



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KOMPOSISI KIMIA TERHADAP KETAHANAN
KOROSI PADA MATERIAL API 5L *GRADE B SEAMLESS***

SKRIPSI

HALWAN JAYA

0706268524

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KOMPOSISI KIMIA TERHADAP KETAHANAN
KOROSI PADA MATERIAL API 5L *GRADE B SEAMLESS***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

HALWAN JAYA

0706268524

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JULI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Halwan Jaya

NPM : 0700268514

Tanda Tangan : 

Tanggal : 8 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Halwan Jaya
NPM : 0706268524
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Komposisi Kimia Terhadap Ketahanan Korosi pada Material API 5L *Grade B Seamless*

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. Rini Riasniti, M.Sc.

Penguji 1 : Ir. Yuniba Sadeli, M.Sc.

Penguji 2 : Dra. Sani Karili, M.S.

Ditetapkan : Depok, 8 Juli 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Penulisan skripsi yang berjudul “Pengaruh Komposisi Kimia Terhadap Ketahanan Korosi pada Material API 5L Gr B *Seamless*” ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Departemen Metalurgi Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

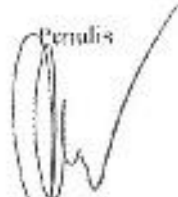
1. Orangtua dan keluarga saya, yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan material.
2. Ibu Ir.Rini Riastuti, M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, ilmu dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini. Terimakasih juga atas bimbingan matakuliah-mata kuliah khusus yang lain, mulai dari Kerja Praktik, Seminar, hingga Skripsi.
3. Bapak Agus Gangsar, selaku Superintendent Operation and Maintenance Asset Kondur Petroleum Energi Mega Persada sekaligus mentor pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dari awal melaksanakan skripsi, meliputi materi, data, serta induksi untuk ke lapangan di Pulau Kondur.
4. Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku Kepala Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI.
5. Dr.Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil.Eng, selaku Koordinator Skripsi di DTMM.
6. Ibu Sari Katili selaku Pembimbing Akademis selaku Dosen Penguji Sidang Skripsi
7. Ibu Yunita Sadeli selaku Dosen Penguji Sidang Skripsi
8. Bapak-bapak insinyur Kondur Petroleum S.A; Mas Hadi dan Mas Budi yang telah setia menemani studi saya di Lapangan Kurau, Riau. Mas Ari yang

banyak memberi banyak masukan untuk persiapan presentasi. Mas Gun Gun Gunawan a.k.a. 3G dan Pak Har yang banyak memberi masukan selama di Lapangan. Pun tidak lupa saya ucapkan terimakasih kepada Ibu Sri Wahyuni yang telah mengurus semua administrasi saya selama melaksanakan Tugas Akhir di EMP.

9. Bapak Ashari Ahmad alias Pak Mamat yang telah membantu preparasi sampel uji, Pak Udin, Pak Zainal, dan Mas Aduy yang telah membantu pengujian sampel di Laboratorium. Pak Min, Mbak Dewi, Mbak Nur yang telah memudahkan proses administrasi Tugas Akhir saya di DTMM.
10. Andika Amanatillah, selaku koordinator asisten Laboratorium Korosi, yang banyak membantu memudahkan penulis dalam menggunakan peralatan Laboratorium Korosi.
11. Rekan seperjuangan TA di EMP; Teddy, Arif, dan Riza. Terimakasih atas kebersamaannya selama melakukan Tugas Akhir di EMP.
12. Rekan-rekan TA di DTMM; teman-teman satu bimbingan Bu Rini (Kiki, Miska, Lendi, Bastian, Astri, Hasbi, David), dan teman-teman satu jurusan Metalurgi angkatan 2007 yang sulit saya sebutkan satu per satu.
13. Arya Pradipta, teman satu kost yang telah ikhlas meminjamkan motor nya untuk pulang-pergi TA di EMP.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat dan dapat dijadikan referensi bagi pengembangan ilmu.

Depok, 8 Juli 2011

Penulis

Halwan Jaya

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

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

Nama : Halwan Jaya
NPM : 070628524
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**Pengaruh Komposisi Kimia Terhadap Ketahanan Korosi pada Material API
5L Grade B Seamless**

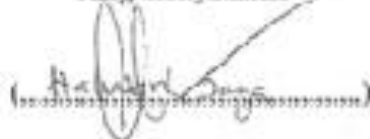
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia atau formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 8 Juli 2011

Yang menyatakan



ABSTRAK

Nama : Halwan Jaya
NPM : 0706268524
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Komposisi Kimia Terhadap Ketahanan Korosi pada Material API 5L *Grade B Seamless*

Hasil fabrikasi pipa-pipa baja karbon rendah dalam satu standar produk dari beberapa produsen hanya disesuaikan terhadap persyaratan sifat mekanis seperti tegangan luluh, kekuatan tarik dan komposisi kimia sesuai *grade* standar produk. Kriteria seperti ini memungkinkan variasi yang berbeda terhadap komposisi kimia dan struktur mikro, dimana variasi itu mampu mempengaruhi ketahanan korosi bahan. Penelitian ini menggunakan dua sampel material pipa yang berasal dari produsen berbeda. Untuk itu, dilakukan pengujian laju korosi, komposisi kimia, metalografi dan karakterisasi produk korosi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa laju korosi kedua sampel tersebut berbeda. Perbedaan ini disebabkan adanya perbedaan struktur mikro dimana kadar perlit pada kedua sampel berbeda. Sampel A dengan kadar perlit yang lebih tinggi memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah daripada sampel B karena adanya efek galvanik mikro antara ferit dan sementit pada mikrokonstituen perlit. Hasil penelitian membuktikan bahwa semakin tinggi kadar perlit maka semakin rendah ketahanan korosinya. Selain itu, terdapat perbedaan pada kadar komposisi kimia tingkat unsur paduan kecil seperti sulfur, mangan, kromium, dan tembaga yang boleh ditambahkan pada baja. Namun demikian, perbedaan kadar paduan tersebut tidak begitu menentukan karena kadar paduan yang ditambahkan sangat rendah.

Kata kunci :
Baja karbon rendah; *pearlite*; komposisi kimia; ketahanan korosi; korosi galvanik mikro.

ABSTRACT

Name : Halwan Jaya
NPM : 0706268524
Major : Metallurgical and Materials Engineering
Title : Effect of Chemical Composition on Material Corrosion Resistance API 5L Grade B Seamless

Results fabrication of low carbon steel pipes that include in one standard product from several manufacturers only adapted to the requirements of the mechanical properties such as yield stress, tensile strength and chemical composition according to the grade of product standard. That criteria allows the variation of chemical composition and microstructure, where the variation that can influence the corrosion resistance of the material. This study used two samples of pipe materials originating from different manufacturers. For that, the rate of corrosion testing, chemical composition, metallography and characterization of corrosion products are tested. The test results showed that the corrosion rate of the two samples are different. This difference is attributed to differences in the microstructure where the pearlite content in the two different samples. Samples A with higher levels of pearlite have a lower corrosion resistance than samples B due to micro-galvanic effect between ferrite and cementite in pearlite microconstituent. The results show that the higher levels of pearlite have lower corrosion resistance. In addition, there are differences in the levels of the chemical composition of small levels of alloying elements such as sulfur, manganese, chromium, and copper may be added to the steel. However, differences in levels of these alloys is not so decide because the levels are very low alloy added.

Keywords :
Low carbon steel; pearlite; chemical composition, corrosion resistance; micro galvanic corrosion.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR RUMUS.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Proses Produksi Minyak dan Gas.....	7
2.1.1 <i>Gathering System</i>	8
2.1.2 <i>Oil and Gas Storage, Metering, and Export</i>	11
2.2. Baja Karbon Rendah.....	12
2.2.1 Ferit	13
2.2.2 <i>Pearlite</i>	14
2.3. Pipa.....	14
2.3.1 Proses Manufaktur Pipa	15
2.3.2 Ukuran dan Ketebalan Pipa.....	16
2.4. Korosi	17
2.4.1 Perhitungan Besar Laju Korosi	17
2.4.2 Faktor-faktor Penyebab Korosi	19
2.4.3 Bentuk-bentuk Korosi.....	25
2.4.4 Korosi Baja Karbon Rendah.....	26
2.5. Penyimpanan Material.....	28
2.5.1 Daerah Penyimpanan Terbuka.....	29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1. Diagram Alir Penelitian	31
3.2. Alat dan Bahan.....	31
3.2.1. Alat.....	31
3.2.2. Bahan	32
3.3. Prosedur Penelitian.....	33
3.3.1. Pemilihan Material.....	33

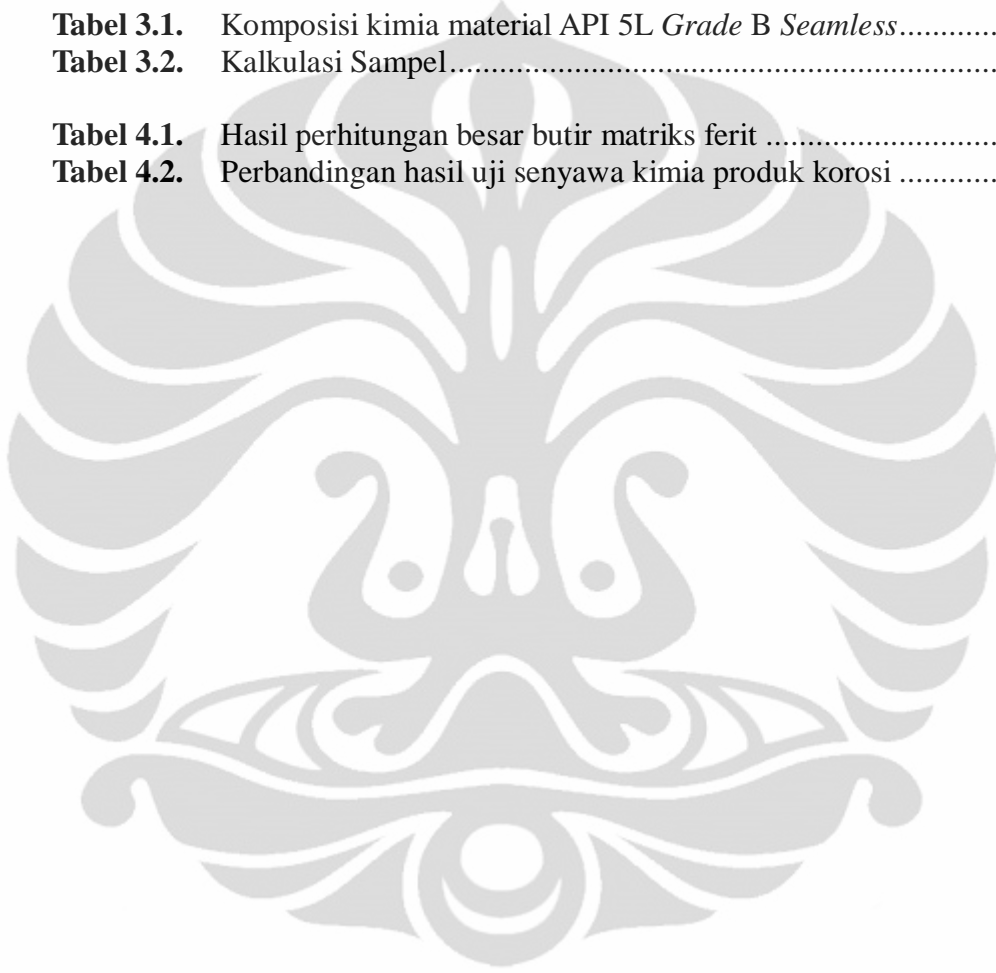
3.3.2. Persiapan Sampel.....	33
3.3.3. Uji Laboratorium	38
3.3.3.1 <i>Weight Loss</i>	38
3.3.3.2 Metalografi.....	41
3.3.3.3 Pengukuran Besar Butir dan Fraksi Fasa	42
3.3.3.4 Uji Komposisi Kimia	44
3.3.3.5 Uji Kekuatan Tarik	44
BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Pengumpulan Data dan Informasi	46
4.1.1. Dokumen <i>Review</i>	46
4.1.2. Hasil Studi Lapangan	46
4.2. Preparasi Sampel Uji Laboratorium	47
4.3. Hasil Uji Laboratorium.....	48
4.3.1. Uji Karakterisasi Awal Material	48
4.3.1.1 Uji Komposisi Kimia.....	48
4.3.1.2 Uji Kekuatan Tarik	48
4.3.2 Uji Metalografi Material	49
4.3.2.1 Struktur Mikro	49
4.3.2.2 Perhitungan Besar Butir dan Fraksi Fasa	52
4.3.3 Hasil Uji Korosi Material	53
4.3.3.1 Laju Korosi.....	53
4.3.3.2 Morfologi Korosi	55
4.3.3.3 Komposisi Kimia Produk Korosi.....	57
4.4. Pembahasan.....	58
4.4.1. Hasil Uji Karakterisasi Awal Material	58
4.4.1.1 Uji Komposisi Kimia.....	58
4.4.1.2 Kekuatan Tarik	61
4.4.2 Pengamatan Metalografi Material	63
4.4.2.1 Struktur Mikro	63
4.4.2.2 Besar Butir dan Fraksi Fasa.....	64
4.4.3 Hasil Uji Korosi.....	67
4.4.3.1 Laju Korosi.....	67
4.4.3.2 Morfologi Korosi	68
4.4.3.3 Komposisi Kimia Produk Korosi.....	69
BAB 5 KESIMPULAN.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	72
LAMPIRAN	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Diagram alir proses produksi minyak dan gas	7
Gambar 2.2.	Proses pemisahan minyak, air, dan gas	8
Gambar 2.3.	Proses pemisahan tahap ketiga	9
Gambar 2.4.	Sistem penukar panas	10
Gambar 2.5.	<i>Fiscal metering</i>	11
Gambar 2.6.	Diagram kesetimbangan Besi-Karbon	12
Gambar 2.7.	Skema pembuatan pipa tanpa sambungan.....	15
Gambar 2.8.	Skema pembuatan pipa <i>butt-welded</i>	15
Gambar 2.9.	Skema pembuatan pipa <i>spiral-welded</i>	16
Gambar 2.10.	Diameter pipa	16
Gambar 2.11.	Ketebalan pipa	16
Gambar 2.12.	Sel Galvanis Mikro	21
Gambar 2.13.	Skema jenis-jenis korosi	26
Gambar 2.14.	Proses korosi menunjukkan kebalikan dari proses metalurgi	27
Gambar 2.15.	Penumpukan komponen jembatan	30
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.2.	Sampel yang telah dipreparasi dan akan dilakukan pengujian di laboratorium	37
Gambar 3.3.	Proses uji celup	41
Gambar 3.4.	Metode <i>Intercept</i> , dengan menggunakan garis berbentuk lingkaran dengan total panjang garis 500 mm, dengan foto perbesaran 100x	43
Gambar 3.5.	Spesimen uji tarik	45
Gambar 4.1.	Grafik perbandingan hasil uji komposisi kimia kedua sampel... 48	
Gambar 4.2.	Grafik perbandingan rata-rata sifat mekanis hasil uji tarik kedua material pipa	49
Gambar 4.3.	Perbandingan hasil foto mikro ferit-perlit baja karbon rendah API 5L <i>Grade B</i> . Perbesaran foto metalografi yang diatas adalah 500x. Sampel di etsa dengan nital 2%.	51
Gambar 4.4.	Diagram perbandingan % fraksi fasa ferit-perli pada kedua sampel	53
Gambar 4.5.	Diagram perbandingan kehilangan berat hasil uji celup kedua sampel	54
Gambar 4.6.	Diagram perbandingan <i>corrosion rate</i> (mpy) hasil uji celup kedua sampel	54
Gambar 4.7.	Foto permukaan sampel yang mengalami korosi	56
Gambar 4.8.	Grafik perbandingan komposisi unsur kimia produk korosi kedua sampel	57
Gambar 4.9.	Perbandingan grafik hasil uji tarik kedua sampel.....	61

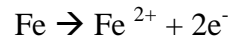
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Klasifikasi baja karbon	12
Tabel 2.2.	Konstanta laju korosi	18
Tabel 2.3.	Produk korosi pada baja.....	27
Tabel 3.1.	Komposisi kimia material API 5L <i>Grade B Seamless</i>	33
Tabel 3.2.	Kalkulasi Sampel.....	38
Tabel 4.1.	Hasil perhitungan besar butir matriks ferit	52
Tabel 4.2.	Perbandingan hasil uji senyawa kimia produk korosi	57



DAFTAR RUMUS

1. **Persamaan 2.1**..... 17

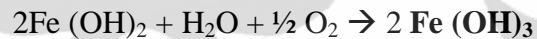
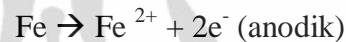
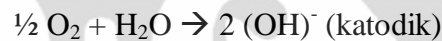


2. **Persamaan 2.2**..... 18

$$\text{Laju korosi} = \frac{K \cdot W}{D \cdot A \cdot t}$$

Ket : K = konstanta
W = kehilangan berat (gram)
D = densitas (gram/cm³)
A = luas permukaan yang terendam (cm²)
t = waktu (jam)

3. **Persamaan 2.3**..... 27



4. **Persamaan 3.1**..... 42

$$L_3 = 1/P_L$$

dimana :

P = Jml titik potong batas butir dengan total panjang garis yang dalam hal ini berbentuk lingkaran.

L_T = Panjang Garis Total (Sesuai standar ASTM =500mm)

M = Perbesaran

5. **Persamaan 3.2**..... 43

$$G = [-6,6439 \log (L_3) - 3,2877]$$

Ket : G = Besar butir menurut ASTM E112

6. **Persamaan 3.3**.....43

$$\% \text{ Pearlite pipa A} = \% C_A / (C_P - C_F)$$

$$\% \text{ Ferit pipa A} = (100 - \% \text{ Pearlite pipa A}) \%$$

$$\% \text{ Pearlite pipa B} = \% C_B / (C_P - C_F)$$

$$\% \text{ Ferit pipa B} = (100 - \% \text{ Pearlite pipa B}) \%$$

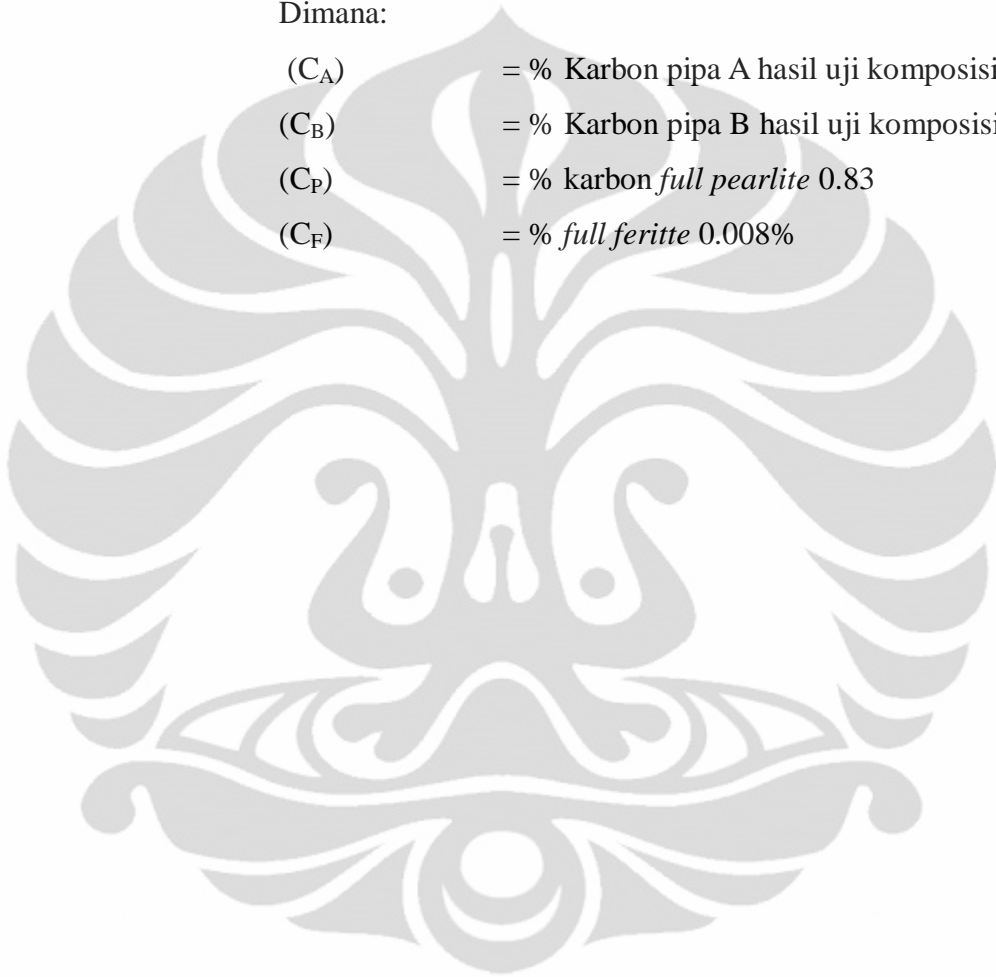
Dimana:

(C_A) = % Karbon pipa A hasil uji komposisi

(C_B) = % Karbon pipa B hasil uji komposisi

(C_P) = % karbon *full pearlite* 0.83

(C_F) = % *full feritte* 0.008%



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1.	<i>Mill Certificate Test</i>	76
LAMPIRAN 2.	Foto Kondisi Penyimpanan Material & Iklim di Kurau.....	78
LAMPIRAN 3.	Foto dan Hasil Uji Tarik	81
LAMPIRAN 4.	Contoh perhitungan dan tabel konversi besar butir	84
LAMPIRAN 5.	Proses perhitungan fraksi fasa menggunakan <i>level rule</i>	86
LAMPIRAN 6.	Proses dan Tabulasi Perhitungan <i>corrosion rate</i>	87
LAMPIRAN 7.	Hasil Uji Komposisi Kimia (OES, EDS, & XRD)	88



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia, sebagai negara yang kaya sumber daya alam, telah melakukan eksplorasi minyak bumi di beberapa wilayah demi kesejahteraan rakyat dan pasokan kebutuhan energi di tanah air. Salah satu wilayah yang dieksplorasi berada di perairan Selat Malaka. Eksplorasi ini dilakukan oleh salah satu Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS), Kondur Petroleum S.A., kontraktor BPMIGAS yang memiliki hak untuk melakukan kegiatan eksplorasi, eksploitasi dan pemasaran minyak dan gas bumi di Indonesia. Kondur Petroleum S.A. dimiliki oleh Energi Mega Persada (EMP) yang merupakan perusahaan terafiliasi dengan Grup Bakrie.

Dalam melaksanakan operasinya, Kondur Petroleum S.A. tidak hanya melakukan pengeboran atau mengangkat minyak dan gas dari perut bumi, tetapi juga melakukan distribusi dan transmisi fluida hasil pengeboran untuk diproses pada tahap selanjutnya. Media transmisi dan distribusi yang digunakan adalah pipa baja karbon dalam bentuk instalasi *pipeline*.

Penggunaan baja karbon untuk *pipeline* di industri perminyakan semata-mata karena alasan kekuatan mekanis dan ekonomis^[1]. Kesuksesan penggunaan *pipeline* baja karbon bergantung pada pendekatan desain yang sesuai dan kontrol korosi yang dilakukan^[1]. *Pipeline* baja karbon yang digunakan dalam produksi dan transmisi minyak dan gas alam dimanufaktur berdasarkan standar API 5L, dimana dalam standar itu tidak memiliki komposisi unsur kimia dan strukturmikro yang sangat spesifik^[1]. Tujuan dari standar ini adalah untuk menyediakan standar-standar pipa yang cocok untuk menyampaikan gas, air, dan minyak pada industri perminyakan dan industri gas alam.

Seiring besarnya kebutuhan pipa baja untuk *pipeline*, perusahaan membutuhkan persediaan pipa baja yang banyak. Beberapa produsen memasok pipa baja kepada Kondur Petroleum S.A. dengan jenis pipa baja yang sesuai dengan standar API 5L. Sebagai konsekuensinya, hasil fabrikasi pipa baja dari beberapa produsen hanya disesuaikan terhadap persyaratan sifat mekanis seperti

tegangan luluh, kekuatan tarik, dan ketangguhan retak^[1]. Kriteria seperti ini memungkinkan variasi yang cukup signifikan terhadap komposisi kimia dan struktur mikro, dimana variasi itu juga mampu mempengaruhi ketahanan korosi bahan^[1].

Meskipun spesifikasi bahan ditekankan pada kekuatan dan ketangguhan material, konsentrasi terbatas pada beberapa unsur, seperti pada karbon, mangan, fosfor, dan sulfur, juga menentukan jaminan mampu las, mampu bentuk, dan ketahanan korosi^[1]. Bagaimanapun, tingkat unsur paduan seperti nikel, kromium, dan niobium yang boleh ditambahkan pada baja, tidak begitu menentukan^[1]. Selanjutnya, kadar yang diijinkan pada karbon, mangan, fosfor, dan sulfur, disesuaikan dengan setiap *grade* yang berbeda untuk jenis pipa *seamless*, lasan, dan hasil pengerjaan dingin^[1]. Dengan cara yang sama, komposisional dan sifat struktur mikro bisa bervariasi secara signifikan antara pipa yang memiliki *grade* yang sama namun berbeda pamanufaktur, dan variasi ini berpotensi menghasilkan perbedaan ketahanan korosi baja *pipeline*^[1].

Untuk kasus yang diselidiki dalam penelitian ini, sebuah hasil inspeksi visual memperlihatkan bahwa *stock* pipa baja API 5L Gr B dari produsen 'x' terkorosi lebih cepat dibanding pipa baja lain dengan standar produk dan tempat penyimpanan (*open yard*) yang sama namun berbeda produsen. Hasil inspeksi juga memberikan kesimpulan sementara bahwa dimungkinkan terdapat perbedaan proses fabrikasi pipa baja oleh produsen. Dengan demikian, untuk menunjukan faktor utama pembeda ketahanan korosi pipa baja, diperlukan tahapan karakterisasi dan pengujian material di laboratorium. Karakterisasi material meliputi karakterisasi struktur mikro, komposisi, dan sifat mekanis. Sedangkan untuk menentukan performa material di lingkungan dilakukan uji *weight loss*.

1.1 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah adanya ketidaksamaan kinerja bahan terhadap lingkungannya. Kinerja bahan yang dimaksudkan di sini adalah ketahanan korosi material logam pipa baja yang masih dalam satu standar spesifikasi, yakni API 5L Gr B *Seamless*. Lingkungan tempat penyimpanan material pipa baja berada dalam kondisi terbuka (*open yard*) dengan

atmosfer udara. Usia penyimpanan material pipa baja relatif sama. Sehingga secara visual seharusnya hasil inspeksi memberikan penampakan korosi merata yang sama.

Dengan demikian, berdasarkan data hasil inspeksi visual yang menyatakan bahwa ketahanan korosi pada material pipa baja berbeda, maka dapat dirumuskan permasalahan utamanya mengapa terdapat perbedaan ketahanan korosi pada material yang masih dalam satu standar spesifikasi. Dalam penelitian ini, spesifikasi yang dimaksud adalah jenis baja karbon rendah dengan acuan standar API 5L Gr B *Seamless*. Permasalahan selanjutnya adalah bagaimana menentukan metode pencegahan yang efektif untuk menurunkan laju korosi pada material tersebut. Terakhir, bagaimana memberikan suatu rekomendasi yang baik kepada Kondur Petroleum S.A. untuk menentukan kriteria yang tepat saat melakukan pemilihan material baja karbon rendah sebagai *pipeline*.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa penyebab utama yang membedakan ketahanan korosi material API 5L Gr B *Seamless* dari produsen 'x' dengan produsen lain yang dianggap memiliki ketahanan korosi yang baik berdasarkan hasil inspeksi visual. Dengan kondisi lingkungan penyimpanan yang sama maka hal yang dijadikan faktor utama pembeda ketahanan korosi material adalah material API 5L itu sendiri.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.4.1 Material

Penelitian ini menggunakan dua material pipa *seamless* yang mengacu pada standar produk API 5L *Grade B*. Material yang digunakan berasal dari dua produsen pipa yang berbeda, namun memiliki sertifikasi monogram API yang sama. Kedua material tersebut adalah jenis pipa baja karbon rendah yang diproduksi dengan metode pengubahan bentuk *cold drawn* dan perlakuan panas *normalization*. Material ini merupakan produk standar yang umum digunakan untuk material pipa pada industri-industri gas, air dan minyak.

Untuk memudahkan *handling* saat penelitian, kedua material ini diberi *marking*, dimana material dari produsen 'x' dianggap sebagai material yang memiliki ketahanan korosi yang buruk, sedangkan material dari produsen yang lain dianggap sebagai material yang memiliki ketahanan korosi yang baik dan dijadikan sebagai pembanding dari material produsen 'x'. Material dari produsen 'x' diberi nama "Pipa A", sedangkan material pembanding diberi nama "Pipa B". Kedua material ini diambil dari tempat penyimpanan terbuka (*open yard*) yang terdapat di Kurau *Field*, Kondur Petroleum. Spesifikasi khusus mengenai kedua material dapat dilihat di *Mill Test Certificate* pada Lampiran 1.

1.4.2 Variabel Penelitian

Ragam topik yang akan diamati pada penelitian ini sebagai berikut:

1) Metalografi

Metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik untuk mendapatkan struktur mikro material. Dari struktur mikro, akan diamati fasa, ukuran besar butir melalui perhitungan besar butir dan perbandingan fraksi fasa dengan menggunakan persamaan *level rule*.

2) Komposisi Kimia

Komposisi kimia *base* material didapatkan melalui pengujian spektrometri menggunakan alat *Optical Emission Spectrometry*.

