



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH MIKROSTRUKTUR TERHADAP LAJU
KOROSI PADA MATERIAL API 5L SPESIFIKASI B DALAM
AIR FORMASI.**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**HAEKAL SOFYAN
0405040295**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

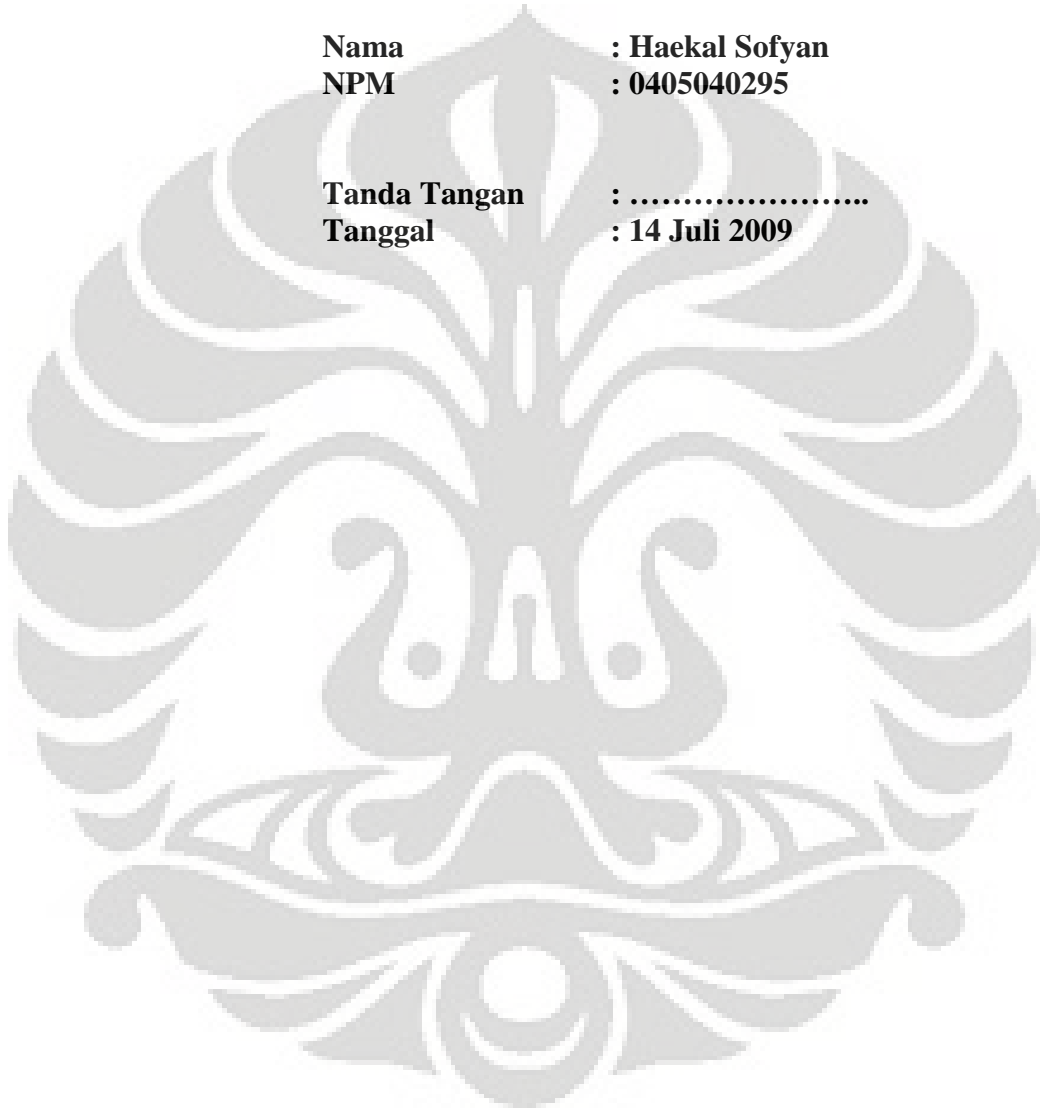
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Haekal Sofyan

NPM : 0405040295

Tanda Tangan :

Tanggal : 14 Juli 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Haekal Sofyan
NPM : 0405040295
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Studi Pengaruh Mikrostruktur terhadap Laju Korosi pada Material API 5L Spesifikasi B dalam Air Formasi

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Andi Rustandi, MT ()

Penguji 1 : Badrul Munir, ST, M.Sc, PhD ()

Penguji 2 : Prof.Dr.Ir Johny Wahyuadi ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 2 Juli 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

Ir. Andi Rustandi, MT

Selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.



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

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

Nama : Haekal Sofyan
NPM : 0405040295
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**Studi Pengaruh Mikrostruktur terhadap Laju Korosi pada Material API 5L
Spesifikasi B dalam Air Formasi**

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

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 14 Juli 2009
Yang menyatakan

(.....)

ABSTRAK

Nama : Haekal Sofyan
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Studi Pengaruh Mikrostruktur terhadap Laju Korosi pada Material API 5L Spesifikasi B dalam Air Formasi

Perbedaan sifat suatu material dengan grade yang sama sering kali terjadi. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan proses manufaktur. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan-perbedaan tersebut, dimana ketahanan korosi menjadi atribut khusus yang diujikan pada penelitian kali ini. Pengujian polarisasi dilakukan pada dua material dengan grade yang sama, yaitu pipa API 5L Spesifikasi B jenis seamless dan ERW dalam larutan air formasi. Laju korosi material ERW dalam larutan formasi adalah sebesar 6,015 dan 18,879 mpy. Sedangkan laju korosi material seamless terlihat lebih stabil, yaitu sebesar 3,037 dan 4,883 mpy. Ketidakstabilan laju korosi material ERW disebabkan oleh adanya mikrostruktur pearlit band. Mikrostruktur pearlit band membentuk anoda dan katoda tersendiri dalam mikrostruktur, disamping mengurangi ketahanan scale yang terbentuk oleh air formasi. Meskipun tidak dihasilkan suatu persamaan yang merumuskan hubungan antara pearlit band dengan ketahanan korosi, namun data-data yang ada dapat dijadikan acuan mengenai pengaruh mikrostruktur pearlit band terhadap ketahanan korosi suatu material.

Kata kunci: korosi, pearlit band, mikrostruktur.

ABSTRACT

Name : Haekal Sofyan
Study Program : Metallurgy & Materials Engineering
Title : Study The Effect of Microstructure againts Corrosion Rates of API 5L Grade B Material in Basic Sediment Water.

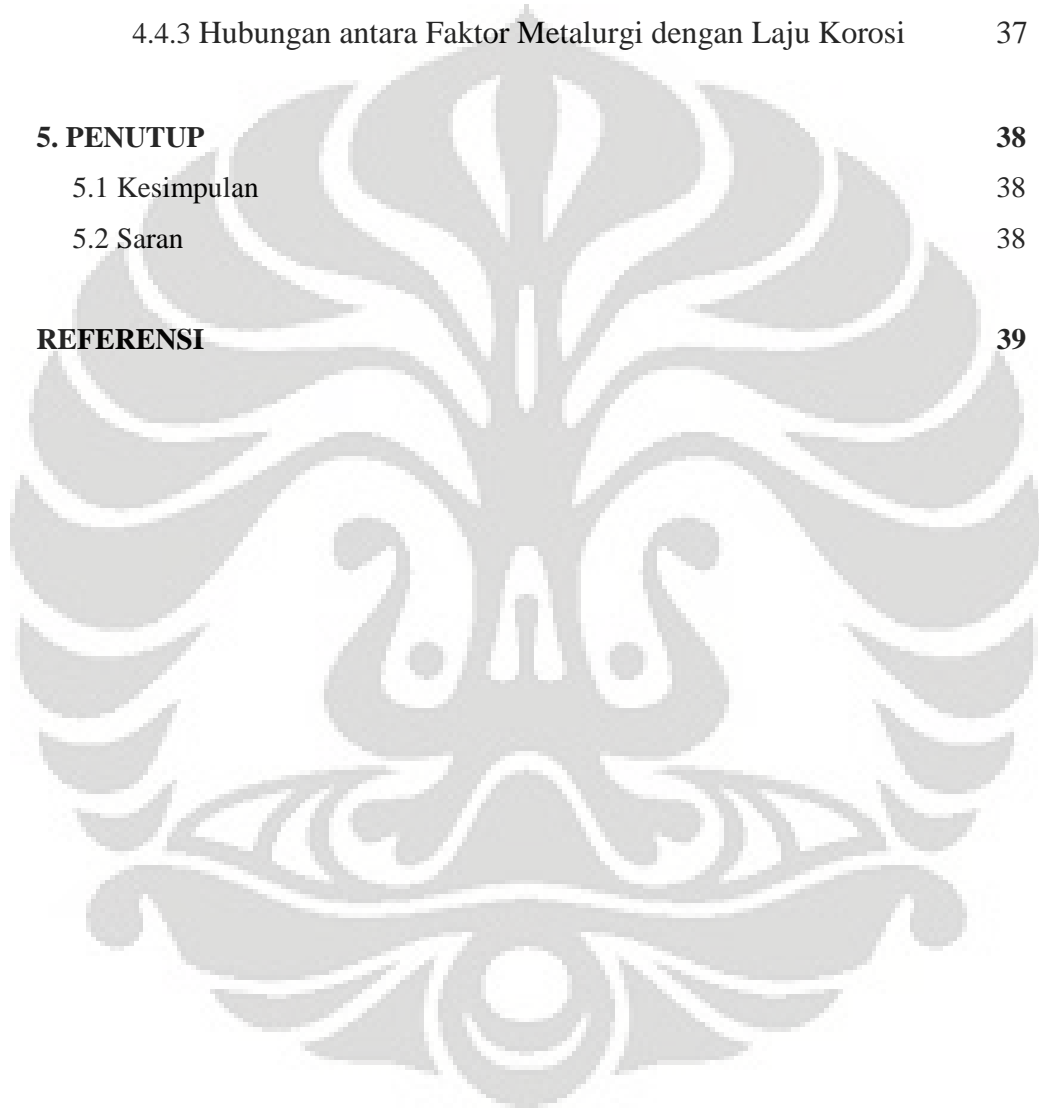
Variation in material properties within the same grade are a common occurrence. The main factor that causing it is the differences in manufacturing process. This study is done to analyze that cases, especially in corrosion resistance attribute. Polarization test is done to two material within the same grade, it is API 5L Grade B seamless and ERW. It is found that the two sample have different corrosion rate. The corrosion rate of ERW material is 6.015 and 18.879 mpy. Whereas the seamless material tend to have more stable corrosion rate, it is 3.037 and 4.883. The instability of corrosion rate in ERW material caused by pearlite bands microstructure.. Pearlite bands as the main factor that causing the low corrosion resistance in ERW material is the main topic in this study. Although there are no quantitative relationship between pearlite band and corrosion resistance, from the data found, it is worth to claim that the pearlite bands microstructure has a great influence againts corrosion resistance of one material.

Keywords: corrosion, pealite band, microstructure.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4. Sistematika Penulisan	2
2. DASAR TEORI	4
2.1 Korosi	4
2.2 Kriteria Pearlit Band	6
2.3 Proses Termomekanik	8
2.4 Pipa Aliran Minyak	19
2.5 Indeks Korosifitas	22
3. METODE PENELITIAN	26
3.1 Diagram Alir Penelitian	26
3.2 Pengujian Polarisasi	27
3.3 Pengujian Komposisi Air	29
3.4 Pengujian Komposisi	29
3.5 Pengamatan Struktur Mikro	29

4. DATA PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Komposisi Kimia	31
4.2 Mikrostruktur	31
4.3 Komposisi Air	35
4.4 Korosi	36
4.4.1 Hasil Uji Polarisasi	36
4.4.2 Mekanisme Korosi	36
4.4.3 Hubungan antara Faktor Metalurgi dengan Laju Korosi	37
5. PENUTUP	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran	38
REFERENSI	39



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Interpretasi dari hasil perhitungan Langelier Indeks (LI)	23
Tabel 2.2 Nilai LSI yang disempurnakan oleh Carrier	23
Tabel 2.3 Interpretasi dari hasil perhitungan	24
Tabel 2.4 Ryznar Index yang disempurnakan oleh Carrier	24
Tabel 2.5 Ion alkalinitas berdasarkan tingkatan pH	25
Tabel 4.1 Komposisi kimia sampel dan material API 5L Grade B	31
Tabel 4.2 Hasil analisa air	35
Tabel 4.3 Hasil uji polarisasi pada sampel ERW dan Seamless	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Model Sederhana Reaksi Elektrokimia dari Proses Korosi	5
Gambar 2.2	Energi Gibbs Molar untuk formasi ferit	7
Gambar 2.3	Pengaruh TMCP dalam memengaruhi besar butir	8
Gambar 2.4	Perubahan mikrostruktur <i>Thermomechanical Processing</i>	9
Gambar 2.5	Ilustrasi Tegangan Pada Proses Canai	10
Gambar 2.6	Ilustrasi Pertumbuhan Butir saat Canai Panas	11
Gambar 2.7	Skematis pengerolan pada <i>Thermomechanical Processing</i>	12
Gambar 2.8	Pergerakan batas butir	13
Gambar 2.9	Pengaruh partikel fasa kedua pada pertumbuhan butir	13
Gambar 2.10	Pertumbuhan butir austenit vs waktu temperatur konstan	14
Gambar 2.11	Proses Pertumbuhan butir sejalan peningkatan waktu	15
Gambar 2.12	Skematis Recovery, Rekristalisasi dan Pertumbuhan Butir	16
Gambar 2.13	Pembentukan Sub-butir	17
Gambar 2.14	Perbandingan Antara Rekristalisasi Dinamik dan Statik	18
Gambar 2.15	Pengelasan Pipa ERW Grafik	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 4.1	Foto mikrostruktur sampel ERW dengan perbesaran 100x	32
Gambar 4.2	Foto mikrostruktur sampel ERW dengan perbesaran 500x	32
Gambar 4.3	Foto mikrostruktur sampel seamless perbesaran 100x	33
Gambar 4.4	Foto mikrostruktur sampel seamless perbesaran 500x	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Grafik Hasil Uji Polarisasi

41



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Laju Korosi pada baja karbon tidak hanya ditentukan oleh kondisi elektrolit, tapi juga oleh komposisi kimia dan mikrostruktur. Lebih jauh lagi, laju korosi pada material ditentukan oleh perbedaan potensial yang disebabkan oleh adanya ketidakseragaman pada material tersebut. Ketidakseragaman ini dapat berskala besar hingga ratusan mikron. Ketidakseragaman ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain cacat yang terdapat pada struktur kristal, perbedaan fasa, adanya segregasi elemen atau fasa, dan juga inklusi. Kita ketahui bersama bahwa ketidakseragaman tersebut sekiranya dapat dikendalikan dengan pengaturan komposisi kimia, proses thermal, maupun proses mekanik pada material.

