menghasilkan pengaruh yang signifikan.
- b. Peningkatan ketajaman sedikit demi sedikit hingga mencapai kondisi maksimum. Peningkatan konsentrasi lebih lanjut dapat merusak penampakan.
- c. Semakin meningkatnya konsentrasi, pengaruh yang dihasilkan hanya sedikit atau tidak ada pengaruhnya
- d. Apabila konsentrasinya berlebihan terjadi perusakan pada berbagai konsentrasi atau perusakan pada peningkatan konsentrasi.

Selain dapat meningkatkan ketajaman penampakan, penambahan *wetting agent* selama masih dalam batas konsentrasi normal dapat pula mempercepat reaksi pengkorosian. Namun pada beberapa penambahan *wetting agent* dalam konsentrasi normal untuk larutan etsa tertentu tidak dapat memberikan pengaruh seperti yang sudah dijelaskan diatas melainkan malah menghasilkan penampakan yang buruk seperti pada larutan etsa *aqueous picric acid*. Oleh karena itu perlu adanya *trial and error* dalam proses pencampuran komposisi dalam larutan etsa.

2.5.2 Teknik Etsa

2.5.2.1 Preparasi Permukaan Sampel

Sebelum melakukan proses etsa, sampel baja yang hendak diuji terlebih dahulu dipreparasi dengan melalui beberapa tahap antara lain *mounting*, *grinding*, *polishing*. *Mounting* merupakan tahap awal dalam pengujian metalografi yang bertujuan untuk memposisikan material yang akan diuji pada sebuah media dengan tujuan agar lebih mudah dijamah sehingga membantu dalam tahapan pengujian selanjutnya. *Grinding* atau pengamplasan merupakan tahapan selanjutnya setelah material uji di *mounting*, pada tahap ini permukaan material yang akan diuji diampas dengan kertas amplas dengan ukuran kekasaran yang berbeda-beda secara bertahap sampai rata dan halus. Kemudian material dipoles (*polishing*) yang bertujuan untuk membuat permukaan dari material uji mengkilap dengan menggunakan kain beludru dan alumina. Setelah itu barulah proses etsa dilakukan segera setelah proses pemolesan selesai. Hal ini berkaitan dengan kondisi sampel selama selang waktu setelah sampel selesai dipoles sampai sampel dietsa. Selama selang waktu tersebut sampel akan ter-ekspose di udara terlalu lama sehingga akan membentuk lapisan pasif yang akan mengganggu proses etsa^[13]. Apabila lapisan etsa telah banyak terbentuk maka permukaan sampel perlu dilakukan poles ulang. Seberapa lama proses poles ulang yang harus dilakukan tergantung dari kondisi lapisan pasif yang terbentuk dipermukaan sampel. Apabila sudah mencakup hampir seluruh permukaan sampel maka perlu proses poles ulang secara menyeluruh. Terkadang, pencucian spesimen dengan air panas dapat menghilangkan lapisan pasif tersebut, namun perlakuan tersebut tidak direkomendasikan karena mengakibatkan serangan permukaan menjadi tidak seragam dan reaksi etsa dapat terlokalisasi pada bagian tertentu di permukaan.

2.5.2.2 Pencampuran Larutan Etsa

Umumnya larutan etsa menggunakan campuran asam dalam alkohol atau air, atau padatan kristal zat kimia yang dilarutkan dalam alkohol atau air. Hal tersebut direkomendasikan karena umumnya para ilmuwan selalu mencampur larutan tersebut dengan cara yang sama setiap kali mereka mempersiapkan larutan etsa. Hal ini akan memberikan kekonsistensian terhadap respon etsa dan

waktu yang tepat^[14]. Umumnya dianjurkan untuk selalu menambahkan asam atau padatan material kedalam alkohol atau air saat pengadukan. Hal ini dikarenakan asam berfungsi sebagai *corrosive agent* yang mendukung reaksi korosi terkontrol dalam proses etsa. Apabila menggunakan padatan asam maka sebaiknya terlebih dahulu dilakukan penimbangan berat padatan asam agar sesuai dengan metode yang diinginkan. Apabila padatan asam yang ditambahkan dalam kondisi pekat (>10 gr) maka sebaiknya padatan asam dilarutkan terlebih dahulu dalam alkohol atau air kemudian larutan yang diperoleh disaring agar bebas dari partikel pengotor yang sulit dipisahkan.

Selain asam, alkohol dan air, komponen penyusun larutan etsa lain yang dapat digunakan adalah *wetting agent* seperti Teepol. Kemudian dilakukan pengadukan agar komponen dapat tercampur dengan sempurna. Pada beberapa penelitian metalografi, pemanasan larutan etsa yang baru dicampur pada temperatur sekitar 80-90 °C yang diikuti dengan pengadukan akan mengoptimalkan proses pencampuran larutan etsa. Pengadukan dapat dilakukan secara manual atau dengan menggunakan alat pengaduk seperti *magnetic stirrer*.

2.5.2.3 Prosedur Etsa

Sebelum proses etsa dilakukan perlu diperhatikan tentang pemilihan metode etsa yang akan dipakai. Metode etsa yang dimaksud berkaitan dengan jenis larutan etsa yang hendak digunakan, temperatur pengetsaan dan waktu pengetsaan. Metode etsa yang akan digunakan berkaitan dengan struktur mikro dan penampakan fasa yang ingin diperoleh. Cara pengetsaan juga perlu diperhatikan apakah dengan cara meneteskan larutan etsa pada permukaan sampel atau dengan cara mencelupkan permukaan sampel pada wadah yang telah berisi larutan sampel. Beberapa jenis larutan etsa harus disiapkan sesaat sebelum proses etsa dilakukan (larutan dalam keadaan fresh) karena larutan tersebut dapat kehilangan kemampuannya ketika dilakukan penyimpanan selama beberapa waktu^[14]. Proses pengetsaan dapat dilakukan pada temperatur kamar maupun di atasnya. Hal ini berkaitan dengan kinerja larutan etsa yang disesuaikan dengan waktu pengetsaan agar tidak terjadi reaksi etsa yang berlebihan atau *over-etching* yang dapat merusak penampakan struktur mikro yang diinginkan. Setelah

pengetsaan, sampel dicuci dengan air yang mengalir atau dengan alkohol untuk menghilangkan semua residu yang dihasilkan pada proses etsa kemudian dikeringkan untuk dilakukan pengamatan dibawah mikroskop.

2.5.2.4 Waktu Etsa

Sebelum melakukan proses etsa terlebih dahulu ditentukan waktu etsa yang ingin dipakai. Waktu etsa berpengaruh terhadap kecepatan reaksi dan kejelasan penampakan struktur mikro yang akan dihasilkan. Perlu diperhatikan penggunaan waktu etsa yang tepat, tidak terlalu cepat maupun terlalu lama. Apabila waktu etsa terlalu cepat dikhawatirkan reaksi korosi terkontrol pada struktur mikro yang diharapkan belum berlangsung dengan sempurna atau belum menyeluruh sehingga penampakan struktur mikronya menjadi kurang jelas atau hanya jelas di beberapa daerah saja^[12]. Hal ini juga berpengaruh terhadap pengamatan dibawah mikroskop. Apabila ingin diamati struktur mikro dengan perbesaran yang rendah maka diperlukan waktu etsa yang lebih lama karena kemungkinan besar dengan waktu etsa yang terlalu cepat, penampakan struktur mikronya belum jelas terlihat^[17]. Apabila waktu pengetsaan terlalu lama kemungkinan terjadi *over-etching* sangat besar dimana reaksi korosi terjadi secara berlebihan yang dapat berakibat pada rusaknya struktur mikro pada permukaan sampel yang di etsa. Hal ini berakibat pada buruknya penampakan pada saat pengamatan dibawah mikroskop. Sangat disarankan untuk memulai dengan penggunaan waktu etsa yang lebih singkat karena spesimen dapat di celup kembali untuk lebih menajamkan reliefnya^[17]. Waktu yang optimal dapat menghasilkan penampakan yang baik pada perbesaran tinggi maupun rendah.

2.5.2.5 Etsa Untuk Menampakkan Batas Butir Austenit

Pengamatan batas butir austenit terutama pada baja HSLA (*high strength low alloy*) sangat penting untuk meneliti perilaku besar butir dan transformasi fasa austenit - ferit yang akan diperoleh mengingat butir ferit yang halus diharapkan dapat terbentuk setelah proses pendinginan yang dapat menghasilkan sifat mekanis yang baik. Butir ferit yang halus ini ditentukan oleh besar butir austenit yang dihasilkan pada tahap pemanasan. Oleh karena itu pengamatan batas butir

austenit sangat penting dilakukan untuk mengontrol kualitas baja HSLA. Austenit terbentuk selama proses pemanasan pada temperatur diatas 727 °C. Fasa austenit merupakan fasa *metastable* yang hanya dapat stabil pada temperatur tinggi^[5]. Ciri-ciri penampakan batas butir austenit adalah berbentuk poligon (segi banyak) yang mengelilingi fasa matriks ditengah^[11].

Banyak prosedur yang dapat digunakan untuk menampakkan batas butir austenit apabila sampel dikarburisasi atau dioksidasi^[12]. Namun dalam beberapa hal, seperti pada analisa kerusakan, sampel tidak dapat diperlakukan dengan proses lain dan struktur butir austenit harus ditampakkan dengan kondisi saat pertama diterima, yaitu hanya dengan proses etsa, atau dengan bantuan perlakuan temper untuk meningkatkan respon terhadap etsa tanpa mempengaruhi ukuran butirnya.

Berbagai larutan etsa telah digunakan untuk menampakkan batas butir austenit. Namun, tidak ada larutan etsa tunggal yang dapat menampakkan batas butir austenit untuk semua jenis sampel. Dalam prakteknya, *trial and error* dilakukan pada berbagai penelitian untuk mendapatkan batas butir austenit dengan baik sehingga memudahkan dalam pengukuran besar butir. Batas butir austenit pada sampel *full martensite* dapat ditampakkan dengan larutan etsa sederhana seperti nital^[11]. Namun etsa tersebut hanya dapat digunakan pada beberapa jenis baja, seperti pada baja perkakas yang memiliki paduan tinggi pada kondisi *as-quenched* atau kondisi temper.

Beberapa zat etsa yang paling banyak digunakan untuk menampakkan batas butir austenit adalah larutan yang dikembangkan oleh Vilella^[11] yang terdiri dari 1 gram asam picric, 5 mL HCl, dan 100 ml etanol. Dalam menghasilkan kontras butir, beberapa siklus poles-etsa dapat diperlukan. Kemudian Miller dan Day^[11] menggunakan 5% larutan aqueous untuk baja karbon rendah dengan struktur martensitik. Untuk menampakkan batas butir austenit pada baja karbon rendah yang mengalami hardening digunakan Marshall's Reagent^[11]. Bechet dan Beujard^[11] menggunakan larutan *saturated aqueous picric acid* yang mengandung 0,5% teepol sebagai wetting agent. Larutan tersebut sangat efektif untuk menampakkan batas butir austenit.

Aqueous picric acid tanpa *wetting agent* merupakan larutan etsa yang sangat baik untuk baja. Penambahan sodium tridecylbenzene sulfonate sangat baik dalam menghasilkan batas butir, sementara *wetting agent* lainnya kurang efektif digunakan untuk menampakkan batas butir austenit prior. Penambahan sejumlah kecil HCl telah dikembangkan untuk etsa batas butir. Dengan adanya HCl dapat meningkatkan respon terhadap larutan etsa.

Beberapa larutan etsa yang telah digunakan oleh para peneliti dalam menampakkan batas butir austenit prior dapat dilihat pada tabel 2.2.

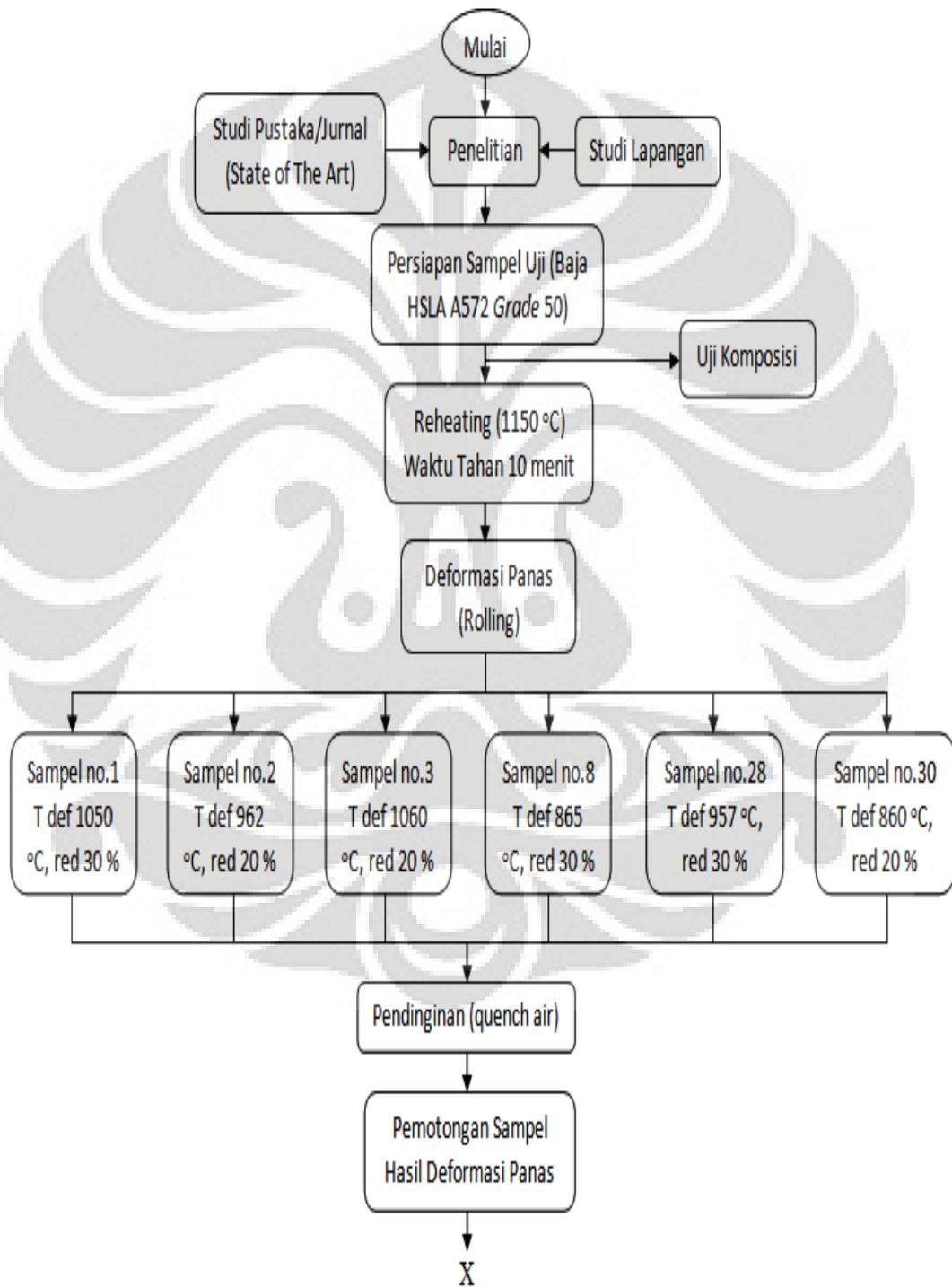
Tabel 2.1 Berbagai Jenis Larutan Etsa Untuk Menampakkan Batas Butir Austenit^{[12]&[17]}