3) Laju Korosi

Laju korosi material didapatkan melalui *immersion test* dengan menggunakan larutan NaCl 3.5%.

4) Sifat Mekanis

Karakterisasi sifat mekanis material ditentukan melalui uji tarik untuk menentukan perbandingan nilai luluh dan kekuatan tarik maksimum material.

5) Produk Korosi

Karakterisasi produk korosi dilakukan untuk mengetahui unsur dan senyawa produk korosi yang terbentuk serta mengetahui morfologi korosi yang terjadi pada permukaan material.

1.4.3 Tempat Penelitian

Proses penelitian dilakukan di beberapa tempat, yaitu :

- 1) Proses *review* dokumen dan pelaksanaan penelitian secara keseluruhan dilakukan di Energi Mega Persada Office, Bakrie Tower 24th floor, Jakarta.
- 2) Studi Lapangan dan pengambilan sampel awal dilakukan Kurau *Field*, Kondur Petroleum S.A.
- 3) Preparasi sampel dilakukan di *workshop office* Departemen Metalurgi dan Material FTUI.
- 4) Pengujian metalografi (mikroskop optik), laju korosi, dan uji tarik dilakukan di Laboratorium Uji Material Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI. Untuk pengujian komposisi kimia *base* material, komposisi kimia unsur produk korosi, dan metalografi (SEM) morfologi permukaan logam yang terkorosi dilakukan di Laboratorium *Center for Material Processing and Failure Analysis* Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Sedangkan pengujian komposisi kimia senyawa produk korosi dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri Jakarta.

1.5 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 1 : Pendahuluan

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang dari penelitian yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Dalam bab ini dijelaskan tentang studi literatur yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini.

Bab 3 : Metodologi Penelitian

Bab ini berisi mengenai langkah kerja, prosedur penelitian, prinsip pengujian, serta daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

Bab 4 : Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi data-data hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian tersebut dibandingkan dengan hasil studi literatur.

Bab 5 :Kesimpulan

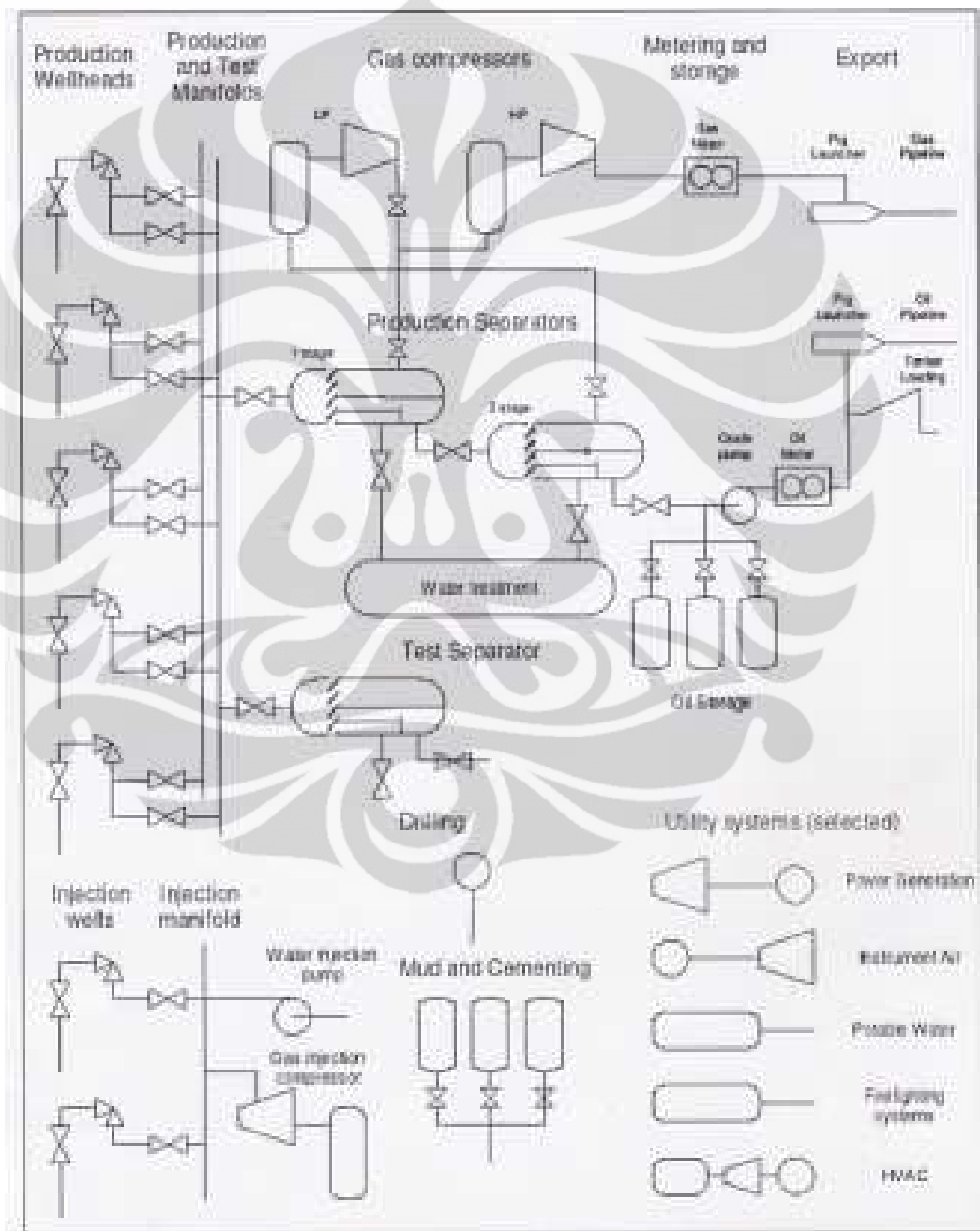
Membahas mengenai kesimpulan akhir berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Produksi Minyak dan Gas^[2]

Tahapan produksi minyak dan gas secara umum secara skematik pada Gambar 2.1 sebagai berikut:

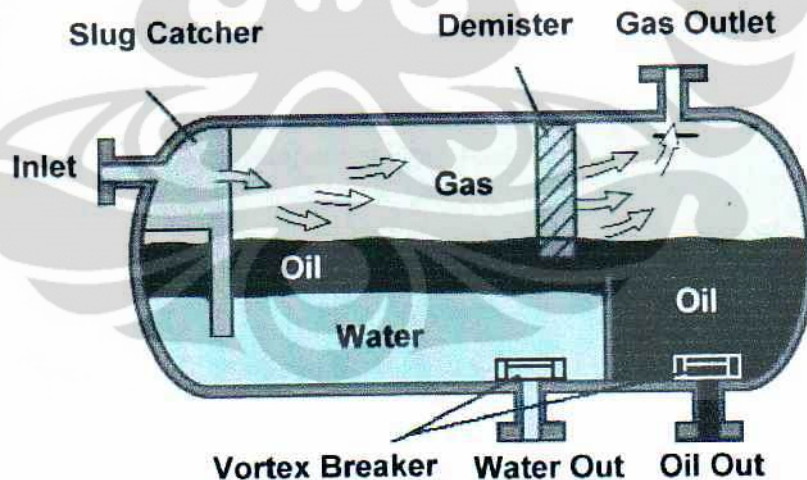


Gambar 2.1 Diagram alir proses produksi minyak dan gas^[2]

2.1.1 Gathering system^[2]

Minyak dan gas diambil dari dalam bumi, baik yang berlokasi di darat maupun lepas pantai, kemudian disalurkan melalui pipa-pipa menuju tempat pengujian. Proses awal ini disebut dengan *gathering system*. Pada proses awal ini semua komponen dalam perut bumi terambil, sehingga minyak, air, gas, karbondioksida, senyawa-senyawa garam, sulfur, dan pasir tercampur ikut terbawa. Proses selanjutnya adalah memisahkan komponen-komponen minyak mentah tersebut. Proses pemisahan terjadi pada *Gas and Oil Separation Plant* (GOSP). Dalam tahap ini komponen tersebut dibagi menjadi tiga, yaitu; minyak, gas, dan air.

Pemisahan ini terjadi dalam sebuah *pressure vessel* dan biasanya dilakukan dalam 2-3 tahapan. Prinsip dasar yang digunakan pada proses pemisahan ini adalah berat jenis dari masing-masing komponen. Fasa gas dalam *vessel* akan naik karena mempunyai berat jenis paling ringan sehingga keluar melalui *outlet* bagian atas, minyak yang mempunyai berat jenis lebih ringan dari air akan mengalir ke bawah beserta air namun terpisah sesuai ilustrasi dibawah.



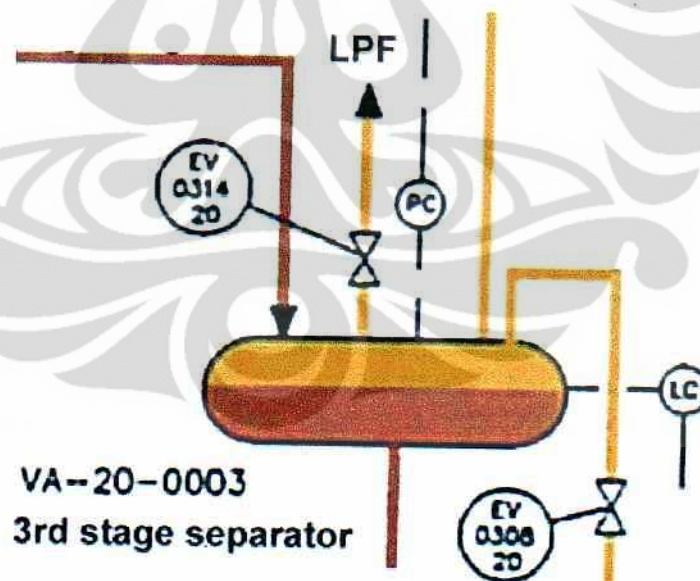
Gambar 2.2 Proses pemisahan minyak, air, dan gas^[2]

Pada pintu masuk terdapat *slug catcher* yang berfungsi untuk menyaring *slug* (gas-gas yang terperangkap dan *liquid plug*). *Slug* sendiri terbentuk dari hidrokarbon yang terkondensasi akibat pengaruh tekanan proses. Pada *outlet* air dan minyak terdapat *Vortex Breaker*, alat ini berfungsi sebagai filter kedua sehingga minyak dalam air atau sebaliknya dapat tersaring. Di bagian atas juga terdapat *Demister* yang fungsinya tidak jauh berbeda dengan *Vortex Breaker* yaitu

sebagai filter gas agar tidak ada minyak atau air yang masih terperangkap dalam gas.

Setelah itu proses pemisahan dilanjutkan ke tahap dua. Tahap kedua ini hampir sama dengan tahap pertama. Hanya saja disini ditempatkan *oil heater* untuk memanaskan kembali minyak atau campuran komponen minyak tadi. Pemanasan ini bertujuan untuk memudahkan pemisahan komponen air selanjutnya. Pada tahap ini juga digunakan penukar panas sebagai alat untuk mendinginkan minyak.

Pada tahap ketiga, yaitu tahap akhir, digunakan alat bernama *flash-drum* atau *Knock Out Dream*. Alat ini berfungsi untuk memisahkan antara komponen hidrokarbon berat dan yang ringan. Disini tekanan diturunkan sampai mencapai tekanan atmosfer sehingga sering disebut *atmospheric separator*. Pada tahap ini juga kadang diperlukan *heat exchanger* untuk memanaskan kembali komponen input apabila suhunya terlalu rendah. Pemanasan kembali ini bertujuan agar hasil pemisahan yang didapatkan lebih baik.

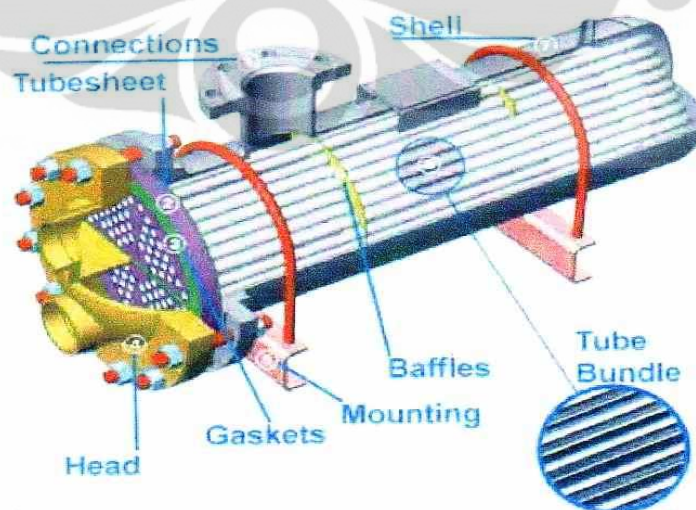


Gambar 2.3 Proses pemisahan tahap ketiga^[2]

Setelah keluar dari pemisahan tahap ketiga, digunakanlah *coalescer* yang berfungsi untuk mereduksi kembali kandungan air hingga mencapai 0,1%. Di dalam *coalescer* terdapat elektroda yang berfungsi sebagai pencipta medan listrik yang berfungsi untuk memutus ikatan antara air dan minyak dalam emulsi air-minyak. Apabila ada kandungan garam yang melewati standar, maka garam-

garam tersebut dapat dihilangkan menggunakan *electrostatic desalter*. Pemurnian air diaplikasikan pada air yang dipisahkan sebelum dibuang ke laut. Air tersebut harus dimurnikan karena air tersebut masih mengandung emulsi air-minyak dan partikel-partikel pasir. Untuk memisahkan komponen-komponen yang tidak diinginkan tersebut maka digunakan *sand cyclone*, *hydro cyclone*, dan *water degassing drum* berfungsi untuk mengangkat gas yang masih terdapat dalam air.

Gas yang disalurkan dari sumur ke tempat pengolahannya mengalami penurunan tekanan yang cukup banyak. Untuk disalurkan dan didistribusikan gas harus diberi tekanan kembali untuk itu proses pemurnian dan kompresi gas ini dilakukan. Proses ini menggunakan *turbine compressor* sebagai alat utamanya. Fasa gas masuk ke sini selanjutnya dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian yang bertekanan tinggi dan bagian yang bertekanan rendah. *Turbine compressor* ini menggunakan sebagian kecil dari gas alam yang diprosesnya sebagai bahan bakar. *Turbine compressor* ini pada beberapa industri migas dapat diganti dengan kompresor sentrifugal yang tidak membutuhkan energi dari gas alam yang diprosesnya namun energi yang dibutuhkan untuk beroperasi didapat dari generator listrik yang beroperasi didekatnya. Proses pemurnian dan kompresi gas ini tidak hanya terdiri dari *turbine compressor* namun juga terdiri dari beberapa alat seperti *scrubber* (untuk menghilangkan kandungan air dalam gas), *lube oil treatment*, dan penukar panas.

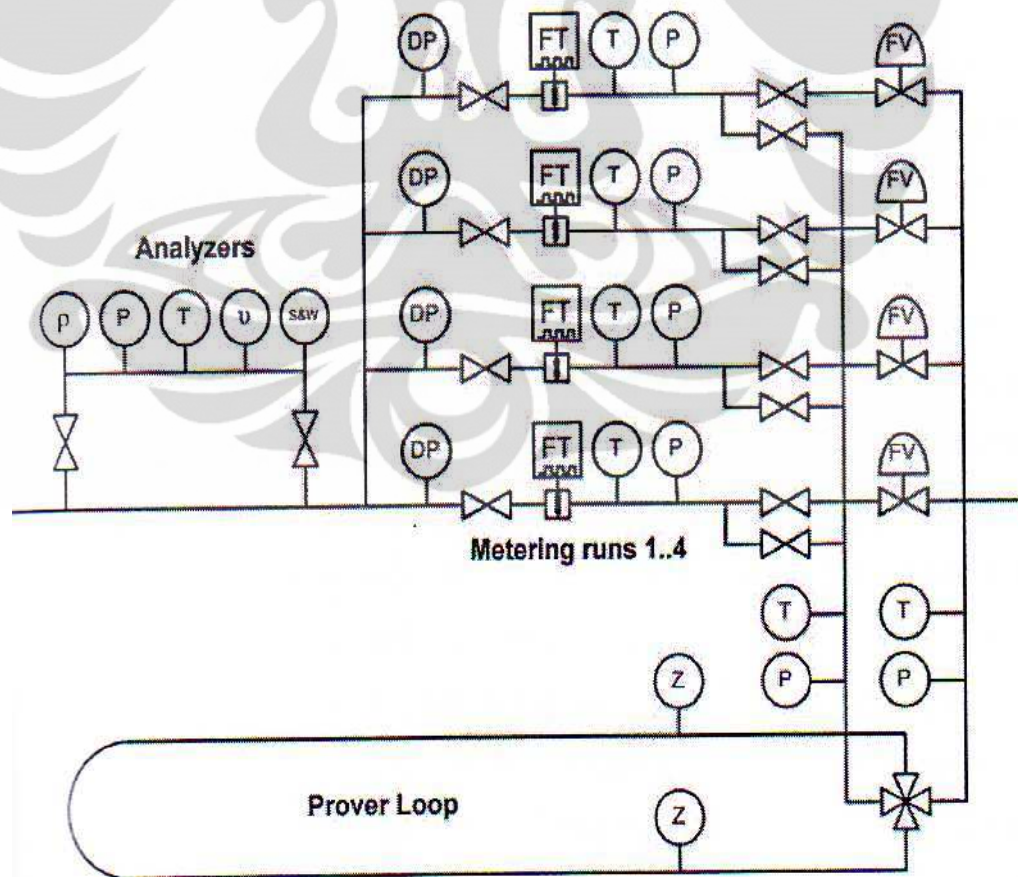


Gambar 2.4 Sistem penukar panas^[2]

Penyuar panas berfungsi untuk menurunkan suhu agar lebih mudah diproses di kompresor. Semakin rendah suhu gas yang diproses oleh kompresor maka akan semakin rendah energi yang diperlukan untuk menekan gas hingga kondisi akhir dengan temperatur dan tekanan tertentu. Gambar di atas adalah skema penyuar panas jenis *tube*. Pada penyuar panas jenis ini dialirkan melalui *tube* dan didinginkan menggunakan air yang berada dalam *shell*.

2.1.2 Oil and Gas Storage, Metering, and Export^[2]

Hasil produksi minyak dan gas tidak langsung dikirim namun disimpan dalam *storage tank*. Sebelum dikirim, produksi minyak dan gas hasil produksi harus diukur untuk keperluan fiskal dan pajak. Skema pengukuran digambarkan pada gambar di bawah ini. Pada bagian sebelah kiri, terdapat *analyzer* yang berfungsi untuk menampilkan data-data seperti kerapatan, kekentalan, dan kandungan air.



Gambar 2.5 Fiscal metering^[2]

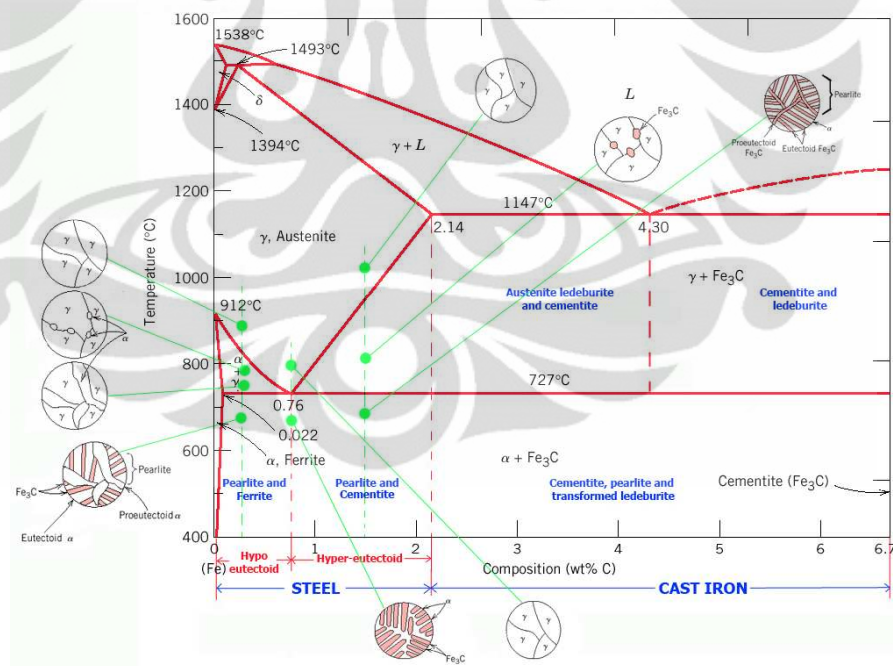
2.2 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah salah satu jenis baja karbon, dimana persentase unsur karbonnya di bawah 0.25%, untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Tabel 2.1, sedangkan unsur pembentuk lainnya adalah seperti Mn tidak lebih dari 0.8%, Si tidak lebih dari 0.5%, demikian pula unsur Cu tidak lebih dari 0.6%.

Tabel 2.1 Klasifikasi baja karbon ^[3]

No	Jenis Baja Karbon	Persentase Unsur Carbon (%C)
1	Baja Karbon Rendah	$\leq 0.25\%$
2	Baja Karbon Medium	0.25 – 0.55
3	Baja Karbon Tinggi	$\geq 0.55\%$

Disamping jenis baja karbon berdasarkan kandungan karbonnya, juga dikelompokkan berdasarkan komposisi prosentasi unsur pemadu karbon seperti yang diperlihatkan pada diagram fasa Fe-C Gambar 2.6, baja hypoeutektoid kurang dari 0.8% C, baja eutektoid 0.8% C, sedangkan baja hypereutektoid lebih besar dari 0.8% C.



Gambar 2.6 Diagram kesetimbangan Besi-Karbon ^[4]

Baja dengan kadar karbon sangat rendah memiliki kekuatan yang relatif rendah tetapi memiliki keuletan yang relatif tinggi. Baja jenis ini umumnya digunakan untuk proses pembentukan lembaran. Dengan meningkatnya kadar karbon maka baja karbon menjadi semakin kuat tetapi berkurang keuletannya.

Baja karbon rendah atau sangat rendah banyak digunakan untuk proses pembentukan lembaran, misalnya untuk badan dan rangka kendaraan serta komponen-komponen otomotif lainnya. Baja jenis ini dibuat dan diaplikasikan dengan mengeksploitasi sifat-sifat ferit. Ferit adalah salah satu fasa penting di dalam baja yang bersifat lunak dan ulet. Baja karbon umumnya memiliki kadar karbon di bawah komposisi *eutectoid* dan memiliki struktur mikro hampir seluruhnya ferit.

Baja karbon rendah dengan kandungan karbonnya yang rendah dan struktur mikronya yang terdiri dari fasa ferit dan pearlit menjadikan baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya lemah namun keuletan dan ketangguhannya sangat baik. Baja karbon rendah kurang responsif terhadap perlakuan panas untuk mendapatkan struktur mikro martensit maka dari itu untuk meningkatkan kekuatan baja karbon rendah dapat dilakukan dengan proses canai dingin maupun karburisasi.

Selain kadar karbon, sifat-sifat mekanik baja karbon rendah dengan fasa tunggal ferit ditentukan pula oleh dimensi atau ukuran butir-butir ferit. Secara umum diketahui bahwa baja dengan ukuran butir lebih kecil akan memiliki kekuatan yang tinggi pada suhu kamar. Material dengan butir yang lebih halus maka akan lebih keras dan kuat dibandingkan material dengan butir kasar, karena butir halus memiliki area butir total yang lebih luas untuk menghalangi pergerakan dislokasi. Untuk sebagian besar material, kekuatan tariknya bervariasi dengan ukuran butir. Penguatan baja karbon rendah dapat dilakukan melalui proses termomekanika, proses perlakuan panas, dan pemberian paduan mikro.

2.2.1 Ferit^[5,6]

Ferrite adalah unsur utama dalam baja karbon rendah. *Ferrite* pada dasarnya adalah besi murni dan berisi C kurang dari 0,005% pada suhu kamar. Namun, dapat mengandung elemen paduan seperti mangan dan silikon. Pada baja karbon rendah, yang paling sering ferit muncul sebagai sebuah morfologi sama-sumbu (dimensi yang sama dalam segala arah). Morfologi ini juga disebut poligonal ferit. *Ferrite* juga dapat muncul dalam morfologi memanjang dan berisi arah deformasi (garis-garis gelap di butir) dari proses pengerjaan dingin.

2.2.2 Pearlit^[6,7]

Pearlite merupakan struktur mikro akibat transformasi eutektoid pada baja dari austenit (γ) yang menghasilkan fasa ferit (α) dalam bentuk koloni-koloni lamelar dan sementit (Fe_3C). Ferit dan sementit di dalam perlit akan terbentuk di temperatur A1 atau sekitar 727 °C. Fasa perlit terjadi ketika baja didinginkan secara normal atau lambat sampai mengenai hidung perlit (ferit + sementit). Perlit akan bernukleasi dan tumbuh di batas butir austenit. Mekanisme pengaturan ulang atom besi dari struktur kristal fcc austenit menuju struktur bcc ferit pada *austenite-ferrite interface*. Sementara itu atom karbon karena kelarutannya rendah akan masuk ke dalam austenit sisa yang tidak bertransformasi menjadi sementit di dalam ferit.

2.3 Pipa^[8]

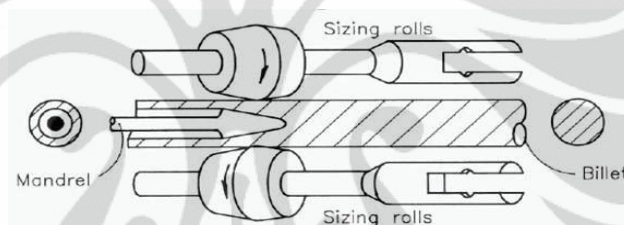
Pipa adalah istilah untuk benda silinder yang berlubang dan digunakan untuk memindahkan zat hasil pemrosesan seperti cairan, gas, uap, zat padat yang dicairkan maupun serbuk halus. Material yang digunakan sebagai pipa sangat banyak diantaranya adalah: beton cor, gelas, timbal, kuningan (*brass*), tembaga, plastik, aluminium, besi tuang, baja karbon, dan baja paduan. Pemilihan material pipa akan sangat membingungkan sehingga perlu pemahaman mendalam untuk apa saluran/sistem pipa itu dibuat, mengingat setiap material memiliki keterbatasan dalam setiap aplikasinya. Material yang paling umum digunakan adalah pipa baja karbon.

Pipa yang digunakan di lapangan minyak dan gas adalah jenis pipa baja karbon rendah dengan produk standar API (*American Petroelum 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.

2.3.1 Proses Manufaktur Pipa^[8]

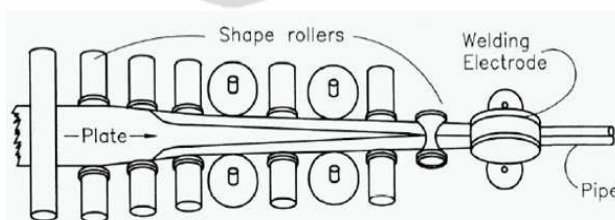
Pipa baja karbon dapat diproduksi dengan berbagai metode dengan karakteristiknya masing-masing meliputi kekuatan, ketebalan dinding, ketahanan korosi dan batasan suhu serta tekanan. Misalkan, pipa-pipa yang memiliki tebal yang sama tetapi bila dimanufaktur dengan metoda yang berbeda kemungkinan besar akan memiliki batas tekanan dan kekuatan yang berbeda-beda. Metode yang sering digunakan meliputi *seamless*, *but-welded* dan *spiral-welded pipe manufacturing*.

Seamless pipe dibuat dengan cara menusuk batang baja yang mendekati suhu cair (disebut *billet*) dengan menggunakan sebuah mandrel yang mana pipa ini tidak memiliki sambungan. Diagram pembuatan pipa *seamless* (tanpa sambungan) dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.7 Skema pembuatan pipa tanpa sambungan^[8]

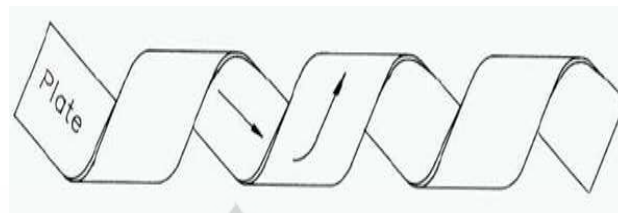
Butt-welded pipe dibuat dengan cara memasukkan pelat baja panas melalui pembentuk (*shapers, shape rollers*) yang akan merolnya ke menjadi bentuk batangan pipa yang berlubang. Penekanan yang sangat kuat pada kedua sisi-sisi pelat akan menghasilkan sambungan las. Gambar diagram berikut ini menunjukkan pembentukan pipa *butt-welded* dari bahan dasar pelat hingga menjadi pipa melalui proses pengerolan.



