



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH *SPATTER* TERHADAP
LAJU KOROSI DAN
TIMBULNYA RETAK AWAL AKIBAT BEBAN *FATIGUE*
PADA PELAT *MARINE***

TESIS

**SITI KOMARIYAH
1006786682**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU BAHAN-BAHAN
JAKARTA
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH *SPATTER* TERHADAP
LAJU KOROSI DAN
TIMBULNYA RETAK AWAL AKIBAT BEBAN *FATIGUE*
PADA PELAT *MARINE***

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

**SITI KOMARIYAH
1006786682**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU BAHAN-BAHAN
JAKARTA
JULI 2012**

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Siti Komariyah

NPM : 1006786682

Tanda Tangan : 

Tanggal : 14 Juli 2012

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Siti Komariyah
NPM : 1006786682
Program Studi : Ilmu Bahan-bahan
Judul Tesis : Studi pengaruh *spatter* terhadap laju korosi dan timbulnya retak awal akibat beban *fatigue* pada pelat *marine*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Ilmu Bahan-Bahan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Dewan Penguji

Ketua Sidang : Dr. Azwar Manaf, M. Met.

(.....)

Pembimbing I : Dr. Bambang Soegijono, M. Si.

(.....)

Pembimbing II : Dr. Ir. M. Yudi Masduky Sholihin, M.Si., MBA (.....)

Penguji I : Dr. Azwar Manaf, M. Met.

(.....)

Penguji II : Prof. Dr. Ir. D. N. Adnyana, APU

(.....)

Penguji III : Dr. Budhy Kurniawan, M.Si.

(.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah, Tuhan Semesta Alam, atas karunia dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul **Studi pengaruh *spatter* terhadap laju korosi dan timbulnya retak awal akibat beban *fatigue* pada pelat *marine*** sebagai syarat untuk mendapatkan gelar magister pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulisan tesis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak dan melalui kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. M. Yudi Masduky Sholihin, M. Si., MBA dan Dr. Bambang Soegijono, M. Si. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini.
2. Ibu, kakak dan adik, atas dukungan yang diberikan selama ini.
3. Teman-teman magister ilmu bahan, atas kebersamaan dan bantuan dalam masa kuliah.
4. Staf administrasi program magister Ilmu Bahan Universitas Indonesia
5. Pihak-pihak lain yang telah memberikan bantuan selama penyusunan tesis ini yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan tesis ini, oleh karenanya penulis mengharapkan kritik dan saran untuk lebih baik lagi.

Akhir kata, semoga tesis ini memberi manfaat dan pengetahuan mengenai pengaruh *spatter* terhadap kegagalan material.

“Dan Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran-ukurannya dengan tepat.” (QS 25:2)

Jakarta, Juli 2012

Siti Komariyah

**LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI
TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Siti Komariyah
NPM : 1006786682
Program Studi : Ilmu Bahan-Bahan
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

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

Studi pengaruh *spatter* terhadap laju korosi dan timbulnya retak awal akibat beban *fatigue* pada pelat *marine*

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : Juli 2012

Yang menyatakan



Siti Komariyah

ABSTRAK

Nama : Siti Komariyah
Program Studi : Ilmu Bahan-Bahan
Judul : Studi pengaruh *spatter* terhadap laju korosi dan timbulnya retak awal akibat beban *fatigue* pada pelat *marine*

Pada tesis ini dipelajari pengaruh *spatter* terhadap degradasi material yaitu pengaruhnya terhadap laju korosi serta terhadap kegagalan struktur yang diawali dengan timbulnya retak akibat beban bending *fatigue*. Beberapa pengujian dilakukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan yang selanjutnya dianalisa. Uji Vickers dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan akibat adanya *spatter*. Untuk mendapatkan data tentang awal terjadinya retak dilakukan uji bending *fatigue*. Pengaruh *spatter* terhadap laju korosi diteliti dengan melakukan pengujian *Cyclic Potentiodynamic Polarization*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan akibat adanya *spatter* lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa *spatter*. Awal retak akibat beban *fatigue* tidak terjadi pada daerah *spatter*, tetapi terjadi pada *mikro notch* pada daerah HAZ. Laju korosi pada daerah *spatter* lebih tinggi dibandingkan dengan daerah tanpa *spatter*.

Kata kunci:

Spatter, nilai kekerasan, bending *fatigue*, laju korosi

ABSTRAK

Nama : Siti Komariyah
Program Studi : Ilmu Bahan-Bahan
Judul : Studi pengaruh *spatter* terhadap laju korosi dan timbulnya retak awal akibat beban *fatigue* pada pelat *marine*

Pada tesis ini dipelajari pengaruh *spatter* terhadap degradasi material yaitu pengaruhnya terhadap laju korosi serta terhadap kegagalan struktur yang diawali dengan timbulnya retak akibat beban bending *fatigue*. Beberapa pengujian dilakukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan yang selanjutnya dianalisa. Uji Vickers dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan akibat adanya *spatter*. Untuk mendapatkan data tentang awal terjadinya retak dilakukan uji bending *fatigue*. Pengaruh *spatter* terhadap laju korosi diteliti dengan melakukan pengujian *Cyclic Potentiodynamic Polarization*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan akibat adanya *spatter* lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa *spatter*. Awal retak akibat beban *fatigue* tidak terjadi pada daerah *spatter*, tetapi terjadi pada *mikro notch* pada daerah HAZ. Laju korosi pada daerah *spatter* lebih tinggi dibandingkan dengan daerah tanpa *spatter*.

Kata kunci:

Spatter, nilai kekerasan, bending *fatigue*, laju korosi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Hipotesa	3
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Model Operasional Penelitian	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Baja Karbon dan Paduannya	6
2.1.1 Pengaruh Unsur Dalam Paduan	6
2.2 Metalurgi Pengelasan	7
2.2.1 <i>Heat Affected Zone</i>	8
2.2.2 <i>Spatter</i>	8
2.2.2.1 Mekanisme Terbentuknya <i>Spatter</i>	8
2.2.2.2 Penurunan Jumlah <i>Spatter</i>	9
2.2.2.3 <i>Bonding Force Spatter - Base Metal</i>	11
2.3 Mekanisme Patah <i>Fatigue</i>	13
2.4 Mekanisme Korosi	14
2.4.1 Pengaruh pH	16
2.4.2 Pengaruh Oksigen Terlarut	17
3. METODE PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Prosedur Pengujian	20
3.2.1 Persiapan Spesimen Pengujian	20
3.2.2 Pengujian Komposisi Kimia	20
3.2.3 Pengujian Tarik	21
3.2.4 Pengujian Karakteristik Air	21
3.2.5 Pengujian <i>Vickers Hardness</i>	22
3.2.6 <i>Cyclic Potentiodynamic Polarization</i>	22
3.2.7 Pengujian Bending <i>Fatigue</i>	23
3.2.8 Pengujian Metalografi dan SEM/EDAX	23

4. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Hasil Pengujian	24
4.1.1 Uji Komposisi Kimia	24
4.1.2 Uji Tarik	24
4.1.3 Uji Karakteristik Air	25
4.1.4 Uji Kekerasan Vickers	25
4.1.5 <i>Cyclic Potentiodynamic Polarization</i>	26
4.1.6 Uji Bending <i>Fatigue</i>	27
4.1.7 Metalografi	27
4.1.8 SEM/EDAX	28
4.2 Pembahasan	30
4.2.1 Material Sampel	30
4.2.2 Perubahan Nilai Kekerasan	31
4.2.3 Laju Korosi	33
4.2.4 Patah <i>Fatigue</i>	35
5. KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	38
DAFTAR REFERENSI	39

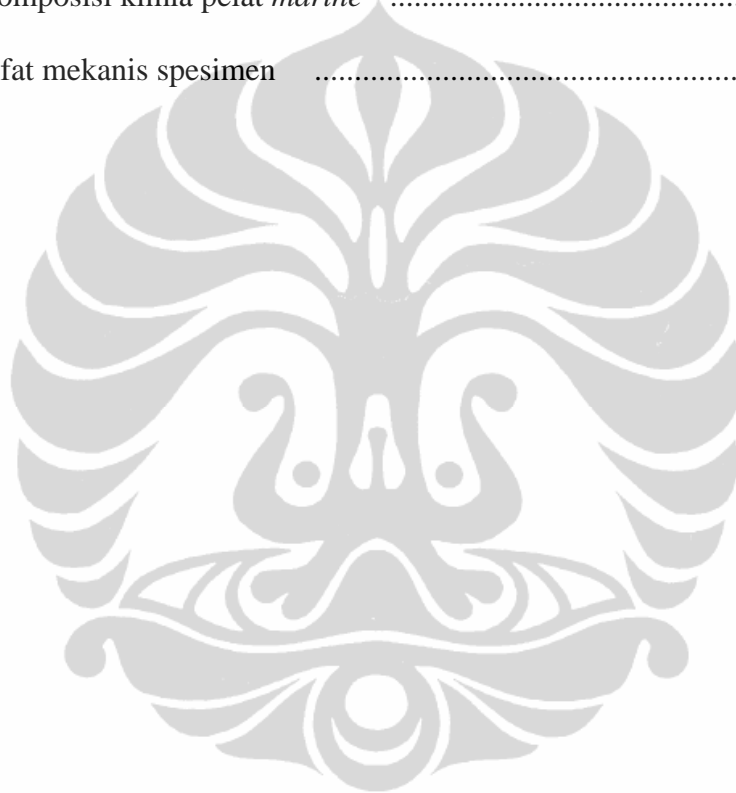
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	(a) Partikel <i>spatter</i> (b) <i>Slag</i> yang terperangkap antara <i>spatter-base metal</i> (c) celah pada ujung <i>spatter</i>	2
Gambar 1.2	Awal retak terjadi pada daerah <i>pitting</i>	2
Gambar 1.3	Metodologi Penelitian	4
Gambar 2.1	Kekerasan sebagai fungsi dari persentase karbon	6
Gambar 2.2	Perubahan mikrostruktur pada HAZ <i>single pass weld</i> pada baja karbon 0,15% C	8
Gambar 2.3	Mekanisme terjadinya <i>spatter</i>	9
Gambar 2.4	Hubungan antara <i>spatter rate</i> dan komposisi kawat las	10
Gambar 2.5	Hubungan antara <i>spatter rate</i> dan komposisi gas pelindung ..	10
Gambar 2.6	Gaya yang diperlukan untuk membersihkan <i>spatter</i> (a) pelat tidak dibersihkan (b) pelat dibersihkan dengan gerinda (c) pelat dicat dengan anti- <i>spatter</i>	11
Gambar 2.7	Temperatur <i>spatter</i>	12
Gambar 2.8	Jarak dari manik las Vs temperatur pada logam induk	13
Gambar 2.9	Skema perubahan mikrostruktur pada struktur kristal karena gaya yang berulang-ulang	14
Gambar 2.10	Reaksi elektrokimia pada seng selama proses korosi	15
Gambar 2.11	Kerapatan arus elektroda	16
Gambar 2.12	Pengaruh pH pada laju korosi baja pada aerated water pada temperatur kamar	17
Gambar 2.13	Pengaruh oksigen terlarut terhadap laju korosi pada baja	18
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2	Lokasi pengambilan sampel air	21
Gambar 3.3	<i>Cyclic Potentiodynamic Polarization</i>	22
Gambar 4.1	<i>Tafel Plot</i> – Air dangkal - spesimen tanpa <i>spatter</i>	27

Gambar 4.2	Patah akibat beban <i>fatigue</i> (a) tanpa <i>spatter</i> , kedua sisi dihaluskan (b) <i>spatter</i> , salah satu sisi dihaluskan dengan gerinda (c) <i>spatter</i> , salah satu sisi dihaluskan sampai halus	27
Gambar 4.3	Hasil metalografi mikro <i>base metal</i> - <i>spatter</i>	28
Gambar 4.4	Hasil SEM/EDAX – <i>spatter</i>	28
Gambar 4.5	Hasil SEM/EDAX – permukaan pelat tanpa <i>spatter</i>	28
Gambar 4.6	SEM hasil <i>Cyclic Potentiodynamic Polarization</i> dengan perbesaran 500x (a) Spesimen tanpa <i>spatter</i> (b) <i>Spatter</i> – media air payau (c) <i>spatter</i> – media air laut dangkal	29
Gambar 4.7	Kerapatan arus - I_{corr} (A/cm^2)	33
Gambar 4.8	Laju korosi	34
Gambar L.1	Hasil uji <i>fatigue</i> – tanpa <i>spatter</i>	51
Gambar L.2	Hasil uji <i>fatigue</i> – <i>spatter</i>	51
Gambar L.3	Hasil uji <i>fatigue</i> – <i>spatter</i>	51

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil pengujian komposisi kimia	24
Tabel 4.2	Hasil pengujian tarik	25
Tabel 4.3	Hasil uji kualitas air	25
Tabel 4.4	Nilai kekerasan Vickers	26
Tabel 4.5	Komposisi kimia pelat <i>marine</i>	30
Tabel 4.6	Sifat mekanis spesimen	31



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Laporan Pengujian Komposisi Kimia
- Lampiran 2 Mill Test Certificate
- Lampiran 3 Laporan Uji Tarik
- Lampiran 4 Analisa Kualitas Air
- Lampiran 5 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers
- Lampiran 6 Hasil Pengujian *Cyclic Potentiodynamic Polarization*
- Lampiran 7 Hasil Uji *Fatigue*
- Lampiran 8 SEM/EDAX



DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

IACS	= International Association of Classification Societies
ASTM	= American Society for Testing and Materials
i_a	= kerapatan arus pada daerah anoda
i_c	= kerapatan arus pada daerah katoda
i_{reaction}	= kerapatan arus pada anoda atau katoda
i_0	= kerapatan arus sebelum perubahan potensial
β	= <i>charge transfer barrier</i> untuk reaksi anoda atau katoda, biasanya 0,5
n	= jumlah elektron yang terlibat
R	= konstanta gas $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
T	= temperatur absolut (K)
F	= $96,485 \text{ C}/(\text{mol elektron})$
η	= <i>overpotential</i>
b_c	= koefisien Tafel katodik
b_a	= koefisien Tafel anodik

BAB I PENDAHULUAN

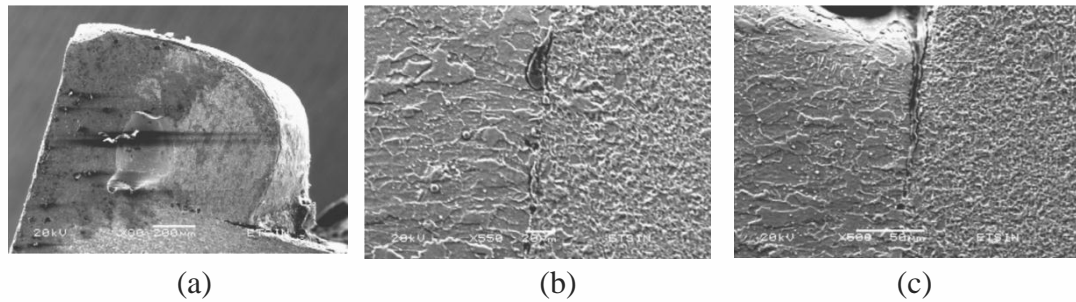
1.1 Latar Belakang

Disain konstruksi sebuah kapal didasarkan pada kemampuan menahan beban yang bekerja pada struktur tersebut selama umur disainnya. Sebuah struktur kapal harus merupakan satu kesatuan di mana beban yang bekerja pada suatu bagian harus dapat disebarkan ke bagian struktur yang lain.

Kegagalan struktur ditandai dengan terjadinya retak atau jika kapal beroperasi dalam kondisi ekstrim patah dapat terjadi. Semua kegagalan struktur disebabkan oleh *stress* di mana awal retak terjadi pada daerah yang memiliki *local stress* lebih besar daripada *local strength* (Wulpi, 1985). Lokasi awal retak tergantung dari kekuatan struktur serta penyebaran *stress* yang terjadi baik karena beban maupun karena tegangan sisa yang diakibatkan oleh proses fabrikasi material maupun proses pembangunan struktur tersebut.

Pengelasan dengan menggunakan *manual welding* SMAW banyak digunakan dalam proses penyambungan pelat kapal karena merupakan proses las yang paling sederhana dan murah dibandingkan dengan teknik pengelasan lainnya. *Spatte* merupakan produk samping dari pengelasan SMAW. Dalam proses pembangunan kapal, *spatte* yang menempel pada pelat badan kapal kadang tidak dibersihkan karena alasan ekonomi dan waktu, di lain pihak adanya *spatte* tidak mengurangi nilai estetika kapal secara keseluruhan sehingga *spatte* ini sering diabaikan.