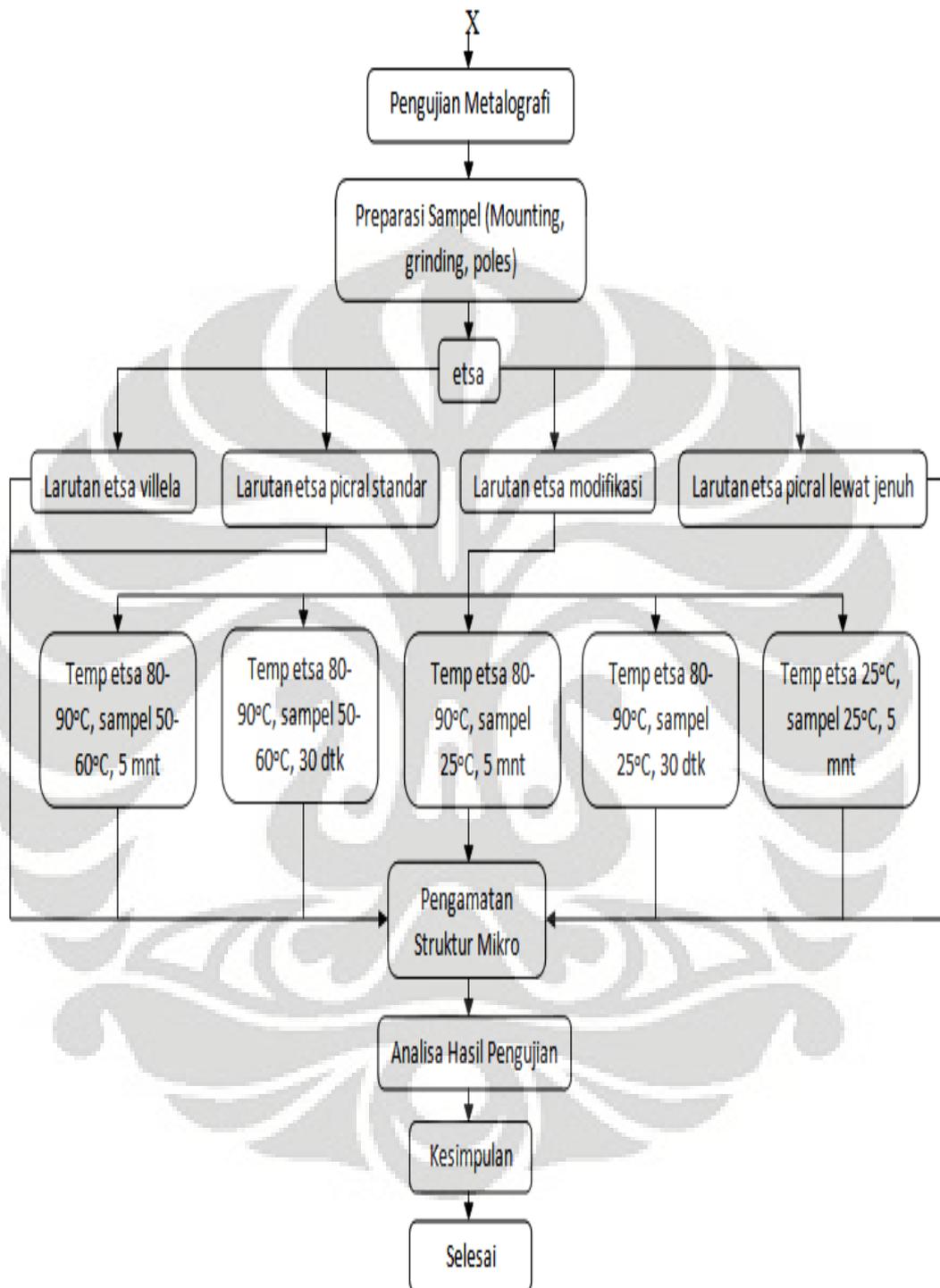
Jenis etsa	Komposisi	Penggunaan
Villela's reagent	1 gr asam picric + 5 mL HCl + 100 mL alkohol	Menunjukkan batas butir austenit pada kondisi <i>martensitic quench and tempered steel</i>
Saturated aqueous picric acid	10 gr asam picric + 100 mL air + 1 gr <i>sodium tridecylbenzene sulfonate</i>	Untuk menampakkan batas butir austenit pada baja dengan struktur mikro <i>fully martensitic</i> . Cocok untuk menampilkan fenomena segregasi fosfor di batas butir austenit.
Marshall's reagent	Part (1) : 5 mL asam sulfur + 8 gr asam oksalat + 100 mL air Part (2) : 30 % larutan H ₂ O ₂	Batas butir austenit pada baja karbon rendah kondisi <i>as-quench</i> dapat ditampakkan dengan etsa ini. Selain itu juga untuk baja karbon rendah yang mengalami deformasi.
Miller & Day	5 gr FeCl ₃ + 100 mL air	Etsa untuk baja karbon rendah. Bekerja baik pada kondisi martensit temper
Winstead's reagent	Part (1) : 2 gr asam picric + 10 mL alkohol Part (2) : 200 mL air + 5 mL <i>sodium tridecylbenzenesulfonate</i>	Dipakai untuk menampakkan batas butir austenit pada baja paduan rendah kondisi <i>as-quench</i> dan temper

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun alur dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

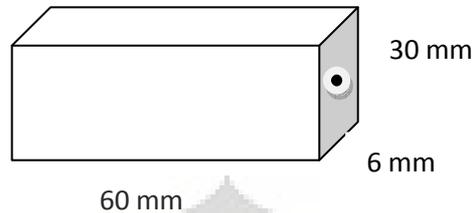




Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan Sampel Penelitian

Bahan sampel untuk penelitian adalah Baja HSLA A572 Grade 50 berbentuk plat dengan dimensi P x L x T = 60 mm x 30 mm x 6 mm



Gambar 3.2 Skematis Bentuk Sampel Baja HSLA Untuk Penelitian

Komposisi Baja HSLA A572 Grade 50 yang digunakan berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Komposisi Baja HSLA A572 Grade 50

C %	Mn %	P %	S %	Si %	Al %	Cu %	Nb %	Fe %
0.0085	1.45	<0.003	<0.003	0.222	0.049	0.045	0.028	98.141

Bahan-bahan untuk pengujian metalografi dan foto mikro antara lain serbuk alumina, 40 gr asam picric, 1 botol Alkohol 90%, 1 botol HCl teknis, 1 botol aquades dan 1 botol Teepol

Tabel 3.2 Komposisi Baja HSLA A572 Grade 50 berdasarkan ASTM A572

Grade	Carbon, max, %	Manganese, ^B max, %	Phosphorus, max, %	Sulfur, max, %	Silicon	
					Plates to 1½ in. [40 mm] Thick, Shapes with Flange or Leg Thickness to 3 in. [75 mm] inclusive, Sheet Piling, Bars, Zees, and Rolled Tees ^C	Plates Over 1½ in. [40 mm] Thick and Shapes with Flange Thickness Over 3 in. [75 mm]
					max, %	range, %
42 [290]	0.21	1.35 ^D	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
50 [345]	0.23	1.35 ^D	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
55 [380]	0.25	1.35 ^D	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
60 [415]	0.26	1.35 ^D	0.04	0.05	0.40	^G
65 [450]	0.23	1.65	0.04	0.05	0.40	^G
65 [450]	0.26	1.35	0.04	0.05	0.40	^G

Universitas Indonesia

3.3 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan penelitian yang digunakan, antara lain :

- 1) Mesin potong baja, gergaji besi, mesin bor, tang, palu
- 2) *Acquisition data : Thermocouple wire, Software and hardware*



(a)



(b)

Gambar 3.3 *Hardware dan Software Untuk Proses Canai Panas.* (a) Komputer; (b) *Software Canai Panas*

- 3) Mesin roll/deformasi dua tingkat Ono Roll Japan kapasitas 20 tonF dan Dapur pemanas carbolite type RHF 16/8 max temp. 1600 °C laju pemanasan 13°C/menit sampai 15°C/menit.



(a)



(b)

Gambar 3.4 *Peralatan Proses Canai Panas.* (a) Dapur carbolite; (b) Mesin Ono Roll dua tingkat

- 4) Perangkat Metalografi : Perangkat amplas (Mesin Amplas Buehler ltd 220v 50hz dan kertas amplas 80# - 1500#), Perangkat poles (Mesin poles union 100v 50hz, kain beludru dan serbuk SiO₂), perangkat etsa (gelas ukur, labu ukur, termometer, pipet tetes, cawan petry, alat suntik, bunsen, stopwatch), Perangkat foto mikro (mikroskop optik Olympus M 200x dan 500x serta roll film).



(a)



(b)

Gambar 3.5 Perangkat Metalografi dan Foto Mikro. (a) Mesin Amplas-Poles; (b) Mikroskop Optik

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian dibagi dalam beberapa tahap yaitu proses pemanasan awal (*reheating*) pada dapur pemanas, deformasi panas (canai panas) dan kemudian pengujian metalografi diakhiri dengan foto mikro. Bahan sampel untuk pengujian adalah Baja HSLA A572 Grade 50 yang dipotong terlebih dahulu membentuk plat dengan dimensi $P \times L \times T = 60 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$.

3.4.1 Pemanasan Awal

Pemanasan awal dilakukan pada temperatur $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan waktu tahan selama 10 menit. Temperatur $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ dipakai untuk mencapai kondisi austenisasi sehingga akan diperoleh fasa *full austenite*. Untuk pengukuran suhu sampel sewaktu berada didalam oven, digunakan *thermocouple* yang dipasang pada salah satu sampel uji selama proses pemanasan berlangsung. Proses pemanasan dilakukan dengan menggunakan dapur Carbolite berkapasitas $1600 \text{ }^\circ\text{C}$ yang terdapat di Laboratorium TPB Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Pada saat melakukan proses pemanasan, dapur di set untuk melakukan beberapa tahapan *preheating* untuk mencegah *thermal shock* pada material. Setelah temperatur mencapai $1150 \text{ }^\circ\text{C}$, kemudian ditahan selama 10 menit untuk homogenisasi fasa austenit yang terbentuk.

3.4.2 Proses Deformasi Panas

Setelah temperatur mencapai 1150 °C dan waktu tahan 10 menit kemudian dilakukan pengerolan (deformasi panas) pada temperatur dan % reduksi yang berbeda-beda. Proses deformasi panas yang dilakukan menggunakan variasi temperatur deformasi dan % reduksi yang berbeda antara lain 1060 °C, 960 °C, 860 °C dengan % reduksi 20 % dan 30 %. Sebelum diroll (deformasi panas), mesin roll diatur sedemikian rupa untuk menyesuaikan % reduksi yang diinginkan. Kemudian sampel dikeluarkan dari dapur pemanas dan pada saat mencapai temperatur deformasi yang diinginkan, sampel langsung dirol lalu diikuti dengan pendinginan cepat (*quench*) dengan air. Proses deformasi dilakukan dengan menggunakan mesin Ono Roll dua tingkat berkapasitas 20 tonF yang ada di Laboratorium TPB Departemen Metalurgi dan Material FTUI.

Tabel 3.3 Data Perlakuan Sampel Yang Diberikan Selama Proses Canai Panas

No.Sampel	Temp.Deformasi	% Reduksi
1	1050 °C	30
2	962 °C	20
3	1060 °C	20
8	865 °C	30
28	957 °C	30
30	860 °C	20

3.4.3 Preparasi Sampel Untuk Pengujian Metalografi

Sampel hasil deformasi panas dipotong kemudian dilakukan preparasi sampel untuk pengujian metalografi. Preparasi sampel meliputi proses pengamplasan yang menggunakan mesin amplas dan kertas amplas mulai dari amplas kasar sampai amplas halus. Ukuran mesh yang digunakan yaitu: #80, #120, #240, #400, #600, #1000, #1200, dan #1500. Pengamplasan bertujuan untuk menghaluskan permukaan sampel dan menghilangkan kotoran, *scale*, serta residu hasil deformasi panas^[11]. Selanjutnya sampel dipoles dengan menggunakan mesin poles dan cairan poles alumina hingga didapatkan permukaan yang bersih, halus dan mengkilap seperti kaca tanpa gores. Proses pemolesan bertujuan untuk menghilangkan goresan-goresan serta kotoran hasil pengamplasan^[11]. Proses

pengamplasan dan pemolesan dilakukan dengan menggunakan mesin amplas- poles Buehler ltd yang ada di Laboratorium Metalografi dan HST Departemen Metalurgi dan Material FTUI.

3.4.4 Proses Etsa

Proses etsa dilakukan terlebih dahulu untuk menyerang batas butir dari fasa austenit sampel baja HSLA sebelum pengamatan pada mikroskop optik. Proses etsa segera dilakukan setelah sampel dipoles dan dikeringkan agar sampel tidak mengalami korosi terlebih dahulu karena terekspos di udara^[14]. Proses etsa dilakukan untuk semua sampel dengan menggunakan larutan etsa dan metode etsa yang bervariasi. Disiapkan 4 jenis larutan etsa dengan komposisi yang berbeda, adapun larutan etsa yang paling utama digunakan adalah larutan etsa hasil modifikasi dari larutan etsa picral standar (4% picral) dan larutan etsa Villela tanpa menggunakan alkohol namun ditambah HCl dan teepol dengan komposisi asam picric yang diminimalisir (tidak lewat jenuh) serta lebih akurat. Komposisinya yaitu 2 gr asam picric + 50 mL aquades + 5 sampai 10 tetes teepol dan + 5 sampai 10 tetes HCl. Untuk waktu etsa dan temperatur etsa divariasikan berdasarkan hasil *trial and error* dikarenakan larutan ini masih tergolong baru sehingga belum ada kepastian mengenai waktu etsa dan temperatur etsa. Untuk waktu etsa divariasikan pada penggunaan waktu 30 detik dan 5 menit dengan tujuan menciptakan perbedaan waktu etsa yang cukup ekstrim agar dapat diperoleh hasil dengan perbedaan yang mencolok sehingga dapat dianalisa dari segi efektifitas waktu kerjanya. Begitu juga dengan variasi temperatur antara 25 °C sampai 90 °C. Sedangkan untuk metode etsa lainnya dilakukan berdasarkan prosedur yang telah ditentukan oleh penemunya atau oleh ASM Handbook. Adapun metode etsa yang dilakukan pada setiap sampel adalah sebagai berikut :

Tabel 3.4 Data Metode Etsa dan Proses Etsa

No.	Komposisi Larutan Etsa	Temperatur Larutan Etsa	Temperatur Sampel	Waktu Pengetsaan
1	Larutan etsa modifikasi 2 gr asam picric + 50 mL aquades + 5 -10 tetes teepol + 5- 10 tetes HCl	80-90 °C	50-60 °C	5 menit
		80-90 °C 25 °C	25 °C 25 °C	
		80-90 °C	50-60 °C	30 detik
		80-90 °C	25 °C	
2	Vilella 1 gr asam picric + 100 mL etanol + 5 mL HCl	25 °C	25 °C	2 menit
3	Pical Standar (4 % pical) 4 gr asam picric + 100 mL methyl alcohol	25 °C	25 °C	2 menit
4	Pical Lewat Jenuh (modifikasi) 30 gr asam picric + 100 mL methyl alcohol + 5-10 tetes teepol + 5-10 tetes HCl	25 °C	25 °C	1 menit

Keterangan tentang metode etsa dan komposisi larutan etsa antara lain :

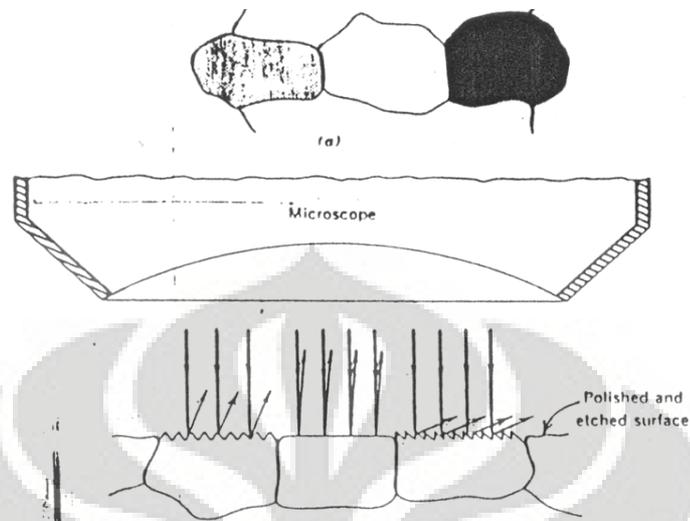
1. Larutan etsa modifikasi → larutan ini merupakan larutan etsa pical hasil modifikasi dari larutan etsa pical standar dan larutan etsa vellela. Cara membuatnya adalah 2 gr asam picric dicampurkan dengan 50 mL aquades lalu ditambahkan dengan 5-10 tetes HCl dan 5-10 tetes Teepol. Larutan etsa ini akan bekerja optimal apabila dipanaskan terlebih dahulu pada temperatur 80-90 °C setelah proses pencampurannya. Setelah itu barulah larutan etsa ini dapat digunakan untuk semua variasi metode. Variasi metode etsa dengan larutan etsa modifikasi ini, antara lain :
 - Temp.larutan 80-90 °C, temp sampel 50-60 °C, waktu etsa 5 menit
 - Temp.larutan 80-90 °C, temp sampel 50-60 °C, waktu etsa 30 detik
 - Temp larutan 80-90 °C, temp sampel 25 °C, waktu etsa 5 menit
 - Temp larutan 80-90 °C, temp sampel 25 °C, waktu etsa 30 detik
 - Temp larutan 25 °C, temp sampel 25 °C, waktu etsa 5 menit

2. Larutan etsa Villela → larutan etsa ini dibuat dan dikembangkan oleh villela^[11] yang seringkali digunakan untuk menampakkan batas butir austenit. Cara membuatnya adalah 1 gr asam picric dicampurkan dengan 100 mL etanol lalu ditambahkan dengan 5 mL HCl. Proses pengetsaan dilakukan pada temperatur kamar sedangkan untuk waktu etsa berdasarkan literatur tidak dijelaskan seberapa lama batasan waktunya untuk larutan ini sehingga dilakukan *trial and error* untuk memperoleh waktu etsa yang sesuai. Pada akhirnya ditetapkan waktu etsa 2 menit setelah mempertimbangkan hasil dari *trial and error* tersebut.
3. Larutan picral standar (4 % picral)^[11] → larutan ini sangat sering digunakan untuk pengujian metalografi dengan tujuan praktek mata kuliah metalografi dan HST di Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Cara membuatnya adalah 4 gr asam picric dicampurkan dengan 100 mL methyl alcohol. Dalam temperatur kamar selama 2 menit.
4. Larutan picral lewat jenuh modifikasi → larutan etsa ini merupakan modifikasi dari larutan etsa lewat jenuh (*supersaturated picric acid*)^[11] yang diperoleh dengan melarutkan 30 gr asam picric dengan 100 mL methyl alcohol selama 1-2 hari lalu ditambahkan dengan 5-10 tetes HCl dan 5-10 tetes Teepol. Dalam temperatur kamar selama 1 menit.