Gambar 2.8 Skema pembuatan pipa *butt-welded*^[8]

Spiral-welded pipe dibuat dengan cara memuntir strip logam (pelat panjang dengan lebar sempit, seperti pita), menjadi bentuk spiral, seperti pola kriting rambut di salon, kemudian dilas dimana ujung-ujung sambungan satu-sama lain membentuk sebuah sambungan. Pipa-pipa jenis ini terbatas pada sistem

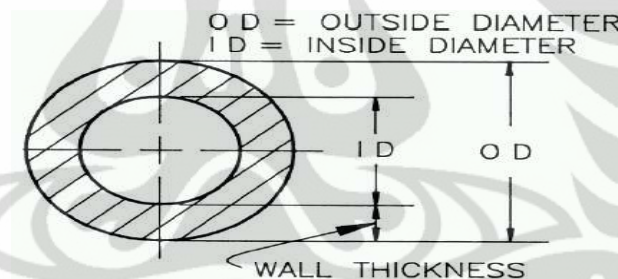
pemipaan yang menggunakan tekanan rendah karena tebal pipa yang tipis. Gambar diagram berikut ini menunjukkan *spiral-welded pipe* sebelum dilas :



Gambar 2.9 Skema pembuatan pipa *spiral-welded*^[8]

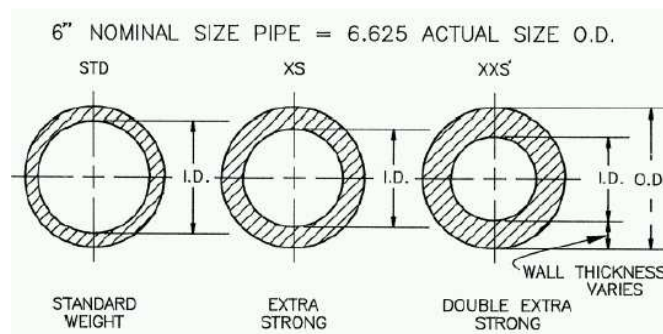
2.3.2 Ukuran dan Ketebalan Pipa^[8]

Ukuran pipa dinyatakan dengan NPS (*Nominal Pipe Size*) yang digunakan untuk menjelaskan sebuah pipa dengan namanya. Selain itu dengan ukuran aktual diameter luar (*Outside Diameter*, OD) dan diameter dalam aktual (*Inside Diameter*, ID). Gambar 2.10 berikut menjelaskan hal di atas. Dalam sistem pemipaan, diameter luar dijaga sama, sedangkan diameter dalam disesuaikan dengan kekuatan pipa yang diinginkan.



Gambar 2.10 Diameter pipa^[8]

Ketebalan pipa bervariasi meskipun diameter luarnya sama, karena dibuat sesuai dengan kekuatan pipa tersebut. Seperti digambarkan di bawah ini, semakin kuat pipa maka semakin tebal pipa tersebut. Diameter dalam, sama dengan diameter luar dikurangi dua kali tebal pipa.



Gambar 2.11 Ketebalan pipa^[8]

2.4. Korosi^[9]

Korosi merupakan suatu proses elektrokimia, dengan massa energi yang ada atau tersimpan di dalam logam pada waktu pemurnian (metalurgi ekstraksi) merupakan sumber tegangan listrik. Korosi pada material logam akan terjadi jika terdapat larutan penghantar (elektrolit). Jika logam dimasukkan ke dalam elektrolit, maka ada bagian dari permukaan logam yang melepaskan elektron. Elektrolit merupakan media yang mendukung untuk terjadinya reaksi korosi pada suatu logam karena dapat menghantarkan arus listrik. Tempat atau bagian permukaan logam yang melepaskan elektron tersebut merupakan anoda, sedangkan yang menerima elektron tersebut adalah katoda. Reaksi dari logam yang melepaskan elektron dan masuk ke dalam elektrolit adalah sebagai berikut :



Kombinasi dari anoda, katoda, elektrolit, dan elektron konduktor disebut sebagai sel korosi (*corrosion cell*). Elektron dari anoda berpindah menuju katoda pada permukaan logam. Sebagai akibatnya maka material logam akan mengalami perubahan sifat, baik sifat fisik maupun sifat mekaniknya sehingga mengakibatkan degradasi dari sifat-sifat logam tersebut.

2.4.1 Perhitungan Laju Korosi^[10]

Perhitungan laju korosi merupakan salah satu *corrosion prediction* yang digunakan untuk mengetahui kecepatan suatu material untuk terkorosi, sehingga material tersebut mulai terkorosi dapat diprediksi. Selain itu, umur pakai material, mekanisme korosi material tersebut, evaluasi dan variasi kontrol lingkungan untuk perlindungan material tersebut dapat dipelajari lebih lanjut^[11]. Teknik pengukuran laju korosi dapat dilakukan dengan metode kehilangan berat dan metode elektrokimia (diagram polarisasi, *linear polarization resistance*, *electrochemical impedance spectroscopy*, potensial korosi, dan *electrochemical noise*). Namun, metode yang sering digunakan adalah kehilangan berat (*weight loss*).

Weight loss merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan laju korosi. Prinsip dasar pengujian ini yaitu dengan menghitung kehilangan berat yang terjadi pada suatu sampel yang telah ditimbang, kemudian direndam pada larutan selama beberapa waktu dan kemudian dilakukan

pembersihan untuk membersihkan produk korosinya lalu ditimbang kembali. Sehingga didapatkan data berat sebelum dan sesudah perendaman. Kehilangan berat yang terjadi kemudian dikonversikan menjadi suatu laju korosi dengan memperhitungkan kehilangan berat, luas permukaan yang terendam, waktu perendaman dan massa jenis^[11]. Formula untuk menghitung laju korsi dengan metode kehilangan berat dengan persamaan sebagai berikut^[12]:

$$\text{Laju korosi} = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (2.2)$$

Ket : K = konstanta

W = kehilangan berat (gram)

D = densitas (gram/cm³)

A = luas permukaan yang terendam (cm²)

T = waktu (jam)

Dimana konstanta yang digunakan tergantung dari unit satuan yang akan digunakan, ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Konstanta laju korosi ^[13]

Satuan Laju Korosi	Konstanta
<i>mils per year (mpy)</i>	3.45 x 10 ⁶
<i>inches per year (ipy)</i>	3.45 x 10 ³
<i>inches per month (ipm)</i>	2.87 x 10 ²
<i>millimetres per year (mm/y)</i>	8.76 x 10 ⁷
<i>micrometres per year (µm/y)</i>	8.76 x 10 ⁴
<i>picometres per second (pm/s)</i>	2.78 x 10 ⁶
<i>grams per square metre per hour (g/m².h)</i>	1.00 x 10 ⁴ x D ^A
<i>milligrams per square decimetre per day (mdd)</i>	2.40 x 10 ⁶ x D ^A
<i>micrograms per square metre per second (µg/m².s)</i>	2.78 x 10 ⁶ x D ^A

Menurut L.Caceres, dkk.^[14] dalam penelitiannya menyatakan bahwa pengujian *weight loss* mempunyai kelemahan dibandingkan teknik pengujian lainnya. Kelemahannya yaitu tidak dapat mendeteksi secara cepat perubahan yang

terjadi pada proses korosi, perhitungan laju korosi pada *coupon* tidak dapat diterjemahkan secara langsung dari peralatan, *localized corrosion* tidak dapat dilihat secara langsung tanpa pemindahan *coupon* dari tempat pengujian, dan bentuk korosi tidak dapat dideteksi dari *coupon*. Namun, menurut Jia-Jung Fu, dkk.^[15], metode *weight loss* sering digunakan dalam skala laboratorium dan industri, karena memerlukan peralatan yang sederhana dan diperoleh data yang akurat tentang laju korosi.

2.4.2 Faktor-Faktor Penyebab Korosi

Terkorosinya logam tergantung dari beberapa faktor penyebab yang meliputi :

2.4.2.1 Efek Komposisi Kimia^[16,17,18]

Komposisi dalam besi atau baja secara komersil hanya baja karbon dan baja paduan rendah, secara praktikal tak ada efek pada laju korosi dalam *natural water* atau tanah. Hanya bila baja dipadukan dalam proporsi *stainless steel* (Cr >12 %) atau paduan *high silicon-iron* atau *high nickel-iron* maka masalah korosi cukup besar mampu direduksi. Untuk yang terekspos udara luar, keadaan diubah karena penambahan elemen tertentu dalam jumlah kecil, seperti ; 0,1 – 1% Cr, Cu atau Ni, memiliki efek protektif berupa film yang membentuk *rust* secara alami.

Meskipun kandungan karbon tidak memiliki efek pada laju korosi dari air, laju korosi meningkat lebih sedikit (maksimum 20%) bila kandungan karbon ditingkatkan dari 0,1 – 0,8%. Karena peningkatan ini sangat penting dihubungkan terhadap reaksi evolusi hidrogen dalam bentuk larutan klorida (membentuk kompleks Fe^{2+} dengan Cl^-) tambahan terhadap depolarisasi oksigen selama permukaan katodik sementit (Fe_3C) meningkat.

Dalam asam, laju korosi meningkat dengan kehadiran kandungan karbon dan nitrogen dalam baja. Tingkat kenaikan sebagian besar tergantung dari perlakuan panas dan lebih besar pada baja pengerjaan dingin^[19,20].

Paduan sulfur dan posfor menunjukkan peningkatan laju serangan dalam asam. Elemen ini membentuk senyawa yang jelas memiliki overpotential hidrogen yang rendah; tambahan lagi, paduan ini cenderung untuk menurunkan polarisasi anodik. Sehingga laju korosi bisa didorong oleh elemen ini pada kedudukan

anodik dan katodik keduanya.

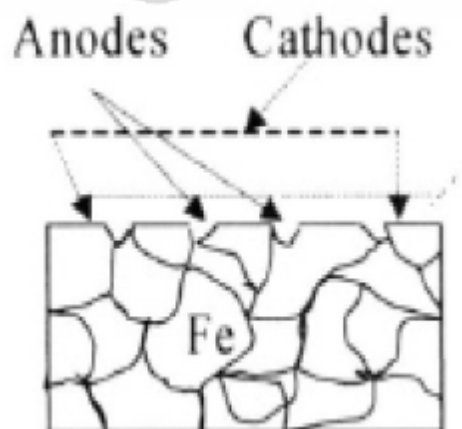
Kehadiran unsur pada beberapa baja hanya dalam jumlah kecil. Arsen meningkatkan laju korosi dalam asam, efeknya sama pada sulfur dan posfor, tetapi dalam jumlah besar (0,2%) bisa menurunkan laju korosi. Mangan yang ditambahkan dalam proporsi normal (sampai 1%) pada baja komersil tidak mempengaruhi laju korosi.

Tembaga yang dipadukan dengan besi murni dengan kadar 10% saja cukup untuk meningkatkan laju korosi dalam asam. Keberadaan posfor dan sulfur, bagaimanapun juga, dalam komponen normal baja komersi, unsur Cu menghalangi efek dari akselerasi akibat elemen ini. *Copper-bearing steel* biasanya terkorosi dalam asam non-oksidasi lebih rendah dibandingkan baja tanpa Cu.

Baja yang mengandung sedikitnya 10% Cu lebih tahan terhadap udara luar tetapi tidak memperlihatkan manfaat melebihi baja tanpa Cu dalam *natural water* atau terbenam dalam tanah dimana difusi O_2 mengontrol laju korosi.

2.4.2.2 Efek Struktur Mikro^[21,22]

Logam yang terdeformasi secara mekanis dapat mengalami korosi galvanis yang diakibatkan adanya perbedaan distorsi dan kerapatan dislokasi di dalam atom. Secara umum dislokasi dapat diartikan sebagai cacat kristal. Proses perlakuan panas atau *heat treatment* juga dapat menyebabkan ketidakseragaman mikrostruktur dalam suatu material. Dalam struktur suatu material korosi galvanis juga dapat terjadi antara butir dan batas butir. Gambar 2.12 menunjukkan fenomena korosi galvanik mikro di dalam struktur mikro.



Gambar 2.12. Sel Galvanis Mikro^[9]

Korosi galvanis dapat terjadi pada paduan polikristalin, contohnya baja perlitik. Perbedaan mikrostruktur dapat menyebabkan sel galvanis mikro. Pada fasa perlit misalnya, sel galvanis dapat terjadi antara ferit dan sementit karena masing-masing fasa memiliki energi bebas dan potensial yang berbeda. Perbedaan inilah yang menyebabkan terbentuknya anoda dan katoda yang dapat mengakibatkan korosi.

2.4.2.3 Efek Deformasi Plastis^[22]

Perlakuan canai dingin merupakan salah satu cara untuk memodifikasi sifat suatu material. Perlakuan ini selain dapat memodifikasi material secara bentuk fisik juga dapat mengubah dalam hal mikrostruktur. Terkait dengan adanya perubahan morfologi mikrostruktur, tentunya juga akan mempengaruhi beberapa sifat dasar dari material tersebut, salah satunya adalah perubahan terhadap ketahanan korosi. Perubahan mikrostruktur ini mengakibatkan terjadinya perubahan kerapatan dislokasi dan perubahan distorsi dalam atom. Pemberian deformasi ini akan meningkatkan besar tegangan yang dimiliki karena semakin rapatnya dislokasi yang merupakan cacat kristal.

Sebagaimana diketahui bahwa dengan terjadinya peningkatan tegangan, akan berakibat pada sifat korosinya, dimana daerah pada suatu material yang memiliki tegangan yang lebih tinggi akan cenderung bersifat lebih anodik, sedangkan bagian yang lebih rendah tegangannya akan bersifat katodik. Dikarenakan adanya perbedaan ini, korosi yang cenderung terjadi adalah korosi galvanis. Perbedaan antara daerah butir dan batas butir terjadi karena adanya perbedaan energi bebas pada kedua daerah tersebut. Energi bebas pada batas butir memiliki nilai yang lebih tinggi ketimbang yang ada pada butir, sehingga apabila batas butir meningkat akibat perlakuan deformasi, semakin tinggi pula energi bebas dan potensial akan menjadi negatif, sehingga laju korosi material tersebut akan meningkat.

2.4.2.4 Efek Perlakuan Panas^[21]

Banyak sifat mekanis material yang dapat ditingkatkan dengan berbagai macam perlakuan panas. Tetapi, beberapa sifat seperti kekerasan dan kekuatan

sering dicapai dengan ‘mengorbankan’ ketahanan korosinya. Sebagai contoh, kekerasan dan kekuatan baja martensitik berbanding terbalik dengan ketahanan korosinya yang lebih rendah dibandingkan dengan baja feritik ataupun austenitik.

Pada proses seperti pengerjaan dingin, dimana material secara plastis berubah menjadi bentuk yang diinginkan, akan mengarah kepada pembentukan butir yang memanjang dan cenderung pipih, yang berakibat terhadap penurunan ketahanan korosinya. Pengerjaan dingin juga dapat menghasilkan tegangan sisa yang dapat membuat material rentan terhadap *stress corrosion cracking*. Dalam hal ini, untuk meningkatkan ketahanan korosi dapat dicapai dengan melakukan *annealing* pada temperatur dimana rekristalisasi butir terjadi. *Anneal* sebagian dapat menyebabkan terjadinya *stress relief* tanpa efek besar pada keseluruhan kekuatan material.

2.4.2.5 Efek Komposisi Air pada Lingkungan

Terkorosinya logam selain tergantung dari faktor perlakuan panas juga tergantung dari komposisi air, yaitu:

1. Konduktivitas air

Korosivitas dari air akan meningkat bersama dengan peningkatan konduktivitas dari air tersebut. *Distilled water* (air murni) tidak begitu konduktif dan korosif, sedangkan air garam sangat konduktif dan korosif. Korosivitas mengalami peningkatan jika air menjadi lebih bergaram.

2. pH Air

Korosivitas air biasanya meningkat sejalan dengan penurunan pH air (akan menjadi lebih asam). Pada pH tinggi maka akan membentuk *scale* pada permukaan logam dan menjaga atau menurunkan laju korosi.

3. Kelarutan gas

Oksigen, karbondioksida, atau hidrogen sulfida jika terlarut dalam air akan menaikkan korosivitas secara drastis. Pada kenyataannya gas merupakan penyebab utama dari peristiwa-peristiwa korosi.

2.4.2.6 Efek Komposisi Logam

Logam mempunyai kecenderungan untuk terkorosi yang berbeda-beda, seperti magnesium, aluminium, *zinc*, tembaga, perak ataupun emas membutuhkan energi pemurnian yang berbeda-beda. Baja merupakan obyek yang utama digunakan dalam *oilfield* sehingga perlu dipelajari secara mendetail bagaimana air dapat mengkorosi baja.

Ada banyak baja yang digunakan dalam *oilfield*, seperti *simple low carbon steel* yang digunakan dalam operasi produksi untuk *pipeline*, *tubing*, dan *treater*. Bagaimanapun beberapa jenis baja yang mengandung krom dan nikel tahan dari korosi, dan ada beberapa juga yang *nonferrous alloys* digunakan untuk peralatan seperti pompa dan *valve*.

2.4.2.7 Efek Unsur Paduan

a) Nikel

Nikel dalam jumlah yang stabil akan menstabilkan struktur austenit yang akan meningkatkan sifat mekanik dan karakteristik fabrikasi. Nikel sangat efektif dalam memperbesar daerah pasif terutama dalam lingkungan reduktif. Selain itu dapat berfungsi dalam meningkatkan ketahanan korosi pada lingkungan asam material. Paduan ini dapat menstabilkan struktur austenit dalam baja tahan karat austenitik dan menurunkan ketahanan terhadap SCC bila kandungan 8-10%, tetapi pada kadar lebih tinggi dapat meningkatkan ketahanan terhadap SCC.

b) Kromium

Kromium adalah salah satu paduan yang harus ada dalam pembentukan lapisan pasif. Lapisan pasif dapat terbentuk dengan adanya kadar kromium 10,5%. Sedangkan baja tahan karat austenitik mengandung 17-20% Cr sehingga lapisan pasif yang terbentuk lebih tebal sehingga lebih tahan korosi pada lingkungan korosif. Kromium akan membentuk lapisan pasif yang tebalnya tergantung pada jumlah kromium yang ditambahkan.

c) Molibdenum

Mo sangat berperan aktif dalam ketahanan korosif terutama korosi sumuran (*pitting*) dan korosi celah (*crevice*). Adanya molibdenum dapat

menggeser daerah aktif pasif baja pada daerah rapat arus yang lebih kecil.

d) Mangan

Mangan memiliki fungsi yang hampir sama dengan nikel. Kelebihan mangan secara mekanik adalah membentuk baja tahan karat yang tahan abrasi. Namun kelemahan mangan adalah sangat mudah berinteraksi dengan lingkungan yang mengandung sulfur dan membentuk senyawa Mangan Sulfida.

e) Tembaga

Cu meningkatkan ketahanan korosi atmosferik pada baja paduan dan baja paduan rendah jika kadarnya lebih dari 0,20%. Selain itu, paduan tembaga juga membantu ikatan adhesi *painting* pada permukaan baja jika diberikan *painting*. Pada baja tahan karat austenitic, kadar Cu di atas 1% mampu meningkatkan daya tahan terhadap H₂SO₄ dan HCl serta *stress corrosion*.

2.4.2.8 Efek Solidifikasi Logam

Pada pembekuan logam selama pengecoran, atom-atom terdistribusi secara acak dalam air, atom-atom tersusun dalam susunan kristalin. Keadaan ini biasanya diawali pada beberapa titik didalam cairan, dan blok-blok kristal atau butir bertemu, ada ketidakseimbangan pada batas-batas butir. Bila logam mulai membeku dan diinginkan akan sejumlah daerah ketidakseimbangan diantara tiap butir. Daerah ini disebut batas butir. Karena kebanyakan konfigurasi stabil logam, khususnya sisi kristal, batas butir adalah daerah dengan energi terbesar dan secara kimiawi lebih aktif. Karena itu, batas butir biasanya diserang sedikit lebih cepat dibandingkan permukaan butir bila terekspos lingkungan korosif.

Paduan logam adalah campuran dua logam atau lebih. Ada dua jenis paduan, yakni homogen dan heterogen. Paduan homogen adalah solid solution, dimana komponen terlarut sempurna pada komponen lainnya dan material hanya memiliki satu fasa. Paduan heterogen adalah campuran dua atau lebih fasa terpisah. Komponen beberapa paduan tidak terlarut sempurna dan muncul sebagai fasa terpisah. Komposisi dan struktur paduan ini tidak seragam. Paduan *solid solution* biasanya lebih tahan korosi dibandingkan paduan dengan dua atau lebih fasa tanpa keberadaan efek *galvanizing coupling*.

Perbedaan lain dalam logam bisa dari kimia, metalurgis, atau mekanis. Contoh pengotor seperti oksida dari inklusi, *mill scale*, orientasi butir, susunan dislokasi, perbedaan komposisi mikrostruktur, fasa presipitat, stress lokaliser, goresan dan takik. Logam yang sangat murni lebih tahan korosi dibandingkan logam komersil.

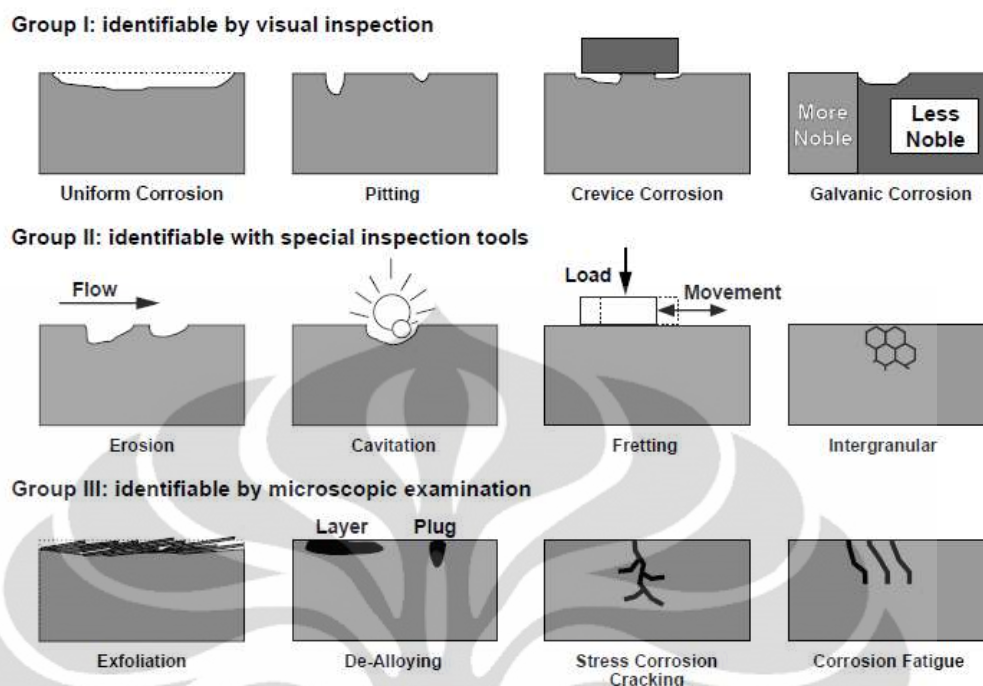
2.4.2.9 Efek Metalurgis

- a) Adanya perbedaan ukuran butir, dimana butir dengan ukuran yang lebih kecil bersifat anodik.
- b) Perbedaan komposisi kimia dari logam
- c) Terjadinya inklusi pada saat pembuatan logam
- d) Terjadinya pengendapan pada batas butir, banyak dijumpai pada baja tahan karat akibat proses pengelasan sehingga baja ini mengalami sensitasi.
- e) Pengelasan yang tidak sempurna
- f) Pengaruh perlakuan panas (sensitasi)
- g) Penambahan unsur paduan

2.4.3 Bentuk-Bentuk Korosi

Korosi memiliki berbagai macam bentuk. Setiap bentuk korosi memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Bentuk-bentuk korosi adalah sebagai berikut^[5] :

1. *Uniform Corrosion*
2. *Galvanic Corrosion*
3. *Crevice Corrosion*
4. *Pitting Corrosion*
5. *Environmentally Induced Cracking (EIC)*
 - 5.1 *Stress Corrosion Cracking (SCC)*
 - 5.2 *Corrosion Fatigue Cracking (CFC)*
 - 5.3 *Hydrogen Induced Cracking (HIC)*
6. *Intergranular Corrosion*
7. *Dealloying*
8. *Erosion-Corrosion and Fretting*



Gambar 2.13. Skema jenis-jenis korosi^[23]

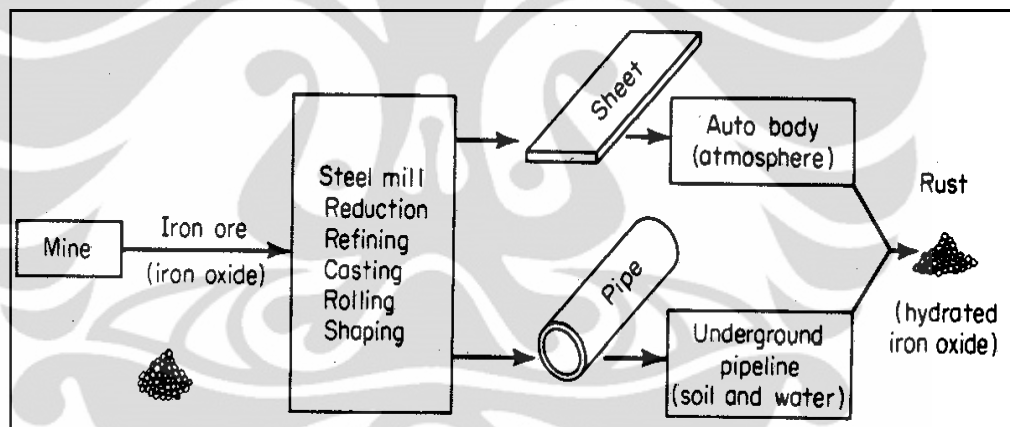
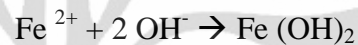
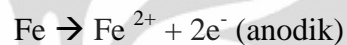
Jenis korosi di atas masing-masing dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, jenis dan karakteristik material, perlakuan terhadap material, kehadiran material lain, dan faktor non-lingkungan lain yang mungkin ada.

2.4.4 Korosi Baja Karbon Rendah

Baja karbon, merupakan logam yang paling banyak digunakan untuk material keteknikan, dan diperkirakan 85% dari produksi baja dunia. Walaupun terdapat keterbatasan terhadap ketahanan korosi, baja karbon banyak digunakan untuk aplikasi kelautan (maritim), nuklir, transportasi, proses kimia, industri perminyakan, *refining*, pipa saluran, konstruksi pertambangan dan peralatan proses logam. Baja karbon secara alami memiliki keterbatasan terhadap kandungan paduannya, biasanya di bawah 2% dari total penambahan. Namun, penambahan tersebut secara umum tidak menghasilkan perubahan terhadap ketahanan korosi. Terkecuali *weathering steel*, dengan penambahan sedikit tembaga, krom, nikel, dan *phosphorus* dapat mereduksi laju korosi pada lingkungan tertentu.

Baja merupakan material yang banyak digunakan untuk aplikasi pipa saluran air, khususnya *low carbon steel*. Dengan adanya karbon, kekerasan dan

kekuatan akan meningkat sehingga *low carbon steel* digunakan karena memiliki sifat mekanis yang baik, mudah dibentuk atau difabrikasi dan harga yang relatif murah. Namun, baja terdiri dari beberapa fasa dan terdapat ketidakhomogenan pada permukaan, sehingga dapat menyebabkan lokal sel elektrokimia. Hal tersebut menyebabkan rendahnya ketahanan korosi dari baja karena reduksi katodik mudah terjadi sehingga menyebabkan *porous* sebagai produk korosi dan tidak terbentuk produk sampingan seperti lapisan pasif. Proses korosi merupakan kebalikan dari proses metalurgi (Gambar 2.14), dan produk korosi pada baja antara lain :



Gambar 2.14. Proses korosi menunjukkan kebalikan dari proses metalurgi^[24]

Tabel 2.3. Produk korosi pada baja^[25]

Senyawa	Warna	Oksida	Nama Mineral
$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Merah	Fe^{3+}	<i>Hematite</i>
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	kecoklatan		
Fe_3O_4	Hitam	$\text{Fe}^{2+/3+}$	<i>Magnetite/lodestone</i>
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	Biru/Hijau	Fe^{2+}	Dapat larut, warna dapat berubah sesuai
FeO	Hitam	Fe^{2+}	<i>Pyrophoric</i>

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses korosi baja pada sistem *aqueous* antara lain:

- a) Komponen ion larutan (misalnya ion Cl^- dan SO_4^{2-}) dan konsentrasinya.
- b) pH (tingkat keasaman) larutan.
- c) Kadar oksigen.

2.5 Penyimpanan Material^[26]

Dalam industri minyak & gas, khususnya di bagian eksplorasi minyak dan gas, peralatan untuk keperluan eksplorasi minyak dan gas dari segi pemakaiannya terdiri dari material yang terkosumsi untuk sumur dan material tidak terkosumsi sumur. Biaya, waktu, kualitas merupakan suatu rangkain yang tidak terpisahkan selama melakukan aktivitas eksplorasi, akibat yang terjadi dari kegagalan ini adalah pembengkakan biaya yang sangat tinggi.

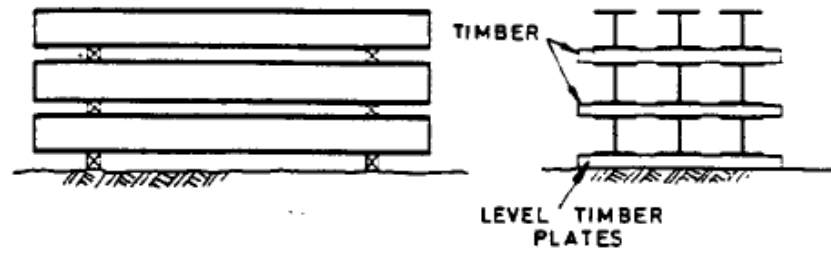
Supply base merupakan tempat untuk mendukung operasional pengeboran lepas pantai. Aktivitas logistik dan manajemen material dilakukan ditempat ini, termasuk aktivitas perawatan dan inspeksi material yang baru datang atau yang akan dikirim kelokasi pengeboran. *Supply base* biasanya berada dikawasan pinggir laut dengan alasan untuk memudahkan transportasi melalui laut. Lingkungan seperti ini sangat korosif terhadap material logam, untuk material yang kecil dan sensitif akan disimpan di dalam warehouse tertutup. Sedangkan untuk material yang berukuran besar seperti *piping* disimpan di tempat terbuka dalam bentuk rak – rak tersusun rapi. Penyimpanan material pipa ini menjadi perhatian prioritas dalam perawatan, jumlahnya yang banyak dan kondisi yang rentan terhadap serangan korosi memerlukan strategi yang khusus dalam menyusun waktu untuk inspeksi dan perawatan.