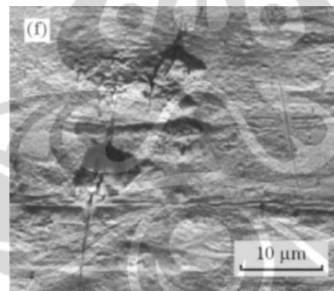
Penelitian F. Molleda, J. Mora, J.R. Molleda. E. Mora dan Mellor (2007) menunjukkan bahwa terdapat *slag* yang terperangkap diantara *spatte* dan logam induk. *Spatte* ini menempel pada logam induk dan pada ujung-ujung partikel *spatte* terdapat celah atau *crack* yang dapat menimbulkan masalah metalurgi misalnya korosi *pitting* (Gambar 1.1).



Gambar 1.1 (a) Partikel *spatter* (b) *Slag* yang terperangkap antara *spatter-base metal* (c) celah pada ujung *spatter*

Materials Characterization. 2007, 58: 936 - 940

Dari penelitian Gheorghies, Palaghian, Baicean, Buciumeanu dan Ciortan (2011) diketahui bahwa retak pada pelat baja kapal E 36 yang mengalami beban *fatigue* pada lingkungan air laut dimulai dari daerah di mana terjadi korosi lokal yaitu pada daerah terjadinya korosi *pitting* (Gambar 1.2).



Gambar 1.2 Awal retak terjadi pada daerah *pitting*

Journal of Iron and Steel Research, International. 2011, 18(5): 64-69

1.2 Perumusan Masalah

Struktur sebuah kapal harus mampu menahan semua beban yang bekerja pada kapal tersebut, dalam kondisi lingkungan yang korosif yaitu pada lingkungan air laut. Kesalahan dalam disain maupun pengerjakan sebuah kapal harus dihindarkan agar kapal mencapai umur disainnya.

Universitas Indonesia

Dari uraian pada sub bab Latar Belakang terdapat beberapa permasalahan yang berkaitan dengan *spatter* yang dihasilkan pada waktu pengelasan untuk penyambungan bagian-bagian kapal, yaitu:

1. Apakah terjadi perbedaan nilai kekerasan pada material pelat yang terkena *spatter* dengan material yang tidak terkena *spatter*
2. Apakah *spatter* tersebut dapat berperan terhadap timbulnya retak awal pada pelat kapal yang menerima beban *fatigue* berupa beban *bending fatigue*
3. Bagaimana pengaruh *spatter* terhadap laju korosi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh *spatter* terhadap nilai kekerasan material
2. Mengetahui pengaruh *spatter* terhadap timbulnya retak awal pada pelat kapal yang mengalami beban *bending fatigue*.
3. Mengetahui pengaruh *spatter* terhadap laju korosi

1.4 Hipotesa

Dari studi literatur yang dilakukan baik dari *text book*, tulisan-tulisan ilmiah, penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti lain maupun dari sumber-sumber lain, didapatkan hipotesa sebagai berikut:

1. Panas yang terjadi karena proses pengelasan menyebabkan terbentuknya daerah pengaruh panas (HAZ) pada logam induk. Ketika partikel *spatter* menempel pada logam induk, terjadi transfer panas yang sangat cepat. Temperatur pada daerah tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Rekristalisasi yang diikuti oleh pendinginan cepat menyebabkan nilai kekerasan pada daerah tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan daerah logam induk lainnya.
2. *Spatter* tersebar pada daerah yang terkena pengaruh panas pengelasan. Telah diketahui bahwa pada daerah tersebut merupakan daerah yang paling lemah jika dibandingkan dengan daerah logam induk lainnya karena

pada daerah tersebut terjadi pertumbuhan butir atau rekristalisasi akibat panas pengelasan dan mengalami pendinginan cepat yang disebabkan karena logam induk, yang dapat menyebabkan terbentuknya *residual stress* yang bisa menjadi awal terjadinya patah.

3. Salah satu hal yang menentukan besarnya laju korosi adalah keseragaman kehalusan permukaan material. *Spatter* pada permukaan pelat akan berfungsi sebagai anoda dan logam induk sebagai katoda sehingga adanya *spatter* akan mempercepat laju korosi.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini terfokus pada tujuan yang akan dicapai, maka terdapat beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Salah satu penyebab terjadinya *spatter* adalah karena kawat las yang digunakan tidak tepat. Pengaruh elektroda serta variabel-variabel pengelasan lainnya yang digunakan untuk membuat *spatter* tidak diteliti dalam penelitian ini.
2. *Spatter* dihasilkan dengan menggunakan pengelasan SMAW.
3. Untuk mempresentasikan kondisi lingkungan air laut, maka dalam pengujian korosi digunakan air laut dari perairan dangkal dan air payau yang diambil dari perairan Jakarta.

1.6 Model Operasional Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 1.3 Metodologi Penelitian

1. Identifikasi masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap permasalahan yang ada. Permasalahan yang telah diidentifikasi sampai sejauh ini dapat dilihat pada bagian perumusan masalah.

2. Studi literatur

Pengumpulan literatur yang mendukung penelitian dilakukan pada tahap ini. Literatur-literatur bersumber dari penelitian-penelitian sebelumnya maupun dari *text book* serta jurnal-jurnal baik yang berasal dari dalam negeri maupun luar negeri.

3. Pengujian

Dari perumusan masalah akan dibuat hipotesa kemudian dilakukan pengujian di laboratorium untuk membuktikan hipotesa tersebut.

4. Analisa dan pembahasan

Pada bab ini akan dilakukan analisa dan pembahasan terhadap hasil pengujian yang diperoleh dan akan dibandingkan dengan data dan teori yang didapat dari literatur.

5. Kesimpulan

Pada akhir penelitian ini akan diambil kesimpulan yang terkait dengan permasalahan yang diamati dalam penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

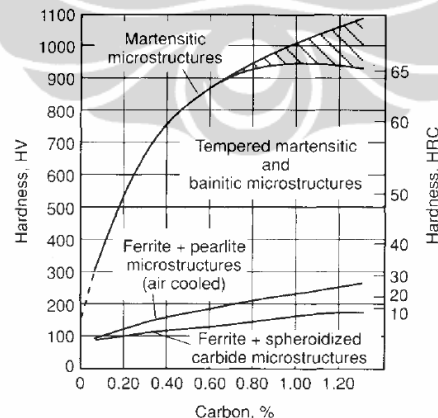
2.1 Baja Karbon dan Paduannya

Pemahaman tentang karakter material yang mengalami beberapa kondisi pembebanan dalam lingkungan kerja yang korosif yang digunakan dalam struktur *marine* memungkinkan untuk pemilihan material yang optimal sehingga meningkatkan keandalan operasional struktur tersebut.

Karakteristik material ditentukan oleh mikrostrukturnya misalnya fraksi volum, ukuran butir dan fasa yang dipengaruhi oleh komposisi kimia, proses pembuatan atau fabrikasi serta proses perlakuan panas.

2.1.1 Pengaruh Unsur Dalam Paduan

Penambahan unsur padu ke dalam baja karbon dimaksudkan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis sesuai dengan yang diinginkan di mana sifat-sifat tersebut tidak akan didapatkan jika baja diproses secara normal.



Gambar 2.1 Kekerasan sebagai fungsi dari persentase karbon

ASM Handbook. 1990, Vol 1:304

Unsur karbon merupakan unsur padu yang sangat efektif. Semua mikrostruktur menunjukkan bahwa kekerasan akan meningkat dengan

bertambahnya kandungan karbon, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Baja dengan kandungan karbon lebih dari 0,35% memiliki *hardenability* yang tinggi karena mudah membentuk struktur martensit.

Unsur silikon merupakan penyetabil sementit, dapat menaikkan kekuatan baja tanpa mengakibatkan penurunan keuletan.

Unsur mangan dapat mengikat sulfur dengan membentuk senyawa mangansulfida (MnS) yang mempunyai titik lebur 1610°C lebih tinggi daripada titik cair baja, dengan demikian akan dapat mencegah terbentuknya besisulfida (FeS) yang titik cairnya lebih rendah dari titik cair baja yaitu 1193°C. Disamping itu Mn menguatkan fasa ferit.

Pospor berfungsi menaikkan fluiditas yang membuat baja mudah dirol panas tetapi pada suhu rendah unsur pospor membuat baja mudah mengalami retak dingin atau getas sehingga tidak baik untuk baja yang diberi beban benturan pada suhu rendah.

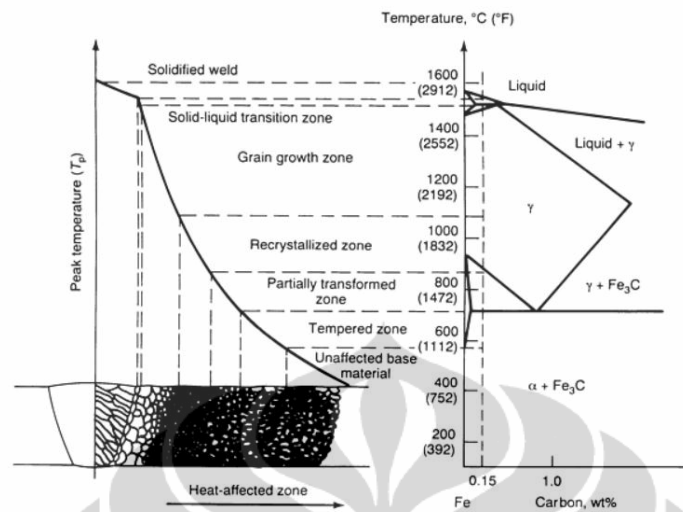
Sulfur dapat menjadikan baja getas pada suhu tinggi, karena unsur S mudah mengikat unsur Fe menjadi FeS yang memiliki titik cair lebih rendah dibandingkan dengan titik cair baja sehingga merugikan baja yang dipakai pada suhu tinggi, selain itu sulfur menyulitkan pengerjaan seperti dalam pengerolan panas atau proses lainnya. Kebanyakan kadar S harus dibuat serendah-rendahnya.

2.2 Metalurgi Pengelasan

Proses pengelasan sangat berkaitan dengan penggunaan energi panas dan kombinasi bahan yang di las dengan kawat las. Pada setiap proses pengelasan, khususnya *fusion weld*, ada dua aspek yang terkait yaitu aspek termal dan aspek kimia. Aspek termal berhubungan dengan siklus termal yaitu pemanasan dan pendinginan, yang dapat mengakibatkan perubahan metalurgi pada bahan misalnya peleburan, transformasi fasa, tegangan sisa dan distorsi. Penggunaan kawat las yang menyatu dengan bahan yang di las menyebabkan perubahan kimia *weld metal* seperti pencampuran, pelarutan dan penyerapan.

Geometri lasan hasil *fusion welding* terdiri dari tiga bagian yaitu deposit las (*weld metal*), daerah pengaruh panas (HAZ) dan logam induk (*base metal*).

2.2.1 Heat Affected Zone



Gambar 2.2 Perubahan mikrostruktur pada HAZ *single pass weld* pada baja karbon 0,15% C

ASM Handbook. 1990, Vol 6: 181

Gradien perubahan mikrostruktur pada pengelasan *single pass* seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Temperatur tertinggi pada material yang disebabkan karena pengaruh pengelasan terjadi pada daerah dekat dengan *fusion line* dan mengakibatkan pengkasaran butiran austenit sehingga menyebabkan kenaikan kekerasan pada daerah tersebut.

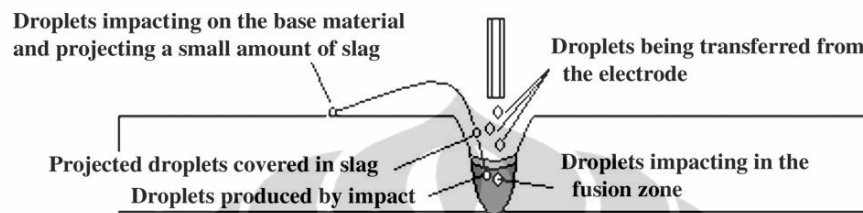
2.2.2 Spatter

2.2.2.1 Mekanisme Terbentuknya Spatter

Spatter terjadi ketika tetesan logam cair yang berasal dari elektroda jatuh dan bertubrukan di dalam kolam las. Tubrukan ini menyebabkan beberapa partikel logam cair terpercik keluar dari kolam las dan melewati slag cair yang berada di atas permukaan kolam las karena perbedaan *density*. Percikan partikel logam cair ini diselimuti oleh *slag* sehingga temperaturnya terjaga sampai di permukaan logam induk. Tubrukan pada permukaan logam induk menyebabkan *slag* antara

Universitas Indonesia

logam induk dan partikel logam cair terusir. Ketika partikel *spatter* menempel pada logam induk, terjadi transfer panas secara cepat sehingga pada area yang sangat kecil pada *base material* terjadi rekristalisasi (Molleda *et al*, 2007) sehingga terjadi perubahan mikrostruktur di mana kekerasan pada daerah tersebut lebih tinggi daripada daerah logam induk lainnya (Tanaka *et al*, 1998).



Gambar 2.3 Mekanisme terjadinya spatter

Materials Characterization. (2007), 58: 936-940

Selain karena tubrukan tetesan logam cair pada kolam las, *spatter* bisa terjadi karena pembebasan gas yang diakibatkan oleh pemuatan gas yang terperangkap di dalam tetesan logam cair maupun yang berada didalam kolam las (Mita, 1991) .

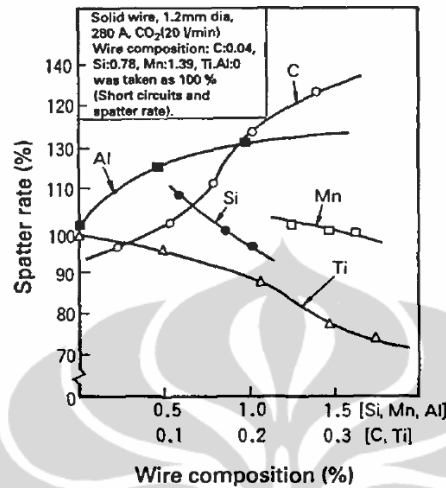
Menurut Masduky, *spatter* disebabkan oleh karena kampuh yang kotor, lapisan galvanis belum dibuang, arus dan polaritas yang kurang tepat, pengelasan dilakukan tanpa perlindungan cuaca serta elektroda yang lembab.

2.2.2.2 Penurunan Jumlah Spatter

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi terbentuknya *spatter*, yaitu tipe kawat las, komposisi gas pelindung, kondisi pengelasan dan sumber pengelasan (Suga, 1992).

Hasil penelitian Suga menunjukkan bahwa pada pengelasan dengan menggunakan gas pelindung CO₂ dan *solid wire*, jumlah *spatter* akan menurun dengan bertambahnya Si, Ti, Mn dan menurunnya jumlah C dan Al. Hal ini berhubungan dengan jumlah *short circuit*, di mana jika jumlah Si, Ti dan Mn

meningkat maka jumlah *short circuit* akan menurun begitu pula dengan jumlah *spatter* juga akan menurun.

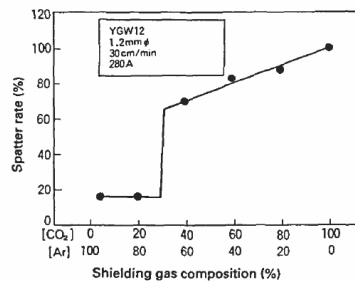


Gambar 2.4 Hubungan antara *spatter rate* dan komposisi kawat las

Welding International. (1992), 6(1): 16-19

Pada Gambar 2.5 menunjukkan hubungan antara jumlah *spatter* dengan komposisi CO_2 – Ar. Jumlah *spatter* akan menurun dengan menurunnya komposisi CO_2 dan meningkatnya komposisi gas Argon.

Jumlah *spatter* dapat dikurangi dengan mengoptimalkan kondisi pengelasan. Posisi *torch* yang tegak lurus akan menghasilkan jumlah *spatter* yang lebih sedikit dibandingkan dengan posisi menyudut.