3.4.5 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan segera setelah proses etsa selesai dilakukan dan sampel telah dalam keadaan kering. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik pada permukaan sampel yang telah dietsa. Permukaan sampel yang telah dietsa diposisikan menghadap atas dan diletakkan tepat dibawah lensa mikroskop kemudian dilakukan pengamatan dengan perbesaran 200x atau 500x. Hal yang perlu diperhatikan saat melakukan pengamatan adalah penempatan posisi sampel dan kondisi permukaan sampel. Kondisi permukaan sampel yang tidak rata/cembung dan posisi sampel yang tidak tegak lurus dengan tempat sampel akan menyebabkan pantulan sinar mikroskop menjadi tidak fokus sehingga penampakan yang dihasilkan menjadi buram^[12].

Hasil dari pengamatan ini diharapkan diperoleh struktur mikro batas butir austenit.



Gambar 3.6 Pantulan Sinar Mikroskop Pada Kondisi Permukaan Sampel Tertentu^[12]

Setelah batas butir austenit berhasil diamati kemudian dilakukan foto mikro dengan menggunakan kamera roll olympus yang telah tersambung dengan mikroskop optik. Hasil dari foto mikro ini kemudian dicetak dan dianalisa berdasarkan literatur.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Proses Canai Panas

Proses canai panas yang dilakukan terdiri dari 3 tahapan utama yaitu pemanasan awal (*reheating*), pengontrolan deformasi panas (*controlled rolling*) dan pengontrolan pendinginan (*controlled cooling*). Semua tahapan proses dilakukan untuk semua sampel dengan perbedaan variabel tertentu di Laboratorium Pengubahan Bentuk (TPB) Departemen Metalurgi dan Material FT UI. Adapun data-data yang dapat diperoleh berkaitan dengan proses canai panas yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Perlakuan Sampel dan Hasil Proses Canai Panas

Sampel	T _{rhet} (°C)	T _{def} (°C)	t _{rhet->def} (s)	Reduksi (%)	t _{def->kmr} (s)
1	1150	1050	6,5	0,295	10,5
2	1150	962	10,0	0,203	6,0
3	1150	1060	10,5	0,208	7,5
8	1150	865	27,0	0,283	5,8
28	1150	957	19,0	0,283333333	16,0
30	1150	860	32,0	0,197368421	13,0

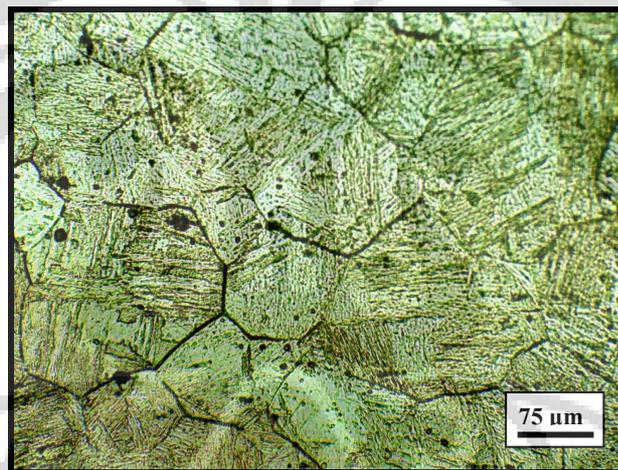
4.2 Hasil Foto Mikro Baja HSLA A572 Grade 50 Dengan Berbagai Teknik Etsa

4.2.1 Hasil Foto Mikro Baja HSLA A572 Grade 50 Dengan Metode Etsa Larutan Picral Modifikasi

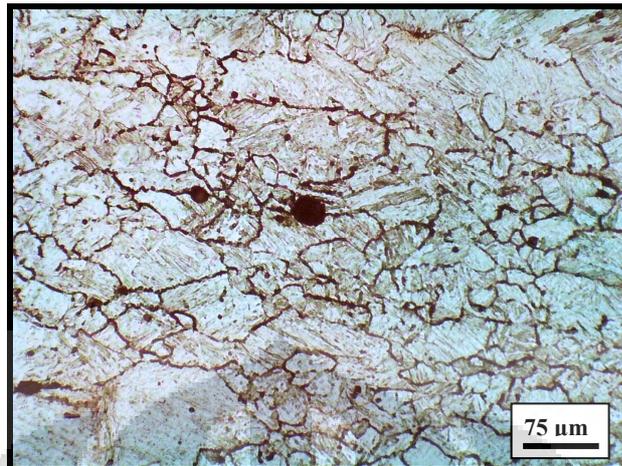
Larutan etsa modifikasi dibuat dengan mencampurkan asam picric sebanyak 2 gr dengan 50 mL aquades serta ditambahkan 5-10 tetes Teepol dan 5-10 tetes HCl. Larutan etsa ini merupakan modifikasi dari larutan etsa standar dan larutan etsa villeda dengan penambahan HCl yang berperan sebagai *corrosion agent* dan *oxidizer* dalam kadar rendah (hanya 5-10 tetes) serta Teepol yang berperan sebagai *wetting agent*. Sebelum digunakan larutan etsa ini terlebih dahulu dipanaskan pada temperatur mencapai 80-90 °C sampai asam picric larut sempurna dengan HCl dan Teepol. Setelah itu didinginkan dan dapat digunakan

untuk berbagai metode etsa. Teknik pengetsaan yang dilakukan adalah dengan cara meneteskan larutan etsa ke permukaan sampel. Untuk waktu etsa dan temperatur etsa divariasikan berdasarkan hasil *trial and error* dikarenakan larutan ini masih baru sehingga belum ada kepastian mengenai waktu etsa dan temperatur etsa. Untuk waktu etsa divariasikan pada penggunaan waktu 30 detik dan 5 menit dengan tujuan menciptakan perbedaan waktu etsa yang cukup ekstrim agar dapat diperoleh hasil dengan perbedaan yang mencolok sehingga dapat dianalisa dari segi efektifitas waktu kerjanya. Begitu juga dengan variasi temperatur antara 25 °C sampai 90 °C. Variasi metode etsa modifikasi ini antara lain :

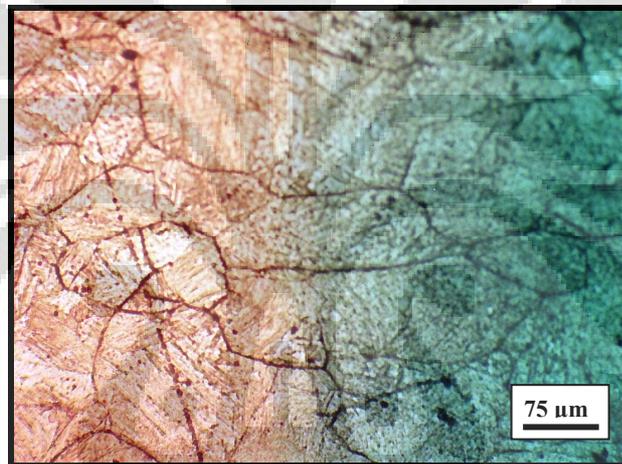
4.2.1.1 Temperatur Larutan 80-90 °C, Temperatur Sampel 50-60 °C, Waktu Etsa 5 Menit



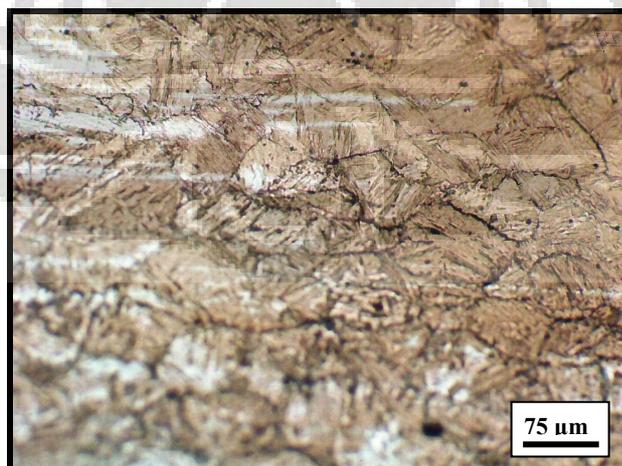
Gambar 4.1 Foto Mikro Batas Butir Austenit Sampel Dummy Austenit. 200x



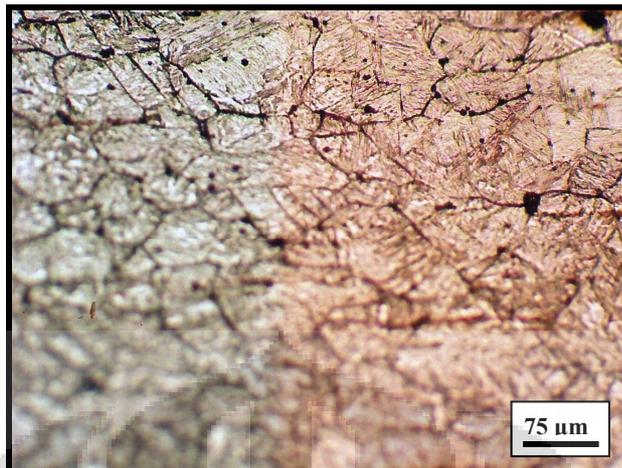
Gambar 4.2 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 1. 200x



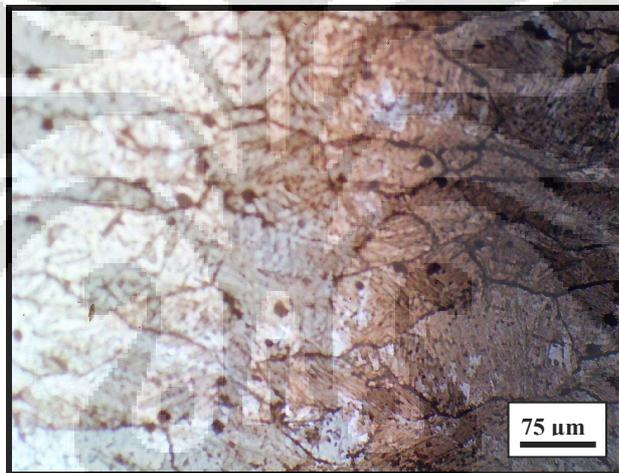
Gambar 4.3 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 2. 200x



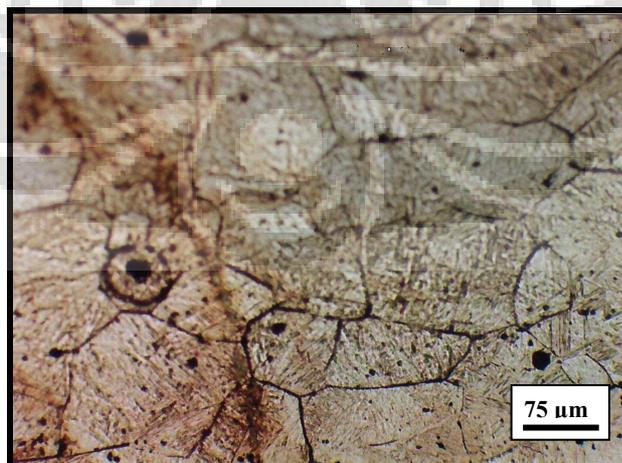
Gambar 4.4 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 3. 200x



Gambar 4.5 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 8. 200x



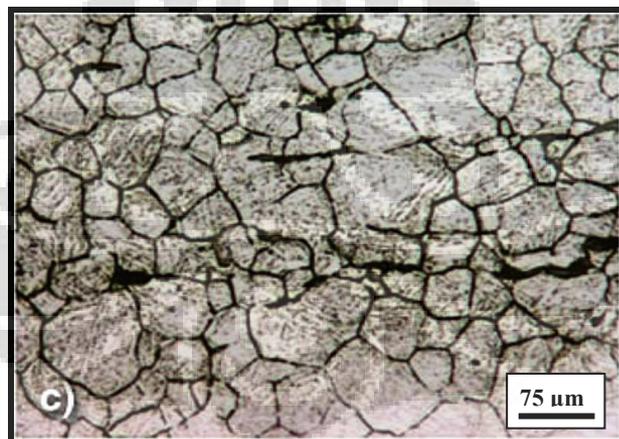
Gambar 4.6 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 28. 200x



Gambar 4.7 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 30. 200x

Pada metode etsa ini diberikan kondisi pengetsaan pada temperatur 80-90 °C dan kondisi sampel yang dalam keadaan panas (sekitar 50-60 °C). Apabila mengacu pada larutan etsa villeda dan standar maka pada dasarnya kondisi pengetsaan dilakukan pada temperatur ruang. Namun berdasarkan dari teori kimia yang menyatakan bahwa temperatur sangat berpengaruh pada laju suatu reaksi^[8] maka peneliti mencoba untuk menerapkan teori kimia tersebut dengan memberikan modifikasi temperatur etsa yang lebih tinggi dari temperatur ruang dengan harapan laju reaksi dari korosi terkontrol yang terjadi selama proses etsa dapat lebih optimal. Selain itu peneliti juga menggunakan waktu etsa selama 5 menit berdasarkan *trial and error* dengan harapan reaksi korosi terkontrol yang terjadi selama proses etsa dapat berlangsung secara menyeluruh dan penampakan batas butir austenit yang dihasilkan akan dapat terlihat jelas pada berbagai perbesaran dalam mikroskop.