2.5.1 Daerah Penyimpanan Terbuka^[27]

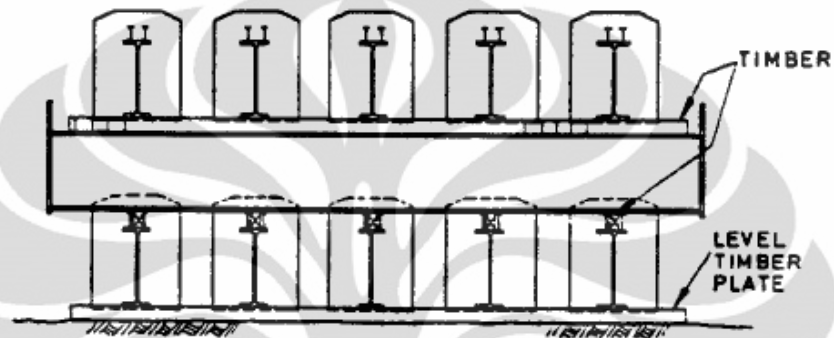
Penyimpanan material tidak selalu selalu tertutup, dapat dimungkinkan terdapat penyimpanan yang terbuka. Penyimpanan terbuka ini dapat digunakan untuk menyimpan bahan atau barang yang diperkirakan tidak mudah rusak oleh perubahan cuaca atau mungkin sebagai tempat penyimpanan yang jangka waktunya sangat pendek.

Daerah penyimpanan terbuka biasanya direncanakan untuk penyimpanan yang besar, berat, atau memakan tempat. Mengingat kuran dan berat material tersebut, penyiapan dan pemeliharaan lokasi merupakan masalah yang penting dari segi keamanan dan logistik. Langkah-langkah penyiapan lokasi termasuk : perataan dan pemadatan permukaan tanah, pembuatan saluran yang baik untuk mencegah perembesan atau banjir dan pembuatan jalan akses berstandar tinggi di areal itu. Jalan-jalan akses ini harus melewati peralatan penanganan dan transport dengan aman. Seperti halnya pada sarana yang lain, harus diberi pagar sekeliling daerah itu dan penerangan lampu yang cukup untuk keamanan. Lampu sorot dapat dipertimbangkan jika jam operasi memerlukan penggunaannya, namun untuk luas lahan yang dipakai, biaya penerangan menara lampu yang sesuai dan jaringan tegangan dan suplai listrik menjadi tinggi.

Daerah penyimpanan terbuka yang digunakan untuk menaruh barang yang besar dan berat membutuhkan perhatian khusus untuk menjaga agar pemakaiannya efisien dan optimal. Pengoperasian jenis penyimpanan ini melibatkan peralatan yang mahal seperti *crane*, *forklift* berat, dan sebagainya. Jenis barang stok yang keluar masuk dengan frekuensi tinggi disimpan di lokasi yang mudah dan terdekat dengan fasilitas bongkar-muat. *Lay-out* dari daerah penyimpanan terbuka, harus memiliki jalur-jalur yang memadai yang memungkinkan lalu lintas peralatan berat yang bermuatan ataupun kosong serta kendaraan berat lain dapat bergerak leluasa. Material yang mudah berkarat atau kerusakan lain karena air, ditumpuk di atas *billet* atau lempengan kayu yang terletak di atas tanah. Gambar 2.15 memperlihatkan metode penumpukan jembatan baja untuk menghindari kerusakan atau korosi.



'H' SECTIONS:- CHORDS - DIAGONALS - BRACING - 'I' SECTIONS



CROSS - GIRDERS



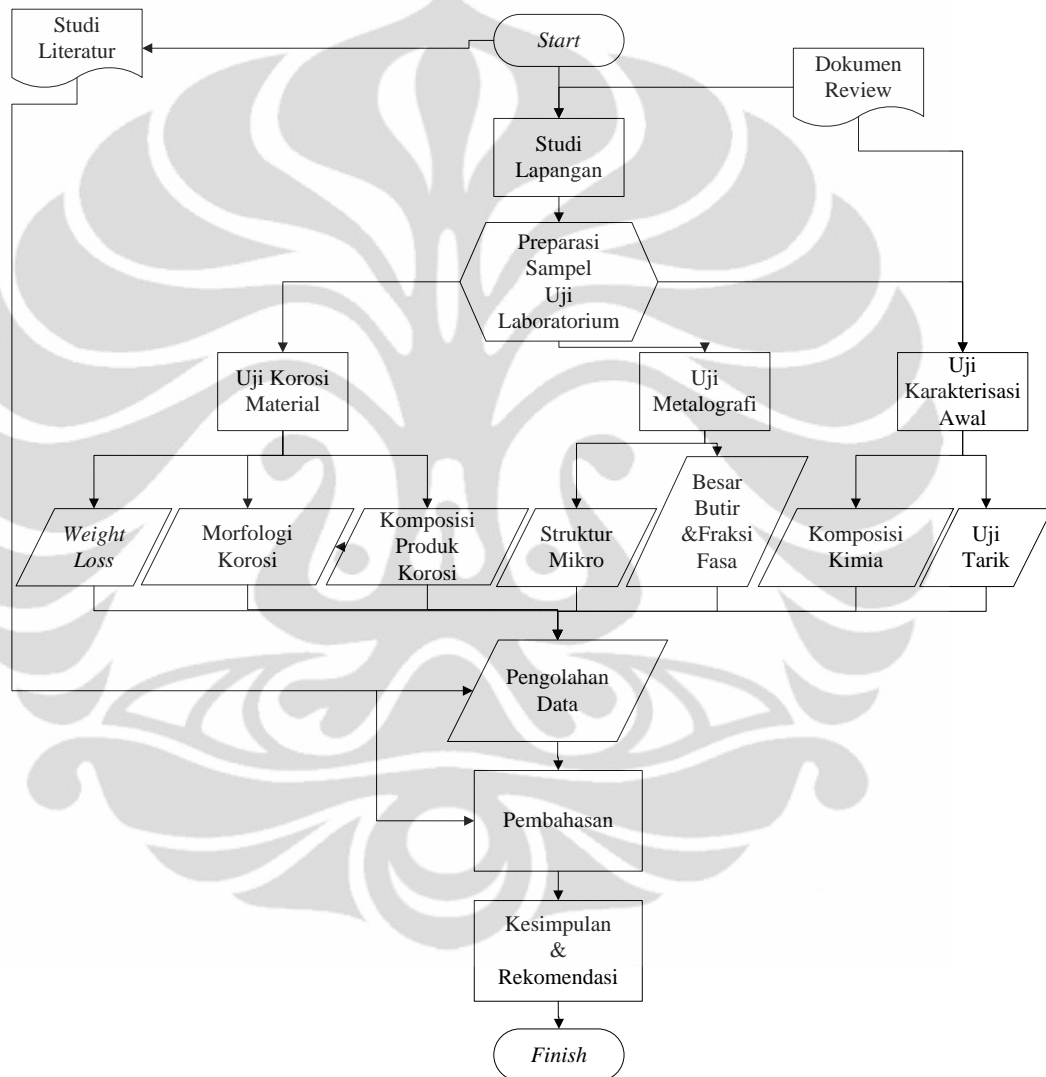
ANGLES

Gambar 2.15. Penumpukan komponen jembatan^[28]

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan prosedur yang dilakukan dari awal hingga akhir pada penelitian ini diuraikan pada diagram alir Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Preparasi Sampel:

- 1) Alat pemotong sampel
- 2) Mesin bor dan mata bor diameter 4 mm

- 3) Jangka sorong
- 4) Gunting
- 5) Kamera digital
- 6) Lain-lain : Gergaji, kantong plastik, label, pulpen, penjepit.
- 7) PPE : helm, sarung tangan, kaca mata.

Alat Uji Celup:

- 1) Timbangan digital
- 2) Benang plastik
- 3) Wadah plastik (Aqua 1.5 L) dan kertas label
- 4) *Beaker glass* dan Labu *Erlenmayer* 1000 ml
- 5) *Hair dryer*
- 6) *Ultrasonic agitator*
- 7) *Beaker Glass*
- 8) Pipet

Alat Uji Metalografi:

- 1) Mesin Amplas
- 2) Mesin Poles
- 3) Mikroskop Optik
- 4) *Scanning Electron Microscope*

Alat Uji Tarik:

- 1) Mesin Uji Tarik Shimadzu

Alat Uji Komposisi Kimia:

- 1) *Optical Emission Spectrometry*
- 2) *X-Ray Diffraction*
- 3) *Energy-dispersive X-ray spectroscopy*

3.2.2 Bahan

- 1) Material yang digunakan pada penelitian ini adalah dua buah material pipa baja karbon rendah API 5 L *Grade B Seamless* dengan dimensi *outside diameter* 4 inch SCH 80 .
- 2) Kertas amplas grid #60, #80, #100, #180, #400, #600, #800, #1000,
- 3) #1200, dan #1500.
- 4) Alumina
- 5) Kain beludru
- 6) Zat etsa kimia : larutan alkohol 96% dan larutan asam nitrat (HNO₃)
- 7) Zat kimia untuk *pickling* : HCl 37 % Merck, *Toluena* (Thiner N), *Acetone*, NaHCO₃, *Inhibitor baracor*

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pemilihan Material

Material yang digunakan sebagai sampel adalah dua buah material pipa baja karbon rendah API 5L *Grade B Seamless* yang didapat dari tempat penyimpanan terbuka di Kurau *Field*, KPSA. Kedua material pipa tersebut di manufaktur oleh dua produsen yang berbeda. Kedua sampel diberi tanda pipa A dan pipa B untuk memudahkan pengamatan. Komposisi kedua material berdasarkan *mill certificate test* tersaji pada Tabel 3.1. berikut ini:

Tabel 3.1. Komposisi kimia material API 5L *Grade B Seamless*

Komposisi		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
% Berat	Sampel A	0.23	0.23	0.47	0.024	0.016	0.013	0.020	0.016
	Sampel B	0.21	0.51	0.22	0.012	0.014	0.03	0.01	0.02

3.3.2 Persiapan Sampel

Material pipa yang akan di uji di laboratorium dipotong dan dibuat menjadi sampel uji sesuai dengan jenis pengujian laboratorium yang akan dilakukan. Foto dan kalkulasi sampel yang telah dipreparasi dan akan diuji di laboratorium sebagai berikut:



(a) Sampel A



(b) Sampel B



(c) Sampel Uji Tarik



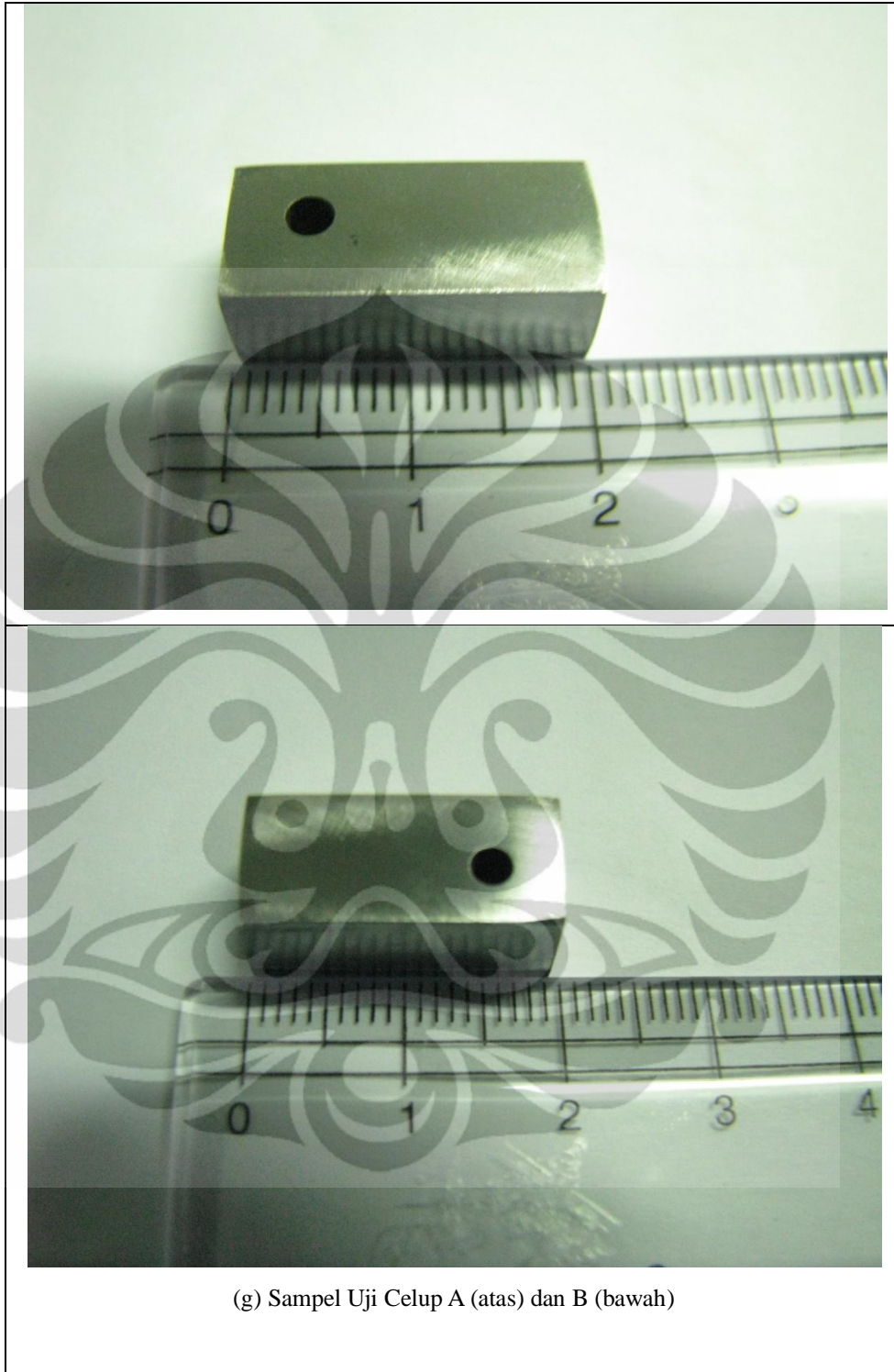
(d) Sampel Uji Komposisi Kimia *Base Material*



(e) Sampel Uji Metalografi



(f) Sampel Uji Metalografi & Komposisi Kimia Produk Korosi



Gambar 3.2. Sampel yang telah dipreparasi dan akan dilakukan pengujian di laboratorium

Tabel 3.2 Kalkulasi sampel yang akan diuji di laboratorium

No	Jenis pengujian	Tujuan	Jumlah Sampel	
			Pipa A	Pipa B
1	Uji Tarik	Sifat Mekanis	3	3
2	Uji Metalografi	Struktur Mikro	2	2
3	Uji Komposisi	Komposisi Kimia	3	3
4	<i>Weight Loss</i>	Laju Korosi	5	5

3.3.3 Uji Laboratorium

3.3.3.1 *Weight Loss*

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membuktikan hasil inspeksi awal bahwa Pipa A lebih memiliki laju korosi yang tinggi dibanding Pipa B. Pengujian ini menggunakan metode uji celup dengan berpedoman pada ASTM 31-72^[28]. Berdasarkan prosedur kerja pada standar, sampel yang telah di preparasi ditimbang berat awalnya, kemudian dilakukan pencelupan selama 168 jam dalam larutan NaCl 3.5%. Proses selanjutnya adalah melakukan proses *pickling* pada sampel yang telah mengalami korosi selama pencelupan. Prosedur pickling berpedoman pada standar *NACE Standard RP0775-2005*^[29]. Secara umum proses pickling meliputi; pencelupan sampel ke dalam *toluene*, mencuci sampel dengan *acetone*, mencelupkan sampel ke dalam *beaker glass* berisi HCl 37% merck 200 ml yang sudah ditambahkan 2ml inhibitor *baracor*, kemudian gunakan mesin *ultrasonic agitator* untuk mempercepat proses *pickling*, selanjutnya celupkan sampel ke dalam larutan NaHCO₃ lewat jenuh selama 1 menit lalu bilas dengan *aquadesh*. Setelah proses pickling selesai, berat akhir sampel ditimbang ulang sehingga diketahui selisih berat yang hilang. Selanjutnya dilakukan perhitungan *corrosion rate* kedua sampel dengan menggunakan Persamaan 2.1 sehingga bisa dibandingkan nilai *corrosion rate* antara sampel A dengan sampel B. Berikut ini adalah gambaran proses uji celup yang dilakukan:



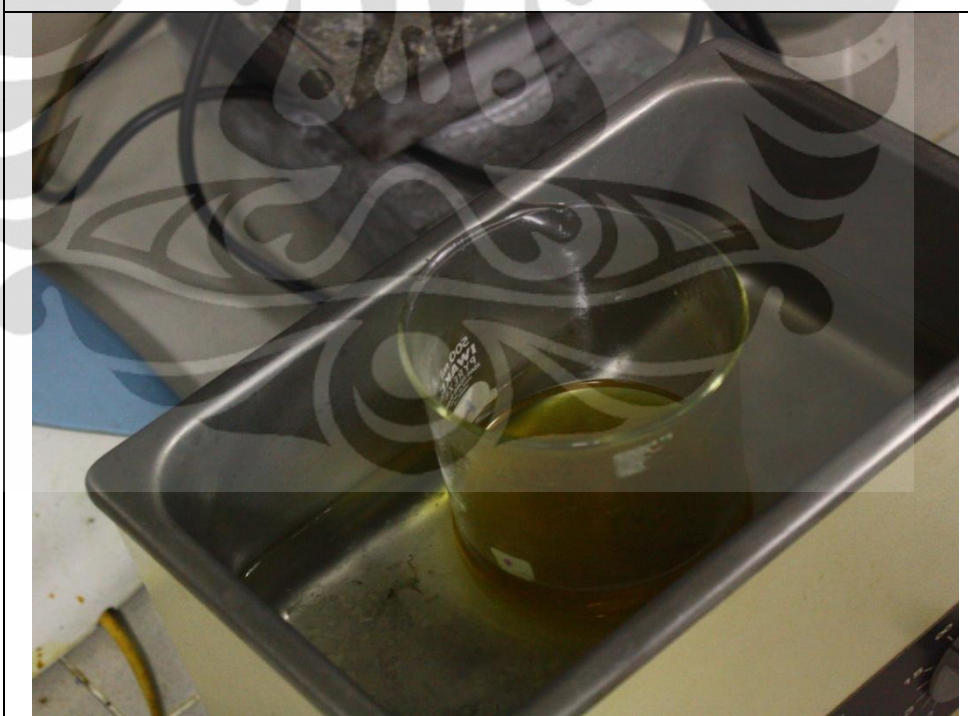
(a) Larutan NaCl



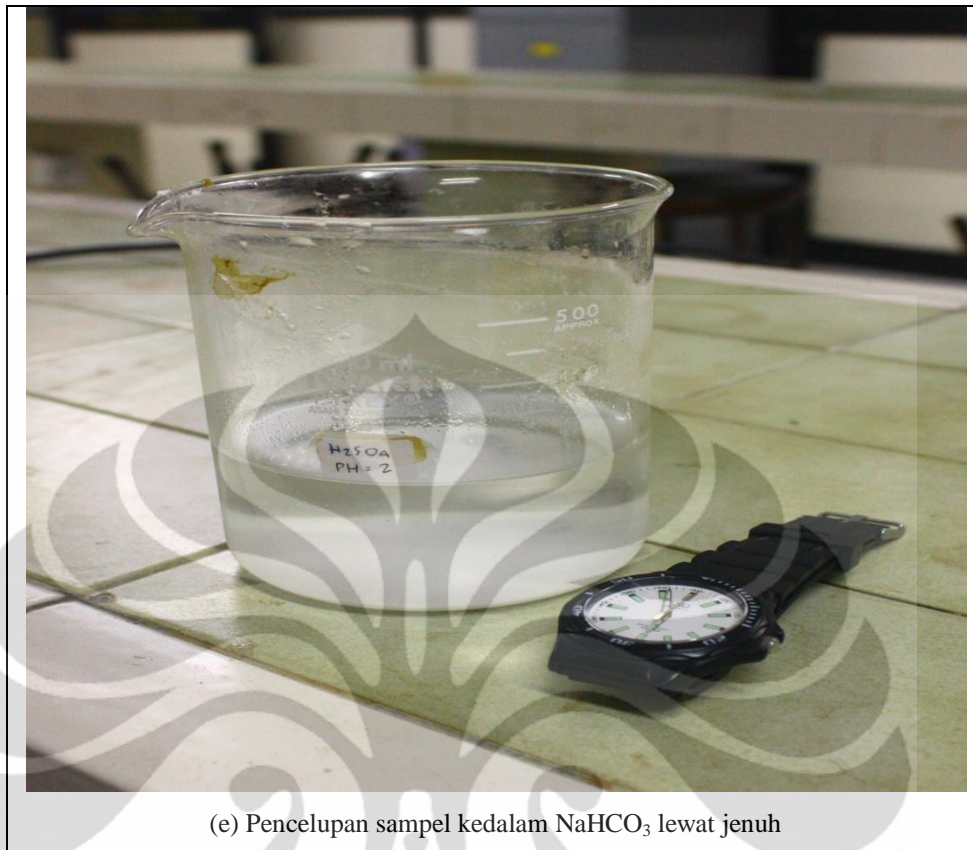
(b) Sampel saat pencelupan



(c) Sampel saat pencelupan kedalam larutan HCl 37% *merck* 200 ml yang ditambahkan 2ml inhibitor *baracor*



(d) Pencelupan sampel kedalam *ultrasonic agitator* untuk mempercepat penghilangan *scale* dan produk korosi



(e) Pencelupan sampel kedalam NaHCO_3 lewat jenuh

Gambar 3.3. Proses uji celup

3.3.3.2 Uji Metalografi^[30]

Tujuan dari pengujian ini adalah mendapatkan struktur mikro material. Analisa mengenai struktur mikro dari material sangat membantu menganalisa performa material, karena dengan analisa ini bisa ditentukan butir-butir dan fasa yang terdapat pada struktur mikro sampel. Struktur mikro sangat menentukan performa dari material itu, khususnya terhadap lingkungan dan aplikasi. Selain mendapatkan struktur mikro material, pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui morfologi dari permukaan sampel yang terkorosi.

Pengujian ini menggunakan alat mikroskop optik dengan berpedoman pada standar pengujian ASTM E3-01. Tahapan dari pengujian ini adalah ; sampel dipotong menjadi bagian kecil lalu di *mounting* dengan *resin* dan *hardener* agar mempermudah *handling* pada saat pengamplasan dan proses poles. Proses Pengampelasan dilakukan dengan menggunakan grit amplas mulai dari yang kasar hingga halus, yaitu dari grit: #60, #80, #100, #180, #400, #600, #800, #1000, #1200, #1500 (dalam *mesh*). Proses pengamplasan dilakukan dengan merubah

arah pengamplasan setiap pergantian tingkat kekasaran kertas amplas, sehingga bisa dipastikan sisa pengamplasan sebelumnya telah hilang dan didapat permukaan yang halus dari benda uji. Setelah selesai sampel dipoles agar mendapatkan permukaan yang lebih halus dan mengkilap serta menghilangkan bekas goresan akibat pengamplasan. Sampel dipoles dengan menggunakan kain beludru dan zat polesnya menggunakan titanium dioksida yang dicairkan dengan aquades. Kemudian benda uji dietsa dengan Nital 2% untuk untuk memunculkan jejak batas butir struktur akhir dari benda uji sehingga dapat diamati morfologi butir ferit. Setelah itu dilakukan pengamatan dengan mikroskop optik dan didapatkan foto mikro sampel.

Pengujian metalografi pada sampel yang telah terkorosi dilakukan untuk melihat morfologi permukaan sampel sehingga bisa ditentukan jenis korosi yang terjadi pada sampel. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan alat *scanning electron microscopy* dengan perbesaran 100x dan 500x. Pengujian ini tidak memerlukan proses preparasi yang rumit, hanya dengan menggunakan potongan sampel yang telah terkorosi dengan dimensi 2x4 centimeter. Selanjutnya permukaan diamati langsung di bawah SEM dan didapatkan foto mikronya.

3.3.3.3 Pengukuran Besar Butir dan Fraksi Fasa^[31]

Pengukuran besar butir dilakukan untuk mengetahui perbandingan ukuran butir kedua sampel. Meskipun kedua sampel dimanufaktur dengan proses yang sama, namun perlu dibuktikan bahwa hasil ukuran butir akhir kedua sampel adalah sama setelah proses manufaktur. Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengukur besar butir dari struktur mikro suatu material. Perhitungan besar butir mengacu kepada ASTM E 112. Dihitung jumlah titik potong antara total panjang garis yang ditarik sepanjang 500mm dengan batas butir pada foto struktur mikro dengan perbesaran 100 kali. Jumlah titik potong persatuan panjang (P_L) dihitung dengan $P_L = P / L_T/M$, dan panjang garis perpotongan (L_3) adalah

$$L_3 = 1/P_L \quad (3.1)$$

dimana :

P = Jml titik potong batas butir dengan total panjang garis yang

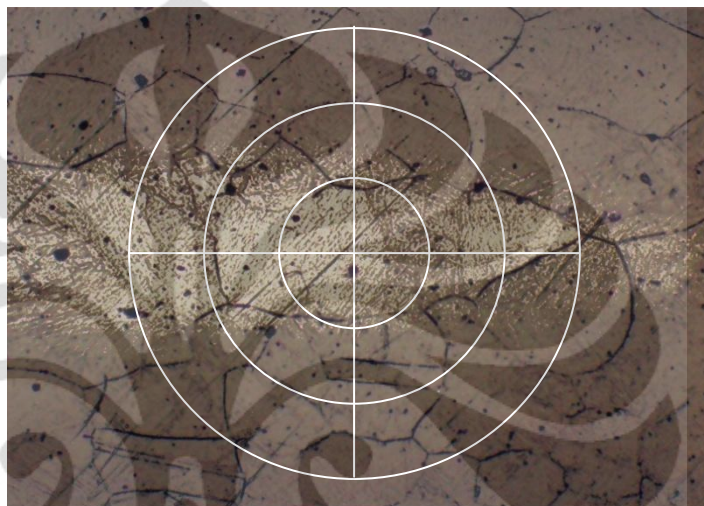
dalam hal ini berbentuk lingkaran.

L_T = Panjang Garis Total (Sesuai standar ASTM =500mm)

M = Perbesaran

Dari P_L atau L_3 , dapat dilihat di tabel besar butir ASTM E 112, atau dimasukkan ke dalam rumus

$$G = [-6,6439 \log (L_3) - 3,2877] \quad (3.2)$$



Gambar 3.4. Metode *Intercept*, dengan menggunakan garis berbentuk lingkaran dengan total panjang garis 500 mm, dengan foto perbesaran $100\times^{[49]}$

Penghitungan fraksi fasa dilakukan dengan menggunakan *level rule* pada digram fasa Besi-Karbon. Persamaan yang digunakan untuk menghitung fraksi fasa adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ Pearlite pipa A} &= \% C_A / (C_P - C_F) \\ \% \text{ Ferit pipa A} &= (100 - \% \text{ Pearlite pipa A}) \% \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Pearlite pipa B} &= \% C_B / (C_P - C_F)] \\ \% \text{ Ferit pipa B} &= (100 - \% \text{ Pearlite pipa B}) \% \end{aligned}$$

Dimana:

(C_A) = % Karbon pipa A hasil uji komposisi

(C_B) = % Karbon pipa B hasil uji komposisi

(C_P) = % karbon *full pearlite* 0.83

(C_F) = % *full ferite* 0.008%

3.3.3.4 Uji Komposisi Kimia

1) Komposisi Kimia *Base Material*

Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui komposisi unsur kimia pada *base material* pipa. Sehingga bisa diketahui komposisi yang menyusun material tersebut baik secara kualitatif dan kuantitatif. Data hasil pengujian komposisi akan dibandingkan dengan data yang ada pada *mill certificate*. Selanjutnya dilakukan analisa pengaruh komposisi kimia tersebut terhadap ketahanan korosi material.

Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah *Optical Emission Spectrometer* dengan berpedoman pada ASTM A 751^[32]. Sampel dibersihkan terlebih dahulu menggunakan grind dan amplas. Selanjutnya sampel diamati pada *Optical Emission Spectrometer*.

2) Komposisi Kimia pada Produk Korosi

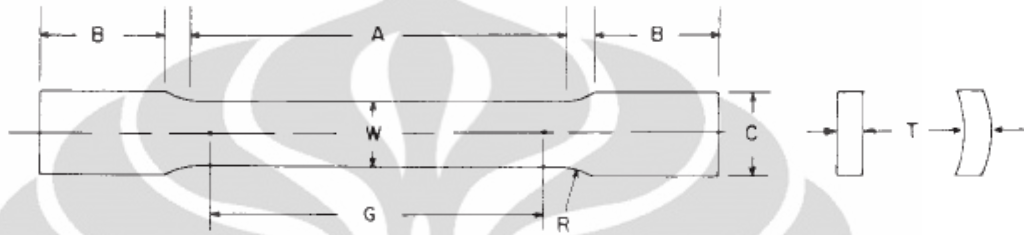
Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui komposisi kimia penyusun produk korosi baik secara kualitatif dan kuantitatif. Komposisi kimia yang didapatkan dalam bentuk unsur dan senyawa. Dengan mengetahui unsur penyusun kimia produk korosi maka dapat dianalisa unsur utama penyebab korosi pada material. Selanjutnya dengan mengetahui senyawa kimia produk korosi maka dapat diketahui senyawa-senyawa utama hasil reaksi elektrokimia pada produk korosi.