Penggunaan material, khususnya material baja karbon sebagai pipa penyalur minyak ditentukan oleh ketepatan desain dan ketahanan korosi material tersebut. Baja karbon yang digunakan pada pipa penyalur minyak dibuat berdasarkan standar *American Petroleum Institute* (API) spesifikasi 5L. Standar tersebut tidak memiliki spesifikasi komposisi serta mikrostruktur bahan. Adapun standar tersebut hanya dibuat berdasarkan spesifikasi kekuatan mekanis, seperti kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan ketangguhan material. Hal ini dapat menyebabkan adanya variasi yang signifikan pada komposisi dan mikrostruktur material, yang juga dapat berpengaruh terhadap ketahanan korosi material tersebut. Pada standar tersebut terdapat batasan tertentu untuk komposisi beberapa elemen seperti karbon, mangan, posfor, dan sulfur. Sedangkan untuk kadar unsur paduan seperti nikel, krom dan niobium tidak ada spesifikasi tertentu. Batasan karbon, mangan, posfor, dan sulfur yang dispesifikasikan untuk setiap grade mungkin berbeda untuk baja seamless dan ERW (*Electric Resistant Weld*). Demikian juga perbedaan komposisi dan mikrostruktur untuk setiap grade dengan proses manufaktur yang berbeda dapat menghasilkan material dengan ketahanan korosi yang berbeda-beda.

Pearlite band sebagai suatu bentuk variasi mikrostruktur merupakan salah satu penyebab berkurangnya ketahanan korosi material. Pearlite band sendiri adalah tekstur hitam memanjang yang terlihat pada foto mikro dan biasanya terbentuk akibat proses manufaktur bahan baku yang digunakan untuk pembuatan pipa.

Adapun penelitian ini akan membahas secara lebih terperinci mengenai pengaruh mikrostruktur pearlite band, disamping beberapa pembahasan mengenai pengaruh komposisi terhadap ketahanan korosi pada material API 5L spesifikasi B di dalam air formasi.

1.2. Tujuan Penelitian

Mempelajari dan menganalisa pengaruh mikrostruktur terhadap ketahanan korosi pada pipa API 5L Spesifikasi B ERW(*Electric Resistant Weld*). Lalu membandingkannya dengan pipa jenis seamless dengan grade yang sama.

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian dilakukan pada dua jenis pipa, yaitu pipa jenis ERW(*Electric Resistant Weld*) dan seamless yang meliputi :

1. Pengujian komposisi dengan Optical Emission Spectrometer
2. Pengujian komposisi air
3. Pengamatan mikrostruktur
4. Pengujian polarisasi

1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika ini dibuat agar konsep penulisan tersusun secara berurutan sehingga didapatkan kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika tersebut digambarkan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan

satu sama lain. Adapun sistematika penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Membahas mengenai latar belakang dari penelitian yang dilakukan, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

Bab II Dasar Teori

Dalam bab ini akan dijelaskan dasar teori mengenai korosi, pearlite band, *Thermo Mechanical Control Processing* dan pipa penyalur minyak.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini memberikan penjelasan mengenai hal-hal yang dilakukan selama penelitian dilakukan, menyangkut pengumpulan data dan informasi, preparasi sampel, hingga pengujian-pengujian yang dilakukan baik berupa angka, gambar, maupun grafik.

Bab IV Data Penelitian dan Pembahasan

Membahas mengenai pengolahan data dari hasil pengujian dan menghubungkannya dengan literatur sehingga didapatkan suatu analisa yang dapat menggambarkan pengaruh mikrostruktur terhadap ketahanan korosi pada pipa API 5L Spesifikasi B.

Bab V Kesimpulan

Membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Korosi

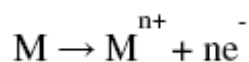
Korosi dapat didefinisikan sebagai kerusakan atau berkurangnya mutu suatu material baik material logam maupun non logam karena bereaksi dengan lingkungannya. Pada material logam, proses korosi melibatkan reaksi elektrokimia yaitu reaksi pelepasan elektron (reaksi oksidasi) dan penerimaan elektron (reaksi reduksi). Korosi pada logam dapat terjadi karena logam cenderung mencari bentuk senyawa yang lebih stabil seperti bentuk aslinya di alam yaitu dalam bentuk oksidanya.^[1]

Karena itu korosi dipengaruhi oleh sifat logam atau paduannya dan lingkungan. Faktor yang mempengaruhi korosi antara lain:

- a. **Logam** – struktur atom logam atau paduannya, komposisi, ketidakseragaman mikroskopik dan makroskopik, tegangan, dll.
- b. **Lingkungan** – kondisi lingkungan seperti sifat kimia, konsentrasi, pengotor, tekanan, temperatur, kecepatan, serta kondisi spesifik lainnya yang dapat mempengaruhi kecepatan, tingkat (dalam periode waktu) dan bentuk korosi
- c. **Interface logam/lingkungan** – Adanya lapisan oksida dapat mempengaruhi proses korosi.

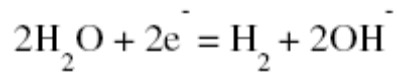
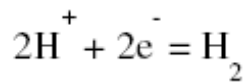
Secara umum, peristiwa korosi memiliki beberapa syarat yang harus terpenuhi, yaitu:

1. Anoda, merupakan bagian logam yang menjadi tempat terlepasnya elektron. Bagian anoda ini umumnya akan mengalami kerusakan karena atom-atom logam akan berubah menjadi ion-ionnya.

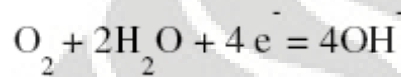
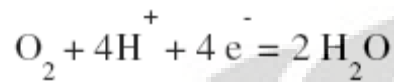


2. Katoda, merupakan tempat elektron ditangkap. Reaksi yang umumnya terjadi di katoda adalah

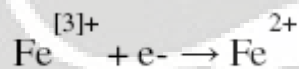
- a. Evolusi H₂ dari larutan asam atau netral:



b. Reduksi pelarutan oksigen pada larutan asam atau netral

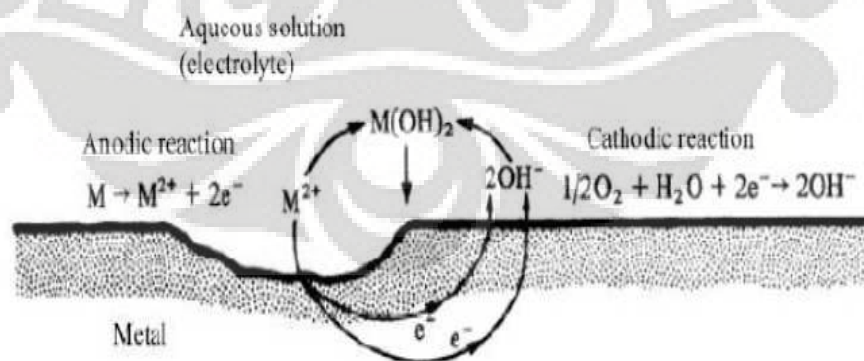


c. Reduksi dari oksidator yang terlarut pada reaksi redox seperti:



3. Elektrolit atau lingkungan korosif, hal ini akan memicu terbentuknya anoda dan katoda setempat.

4. Hubungan listrik antara anoda dan katoda, sambungan ini akan mengijinkan arus elektron mengalir dari anoda ke katoda.



Gambar 2.1 Model Sederhana yang Menunjukkan Reaksi Elektrokimia dari Proses Korosi^[1]

2.2 Kriteria Pearlit Band

Penelitian terkini menyebutkan bahwa pembentukan pearlite bands tergantung pada ikatan kimia dan suhu transformasi isothermal. Proses tersebut terjadi akibat adanya butir ferit yang ternukleasi secara terpusat dengan kecepatan berbeda dan membentuk rantai memanjang. Laju pertumbuhan ferit dirumuskan dengan:

$$\frac{dN}{dt} = N_n \frac{kT}{h} \exp \left\{ -\frac{\Delta G^* \lambda}{kT} \right\} \exp \left\{ -\frac{Q_D}{kT} \right\} \quad (2.1)$$

Dimana :

N = ajumlah nuclei,

N_n = jumlah *potential nucleation sites*,

k = konstanta Boltzman,

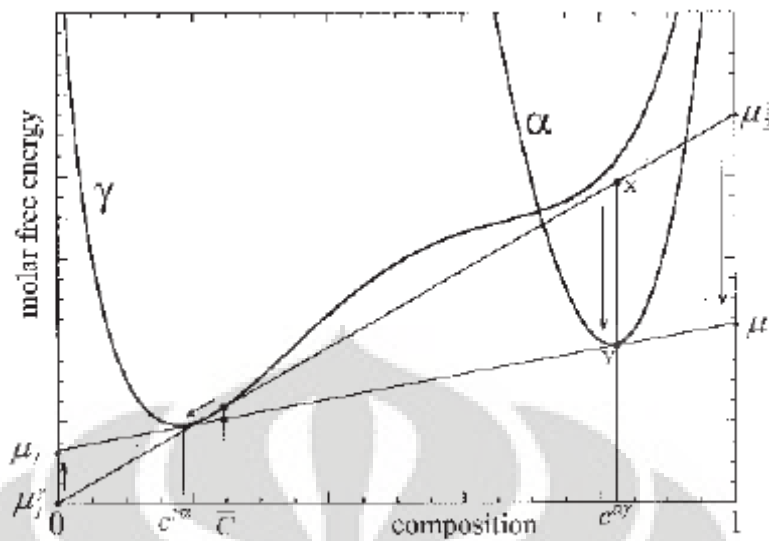
h = konstanta Planck

Q_d = energy aktivasi untuk *self-diffusion*

Dan

$$\Delta G^* = \frac{4 (z_2 \gamma_{\alpha\gamma} - z_1 \gamma_{\gamma\gamma})^3}{27 z_3 \Delta G_v^2} \quad (2.2)$$

ΔG adalah energy untuk terjadinya nukleasi pada batas butir. Persamaan 14 diperoleh dari nukleasi ferit pada butir austenite yang diasumsikan memiliki morfologi tetradaidecahedron. Pada model ini biasanya nukleasi ferit terjadi pada tepi atau pojok dari butir austenite: z_1, z_2, z_3 adalah parameter geometri yang ditentukan oleh titik nukleasi pada butir austenite: untuk nukleasi pada bagian tepi tetrakaidecahedron, $z_1 = 0,72, z_2 = 1,3, z_3 = 0,096$. *Driving force* untuk nukleasi per unit volume, ΔG_v dihitung untuk setiap jenis paduan material. Untuk paduan dengan komposisi tertentu C_k, μ_k^{α} adalah k komponen potensial kimia untuk austenite metastabil murni, μ_k adalah potensial kimia equilibrium dari elemen k dalam ferit pada temperature transformasi, dan ΔG_m diberikan oleh jarak XY pada gambar 2.2. [2]



Gambar 2.2 Energi Gibbs Molar untuk formasi ferit^[2]

Jika dirumuskan :

$$\Delta G_m = C_k^{\alpha\gamma} \cdot \mu_k^\gamma - C_k^{\alpha\gamma} \cdot \mu_k = C_k^{\alpha\gamma} \cdot (\mu_k^\gamma - \mu_k) \quad (2.3)$$

Rumus diatas mewakili tiap-tiap titik. Nilai ΔG_v diperoleh dengan membagi ΔG_m dengan volume molar ferit.