Berdasarkan hasil foto mikro yang menggunakan larutan etsa modifikasi, penampakan batas butir austenit yang dihasilkan dengan metode ini secara keseluruhan terlihat sangat jelas untuk semua sampel dan telah sesuai dengan penampakan batas butir austenit berdasarkan literatur. Penampakan batas butir austenit berdasarkan literatur dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4.8 Batas Butir Austenit Prior Pada Baja HSLA 0.019 % Nb. Etsa 4 % Picral. 200x^[13]

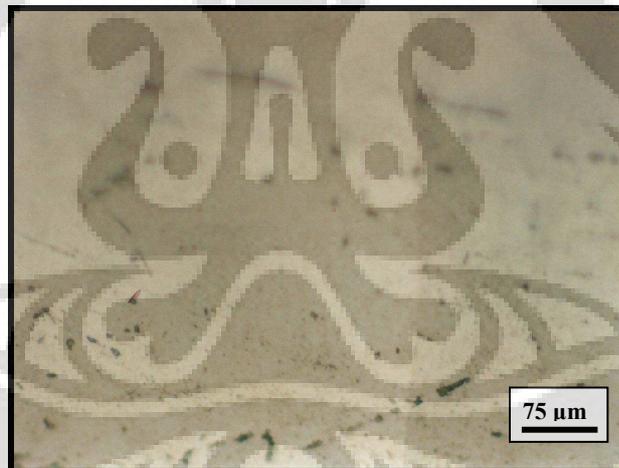
Butir austenit yang berbentuk poligon mengelilingi fasa matriks dibagian tengahnya dengan perbedaan orientasi dapat diamati dengan jelas. Batas butir austenit ditunjukkan dengan garis-garis yang berwarna hitam sedangkan fasa matriks ditunjukkan dengan daerah yang agak gelap^[11].

Universitas Indonesia

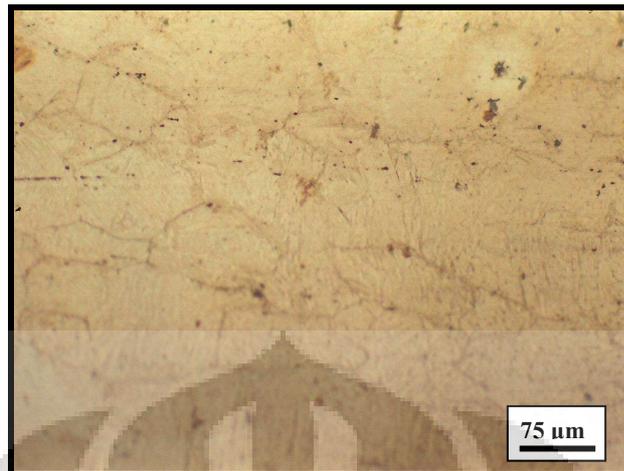
austenit yang merupakan sampel awal dari baja HSLA tanpa dilakukan deformasi panas diperoleh penampakan butir yang masih kasar berbentuk bulat pipih dan tidak seragam sedangkan untuk sampel deformasi diperoleh penampakan butir yang lebih halus dan berbentuk elips. Fasa pada matriks yang terbentuk merupakan fasa martensit yang berbentuk jarum dengan warna agak gelap.

Dari gambar foto mikro sampel hasil deformasi dapat terlihat pula butir-butir yang dihasilkan memiliki kemiripan dari segi bentuknya yang cenderung lonjong (elips) dan ukurannya yang tidak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa proses deformasi dapat memberikan efek penghalusan butir dengan bentuk seragam serta peningkatan sifat ketangguhan dengan adanya fasa martensit yang menghasilkan peningkatan energi dan tegangan yang besar dibatas butirnya^[16].

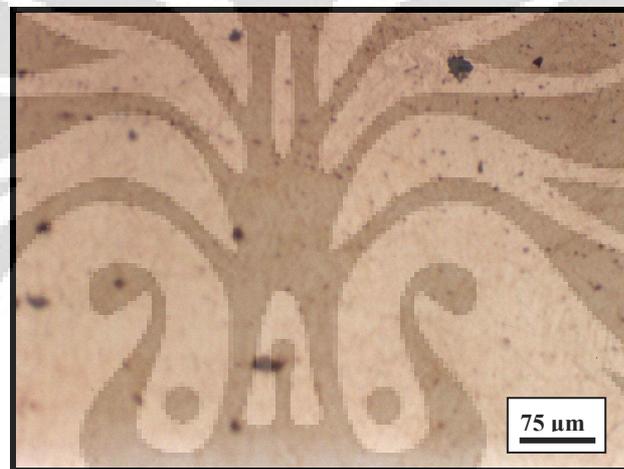
4.2.1.2 Temperatur Larutan 80-90 °C, Temperatur Sampel 50-60 °C, Waktu Etsa 30 Detik



Gambar 4.9 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 1. 200x



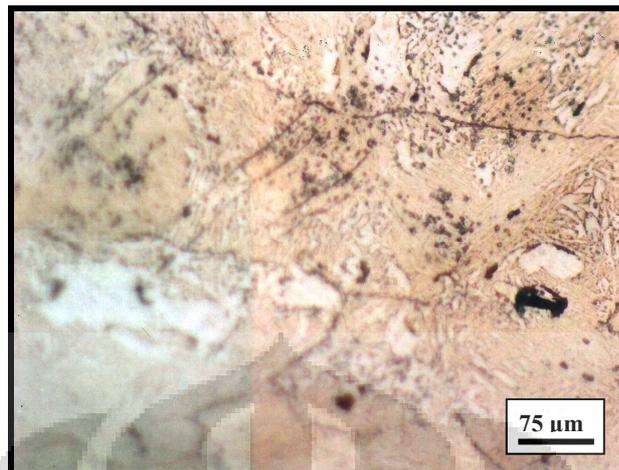
Gambar 4.10 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 2. 200x



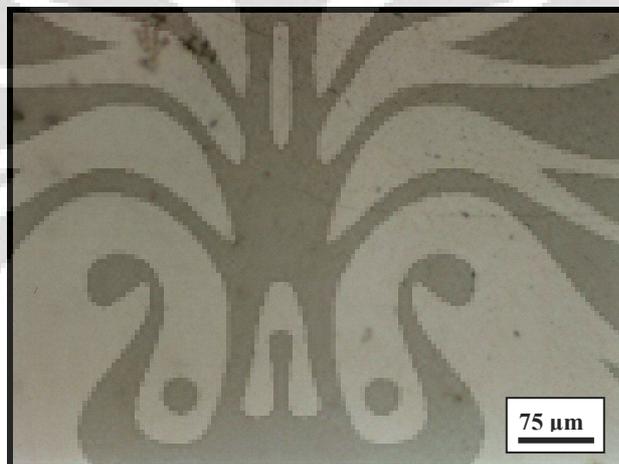
Gambar 4.11 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 3. 200x



Gambar 4.12 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 8. 200x



Gambar 4.13 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 28. 200x



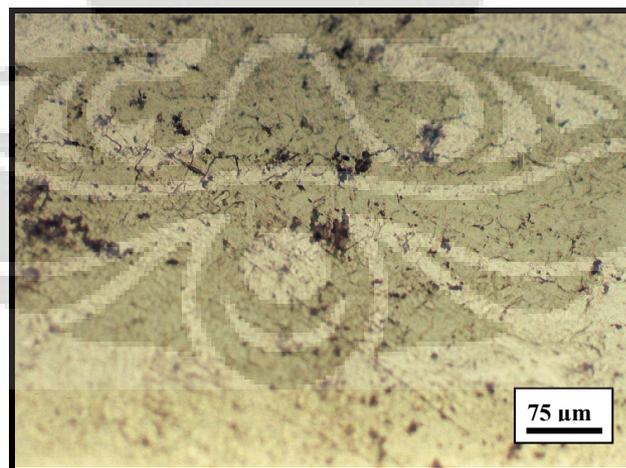
Gambar 4.14 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 30. 200x

Pada metode etsa kali ini dilakukan dengan menggunakan larutan yang sama yaitu picral modifikasi dalam kondisi temperatur sampel dan temperatur larutan yang sama dengan **metode 4.2.1.1** namun lebih singkat waktu pengetsannya. Salah satu tujuan dari penelitian etsa ini adalah untuk memperoleh metode etsa yang paling efektif dan efisien dari segi penggunaan waktu dan biaya. Oleh karena itu dengan mencoba mempersingkat waktu pengetsan diharapkan dapat memperoleh batas butir austenit yang sudah cukup jelas dan dapat dipakai untuk penelitian karakteristik butir dan struktur mikro.

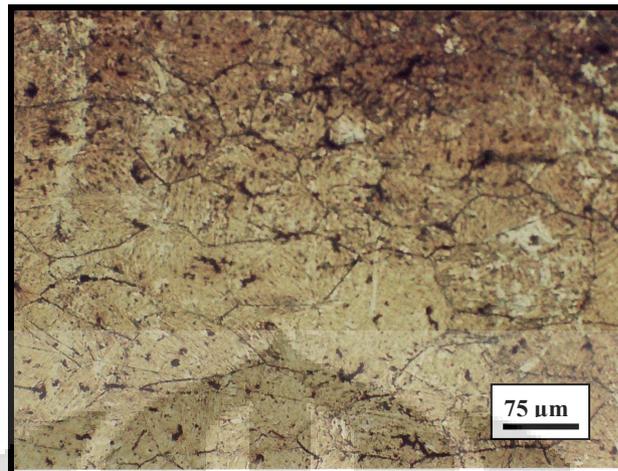
Namun pada kenyataannya penampakan foto mikro dengan metode ini menghasilkan penampakan batas butir austenit yang belum terlihat jelas untuk

semua sampel. Akan tetapi telah ada kecenderungan untuk menghasilkan penampakan batas butir austenit seperti yang ditampilkan pada gambar 4.10 sampel 2, gambar 4.11 sampel 3 dan gambar 4.13 sampel 28. Kecenderungan ini dapat terlihat dari adanya penampakan garis-garis gelap yang sebagian kecil sudah mulai menyatu satu sama lain dan memiliki arah orientasi yang berbeda. Sedangkan untuk sampel lain, penampakan batas butir austenit yang dihasilkan hanya berupa garis-garis yang belum menyatu dan masih buram. Fasa matriks yang dihasilkan juga belum dapat terlihat dengan jelas diseluruh bagian, hanya pada beberapa bagian tertentu dapat terlihat itupun masih samar-samar. Hasil penampakan batas butir austenit yang belum terlihat jelas tersebut menandakan bahwa reaksi korosi terkontrol yang terjadi belum bekerja secara optimal dan menyeluruh. Walaupun ada pengaruh dari temperatur etsa namun pada kenyataannya diperlukan waktu yang lebih lama untuk memperoleh penampakan batas butir austenit. Pada akhirnya penggunaan waktu pengetsaan yang terlampau cepat belum dapat menghasilkan penampakan batas butir austenit dengan jelas.

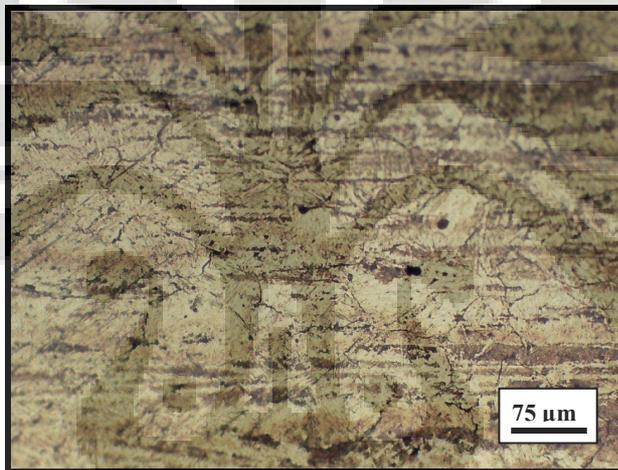
4.2.1.3 Temperatur Larutan 80-90 °C, Temperatur Sampel 25 °C, Waktu Etsa 5 Menit



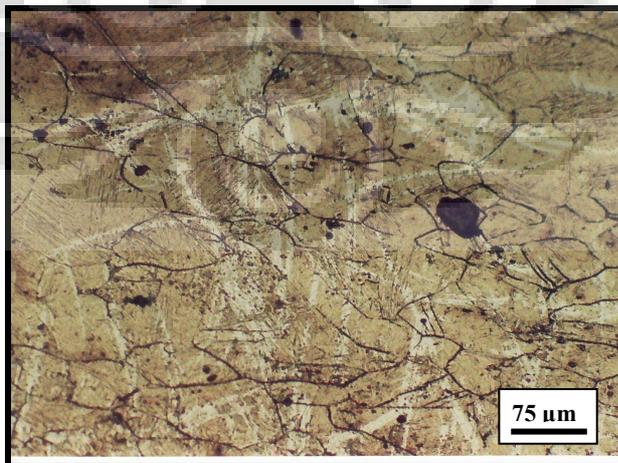
Gambar 4.15 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 1. 200x



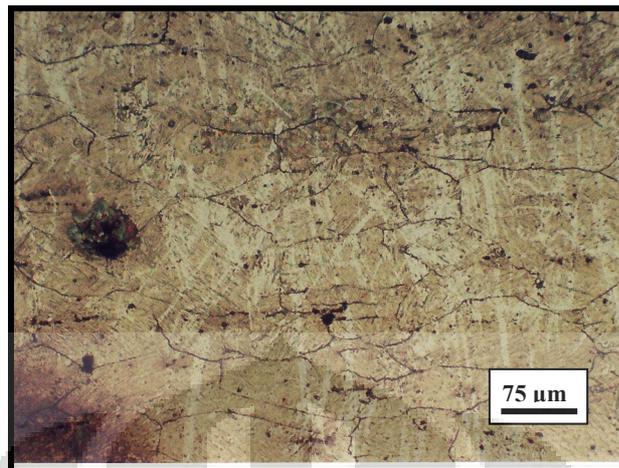
Gambar 4.16 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 2. 200x



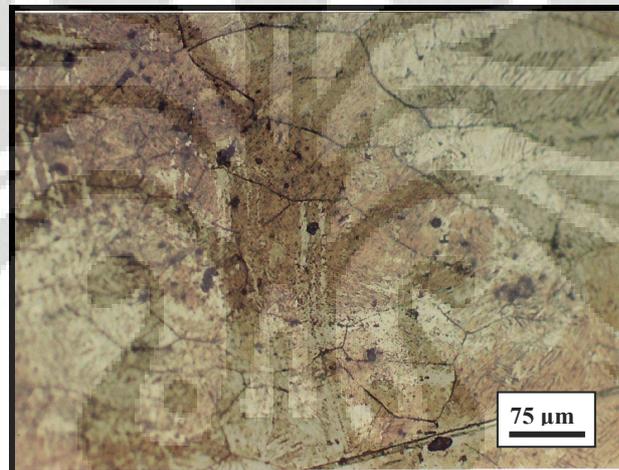
Gambar 4.17 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 3. 200x



Gambar 4.18 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 8. 200x



Gambar 4.19 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 28. 200x



Gambar 4.20 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 30. 200x

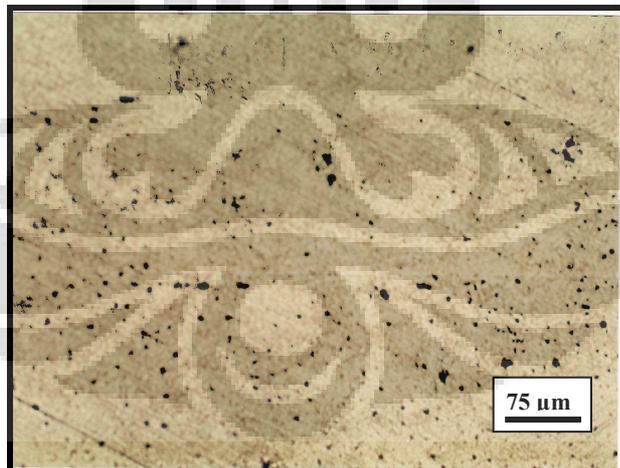
Metode etsa kali ini dilakukan dengan menggunakan larutan yang sama yaitu picral modifikasi dalam kondisi temperatur larutan etsa dan waktu etsa yang sama dengan **metode 4.2.1.1**. Perbedaannya adalah sampel dikondisikan pada temperatur ruang saat proses etsa. Sampel tidak dikondisikan dalam keadaan panas dengan tujuan untuk menghemat energi panas.