Gambar 2.5 Hubungan antara *spatter rate* dan komposisi gas pelindung

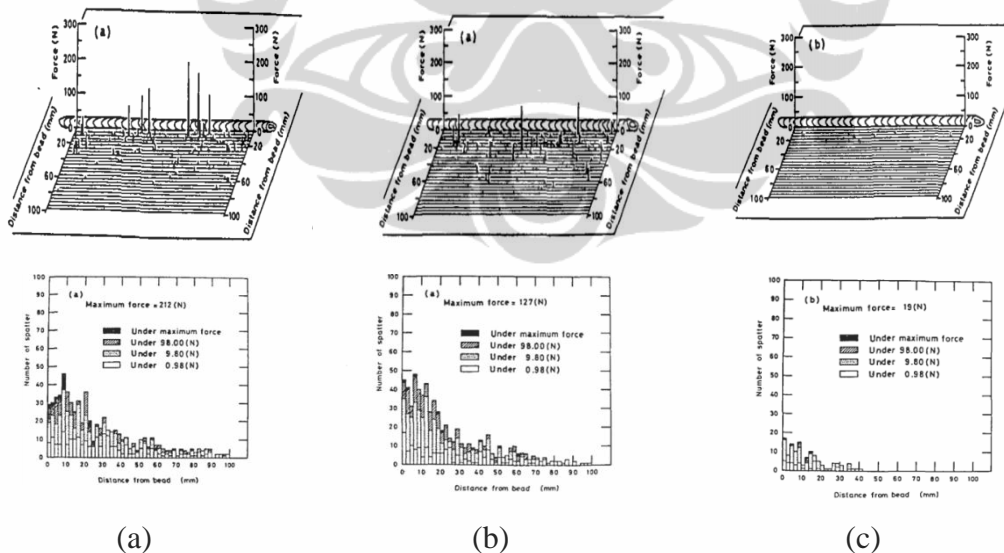
Welding International. (1992), 6(1): 16-19

Arus listrik berpengaruh juga terhadap jumlah *spatter* yang dihasilkan. Arus listrik berpengaruh terhadap bentuk logam cair yang jatuh dari elektroda ke logam induk apakah berbentuk *short circuit*, *globular* atau *spray*. Jumlah *spatter* yang dihasilkan dipengaruhi oleh tegangan listrik. Jika tegangan terlalu tinggi atau terlalu kecil, *spatter* yang dihasilkan akan banyak, sehingga tegangan listrik harus disetting seoptimal mungkin untuk menghasilkan jumlah *spatter* yang minimal.

2.2.2.3 Bonding Force Spatter - Base Metal

Tanaka, Inose, Hamachi, Nishiwaki dan Hori (1996) telah meneliti tentang gaya yang diperlukan untuk melepas *spatter* dari logam induk. Besarnya gaya yang diperlukan untuk membersihkan *spatter* tergantung dari gaya ikat antara *spatter* dengan logam induk.

Gaya yang diperlukan untuk membersihkan *spatter* pada daerah yang lebih dekat dengan manik las lebih besar dibandingkan dengan daerah yang lebih jauh karena ketika *spatter* terpercik dari busur las, partikel *spatter* yang lebih besar akan menempel pada daerah yang lebih dekat dengan manik las.

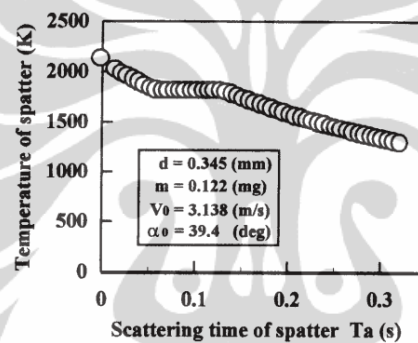


Gambar 2.6 Gaya yang diperlukan untuk membersihkan *spatter* (a) pelat tidak dibersihkan (b) pelat dibersihkan dengan gerinda (c) pelat dicat dengan anti-*spatter*

Welding international. 1996, 10 (12): 955-962

Ketika *spatter* dalam bentuk logam cair terhambur, pada waktu bersamaan terjadi perubahan panas dan dapat menyebabkan *spatter* berubah dalam fasa cair menjadi fasa padat. Ketika sampai di logam induk, jika *spatter* masih dalam bentuk cair maka akan menempel pada logam induk dan jika telah berubah menjadi fasa padat maka *spatter* tersebut tidak akan menempel. Hal ini dipengaruhi oleh proses pendinginan ketika *spatter* terpercik di udara, yang erat kaitannya dengan temperatur *spatter*.

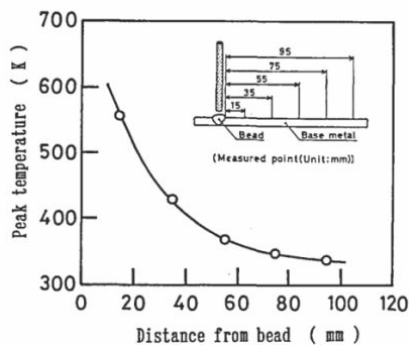
Tanaka *et al* (2003) meneliti tentang temperatur *spatter* ketika sampai di logam induk. Dengan menggunakan pengelasan CO_2 *gas shielded arc welding* didapatkan data seperti pada Gambar 2.7:



Gambar 2.7 Temperatur *spatter*

Welding International. 2003, 17 (3): 196-202

Dari Gambar 2.8 terlihat bahwa semakin dekat dengan manik las, temperatur logam induk semakin tinggi, dengan demikian selain karena ukuran partikel yang lebih besar, *spatter* menempel pada permukaan logam induk dengan temperatur yang lebih tinggi sehingga gaya ikat antara *spatter* dengan logam induk lebih tinggi. Adanya kerak pada permukaan logam induk hanya berpengaruh sedikit terhadap besarnya gaya ikat. Gaya ikat antara *spatter* dan logam induk turun secara signifikan (bahkan kadang-kadang tidak ditemukan adanya *spatter*) jika pada permukaan logam induk dilapisi cat anti *spatter*.



Gambar 2.8 Jarak dari manik las Vs temperatur pada logam induk

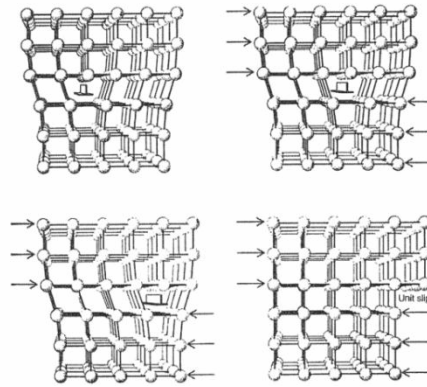
Welding International. 1996, 10 (12): 955-962

2.3 Mekanisme Patah *Fatigue*

Fatigue merupakan fenomena kegagalan yang disebabkan karena beban yang berulang-ulang atau berubah-ubah di mana besarnya beban ini lebih kecil daripada kuat tarik material. Patah *fatigue* bersifat progresif, beban yang berulang atau berubah-ubah akan menyebabkan perubahan dalam skala submikro pada struktur kristal yang lama-lama akan menyebabkan timbulnya retak yang sangat kecil dan akan berubah menjadi retak yang lebih besar. Jika beban siklik ini terus berlanjut maka akan menyebabkan struktur patah. Tahapan kegagalan karena patah *fatigue* dibagi menjadi tiga (Wulpi, 1995), yaitu inisiasi, propagasi dan *final rupture*.

Hal yang harus diperhatikan dalam tahap inisiasi adalah bahwa perubahan tak terbalikkan pada logam terjadi karena *shear stress* yang berulang. Gambar 2.9 menunjukkan perubahan mikrostruktur yang terjadi pada kisi kristal karena *shearing stress* yang berulang-ulang. Ketidakterpurnaan dalam struktur kristal disimbolkan dengan T. Karena *shear stress* yang berulang-ulang menyebabkan dislokasi berpindah ke sel atom di dekatnya, jika *shear stress* ini terus berlanjut maka dislokasi akan berpindah ke tepi struktur kristal. Ketika hal ini terjadi pada banyak struktur kristal, dislokasi-dislokasi tersebut akan terhubung dan akan membentuk retak mikroskopik. Perlu diperhatikan bahwa daerah inisiasi bisa terjadi pada beberapa tempat, tergantung dari beberapa hal misalnya metalurgi, kekuatan, stress dan geometri.

Universitas Indonesia



Gambar 2.9 Skema perubahan mikrostruktur pada struktur kristal karena gaya yang berulang-ulang

Understanding How Components Fail. 1995, ed 8:118

Pada tahap inisiasi, arah retak mikro paralel dengan arah *shear stress*. Pada tahap selanjutnya yaitu tahap propagasi arah penjalaran retak mikro akan berubah menjadi tegak lurus dengan arah *tensile stress*. Pada tahap propagasi ini biasanya patah *fatigue* dapat diidentifikasi. Setelah retak awal terbentuk, konsentrasi tegangan lokal pada ujung retak akan tinggi karena bentuknya yang takik, dan setiap perbesaran retak akan menyebabkan kenaikan kedalaman retak satu striasi. Setiap striasi sebenarnya merupakan sebuah retak kecil yang dihasilkan dari sebuah beban atau *stress* atau siklus.

Jika perambatan retak ini terus terjadi, luas penampang spesimen secara berlahan-lahan akan berkurang dan pada akhirnya patah akan terjadi karena spesimen tidak mampu lagi menahan beban.

2.4 Mekanisme Korosi

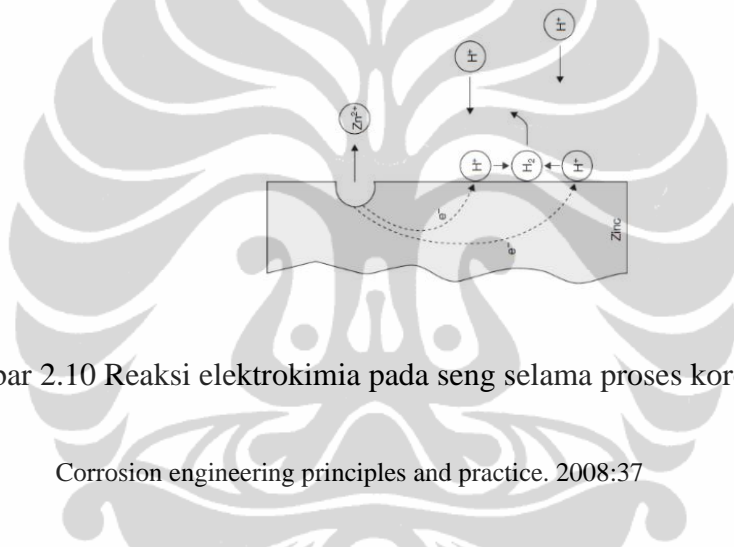
Korosi merupakan proses degradasi material yang disebabkan karena pengaruh lingkungan. Mekanisme terjadinya korosi tidak terlepas dari reaksi elektrokimia yaitu reaksi kimia yang melibatkan perpindahan elektron (reaksi oksidasi dan reduksi).

Korosi terjadi pada daerah anoda di mana reaksi oksidasi terjadi. Pada daerah tersebut dihasilkan elektron dan kemudian dilepaskan. Elektron tersebut

Universitas Indonesia

akan menuju ke daerah katoda dan bereaksi dengan ion positif. Reaksi di daerah anoda dan katoda terjadi secara bersamaan dan dengan laju reaksi yang sama.

Pada Gambar 2.10, proses korosi sedang terjadi pada sebuah pelat seng yang berada dalam larutan *hydrochloric acid*. Pada beberapa tempat dipermukaan pelat, seng berubah menjadi ion seng sesuai dengan persamaan 2.1, dan menghasilkan elektron yang akan melalui logam seng ke daerah permukaan di mana ion hidrogen mereduksi menjadi gas hidrogen sesuai persamaan 2.2.



Gambar 2.10 Reaksi elektrokimia pada seng selama proses korosi

Corrosion engineering principles and practice. 2008:37

Banyaknya elektron yang terlibat dalam proses korosi secara eksperimental dapat ditentukan sehingga kerapatan arus pada kondisi seimbang dapat dihitung, di mana pada kondisi tersebut kerapatan arus anoda sama dengan kerapatan arus katoda, dengan asumsi bahwa area anoda dan katoda sama.

$$i_a = i_c = i_0 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Sesuai persamaan Butler-Volmer:

$$i_{reaction} = i_0 \left\{ \exp \left[-\beta \frac{nF}{RT} \eta_{reaction} \right] - \exp \left[(1 - \beta) \frac{nF}{RT} \eta_{reaction} \right] \right\} \quad \dots\dots (2.4)$$

Jika $\eta_{reaction}$ adalah reaksi katodik yaitu potensialnya berharga negatif, *term* kedua pada persamaan diatas dapat diabaikan sehingga kerapatan arus katodik dapat disederhanakan menjadi:

$$i_{reaction} = i_c = i_0 \exp \left[-\beta \frac{nF}{RT} \eta_{reaction} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\eta_{reaction} = \eta_c = b_c \log_{10} \left(\frac{i_c}{i_0} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$b_c = -2,303 \frac{RT}{\beta nF} \dots\dots\dots (2.7)$$

b_c merupakan koefisien Tafel katodik yang didapatkan dari slope plot η dengan $\log|i|$ di mana titik pertemuannya merupakan nilai untuk i_0 .

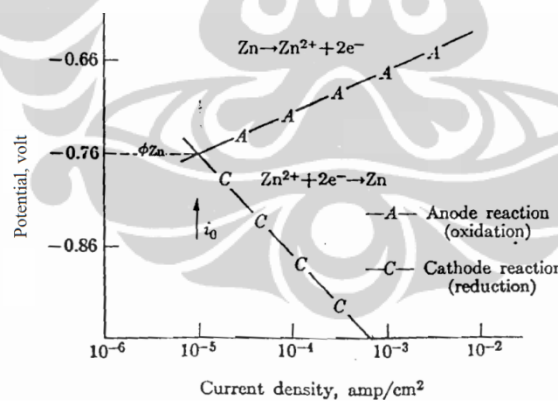
Untuk reaksi anodik di mana potensial bertanda positif, term pertama pada persamaan Butler-Volmer dapat diabaikan sehingga persamaan kerapatan arus menjadi:

$$i_{reaction} = i_a = -i_0 \exp \left[(1 - \beta) \frac{nF}{RT} \eta_{reaction} \right] \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\eta_{reaction} = \eta_a = b_a \log_{10} \left(\frac{|i_a|}{i_0} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$b_a = 2,303 \frac{RT}{\beta nF} \dots\dots\dots (2.10)$$

Pengaruh over potential pada anoda dan katoda elektroda zinc seperti yang terlihat pada Gambar 2.11.



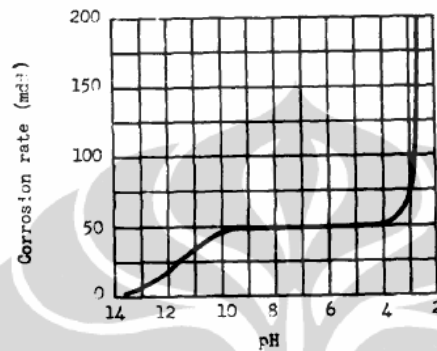
Gambar 2.11 Kerapatan arus elektroda

Material science for engineers. 1969:473

2.4.1 Pengaruh pH

Keseluruhan reaksi korosi merupakan gabungan dari reaksi anoda dan katoda. Secara termodinamika proses ini dapat dan akan terjadi, tetapi laju

terjadinya reaksi tergantung kinetika dari sistem. Hal ini berarti bahwa laju proses korosi secara keseluruhan dikontrol oleh proses paling lambat yang dalam hal ini adalah reaksi reduksi. Pada *deaerated neutral* atau mendekati larutan netral (pH 4 sampai pH 9) pada temperatur kamar, laju reaksi reduksi sangat lambat karena konsentrasi ion hidrogen yang rendah sehingga laju korosi pada besi dan baja dapat dibiarkan.



Gambar 2.12 Pengaruh pH pada laju korosi baja pada aerated water pada temperatur kamar

Technical Note N-907, U.S. Naval Civil Engineering Laboratory (1967) : 21

Pada pH dibawah 4 pada daerah asam, laju korosi terjadi dengan cepat dengan evaluasi hidrogen. Nilai pH yang aman berbeda antara logam yang satu dengan yang lainnya.

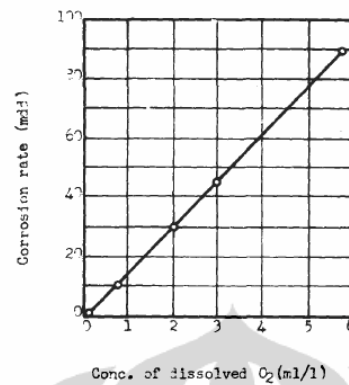
2.4.2 Pengaruh Oksigen Terlarut

Jika terdapat oksigen terlarut, reaksi reduksi pada daerah katoda menjadi:



Reaksi ini terjadi lebih cepat dibandingkan dengan tanpa oksigen. Agar oksigen terlarut ini dapat bereaksi, maka harus bersinggungan dengan permukaan logam dan proses terjadi secara difusi, sehingga laju korosi dibatasi oleh laju difusi oksigen terlarut. Karena laju difusi berbanding lurus dengan konsentrasi oksigen

terlarut sehingga laju korosi juga berbanding lurus dengan konsentrasi oksigen terlarut.