Lalu dengan persamaan:

$$r = \frac{(dN/dt)_{N1} - (dN/dt)_{N2}}{(dN/dt)_{N1}} = 1 - \exp \left\{ \frac{\lambda}{kT} (\Delta G_{N1}^* - \Delta G_{N2}^*) \right\} \quad (2.4)$$

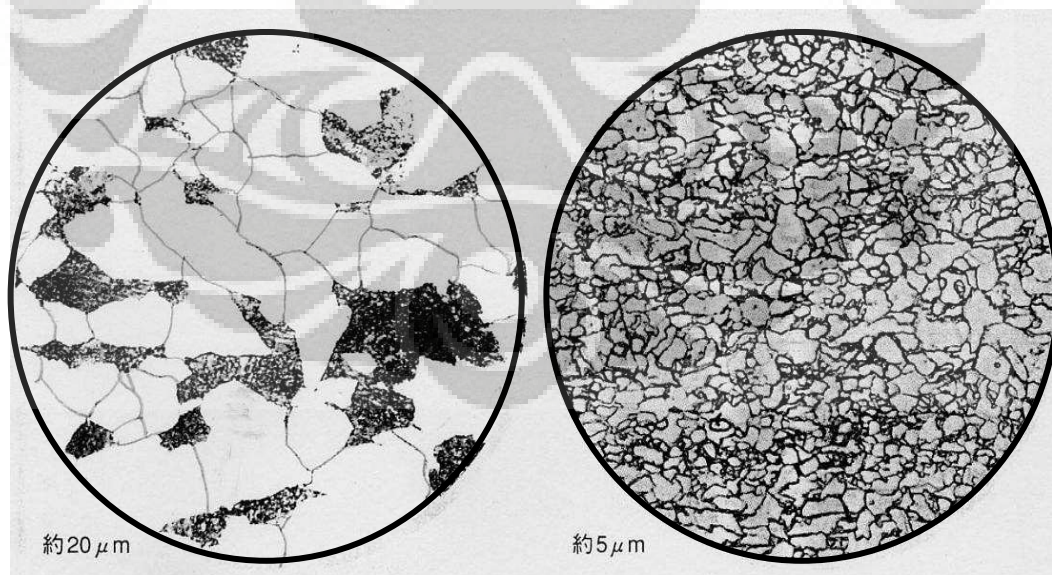
Dimana N1 dan N2 adalah dua rentang titik yang sekiranya dapat memberikan nilai r maksimum. Dapat diperoleh nilai r tertentu. Untuk nilai r yang memungkinkan terbentuknya pearlite band adalah $r \approx 0,06 - 0,08$

Rumusan ini dapat dijadikan dasar untuk mencegah terbentuknya pearlit band. Dengan hitungan tertentu dapat ditentukan paduan dan temperature perlakuan panas yang sekiranya dapat mencegah terbentuknya pearlit band.

2.3 Proses Termomekanik

Pada masa yang lalu, pengerolan pada canai panas/hot rolling digunakan hanya untuk mendapatkan dimensi nominal saja seperti ketebalan, lebar dan panjang. Karena persyaratan kualitas yang tinggi, perlakuan panas seperti normalizing atau Quench and Tempering perlu dilakukan sebagai proses lanjutannya. Kini dengan persyaratan kualitas yang lebih tinggi lagi, proses baru untuk plate rolling telah ditemukan. Proses itu adalah TMCP (*Thermo Mechanical Control Processing*).

Proses termomekanik merupakan suatu proses untuk mengontrol mikrostruktur suatu material selama proses pembuatannya untuk menghasilkan sifat mekanis yang baik. Secara umum, proses termomekanik terdiri dari proses pemanasan awal (*reheating*), canai panas (*hot rolling*), serta pendinginan (*cooling*)^[3]. Proses pemanasan ini sangat penting dalam menghasilkan sifat mekanis benda jadi, sebab melalui pemanasan awal dapat diprediksi mikrostruktur akhir yang terbentuk.

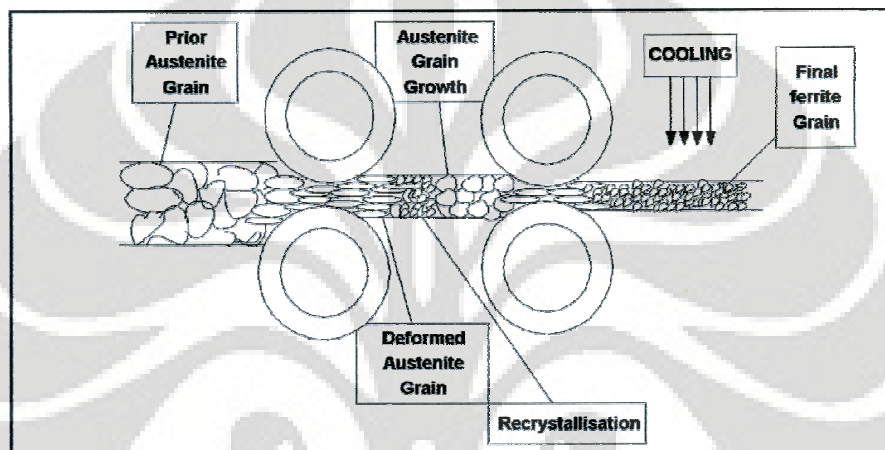


Conventional rolling

TMCP

Gambar 2.3 Pengaruh TMCP dalam memengaruhi besar butir^[3]

Pengontrolan butir austenit terjadi saat proses pemanasan awal. Hal yang mempengaruhi pertumbuhan besar butir austenit yaitu temperatur *reheating* dan waktu tahan. Makin tinggi temperatur, maka ukuran butir menjadi semakin besar. Begitu juga halnya waktu tahan, makin lama waktu tahan, maka besar butir austenit menjadi semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin tinggi temperatur dan waktu tahan, maka kemampuan butir untuk berdifusi ke butir lainnya menjadi semakin besar pula.



Gambar 2.4 Perubahan mikrostruktur selama *Thermomechanical Processing*^[4]

Pengontrolan butir austenit selanjutnya terjadi setelah proses canai panas, yaitu pada saat interval waktu antara canai panas pertama dan kedua, atau interval waktu antara canai panas dengan pendinginan, akan memberikan kesempatan pada butir austenit untuk mengalami recovery, rekristalisasi dan bahkan pertumbuhan butir. Untuk menghasilkan butir ferit dengan ukuran yang halus di akhir proses, maka butir austenit juga harus dibuat menjadi halus.

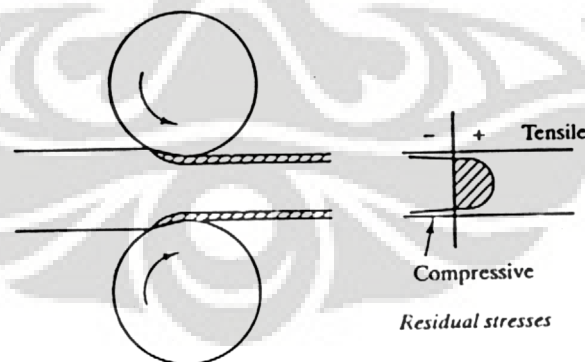
2.3.1 Proses Canai Panas

Proses canai adalah suatu proses kompresi tidak langsung. Gaya atau tegangan yang digunakan adalah tekanan radial dari canai itu sendiri. Tekanan ini akan mendeformasi material dan menarik material melalui celah (gap) canai. Proses ini dapat dibandingkan dengan proses kompresi atau tempa, hanya saja berlangsung secara kontinyu. Proses canai ini paling banyak digunakan dan oleh

karena itu banyak sekali variasi yang dipergunakan. Biasanya tergantung pada pengaturan dari canai pada mills atau pengaturan stands untuk canai.^[5]

Proses canai panas sebenarnya adalah proses canai dengan temperatur diatas temperatur rekristalisasi dari material. Oleh karena itu, regangan yang terjadi karena proses deformasi material akan dihilangkan oleh proses rekristalisasi.^[6]

Regangan yang terjadi pada proses deformasi material akan menghasilkan tegangan sisa atau *residual stress*. Hal ini disebabkan karena pada deformasi material (dalam pengerjaan dingin) akan terjadi deformasi tidak homogen. Deformasi tidak homogen ini terjadi karena adanya perbedaan friksi antara benda kerja dengan alat pembentuk (*forming tools*). Seperti pada proses canai dingin, dengan persen reduksi area yang lebih rendah, deformasi akan terpusat pada permukaan material dimana friksi antara canai dan benda kerja terjadi. Lapisan permukaan material benda kerja akan berusaha mengembang, sedangkan lapisan dalam material akan mencegah pengembangan lapisan di atasnya. Dengan demikian permukaan benda kerja akan mengalami tegangan tekan (*compressive stress*) sedangkan lapisan dalam akan mengalami tegangan tarik (*tension stress*). Ilustrasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.5. Tegangan–tegangan inilah yang dikenal dengan tegangan sisa. Tegangan sisa sangat berpengaruh pada sifat – sifat material dan kinerja dari material itu sendiri.



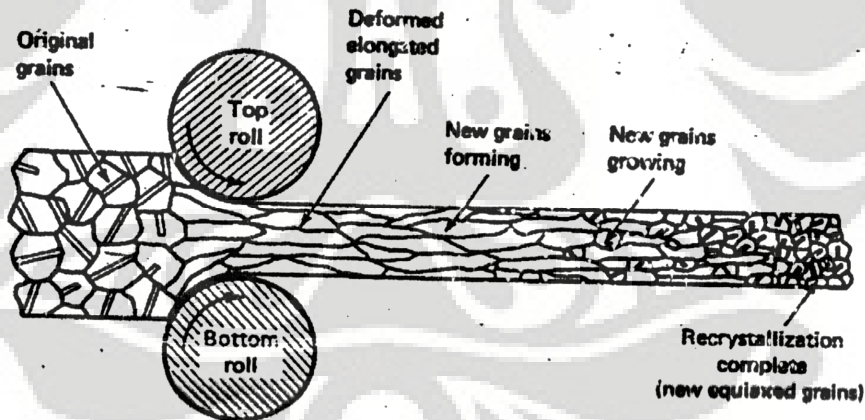
Gambar 2.5 Ilustrasi Tegangan Pada Proses Canai^[6]

Secara umum, diperlukan pengurangan atau penghilangan tegangan sisa yang dihasilkan oleh pengerjaan dingin untuk meningkatkan sifat material. Hal ini dapat dicapai dengan beberapa cara, yaitu dengan pelakuan panas atau mekanis.

Perlakuan mekanis yaitu memberikan tegangan yang berlawanan atau melakukan deformasi plastis lanjut yang bertujuan memberikan kesempatan lepasnya tegangan yang tidak seragam. Sedangkan perlakuan panas dilakukan pada temperatur tertentu pada material, atau sering disebut stress-relieving treatment.^[6]

Proses canai panas merupakan suatu proses dimana proses deformasi langsung diimbangi dengan proses perlakuan panas, sehingga tidak terjadi tegangan sisa. Yang terjadi adalah proses pembentukan dislokasi dan rekristalisasi, sehingga akan didapat material dengan sifat dan kinerja yang relatif lebih baik.^[7]

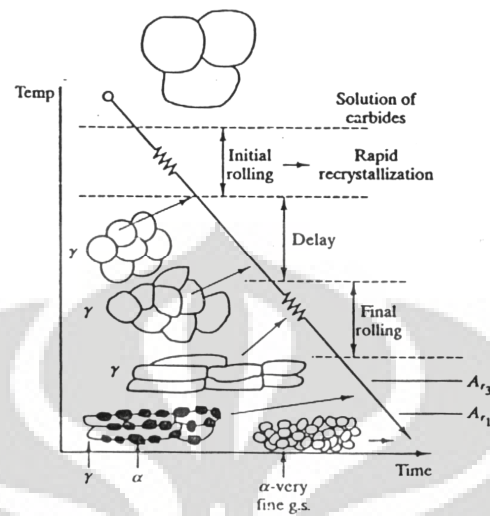
Faktor yang penting dalam proses canai panas adalah temperatur akhir proses. Proses canai panas harus berakhir pada temperatur tepat diatas temperatur rekristalisasi untuk memperoleh ukuran butir yang kecil dan halus. Jika temperatur akhir jauh diatas temperatur rekristalisasi, pertumbuhan butir akan muncul. Sedangkan jika temperatur akhir dibawah temperatur rekristalisasi, akan terjadi pengerasan regangan (strain hardening). Gambar 2.6. menunjukkan ilustrasi dari pertumbuhan butir pada saat dilakukan proses canai panas.



Gambar 2.6 Ilustrasi Pertumbuhan Butir saat Canai Panas^[7]

Pada temperatur diatas temperatur rekristalisasi, material akan menjadi lebih lunak dan lebih ulet dibandingkan pada temperatur ruang, sehingga tidak dibutuhkan tenaga yang besar untuk deformasi. Karena tidak ada pengerasan regangan, maka reduksi ukuran material yang tebal bisa dilakukan. Tetapi keakuratan dari ukuran hasil proses canai kurang baik. Untuk itu, pada thermomechanical processing, biasanya canai panas merupakan tahap pertama

yang nantinya akan diteruskan dengan proses canai dingin. Skematis dari thermomechanical processing dapat dilihat pada Gambar 2.7.