Alat yang digunakan adalah *Energy-dispersive X-ray spectroscopy*, dilakukan untuk mendapatkan komponen unsur kimia pembentuk produk korosi yang terjadi di permukaan sampel. Pengujian menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*), untuk mendapatkan senyawa produk korosi yang terbentuk pada permukaan material. Pada pengujian ini, permukaan material tidak perlu digerinda terlebih dahulu supaya produk korosi pada permukaan material tidak hilang dan dapat diamati pada alat uji.

3.3.3.5 Uji Kekuatan Tarik

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan data perbandingan sifat mekanis Pipa A dan Pipa B sehingga bisa dijadikan data pendukung untuk menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan laju korosi material.

Caranya adalah dengan mengkaitkan faktor penyebab korosi terhadap perbedaan sifat mekanis dari hasil uji tarik yang mungkin terdapat pada kedua material tersebut. Acuan utama yang digunakan untuk mengkaitkan hubungan antara ketahanan korosi material dan sifat mekanis nya adalah berdasarkan komposisi kimia penyusun dan struktur mikronya. Pengujian tarik pada sampel ini menggunakan standar JIS 2201. Berikut ini adalah gambaran spesimen uji tarik:



Gambar 3.5 Spesimen Uji Tarik

Dimana :

- A = 60 mm
- G = 42 mm
- C = 40 mm
- w = 25 mm
- R = 12,5
- B = 50 mm

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data dan Informasi

Penelitian pada pipa yang mengalami korosi saat penyimpanan membutuhkan data-data awal yang perlu diketahui untuk memudahkan analisa lebih lanjut dan metode penyelesaian masalah yang tepat dan efisien. Data-data awal tersebut meliputi:

4.1.1 Dokumen *Review*

Hasil penelusuran data dokumen mengenai material yang akan diteliti, tersaji dalam bentuk *mill certificate test* seperti yang terlampir pada Lampiran 1. Pada lampiran tersebut terdapat data-data hasil inspeksi awal material setelah diproduksi yang berupa nama produk, komposisi kimia material, sifat mekanis material, metode manufaktur, dan dimensi material pipa. Data-data komposisi kimia, metode manufaktur, dan sifat mekanis sangat berguna untuk menyesuaikan data-data hasil pengujian di laboratorium dan memudahkan pembahasan masalah yang akan diteliti seperti yang akan diuraikan berikut ini:

4.1.2 Hasil Studi Lapangan

Material pipa yang disimpan oleh Kondur Petroleum S.A. berada pada lingkungan terbuka yang terletak di pesisir pantai. Berdasarkan pengamatan di lapangan ditemukan bahwa kondisi material memiliki *coating* pada bagian permukaan luar pipa, sedangkan pada bagian dalam tidak memiliki *coating*. Akibatnya hanya permukaan internal pipa yang mengalami korosi secara merata. Sedangkan pada bagian luar pipa hanya sedikit yang terkorosi, yakni pada bagian yang mengalami kerusakan *coating* akibat benturan saat proses *shipment* atau karena kualitas *coating* yang buruk.

Berdasarkan data kondisi lingkungan dari pihak *Health, Safety, and Environment* KPSA, kondisi lingkungan di area penyimpanan material pipa memiliki kelembaban yang cukup tinggi. Kelembaban udara rata-rata tahunan yaitu 76,39 %, sedangkan kelembaban udara rata-rata maksimum adalah 94,28 %

pada malam hari dan minimum adalah 58,51 % pada siang hari. Selain itu, curah hujan di area penyimpanan pun cukup tinggi, yakni mencapai rata-rata bulanan 122,84 mm. Kondisi iklim secara terperinci di tempat penyimpanan dapat dilihat pada Lampiran 2.

Dengan kondisi lingkungan yang memiliki rata-rata kelembapan di atas 60%, maka kondisi lingkungan di tempat penyimpanan material cukup korosif sehingga material pipa mudah terkorosi^[33]. Terjadinya korosi pada bagian internal pipa dikarenakan basahnya permukaan dalam pipa karena proses pengembunan sebagai akibat dari tingginya kelembapan di wilayah itu. Air embun yang terdapat dalam permukaan tetap akan tinggal dan sulit menguap ke udara karena pada siang hari sinar matahari sulit menembus bagian internal pipa. Akibatnya permukaan internal pipa selalu basah dan menimbulkan terjadinya korosi yang lebih cepat.

Air embun dapat masuk ke permukaan internal pipa karena terdapat kesalahan perlakuan saat penyimpanan. Idealnya pada bagian ujung pipa terdapat plastik penutup untuk mencegah masuknya air ke dalam. Namun demikian, berdasarkan studi di lapangan, hanya sebagian material yang memiliki tutup plastik. Kesalahan lain yang juga ditemukan di lapangan adalah tidak ditemukannya penyekat berbahan karet atau plastik antara pipa yang disusun dengan *support* nya. Padahal material yang digunakan sebagai *support* adalah baja yang jauh lebih tua dan telah mengalami korosi lebih banyak. Itu artinya, secara teori bahwa energi bebas material pada *support* tersebut lebih stabil di banding material pipa yang di atasnya. Dengan adanya perbedaan energi bebas tersebut maka potensi terjadinya korosi galvanis antara pipa dan *support* akan terjadi, terlebih pada pipa yang telah mengalami kerusakan *coating*. Foto kondisi penyimpanan pipa-pipa tersebut dapat dilihat pada Lampiran 2.

4.2 Preparasi Sampel Uji Laboratorium

Sampel yang digunakan berasal dari dua pipa yang telah dipotong dan selanjutnya dipreparasi (Gambar 3.2). Sampel tersebut dipotong di *workshop maintenance* Kurau *Field* dan selanjutnya di preparasi secara khusus di *workshop* Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI sesuai pengujian yang akan

dilakukan di laboratorium DTMM.

4.3 Hasil Uji Laboratorium

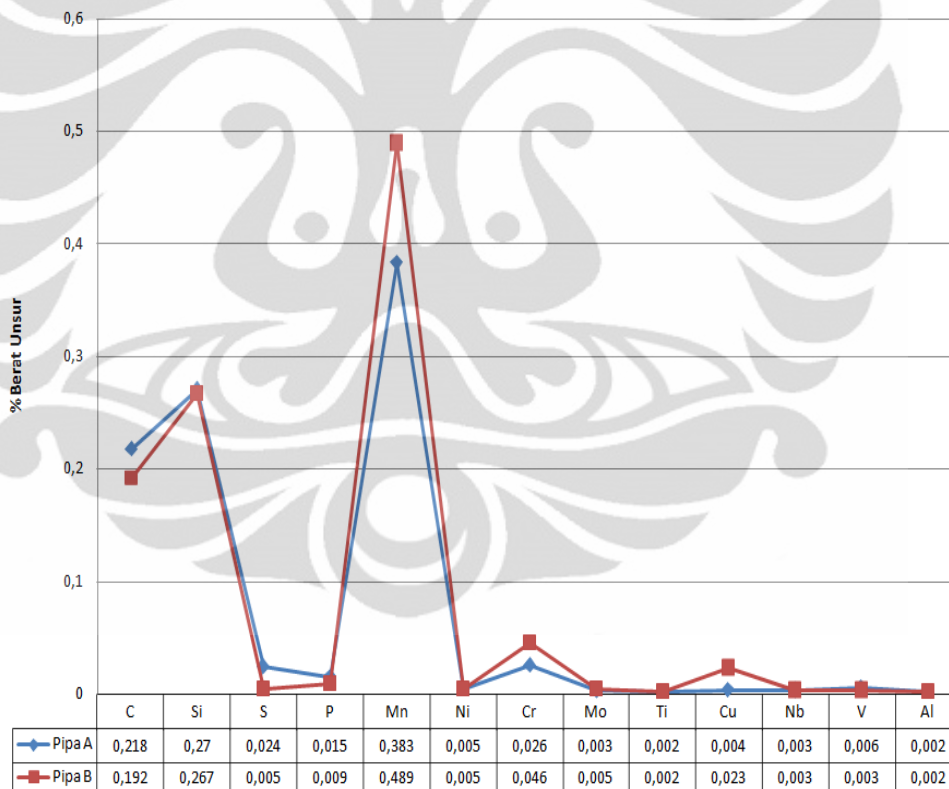
Hasil pengujian sampel di laboratorium akan dijelaskan sebagai berikut:

4.3.1 Uji Karakterisasi Awal Material

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan komposisi kimia dan sifat mekanisnya sehingga bisa dianalisa pengaruh dari perbedaan tersebut terhadap ketahanan korosi material. Hasil pengujian dituliskan sebagai berikut:

4.3.1.1 Uji Komposisi Kimia

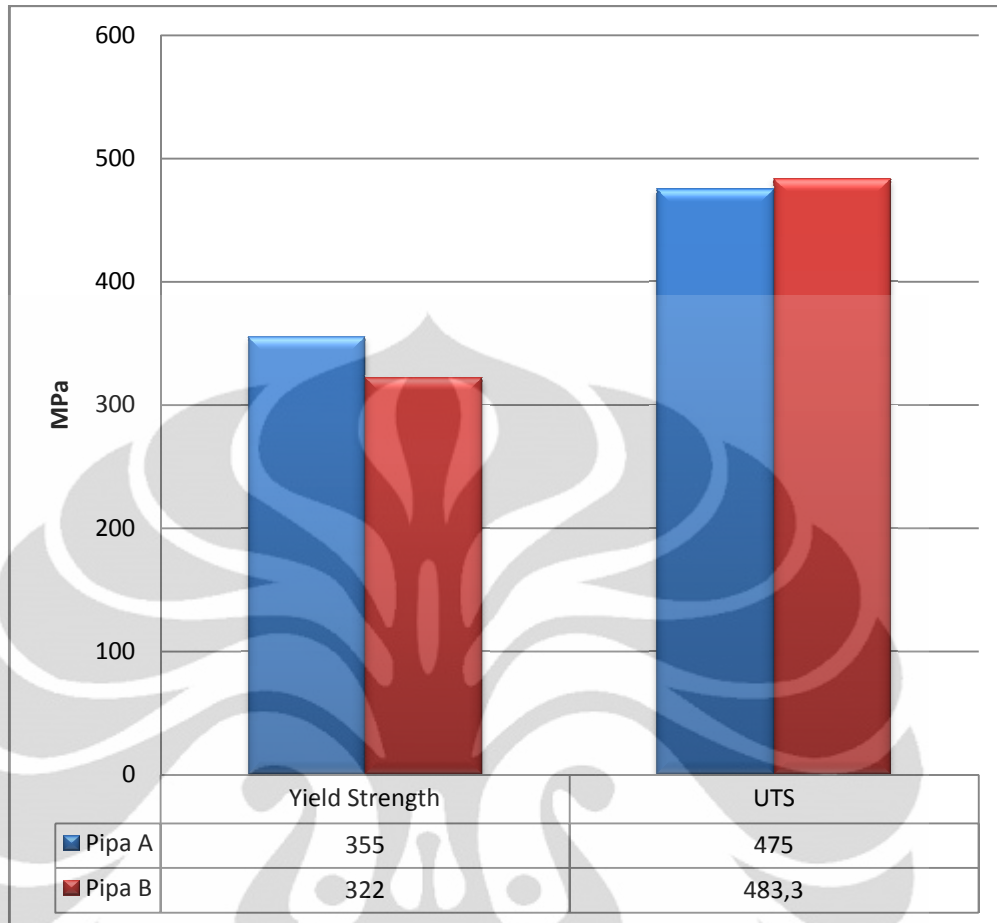
Hasil uji komposisi kimia kedua material ditampilkan pada Gambar 4.1 berikut ini :



Gambar 4.1 Grafik perbandingan hasil uji komposisi kimia kedua sampel

4.3.1.2 Uji Kekuatan Tarik

Uji tarik material menggunakan standar JIS 2201. Grafik dan foto sampel hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 3. Hasil uji tarik kedua material ditampilkan pada Gambar 4.2 berikut ini:



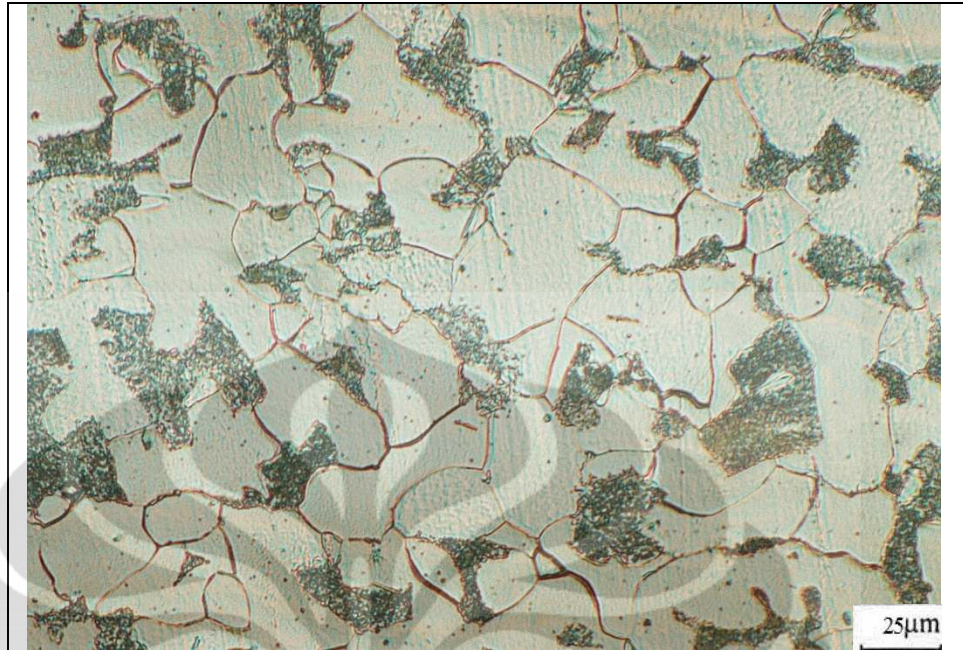
Gambar 4.2 Grafik perbandingan rata-rata sifat mekanis hasil uji tarik kedua material pipa

4.3.2 Uji Metalografi Material

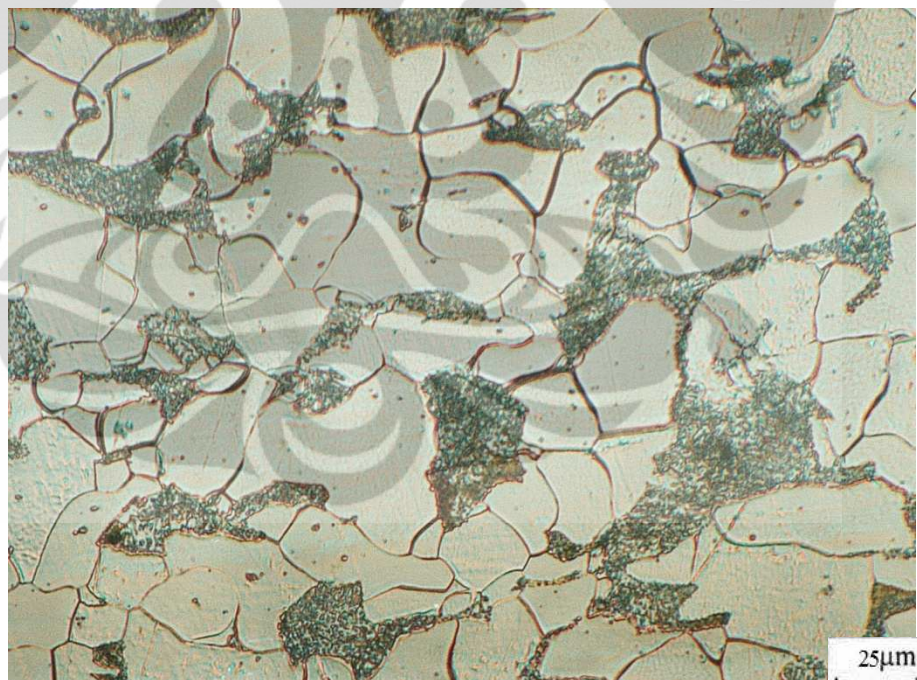
Pengujian metalografi dilakukan untuk melihat perbandingan struktur mikro kedua material yang meliputi perbandingan fasa pada material pipa, besar butir, dan fraksi fasa.

4.3.2.1 Struktur Mikro

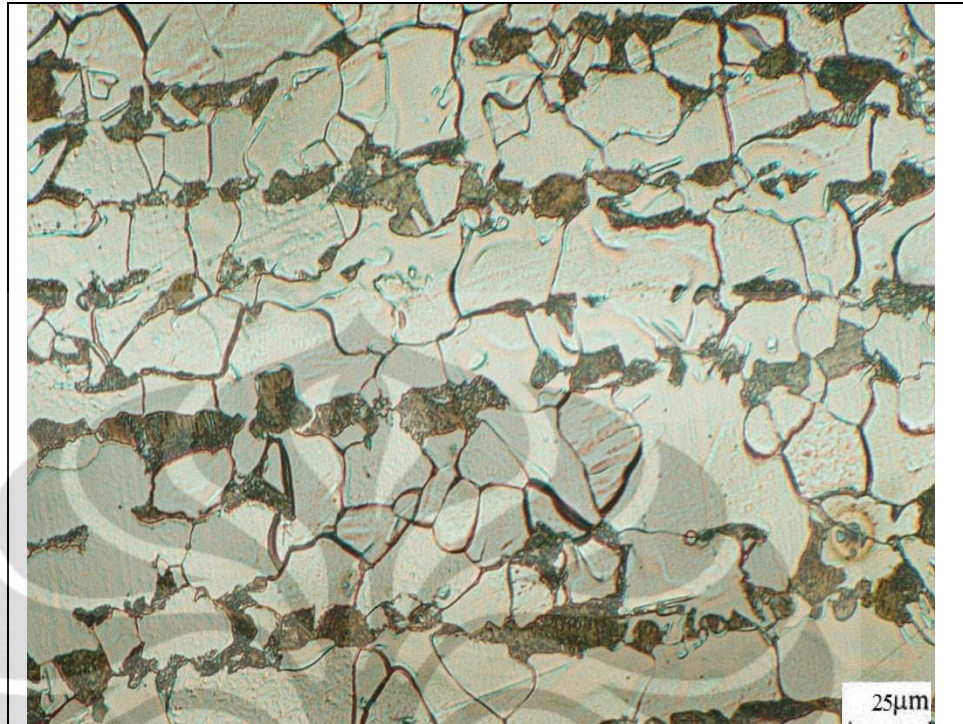
Struktur mikro yang didapatkan dari pengujian ini berupa foto mikro material dengan perbesaran 500x dengan menggunakan mikroskop optik. Foto-foto mikro kedua material dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut:



(a) Sampel Pipa A, penampang *longitudinal*



(b) Sampel B, penampang *transversal*



(c) Sampel B, *longitudinal*



(d) Sampel B, *transversal*

Gambar 4.3 Perbandingan hasil foto mikro ferit-perlit baja karbon rendah API 5L Grade B. Perbesaran semua foto mikro diatas adalah 500x. Sampel dietsa dengan nital 2%.

4.3.2.2 Perhitungan Besar Butir dan Fraksi Fasa

1) Perhitungan Besar Butir

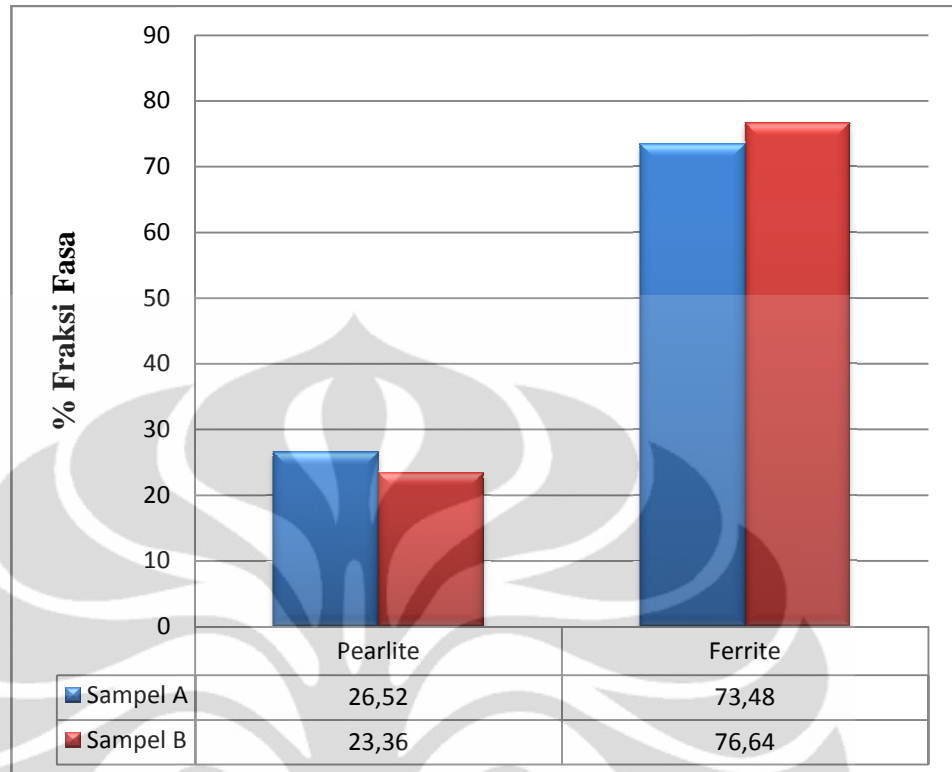
Pengukuran besar butir matriks ferit dilakukan pada hasil foto mikro di atas. Pengukuran dilakukan dengan metoda *Intercept Heyn* sesuai dengan ASTM E-112 dan contoh perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran 4. Perhitungan butir dilakukan sebanyak 2 kali perhitungan untuk tiap-tiap sampel. Setelah dilakukan 2 kali perhitungan maka dapat diperoleh masing-masing serta rata-rata diameter butir. Tabel 4.1 berikut ini menyajikan hasil perhitungan besar butir matriks ferit pada sampel.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan besar butir matriks ferit

Sampel	Penampang	Grain Size		Deviasi	Besar butir (μm)
		ASTM	Rata-rata		
A	Longitudinal	7,657	7,622667	0,009482889	25,67
		7,721			
		7,49			
	Transversal	7,784	7,731	0,002908667	24,75
		7,752			
		7,657			
B	Longitudinal	7,75	7,750667	0,005890889	24,6
		7,657			
		7,845			
	Transversal	7,49	7,467667	0,003286889	27,03
		7,389			
		7,524			

2) Perhitungan Fraksi Fasa

Perhitungan ini membandingkan fraksi perlit terhadap matriks ferit pada tiap-tiap sampel. Perhitungan fraksi fasa dilakukan 2 kali pada tiap-tiap sampel. Proses dan contoh perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 5. Data hasil perhitungan fraksi fasa tersaji pada Gambar 4.4.



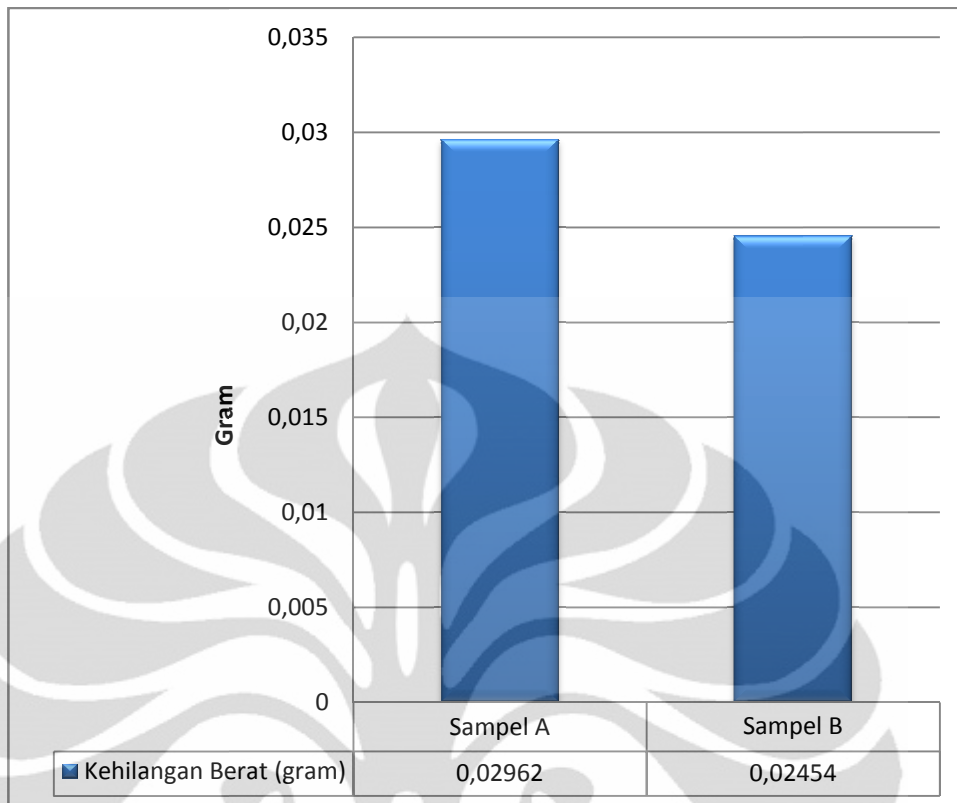
Gambar 4.4 Diagram perbandingan % fraksi fasa ferit-perli pada kedua sampel

4.3.3 Hasil Uji Korosi Material

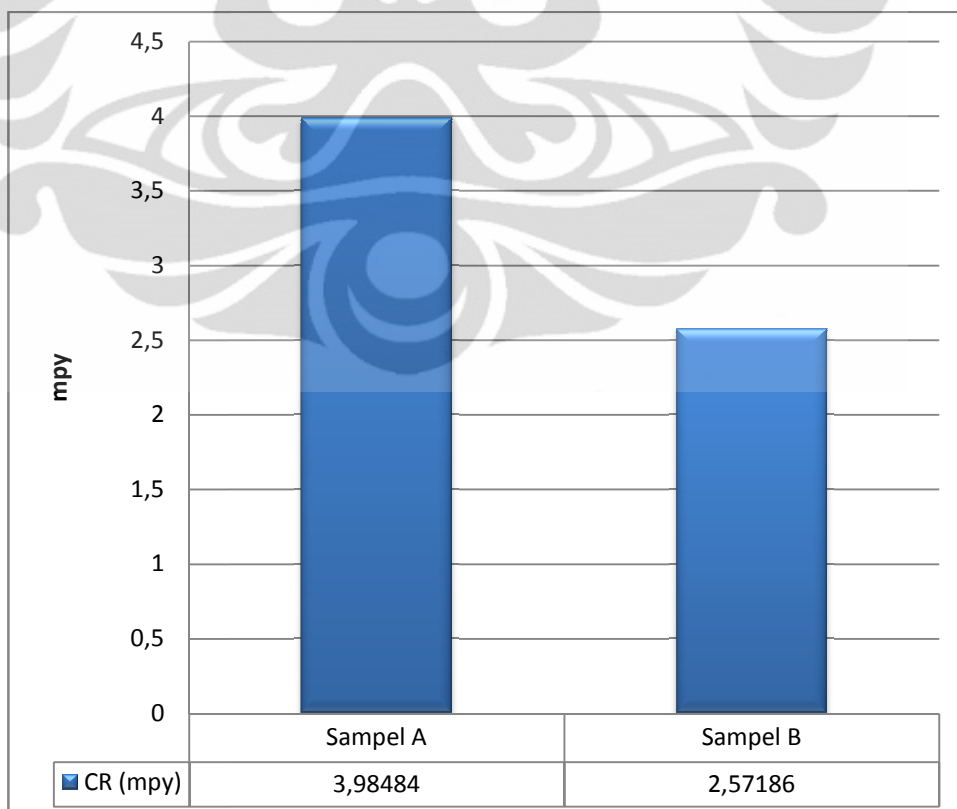
Pengujian korosi material dilakukan untuk mendapatkan perbandingan laju rata-rata korosi kedua sampel pipa, mengetahui morfologi korosi yang terjadi serta komposisi produk kimia yang dihasilkan dari reaksi korosi. Data-data tersebut akan dituliskan sebagai berikut:

4.3.3.1 Laju Korosi (Pengujian Kehilangan Berat)

Metode perhitungan laju korosi ditentukan dengan menggunakan metode kehilangan berat. Dengan mengetahui jumlah massa material yang hilang akibat proses korosi maka dapat ditentukan laju korosi material dengan menggunakan Persamaan 2.1, hasilnya tersaji pada Gambar 4.5. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode *immersion test* dalam larutan NaCl 3.5% selama 164 jam. Berat jenis material baja karbon sesuai ASTM GI-03 adalah 7.86 gr/cm^3 . Proses dan tabulasi perhitungan *corrosion rate* dapat dilihat pada Lampiran 6.