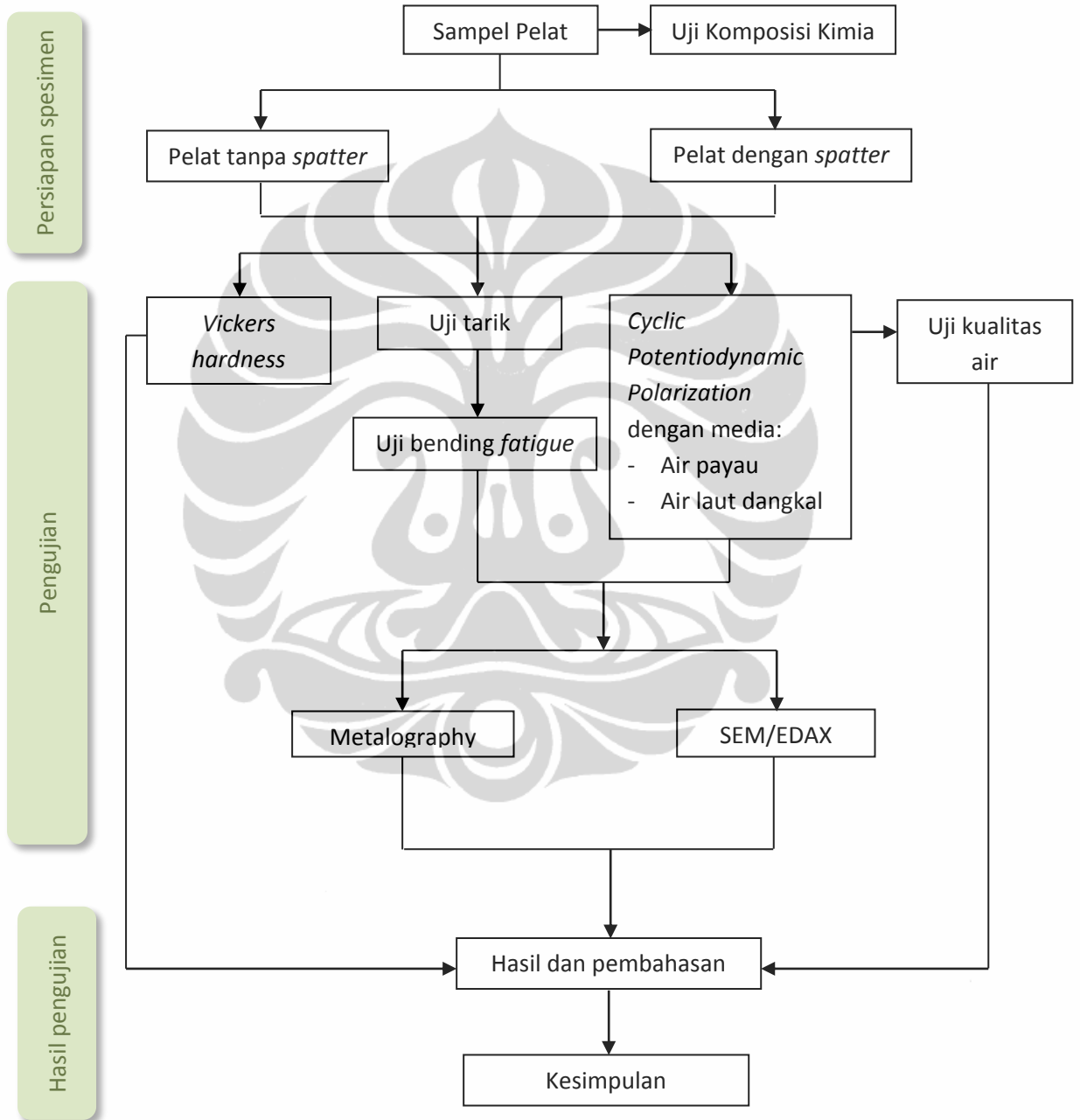


Gambar 2.13 Pengaruh oksigen terlarut terhadap laju korosi pada baja

Technical Note N-907, U.S. Naval Civil Engineering Laboratory (1967) : 20

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Prosedur Pengujian

Untuk mendapatkan data penelitian yang akurat dan dapat dipertanggung jawabkan maka pengujian dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan standar pengujian yang telah ditetapkan oleh badan standar internasional maupun nasional.

3.2.1 Persiapan Spesimen Pengujian

Spesimen pengujian yang digunakan adalah pelat baja *normal strength grade A* (KI-A) dengan tebal enam milimeter. Pelat ini merupakan pelat *marine* yang memiliki kandungan karbon yang rendah dan merupakan pelat baru serta belum pernah dipakai. Kondisi pelat seperti yang diterima dari pabrik di mana pada permukaan pelat dilapisi *shop primer*. Sebelum digunakan sebagai sampel pengujian, pelat disimpan di gudang dalam temperatur ruang.

Untuk menghasilkan *spatter*, dilakukan pengelasan manual di dalam bengkel las dengan menggunakan elektroda las AWS E 6013. Setelah proses pengelasan, pelat didinginkan secara perlahan dengan dibiarkan pada temperatur ruang. Pemotongan pelat menjadi sampel-sampel uji dengan ukuran yang telah ditentukan sesuai standar dilakukan dengan gerinda potong. Untuk menghaluskan permukaan spesimen digunakan gerinda, mesin amplas dan mesin poles. Persiapan spesimen pengujian dilakukan di galangan kapal Daya Radar Utama Jakarta.

3.2.2 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan spektrometer dengan tujuan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam material pelat kemudian dicocokkan dengan komposisi unsur minimum/maksimum sesuai dengan ketentuan IACS sehingga dapat diketahui apakah material tersebut termasuk jenis *marine plate* atau bukan. Standard uji yang dipakai adalah ASTM

E 415. Pengujian komposisi kimia dilakukan di laboratorium PT. Biro Klasifikasi Indonesia Jakarta.

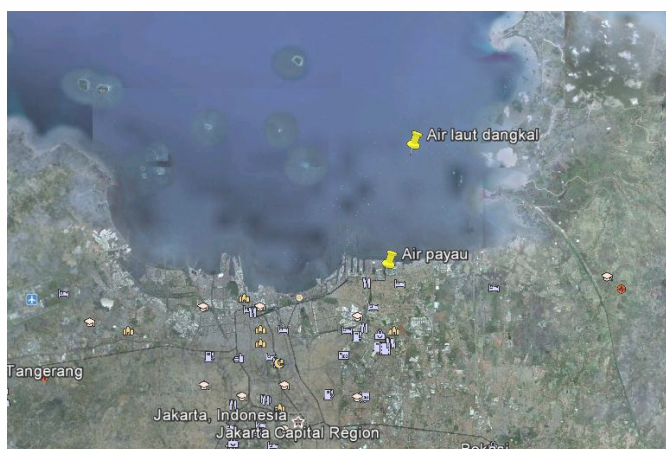
3.2.3 Pengujian Tarik

Untuk mengetahui sifat mekanik sampel pelat yaitu nilai kuat tarik, kuat mulur dan elongasi maka dilakukan uji tarik dengan memberikan beban tarik pada spesimen pelat, di mana beban ini semakin lama semakin besar sampai spesimen patah. Standar uji yang digunakan adalah EN 10002 -1: 1991. Pengujian dilakukan di laboratorium PT. Biro Klasifikasi Indonesia.

3.2.4 Pengujian Karakteristik Air

Analisa kualitas air dilakukan untuk melihat sifat fisik dan kimia air laut dan air payau yang digunakan sebagai media uji korosi, meliputi pH, salinitas serta *Dissolved* Oksigen.

Air payau diambil dari muara sungai di daerah Tanjung Priok, Jakarta Utara pada tanggal 5 April 2012 pukul 09.30 WIB dengan temperatur udara ketika pengambilan sampel air adalah 30°C. Sedangkan untuk sampel air dari laut dangkal diambil di perairan Tanjung Priok dengan kedalaman laut ± 13 m pada tanggal 10 April 2012 pukul 07.00 WIB. Ketika pengambilan sampel air laut dangkal, temperatur udara adalah 31°C



Gambar 3.2 Lokasi pengambilan sampel air

Untuk mencegah terjadinya kontaminasi dengan lingkungannya, air diletakkan di dalam botol air yang terbuat dari polietilena dan selama *handling* dari *site* ke laboratorium sampel diletakkan di dalam tas kedap untuk menjaga agar temperaturnya tidak berubah. Pengujian kualitas air dilakukan di laboratorium PT. Petrolab Service.

3.2.5 Pengujian *Vickers Hardness*

Pengujian *Vickers Hardness* dilakukan dengan menggunakan standard uji ASTM 92-82(1997) - *Vickers Hardness of Metallic Materials*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan material tanpa *spatter* dan pada daerah material yang mengalami perubahan akibat adanya *spatter*. Pengujian dilakukan di laboratorium PT. Biro Klasifikasi Indonesia.

3.2.6 *Cyclic Potentiodynamic Polarization*



Gambar 3.3 *Cyclic Potentiodynamic Polarization*

Uji *Cyclic Potentiodynamic Polarization* dilakukan untuk mengetahui perbedaan laju korosi yang terjadi antara sampel pelat yang terdapat *spatter* dengan yang tidak.

Setelah sampel pelat dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm, kemudian dipikling dengan larutan HCl untuk membersihkan karat dan kotoran yang menempel. Pengujian dilakukan di laboratorim LIPI Serpong.

3.2.7 Pengujian Bending *Fatigue*

Spesimen dipasang pada pencekam sedemikian rupa, beban bending diberikan terhadap spesimen berupa momen bending. Tenaga bending berasal dari motor listrik yang dihubungkan dengan pencekam melalui penghubung piringan eksentrik. Jumlah siklus pembebanan dicatat pada counter yang dihubungkan dengan batang motor listrik. Bila spesimen uji rusak, tuas beban akan menyentuh tombol pemutus arus sehingga mesin mati secara otomatis. Standard uji yang digunakan dalam pengujian *fatigue* bending adalah JIS Z 2274.

3.2.8 Pengujian Metalografi dan SEM/EDAX

Pengujian ini dilakukan untuk melihat permukaan spesimen pelat tanpa *spatter* serta pada pelat dengan *spatter*. EDAX dilakukan untuk mengetahui unsur yang terkandung dalam suatu titik penembakan pada daerah *spatter* serta pada permukaan pelat.

Pengujian mikrostruktur dilakukan terhadap penampang pelat dengan tujuan untuk mengetahui perubahan ukuran butir akibat proses transfer panas yang ditimbulkan oleh *spatter*. Pengujian metalografi dan SEM/EDAX dilakukan di laboratorium Teknik Metalurgi Universitas Indonesia.

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Data-data yang diperoleh dari beberapa pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh *spatter* terhadap laju korosi dan timbulnya retak awal pada pelat *marine* adalah sebagai berikut:

4.1.1 Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia dilakukan terhadap dua titik dengan masing-masing unsur adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian komposisi kimia

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
A	0,1030	0,0468	0,6090	0,0134	0,0038	0,0314	0,0102
B	0,1170	0,0505	0,5370	0,0198	0,0023	0,0255	0,0090

	Ni	Al	Ti	V	W	Fe	CE
A	0,0306	0,0449	0,0068	0,0045	0,0247	99,1	0,216
B	0,0351	0,0429	0,0077	0,0030	0,0193	99,1	0,216

4.1.2 Uji Tarik

Besarnya kekuatan tarik, kekuatan luluh serta elongasi spesimen pelat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian tarik

	Hasil Uji
Kekuatan mulur R_{eH} [N/mm ²]	377
Kekuatan tarik R_m [N/mm ²]	491
Elongasi [%]	36,4

4.1.3 Uji Karakteristik Air

Media yang digunakan untuk pengujian korosi dalam penelitian ini adalah air payau dan air laut yang berasal dari perairan dangkal yang diambil dari perairan Jakarta Utara. Tabel 4.3 menunjukkan sifat fisik dan kimia dari media-media tersebut.

Tabel 4.3 Hasil uji kualitas air

PARAMETER	Air Payau	Perairan Dangkal
pH	7,19	7,85
Salinitas ‰	27,25	27,75
Oksigen terlarut (DO) mg/L	2,33	4,71

4.1.4 Uji Kekerasan Vickers

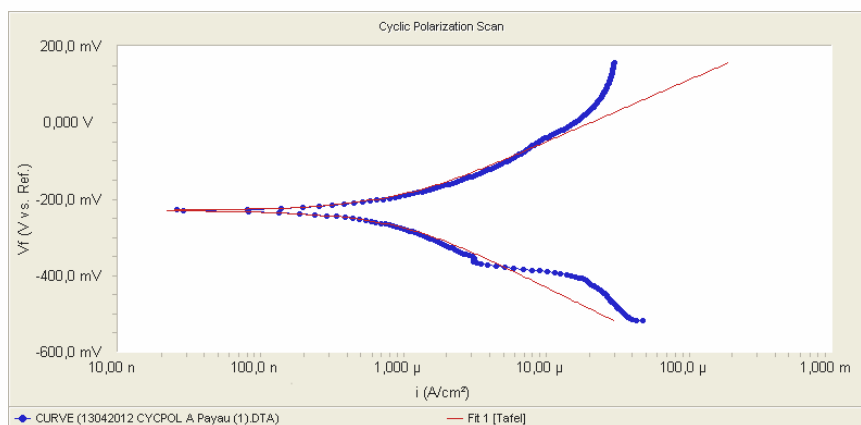
Pada daerah yang terpengaruh oleh panas pengelasan, uji kekerasan Vickers dilakukan terhadap permukaan spesimen pelat pada tiap jarak satu sentimeter, di mana pada jarak tersebut diambil tiga titik. Untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan akibat adanya *spatter*, *spatter* yang menempel pada permukaan pelat dibersihkan dengan hati-hati menggunakan palu, kemudian pada daerah tersebut dilakukan uji kekerasan. Hasil pengujian kekerasan Vickers seperti yang terlihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai kekerasan Vickers

Gaya = 10 kgf Waktu = 15 detik					
	Titik			Nilai tertinggi	
	1	2	3		
Pelat tanpa pengaruh panas pengelasan					
-	167,8 HV	184,0 HV	180,5 HV	184,0 HV	
Pelat dengan pengaruh panas pengelasan					
Spesimen Tanpa Spatter					
Jarak dari fusi line (cm)	1	224,5 HV	207,0 HV	218,9 HV	224,5 HV
	2	207,9 HV	222,0 HV	205,2 HV	222,0 HV
	3	185,3 HV	213,3 HV	196,2 HV	213,3 HV
	4	186,4 HV	193,5 HV	213,2 HV	213,2 HV
	5	192,2 HV	205,4 HV	186,2 HV	205,4 HV
Spesimen dengan spatter					
-	248,4 HV	235,5 HV	208,8 HV	248,4 HV	

4.1.5 Cyclic Potentiodynamic Polarization

Tafel plot yang didapat dari pengujian *Cyclic Potentiodynamic Polarization* untuk media air laut dari perairan dangkal pada spesimen pelat tanpa *spatter* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Untuk hasil pengujian pada sampel pelat yang terdapat *spatter* pada permukaannya serta pada media air payau dapat dilihat pada Lampiran 6.