Foto mikro yang diperoleh memberikan hasil penampakan batas butir austenit yang cukup jelas pada semua sampel namun tidak setajam penampakan batas butir dengan **metode 4.2.1.1** Batas butir yang dihasilkan ditunjukkan dengan garis-garis tipis berwarna hitam dengan orientasi berbeda-beda yang terhubung satu sama lain membentuk poligon. Pada gambar 4.15 sampel 1 dan 4.17 sampel 3

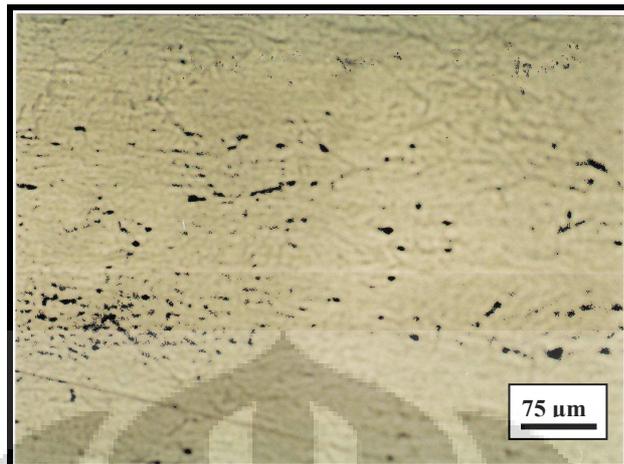
Universitas Indonesia

garis-garis batas butir yang dihasilkan sebagian belum berbentuk poligon secara utuh sehingga masih sulit membedakan batas antara fasa yang satu dengan fasa yang lainnya namun sudah menunjukkan orientasi yang berbeda-beda. Selain itu penampakan garis-garis batas butir yang dihasilkan hanya terlihat pada beberapa daerah struktur mikro. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kurang optimalnya reaksi korosi terkontrol karena hilangnya pengaruh dari temperatur sampel atau kemungkinan juga pada saat proses etsa tidak semua permukaan sampel terkena larutan etsa sehingga penampakannya tidak merata. Fasa matriks yang ditunjukkan dengan area yang agak gelap telah terlihat dengan cukup jelas namun belum dapat dibedakan batas butirnya. Pengkondisian sampel pada temperatur kamar selama proses etsa kurang lebih berpengaruh terhadap kualitas penampakan batas butir austenit. Pengkondisian sampel pada temperatur kamar justru malah memperburuk kualitas foto mikro yang dihasilkan apabila dibandingkan dengan hasil foto mikro metode 4.2.1.1.

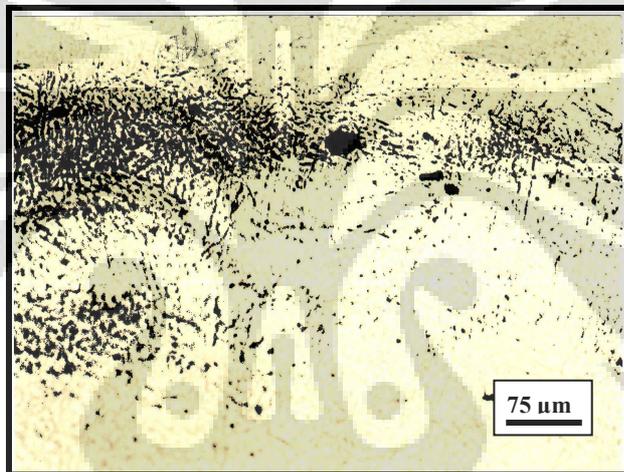
4.2.1.4 Temperatur Larutan 80-90 °C, Temperatur Sampel 25 °C, Waktu Etsa 30 Detik



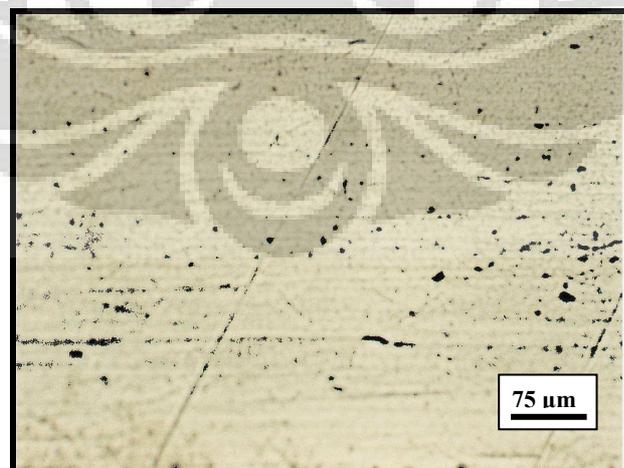
Gambar 4.21 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 1. 200x



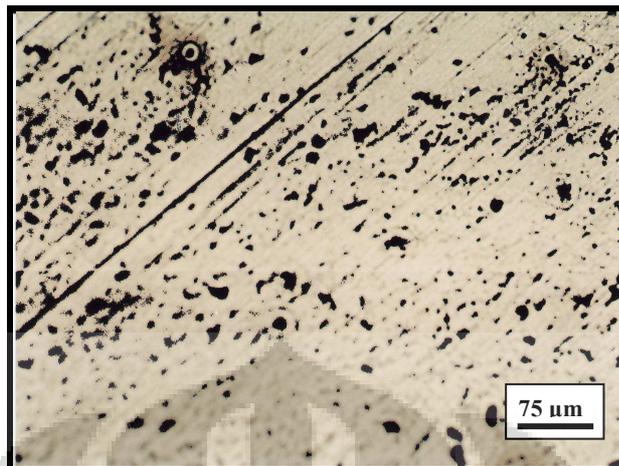
Gambar 4.22 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 2. 200x



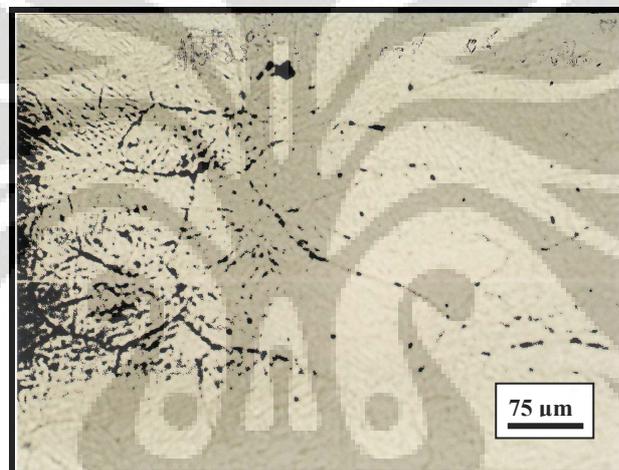
Gambar 4.23 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 3. 200x



Gambar 4.24 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 8. 200x



Gambar 4.25 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 28. 200x

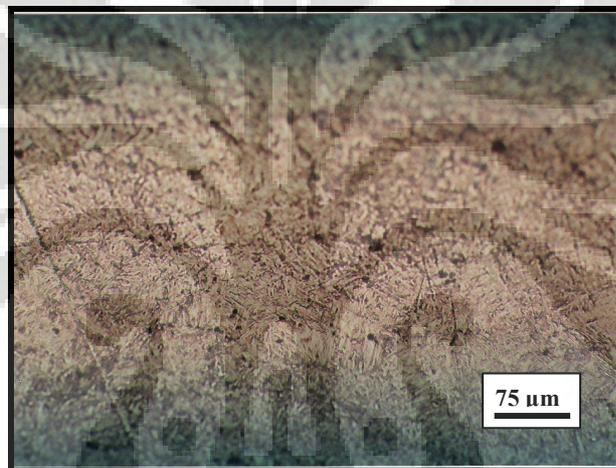


Gambar 4.26 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 30. 200x

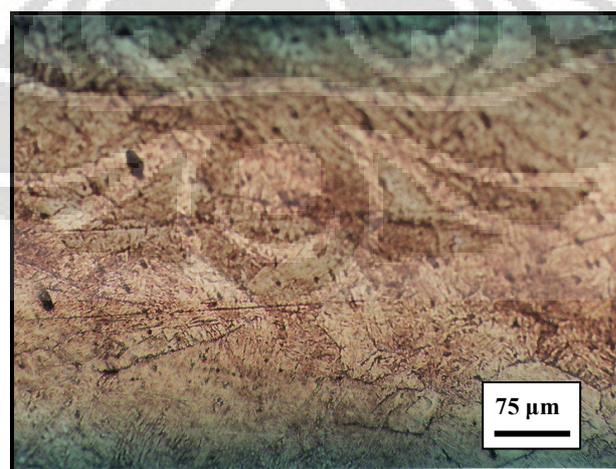
Metode etsa kali ini dilakukan dengan menggunakan larutan yang sama yaitu picral modifikasi dalam kondisi temperatur larutan etsa dan temperatur sampel yang serupa seperti **metode 4.2.1.3** namun dalam waktu yang lebih singkat yaitu 30 detik. Variasi lain yang dilakukan adalah dengan mempersingkat waktu pengetsaan menjadi 30 detik agar efektivitas waktu kerja tetap terjaga. Hasil foto mikronya menunjukkan penampakan batas butir austenit yang kurang jelas terlihat. Penampakan batas butirnya cenderung lebih buruk dibandingkan dengan **metode 4.2.1.3** terutama pada gambar 4.21 sampel 1, gambar 4.23 sampel 3 dan gambar 4.25 sampel 28, penampakan batas butirnya hanya berupa bayangan garis yang buram dan tidak dapat dibedakan bentuknya. Sedangkan gambar

lainnya sudah ada kecenderungan untuk membentuk batas butir austenit di beberapa bagian telah terlihat batas butir austenit walaupun masih samar-samar tapi dapat dipastikan itu adalah batas butir austenit dengan bentuk yang poligon dan orientasi yang berbeda-beda. Dengan mempersingkat waktu pengetsaan dan menurunkan temperatur sampel sampai temperatur ruang malah memperburuk kualitas dari penampakan batas butir austenit.

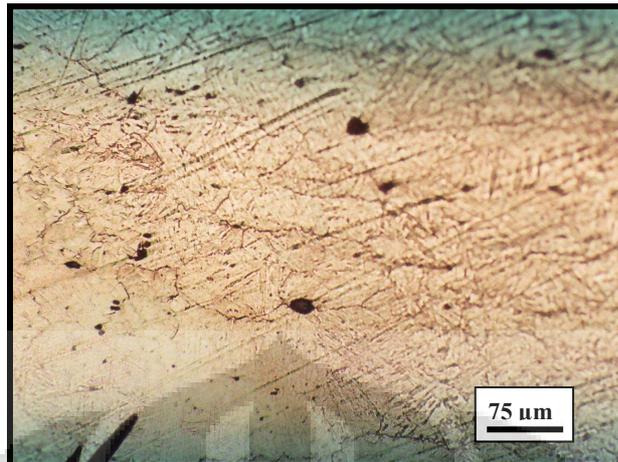
4.2.1.5 Temperatur Larutan 25 °C, Temperatur Sampel 25 °C, Waktu Etsa 5 Menit



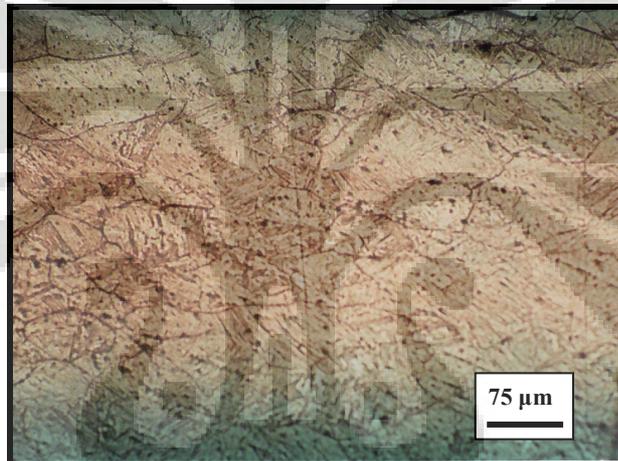
Gambar 4.27 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 1. 200x



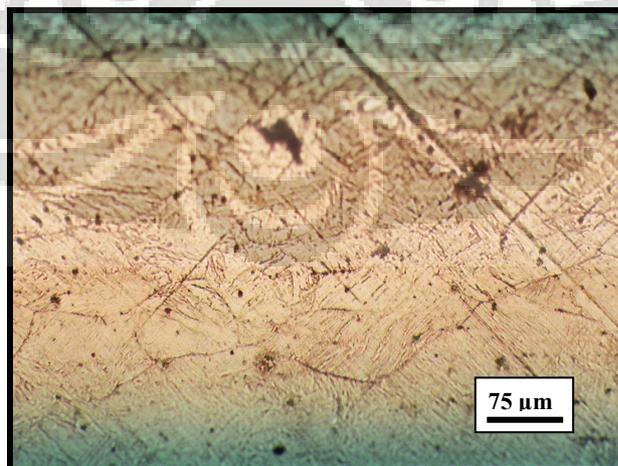
Gambar 4.28 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 2. 200x



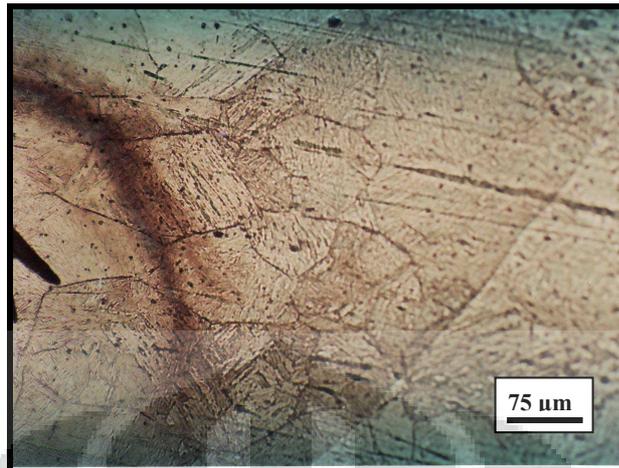
Gambar 4.29 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 3. 200x



Gambar 4.30 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 8. 200x



Gambar 4.31 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 28. 200x



Gambar 4.32 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Modifikasi. Sampel 30. 200x

Metode etsa ini dilakukan dengan menggunakan larutan etsa modifikasi yang telah disiapkan dengan sampel dalam kondisi temperatur ruang selama 5 menit. Penggunaan temperatur ruang ini mengacu pada larutan etsa villela dan larutan etsa standar yang menjadi acuan dasar dalam membuat larutan etsa modifikasi ini. Berdasarkan foto mikro yang diperoleh, hasil penampakan batas butir fasa austenit cukup jelas terlihat namun masih belum maksimal. Garis-garis batas butir yang berwarna hitam dengan orientasi yang berbeda-beda memang sudah terlihat namun masih belum menyeluruh dan belum terlihat menyatu satu sama lain sehingga belum terbentuk poligon-poligon yang merupakan ciri khas dari batas butir austenit yang mengelilingi fasa matriks ditengahnya. Beberapa gambar seperti gambar 4.30 - gambar 4.32 telah memperlihatkan batas butir dengan orientasi yang berbeda dan telah berbentuk poligon walaupun masih terlihat tipis tapi sudah dapat dibedakan batas antar butirnya. Fasa matriks martensit berbentuk jarum-jarum yang terlihat berwarna gelap juga telah dapat terlihat.