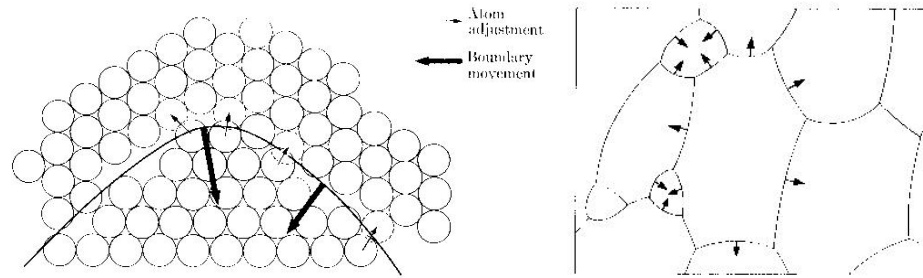


Gambar 2.7 Skematis pengerolan pada Thermomechanical Processing^[6]

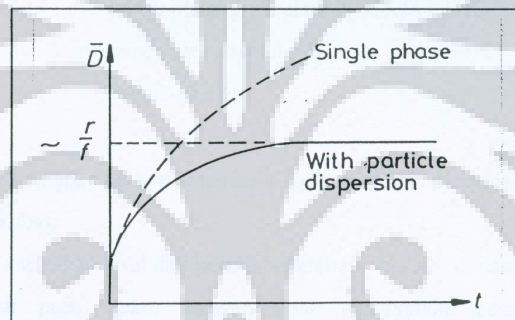
2.3.2 Pertumbuhan Butir Austenit pada Kondisi Isotermal

Pertumbuhan butir terjadi karena adanya pembesaran butir tertentu dan terdifusinya butir yang lebih kecil. Batas butir memiliki atom-atom dengan energi bebas yang lebih tinggi daripada 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. Migrasi batas butir pada dasarnya adalah difusi atom-atom pada batas butir. Energi minimum yang dibutuhkan agar atom-atom dapat berdifusi untuk memperoleh keadaan yang lebih stabil dinamakan energi aktivasi untuk pertumbuhan butir (Q). Migrasi batas butir akan mengurangi energi bebas batas butir serta meningkatkan ukuran butir.

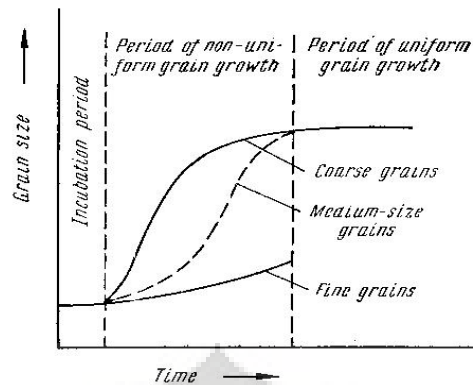
Jika butir berbentuk melengkung, atom cenderung stabil pada permukaan cekung daripada permukaan cembung, sehingga atom tersebut akan menarik atom pada permukaan cembung. Perpindahan panas pada temperatur yang tinggi akan memindahkan butir dengan permukaan cembung pada butir pada permukaan cekung. Butir yang mempunyai permukaan berbentuk cembung akan hilang menjadi butir yang besar.

Gambar 2.8 Pergerakan batas butir^[8]

Butir austenit muncul secara langsung begitu terjadi proses transformasi dari perlit ke austenit. Ukurannya tergantung pada jumlah inti yang terbentuk sesuai waktu dan kecepatan pertumbuhan. Semakin banyak fasa karbida yang tersebar semakin kecil ukuran austenit.^[3]

Gambar 2.9 Pengaruh partikel fasa kedua pada pertumbuhan butir^[9]

Butir austenit biasanya sangat kecil ($500-1000 \mu\text{m}^2$) saat pertama kali terbentuk, tetapi tumbuh secara cepat jika ditahan untuk beberapa lama pada temperatur isothermal atau dengan peningkatan temperatur. Butir austenit tumbuh secara spontan dan karenanya menurunkan energi bebas dengan mengurangi permukaan butir. Pertumbuhan butir terjadi akibat pembesaran butir tertentu dan terdifusinya butir yang lebih kecil yang secara termodinamik kurang stabil. Pada awalnya, dengan menahan butir austenit pada temperatur konstan tidak akan terlihat pertumbuhan butir secara signifikan. Tahap ini disebut sebagai tahap inkubasi. Semakin tinggi temperatur, semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk inkubasi. Tahap kedua akan terlihat adanya pertumbuhan ukuran butir yang tidak seragam (*non-uniform grain growth*). Setelah ini, pertumbuhan butir cenderung konstan dan penambahan waktu tahan lebih lanjut akan menyebabkan ukuran butir menjadi sama (*uniform grain growth*).



Gambar 2.10 Pertumbuhan butir austenit vs waktu pada temperatur konstan^[3]

Untuk menentukan ukuran butir austenit selama pertumbuhan normal dibawah kondisi anil isothermal dapat digunakan persamaan yang dihasilkan dari percobaan Beck^[10], yaitu:

$$d^n - d_0^2 = C \cdot t \quad (2.5)$$

dimana d merupakan diameter butir akhir, d_0 diameter butir awal, t waktu anil, n dan C konstanta yang tergantung dari komposisi paduan dan temperatur anil.

Sebelumnya Sellars dkk telah menganalisa data pertumbuhan butir pada baja C-Mn dan dapat menemukan persamaan untuk menghitung nilai konstanta C diatas, yaitu:

$$d^n - d_0^n = \left[A \exp\left(\frac{-Q_{gg}}{RT}\right) \right] \cdot t \quad (2.6)$$

dimana n dan A merupakan konstanta yang tergantung pada komposisi material dan kondisi proses, Q_{gg} energi aktivasi untuk pertumbuhan butir, R konstanta gas universal 8,314 J/mol K, T temperatur absolut, dan t adalah waktu.

Pembentukan butir austenit membutuhkan waktu untuk inti pertama terbentuk dan kemudian butir austenit tersebut tumbuh dengan laju yang lebih tinggi sejalan dengan terbentuknya lebih banyak inti. Butir austenit tumbuh secara cepat jika pada saat pemanasan isothermal dilakukan penahanan selama waktu tertentu, sebab dengan adanya penahanan tersebut akan meningkatkan difusi atom melalui batas butir, dari butir yang kecil menuju butir yang besar.

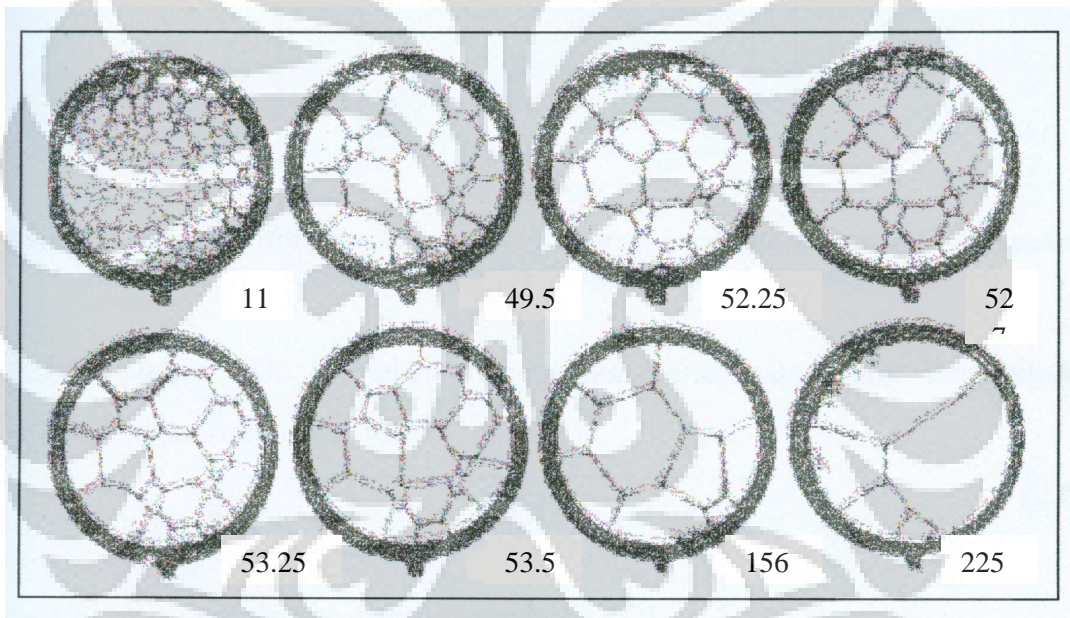
Penambahan waktu akan meningkatkan jarak antar butir sesuai persamaan^[11] :

$$t = \frac{l^2}{D} \quad (2.7)$$

dimana l adalah jarak antar butir, D koefisien difusi, dan t adalah waktu. Nilai D ditentukan melalui persamaan Arrhenius^[11] :

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

dimana D koefisien difusi, D_0 konstanta Arrhenius yang tergantung struktur kristal, Q energi aktivasi untuk difusi, R konstanta gas universal 8,314 J/mol K dan T merupakan temperatur. Semakin lama dilakukan penahanan waktu pada saat pemanasan isothermal, maka jarak antar butir akan meningkat dan butir semakin besar.

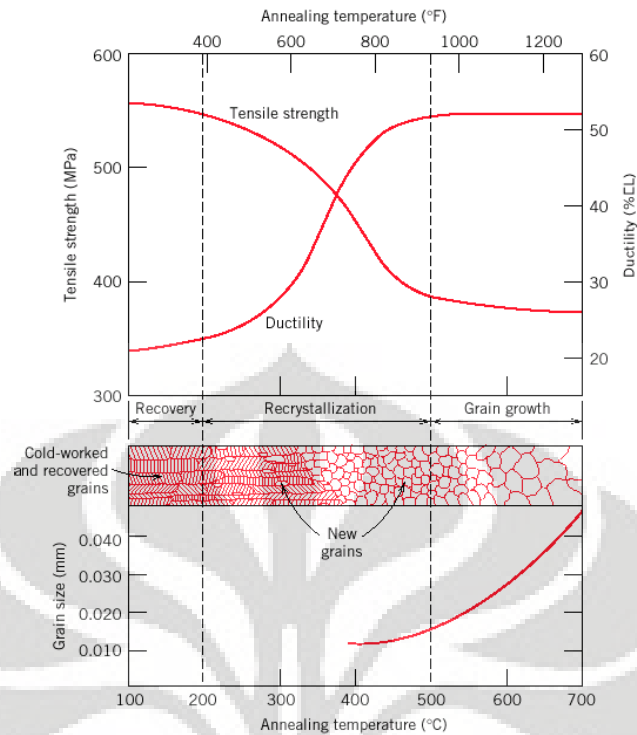


Gambar 2.11 Proses Pertumbuhan butir sejalan peningkatan waktu (menit)^[9]

2.3.3 Proses Recovery, Rekrstalisasi, dan Pertumbuhan Butir

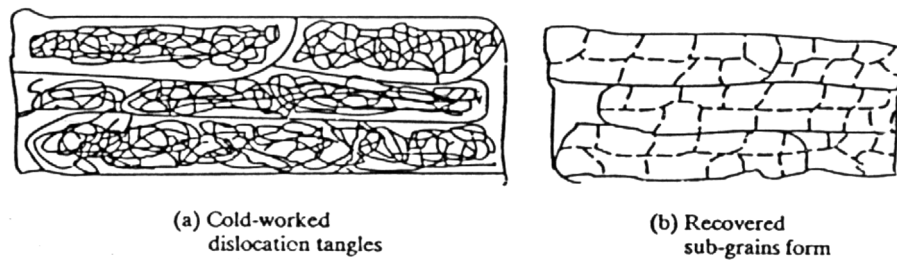
2.3.3.1. Proses *Recovery*

Proses *recovery* adalah proses pertama yang terjadi setelah deformasi. Pada tahapan ini tidak ada perubahan yang cukup berarti pada sifat mekanis dari material seperti yang terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Skematis Proses Recovery, Rekristalisasi dan Pertumbuhan Butir^[3]

Perubahan mikrostruktur dari material selama tahapan recovery ini tidak melibatkan pergerakan batas butir dengan sudut yang besar. Untuk benda kerja yang butirnya memipih setelah canai dingin, tidak terlihat perubahan pada butir tersebut. Namun pada tingkatan submikroskopis, terjadi perubahan pada titik cacat dan klusternya, penghilangan dan pengaturan ulang dislokasi, serta pembentukan sub-butir dan pertumbuhannya. Perubahan mikrostruktural ini akan melepas sebagian besar tegangan dalam dan tahapan *recovery* ini dipergunakan untuk proses *stress-relieving*. Hilangnya beberapa dislokasi mengakibatkan berkurangnya kekuatan dari material, tetapi hilangnya dislokasi ini diimbangi dengan pembentukan sub-butir, yaitu butir dengan batas butir bersudut kecil. ($2 - 3^\circ$ misorientasi). Proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.13. Dari kedua efek yang dijelaskan tersebut didapat kekuatan material yang sama setelah dilakukan pengerjaan dingin.^[12]