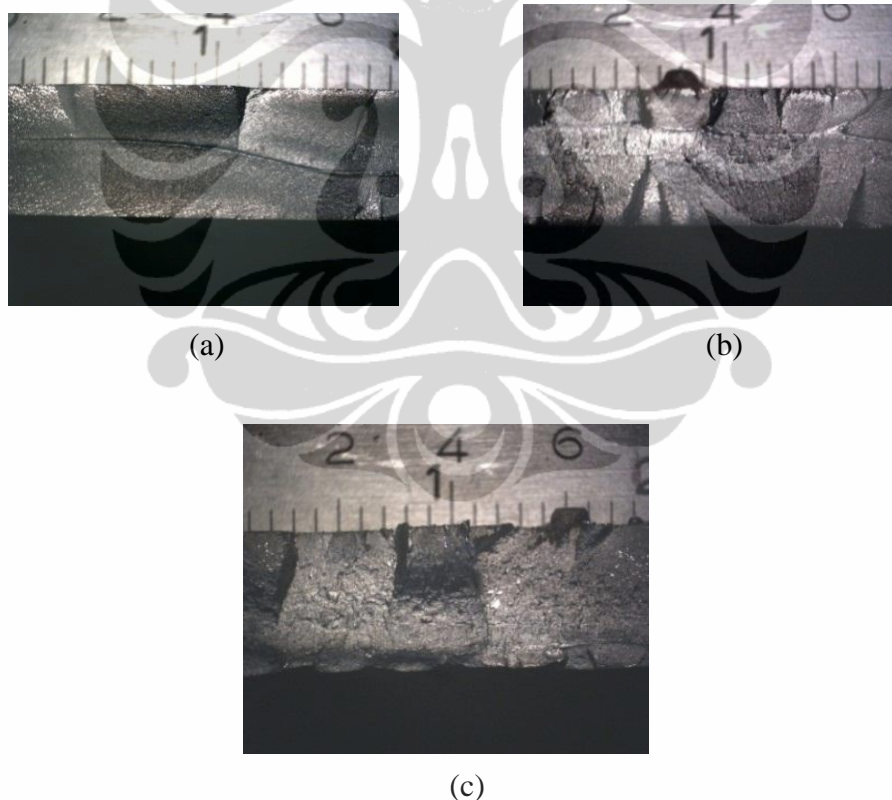


Beta A	162,7e-3 V/decade	Icorr	799,0e-9 A/cm ²
Beta C	184,0e-3 V/decade	Ecorr	-229,0 mV
Chi Squared	8,264	Corrosion Rate	367,1e-3 mpy

Gambar 4.1 *Tafel Plot* – Air dangkal - spesimen tanpa *spatter*

4.1.6 Uji Bending *Fatigue*

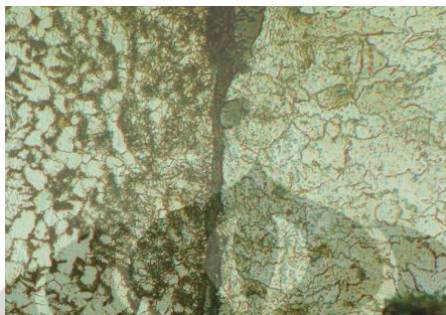
Uji bending *fatigue* dilakukan untuk mengetahui respon material pelat terhadap beban *fatigue* dan analisa dilakukan untuk melihat daerah awal terjadinya retak. Hasil pengujian terhadap spesimen pelat di mana patah terjadi akibat beban bending *fatigue* adalah seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 dan Lampiran 7.



Gambar 4.2 Patah akibat beban *fatigue* (a) tanpa *spatter*, kedua sisi dihaluskan (b) *spatter*, salah satu sisi dihaluskan dengan gerinda (c) *spatter*, salah satu sisi dihaluskan sampai halus

4.1.7 Metalografi

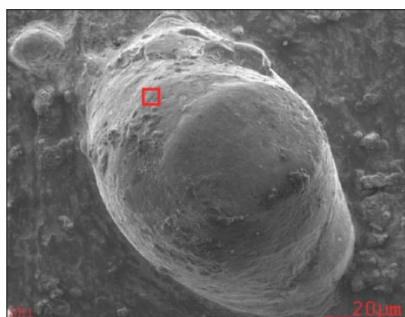
Hasil dari uji mikro terhadap menampang *base metal* dan *spatter* adalah seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil metalografi mikro *base metal* - *spatter*

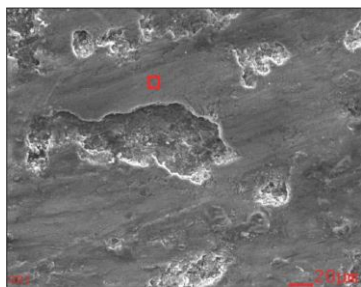
4.1.8 SEM/EDAX

Pengujian SEM/EDAX dilakukan terhadap beberapa titik pada daerah *spatter* dengan perbesaran 150x serta pada permukaan yang tidak terdapat *spatter* dengan perbesaran 200x, di mana hasilnya adalah seperti yang terlihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5. Untuk hasil pada titik-titik yang lain dapat dilihat pada Lampiran 8.



Elemen	Wt %	At %
CK	12,71	27,41
OK	25,38	41,08
NaK	01,59	01,80
AlK	01,11	01,06
SiK	01,57	01,45
MoL	00,78	00,21
ClK	00,79	00,58
KK	00,76	00,51
CaK	01,46	00,94
FeK	53,83	24,96

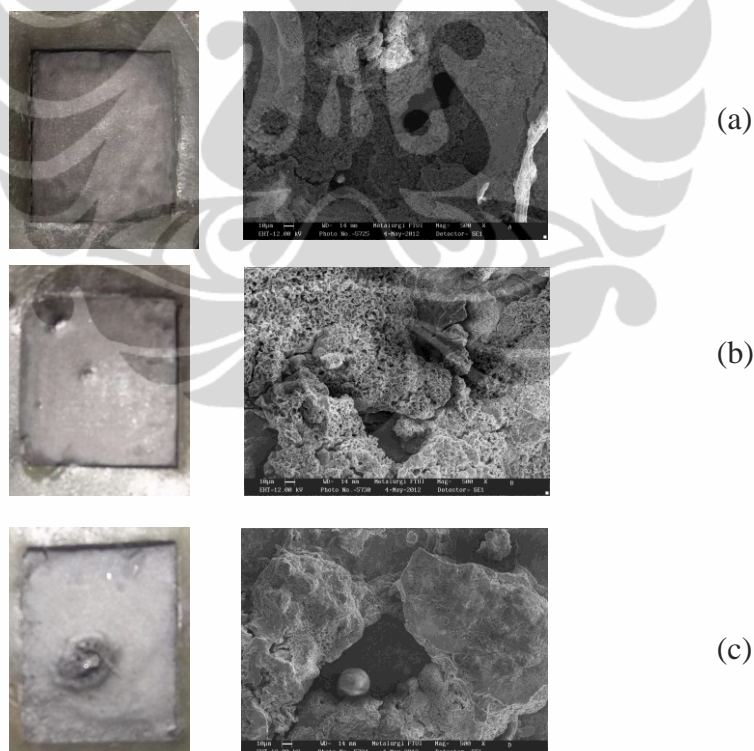
Gambar 4.4 Hasil SEM/EDAX - *spatter*



Elemen	Wt %	At %
CK	01,82	04,87
OK	26,49	53,05
SiK	01,34	01,53
CaK	00,83	00,66
FeK	69,51	39,88

Gambar 4.5 Hasil SEM/EDAX – permukaan pelat tanpa *spatter*

Dari hasil akselerasi korosi yang terjadi melalui pengujian *Cyclic Potentiodynamic Polarization* dilakukan juga SEM dengan perbesaran 100x, 200x dan 500x di mana hasil untuk spesimen tanpa *spatter*, spesimen dengan *spatter* pada media air payau dan air laut dangkal adalah seperti yang terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 SEM hasil *Cyclic Potentiodynamic Polarization* dengan perbesaran 500x (a) Spesimen tanpa *spatter* (b) *Spatter* –media air payau (c) *spatter* – media air laut dangkal

4.2 Pembahasan

Untuk mengetahui pengaruh *spatter* terhadap laju korosi serta retak awal akibat beban bending *fatigue* maka analisa dilakukan terhadap hasil pengujian serta ditunjang dari hasil penelitian yang dilakukan pihak lain yang telah dipublikasikan dan dari buku-buku maupun sumber-sumber lainnya.

4.2.1 Material Sampel

Material yang digunakan dalam pembangunan kapal harus menggunakan pelat *marine* sesuai dengan persyaratan IACS. Persyaratan tersebut menyangkut komposisi kimia dan sifat mekanik yang berhubungan dengan sifat mampu las dan mampu bentuk dari pelat tersebut. Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 menunjukkan bahwa spesimen pelat yang diuji memenuhi standar IACS sebagai pelat *marine*, dengan grade KI-A ekuivalen dengan ASTM A 131 A dan JIS G 3106 SM41B.

Tabel 4.5 Komposisi kimia pelat *marine*

	Standard IACS	Mill Certificate	Hasil Uji
C	0,21 (max)	0,140	0,1100
Si	0,50 (max)	0,130	0,0487
Mn	2,5 x C (min)	0,700	0,5730
P	0,035 (max)	0,010	0,0166
S	0,035 (max)	0,012	0,0031
Cr	-	0,040	0,0285
Mo	-	< 0,010	0,0096
Ni	-	0,030	0,0329
Al	-	0,037	0,0439
Ti	-	<0,005	0,0073
V	-	< 0,005	0,0038
CE	-	0,270	0,2160

Tabel 4.6 Sifat mekanis spesimen

	Standard IACS	Mill Certificate	Hasil Uji
<i>Yield Strength</i> R_{eH} [N/mm ²]	235	329	377
<i>Tensile Strength</i> R_m [N/mm ²]	400 - 520	445	491
<i>Elongation</i> [%]	22	37	36.4

Pada Tabel 4.5 menunjukkan komposisi tiap-tiap unsur dalam paduan baja. Komposisi dari tiap-tiap unsur tersebut dibatasi dengan maksud untuk mendapatkan sifat-sifat material pelat sesuai dengan yang diinginkan. Pelat *marine* merupakan baja karbon rendah di mana kadar maksimum karbon dalam paduan dibatasi maksimal 0,21 % dan biasanya merupakan *low alloy steel*.

Unsur karbon merupakan unsur pepadu yang sangat efektif karena penambahan kadar karbon dalam paduan merupakan cara yang paling murah untuk menaikkan kekuatan baja tetapi di sisi lain dapat menurunkan keuletan material. Pembatasan jumlah maksimal kadar karbon dalam paduan pelat *marine* dimaksudkan untuk mendapatkan sifat ulet sehingga memudahkan dalam pembentukan dan pengelasan badan kapal, serta sifat material yang kuat sehingga mampu menahan beban baik internal maupun eksternal di mana untuk pelat *marine* persyaratan minimum untuk kuat tarik, kuat mulur dan elongasi adalah seperti pada Tabel 4.6.

Karbon ekivalen (CE) berkaitan dengan sifat mampu las material (*weldability*) di mana untuk pelat *marine grade* KI-A disarankan maksimum karbon ekivalen sebesar 0.28.

4.2.2 Perubahan Nilai Kekerasan

Pada Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian kekerasan Vickers di mana pada pengujian tersebut spesimen pelat ditekan dengan gaya sebesar 10 kgf selama 15 detik.

Dari tiga titik yang diambil pada spesimen pelat tanpa pengaruh panas pengelasan, nilai kekerasan menunjukkan harga yang bervariasi yang mengindikasikan bahwa mikrostruktur pada pelat tersebut heterogen. Nilai kekerasan tertinggi untuk material tersebut adalah 184 HV.

Pada daerah yang terkena pengaruh panas pengelasan (HAZ), nilai rata-rata kekerasannya meningkat di mana pada daerah yang lebih dekat dengan logam las nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang lebih jauh. Pada jarak satu sentimeter dari *fusion line* nilai kekerasan tertinggi adalah 224,5 HV sedangkan pada jarak lima sentimeter adalah 205,4 HV.

Kenaikan nilai kekerasan diakibatkan juga oleh adanya *spatter*, di mana dari tiga titik yang diambil secara acak pada daerah HAZ, nilai kekerasan rata-rata pada spesimen pelat menunjukkan harga yang lebih besar dibandingkan dengan daerah HAZ yang tidak terdapat *spatter*. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ yang terkena pengaruh *spatter* adalah 248,4 HV.

Perubahan nilai kekerasan mengindikasikan bahwa terjadi perubahan mikrostruktur pada daerah tersebut. Ketika menempel pada permukaan material induk, partikel *spatter* dalam keadaan cair dan mempunyai temperatur yang tinggi. Perubahan temperatur karena pengaruh proses pengelasan dan karena transfer panas ketika *spatter* menempel pada material induk menyebabkan pada daerah tersebut temperaturnya lebih tinggi dari sekitarnya. Oleh karena pengaruh dari material induk, terjadi pendinginan cepat sehingga transformasi yang terjadi tanpa difusi dan atom-atom karbon seluruhnya terperangkap dalam larutan superjenuh dan akan memberikan nilai kekerasan yang tinggi.

Ukuran butir pada daerah logam induk, *spatter* dan HAZ seperti yang terlihat pada Gambar 4.3. Pada gambar bagian kanan memperlihatkan ukuran butir pada *spatter* yang menempel pada logam induk. Sebelah kiri merupakan gambar yang menunjukkan ukuran butir pada daerah logam induk yang mendapat pengaruh panas pengelasan. Antara daerah logam induk dan *spatter* terhadap daerah HAZ yang mendapat pengaruh panas akibat pengelasan dan panas yang berasal dari *spatter* di mana pada daerah tersebut mempunyai ukuran butir yang lebih kecil daripada daerah *spatter* maupun logam induk.

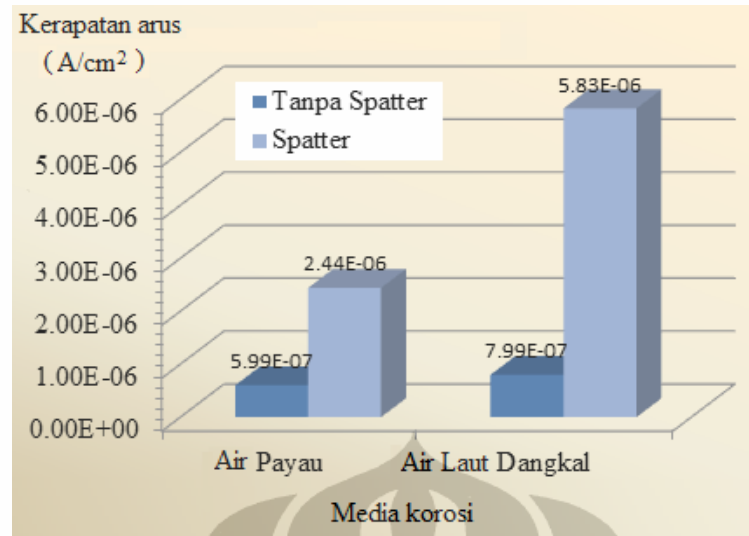
4.2.3 Laju Korosi

Dari Gambar 4.8 terlihat bahwa laju korosi baik untuk spesimen dengan *spatter* maupun tanpa *spatter* menunjukkan kecenderungan yang sama di mana laju korosi pada media air laut dangkal lebih tinggi dibandingkan dengan media air payau. Pada media air payau, laju korosi untuk spesimen tanpa *spatter* adalah 0,275 mpy, lebih rendah dibandingkan dengan media air laut dangkal yang mempunyai laju korosi 0,3671 mpy. Sedangkan untuk material pelat dengan *spatter* pada media air payau laju korosinya adalah 1,120 mpy dan pada media air laut dangkal 2,677 mpy.

Hasil uji kualitas air pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa kedua media tersebut mempunyai pH yang hampir sama yaitu untuk air payau pH-nya adalah 7,19 dan untuk air laut yang berasal dari perairan dangkal mempunyai pH 7,85. Media dengan nilai pH tersebut berada pada *range* pasif (Gambar 2.12) di mana laju reaksi reduksi sangat lambat karena konsentrasi ion hidrogen sangat rendah. Variabel yang mempengaruhi laju korosi dalam hal ini adalah nilai pH pada air laut dangkal dan air payau dalam hal ini dapat diabaikan.

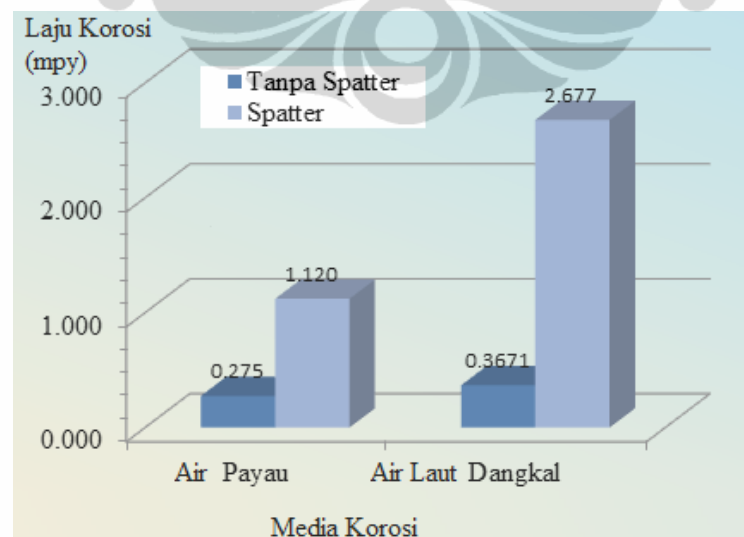
Jumlah oksigen terlarut pada air payau lebih rendah dibandingkan dengan air laut dangkal yaitu pada air payau kandungan oksigen terlarut adalah 2,33 mg/L dan pada air laut dangkal adalah 4,71 mg/L. Hal ini akan berpengaruh terhadap laju korosi di mana konsentrasi oksigen terlarut berbanding lurus dengan laju korosi. Laju korosi pada media air laut dari perairan dangkal lebih tinggi dibandingkan dengan media air payau.