Sedangkan untuk gambar lain walaupun telah terlihat garis-garis batas butirnya namun belum dapat memisahkan butir yang satu dengan yang lainnya karena garis-garis gelap tersebut belum membentuk poligon dan belum terhubung satu sama lain. Selain itu juga masih banyak terlihat garis-garis kasar bekas proses pengampelasan yang belum dapat dihilangkan. Penampakan garis-garis kasar ini menandakan kurang maksimalnya proses pengampelasan dan pemolesan untuk

Universitas Indonesia

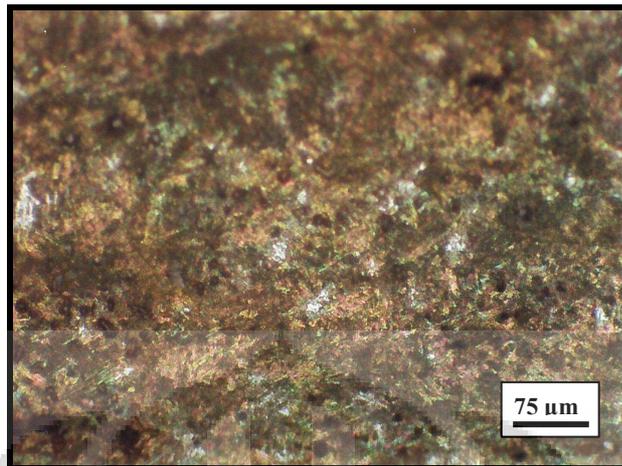
menghilangkan berkas garis tersebut^[12]. Hal ini mengakibatkan batas butir austenit sulit diamati dikarenakan terhalangi oleh berkas garis hasil pengamplasan tersebut. Untuk metode dengan temperatur larutan dan temperatur sampel yang sama (25°C) namun dengan waktu etsa yang dipersingkat (30 detik) tidak dilakukan, dikarenakan berdasarkan trial error diperoleh hasil foto mikro yang sama sekali tidak terlihat penampakan batas butir austenitnya, selain itu kondisi sampel pada saat di etsa selama 30 detik belum memperlihatkan tanda-tanda perubahan pada permukaan yang di etsa.

4.2.2 Hasil Foto Mikro Baja HSLA A572 Grade 50 Dengan Metode Etsa Larutan Picral Villela

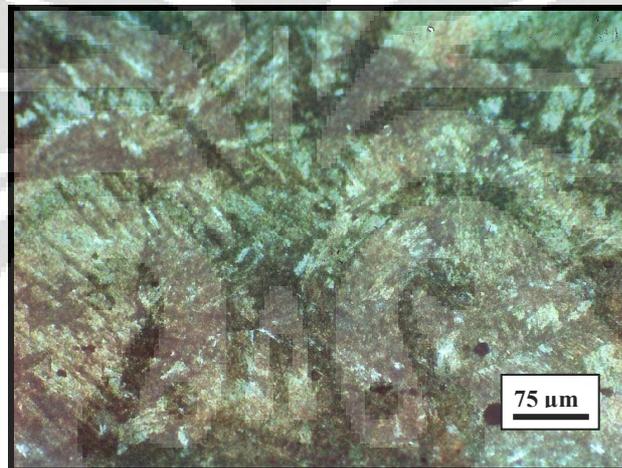
Larutan etsa ini dibuat dan dikembangkan oleh villela^[11] yang seringkali digunakan untuk menampakkan batas butir austenit. Cara membuatnya adalah 1 gr asam picric dicampurkan dengan 100 mL etanol lalu ditambahkan dengan 5 mL HCl. Proses pengetsaan dilakukan pada temperatur kamar sedangkan untuk waktu etsa berdasarkan literatur tidak dijelaskan seberapa lama batasan waktunya untuk larutan ini sehingga dilakukan *trial and error* untuk memperoleh waktu etsa yang sesuai. Pada akhirnya ditetapkan waktu etsa 2 menit setelah mempertimbangkan hasil dari *trial and error* tersebut. Adapun hasil foto mikro yang diperoleh dengan metode etsa villela adalah sebagai berikut



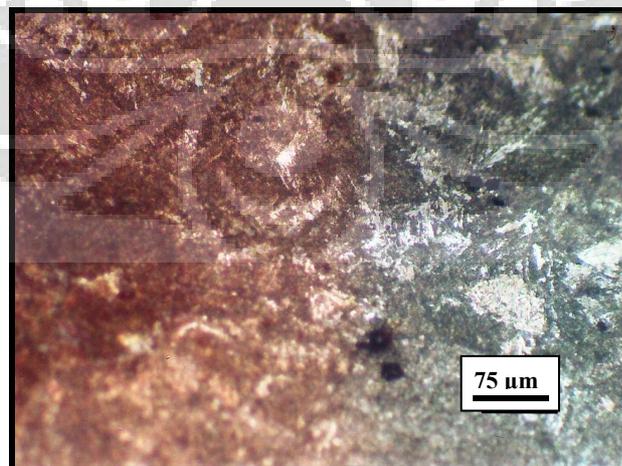
Gambar 4.33 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel Dummy 200x



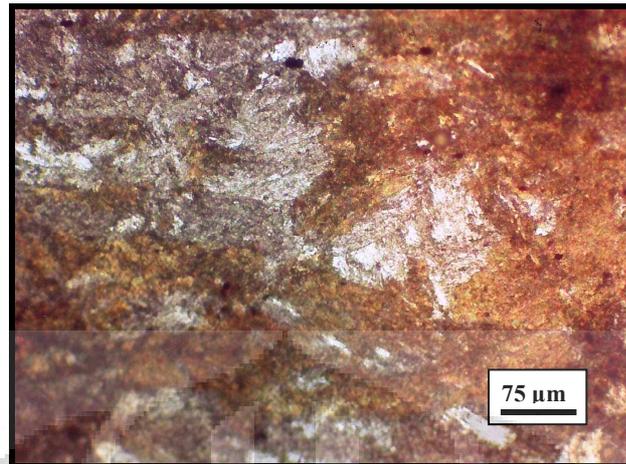
Gambar 4.34 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Vilella. Sampel 1. 200x



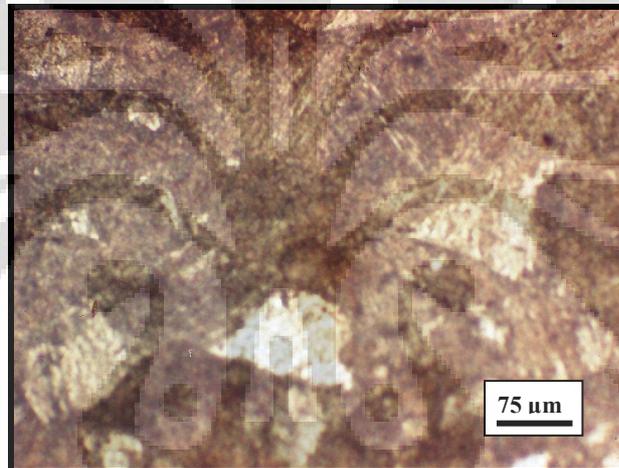
Gambar 4.35 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Vilella. Sampel 2. 200x



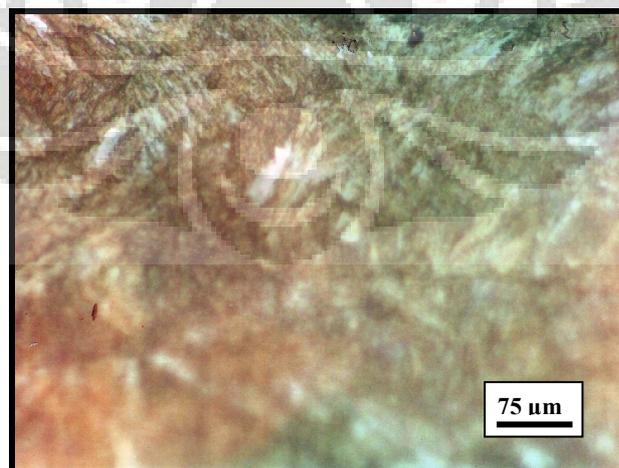
Gambar 4.36 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Vilella. Sampel 3. 200x



Gambar 4.37 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel 8. 200x



Gambar 4.38 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel 28. 200x



Gambar 4.39 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Villela. Sampel 30. 200x

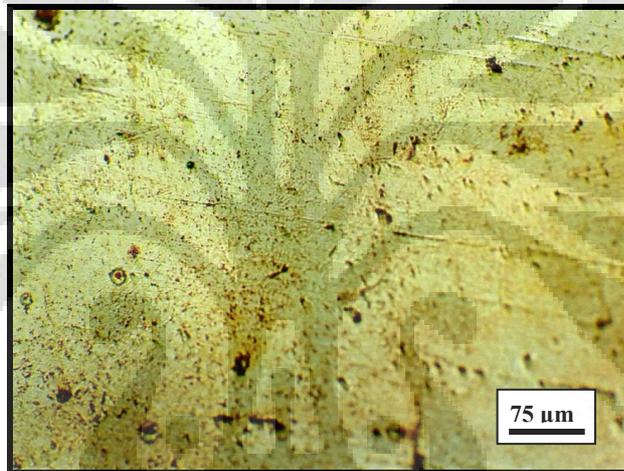
Larutan etsa vellela ini dibuat dan dikembangkan oleh vellela^[11] yang seringkali digunakan untuk menampakkan batas butir austenit. Cara membuatnya adalah 1 gr asam picric dicampurkan dengan 100 mL etanol lalu ditambahkan dengan 5 mL HCl. Proses pengetsan dilakukan pada temperatur kamar sedangkan untuk waktu etsa berdasarkan literatur tidak dijelaskan seberapa lama batasan waktunya untuk larutan ini sehingga dilakukan *trial and error* untuk memperoleh waktu etsa yang sesuai. Pada akhirnya ditetapkan waktu etsa 2 menit setelah mempertimbangkan hasil dari *trial and error* tersebut.

Berdasarkan hasil foto mikro yang diperoleh, penampakan batas butir austenit sama sekali tidak terlihat di semua sampel. Foto mikro yang diperoleh hanya menampakkan fasa matriks yaitu martensit yang berwarna gelap berbentuk jarum-jarum di beberapa daerah^[11]. Selain itu terdapat area-area yang terlihat lebih gelap dan adanya butiran atau bintik-bintik hitam pada beberapa daerah. Juga terdapat fasa *widmanstatten* ferit yang berwarna lebih terang berbentuk seperti dendrit^[16] yang terlihat jelas pada gambar 4.33 sampel dummy, gambar 4.35 sampel 2 dan gambar 4.39 sampel 30. Sementara bintik-bintik hitam yang terlihat terutama pada gambar 4.33 sampel 1 dan gambar 4.35 sampel 3 menunjukkan terjadinya korosi mikro pitting^[13] yang disebabkan adanya celah dipermukaan sampel yang tidak rata sehingga mudah terjadi korosi mikro *pitting* pada saat kontak dengan udara dan sebelum proses etsa dilakukan.

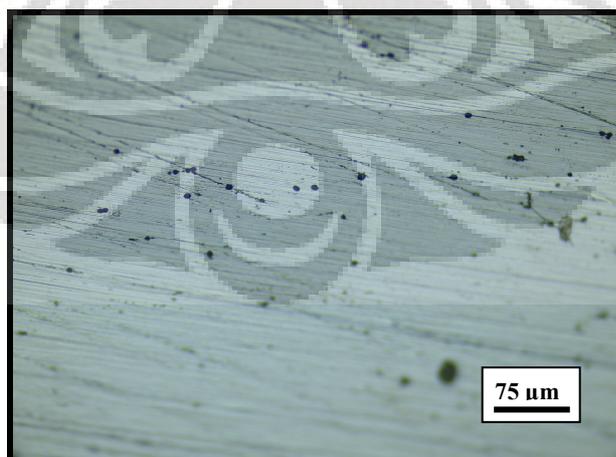
Pengamatan struktur mikro fasa dan butir austenit hasil metode etsa vellela sebenarnya cukup sulit dilakukan dikarenakan adanya daerah gelap selain fasa yang menghalangi penampakannya. Daerah ini diperkirakan menunjukkan terjadinya korosi yang berlebihan dikarenakan penggunaan waktu etsa yang terlalu lama yaitu 2 menit. Namun pada intinya batas butir austenit tidak berhasil ditampilkan menggunakan metode etsa vellela ini.

4.2.3 Hasil Foto Mikro Baja HSLA A572 Grade 50 Dengan Metode Etsa Larutan Picral Standar (4 % picral)

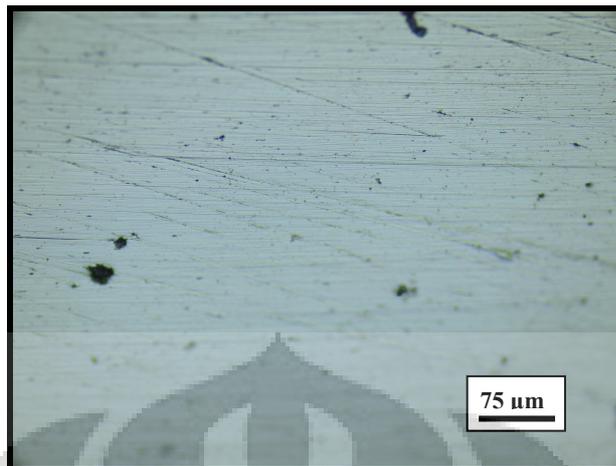
Larutan etsa picral standar (4 % picral) merupakan larutan etsa picral yang paling umum digunakan untuk praktikum metalografi dan *heat treatment*. Larutan ini dibuat menurut panduan dari ASM Handbook Volume 9, yaitu dengan melarutkan 4 gr asam picric dalam 100 mL methyl alkohol. Proses etsa dilakukan dalam temperatur kamar selama 2 menit. Larutan picral standar ini diujikan untuk membuktikan dan membandingkan kualitas hasil struktur mikro batas butir austenit yang diperoleh dengan larutan picral modifikasi. Adapun hasil dari foto mikro yang diperoleh adalah sebagai berikut



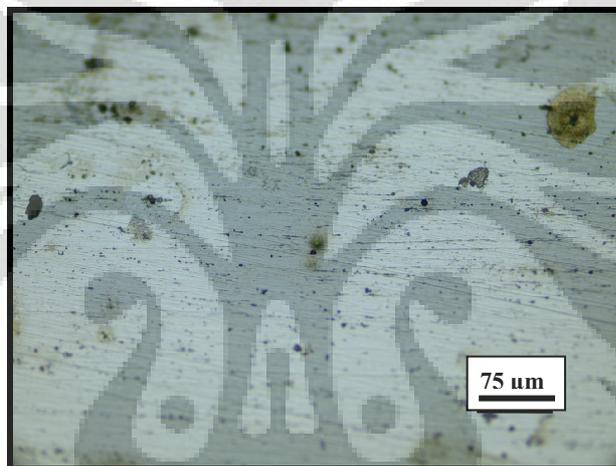
Gambar 4.40 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel Dummy 200x



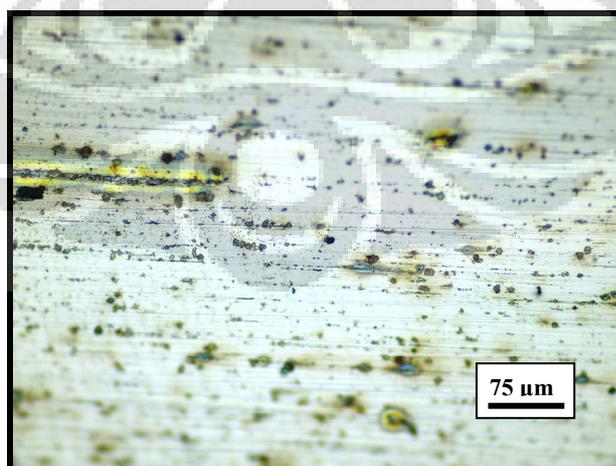
Gambar 4.41 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 1. 200x



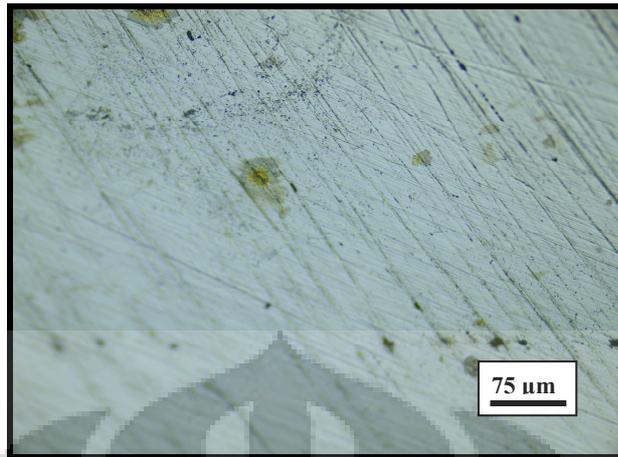
Gambar 4.42 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 2. 200x