Gambar 2.13 Pembentukan Sub-butir^[12]

2.3.3.2. Rekristalisasi

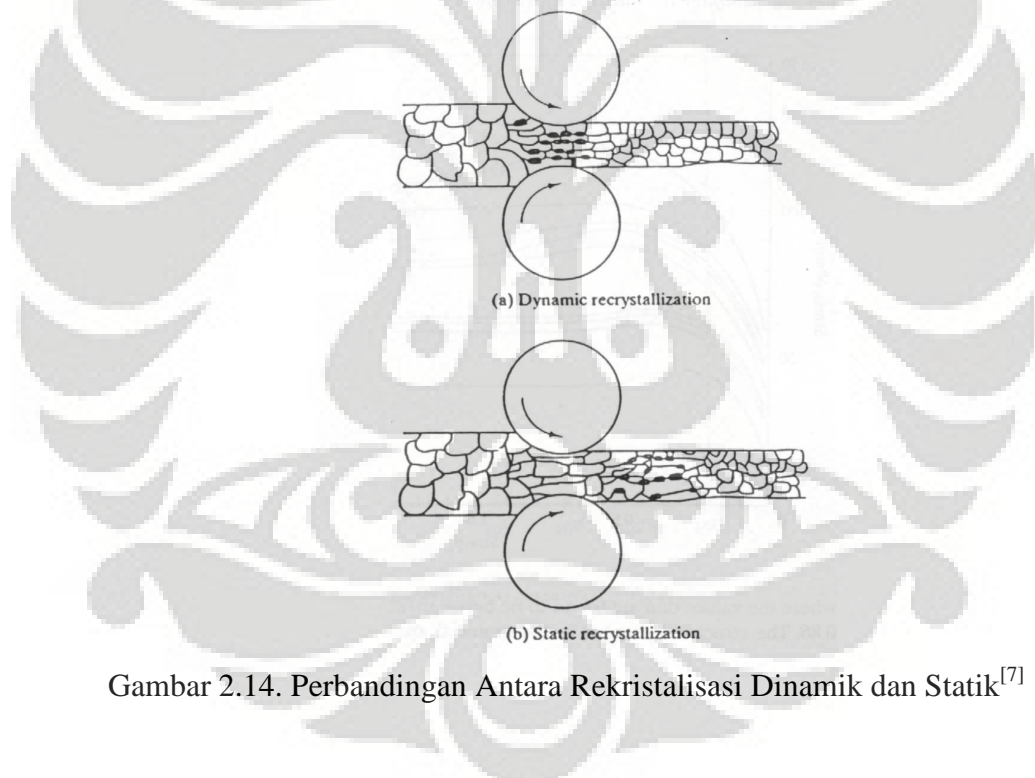
Ketika tahap *recovery* akan berakhir, pembentukan inti dari butir baru akan mulai terjadi. Sama seperti proses solidifikasi, rekristalisasi adalah proses transformasi nukleasi dan pertumbuhan butir. Inti dari butir baru terjadi dari bergabungnya sub-butir dan permukaan untuk nukleasi heterogen adalah cacat mikrostruktur seperti permukaan batas butir dan inklusi. Butir yang baru tumbuh merupakan butir yang bebas regangan (*strain-free*) dan terikat dengan batas butir bersudut besar yang memiliki mobilitas sangat tinggi yang akan menyapu semua jejak dari butir yang terdahulu.

Ketika semua butir terdahulu yang telah digantikan oleh butir baru yang bebas regangan, maka dapat dikatakan material tersebut telah terekristalisasi dengan sempurna (*fully recrystallized*). Seperti telah dijelaskan bahwa gaya penggerak untuk proses rekristalisasi adalah energi yang tersimpan saat pengerjaan dingin, maka jika pengerjaan dinginnya tinggi, semakin kecil energi termal yang digunakan, berarti semakin rendah temperatur dari rekristalisasi. Dan karena butir yang baru merupakan butir yang bebas regang, maka efek dari pengerjaan dingin (*strain hardening*) akan menghilang. Sehingga material akan memiliki kekuatan dan kekerasan yang sama seperti sebelum dilakukan pengerjaan dingin.

Proses rekristalisasi ini memungkinkan untuk mengontrol ukuran besar butir dan sifat mekanis dari material. Ukuran besar butir dari material yang terekristalisasi akan tergantung pada besarnya pengerjaan dingin, temperatur annealing, waktu tahan dan komposisi dari material. Ini didasarkan pada hukum rekristalisasi^[6]:

1. Pengerjaan dingin kritis yang minimum diperlukan sebelum terjadi rekristalisasi
2. Semakin kecil persentase pengerjaan dingin, semakin tinggi temperatur yang digunakan untuk menghasilkan rekristalisasi
3. Larutan dan dispersi yang halus akan menghambat rekristalisasi

Dalam pengerjaan panas, proses rekristalisasi yang terjadi dapat dibagi menjadi dua, yaitu rekristalisasi dinamis dan rekristalisasi statis. Seperti telah dijelaskan bahwa canai panas adalah proses deformasi dan rekristalisasi pada saat yang hampir bersamaan. Proses rekristalisasi yang terjadi saat material sedang dideformasi disebut rekristalisasi dinamis, sedangkan rekristalisasi statis terjadi sesaat setelah material mengalami deformasi. Ilustrasi dari penjelasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Perbandingan Antara Rekristalisasi Dinamik dan Statik^[7]

Pada rekristalisasi dinamis, saat material mengalami deformasi, terjadi regangan di dalam material, dan apabila regangan tersebut adalah regangan kritis (ϵ_0) maka akan tersedia cukup energi untuk terbentuk nuklei pada batas butir yang terdeformasi. Proses ini dipengaruhi faktor-faktor antara lain regangan, kecepatan regangan dan temperatur, seperti yang telah diteliti oleh Zener-Hollomon.^[7]

Sama seperti proses rekristalisasi dinamis, pada proses rekristalisasi statis juga terbentuk nuklei, hanya saja pembentukan tersebut terjadi setelah deformasi. Dengan adanya temperatur yang tinggi (diatas temperatur rekristalisasi dari material), maka proses munculnya nuklei pada batas butir dapat terjadi dan proses rekristalisasi dapat berlangsung.

2.3.3.3 Pertumbuhan Butir

Proses pertumbuhan butir dimulai ketika proses rekristalisasi telah selesai. Ditandai dengan pengurangan secara bertahap dari kekuatan material sebagai akibat dari membesarnya ukuran butir. Penambahan temperatur seperti pada Gambar 2.12 akan menyebabkan bertambahnya energi yang diberikan pada butir. Temperatur tinggi akan menyebabkan meningkatnya energi getaran termal, sehingga mempercepat atom berdifusi melalui batas butir dari butir yang kecil menuju yang lebih besar. Oleh karena itu didapat ukuran besar butir yang relatif besar setelah proses pertumbuhan butir ini selesai. Karena ukuran butir yang membesar, maka akan terjadi menurunnya sifat mekanis seperti kekerasan dan tegangan luluh.^[13]

2.4 Pipa Aliran Minyak

2.4.1. Sistem Kerja

Pipa aliran minyak (*flow line*) menghubungkan sumur minyak dengan stasiun pengumpul (*manifold*), tempat terkumpulnya minyak dari berbagai sumur di sekitarnya, dan membawanya untuk kemudian dipisahkan di tempat pemisahan (*separator*). *Gate valve* dipasang di dekat kepala sumur untuk keperluan pengisolasian/penutupan sewaktu-waktu. Diusahakan rute pemasangan pipa memilih tempat yang mudah untuk melakukan pengawasan dan perbaikan, sehingga pipa aliran dari kepala sumur sampai stasiun mengikuti rute jalan umum. Untuk keselamatan dan jalan masuk, jarak dengan jalan umum lebih dari 15 meter. Selain itu pipa juga harus diletakkan di atas suatu penopang agar tidak langsung bersentuhan dengan tanah yang akan mempercepat korosi.^[14]

Penggunaan *manifold* berfungsi sebagai pengumpul fluida produksi dari berbagai sumur yang selanjutnya dikirim ke unit pemisahan untuk suatu *treatment* dan pengukuran tertentu, sehingga didapatkan hasil produksi yang diinginkan.

2.4.2. Pipa Spesifikasi API

Pipa yang digunakan di lapangan minyak dan gas adalah pipa jenis API (*American Petroleum Institute*) spesifikasi 5L. Termasuk dalam jenis pipa ini adalah jenis pipa tanpa las (*seamless pipe*) dan jenis pipa las (*welded pipe*)

Jenis kelas API 5L ini adalah A25, A, B, X42, X52, X60, X70, dan X80. Dimana komposisi kimia dan sifat-sifat mekanisnya dari tiap jenis berbeda. Tujuan dari jenis spesifikasi ini adalah untuk menyediakan standar yang cocok bagi pipa untuk digunakan dalam transmisi gas, air dan minyak baik bagi perusahaan minyak maupun gas alam.

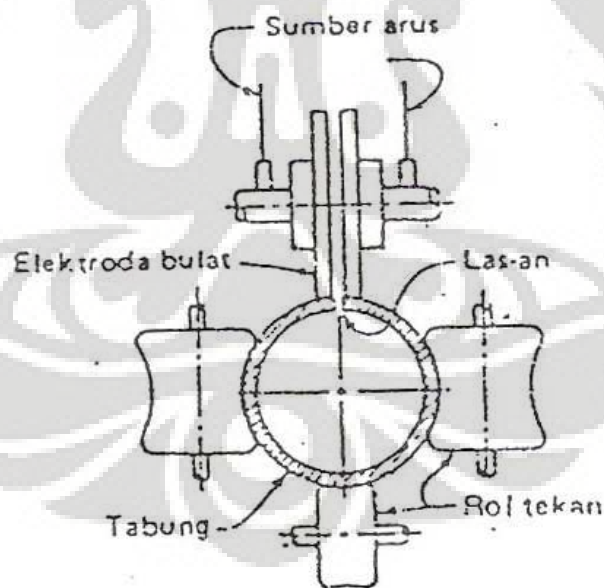
2.4.3. Pembuatan Pipa

Pembuatan pipa jenis API 5L X42 ERW (*Electric Resistant Weld*) menggunakan metode pengelasan listrik. Material dasar berupa plat baja dalam bentuk *coil* dengan lebar dan ketebalan tertentu sesuai dengan permintaan pembeli. Kemudian plat baja ini dilewatkan pada beberapa *pass rol* untuk pembentukan *tubular* dan selanjutnya dilas sepanjang longitudinal. Sedangkan pipa API 5L X42 *seamless* dibuat secara ekstrusi. Komposisi dari baja disesuaikan dengan permintaan pembeli dan standar API 5L yang ada.^[14]

Proses Pembuatan Pipa :

Coil dari *coil storage* dimasukkan dalam coil ramp lalu dimasukkan ke *uncoller* dan dilewatkan *leveller* kemudian disambungkan antara ujung-ujung

coil yang satu dengan ujung yang lain di *end joining*. Setelah itu di bagian samping atau lebar *coil* dipotong untuk disesuaikan dengan ukuran atau diameter pipa yang dibutuhkan. Lalu dilewatkan ke *edge scraper*, setelah itu dimasukkan suatu *section* tersendiri yang disebut *forming unit* untuk dibentuk menjadi silindris dan kemudian dilas dengan menggunakan *electric resistance welding*. Setelah mengalami proses pengelasan, maka bagian luar dan dalam pipa terdapat *beads* yang menonjol keluar dan ini harus dihilangkan dengan *scrap*. Setelah itu pipa akan mengalami proses *annealing* dan *quenching*. Lalu pipa tersebut diperiksa jenis lasannya (retak/tidak) dengan *ultrasonic tester*. Setelah itu pipa melewati sizing unit kemudian ke *cut off* mesin untuk dipotong sesuai dengan ukurannya. Pipa tersebut lalu diperiksa diameter luarnya, ketebalan dinding, *bevel* (sudut pada lingkaran las), *roundness*, *straightness* dan lain-lain, kemudian pipa tersebut di *hydrostatic test* dan kemudian *final inspection*. Setelah itu pipa diberikan merk dagang. Nomor spesifikasi, proses produksi, tingkatan/jenis, ukuran, diameter, ketebalan dinding dan panjangnya. Kemudian dilapis dengan *vernish*. Setelah itu dibawa di gudang dan siap untuk *shipping*.