Dari hasil pengujian *cyclic potentiodynamic polarization* didapatkan data kerapatan arus yang mengalir pada spesimen material seperti pada Gambar 4.7. Untuk media air laut payau, kerapatan arus adalah $0,599 \times 10^{-6} \text{ Acm}^{-2}$ dan pada material yang terdapat *spatter* kerapatannya naik menjadi $2,440 \times 10^{-6} \text{ Acm}^{-2}$. Dengan menggunakan media air laut dangkal, kerapatan arus pada spesimen material adalah $0,799 \times 10^{-6} \text{ Acm}^{-2}$ dan menjadi $5,830 \times 10^{-6} \text{ Acm}^{-2}$ oleh karena pengaruh *spatter*.



Gambar 4.7 Kerapatan arus - Icorr (A/cm²)

Laju korosi pada spesimen material seperti yang terlihat pada Gambar 4.8 di mana untuk kedua media korosi yang digunakan yaitu air laut dari perairan dangkal dan air payau menunjukkan kecenderungan yang sama dengan kerapatan arus yaitu laju korosi spesimen pelat tanpa *spatter* lebih rendah dibandingkan dengan material yang terdapat *spatter*.



Gambar 4.8 Laju korosi

Pada media air payau, laju korosi untuk material dengan *spatter* adalah 1,120 dan material tanpa *spatter* 0,275. Kecenderungan yang sama terjadi pada media air laut dangkal di mana laju korosi material tanpa *spatter* adalah 0,3671 lebih rendah dibandingkan dengan material dengan *spatter* yaitu 2,677.

Besarnya arus pada anoda dan katoda adalah sama, tetapi kerapatan arus kedua daerah tersebut bisa berbeda. Hasil pengujian membuktikan bahwa pada permukaan dengan *spatter* kerapatan arus lebih besar daripada material yang tidak terdapat *spatter*. Kerapatan arus yang berbeda menyebabkan *surface area* reaksi tersebut juga berbeda. Jumlah arus yang sama akan memberikan pengaruh yang berbeda jika luas penampangnya berbeda. Pada area yang lebih kecil, pengaruh arus tersebut akan lebih besar dibandingkan pada area yang lebih luas, dan hal ini menyebabkan laju korosi pada material yang terdapat *spatter* lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa *spatter*.

Spatter pada pengujian ini dihasilkan dari pengelasan menggunakan elektroda E 6013 di mana elektroda tersebut merupakan *high titania potassium*. Dari hasil pengujian EDAX pada Gambar 4.5 dan Lampiran 8 dari beberapa titik yang diambil terlihat bahwa pada *spatter* terdapat unsur Kalium yang lebih anodik dibandingkan dengan besi (Fe), menyebabkan laju korosi pada spesimen pelat dengan *spatter* lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen tanpa *spatter*.

4.2.4 Patah *Fatigue*

Hasil pengujian pada Gambar 4.2a menunjukkan penampang melintang akibat patah *fatigue* pada spesimen tanpa *spatter*, di mana kedua sisi permukaannya dihaluskan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa retak dimulai dari beberapa titik pada kedua sisi dalam waktu yang hampir bersamaan kemudian menyebar ke tengah penampang ditandai dengan daerah *final rupture* yang memisahkan kedua daerah *fatigue* secara umum terjadi/ terdapat di tengah penampang spesimen pelat.

Pada Gambar 4.2b menunjukkan patah *fatigue* pada spesimen yang terdapat *spatter* di salah satu permukaannya. Pada sisi permukaan material tersebut tidak dilakukan penghalusan permukaan sehingga kondisi permukaan

material seperti ketika diterima dari pabrik dan pada sisi yang lain yaitu pada sisi yang tidak terdapat *spatter*, permukaan spesimen material dihaluskan dengan gerinda. Awal retak dimulai dari ujung penampang disekitar daerah yang mempunyai luasan area paling kecil (Lampiran 7). Meskipun *spatter* terdapat disekitar daerah tersebut, tetapi awal retak tidak dimulai pada daerah *spatter*. Penampang melintang menunjukkan bahwa awal retak lebih dahulu terjadi pada permukaan pelat yang tidak terdapat *spatter* (bagian bawah), ditunjukkan dengan luas daerah *fatigue* lebih besar daripada daerah atas. Ketika pada permukaan yang terdapat *spatter* terjadi retak, awal retak tidak dimulai pada daerah *spatter*.

Untuk sisi yang dihaluskan sampai halus seperti terlihat pada Gambar 4.2c, retak dimulai pada sisi permukaan yang terdapat *spatter*, tetapi tidak dimulai pada daerah *spatter*. Perbandingan luas daerah *fatigue* antara sisi yang terdapat *spatter* yang tidak dihaluskan lebih besar dibandingkan dengan sisi yang tidak terdapat *spatter* dan dihaluskan.

Dari nilai kekerasan yang didapat pada Tabel 4.4 terlihat bahwa *spatter* tersebar pada *base metal* yang terpengaruh oleh panas akibat pengelasan atau pada daerah HAZ. HAZ merupakan daerah yang paling lemah karena temperatur tertinggi pengelasan tidak cukup untuk menyebabkan material mencair tetapi cukup untuk menyebabkan perubahan mikrostruktur dan sifat-sifatnya. Selain itu temperatur tinggi pada kumpuh las dan pendinginan cepat karena pengaruh material induk disekeliling kumpuh las menyebabkan pada daerah tersebut terdapat tegangan sisa, di mana bisa menjadi awal terjadinya retak. Selain karena pengelasan, tegangan sisa dapat disebabkan karena proses *rolling* ketika manufaktur material.

Pembersihan pelat dengan gerinda atau sikat kawat akan menyebabkan permukaan tidak rata dan dapat menyebabkan timbulnya mikro *notch*. Jika material mendapat beban *fatigue*, maka mikro *notch* menjadi awal dari terjadinya retak.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil beberapa pengujian terhadap sampel material pelat *marine* tanpa *spatter* dan dengan *spatter*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Transfer panas yang terjadi ketika *spatter* menempel pada permukaan material induk menyebabkan rekristalisasi di mana ukuran butir menjadi lebih kecil. Hal ini menyebabkan perubahan nilai kekerasannya di mana pada daerah tersebut nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain yang tidak terdapat *spatter*. Pada pelat tanpa pengaruh panas pengelasan nilai kekerasan tertinggi adalah 184 HV, sedangkan pada daerah HAZ adalah 224,5 HV. *Spatter* menyebabkan nilai kekerasan meningkat di mana nilai kekerasan tertinggi adalah 248,4 HV.
- b. Meskipun *spatter* menyebabkan terjadinya *local brittle*, hasil pengujian menunjukkan retak yang terjadi akibat beban bending *fatigue* tidak ada yang diawali pada daerah *spatter* tersebut. *Spatter* tidak berpengaruh terhadap timbulnya awal retak. Mikro *notch* yang terdapat di permukaan material yang terbentuk akibat pengerjaan *manufactur* dan fabrikasi maupun *brittle* yang disebabkan karena pengaruh panas pengelasan lebih berpotensi sebagai titik awal terjadinya retak akibat beban bending *fatigue*.
- c. *Spatter* yang terdapat pada permukaan material menyebabkan kerapatan arus lebih tinggi dibandingkan dengan material tanpa *spatter*. Kerapatan arus tersebut berhubungan dengan unsur yang terkandung dalam *spatter* yaitu Kalium (K) yang lebih anodik dibandingkan dengan besi (Fe). Hal tersebut berpengaruh terhadap laju korosi di mana laju korosi lebih besar dibandingkan dengan daerah tanpa *spatter*. Pada media air payau, laju korosi pelat tanpa *spatter* adalah 0,275 mpy sedangkan pelat dengan *spatter* 1,120 mpy. Dengan media air laut dangkal, laju korosi untuk material tanpa *spatter* 0,3671 mpy dan untuk pelat *spatter* 2,677 mpy.

5.2 Saran

Beberapa saran yang berkaitan dengan tesis ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui pengaruh *spatter* terhadap konstruksi kapal disarankan dilakukan pengujian korosi bending *fatigue* di mana uji *fatigue* dengan beban bending dilakukan di lingkungan yang korosif.
- b. Penelitian lanjut dapat dilakukan untuk melihat pengaruh *spatter* terhadap ketahanan *coating* pada badan kapal.
- c. Penelitian dapat dilakukan untuk mengetahui pengaruh arus laut terhadap laju korosi pada badan kapal.



DAFTAR REFERENSI

- Analyzing Material Fatigue, <http://failure-analysis.info/2010/05/analyzing-material-fatigue/>
- Annual Book of ASTM Standards Section 3 Metals Test Methods and Analytical Procedures, Volume 03.01. (1999)
- ASM International, Handbook Committee II (1990). ASM Handbook. Volume 1: Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys.
- ASM International, Handbook Committee II (1990). ASM Handbook. Volume 6: Welding, brazing and soldering.
- Callister, W., D. (1997). Fourth edition, Material Science and Engineering – An Introduction, John Wiley and Sons, Inc. Canada.
- Colangelo, V. J., & Heiser, F. A. (1974). Analysis of Metallurgical Failures, New York: John Wiley & Sons.
- Fontana, Mars G., Greene, Norbert D., Corrosion Engineering, Second Edition, McGraw-Hill international book company, 1978.
- Gheorghies, C., Palaghian, L., Baicean, S., Buciumeau, M., Ciortan, S. (2011). Fatigue behaviour of naval steel under seawater environmental and variable loading conditions. Journal of iron and steel research, international, 18 (5), 64-69.
- IACS Blue Books, Recommendations No. 47 Shipbuilding and Repair Quality Standard, Part B Repair Quality Standard for Existing Ship, Table 4.2, 1996/ Rev. 3 Nov 2006.
- International standard ISO 11782-1 Corrosion of Metals and Alloys – Corrosion Fatigue Testing – Part 1: Cycles to failure testing, first edition 1998-07-15.
- Kou, Sindo (2003). Welding metallurgy, second edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Masduky, Yudi. Pengantar Inspeksi Las, Research Centre for Material Science, Universitas Indonesia
- Mita, T., Spatter Reduction – Power Source Considerations, Welding International 1991 5(11) 847-850.

LAMPIRAN 1
LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA





PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA (PERSERO)
UNIT KONSULTANSI & SUPERVISI

Address : Jl. Yos Sudarso 38 – 39 – 40 Tanjung Priok, Jakarta Utara 14320, INDONESIA
 Telp. : (62-21)4301017,43938304, 4300762, 4300931, Facsimile: (62-21) 43900972,43912806
 P.O. Box : 1010/JKU
 E-mail : bkiks@klasifikasiindonesia.com
 Iso 9001 : 2000 CERTIFIED COMPANY

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

No:

3/19/2012 3:36:36 PM

Method: Fe-01

Comment: Orientation Fe-Base Element concentration

Pemakai Jasa:
SATLITBANG

Identitas Bahan:
PELAT

Bahan:
KI - A

Alamat:
BKI

Tanggal Terima:
19 MARET 2012

Mesin Uji:
SPECTROLAB

Melode Uji:
ASTM E 415

Temperatur:
25 C

Halaman:
1 dari 1

Nilai Standar:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.503	0.225	0.702	0.0144	0.0022	0.0504	0.0114	0.0410
2	0.103	0.0458	0.609	0.0134	0.0038	0.0314	0.0102	0.0306
3	0.117	0.0595	0.537	0.0198	0.0023	0.0255	0.0090	0.0351
< X > (3)	0.241	0.107	0.616	0.0159	0.0028	0.0358	0.0102	0.0355
sd	0.227	0.102	0.0824	0.0035	0.00037	0.0131	0.0012	0.0052
rsd	94.2	94.8	13.4	21.8	31.3	36.5	11.8	14.7

	Al	Ti	V	W	Fe	C_eq		
	%	%	%	%	%	%		
1	0.0247	0.0056	0.0024	0.0248	98.4	0.636		
2	0.0449	0.0068	0.0045	0.0247	99.1	0.215		
3	0.0429	0.0077	0.0030	0.0193	99.1	0.215		
< X > (3)	0.0375	0.0067	0.0033	0.0223	98.9	0.356		
sd	0.0111	0.0011	0.0011	0.0031	0.409	0.242		
rsd	29.7	15.3	32.8	13.7	0.4	68.0		

Kepala Bidang Pengujian
 Head of Testing

YUDAS PASOMBA

LAMPIRAN 2
MILL TEST CERTIFICATE





PT. GUNUNG RAJA PAKSI
Plate Mill
MILL TEST CERTIFICATE



Purchaser : PT. BANJINDO HERAPRIMA

Acc to EN 10204 - 3 2

Head Office & Factory
Jl. Imam Bonjol 4, Warung Rongkok, Desa Sukadana,
Cikarang Barat, Bekasi, West Java, Indonesia

Material : Hot Rolled Steel Plates
Specification : KI - A
Dimensional Tolerance : BKI Class A
Supply Condition : As Rolled
Killed

CERTIFICATE NUMBER : GRP - QA
CERTIFICATE DATE : January 14
S / O No. : L 1129 A

HEAT NUMBER	PLATE NUMBER	DIMENSIONS			WEIGHT MT	QTY (PCS)	CHEMICAL LADLE ANALYSIS (%)													TENSILE TEST (TR Dir.)												
		T mm	W mm	L mm			C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	N	CE	Y.S. N/mm ²	T.S. N/mm ²	EL (1000)								
11Q3 U 2108355	A-01-8	6	1524	6096	6.570	15	0.14	0.13	0.20	0.009	0.010	0.012	<0.010	0.04	0.02	0.03	0.03	<0.01	<0.005	0.037	<0.005	0.007	0.006	0.27	348	329	344	459	459	40	38	
11Q3 U 2108355	A-01-9	6	1524	6096	3.942	9	0.14	0.21	0.72	0.012	0.013	0.013	<0.010	0.03	0.02	0.03	0.03	<0.01	<0.005	0.030	<0.005	0.008	0.008	0.27	350	323	392	471	465	491	37	34
11Q3 U 2108355	L-01-26	6	1524	6096	11.388	26	0.14	0.21	0.72	0.012	0.013	0.013	<0.010	0.03	0.02	0.03	0.03	<0.01	<0.005	0.030	<0.005	0.008	0.008	0.27	379	354	395	480	467	493	35	31
11Q3 U 2108355	L-01-46	6	1524	6096	2.628	6	0.14	0.21	0.72	0.012	0.013	0.013	<0.010	0.03	0.02	0.03	0.03	<0.01	<0.005	0.030	<0.005	0.008	0.008	0.27	379	354	395	480	467	493	35	31
11Q4 F 2618933	K-01-47	6	1524	6096	13.140	30	0.15	0.245	0.75	0.016	0.0051	0.001	0.001	0.01	0.02	0.01	0.01	0.001	0.002	0.041	0.001	0.001	0.0032	0.28	331	344	367	455	481	485	37	35
11Q3 X 415095	B-01-28	6	1524	6096	12.264	28	0.159	0.250	0.710	0.018	0.014	0.0020	0.0020	0.075	0.042	0.039	0.039	0.0028	0.0028	0.046	0.0016	0.0071	0.0071	0.29	388	365	394	493	499	502	38	35
					Total Weight	53.436	28	MT															EL (1000)									
					Total Qty	122	PCS															3.67/50										
11Q3 U 1110536	B-01-38	8	1524	6096	22.154	38	0.14	0.18	0.72	0.010	0.014	0.014	<0.010	0.05	0.03	0.03	0.03	<0.01	<0.005	0.040	<0.005	0.006	0.006	0.27	331	301	322	443	447	447	36	35
11Q3 U 1110536	K-01-10	8	1524	6096	5.830	10	0.14	0.18	0.72	0.010	0.014	0.014	<0.010	0.05	0.03	0.03	0.03	<0.01	<0.005	0.040	<0.005	0.006	0.006	0.27	331	301	322	443	447	447	36	35
11Q3 U 1110536	K-01-39	8	1524	6096	5.247	9	0.14	0.18	0.72	0.010	0.014	0.014	<0.010	0.05	0.03	0.03	0.03	<0.01	<0.005	0.040	<0.005	0.006	0.006	0.27	331	301	322	443	447	447	36	35
11Q3 U 1110544	C-01-35	8	1524	6096	20.405	35	0.15	0.22	0.69	0.012	0.012	<0.010	0.05	0.02	0.04	0.04	0.04	<0.01	<0.005	0.030	<0.005	0.006	0.006	0.28	346	309	319	466	452	449	32	30
					Total Weight	53.636	35	MT															EL (1000)									
					Total Qty	92	PCS															3.67/50										

REMARKS:

Handwritten signature

We hereby certify that the material was manufactured by an approved process and tested in accordance with the Rules for Materials of Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) and the requirement were satisfied.