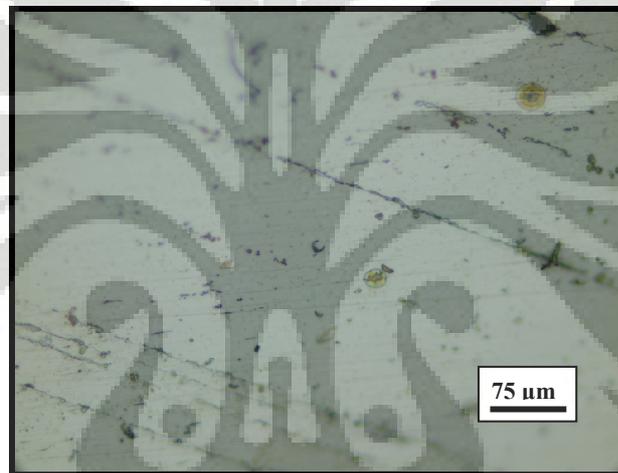
Gambar 4.43 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 3. 200x



Gambar 4.44 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 8. 200x



Gambar 4.45 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 28. 200x



Gambar 4.46 Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Standar. Sampel 30. 200x

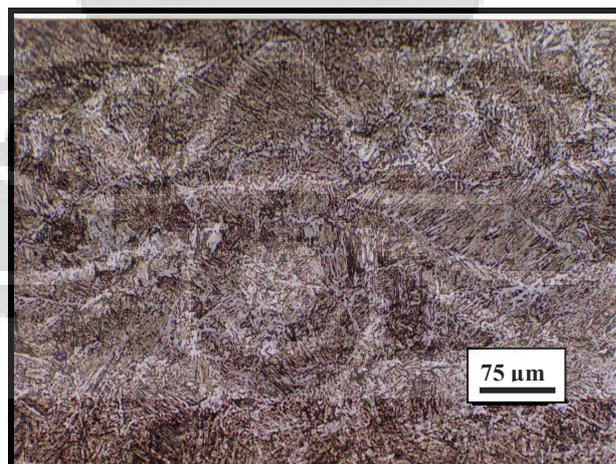
Berdasarkan hasil foto mikro untuk semua sampel hasil pengetsaan dengan larutan ini ternyata belum mampu memberikan penampakan batas butir fasa austenit dengan jelas. Penampakan struktur mikronya tergolong buruk dikarenakan perbedaan fasa dan orientasi butir yang belum terlihat sama sekali. Penampakan struktur mikro semakin diperburuk dengan banyak terdapatnya goresan-goresan bekas hasil proses pengamplasan yang belum hilang sehingga menghalangi panampakan struktur mikro dibawahnya. Hal ini diakibatkan proses pengamplasan yang buruk atau proses pemolesan yang kurang optimal. Terdapat pula produk-produk korosi yang masih terlihat seperti bintik-bintik atau bercak-bercak berwarna coklat atau hitam yang tersebar di beberapa daerah sehingga juga mengganggu pengamatan struktur mikro. Adanya bercak-bercak korosi ini

Universitas Indonesia

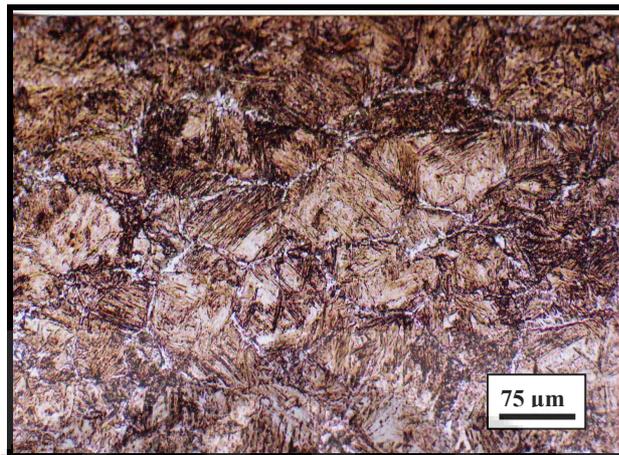
menandakan telah terjadi peristiwa korosi terlebih dahulu sebelum sampel di etsa sehingga menyebabkan terjadinya korosi berlebih pada permukaan sampel. Apabila dibandingkan dengan larutan etsa modifikasi, akan terlihat perbedaan kualitas penampakan batas butir austenit yang sangat mencolok. Dalam larutan ini tidak digunakan HCl sebagai *oxidizer* dan *wetting agent* seperti Teepol. Hal ini berpengaruh terhadap respon dan kinerja dari larutan etsa dikarenakan HCl dapat mendukung reaksi oksidasi atau reaksi korosi di batas butir, sedangkan Teepol sebagai *wetting agent* dapat meningkatkan respons larutan etsa pada sampel baja HSLA serta ketajaman penampakan struktur mikro batas butir austenit^[14]. Pada intinya penggunaan larutan etsa picral standar pada percobaan kali ini kurang cocok digunakan untuk menghasilkan penampakan batas butir austenit.

4.2.4 Hasil Foto Mikro Baja HSLA A572 Grade 50 Dengan Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh

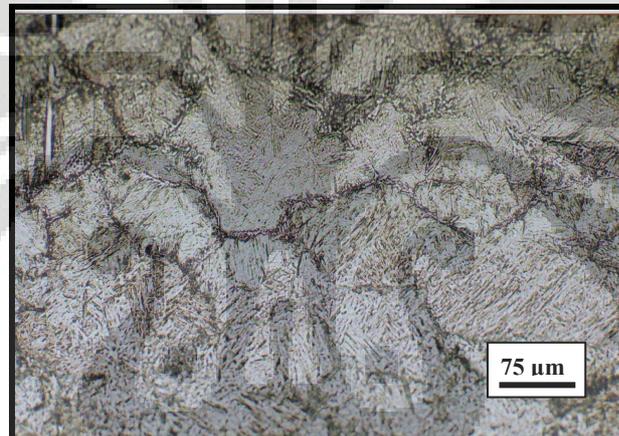
Larutan etsa ini merupakan modifikasi dari larutan etsa lewat jenuh (*supersaturated picric acid*)^[11] yang diperoleh dengan melarutkan 30 gr asam picric dengan 100 mL methyl alcohol selama 1-2 hari lalu ditambahkan dengan 5-10 tetes HCl dan 5-10 tetes Teepol. Etsa dilakukan dalam temperatur kamar selama 1 menit.



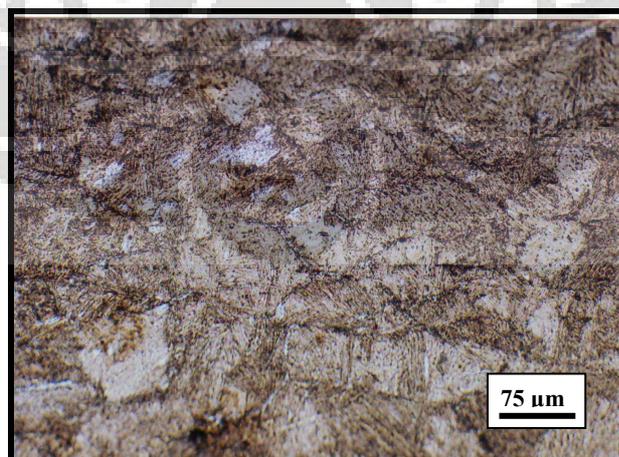
Gambar 4.47. Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 1. 200x



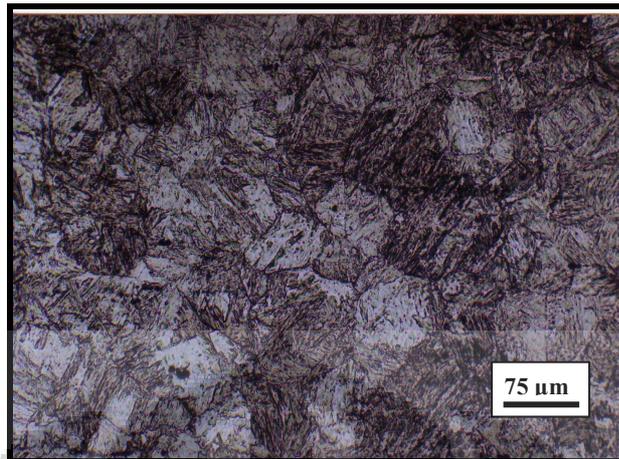
Gambar 4.48. Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 2. 200x



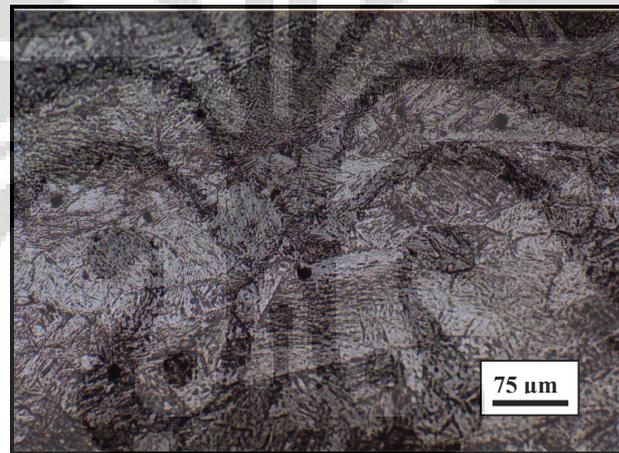
Gambar 4.49. Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 3. 200x



Gambar 4.50. Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 8. 200x



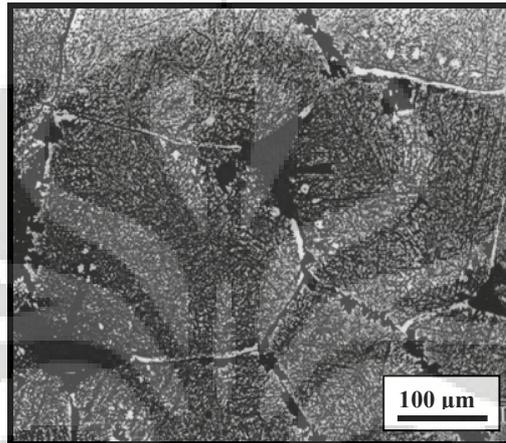
Gambar 4.51. Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 28. 200x



Gambar 4.52. Foto Mikro Batas Butir Austenit Metode Etsa Larutan Picral Lewat Jenuh Modifikasi. Sampel 30. 200x

Larutan etsa ini merupakan modifikasi dari larutan etsa lewat jenuh (*supersaturated picric acid*)^[11] yang diperoleh dengan melarutkan 30 gr asam picric dengan 100 mL methyl alcohol selama 1-2 hari lalu ditambahkan dengan 5-10 tetes HCl dan 5-10 tetes Teepol. Etsa dilakukan dalam temperatur kamar selama 1 menit. Secara keseluruhan hasil foto mikro dengan metode etsa larutan picral lewat jenuh modifikasi menghasilkan penampakan batas butir fasa austenit yang belum cukup jelas. Dimana belum tampak adanya bentuk poligon yang jelas sebagai batas butir dari fasa austenit dengan orientasi berbeda. Namun sebenarnya sudah ada kecenderungan untuk membentuk batas butir austenit yang ditunjukkan

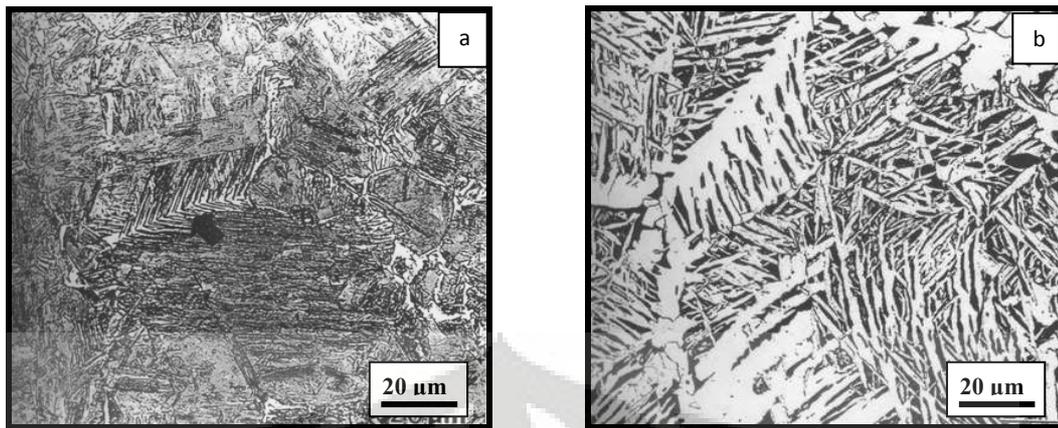
dengan adanya garis-garis kasar berwarna putih dengan orientasi berbeda seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.47 sampel 1, gambar 4.48 sampel 2 dan gambar 4.50 sampel 8. Berdasarkan literatur, penampakan area putih yang terlihat pada batas butir austenit ini mengindikasikan adanya segregasi yang disebabkan oleh sulfur ataupun fosfor^[16]. Penampakan segregasi fosfor pada batas butir austenit prior dapat dilihat pada gambar 5.2 berikut.



Gambar 4.53. Penampakan Area Putih di Batas Butir Austenit Mengindikasikan Segregasi Fosfor Pada *As Cast ASTM A36 Steel Slab*. Etsa 4% Picral dan HCl. 100x^[16]

Segregasi tersebut dapat terjadi selama pemanasan yang berlebih, seperti pada baja tempa yang dipanaskan hingga 1370 °C. Terkadang segregasi ini sulit untuk dideteksi menggunakan mikroskop optik, kecuali dengan perbesaran tinggi atau dengan SEM. Namun tampaknya kondisi tersebut kemungkinan besar sulit terjadi dikarenakan penggunaan temperatur pemanasan hanya mencapai 1150 °C.

Sumber literatur lainnya memberikan penjelasan bahwa penampakan area berwarna putih pada batas butir austenit tersebut menandakan penampakan *widmenstatten* ferit yang berwarna putih (terang)^[16]. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi nukleasi ferit pada batas butir austenit yang muncul akibat laju pendinginan yang kurang cepat^[16].



Gambar 4.54. (a) Nukleasi Ferit Pada Batas Butir Austenit Baja AISI/SAE 1060. Etsa 2% nital. 500x ; (b) Widmenstatten Ferit Baja AISI/SAE 1025. Etsa 4% picral 100x ^[16].

Penampakan *widmenstatten* ferit ini seringkali ditemukan pada batas butir austenit dikarenakan proses pendinginan yang kurang cepat dimana terdapat rentang waktu yang terlalu lama sejak sampel keluar dari dapur sampai menuju media pendinginan. Penggunaan asam picric yang lewat jenuh ternyata belum dapat memberikan penampakan batas butir fasa austenit yang optimal. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lain yaitu temperatur larutan dan waktu pengetsaan yang kurang optimal.

Berdasarkan literatur, penampakan batas butir austenit akan mudah diamati dengan jelas apabila diperoleh fasa matriks *martensite*^[13]. Hal ini terbukti dengan diperolehnya penampakan fasa martensit pada foto mikro dengan larutan etsa lewat jenuh yang ditandai dengan penampakan seperti jarum-jarum berwarna gelap yang berada ditengah-tengah batas butir austenit. Penampakan martensit ini dapat jelas terlihat pada gambar 4.47 sampel 1, gambar 4.48 sampel 2 dan gambar 4.49 sampel 3. Apabila dianalisa dari kadar karbon dan media pendingin air sebenarnya pembentukan fasa martensit ini tergolong sulit terjadi karena kadar karbon dari baja HSLA ini hanya 0.0085 %wt dan tergolong sangat rendah namun dengan adanya penambahan paduan seperti Mn 1.45 %wt, Nb 0.028 %wt dan Si 0.22 %wt maka akan mempermudah pembentukan fasa martensit.

4.3 Pengaruh Temperatur Deformasi dan Besar Deformasi (% Reduksi) Pada Proses Canai Panas Terhadap Penampakan Batas Butir Austenit.

Deformasi memberikan pengaruh terhadap proses etsa untuk menampilkan batas butir austenit. Seperti yang ditunjukkan oleh foto mikro untuk sampel 1, 8 dan 28 dengan pemberian deformasi terbesar (30 %) untuk semua metode etsa dapat diperoleh penampakan batas butir austenit yang lebih jelas dibandingkan foto mikro sampel lainnya. Sampel dengan deformasi 20 % memberikan hasil yang kurang maksimal untuk semua metode.