Gambar 2.14 Pengelasan Pipa ERW^[14]

2.5 Indeks Korosifitas

Untuk dapat memprediksi sifat air sedimen baku terhadap laju korosi pada material dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan melalui rumus empiris sehingga didapatkan indeks korosifitas Langelier (LI) dan Ryznar (RI). Indeks ini adalah ukuran dari derajat kejenuhan, sehingga dapat memprediksi terjadinya endapan dan dapat digunakan untuk memprediksi tingkat kekorosifan air. Kelemahan indeks ini adalah tidak bisa memperkirakan seberapa banyak jumlah endapan yang akan mengendap. Untuk menghitung kedua indeks ini diperlukan data temperatur, pH aktual, konsentrasi kation dan anion serta TDS. TDS didapat dengan menjumlahkan semua konsentrasi kation dan anion. Untuk memastikan sifat air yang mengalir dipergunakan rumus Ryznar dan Langelier. Dengan menggunakan rumus ini kita dapat menentukan apakah air memiliki sifat membentuk endapan, netral, atautkah korosif. ^[1]

2.2.1 Indeks Korosifitas Langelier

Langelier Indeks (LI) adalah indeks yang dikembangkan untuk memprediksi apakah air yang jenuh dengan oksigen terlarut akan membentuk endapan kalsium karbonat atau korosif. Indeks ini merupakan pendekatan konsep saturasi menggunakan variabel utama pH dan dapat diinterpretasikan sebagai perubahan pH yang dibutuhkan untuk membawa air ke dalam kesetimbangan. Rumus empiris LI adalah sebagai berikut:

$$LI = pH - pH_s \quad (2.9)$$

Dimana:

pH = pH aktual dalam air

pH_s = pH air dalam kesetimbangan dengan padatan CaCO₃

Tabel 2.1 Interpretasi dari hasil perhitungan Langelier Indeks (LI)^[1]

LI > 0	Air akan membentuk endapan
LI = 0	Air bersifat netral
LI < 0	Air bersifat korosif

Berikut table Langelier Saturation Indeks (LSI) yang disempurnakan oleh Carrier

Tabel 2.2 Nilai LSI yang disempurnakan oleh Carrier^[1]:

LSI (Carrier)	Indication
$-2,0 < \text{LSI} < 0,5$	Serious corrosion
$-0,5 < \text{LSI} < 0$	Slightly corrosion but non-scale forming
LSI = 0,0	Balanced but pitting corrosion possible
$0,0 < \text{LSI} < 0,5$	Slightly scale forming and corrosive
$0,5 < \text{LSI} < 2$	Scale forming but non-corrosive

2.2.2 Indeks Korosifitas Ryznar

Metode Ryznar memiliki dasar yang sama dengan metode Langelier. Metode ini mengembangkan persamaan empiris untuk mengkalkulasi kestabilan indeks dari air. Indeks ini tidak hanya mengindikasikan kecenderungan air untuk mengendapkan kalsium karbonat (atau menjadi korosif jika menjadi jenuh dengan oksigen), tapi juga memberikan perkiraan semi kuantitatif jumlah endapan yang akan terbentuk atau tingkat yang menyebabkan korosi. Rumus empiris RI adalah sebagai berikut:

$$RI = 2pH_s - pH \quad (2.10)$$

pH = pH aktual dalam air

pH_s = pH air dalam kesetimbangan dengan padatan CaCO₃

Tabel 2.3 Interpretasi dari hasil perhitungan^[1]

RI (Ryznar Index)	Indikasi
RI < 5,5	<i>Heavy scale</i> akan terbentuk
5,5 < RI < 6,2	Endapan akan terbentuk
6,2 < RI < 6,8	Air bersifat netral
6,8 < RI < 8,5	Air bersifat korosif
RI > 8,5	Air bersifat sangat korosif

Tabel RI dari Ryznar hanya menunjukkan indikasi dari keagresifan air, namun tidak mengenai potensial scale dan korosi. Untuk mengetahui dua hal ini, digunakan Tabel RI yang disempurnakan oleh Carrier pada tahun 1965.

Tabel 2.4 Ryznar Index yang disempurnakan oleh Carrier^[1]:

RI (Ryznar Index)	Indication (Carrier 1965)
4,0 – 5,0	<i>Heavy scale</i>
5,0 – 6,0	<i>Light scale</i>
6,0 – 7,0	Sedikit terbentuk scaling atau korosi
7,0 – 7,5	Korosi yang signifikan
7,5 – 9,0	<i>Heavy corrosion</i>
> 9,0	Korosi tidak dapat ditolerir

Nilai pH_s untuk kedua rumus empiris LI dan RI ditentukan melalui rumus :

$$\text{pH}_e = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (2.11)$$

Dimana:

$$A = (\log \text{TDS (mg/L atau ppm)} - 1)/10$$

$$B = - 13,12 \log (T(^{\circ}\text{C}) + 273) + 34,55$$

$$C = \log (\text{Ca}^{2+}(\text{mg/L atau ppm})) - 0,4$$

$$D = \log (\text{M alkalinitas (mg/L atau ppm)})$$

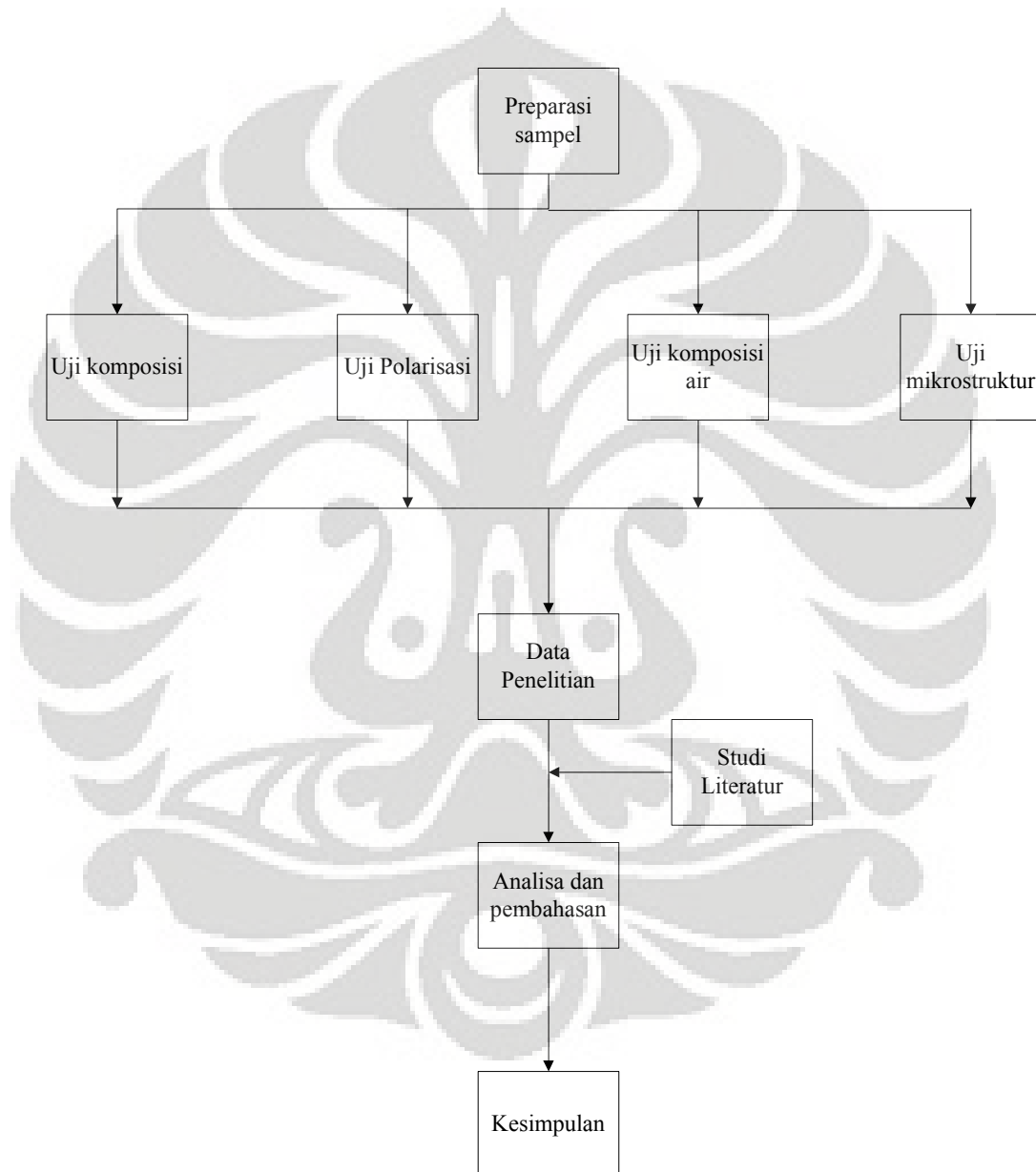
Alkalinitas didapat berdasarkan jumlah ion penyebab alkalinitas pada tingkatan pH tertentu yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.5 Ion alkalinitas berdasarkan tingkatan pH ^[1]

pH	<i>Ion Penyebab alkalinitas</i>
9,6 - 14	OH ⁻ dan CO ₃ ²⁻
8,3 - 9,6	HCO ₃ ⁻ dan CO ₃ ²⁻
4,5 - 8,3	HCO ₃ ⁻

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.2 Pengujian Polarisasi

Pengujian polarisasi dilakukan dengan metode ekstrapolasi tafel dan dilakukan di laboratorium korosi dan proteksi logam Departemen Metalurgi dan Material. Pengujian ini untuk mendapatkan kecepatan korosi suatu material pada lingkungan tertentu. Pengujian dilakukan untuk sampel pipa API 5L Spesifikasi B ERW dan seamless.

Alat dan bahan yang diperlukan untuk pengujian ini adalah:

- a. Labu polarisasi yang dilengkapi dengan beberapa leher/sambungan yang berfungsi untuk memasukan larutan dan alat lain ke dalam labu.
- b. Elektroda standar kalomel (*SCE*) sebagai acuan.
- c. Elektroda kerja (*Working Electrode*) berupa sampel yang sudah dipreparasi.
- d. Dua buah elektroda bantu (*Auxiliary Electrode*) dari bahan karbon.
- e. Pegangan elektroda kerja (*electrode holder*).
- f. *Luggin capillary* dengan jembatan garam untuk menghubungkan elektroda acuan.
- g. *Personal Computer* (PC), yang dilengkapi dengan software CMS (*Corrosion Measurement System*) 100 dan *Microsoft Excel*.
- h. Alat potong sampel.
- i. Alat solder dan timah solder.
- j. Resin mounting dan hardener.
- k. Mesin amplas dan kain amplas.

Bahan yang diperlukan adalah:

1. Sampel pipa ERW dan seamless
2. Air scale yang berasal dari tempat pipa digunakan..

Pembuatan sampel

- a. Pemotongan

Untuk melakukan pengujian polarisasi maka sampel harus dipotong lagi untuk mendapatkan bagian berbentuk lingkaran dengan luas permukaan $\pm 1\text{cm}^2$.

b. Penyolderan

Pada salah satu sisi sampel yang sudah dipotong dilakukan penyolderan dengan kabel tembaga yang berfungsi sebagai konduktor.

c. Mounting

Sampel yang digunakan mempunyai bentuk dan luas yang cukup dimounting menggunakan resin dan *hardener* yang dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk silinder.

d. Pengamplasan

Setelah dimounting maka dilakukan pengamplasan sampel dengan menggunakan kertas abrasif silikon karbida. Proses pengamplasan dilakukan sampai permukaan terlihat rata dan tidak terdapat produk korosi pada permukaan material.

Prosedur pengujian polarisasi adalah:

1. Memasukkan larutan air injeksi sebanyak 900 ml ke dalam labu polarisasi atau *beaker glass*.
2. Memasang elektroda kerja pada pegangan elektroda kerja (*electrode holder*).
3. Menempatkan elektroda kerja, elektroda bantu dan jembatan garam dalam labu polarisasi dan menghubungkannya dengan perangkat CMS 100.
4. Menyalakan komputer yang berisi program CMS 100 dan mengaktifkan program pengujian Tafel yang terdapat pada *folder experiment* dengan terlebih dahulu memasukkan kondisi pengujian dan spesifikasi sampel yang digunakan.

5. Setelah program pengujian Tafel selesai maka data yang diperoleh diolah lagi pada *folder analysis* yang terdapat di program CMS 100 untuk memperoleh grafik E vs $\log i$, dan data yang diperoleh disimpan dalam hardisk atau disket.
6. Ulangi langkah 1 sampai 5 untuk sampel yang berbeda dan larutan yang berbeda. Prosedur Kalkulasi Laju Korosi dilakukan sesuai dengan ASTM G102-89 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*.

3.3 Pengujian Komposisi Air

Pengujian komposisi air ini dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang digunakan untuk melakukan uji polarisasi. Dari pengujian ini nantinya dapat diketahui apakah air bersifat netral, korosif, atau scale.

3.4 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan menggunakan mesin *Emission Spectrometer* pada Departemen Metalurgi dan Material. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia dari pipa sehingga dapat ditentukan jenis material yang dipergunakan dan dapat dibandingkan dengan spesifikasi material yang digunakan. Karena perbedaan komposisi dapat berpengaruh terhadap ketahanan korosi material.