Handwritten signature
M. Johsan

BKI Surveyor

GRP.FM.QA.12

Prepared by:

Handwritten signature
Edwin Yn

Uswatun Khasanah
Quality Assurance

Acknowledged by:
Handwritten signature

LAMPIRAN 3
LAPORAN UJI TARIK





PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA (PERSERO)
UNIT KONSULTANSI & SUPERVISI

Address : Jl. Yos Sudarso 38 – 39 – 40 Tanjung Priok, Jakarta Utara 14320, INDONESIA
 Telp. : (62-21)4301017,43938304, 4300762, 4300931, Facsimile: (62-21) 43900972,43912806
 P.O. Box : 1010/JKU
 E-mail : bkiks@klasifikasiindonesia.com
 Iso 9001 : 2000 CERTIFIED COMPANY

LAPORAN UJI MEKANIK

Report of Mechanical Test

No. :

Pemakai Jasa <i>Customer</i>	: LITBANG - BKI	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	: PLATE 6 mm K I A
Alamat <i>Address</i>	: JAKARTA	Metode Uji <i>Test Methode</i>	: EN 10002 - 1 : 1991
Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	: 08 May 2012	Mesin Uji <i>Testing Machine</i>	: TREBEL 25 T
Tanggal Uji <i>Date of test</i>	: 08 May 2012	Halaman <i>Page</i>	: dari
Suhu Uji <i>Test Temperature</i>	: Room		

UJI TARIK
TENSION TEST

Kode Sample <i>Sample Code</i>		T 1		
Ukuran <i>Dimension</i>	mm	6 X 26		
Luas Penampang <i>Area Section</i>	mm ²	156,00		
Beban Ukur <i>Yield Point</i>	Kgf	6000		
Batas Ulur <i>Yield Strength</i>	Kgf/mm ² N/mm ²	38,46 377		
Beban Maksimum <i>Maximum Load</i>	Kgf	7800		
Kuat Tarik <i>Tensile Strength</i>	Kgf/mm ² N/mm ²	50,00 491		
Regang A 5 <i>Elongation</i>	%	36,4		
Kontraksi <i>Reduction of Area</i>	%	-		
Lokasi Putus <i>Location of Fracture</i>		--		

LAMPIRAN 4
ANALISA KUALITAS AIR





PT. PETROLAB Services

Graha Mas Pemuda Commercial Centre
Blok AD/23 Taman Berdikari Sentosa,
Jl. Pemuda - Rawamangun, Jakarta 13220
Phone. (62-21) 471 7001 ; Fax. (62-21) 471 6985
E-mail : petrolab@cbn.net.id

Service : Regular

REPORT OF ANALYSIS

Nama Pelanggan : PASCA SARJANA FMIPA UI
(Customer Name)
Alamat : Jl. Salemba Raya No. 4, Jakarta 10430
(Address)
Ditujukan Kepada : Mrs. Siti Komariah
(Attention) (email : matsci@indo.net.id)
Telepon/Faks : Telpn. 021 - 3907694 / Fax. 021-31938136
(Phone/Fax)
Untuk Pelanggan : -
(Attention)
Parameter Analisa : Kualitas Air
(Parameter)
Matrik Sampel : Cairan
(Sample Matrix)

No. Pekerjaan : ENV-011/PS-IV/2012
(Serial Number)
Tgl. Sampling : -
(Sampling Date)
Tgl. Penerimaan : 11 April 2012
(Received Date)
Tgl. Analisis : 11 - 18 April 2012
(Analysis Date)
Tgl. Laporan : 19 April 2012
(Report Date)
No. Lab : 01071/ENV/12
(Lab. No.)
Kode Sampel : Laut Dangkal
(Sample Code)

No.	PARAMETER	HASIL	SATUAN	METODE
1	pH (Lab)	7.85	-	SNI 06-6989.11-2004
2	Salinitas	27.75	‰	MU/5.4/01/04-ENV008
3	Oksigen Terlarut DO	4.71	mg/L	SNI 06-6989.14-2004
4	Zat Padat Terlarut (TDS)	35623.2	mg/L	Conductometer "Lovibond"
5	Conductivity	56500	µS	Conductometer "Lovibond"

Keterangan : -

Manager Teknis,

Anna. M.Si.

RK/5.10/01/01/07

Catatan : Pengaduan tidak dilayani setelah 30 hari dari tanggal Report diterbitkan.
Note Complaint Not Served After 30 Days From Date of Report Published

" Let's Make Your Work Environment Healthy "



PT. PETROLAB Services

Graha Mas Pemuda Commercial Centre
Blok AD/23 Taman Berdikari Sentosa,
Jl. Pemuda - Rawamangun, Jakarta 13220
Phone. (62-21) 471 7001 ; Fax. (62-21) 471 6985
E-mail : petrolab@cbn.net.id

Service : Regular

REPORT OF ANALYSIS

Nama Pelanggan : PASCA SARJANA FMIPA UI
(Customer Name)
Alamat : Jl. Salemba Raya No. 4, Jakarta 10430
(Address)
Ditujukan Kepada : Mrs. Siti Komariah
(Attention)
Telepon/Faks : Telpn. 021 - 3907694 / Fax. 021-31938136
(Phone/Fax)
Untuk Pelanggan : -
(Attention)
Parameter Analisa : Kualitas Air
(Parameter)
Matrik Sampel : Cairan
(Sample Matrix)

No. Pekerjaan : ENV-007/PS-IV/2012
(Serial Number)
Tgl. Sampling : -
(Sampling Date)
Tgl. Penerimaan : 05 April 2012
(Received Date)
Tgl. Analisis : 5 - 14 April 2012
(Analysis Date)
Tgl. Laporan : 12 April 2012
(Report Date)
No. Lab : 01061/ENV/12
(Lab. No.)
Kode Sampel : Air Payau
(Sample Code)

No.	PARAMETER	HASIL	SATUAN	METODE
1	pH (Lab)	7.19	-	SNI 06-6989.11-2004
2	Salinitas	27.25	‰	MU/5.4/01/04-ENV008
3	Oksigen Terlarut DO	2.33	mg/L	SNI 06-6989.14-2004
4	Zat Padat Terlarut (TDS)	48000	mg/L	Conductometer "Lovibond"
5	Conductivity	57750	µS	Conductometer "Lovibond"

Keterangan : -

Manager Teknis,

Anna. M.Si.

RK/5.10/01/01/07

Catatan : Pengaduan tidak dilayani setelah 30 hari dari tanggal Report diterbitkan.

Note Complaint Not Served After 30 Days From Date of Report Published

" Let's Make Your Work Environment Healthy "

LAMPIRAN 5
HASIL PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS



LAMPIRAN 6
CYCLIC POTENTIODYNAMIC POLARIZATION

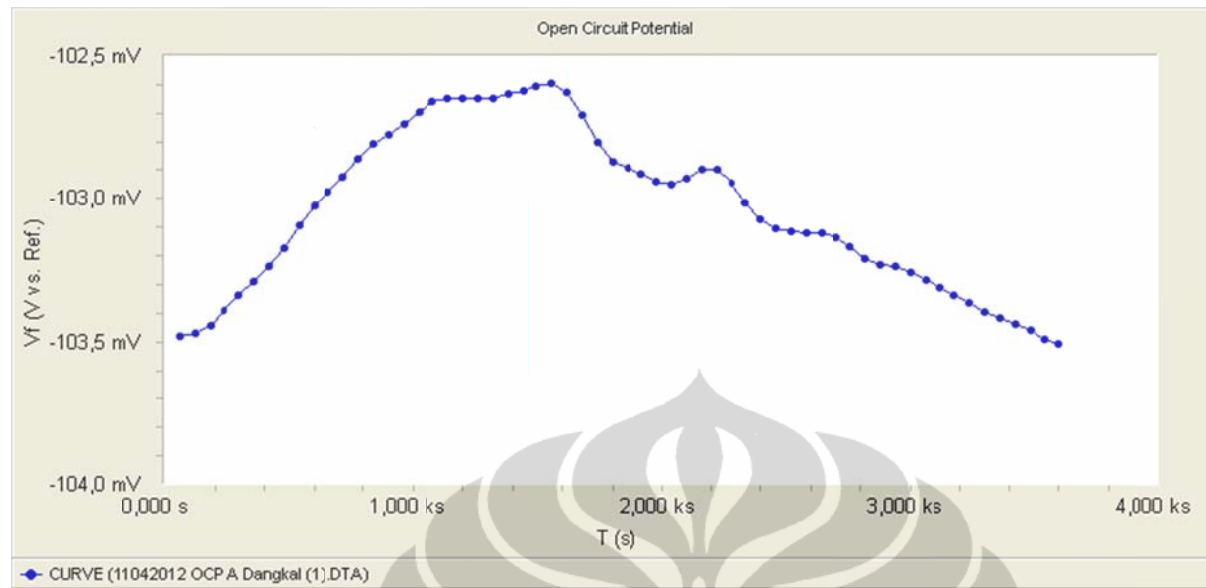




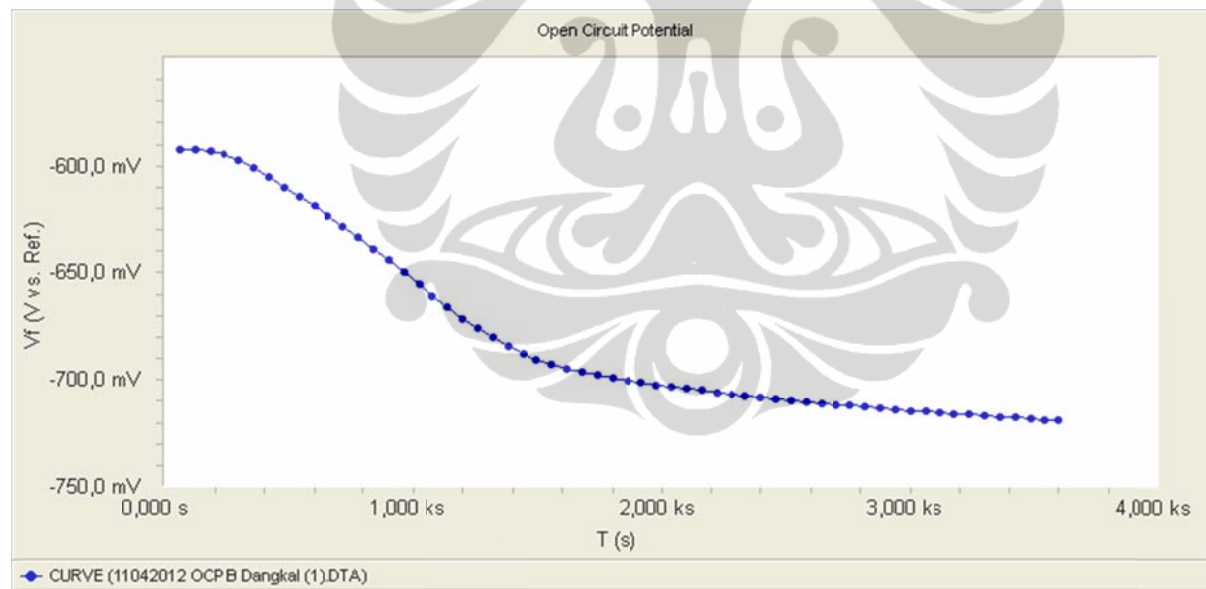
LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