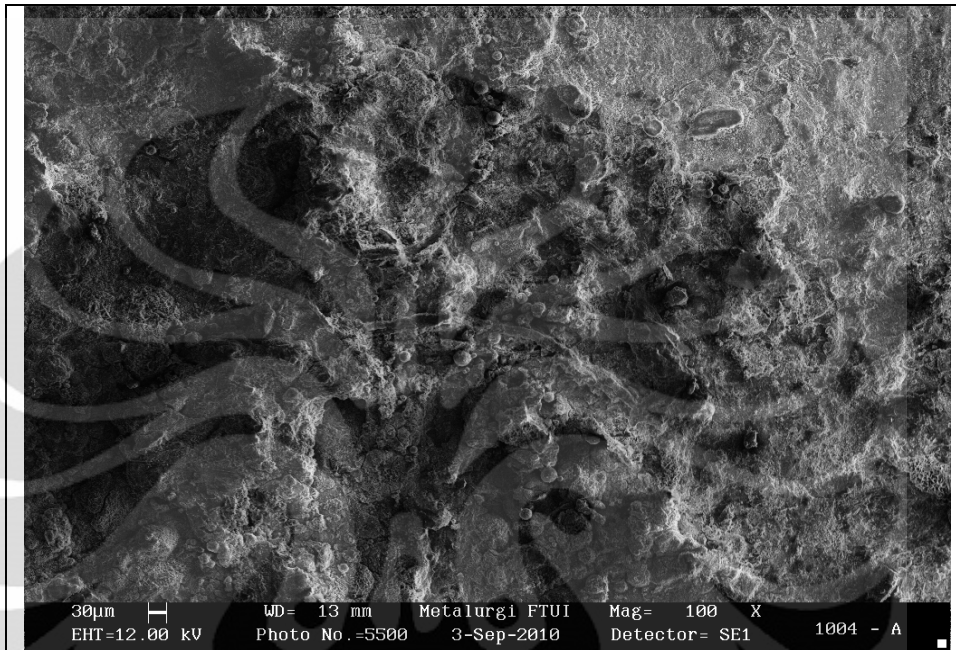
Gambar 4.5 Diagram perbandingan kehilangan berat hasil uji celup kedua sampel



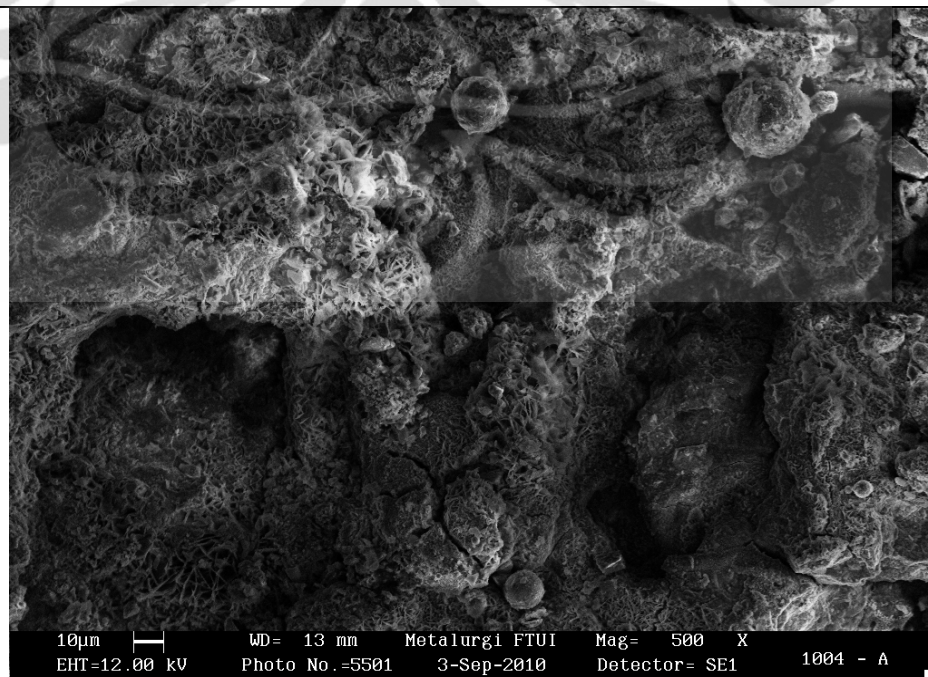
Gambar 4.6 Diagram perbandingan *corrosion rate* (mpy) hasil uji celup kedua sampel

4.3.3.2 Morfologi Korosi

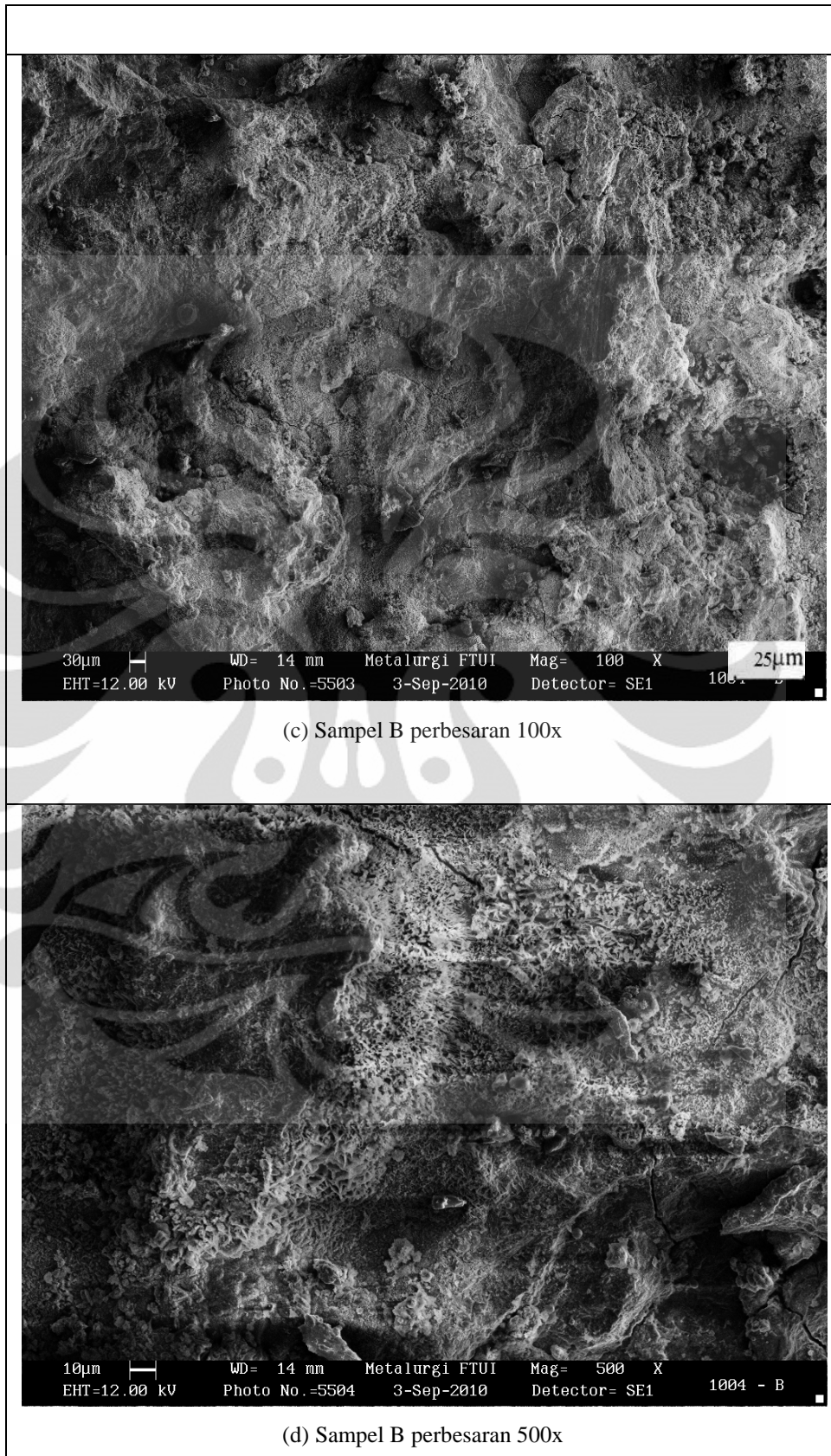
Perbandingan penampakan permukaan atau morfologi permukaan kedua sampel yang dilihat menggunakan *Scanning Electron Microscopy* dengan perbesaran 100x dan 500x setelah material mengalami korosi dapat dilihat pada gambar berikut ini:



(a) Sampel Pipa A perbesaran 100x



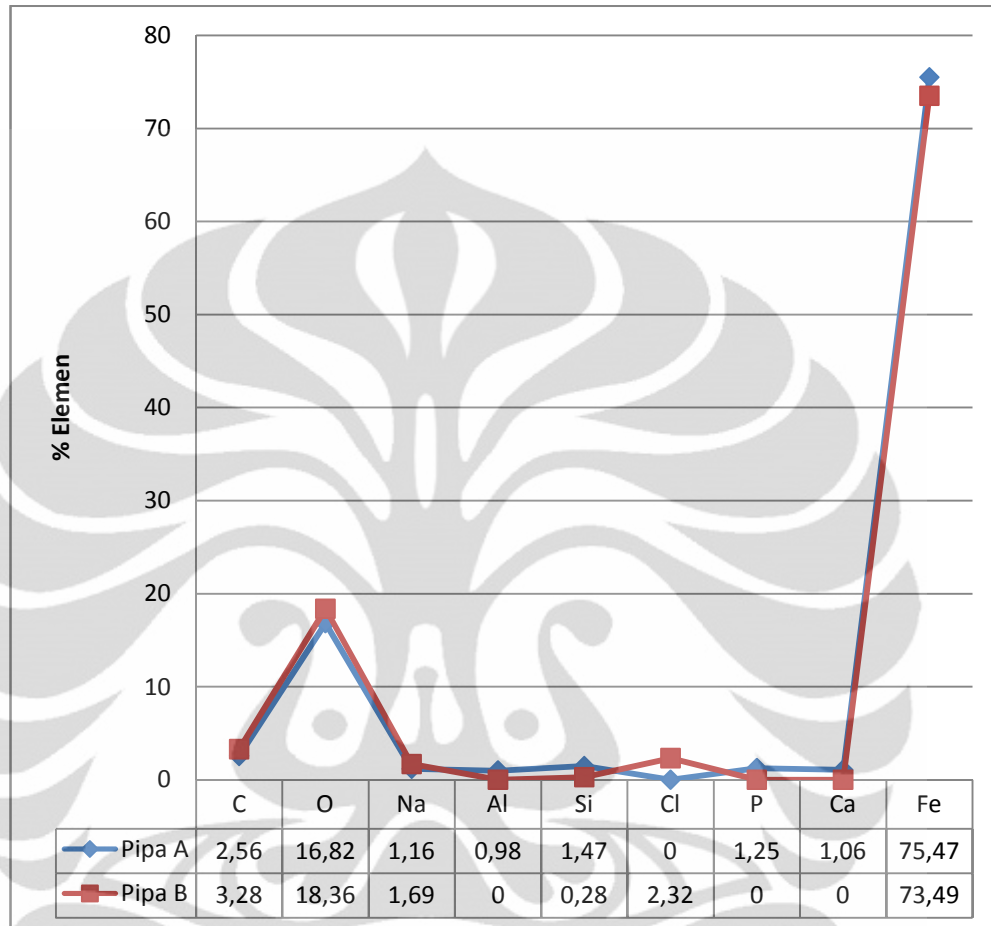
(b) Sampel A perbesaran 500x



Gambar 4.7 Hasil pengamatan SEM pada permukaan sampel yang terkorosi

4.3.3.3 Komposisi Kimia Produk Korosi

Perbandingan komposisi kimia produk korosi baik berupa unsur maupun senyawa kimia disajikan dalam gambar dan tabel berikut ini:



Gambar 4.8 Grafik perbandingan komposisi unsur kimia produk korosi kedua sampel

Tabel 4.2 Perbandingan hasil uji senyawa kimia produk korosi

Sampel	Senyawa Produk Korosi	
	Rumus Kimia	Nama
A	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	<i>Feroxyhite</i>
	Fe_3O_4	<i>Magnetite</i>
B	FeO	<i>Plustite</i>
	Fe	<i>Iron</i>

4.4 Pembahasan

4.4.1 Hasil Uji Karakterisasi Awal Material

4.4.1.1 Komposisi Kimia

Data hasil pengujian (Gambar 4.1) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan komposisi unsur kimia antara sampel A dan sampel B. Perbedaan komposisi unsur kimia terlihat pada unsur C, S, Mn, Cr, dan Cu. Pada unsur C, % berat unsur C pada sampel A (0,218 %) lebih besar daripada % berat unsur C pada sampel B (0,192%). Demikian juga pada unsur S, dimana sampel A (0,024%) memiliki nilai yang lebih besar dari sampel B (0,005%). Sedangkan pada unsur Mn, % berat pada sampel A (0,383%) lebih kecil daripada sampel B (0,489%). Hal ini juga terjadi pada unsur Cr dan Cu, nilai % berat pada sampel A (0,026 % Cr; 0,004% Cu) juga lebih kecil daripada sampel B (0,046% Cr; 0,023% Cu). Unsur-unsur paduan lain (Si, P, Ni, Mo, Ti, Nb, V, dan Al) dengan kadar yang cukup rendah relatif memiliki nilai % berat unsur yang sama pada kedua sampel A dan B. Bagaimanapun, % berat unsur-unsur kimia hasil pengujian spektrometri pada sampel di atas tidak melebihi batas nilai maksimum yang diperbolehkan pada standar API 5L Gr B *Seamless*, yakni: 0,24 % C; 1,20 % Mn; 0,025% P; 0,015% S^[2].

Elemen-elemen paduan seperti Cu, Cr, dan Ni dapat meningkatkan ketahanan korosi dari baja apabila diaplikasikan pada suatu lingkungan tertentu. Baorong Hou, dkk.^[34], dalam penelitiannya menyatakan bahwa, elemen paduan seperti Cr, Ni, Mo, P, Al, dan Cu masing-masing memiliki pengaruh yang berbeda terhadap laju korosi baja karbon di lingkungan yang berbeda pula. Hasil penelitiannya, baja yang mengandung elemen paduan seperti Cr, Mo, Al yang lebih tinggi menunjukkan ketahanan korosi yang lebih baik di lingkungan *aqueous* daripada lingkungan atmosferik. D.A Lopez, dkk.^[35] dalam penelitiannya menyatakan bahwa dengan meningkatnya kandungan Cr, maka ketahanan korosi baja karbon akan meningkat. Meskipun kandungan karbon tidak memiliki efek pada laju korosi dari air, laju korosi meningkat lebih sedikit (maksimum 20%) bila kandungan karbon ditingkatkan dari 0,1 – 0,8%. Mangan yang ditambahkan dalam proporsi normal (sampai 1%) pada baja komersil tidak mempengaruhi laju korosi.

Mengacu pada penjelasan literatur, meskipun terdapat perbedaan kadar beberapa unsur paduan pada kedua sampel, nilai tersebut tidak cukup signifikan untuk membuat perbedaan yang begitu besar pada perbedaan laju korosi material (Gambar 4.6), data tersebut menjelaskan tetap adanya perbedaan laju korosi meskipun tidak begitu signifikan. Pada unsur karbon, dengan selisih yang kecil tetap mampu memberikan pengaruh, dimana unsur karbon sangat berpengaruh terhadap pembentukan fasa perlit. Kehadiran perlit tentunya membuat perbedaan fasa dalam struktur mikro baja karbon, yakni matriks ferit dan perlit. Menurut D. Clover dkk., perbedaan fasa dalam struktur mikro akan menghasilkan perbedaan ketahanan korosi pada baja karbon. Berdasarkan perbandingan data komposisi karbon dan penjelasan pada literatur, maka dapat disimpulkan bahwa baja karbon pada sampel A memiliki ketahanan yang lebih rendah daripada baja karbon sampel B karena memiliki kadar karbon pada sampel A yang lebih tinggi.

Sedangkan unsur sulfur, menurut George E. Totten dkk.^[36], dalam bukunya *Steel Heat Treatment Handbook*, penambahan unsur paduan sulfur ditujukan untuk memodifikasi sifat mekanis. Dengan menambahkan unsur sulfur maka akan meningkatkan ketahanan fatik dan *machinability* baja. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa unsur sulfur disini ditambahkan tidak untuk memodifikasi ketahanan korosi melainkan bertujuan untuk memodifikasi sifat mekanis baja karbon tersebut.

Menurut George E. Totten dkk.^[36], mangan hampir selalu hadir pada semua jenis baja dengan jumlah 0,30% atau lebih. Menurut data pengujian bahwa jumlah % berat mangan dalam kedua sampel pun lebih dari 0,30%. Mangan secara esensial adalah sebagai deoksidator sekaligus sebagai desulfurator. Hal ini terlihat pada data komposisi (Gambar 4.2), dimana sampel B dengan % berat mangan yang lebih besar dari pada sampel A memiliki % berat sulfur yang lebih sedikit daripada % berat sulfur pada sampel A. Kandungan unsur mangan menguntungkan karena memberikan kualitas permukaan yang baik pada hampir semua jenis baja karbon (kecuali pada baja karbon ultra rendah) dan mereduksi risiko terjadinya *red-shortness* saat manufaktur. Mangan dengan baik mempengaruhi *forgeability* dan *weldability* baja karbon. Penjelasan-penjelasan mengenai pengaruh paduan mangan pada baja karbon tersebut memberikan suatu

kesimpulan secara tidak langsung bahwa penambahan unsur paduan mangan bukan ditujukan untuk memperbaiki ketahanan korosi baja karbon melainkan untuk memperbaiki sifat mekanisnya.

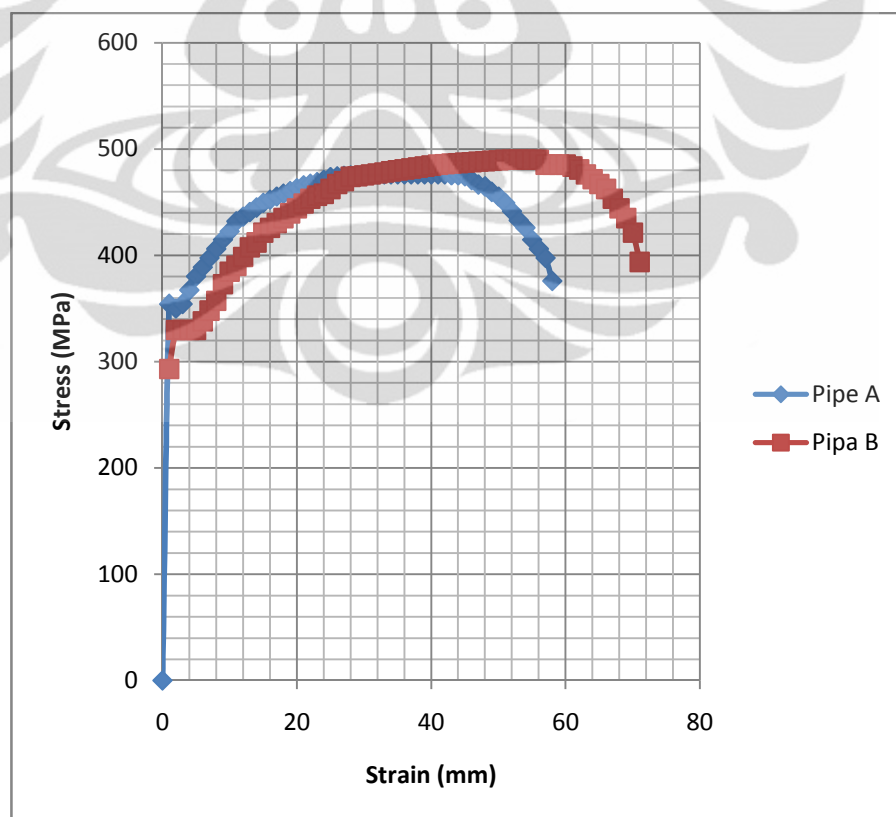
Unsur kromium secara umum ditambahkan untuk memberikan efek ketahanan korosi yang baik pada baja karbon. D.A Lopez, dkk., dalam penelitiannya menyatakan bahwa dengan meningkatnya kandungan Cr, maka ketahanan korosi baja karbon akan meningkat. Hal ini telah sesuai dengan data hasil pengujian komposisi, dimana sampel B dengan % Cr yang lebih tinggi menghasilkan ketahanan korosi yang lebih baik dibanding sampel A (Gambar 4.6). Menurut George E. Totten dkk.^[36], selain meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi, kromium juga meningkatkan mampu kekerasan dan ketahanan abrasi bahan. Namun demikian, dengan kandungan unsur paduan kromium dan perbedaan % berat unsur paduan komposisi yang tidak terlalu signifikan pada sampel di atas, maka perbedaan ketahanan korosi yang dihasilkan pun tidak begitu signifikan meskipun berpengaruh. Pada unsur tembaga yang dipadukan dalam jumlah kecil pada baja karbon, berdasarkan data terdapat perbedaan % berat dalam jumlah yang relatif kecil. Bagaimanapun, unsur tembaga mampu meningkatkan ketahanan korosi atmosferik (ketika penambahannya melebihi 0,20%) pada baja. Namun demikian, dengan jumlah unsur paduan pada sampel yang masih kurang dari 0,20% maka dapat dikatakan bahwa unsur paduan tembaga pada sampel ini tidak begitu berpengaruh terhadap perbedaan nilai laju korosinya.

Bagaimanapun, menurut D.Clover dkk, tingkat unsur paduan seperti nikel, kromium, dan niobium yang boleh ditambahkan pada baja, tidak begitu menentukan. Karena kadar yang ditambahkan relatif sedikit. Selanjutnya, kadar yang diijinkan pada karbon, mangan, fosfor, dan sulfur, hanya disesuaikan dengan setiap *grade* yang berbeda untuk jenis pipa *seamless*, lasan, dan hasil pengerjaan dingin. Penjelasan tersebut memberikan kesimpulan bahwa unsur-unsur paduan yang ditambahkan dalam jumlah kecil tidak secara langsung begitu menentukan performa baja karbon rendah, tetapi lebih ke arah penyesuaian produk standar, dalam hal ini komposisi kimia dan sifat mekanis. Untuk itu perlu ditinjau ke arah mikrostruktur yang dihasilkan akibat adanya penambahan unsur-unsur tersebut.

Sehingga bisa diketahui apakah terdapat perbedaan struktur mikro yang menurut D.Clover dkk. dapat menyebabkan perbedaan ketahanan korosi.

4.4.1.2 Kekuatan Tarik

Berdasarkan data hasil uji tarik pada Gambar 4.2, diketahui bahwa nilai kekuatan luluh (*yield strength*) pada sampel A (355 Mpa) lebih besar daripada sampel B (322 MPa). Sebaliknya nilai kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) pada sampel A (475 MPa) lebih kecil dibanding pada sampel B (483,3 Mpa). Nilai kekuatan luluh dan kekuatan tarik maksimum pada kedua sampel tersebut masih berada di atas batas minimum (241 MPa untuk *yield strength* dan 414 MPa untuk UTS) yang diminta berdasarkan nilai standar minimum untuk produk API 5L Gr B *Seamless*^[37]. Kedua sampel ini adalah jenis baja karbon tipe ulet, hal ini bisa dilihat pada grafik hasil pengujian pada Lampiran 4, diketahui bahwa kedua sampel ini memiliki nilai elongasi yakni 31,% pada sampel A dan 32,75% pada sampel B. Terlihat bahwa sampel B memiliki nilai keuletan sedikit lebih tinggi daripada sampel B.



Gambar 4.9 Perbandingan grafik hasil uji tarik kedua sampel

Pada subbab 4.4.1.1 mengenai komposisi kimia, telah dijelaskan pengaruh-pengaruh unsur kimia penyusun maupun paduan pada baja karbon ini terhadap ketahanan korosinya pun dengan sifat mekanisnya. Data hasil uji tarik ini akan menghubungkan pengaruh unsur-unsur kimia tersebut terhadap sifat mekanis dan ketahanan korosi berdasarkan literatur dan data aktual hasil pengujian. Sehingga bisa dilihat apakah ada kesinambungan atau tidak.

Kekuatan luluh adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Deformasi plastis merupakan hasil dari pergerakan dari salah satu kristal yang disebut dislokasi. Itu artinya, untuk menghasilkan suatu deformasi pada baja karbon rendah maka diperlukan setidaknya tegangan 355 MPa pada sampel A dan 322 MPa pada sampel B. Dapat dikatakan bahwa tegangan untuk menghasilkan deformasi awal pada sampel A lebih besar daripada sampel B.

Berdasarkan kandungan komposisi kimia, terlihat bahwa unsur karbon pada sampel A sedikit lebih besar daripada sampel B. Menurut literatur, unsur karbon memberikan efek penguatan pada baja karena menghasilkan penguatan melalui *solid solution strengthening*^[36]. Dengan meningkatnya kadar karbon pada baja maka kekuatan akan meningkat, tapi keuletan dan mampu las akan berkurang. Pernyataan tersebut sesuai dengan data hasil uji, dimana kekuatan luluh sampel A lebih besar daripada sampel B sebanding dengan % berat karbonnya yang juga lebih besar. Sedangkan nilai kekuatan tarik maksimum pada sampel A lebih kecil karena berkurangnya nilai keuletan bahan. Hal ini terjadi karena % fraksi fasa perlit pada sampel A lebih besar (Gambar 4.4). Perlit pada struktur mikro baja karbon rendah (Gambar 4.4) berada pada batas butir matriks ferit. Hal ini menyebabkan terhalangnya dislokasi antar butir pada ferit karena keberadaan perlit pada area batas butir ferit. Batas butir merupakan salah satu penghalang pergerakan dislokasi karena ketidaksamaan susunan atom dalam area batas butir dan dengan orientasi yang berbeda. Ditambah dengan kehadiran fasa lain seperti perlit pada batas butir maka dislokasi semakin sulit terjadi. Semakin sulit terjadinya dislokasi pada baja karbon maka kemampuan deformasi baja karbon tersebut berkurang sehingga nilai keuletannya pun berkurang.

Uraian tersebut telah memberikan hubungan pengaruh unsur karbon yang

berkesinambungan terhadap sifat mekanis dan ketahanan korosi bahan. Lebih besarnya kadar unsur karbon di sisi lain akan meningkatkan kekuatan luluh bahan dengan meningkatnya kehadiran fasa perlit, namun disisi lain akan mengurangi ketahanan korosi karena terdapat perbedaan fasa. Karena dengan perbedaan fasa (ferit dan perlit) yang tentunya memiliki perbedaan energi bebas maka berpotensi menghasilkan efek korosi galvanik pada struktur mikro.

Terkait dengan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa produsen pipa yang melakukan manufaktur saat merekayasa bahan, mengharapkan *output* akhir yang paling diutamakan pada produknya adalah sifat mekanis dan komposisi kimia. Hal ini sesuai dengan *requirement* yang terdapat pada standar produk API 5L, dimana acuan utama yang digunakan untuk spesifikasi produknya adalah komposisi kimia dan sifat mekanis. Jika kedua persyaratan tersebut telah memenuhi batas-batas standar maksimum ataupun minimum produk maka produk tersebut dianggap layak masuk standar. Demikian juga dengan para konsumen yang saat melakukan inspeksi lebih mengutamakan kepada dua hal tersebut disamping dimensi. Pengaruh-pengaruh komposisi unsur kimia terhadap struktur mikro tidak begitu diperhatikan karena pada *mill test certificate* (Lampiran 1) tidak dicantumkan hasil inspeksi struktur mikronya. Pengaruh-pengaruh unsur kimia lebih diutamakan untuk bagaimana merekayasa sifat mekanis sehingga sesuai dengan kriteria standar produk.

4.4.2 Pengamatan Metalografi Material

4.4.2.1 Struktur Mikro

Berdasarkan foto mikro yang didapatkan dengan perbesaran 500x, diketahui bahwa fasa yang terdapat dalam struktur mikro kedua sampel adalah matriks ferit yang pada sekitar batas butirnya tersebar perlit (berwarna gelap). Ferit, dengan sedikit pengecualian, adalah konstituen paling banyak pada baja karbon rendah^[35]. Pada baja karbon rendah, ferit tampak dengan morfologi *equiaxed*, dimana secara keseluruhan dimensinya sama pada semua arah. Hal ini telah sesuai dengan yang terdapat pada Gambar 4.4. *Pearlite* merupakan struktur mikro akibat transformasi eutektoid pada baja dari austenit (γ) yang menghasilkan fasa ferit (α) dalam bentuk koloni-koloni lamelar dan sementit (Fe_3C)^[16]. Ferit dan

sementit di dalam perlit akan terbentuk di temperatur A_1 atau sekitar $727\text{ }^\circ\text{C}$. Fasa perlit terjadi ketika baja didinginkan secara normal atau lambat sampai mengenai hidung perlit (ferit + sementit). Perlit akan bernukleasi dan tumbuh di batas butir austenit.

Perbedaan fasa pada mikrostruktur tersebut dapat menyebabkan sel galvanis mikro. Pada fasa perlit, sel galvanis dapat terjadi antara ferit dan sementit karena masing-masing fasa memiliki energi bebas dan potensial yang berbeda. Perbedaan inilah yang menyebabkan terbentuknya anoda dan katoda yang dapat mengakibatkan korosi.

4.4.2.2 Besar Butir dan Fraksi Fasa

1) Analisa Besar Butir

Data pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa besar dimensi butir kedua sampel relatif sama. Nilai besar butir untuk sampel A pada tampak *longitudinal* adalah $25,67\text{ }\mu\text{m}$, sedangkan pada sampel A yang tampak *transversal* bernilai $24,75\text{ }\mu\text{m}$. Pada sampel B, nilai besar butir adalah $24,6\text{ }\mu\text{m}$ untuk yang tampak *longitudinal* dan $27,03\text{ }\mu\text{m}$ untuk yang tampak transversal.

Nilai besar butir kedua sampel dianggap relatif sama karena memiliki nilai yang tidak terlalu jauh berbeda. Selain itu, berdasarkan data pada Lampiran 4.1 bahwa metode manufaktur yang digunakan kedua sampel tersebut sama. Metode manufaktur yang digunakan adalah *cold drawn* yang merupakan bentuk pengerjaan dingin. Menurut literatur, morfologi butir *ferrite* juga dapat muncul dalam morfologi memanjang dan berisi arah deformasi (garis-garis gelap di butir) akibat proses pengerjaan dingin. Namun demikian, data hasil pengujian foto mikro tidak memberikan penampakan butir ferit dengan morfologi memanjang. Hal ini terjadi karena berdasarkan data metode manufaktur pada *mill certificate*, setelah dilakukan proses pengerjaan dingin *cold drawn* kemudian dilanjutkan dengan perlakuan panas *normalizing*.