3.5 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui fasa-fasa apa saja yang terdapat dalam material. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan *stereo microscope*. Perbesaran yang digunakan adalah 100 X dan 500 X. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan cara memberikan zat pengetsa 2 % nital pada sampel, sehingga fasa-fasa yang terbentuk dapat diketahui. Standar uji yang digunakan adalah ASTM E 3-95. Sebelum melakukan pengamatan metalografi,

untuk mendapatkan foto struktur mikro ada beberapa tahapan yang harus dilewati, yaitu tahap pengamplasan, pemolesan, dan pengetsaan. Prosedur pengujian untuk ketiga tahap ini adalah sebagai berikut :

1. Setelah mendapat potongan-potongan sampel seperti yang ditunjukkan pada daerah pemilihan sampel, dilakukan proses *mounting* untuk memudahkan dalam pengerjaannya. Resin dan *hardener* diaduk perlahan hingga merata dan kemudian dituangkan pada sampel dengan wadah berbentuk silinder, tunggu hingga mengeras.
2. Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk proses pengamplasan. (kertas amplas, botol, air, dan mesin amplas). Kertas amplas yang digunakan memiliki nilai grit 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 dan 1500.
3. Melakukan pengamplasan secara bertahap, dimulai dari grit amplas yang paling rendah (100) hingga grit yang tertinggi (1500). Setiap proses pengamplasan dilakukan, air selalu dialirkan agar pemindahan geram berjalan lancar dan tidak merusak kertas amplas.
4. Setiap pergantian kertas amplas, sampel uji diputar 90° sehingga arah goresan yang baru tegak lurus terhadap arah goresan yang lama.
5. Setelah proses pengamplasan dirasakan telah cukup baik (ditandai dengan rataanya permukaan – tidak bidang – dan cukup halus) maka sampel kemudian dipoles dengan menggunakan mesin poles beralaskan kain beludru dengan alumina sebagai partikel abrasif yang digunakan.
6. Proses poles ini dihentikan saat permukaan material cukup halus dan bercahaya. Kemudian dilakukan proses pengerjaan tahap akhir yaitu pengetsaan. Nital 2% digunakan sebagai zat etsa untuk material baja karbon ini. Sampel kemudian dicelupkan ke dalam zat etsa ini selama 5 detik, lalu sampel dibilas dengan alkohol dan air dan kemudian dikeringkan dengan menggunakan pengering.
7. Setelah proses etsa selesai, maka pengamatan struktur mikro dapat dilakukan. Pengamatan dilakukan pada sampel ERW dan sampel seamless. Perbesaran yang diambil adalah 100x dan 500x.

BAB 4

DATA PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Kimia

Analisa kimia menunjukkan bahwa komposisi kimia dari sampel ERW dan seamless memiliki jumlah C, P, dan Ti yang berbeda namun masih masuk dalam batasan material API 5L grade B.

Tabel 4.1 Komposisi kimia sampel dan material API 5L Spesifikasi B

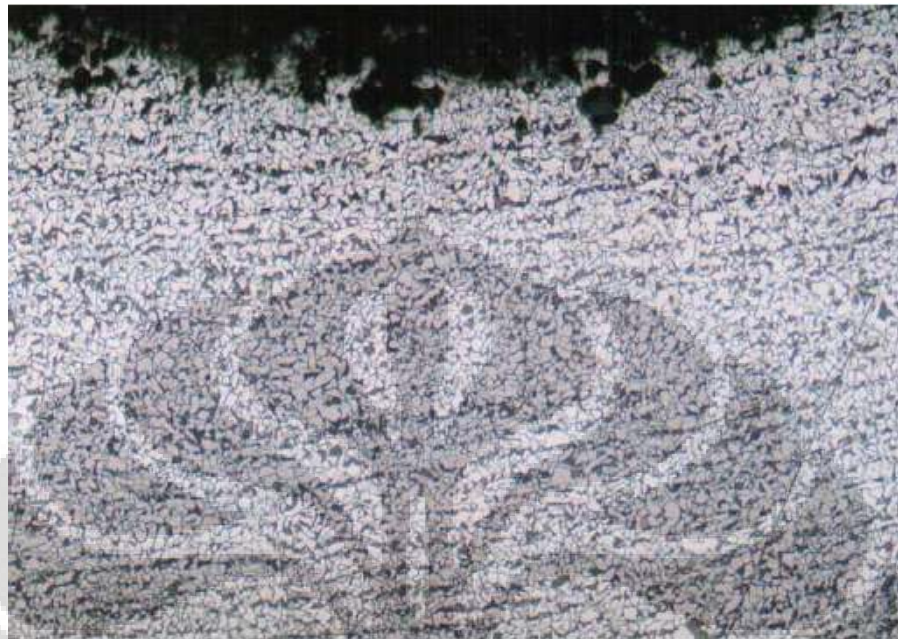
Material	%C (max)	%Mn (max)	%P (max)	%S (max)	%Ti (max)
API 5L Grade B welded PSL 1	0,26	1,20	0,030	0,030	0,040
Flowline (ERW)	0,18	0,78	0,024	0,013	0,007
Seamless	0,16	0,78	0,028	0,013	0,005

Dari unsur-unsur yang terlihat, dapat dipastikan bahwa mikrostruktur yang akan terbentuk adalah ferit. Hal ini dapat dilihat dari kandungan karbon yang sangat rendah. Unsur S dan Mn yang berada jauh di bawah standar API berpengaruh terhadap sifat mekanis material. Sementara itu unsur Ti memiliki peran sebagai penghalus butir, yang pada akhirnya juga dapat meningkatkan ketangguhan material.

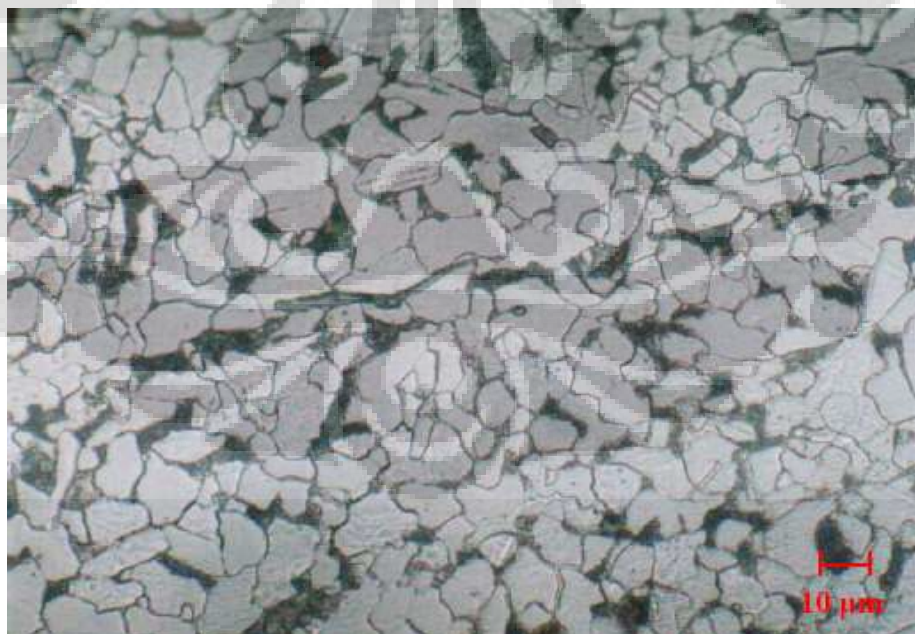
4.2 Mikrostruktur

Perlu diketahui bahwa fasa mikrostruktur yang terbentuk dipengaruhi oleh komposisi kimia, perlakuan panas, dan perlakuan mekanis yang dilakukan

terhadap material. Jumlah karbon yang relative sedikit, yaitu dibawah 0,2%, dapat dipastikan bahwa fasa yang terbentuk adalah ferit.



Gambar 4.1 Foto mikrostruktur sampel ERW dengan perbesaran 100x; etsa nital 2%



Gambar 4.2 Foto mikrostruktur sampel ERW dengan perbesaran 500x; etsa nital 2%

Sampel ERW diatas terlihat memiliki struktur pearlite bands. Pearlite band ini memanjang searah panjang pipa atau tegak lurus dengan diameter pipa. Arah dari pearlit band ini disebabkan oleh proses pembentukan pada pipa yang dilakukan pada saat proses manufaktur. Pearlite band biasanya lebih banyak terjadi pada daerah yang kaya akan Mn. Baja pada saat didinginkan akan membentuk struktur dendrit. Sementara itu, unsur dengan kelarutan rendah seperti Mn, akan tersegregasi pada daerah dendritik tersebut. Lalu pada saat proses pembentukan, daerah yang tersegregasi tersebut memanjang searah dengan arah pembentukan. Hal inilah yang menyebabkan terbentuknya pearlit band.^[15]



Gambar 4.3 Foto mikrostruktur sampel seamless dengan perbesaran 100x; etsa nital 2%



Gambar 4.4 Foto mikrostruktur sampel seamless dengan perbesaran 500x; etsa nital 2%

Sampel seamless tidak menunjukkan adanya struktur pearlit band, namun menunjukkan penampakan pearlite kasar dan beberapa acicular pearlite. Acicular pearlit ini lebih dikenal sebagai butir yang berantakan / chaotic. Butir plates acicular pearlit bernukleasi secara heterogen pada inklusi kecil non-metalik dan menyebar ke segala arah dari tempat penukleasiannya.^[16]

Struktur pearlit band cenderung lebih jarang terjadi pada material seamless. Hal ini dikarenakan proses manufaktur material seamless yang lebih sedikit mengalami deformasi dibandingkan material ERW pada proses manufakturnya. Telah dijelaskan bahwa struktur pearlit band terbentuk akibat adanya perpanjangan bagian yang tersegregasi oleh proses pembentukan pada saat manufaktur.^[15]

4.3 Komposisi Air

Tabel data hasil pengujian air adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil analisa air

No	Identifikasi	Nilai
1.	Color	n.a
2.	Turbidity	n.a
3.	pH (at 25 C)	7,9
4.	Electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	27.200
5.	Resistivity (ohm.cm)	36,2
6.	P-Alkalinity (as CaCO_3)	n.a
7.	M-Alkalinity (as CaCO_3)	904
8.	Total Hardness (as CaCO_3)	1.164
9.	Calcium Hardness (as CaCO_3)	814
10.	Chloride Ion (as Cl^-)	10.900
11.	Sulfate ion (as SO_4^{2-})	n.a
12.	Soluble Silica (as SiO_2)	58
13.	Phospate ion (as PO_4)	n.a
14.	Total Phosphate (as PO_4^{3-})	n.a
15.	Total Iron (as Fe)	5,5
16.	Hydrazine (as Hydrazine)	n.a
17.	Nitrite Ion (as NO_2^-)	n.a

Dari table data tersebut dapat dilihat bahwa air memiliki kecenderungan yang tinggi untuk membentuk scale. Hal ini dapat dilihat dari tingginya kadar CaCO_3 .

4.4 Korosi

4.4.1 Hasil Uji Polarisasi

Tabel 4.3 Hasil uji polarisasi pada sampel ERW dan Seamless

Material	Laju Korosi (mpy)	
	I	II
ERW	6,015	18,879
Seamless	3,037	4,883

Dari tabel tersebut kita dapat melihat bahwa kecepatan korosi material ERW cenderung tidak stabil dibandingkan material seamless. Dua hal yang telah jelas berbeda antara material seamless dan ERW berdasarkan data-data yang diperoleh adalah kadar karbon, dimana kadar karbon sampel seamless lebih banyak dibandingkan sampel ERW. Dan juga struktur pearlite band, dimana pada material seamless tidak terdapat struktur pearlite band.

Tidak bukti atau hitungan spesifik yang menunjukkan bahwa material ERW dengan kadar karbon lebih tinggi dan struktur pearlite band memiliki ketahanan korosi yang tidak stabil, namun kedua hal tersebut tetap dapat dijadikan acuan.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pearlite band memiliki pengaruh terhadap ketahanan korosi suatu material.

4.4.2 Mekanisme Korosi

Mekanisme korosi yang terjadi pada sampel yang diujikan dapat disebabkan antara lain oleh; (a) perbedaan potensial antar bagian mikrostruktur yang membentuk anoda dan katoda, dan (b) adanya pembentukan scale yang tidak merata yang dapat menyebabkan korosi setempat (localized corrosion).

Pasangan galvanic yang mungkin terjadi adalah cementit dengan besi, dimana cementit bersifat lebih katodik. Selain itu ada mangan yang memiliki sifat lebih anodik dibanding besi.

Daerah yang kaya akan mangan memiliki kecenderungan yang tinggi untuk membentuk pearlit. Sementara itu diketahui bahwa cementit memiliki kemampuan untuk merusak scale. Scale disini adalah lapisan endapan yang terbentuk akibat larutan yang digunakan mengandung CaCO_3 . Tidak meratanya daerah penutupan scale dapat menyebabkan terjadinya korosi setempat (localized corrosion).^[15]

4.4.3 Hubungan antara Faktor Metalurgi dengan Laju Korosi

Data-data pada penelitian ini tidak menghasilkan suatu hubungan persamaan yang pasti antara mikrostruktur pearlite band dengan laju korosi. Hubungan yang dapat diambil dari data-data yang diperoleh dari penelitian ini adalah bahwa bentuk dan penyebaran cementit pada mikrostruktur baja API 5L grade B mempengaruhi laju korosi material tersebut. Dimana material dengan struktur cementit terpusat dan membentuk pearlite band memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah.