Pada proses canai panas dapat terjadi perubahan struktur mikro dan butir yang diperoleh dengan pengontrolan temperatur serta besar deformasi. Perubahan struktur mikro ini mengakibatkan terjadinya perubahan kerapatan dislokasi dan perubahan distorsi dalam atom. Pemberian deformasi ini mengakibatkan meningkatnya besar tegangan yang dimiliki karena makin rapatnya dislokasi yang merupakan cacat kristal^[18]. Sebagaimana diketahui daerah pada suatu material yang memiliki tegangan yang lebih tinggi akan bersifat lebih anodik (mudah terkorosi/teroksidasi), sedangkan bagian yang tegangannya lebih rendah akan bersifat katodik^[18]. Hal ini menandakan terjadinya perbedaan potensial antara daerah yang bersifat katodik dan daerah anodik sehingga dapat menciptakan sel korosi galvanis.

Perbedaan potensial juga dapat terjadi akibat adanya perubahan struktur mikro itu sendiri tanpa melihat adanya perbedaan tegangan antar daerah katodik dan anodik. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan energi bebas antara struktur mikro terutama pada daerah butirnya dengan daerah batas butirnya^[19]. Energi bebas pada batas butir memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada daerah butir, sehingga apabila batas butir meningkat akibat perlakuan deformasi, maka akan semakin tinggi pula energi bebas dan potensial pun akan menjadi negatif, sehingga laju korosi material tersebut akan meningkat. Berlaku pula untuk sebaliknya yaitu apabila batas butir berkurang karena deformasi yang rendah maka energi bebas pun akan menurun dan potensial menjadi positif sehingga laju korosinya akan menurun^[19].

Berdasarkan teori diatas proses korosi dan laju korosi yang terjadi ini dapat dikontrol sebagaimana terjadi dalam proses etsa dimana sampel yang mengalami deformasi akan dikondisikan dalam lingkungan korosif dengan memberikan larutan etsa sebagai elektrolit dalam waktu tertentu. Dengan demikian proses etsa akan mengkondisikan daerah yang ingin ditampilkan dalam hal ini batas butir austenit menjadi bersifat lebih anodik (potensial rendah) dengan tegangan yang lebih tinggi agar lebih mudah dan lebih cepat terkorosi^[5]. Kemudian dengan semakin besarnya deformasi yang diberikan maka akan menurunkan ukuran butir yang berarti meningkatkan jumlah batas butir^[5] yang berakibat pada peningkatan energi bebas sehingga menghasilkan perbedaan tegangan dan potensial yang lebih besar. Semakin besar perbedaan potensial yang dihasilkan dari perbedaan tegangan dan energi bebas dibatas butir akan mengakibatkan semakin mudah terjadi korosi pada daerah batas butir. Artinya proses etsa atau korosi terkontrol untuk menampilkan batas butir austenit akan semakin mudah terjadi apabila besar deformasi yang diberikan semakin meningkat. Pada akhirnya penampakan batas butir austenit akan semakin mudah ditampilkan seiring dengan peningkatan besar deformasi.

Pengaruh temperatur deformasi dapat dilihat pada gambar foto mikro sampel 3 dengan temperatur deformasi yang paling tinggi (1060 °C) untuk semua metode etsa penampakan batas butirnya kurang optimal. Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan temperatur deformasi yang tinggi dimana akan dihasilkan butir akhir yang berukuran besar akibat terjadi rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Sesuai dengan teori mengenai pengaruh besar deformasi terhadap penampakan batas butir austenit, dimana deformasi yang besar berhubungan dengan kehalusan butir dan kemudahan pengamatan batas butir austenit, maka dengan semakin besarnya ukuran butir karena temperatur deformasi yang terlalu tinggi akan menyebabkan semakin sulit menampilkan batas butir austenit. Sedangkan untuk foto mikro sampel 8 dengan temperatur deformasi yang paling rendah memberikan hasil penampakan batas butir austenit yang lebih baik pada semua metode.

Berdasarkan literatur, penampakan batas butir austenit akan mudah diamati dengan jelas apabila diperoleh fasa matriks *martensite*^[13]. Hal ini terbukti dengan diperolehnya penampakan fasa martensit pada foto mikro dengan larutan

Universitas Indonesia

etsa lewat jenuh yang ditandai dengan penampakan seperti jarum-jarum berwarna gelap yang berada ditengah-tengah batas butir austenit. Penampakan martensit ini dapat jelas terlihat pada gambar 4.47 sampel 1, gambar 4.48 sampel 2 dan gambar 4.49 sampel 3. Apabila dianalisa dari kadar karbon dan media pendingin air sebenarnya pembentukan fasa martensit ini tergolong sulit terjadi karena kadar karbon dari baja HSLA ini hanya 0.0085 %wt dan tergolong sangat rendah namun dengan adanya penambahan paduan seperti Mn 1.45 %wt, Nb 0.028 %wt dan Si 0.22 %wt maka akan mempermudah pembentukan fasa martensit.

Dari data perlakuan sampel selama proses TMCP, secara teoritis seharusnya penampakan batas butir austenit akan lebih mudah terlihat pada sampel 8. Hal ini dikarenakan perlakuan pada sampel 8 selama proses TMCP paling mendukung untuk memperoleh penampakan batas butir austenit berdasarkan teori diatas, dimana diberikan temperatur pemanasan 1150 °C yang telah mencapai austenisasi lalu penggunaan temperatur deformasi 865 °C yang mencegah terjadinya rekristalisasi dan pertumbuhan butir yang berlebihan serta besar deformasi yang tergolong tinggi (30 %). Memang pada kenyataannya tidak semua hasil foto mikro pada sampel 8 untuk semua metode etsa modifikasi memberikan hasil yang jelas namun sebagian besar dari hasil foto mikro untuk sampel 8 telah menunjukkan penampakan batas butir austenit yang jelas.

4.4 Pengaruh Komposisi Larutan Etsa, Temperatur Larutan Etsa, Temperatur Sampel dan Waktu Etsa

Komposisi larutan etsa modifikasi menggunakan kadar asam picric sebesar 2 gr, 50 mL aquades, 5-10 tetes Teepol, dan 5-10 tetes HCl. Dengan menggunakan asam picric dalam jumlah normal dan tidak lewat jenuh menyebabkan asam picric dapat larut sempurna dan tidak mengkristal^[13]. Dengan perlakuan pemanasan terlebih dahulu pada temperatur 80-90 °C sebelum larutan digunakan, akan menghasilkan asam picric yang telah tercampur sempurna serta dapat meningkatkan kualitas kinerja dari larutan tersebut. Lain halnya apabila digunakan asam picric yang lewat jenuh (>10gr), asam picric akan sulit larut karena batas kelarutan asam picric dalam larutan tersebut hanya 6 gr sehingga akan cenderung mengkristal^[13]. Sehingga untuk melarutkannya perlu

Universitas Indonesia

pengendapan selama kurang lebih 1-2 hari sampai diperoleh larutan asam picric yang bebas dari endapannya^{[3]&[4]}. Hal ini berdampak pada tidak akuratnya kadar asam picric yang dipakai karena adanya endapan asam picric yang tidak terpakai.

Penggunaan zat pengoksidasi HCL dan wetting agent Teepol pada larutan etsa modifikasi kurang lebih berpengaruh terhadap kualitas penampakan batas butir austenit yang dihasilkan. Selama masih dalam range konsentrasi yang aman berdasarkan hasil *trial and error* maka penambahan zat pengoksidasi HCL dan wetting agent Teepol ini dapat meningkatkan ketajaman penampakan batas butir austenit hingga mencapai ketajaman maksimum^[15]. Namun apabila konsentrasinya melebihi range konsentrasi optimal berdasarkan hasil *trial and error* maka malah merusak dan memperburuk penampakan batas butir austenit. Berdasarkan hasil *trial and error* serta hasil foto mikro yang diperoleh untuk penggunaan metode etsa larutan etsa modifikasi ditetapkan konsentrasi yang sesuai untuk zat pengoksidasi HCL 5-10 tetes dan wetting agent Teepol 5-10 tetes.

Penggunaan temperatur larutan etsa sekitar 80-90 °C berdampak pada kecepatan reaksi dan peningkatan energi bebas dibatas butir austenit sehingga reaksi korosi terkontrol yang dilakukan akan semakin cepat terjadi dan lebih mudah mengkorosi/menyerang batas butir austenit dikarenakan tersedianya energi untuk reaksi di batas butir. Selain itu juga untuk menghindari asam picric yang digunakan dalam larutan etsa kembali mengkristal apabila digunakan temperatur larutannya pada temperatur ruang. Apabila asam picric yang telah larut kembali mengkristal maka dapat menyebabkan menurunnya kinerja larutan etsa untuk menampakkan batas butir austenit. Serupa pengaruhnya dengan menggunakan temperatur sampel sekitar 50-60 °C. Temperatur sampel sekitar 50-60 °C diperoleh dengan mengeringkan/memanaskan sampel pada alat pengering/*dryer* selama 3-5 menit. Namun temperatur sampel hanya membantu mengoptimalkan reaksi, pengaruh terbesar terdapat pada penggunaan temperatur larutan yang mencapai 80-90 °C.

Untuk waktu pengetsaan, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, apabila dibandingkan antara waktu pengetsaan selama 30 detik dan 5 menit, maka akan diperoleh penampakan batas butir austenit yang lebih baik apabila dietsa

Universitas Indonesia

selama 5 menit. Kecenderungan yang terjadi apabila menggunakan waktu pengetsaan selama 30 detik, reaksi penyerangan batas butir belum terjadi secara optimal dan menyeluruh. Hal ini dapat dilihat pada beberapa gambar hasil pengetsaan selama 30 detik yang menunjukkan batas butir austenit yang masih tipis terlihat, samar-samar, belum berbentuk poligon dan belum tersebar merata (hanya sebagian yang cukup jelas terlihat, sebagian lagi tidak). Dengan semakin lamanya waktu pengetsaan secara teoritis akan semakin mengoptimalkan reaksi pengetsaan yang berarti akan memberikan penampakan batas butir yang semakin jelas^[12]. Namun perlu diperhatikan bahwa penggunaan waktu etsa yang terlampaui lama justru malah akan berdampak buruk (over etsa), baik pada permukaan sampel maupun terhadap penampakan batas butirnya^[12]. Permukaan sampel akan rusak/gosong apabila terlalu lama dietsa dan penampakan batas butir akan sulit terlihat karena adanya produk korosi berlebih yang menghalangi struktur mikro dibawahnya^[13]. Berdasarkan gambar hasil penampakan batas butir austenit dengan waktu etsa 5 menit, diperoleh kualitas penampakan batas butir yang baik dan jelas. Sehingga penggunaan waktu etsa selama 5 menit diperkirakan telah cocok dipakai untuk penelitian ini mengingat faktor lain yaitu temperatur larutan dan temperatur sampel yang telah dioptimalkan.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Dari hasil penelitian, diperoleh penampakan batas butir yang terbaik dan sangat jelas pada semua sampel dengan menggunakan metode etsa larutan etsa hasil modifikasi dengan temperatur larutan 80-90 °C, temperatur sampel 50-60 °C dan waktu pengetsaan selama 5 menit.
2. Temperatur deformasi yang semakin tinggi akan menyebabkan terjadinya rekristalisasi dan pertumbuhan butir yang semakin optimal sehingga dihasilkan butir dengan ukuran besar setelah proses pendinginan. Semakin besar ukuran butir akan mempersulit pengamatan batas butir austenit.
3. Peningkatan besar deformasi (% reduksi) dapat meningkatkan mekanisme penghalusan butir, dengan ukuran butir yang lebih kecil dan seragam maka akan meningkatkan jumlah batas butir yang berakibat pada peningkatan energi bebas dibatas butir. Peningkatan energi bebas ini akan mempermudah terjadinya reaksi pada proses etsa sehingga batas butir austenit semakin mudah ditampilkan.
4. Penggunaan asam picric dengan konsentrasi tidak lewat jenuh menyebabkan asam picric dapat larut sempurna dan tidak mengkristal sedangkan penambahan *wetting agent Teepol* dalam kadar normal akan meningkatkan ketajaman penampakan batas butir austenit. Penggunaan temperatur etsa sekitar 80-90 °C dan temperatur sampel 50-60 °C berdampak pada kecepatan reaksi dan peningkatan energi bebas dibatas butir austenit sehingga reaksi penampakan batas butir akan semakin cepat dan mudah terjadi.
5. Dengan semakin lamanya waktu pengetsaan akan memberikan penampakan batas butir yang semakin jelas. Namun waktu etsa yang terlalu lama dapat berakibat terjadinya *over-etching* yang dapat merusak permukaan sampel.

DAFTAR REFERENSI

- [1] “*High Strength Low Alloy*”. Diakses pada tanggal 18 mei 2010 dari website <http://www.key-to-steel.com//HSLA/>
- [2] “*Control of High Strength Low Alloy (HSLA) Steel Properties*,” yang diakses pada tanggal 20 Mei 2010 dari key-to-steel <http://www.key-to-steel.com/>
- [3] A.M. ELWAZRI, P. WANJARA, and S. YUE, *Effect of Prior-Austenite Grain Size and Transformation Temperature on Nodule Size of Microalloyed Hypereutectoid Steels*. Materials Technology Laboratory. Ottawa, Canada. 2004.
- [4] L. JIANG, A. O. HUMPHREYS and J. J. JONAS. *Effect of Silicon on the Interaction between Recrystallization and Precipitation in Niobium Microalloyed Steels*. Department of Mining, Metals & Materials Engineering, McGill University. Canada. 2003.
- [5] Sidney Avner, *Introduction to Physical Metallurgy* (Singapore: McGraw-Hill International, 1974), hal 135;357
- [6] William D. Callister, Jr., *Materials Science and Engineering An Introduction*. (USA: 2003).
- [7] ASM Handbook Volume 01, *Irons, Steels, and High-Performance Alloys, High Strength Structural and High Strength Low Alloy Steel*, hal 951-1009.
- [8] K.E Thelning, *Steel and Its Heat Treatment* (London: Butterworth, 1981)
- [9] ASM Handbook Volume 04, *Heat Treating, Thermomechanical Process of Steel*, hal 566-568.
- [10] G. Krauss, *Heat Treatment and Processing Principles* (USA: ASM International, 1995)
- [11] ASM Handbook Volume 09, *Metallography and Microstructures, Metallography and Microstructure of Carbon and Low Alloy steel, Tabel of Chemical and Etchants*, hal 1436 dan 2629.
- [12] G.F.Van der Voort, *Metallography, Principles and Practice*. Technology and Engineering. Books.google.co.id. 1999

Universitas Indonesia

- [13] Chris North, "Etching to reveal grain boundaries," Experts Metallography Forum. 2007
- [14] American Society for Testing and Material. ASTM E 407-99 *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*
- [15] Ariati, Myrna. *Etchants Selection for High Metallographic Quality of HSLA-0.37%Nb Prior-Austenite Grain Boundaries*. Jurnal Teknologi. Depok 2000.
- [16] Febriani, Diah. "Evaluasi Larutan Etsa Terhadap Kualitas Penampakan Batas Butir Austenit Prior Baja HSLA -0.037%Nb". Skripsi. DTMM FT UI. 2006/2007.
- [17] Restudy, Julian. "Studi Morfologi Mikrostruktur dan Pengaruhnya Terhadap Laju Korosi antara Baja HSLA 0,029% Nb dan Baja Karbon Rendah Setelah Pemanasan Isothermal". Skripsi. DTMM FT UI. 2007/2008.
- [18] Dita Putra, Oggie Prima. "Transformasi Butir Austenit-Ferit Dengan Variasi Derajat Deformasi dan Pengaruhnya Terhadap Laju Korosi Baja HSLA 0.029% Nb". Skripsi. DTMM FT UI. 2007/2008
- [19] Alpalmy, Nandyo. "Analisa Ukuran Butir Ferit dan Laju Korosi Baja HSLA 0.029 %Nb setelah Canai Panas". Skripsi. DTMM FT UI. 2007/2008
- [20] Mangonon P. L., *The Principles of Material Selection for Engineering Desing*, Prentice Hall Inc., 1999.