Normalizing pada baja adalah proses perlakuan panas yang bertujuan untuk memperhalus dan menyeragamkan struktur mikro setelah

baja mendapat pengerjaan dingin. Selain itu, perlakuan panas *normalizing* akan menghilangkan efek tegangan sisa akibat pemberian tegangan saat pengerjaan dingin. Secara praktik, *normalizing* adalah proses pemanasan kembali baja hingga mencapai austenisasi lalu diikuti oleh pendinginan secara lambat dengan media pendingin udara. Secara spesifik, baja dipanaskan hingga mencapai temperatur sekitar 55°C di atas garis kritikal dari diagram fasa Besi-Karbon. Sampel yang digunakan pada pengujian ini adalah baja karbon *hypoeutectoid* sehingga sampel harus dipanaskan 55°C di atas garis A₃. Menurut data pada *mill certificate*, temperatur yang digunakan untuk normalisasi pada sampel A adalah 910 – 930 °C, sedangkan *mill certificate* pada sampel B tidak mencantumkan besarnya nilai temperatur, hanya mencantumkan proses perlakuan panasnya yakni normalisasi.

Proses pengerjaan dingin merupakan salah satu cara untuk mengubah bentuk suatu material. Perlakuan ini selain dapat mengubah bentuk material secara bentuk fisik juga dapat mengubah dalam hal mikrostruktur. Terkait dengan adanya perubahan morfologi mikrostruktur, tentunya juga akan mempengaruhi beberapa sifat dasar dari material tersebut, salah satunya adalah perubahan terhadap ketahanan korosi. Perubahan mikrostruktur ini mengakibatkan terjadinya perubahan kerapatan dislokasi dan perubahan distorsi dalam atom. Pemberian deformasi ini akan meningkatkan besar tegangan yang dimiliki karena semakin rapatnya dislokasi yang merupakan cacat kristal.

Sebagaimana diketahui bahwa dengan terjadinya peningkatan tegangan, akan berakibat pada sifat korosinya, dimana daerah pada suatu material yang memiliki tegangan yang lebih tinggi akan cenderung bersifat lebih anodik, sedangkan bagian yang lebih rendah tegangannya akan bersifat katodik. Dikarenakan adanya perbedaan ini, korosi yang cenderung terjadi adalah korosi galvanis. Perbedaan antara daerah butir dan batas butir terjadi karena adanya perbedaan energi bebas pada kedua daerah tersebut. Energi bebas pada batas butir memiliki nilai yang lebih tinggi ketimbang yang ada pada butir, sehingga apabila batas butir

meningkat akibat perlakuan deformasi, semakin tinggi pula energi bebas dan potensial akan menjadi negatif, sehingga laju korosi material tersebut akan meningkat.

Namun demikian, pengaruh deformasi pengerjaan dingin terhadap ketahanan korosi seperti yang diuraikan di atas dianggap tidak memiliki pengaruh pada kedua sampel tersebut. Hal tersebut dikarenakan proses perlakuan panas normalisasi yang diberikan setelah proses deformasi plastis akibat pengerjaan dingin. Telah diketahui sebelumnya bahwa proses normalisasi tersebut akan menghilangkan efek tegangan sisa yang terdapat pada baja tersebut. Selain itu juga akan menyeragamkan struktur mikro. Hal ini telah dibuktikan pada data Tabel 4.1 dan Gambar 4.3 yang memberikan informasi bahwa struktur mikro dan ukuran butir matriks ferit yang sama dari kedua sampel.

2) Analisa Fraksi Fasa

Data pada Gambar 4.4 menggambarkan perbandingan jumlah % fraksi fasa pada struktur mikro baja karbon rendah. Dari data terlihat bahwa jumlah % fraksi perlit pada sampel A (26,52%) lebih besar daripada sampel B (23,36%). Sebaliknya % fraksi ferit pada sampel B (73,48%) lebih besar daripada sampel A (76,64%). Proses perhitungan % fraksi fasa menggunakan persamaan *level rule* seperti pada Lampiran 4.6. Hal yang bisa disimpulkan dari perhitungan % fraksi fasa disini adalah bahwa fraksi perlit pada sampel A lebih besar daripada sampel B.

Banyak sifat mekanis material yang dapat ditingkatkan dengan berbagai macam perlakuan panas. Fasa perlit terbentuk setelah pendinginan pada perlakuan panas normalisasi. Secara rekayasa mekanis, kehadiran perlit akan memperkuat sifat mekanis kekuatan tarik dan kekerasan pada baja karbon. Tetapi, beberapa sifat seperti kekerasan dan kekuatan sering dicapai dengan 'mengorbankan' ketahanan korosinya. Sebagai contoh, kekerasan dan kekuatan baja martensitik berbanding terbalik dengan ketahanan korosinya yang lebih rendah dibandingkan dengan baja feritik ataupun austenitik.

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa korosi galvanis dapat terjadi akibat perbedaan fasa. Perbedaan fasa pada mikrostruktur dapat menyebabkan sel galvanis mikro. Pada fasa perlit, sel galvanis dapat terjadi antara ferit dan sementit karena masing-masing fasa memiliki energi bebas dan potensial yang berbeda. Sehingga semakin banyak fasa perlit maka perbedaan potensial fasa semakin banyak sehingga korosi galvanis mikro yang terjadi semakin besar. Terlihat bahwa fasa perlit pada sampel A lebih besar dibanding perlit pada sampel B sehingga ketahanan korosi pada sampel A akan lebih rendah daripada sampel B. Hal ini telah sesuai dengan data hasil pengujian laju korosi pada Gambar 4.6.

4.4.3 Hasil Uji Korosi

4.4.3.1 Laju Korosi

Data pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa jumlah masa yang hilang pada sampel A (0,02962 gram) akibat terkorosi lebih besar daripada sampel B (0,02454 gram). Demikian juga nilai laju korosinya yakni 3,98484 *mpy* pada sampel A dan 2,57186 *mpy*. Nilai laju korosi ini membuktikan bahwa hasil inspeksi visual awal yang menganggap bahwa sampel A lebih mudah terkorosi daripada sampel B memang benar. Bagaimanapun, perbedaan nilai laju korosi pada kedua sampel tersebut tidak terlalu signifikan. Hal ini terjadi karena kedua sampel berada dalam satu standat produk yang sama, yakni API 5L Gr B. Telah dijelaskan pada penjelasan-penjelasan subbab sebelumnya bahwa perbedaan laju korosi kedua sampel lebih disebabkan oleh perbedaan struktur mikronya.

Alasan menggunakan larutan NaCl 3.5% sebagai media lingkungan yang digunakan saat uji celup adalah karena pada kondisi larutan tersebut baja karbon akan teroksidasi secara optimal. Dengan kata lain NaCl 3.5% adalah komposisi larutan air laut yang optimal untuk mengkorosikan baja karbon. Sehingga media tersebut baik untuk membuktikan perbedaan korosi kedua sampel dengan nilai laju korosi yang cukup optimal untuk kedua sampel. Alasan berikutnya karena sampel tersebut sebelumnya disimpan di pesisir pantai dan memungkinkan pipa-pipa tersebut untuk nantinya diaplikasikan di wilayah perairan laut. Hal ini sesuai dengan data aktual wilayah eksplorasi pengeboran minyak dan gas yang banyak

beroperasi di air laut. Dari mulai sumur bor, proses separasi, dan penjualan dilakukan di perairan alut. Meskipun terdapat banyak sumur eksplorasi di darat (*onshore*) dan proses preparasi di darat, namun hasil dari proses produksi yang berupa minyak mentah akan didistribusikan dan ditransmisikan ke *tanker* yang berada di tengah laut. Sehingga selain untuk membuktikan perbedaan korosi kedua sampel, diharapkan data hasil pengujian korosi ini menjadi acuan data aktual untuk instalasi perpipaan di wilayah operasi Kondur Petroleum S.A.

4.4.3.2 Morfologi Korosi

Data pada Gambar 4.7 menunjukkan tampilan permukaan sampel yang terkorosi. Foto morfologi permukaan sampel menunjukkan bahwa pada permukaan tersebut tidak terdapat *pit* atau lubang-lubang yang diakibatkan oleh korosi *pitting*. Pada sampel A dengan perbesaran 100x dan 500x terlihat adanya bentuk bulatan kecil yang merupakan produk korosi yang nantinya akan diamati senyawa kimia produk korosi tersebut pada subbab selanjutnya. Sedangkan pada sampel B, tampilan permukaan terlihat lebih rata dan tidak banyak terdapat bulatan kecil. Kesimpulan yang bisa diambil dari pengujian morfologi permukaan sampel yang terkorosi ini adalah bahwa korosi yang terjadi adalah bentuk korosi menyeluruh atau seragam. Dengan kata lain tidak terjadi korosi *pitting* pada sampel.

Sampel yang digunakan untuk pengamatan morfologi korosi ini berasal dari pipa yang sebelumnya mengalami korosi saat penyimpanan. Diduga korosi yang terjadi adalah korosi atmosferik luar karena pipa disimpan dalam lingkungan atmosferik terbuka. Lingkungan yang menjadi elektrolit sehingga terjadinya korosi berasal dari air hujan dan uap embun yang menempel dan mengendap pada permukaan internal pipa. Seperti diketahui bahwa kondisi lingkungan tempat penyimpanan memiliki nilai kelembapan di atas 60%, dimana nilai tersebut tergolong kondisi lingkungan yang korosif. Analisa mengenai kondisi lingkungan dapat dilihat pada subbab 4.1 mengenai hasil studi lapangan. Alasan penggunaan sampel yang berasal dari korosi saat penyimpanan adalah supaya data yang didapatkan dapat menjadi bahan acuan untuk evaluasi kondisi penyimpanan oleh pihak Kondur Petroleum S.A.

4.4.3.3 Komposisi Kimia Produk Korosi

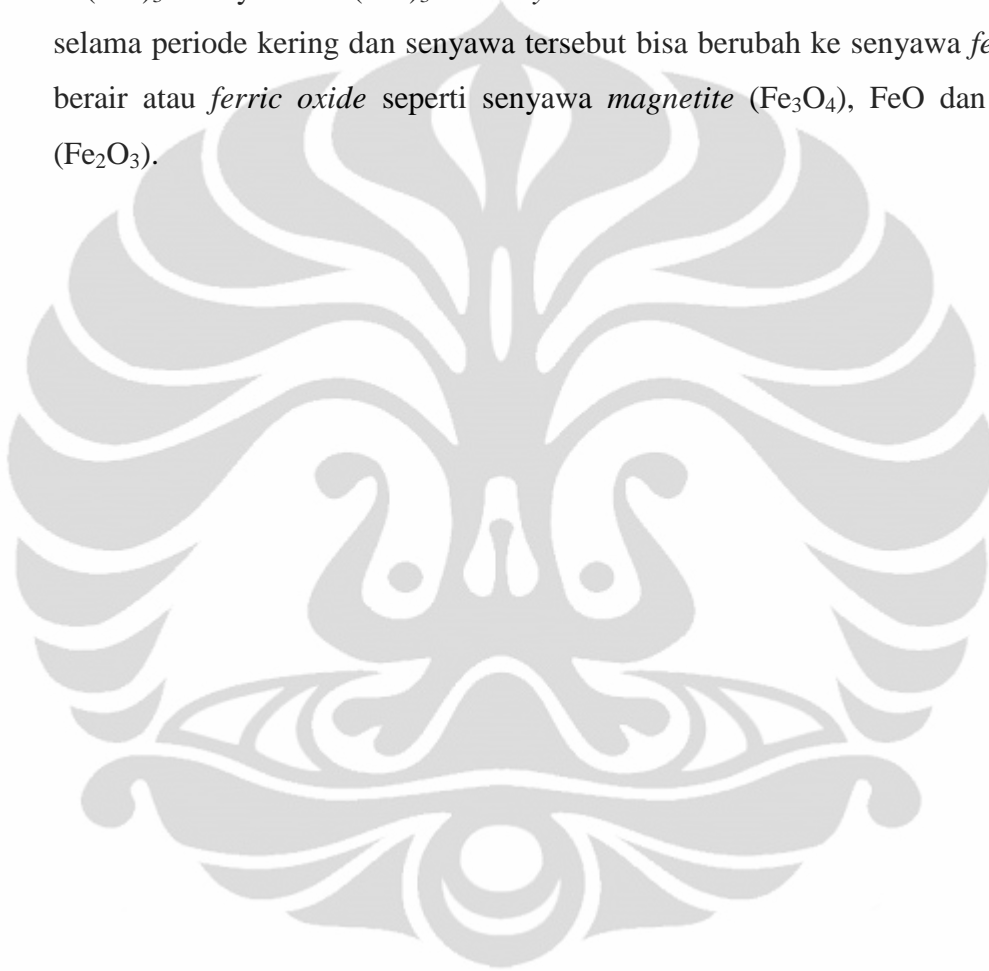
Gambar 4.8 memperlihatkan perbandingan hasil pengujian komposisi kimia pada produk korosi yang terdapat pada sampel. Berdasarkan pengamatan visual telah diketahui bahwa sampel A memiliki produk korosi yang lebih banyak dibanding sampel B karena sampel A lebih terkorosi daripada sampel B. Sampel yang digunakan adalah sampel yang berasal dari tempat penyimpanan pipa yang telah mengalami korosi atmosferik terbuka. Hal ini dilakukan sekaligus untuk mendapatkan data aktual hasil pengujian sebagai acuan untuk bahan evaluasi pihak Kondur Petroelum S.A.

Komposisi produk unsur kimia yang paling dominan dihasilkan pada sampel A dan B adalah oksigen. Unsur ini merupakan komponen utama penyebab terjadinya korosi atmosferik pada kedua sampel pipa. Unsur oksigen ini berasal dari lingkungan terbuka yang terlarut dalam air, dimana air tersebut berasal dari air hujan atau pun uap embun. Sehingga bisa disimpulkan bahwa penyebab utama korosi atmosferik di lingkungan tempat penyimpanan adalah air sebagai media elektrolit korosi.

Unsur lain yang terdapat pada produk korosi ini adalah unsur klorin pada sampel A. Unsur tersebut berasal dari lingkungan air laut. Dengan kondisi penyimpanan yang berada di pesisir pantai, uap air laut yang berasal dari tapi pantai akan mudah mengontaminasi pipa-pipa yang disimpan disekitar area tersebut. Sehingga pada sampel pipa A, unsur klorin dianggap sebagai salah satu penyebab terjadinya korosi meskipun dalam jumlah yang relatif kecil. Unsur lain yang berasal dari lingkungan adalah unsur karbon dan kalsium pada sampel A.

Hasil pengujian senyawa kimia produk korosi pada sampel A memperlihatkan senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan Fe_3O_4 . Senyawa tersebut berasal reaksi penguraian H_2O yang bereaksi dengan unsur Fe. Hasil ini telah sesuai dengan penyebab utama korosi pada sampel A, yakni unsur oksigen. Sedangkan hasil pengujian pada sampel B memperlihatkan senyawa FeO . Terlihat juga bahwa penyebab utama korosi pada sampel B tersebut adalah oksigen. Perbedaan senyawa kimia yang dihasilkan dari kedua sampel tersebut adalah pada perbedaan kadar senyawa kimia dalam bentuk besi oksidasi. Dimana sampel A yang memiliki ketahanan korosi rendah dan menghasilkan produk korosi yang lebih

banyak menghasilkan senyawa-senyawa oksida yang lebih banyak dibanding sampel B, yakni senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan Fe_3O_4 . Pengujian unsur dan senyawa kimia produk korosi ini menyatakan bahwa penyebab utama korosi atmosferik saat penyimpanan terbuka adalah unsur oksigen yang berasal dari air. Menurut literatur^[33], reaksi pembentukan produk korosi akan menghasilkan senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$ atau *hydrated oxide* tersebut bisa kehilangan air selama periode kering dan senyawa tersebut bisa berubah ke senyawa *ferrous* tak berair atau *ferric oxide* seperti senyawa *magnetite* (Fe_3O_4), FeO dan *hematite* (Fe_2O_3).



BAB 5

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan terhadap baja karbon rendah API 5L Gr B *Seamless* dengan melakukan pengujian metalografi, korosi, tarik, dan komposisi kimia dan produk korosi pada dua sampel dengan standar produk yang sama, dapat diambil kesimpulan bahwa penyebab utama yang menjadi pembeda ketahanan korosi baja karbon dalam satu standar produk API 5L Gr B *Seamless* dengan menggunakan dua sampel yang berasal dari dua produsen berbeda adalah struktur mikro. Perbedaan struktur mikro tersebut terjadi karena perbedaan komposisi kimia yang menghasilkan perbedaan jumlah fraksi fasa perlit. Perbedaan fasa tersebut menghasilkan korosi galvanik mikro pada perlit karena terdapat perbedaan potensial antara ferit dan sementit. Jumlah fasa perlit pada sampel A lebih besar sehingga ketahanan korosinya lebih rendah daripada ketahanan korosi pada sampel B yang memiliki ketahanan kadar perlit yang lebih rendah. Hasil tersebut membuktikan bahwa semakin tinggi kadar perlit maka ketahanan korosi baja karbon rendah tersebut semakin rendah. Selain itu, terdapat perbedaan pada kadar komposisi kimia tingkat unsur paduan kecil seperti sulfur, mangan, kromium, dan tembaga yang boleh ditambahkan pada baja. Namun demikian, perbedaan kadar paduan tersebut tidak begitu menentukan karena kadar paduan yang ditambahkan sangat rendah.

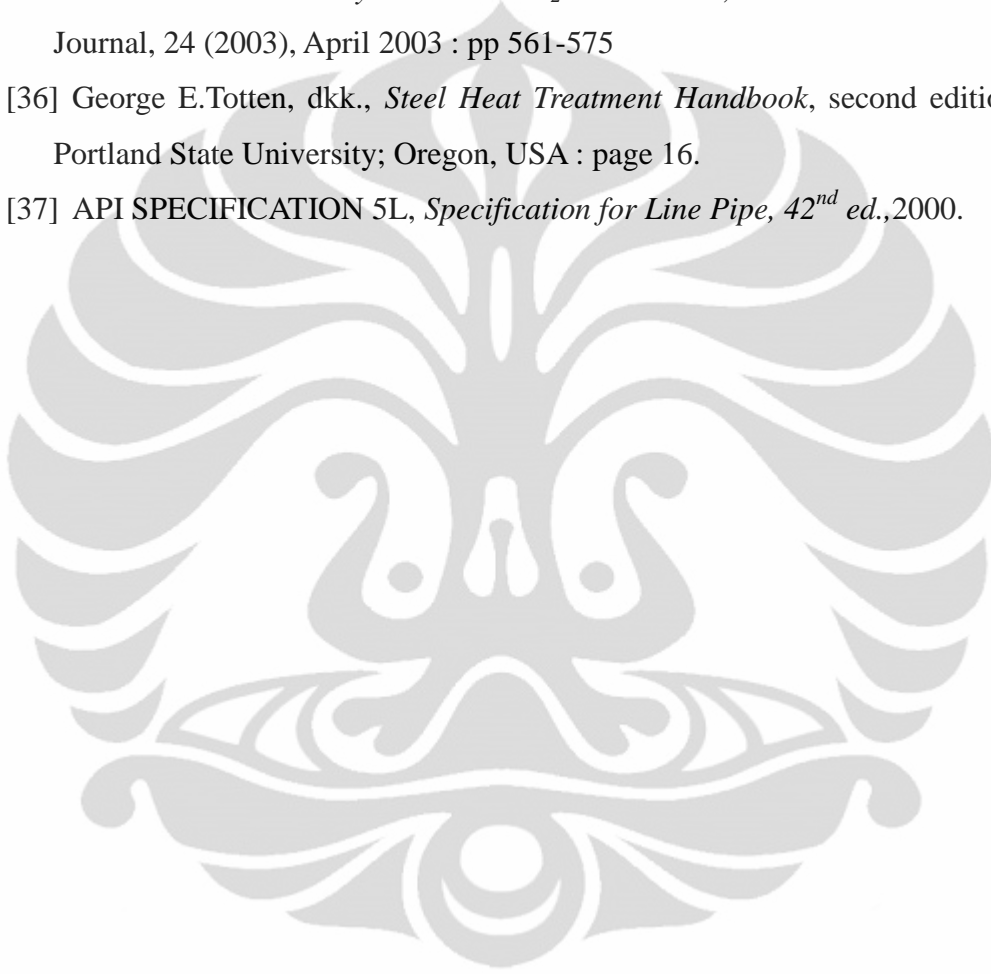
DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Clover et al. *The influence of microstructure on the corrosion rate of various carbon steels*, 2004.
- [2] Devold, Havard, *Oil and Gas Production Handbook* (Oslo: ABB ATPA Oil and Gas, 2006)
- [3] Joko Tri Wahyono, *Metode Peningkatan Tegangan Tarik dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah Melalui Fasa Ganda*, TEKNOIN, Vol. 10 No. 3, 2005
- [4] http://sehat-azma.com/images/Fe-Fe3C_Carbon_Diagram.jpg, dikutip pada tanggal 7 Juli 2011 Pukul 23.00 WIB
- [5] Rahmat Saptono, *Pengetahuan Bahan 2008*, Departemen Metalurgi dan Material FTUI, 2008
- [6] ASM Metallurgy Handbook Vol.9, *Metallography and Microstructure*, 2004
- [7] Krauss, G. *Heat Treatment and Processing Principles*, ASM International, 1995
- [8] Sirawan Y, *Sistem Perpipaan*, 2008, Teknik Mesin UB
- [9] Perez, Nestor., *Electrochemistry and Corrosion Science*, Kluwer Academic Publisher, New York 2004
- [10] ASM Handbook Vol.13 A, *Corrosion: Fundamental, Testing, and Protection*, 2003, USA
- [11] D.A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, 1996.
- [12] ASTM Internasional. (2004). ASTM G31-72 : Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. United State
- [13] Jawe, Madi, dkk. 2008. *The Extract of Purple Sweet Potato Decreases Blood and Liver MDA of MICE After Intense Physical Activity*. Laboratorium Farmakologi Universitas Udayana
- [14] L Caceres, L Herrera, T Vargas, “ *Corrosion Kinetics Studies of AISI 1020 Carbon Steel from Dissolved Oxygen Consumption Measurement in Aqueous Sodium Chloride Solution*”, Proquest Science Journal, 63 (8), Agustus 2007 : pp 722-731
- [15] Jung Fu, Jia, dkk.(2009). *L-Tryptophan as green corrosion inhibitor for low carbon steel in hydrochloric acid solution*. Springer Science Journal, 18 November 2009: pp 979-986

- [16] Piron, Dominique, *The Electrochemistry of Corrosion*, Houston NACE, 1991
- [17] Tomashof, Nikon D, and Chernova, Galina P, *Passivity and Protection of Metals Against Corrosion*, Plenum Press, New York, 1986.
- [18] Suharno, Bambang & Kurniawa, Andri, *Studi Perbandingan Ketahanan Korosi dan Struktur Mikro Baja COR CF8M (SS 316) yang dibuat dengan Feronikel Lokal dan Nikel Impor*, 2005, DTMM FTUI: Depok
- [19] Kiswara, Amri, *Studi Pengaruh Variasi Temperatur pada Canai Hangat Terhadap Morfologi Butir Ferit dan Ketahanannya Terhadap Laju Korosi pada Baja Karbon rendah SS 400*, 2010, DTMM FTUI
- [20] Herdiansyah, Bintang S, *Studi Pengaruh Deformasi Bolak-Balik Melalui Proses Canai Hangat Terhadap Morfologi Butir Ferit, Kekerasan, dan Ketahanan Korosi Baja Karbon SS400*, 2010, DTMM FTUI
- [21] C.W. Du, *Effects of Microstructure on Corrosion of X70 Pipe Steel in an Alkaline Soil*, 2008.
- [22] Nugraha, Nofardiansyah R D, *Pengaruh Derajat Deformasi pada Proses Canai Hangat Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Laju Korosi Baja Karbon Rendah*, 2010, DTMM FTUI
- [23] Pierre R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering*. pp: 334
- [24] <http://corrosion.kaist.ac.kr/download/2007/chap01.pdf>
- [25] Corrosion of Iron” www.corrosion-doctors.org.
- [26] <http://budiarmann00.wordpress.com/category/korosi/>
- [27] *Pedoman Manajemen Gudang*, Direktorat Jenderal Bina Marga Dept. Pekerjaan Umum RI., Februari 1993
- [28] ASTM Internasional. (2004). ASTM G31-72 : Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. United State
- [29] NACE International. (2005). *NACE Standard RP0775-2005 Item No. 21017 Standard Recommended Practice Preparation, Installation, Analysis, And Interpretation Corrosion Coupons In Oilfield Operations*. Texas
- [30] ASTM E3 – 01 “*Standard Guide for Preparation for Metallographic Specimens*”
- [31] ASTM E112.2003. *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*.
- [32] ASTM A751 - 08 *Standard Test Methods, Practices, and Terminology for*

Chemical Analysis of Steel Products

- [33] ASM Handbook Volume 13, *Corrosion*: p.1229-1230
- [34] Bourong Hou and Yantao Li, “*Effect of Alloy Elements on The Anti Corrosion Properties of Low Alloy Steel*”.
- [35] D.A.Lopez, dkk, “*The Influence of Microstructure and Chemical Composition of Carbon and Low Alloy Steel in CO₂ Corrosion*”, Elsevier Corrosion Science Journal, 24 (2003), April 2003 : pp 561-575
- [36] George E.Totten, dkk., *Steel Heat Treatment Handbook*, second edition, 2007, Portland State University; Oregon, USA : page 16.
- [37] API SPECIFICATION 5L, *Specification for Line Pipe*, 42nd ed.,2000.





LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Mill Certificate Test



ANHUI TIANDA OIL PIPE CO., LTD.
 ZHENXING ROAD TONGCHENG TOWN TIANCHANG CITY 239311 ANHUI P.R. CHINA
 TEL:0086-550-7518593 FAX:0086-550-7511101

MILL TEST CERTIFICATE

EN10204 3.1

CERTIFICATE No.	CONTRACT No.	PURCHASE OR.	LICENGTH	DATE OF ISSUE	PAGE
71201	MF7082901		5L-0501	2007-12-14	1 OF 1
CUSTOMER	P.T.Duta Energi Semesta				

SIZE O.D.*W.T	LENGTH mm	HEAT No.	LOT No.	BUNDLES	PIECES	TOTAL WEIGHT kg
4" *SCH80	8700	105491	2234	33	396	307596
4" *SCH80	8700	105493	2235	33	396	
4" *SCH80	8700	105497	2236	33	396	
4" *SCH80	8700	105498	2237	33	396	

SPECIFICATION API 5L-2004 (43TH EDITION)
 STEEL GRADE B PSL1
 DESCRIPTION COLD DRAW SEAMLESS STEEL PIPES

CHEMICAL ANALYSES

HEAT No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Ti	Nb
105491	0.19	0.24	0.49	0.017	0.026	0.020	0.013	0.015	0.001	0.001	0.001	0.001
105493	0.23	0.23	0.47	0.024	0.016	0.013	0.020	0.016	0.001	0.001	0.001	0.001
105497	0.18	0.25	0.43	0.016	0.017	0.013	0.010	0.017	0.001	0.001	0.001	0.001
105498	0.21	0.24	0.40	0.020	0.013	0.012	0.015	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001

MECHANICAL PROPERTIES

LOT No.	TENSILE TEST(L) G.L=L4			IMPACT TEST			HARDNESS
	T.S(Mpa)	Y.S(Mpa)	E.L(%)	SIZE(mm)	VALUE	TEMP.(°C)	HRB
2234	470	335	37	/	/	/	/
2235	465	320	41	/	/	/	/
2236	475	325	39	/	/	/	/
2237	475	310	37	/	/	/	/

BEVEL ANGLE	SATISFACTORY
FLATTENING TEST	SATISFACTORY
COATING	SATISFACTORY
NDE: EDDY CURRENT	SATISFACTORY EDDY CURRENT ACC.TO ASTM E 309
NDE:ULTRASONIC CURRENT TEST	NOT APPLICABLE
HYDROSTATIC TEST	SATISFACTORY 2800 PSI FOR 6 SECONDS
VISUAL&DIMENSIONS	SATISFACTORY
HEAT TREATMENT	910-930°C NORMALIZED

NOTES: G.L. Gauge length = 2 in. Specimen width = 1 in.

We hereby certify that the material herein described has been manufactured, tested in accordance with above standard and specification and satisfied the requirements.