Data yang ada menunjukkan bahwa material ERW memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah dibandingkan baja seamless. Namun, hal ini tidak dapat dijadikan acuan bahwa setiap baja ERW API 5L grade B memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah dibanding baja seamless dengan grade yang sama. Di dalam satu proses manufaktur pipa sangat dimungkinkan terjadinya perbedaan kondisi mikrostruktur maupun komposisi bahan baku. Untuk itu perbedaan ketahanan korosi satu jenis pipa dengan grade yang sama bukan merupakan suatu hal yang tidak mungkin.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Material ERW dengan laju korosi 6,015 dan 18,879 mpy memiliki ketahanan korosi yang tidak stabil dibandingkan material seamless dengan laju korosi 3,037 dan 4,883 mpy.
2. Material ERW dengan struktur pearlite band memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah dibandingkan material seamless dengan struktur pearlite yang tersebar merata.
3. Material dengan grade yang sama tidak selalu memiliki ketahanan korosi yang sama. Dimana selalu terdapat perbedaan komposisi dan mikrostruktur antara satu manufaktur dengan manufaktur yang lain.

5.2 Saran

1. Diperlukan pengujian lebih lanjut dengan variasi spesifikasi material API yang lebih banyak sehingga data yang diperoleh lebih variatif.
2. Diperlukan penelitian lebih mendalam yang dapat merumuskan suatu persamaan mengenai hubungan antara mikrostruktur dengan laju korosi.

REFERENSI

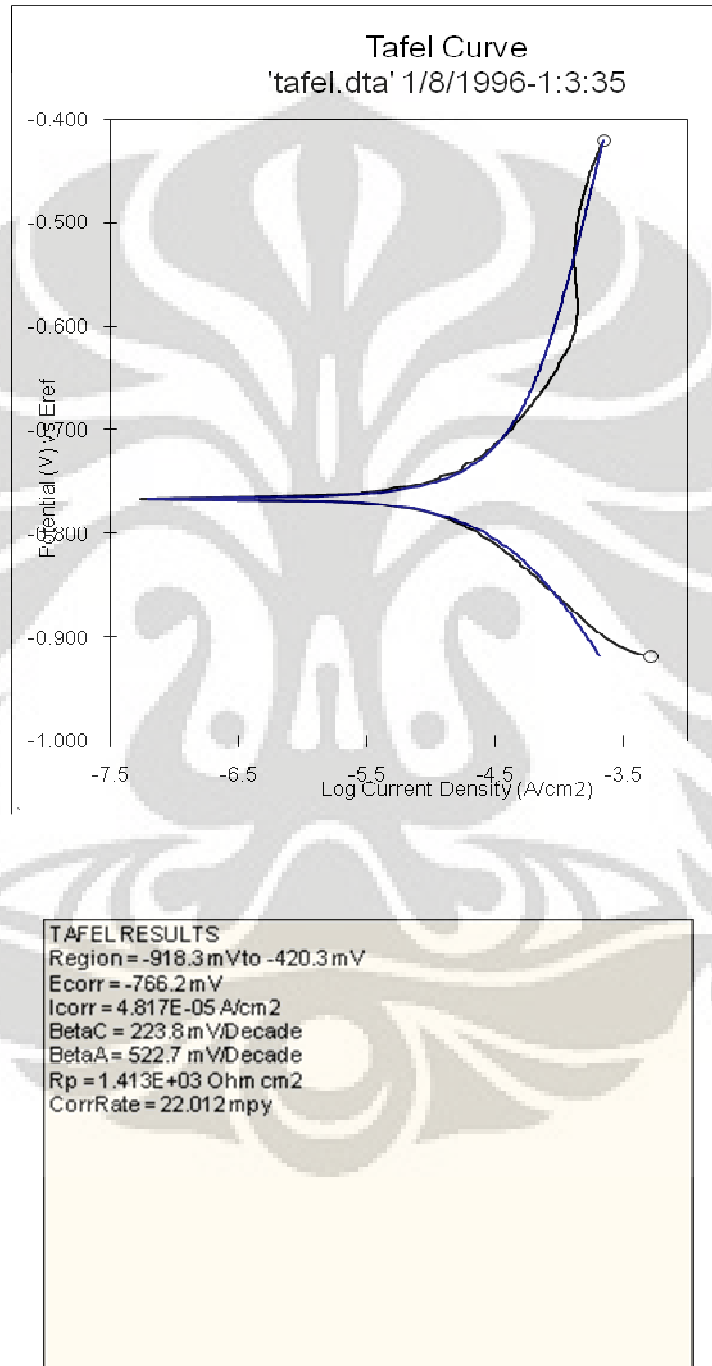
1. Wirda Safitri. "Analisis Kerusakan pada Line Pipe (Elbow) Pipa Penyalur Injeksi di Lingkungan *Geothermal*" Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008.
2. P.E.J Rivera, J. Sietsma, S.Van Der Zwaag, A Model for Ferrite/Pearlite Band Formation and Prevention in Steels.
3. Y Lakhtin, *Engineering Physical Metallurgy*, (Moscow : Foreign Language Publishing House).
4. Anita Juliawatri. "Pengaruh Waktu Tahan Terhadap Besar Butir Austenit Prior pada Baja HSLA 0.029%Nb Hasil Coran Kontinu Selama Pemanasan Isothermal." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2002.
5. J.N. Harris, *Mechanical Working of Metal*, (UK: Pergamon Press, 1983)
6. P.L. Mangonon, *The Principles of Material Selection for Engineering Design*, (Prentice Hall, Inc, 1999).
7. Brooks. R. Charlie, *Heat Treatment Structure & Properties of Non Ferrous Alloy*, (Ohio : American Society for Metals, 1998).
8. Lawrence H. Van Vlack, *Elements of Materials Science*, (London: Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1960).
9. D.A Porter, K.E Easterling, *Phase Transformations in Metal and Alloys*. (UK: Van Nostrand Reinhold, Co, 1981).
10. P. A Manohar, et al., "Grain Growth Predictions in Microalloyed Steels," ISIJ International, Vol. 36 No. 2. (1996).
11. William C Leslie, *The Physical Metallurgy of Steel*, (Michigan : McGraw Hill Company, 1982)
12. Fanina NW. "Pengaruh Deformasi Canai Panas Terhadap Nilai Kekerasan & Pertumbuhan Butir Alpha pada Bahan Kuningan C26000 (Cartridge Brass)." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2003
13. R.E Smallman, R.J Bishop, *Metals and Material*, (UK : Butterworth – Heinemann, 1995)

14. A.R Bustal. "Analisa Kerusakan Pipa Api 5L X42 ERW dan Seamless untuk Transportasi Minyak." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 1999.
15. D. Clover, B. Kinsella, B Pejic, R, DE Marco. *The Influence of Microstructure on the Corrosion Rate of Various Carbon Steels*. Perth, Australia, 2004.
16. Imai, Shiro. "*General Properties of TMCP Steels*". Plate Technical Dept., Nippon Steel Corporation. Tokyo Japan.
17. Zulfikar Idrus. "Proses Pembuatan Pipa dengan Electric Resistance Welding di PT. Bakrie and Brothers Pabrik Pipa Baja Talang Tirta." Kerja Praktek, Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik UI, Depok, 1992.
18. Syamsul Mubarak. "Proses Pembuatan Pipa Seamless PT. Seamless Pipe Indonesia Jaya." Jurusan Metalurgi Fakultas Teknik UI, Depok 2002.
19. E. Ahmad, T. Manzoor, N Hussai. *Thermomechanical Processing in the Intercritical Region and Tensile Properties of Dual-Phase Steel*. Islamabad, Pakistan, 2008.
20. J. Albarran, L. Martinez, H. Lopez. *Effect of Heat Treatment on the Stress Corrosion Resistance of a Microalloyed Pipeline Steel*. 1998
21. M. Militzer, E.B. Hawbolt, T.R. Meadowcroft, *Microstructural Model for Hot Strip Rolling of High-Strength Low-Alloy Steels*. 1997
22. P.P. Sarkar, P.Kumar, Manas Kumar Manna, P.C. Chakraborti, *Microstructural Influence on the Electrochemical Corrosion Behaviour of Dual-Phase Steels in 3.5% NaCl Solution*. Kolkata, India, 2005.

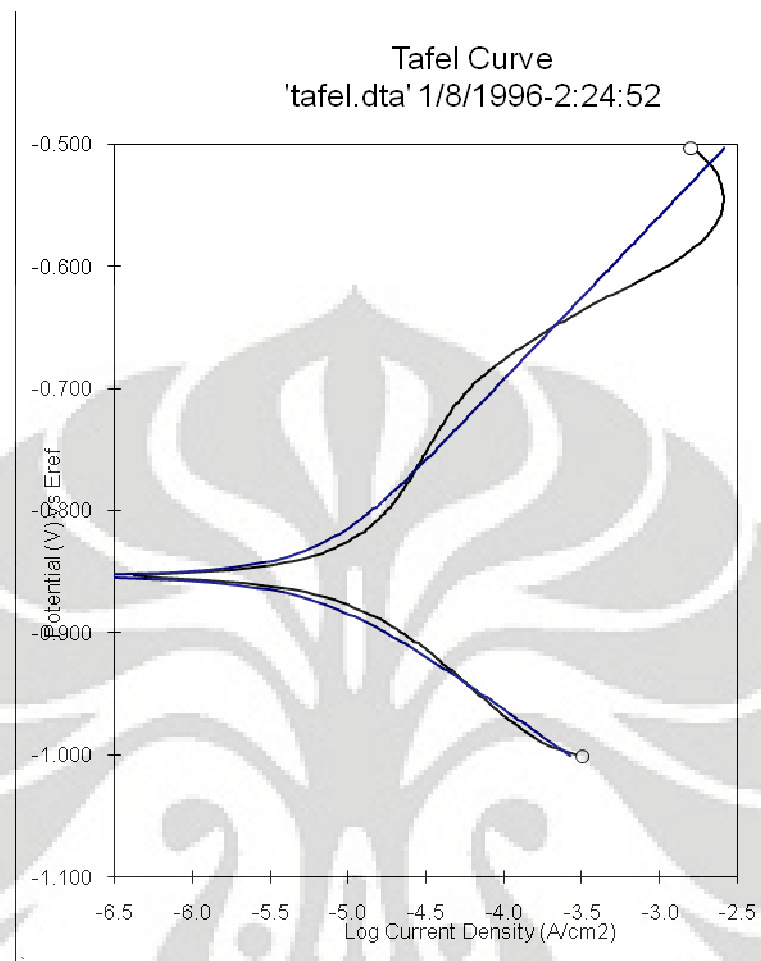
LAMPIRAN

Lampiran 1. Grafik Hasil Uji Polarisasi

MATERIAL ERW 1

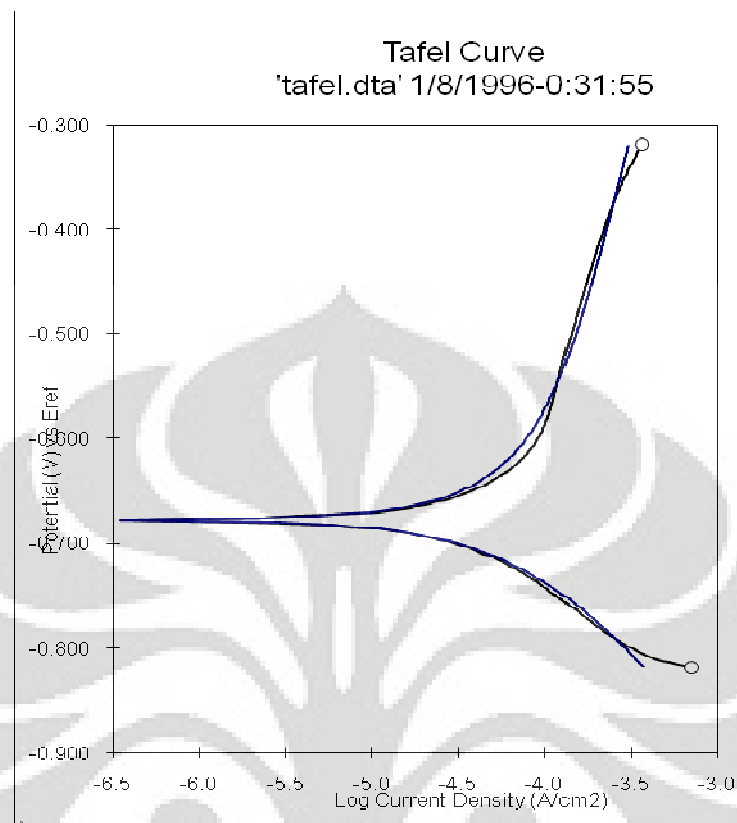


MATERIAL ERW 2



TAFEL RESULTS
Region = -1.0010 V to -503.0 mV
E_{corr} = -853.7 mV
I_{corr} = 6.254E-06 A/cm²
Beta_C = 90.3 mV/Decade
Beta_A = 134.0 mV/Decade
R_p = 3.746E+03 Ohm cm²
CorrRate = 2.858 mpy

MATERIAL SEAMLESS 1



TAFEL RESULTS
Region = -817.8 mV to -319.8 mV
Ecorr = -677.5 mV
Icorr = 8.848E-05 A/cm²
BetaC = 205.1 mV/Decade
BetaA = 663.6 mV/Decade
Rp = 7.690E+02 Ohm cm²
CorrRate = 40.429 mpy

MATERIAL SEAMLESS 2