[Signature]
 MANAGER/QC
 SIGNATURE

[Signature]
 NAME AND SIGNATURE OF INSPECTION AUTHORITY

2 inch
 Specimen width = 1 in



江苏华顺钢管有限公司
 Jiangsu Huashun Steel Tube Co., Ltd.
 无缝钢管质量保证书
 MILL TEST CERTIFICATE

PO-8497

定货单位: PT.SERVOTECH INDONESIA 合同号: PT/HS/002 出证日期: 2009-01-15 证明书编号: 1479-3

产品名称 Product Name		无缝钢管 Seamless Steel Tubes				钢号(级) Grade		GRB		产品标准 Product Standard		API-5L/ASTM										
总捆数 Total Bundles		总支数 Total Pieces		总重量(T) Total Weight		83 076		生产方法 Manufacture Method		冷拔 Cold drawn		交货状态 Heat Treatment		正火 Normalization								
序号 No	规格 Size (MM)	长度 Length (MM)	炉号 Heat No	批号 Lot No	捆数 Bundles	支数 Pieces	重量 Weight (T)	屈服强度 ReL Yield Strength (Mpa)	抗拉强度 Rm Tensile Strength (Mpa)	伸长率 A Elongation (%)	冲击试验 Impacting Test(J)		硬度 Hard- ness HRB	非金属夹杂物 Non-Metallic Inclusions				晶粒度 (级) Grain size	脱碳层 显微组织 Decarburized Depth			
											背 背	侧 侧		A	B	C	D			外壁 Outside	内壁 Inside	
1	114.3*8.56	12000	080592	0002	13	150	40.338	325	500	39.0												
2	114.3*8.56	12000	080592	0013	3	30	8.094	280	440	42.0												
3	88.9*7.62	6010	080569	0043	7	199	18.738	300	455	40.5												
4	88.9*7.62	8010	080569	0064	7	168	15.908	290	440	37.0												

序号 No	压力 Flange No	扩口 Expand	冷弯 Bending	水压 试验 Hydro- static Test	涡流 探伤 EDT	超声波 探伤 UT	几何尺寸 Geometry Dimen- sion	表面质量 Surface Quality	化学成分(%) Chemical Composition											许可证 License No				
									C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	B	Mo	V	Ti		Nb	Al	N	Cu
1	GOOD			GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	0.23	0.49	0.20	0.019	0.011	0.03	0.01									0.03	SL-0551
2	GOOD			GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	0.23	0.49	0.20	0.019	0.011	0.03	0.01									0.03	SL-0551
3	GOOD			GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	0.21	0.51	0.22	0.012	0.014	0.03	0.01									0.02	SL-0551
4	GOOD			GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	0.21	0.51	0.22	0.012	0.014	0.03	0.01									0.02	SL-0551

签发人: 张春燕 审核人: [Signature] 盖章: [Seal]

Manufacturing License No. TS2710A22-2010

LAMPIRAN 2. Foto Kondisi Penyimpanan Material dan Iklim di Kurau *Field*

(a) Kondisi penyimpanan antara pipa dan *support*



(b) Kondisi pipa yang disimpan sebagian besar tanpa penutup



(c) Pipa-pia yang disimpan *open yard*



(d) Kondisi pipa yang mengalami korosi pada bagian permukaan dalam

Kondisi Iklim Di Wilayah Studi

NO	BULAN	SUHU UDARA (°C)		KELEMBABAN (%)		CURAH HUJAN (mm)	ANGIN	
		MAKS.	MINIM.	MAKS.	MINIM.		ARAH	KEC. (m/detik)
1	Januari	29,8	22,9	89,3	61,7	114,3	BL	2,57
2	Februari	32,3	23,1	94,5	57,2	102,0	BL	2,21
3	Maret	33,4	23,0	93,8	54,4	139,3	U	2,01
4	April	33,4	23,3	95,8	57,4	221,3	U	1,55
5	Mei	33,9	23,6	94,8	56,1	130,5	TG	1,85
6	Juni	33,3	22,9	93,7	57,1	87,0	TG	1,75
7	Juli	33,0	22,6	94,9	56,5	84,2	TG	2,18
8	Agustus	33,1	22,9	93,7	57,9	58,0	TG	3,13
9	September	32,7	22,8	94,6	59,0	81,0	TG	3,62
10	Oktober	33,4	23,1	95,1	55,5	95,8	T	2,70
11	November	32,2	24,8	95,6	69,9	143,8	BL	1,98
12	Desember	32,0	23,2	95,5	61,4	217,3	BL	1,76
	rata-rata/thn	32,71	23,18	94,28	58,51	122,84	TG	2,27

Sumber : Stasiun Bandara Udara Sultan Syarif Kasim II (1996 – 2005).

LAMPIRAN 3. Foto dan Data Hasil Uji Tarik



(a) Sampel

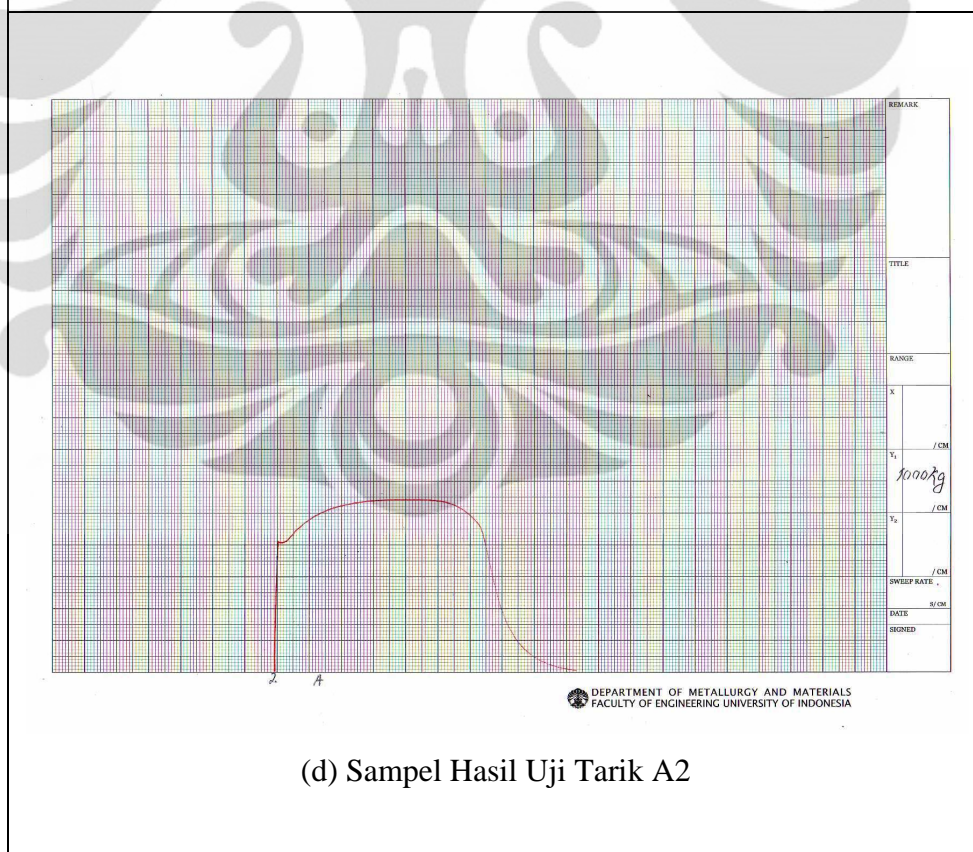
No		Kode Sampel	Bentuk Sampel	Dimensi Sampel (mm)	Luas penampang (mm ²)	Panjang Ujar (mm)	Fu (kg)	Fy (kg)	ΔL (mm)	σ_u (kg/mm ²)	σ_y (kg/mm ²)	ϵ (%)	Ket.
1	A	<input type="checkbox"/> Rod <input checked="" type="checkbox"/> Plat	$l = 9,00$ $w = 12,60$	113,40	50	5550	4100	14,55	48	36	29,10		
2	A	<input type="checkbox"/> Rod <input checked="" type="checkbox"/> Plat	$l = 9,00$ $w = 12,90$	111,60	50	5715	4100	16,75	48	36	32,40		
3	B	<input type="checkbox"/> Rod <input checked="" type="checkbox"/> Plat	$l = 8,70$ $w = 12,50$	108,75	50	5300	3525	15,75	48	32	34,50		
4	B	<input type="checkbox"/> Rod <input checked="" type="checkbox"/> Plat	$l = 8,70$ $w = 12,30$	107,01	50	5350	3625	17,00	49	33	34,00		

* Coet yang tidak perlu

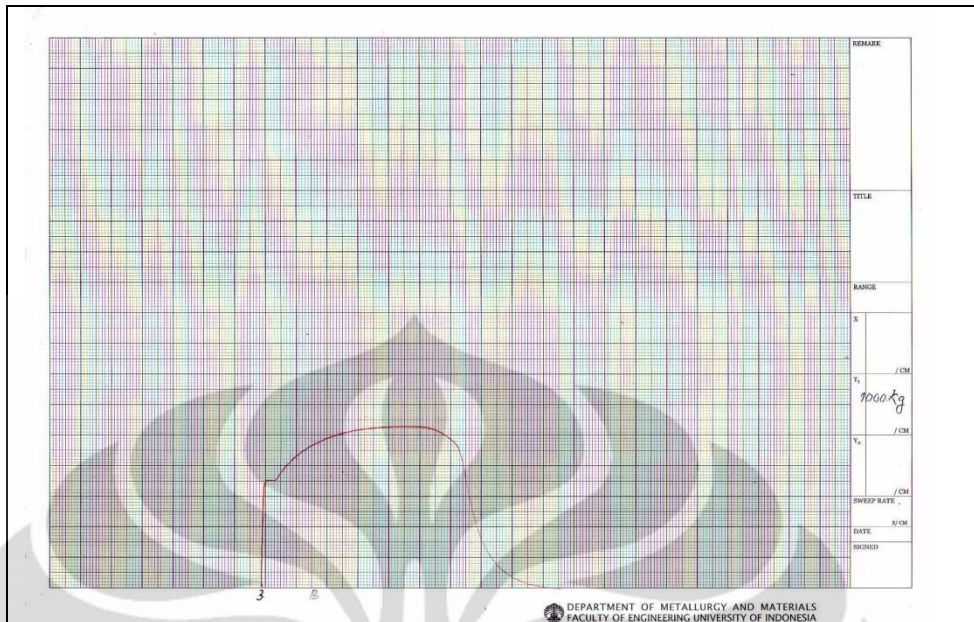
(b) Data Hasil Uji Tarik



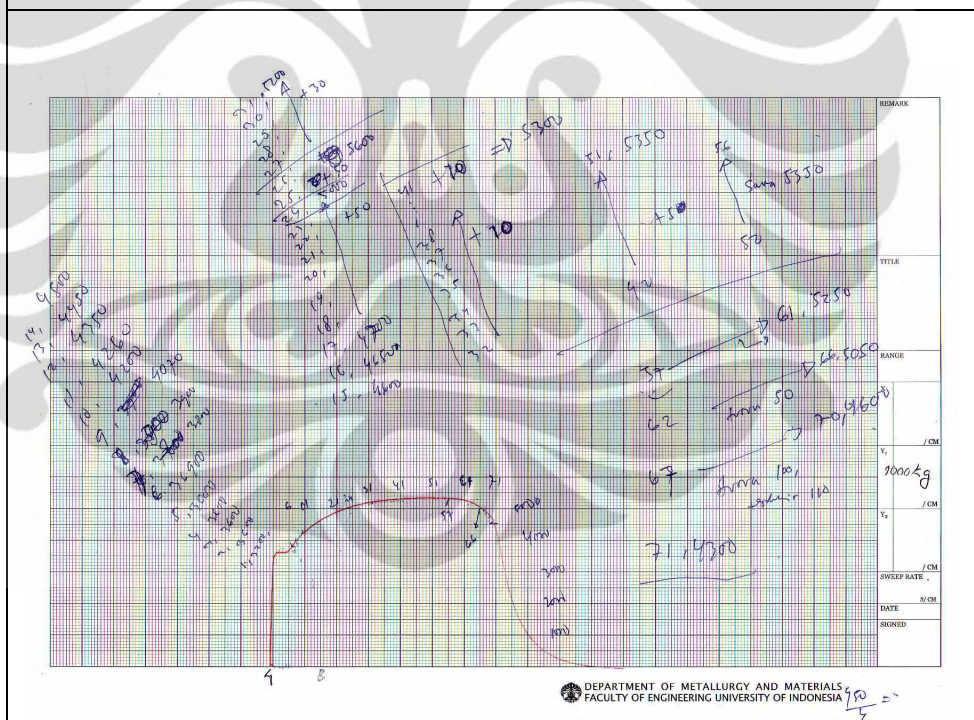
(c) Grafik Hasil Uji Tarik Pipa A1



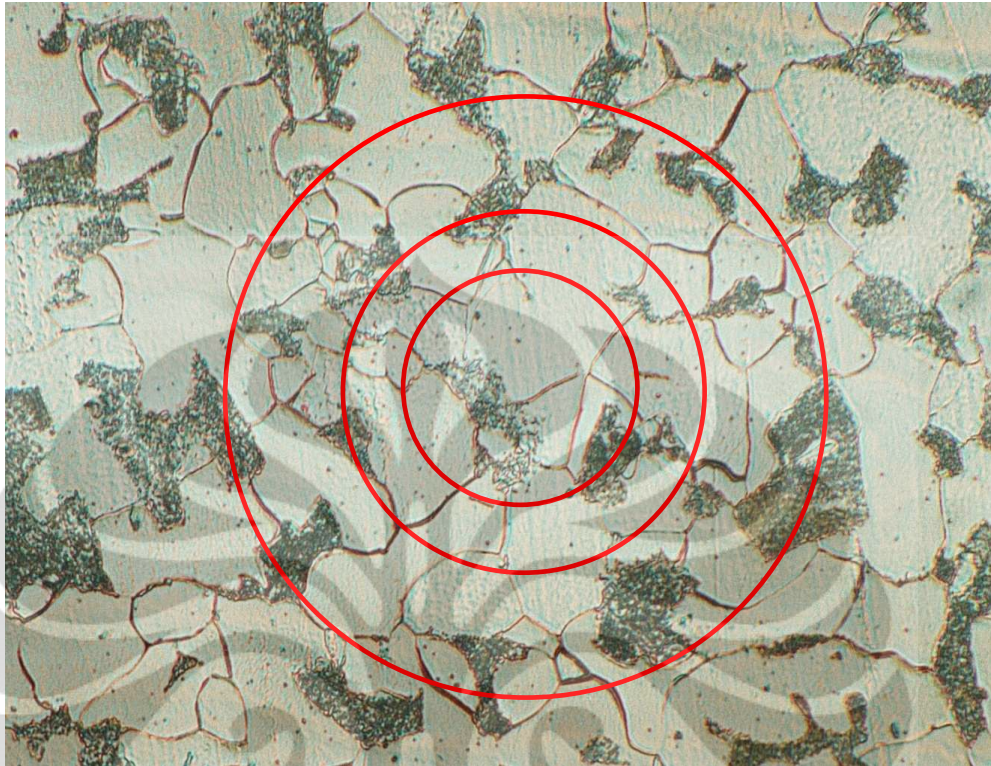
(d) Sampel Hasil Uji Tarik A2



(e) Grafik Hasil Uji Tarik Pipa B1



(f) Grafik Hasil Uji Tarik Pipa B2

LAMPIRAN 4. Contoh perhitungan dan tabel konversi besar butir

Perbesaran $M=500x$

Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran

$$P = 40 + (3 \times 1.5) = 44,5$$

Panjang garis total (jumlah keliling ketiga lingkaran) $L_T = 500$

Maka,

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

$$= 44,5 / (500/500)$$

$$= 44,5$$

$$L_3 = 1/P_L = 1/44,5$$

Sehingga

$$G = - (6.646 \times \log (L_3)) - 3.298$$

$$= - (6.646 \times \log (1/44,5)) - 3.298$$

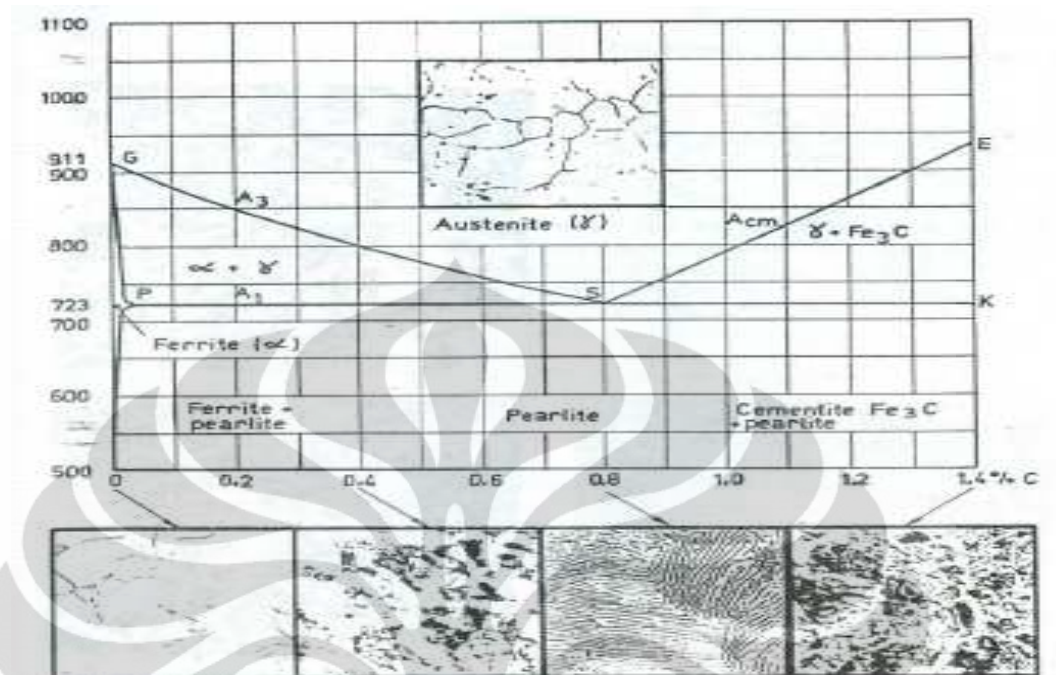
$$= 7,657 \approx 7,7$$

Besar butir ASTM E112 adalah diameter nominal $d_n = 25 \mu\text{m}$

Tabel Konversi Ukuran Diameter Butir (ASTM E112)

Grain Size No. G	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{D} Average Diameter		\bar{T} Mean Intercept		\bar{N}_L
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	No./mm
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0466	46620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1066	106.6	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22448.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89765.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

LAMPIRAN 5. Proses perhitungan fraksi fasa menggunakan *level rule*



Gambar diagram fasa Besi-Karbon

Diketahui :

Komposisi % Karbon pipa A (C_A) = 0.218 ; pipa B (C_B) = 0.192;

% karbon *full pearlite* (C_P) = 0.83; *full ferrite* (C_F) = 0.008%

Jadi, dengan menggunakan persamaan level rule:

$$\begin{aligned} \% \text{ pearlite pipa A} &= \% C_A / (C_P - C_F) \\ &= 0.218 / (0.83 - 0.008) \\ &= \mathbf{26.52 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ ferit pipa A} &= (100 - 26.52) \% \\ &= \mathbf{73.48 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ pearlite pipa B} &= \% C_B / (C_P - C_F) \\ &= 0.192 / (0.83 - 0.008) \\ &= \mathbf{23.36 \%} \end{aligned}$$


$$\begin{aligned} \% \text{ ferit pipa B} &= (100 - 23.36) \% \\ &= \mathbf{76.64 \%} \end{aligned}$$

LAMPIRAN 6. Proses dan tabulasi penghitungan *corrosion rate*.

Tabel Data Pengujian Kehilangan Berat

Sampel	Massa Sampel (gram)			Dimensi Sampel				CR (mpy)		
	(wo)	(w1)	$\Delta w = w1 - w0$	p (cm)	l (cm)	t (cm)	A (cm ²)	per sampel	rata-rata	
A	1	12,3911	12,3628	0,0283	1,92	1,2	0,79	2,8494	4,114412952	3,984845
	2	13,5718	13,5417	0,0301	1,94	1,2	0,8	3,086	4,040596067	
	3	13,3267	13,2941	0,0326	1,95	1,22	0,81	3,3936	3,979530264	
	4	13,8126	13,7844	0,0282	1,925	1,135	0,8	2,67175	4,372483237	
	5	14,7867	14,7578	0,0289	1,975	1,25	0,8	3,5035	3,417201465	
B	1	15,8983	15,8679	0,0304	1,98	1,25	0,825	3,921	3,211823003	2,571856
	2	13,0055	12,9796	0,0259	1,965	1,3	0,81	3,8985	2,752181609	
	3	9,9985	9,9771	0,0214	1,945	1,35	0,805	4,00955	2,211021688	
	4	10,2437	10,2206	0,0231	1,89	1,37	0,826	4,21504	2,270309897	
	5	10,4476	10,4257	0,0219	1,85	1,35	0,815	3,7583	2,413945906	

LAMPIRAN 7. Hasil Uji Komposisi Kimia (OES, EDS, & XRD)




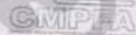
CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia
 Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 78888 111, 7872 350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id, cmpfa.ui@gmail.com

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT
 Page 1 of 2

No Laporan <i>Report Nr</i>	0547	Bahan <i>Material</i>	Steel
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Halwan Jaya (Mahasiswa Metalurgi UI)	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	A
Alamat <i>Address</i>	-	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	September 2 nd , 2010
No Kontrak <i>Contract Nr</i>	1004/PT.02/FT04/P/2010	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	September 3 rd , 2010	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
A	0.218	0.270	0.024	0.015	0.383	<0.005	0.026
	Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Al (%)	Fe (%)
	<0.003	<0.002	0.004	<0.003	0.006	0.002	99.0

Depok, September 7th, 2010
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 Technical Manager,



 (Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

FF-26/Met-UI Rev 1

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



DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL-UNIVERSITAS INDONESIA

LABORATORIUM UJI MATERIALKampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia
Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 78888 111, 7872 350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id, cmpfa.ui@gmail.com**LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA**
COMPOSITION TEST REPORT

Page 2 of 2

No Laporan <i>Report Nr</i>	0547	Bahan <i>Material</i>	Steel
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Halwan Jaya (Mahasiswa Metalurgi UI)	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	B
Alamat <i>Address</i>	-	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	September 2 nd , 2010
No Kontrak <i>Contract Nr</i>	1004/PT.02/FT04/P/2010	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	September 3 rd , 2010	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
B	0.192	0.267	<0.005	0.009	0.489	<0.005	0.046
	Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Al (%)	Fe (%)
	0.005	<0.002	0.023	<0.003	0.003	<0.002	98.9

Depok, September 7th, 2010
LABORATORIUM UJI MATERIAL
Technical Manager,

(Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

FF-26/Met-UI Rev 1

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



CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI MATERIAL

Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia
 Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 78888 111, 7872 350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id, cmpfa.ui@gmail.com

COMPOSITION TEST REPORT

Page 1 of 2

Laboratory test No. : 1004/PT.02/FT04/P/2010
 Date of test : September 7th, 2010
 Specimen to be tested : Steel
 Quantity : 1
 Specimen Code : A
 Code Description : -
 Customer : Halwan Jaya
 Test Description : Element identification by EDS
 Reference : LEO Standard

Test Result

Micro analysis that was performed on copper wire scale by means of Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) show that chemical compositions of the scale and base metal are as follows.

	% C	% O	% Na	% Al	% Si	% P	% Ca	% Fe
A	3.01	22.93	1.47	0.90	1.10	1.73	0.76	68.10
	1.55	11.40	1.12	1.16	0.72	0.77	-	83.28
	3.11	16.13	0.88	0.87	2.60	-	1.36	75.04
Average	2.56	16.82	1.16	0.98	1.47	1.25	1.06	75.47

There is found some amount of oxide from the tested specimen. It might cause corrosion to the specimen

Depok, September 7th, 2010
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 Technical Manager,

(Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

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



CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI MATERIAL

Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia
 Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 78888 111, 7872 350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id, cmpfa.ui@gmail.com

COMPOSITION TEST REPORT

Page 2 of 2

Laboratory test No. : 1004/PT.02/FT04/P/2010
 Date of test : September 7th, 2010
 Specimen to be tested : Steel
 Quantity : 1
 Specimen Code : B
 Code Description : -
 Customer : Halwan Jaya
 Test Description : Element identification by EDS
 Reference : LEO Standard

Test Result

Micro analysis that was performed on copper wire scale by means of Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) show that chemical compositions of the scale and base metal are as follows.

	% C	% O	% Na	% Si	% Cl	% Fe
B	2.72	22.14	1.52	0.30	1.75	69.79
	2.83	23.50	1.08	0.33	2.68	69.59
	4.28	9.43	2.47	0.20	2.53	81.09
Average	3.28	18.36	1.69	0.28	2.32	73.49

There is found some amount of oxide from the tested specimen. Besides oxide, also found chloride in a small percentage.

Depok, September 7th, 2010
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 Technical Manager,

(Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

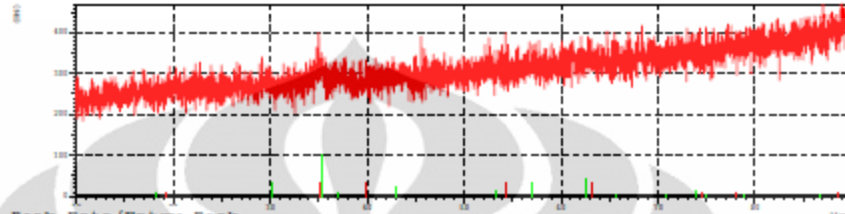
Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji Material ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji Material

```

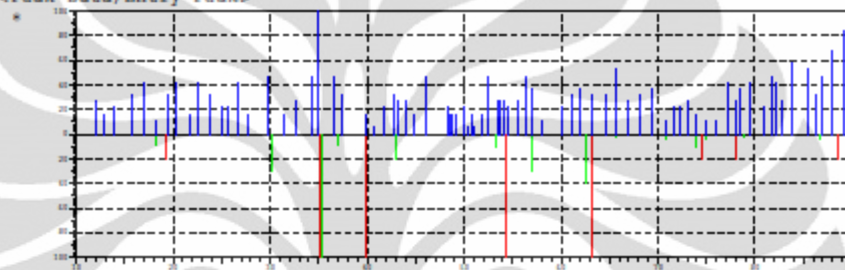
***** SEARCH / MATCH RESULT *****
<Unknown Data>
Group Name : 21
Data Name : A
File Name : A.PKR
Sample Name : A
Comment :
Date & Time : 05-18-11 14:57:26

```

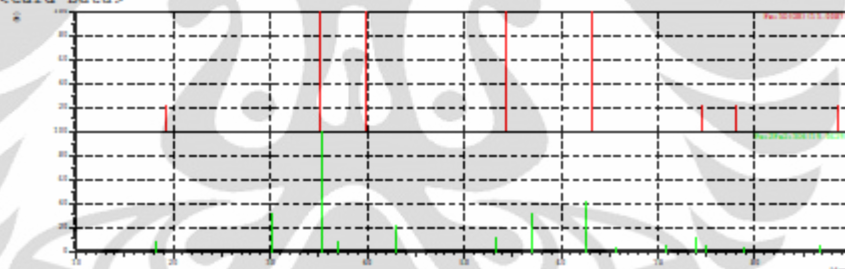
<Raw Data>



<Peak Data/Entry Peak>



<Card Data>



```

***** SEARCH / MATCH RESULT *****
Group Name : 21
Data Name : A
File Name : A.PKR
Sample Name : A
Comment :
<Entry Card>

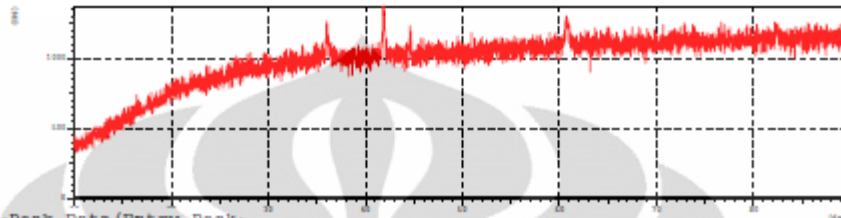
```

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx		WT%	S.G.	
1	13-0087	Fe ₃ O(OH)	0.478	0.875 (7/10)	0.716	0.466	0.292
		Iron Oxide Hydroxide (Peroxyhite, syn)	4.39	-----	P312		
2	19-0629	Fe ₂ Fe ₂ +3O ₄	0.989	0.933 (14/26)	0.588	0.524	0.288
		Iron Oxide (Magnetite, syn)	5.20		Fd-3m		

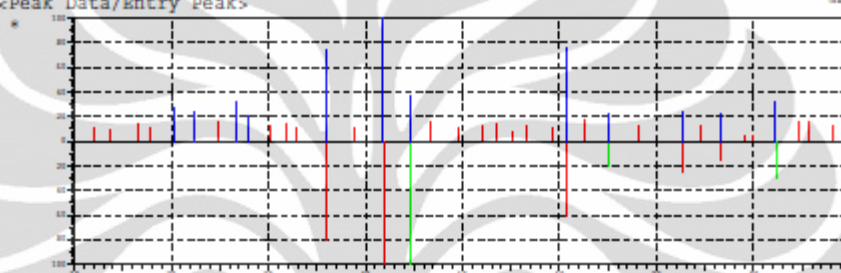
***** SEARCH / MATCH RESULT *****

<Unknown Data>
 Group Name : 21
 Data Name : B
 File Name : B.PKR
 Sample Name : B
 Comment :
 Date & Time : 05-18-11 15:57:36

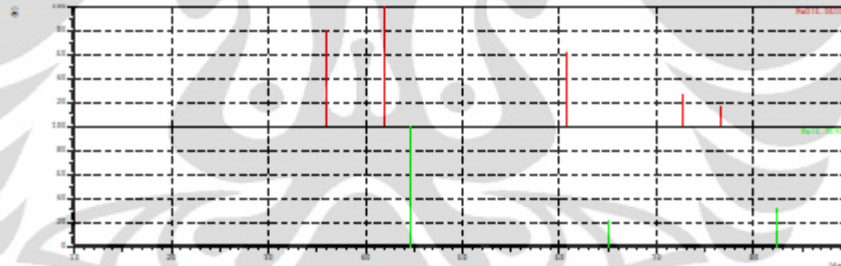
<Raw Data>



<Peak Data/Entry Peak>



<Card Data>



***** SEARCH / MATCH RESULT *****

Group Name : 21
 Data Name : B
 File Name : B.PKR
 Sample Name : B
 Comment :

<Entry Card>

No.	Card	Chemical Formula	S	I	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx:		Wt%	S.G.	
1	6-0515	FeO Iron Oxide (W\PIustite, syn)	0.971	1.000 (5/ 8)	0.911	0.893	0.814
2	6-0496	Fe Iron (Iron, syn)	0.573	1.000 (3/ 6)	0.860	0.586	0.504