A. OPEN CIRCUIT

1. Air Laut Payau - Sampel A

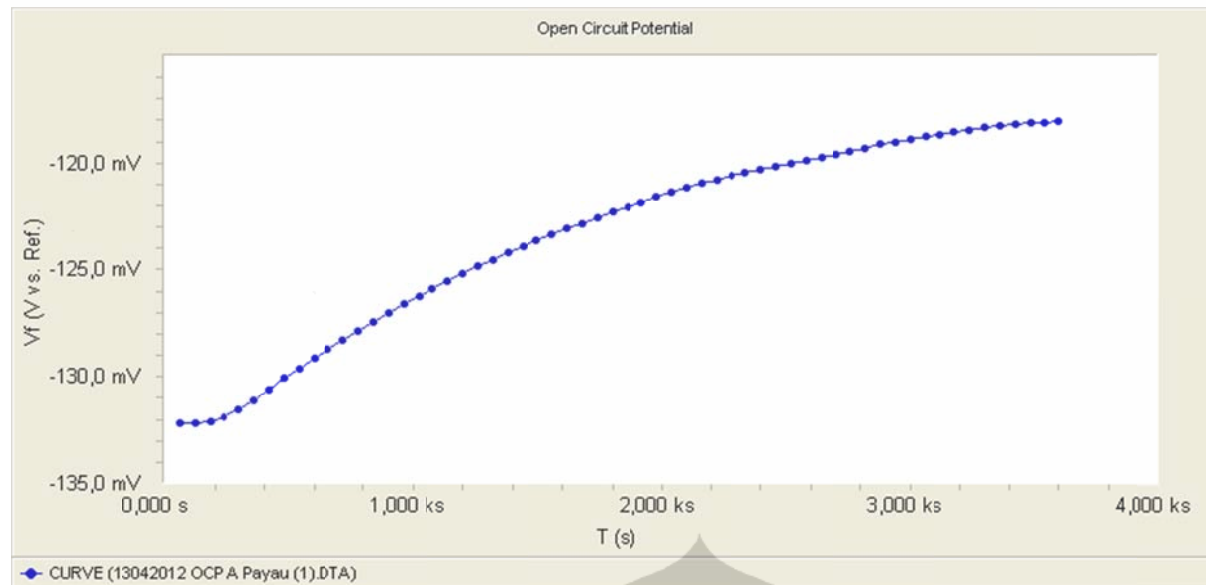


2. Air Laut Payau - Sampel B

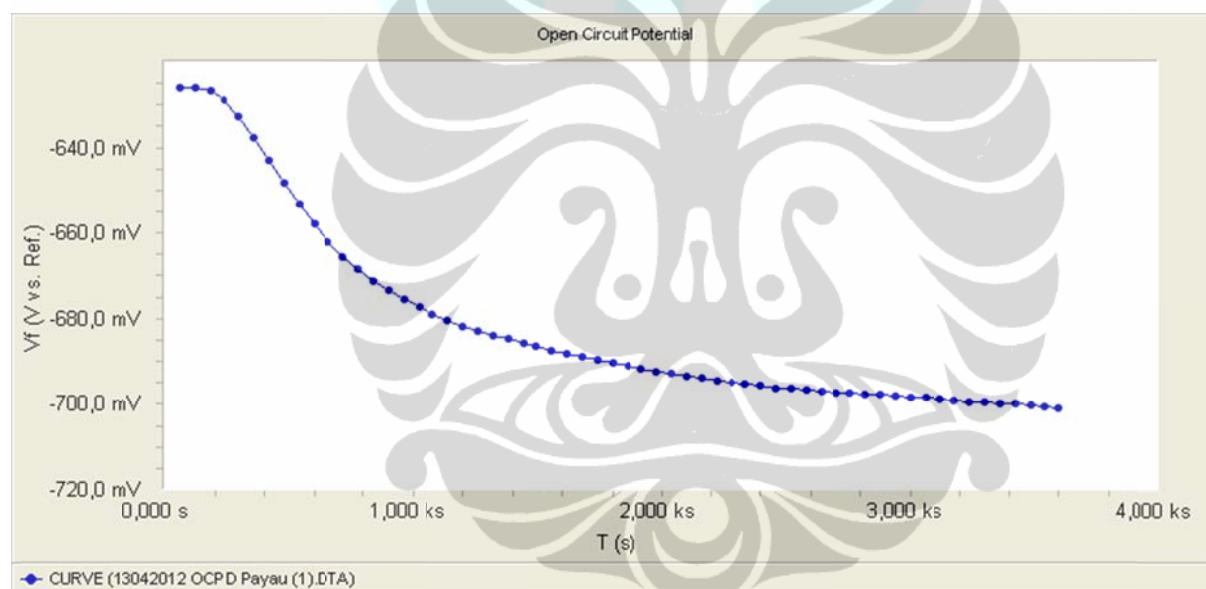




3. Air Dangkal - Sampel A



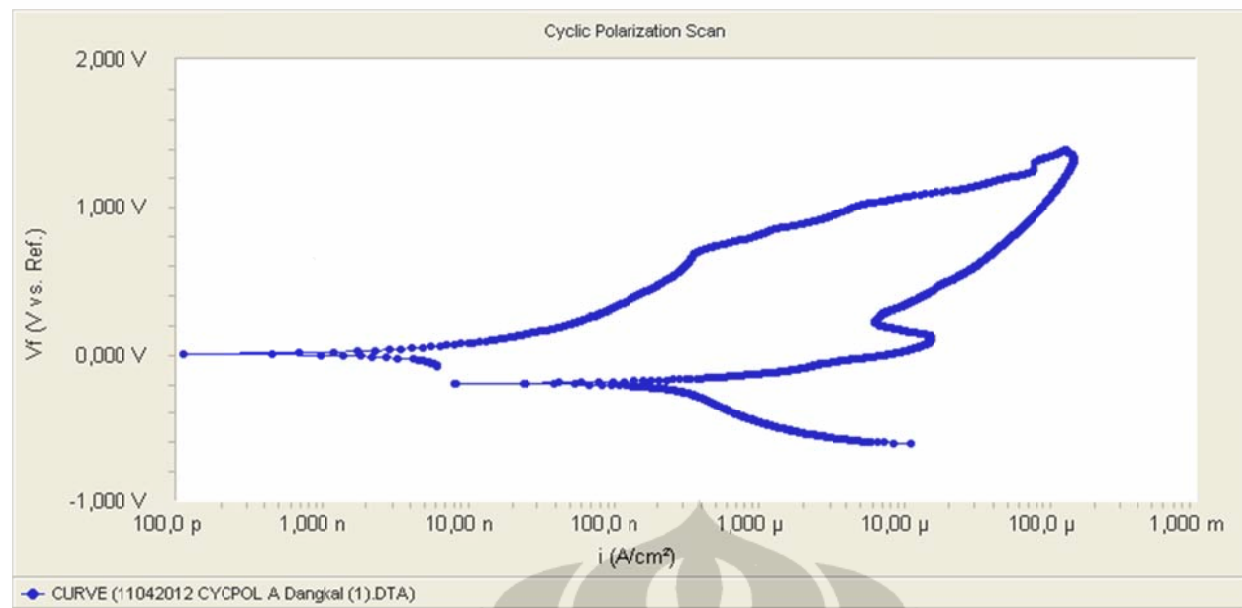
4. Air Dangkal - Sampel D



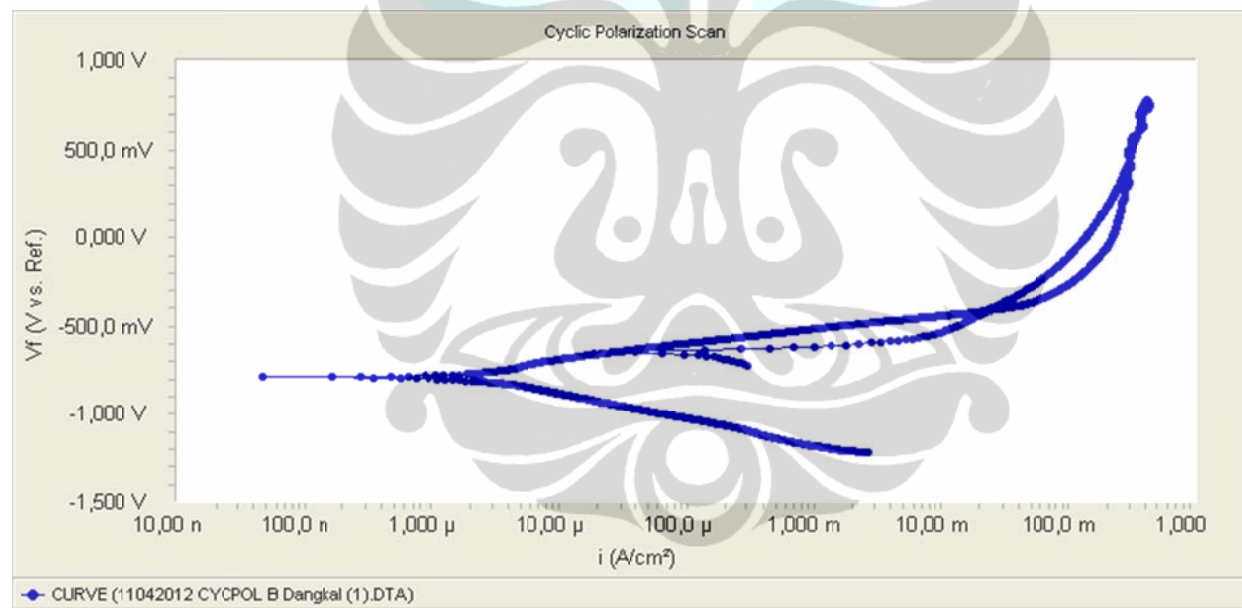


B. CYCLIC POTENTIODYNAMIC POLARIZATION

1. Air Laut Payau- Sampel A

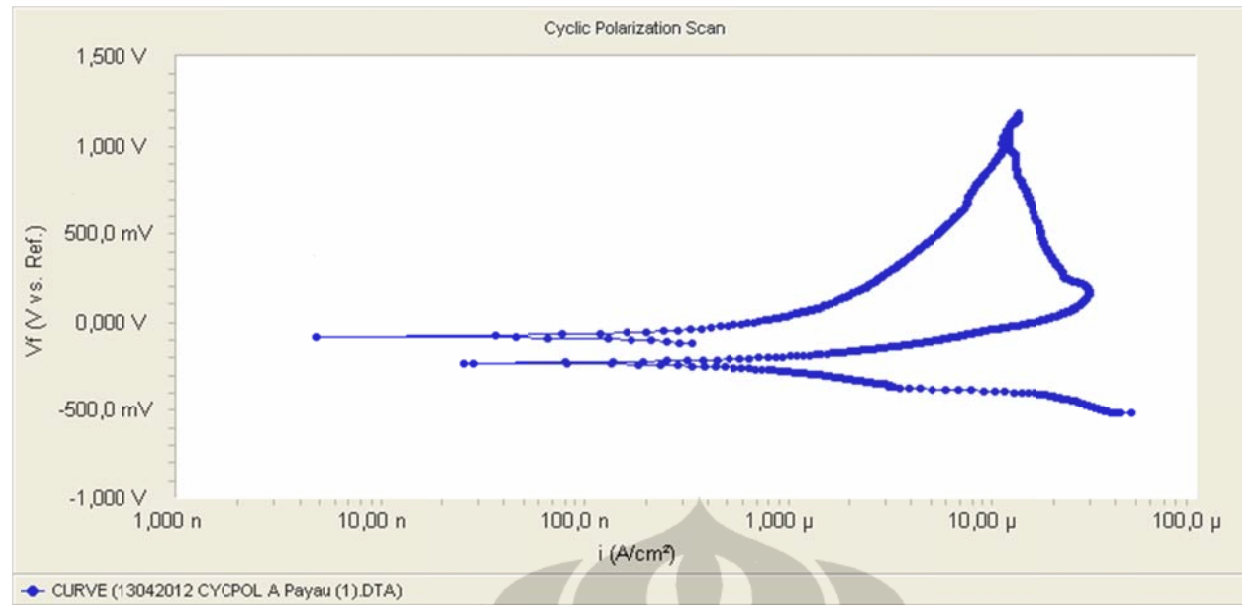


2. Air Laut Payau- Sampel B

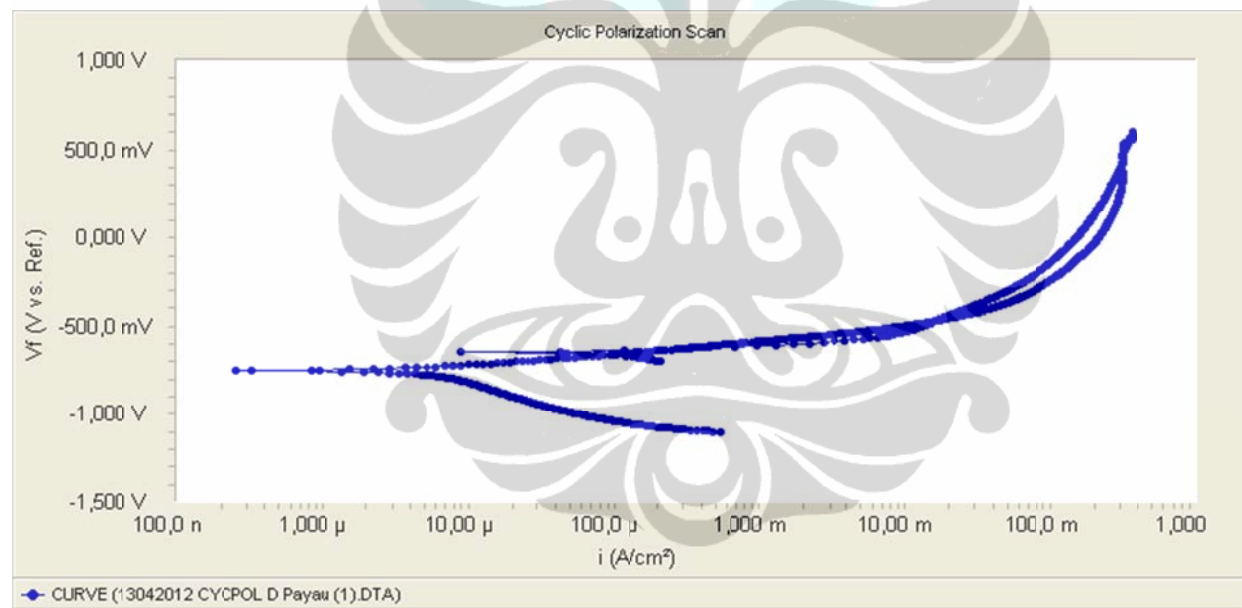




3. Air Dangkal - Sampel A



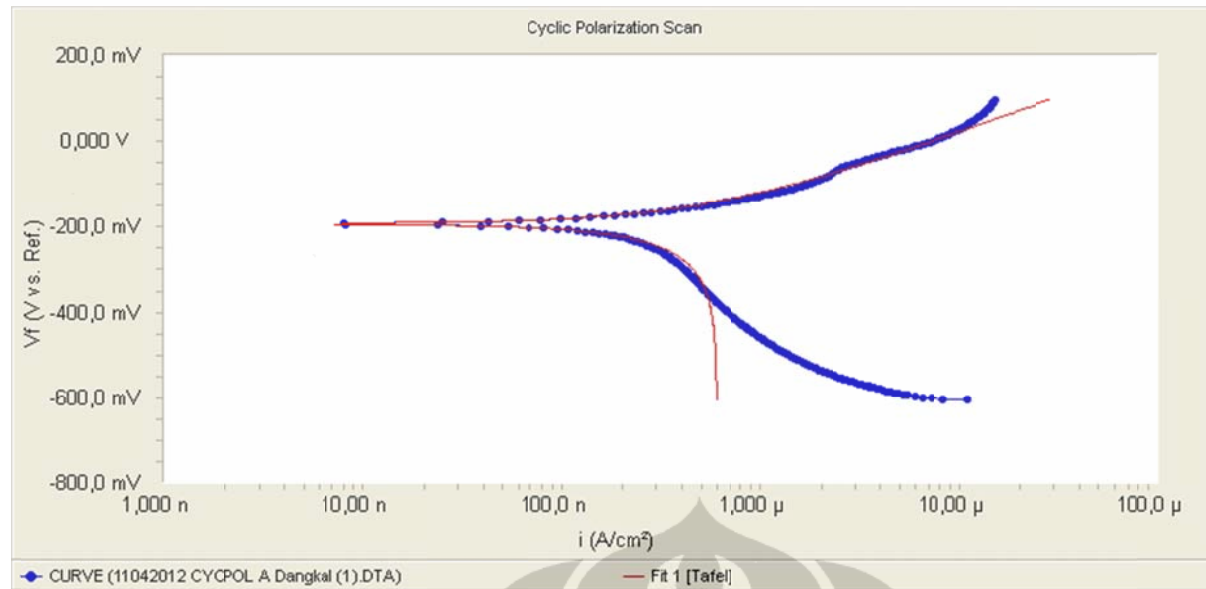
4. Air Dangkal - Sampel D





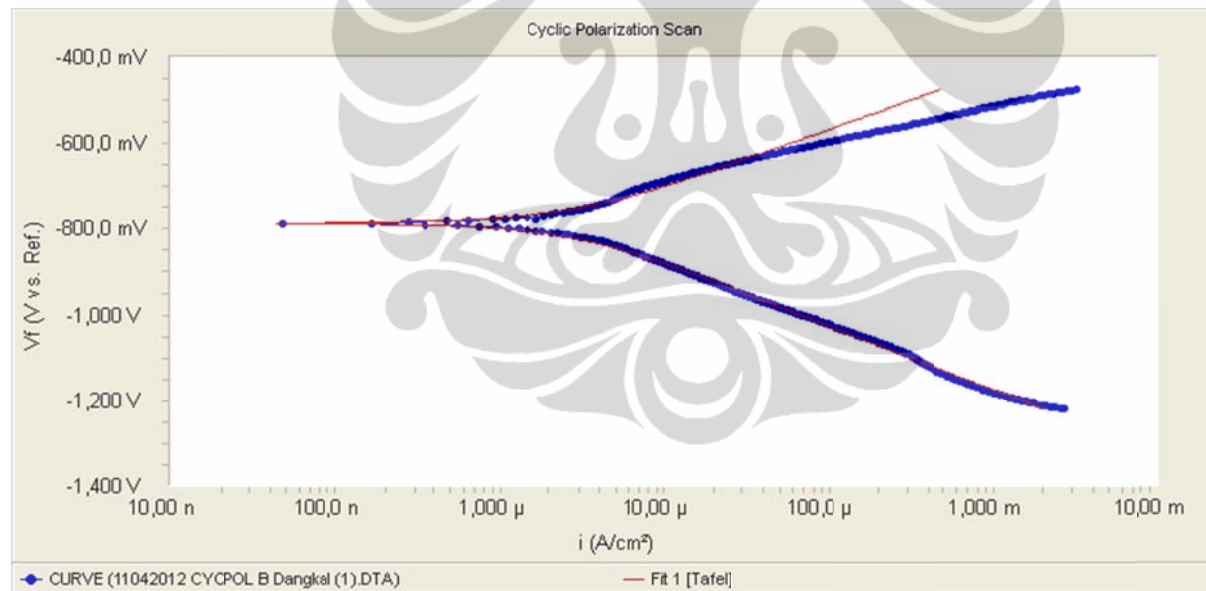
C. TAFEL PLOT

1. Air Laut Payau - Sampel A



Beta A	172,2e-3 V/decade	Icorr	599,0e-9 A/cm ²	Corrosion Rate	275,0e-3 mpy
Beta C	1,000e15 V/decade	Ecorr	-192,0 mV	Chi Squared	2,011

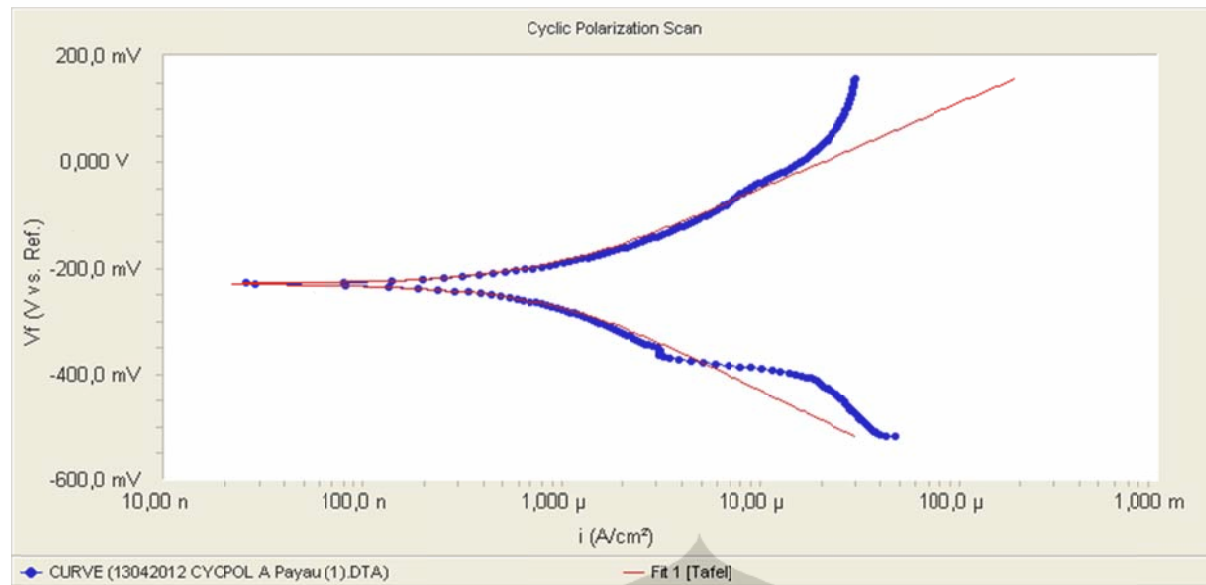
2. Air Laut Payau - Sampel B



Beta A	136,0e-3 V/decade	Icorr	2,440e-6 A/cm ²	Corrosion Rate	1,120 mpy
Beta C	148,6e-3 V/decade	Ecorr	-787,0 mV	Chi Squared	6,069

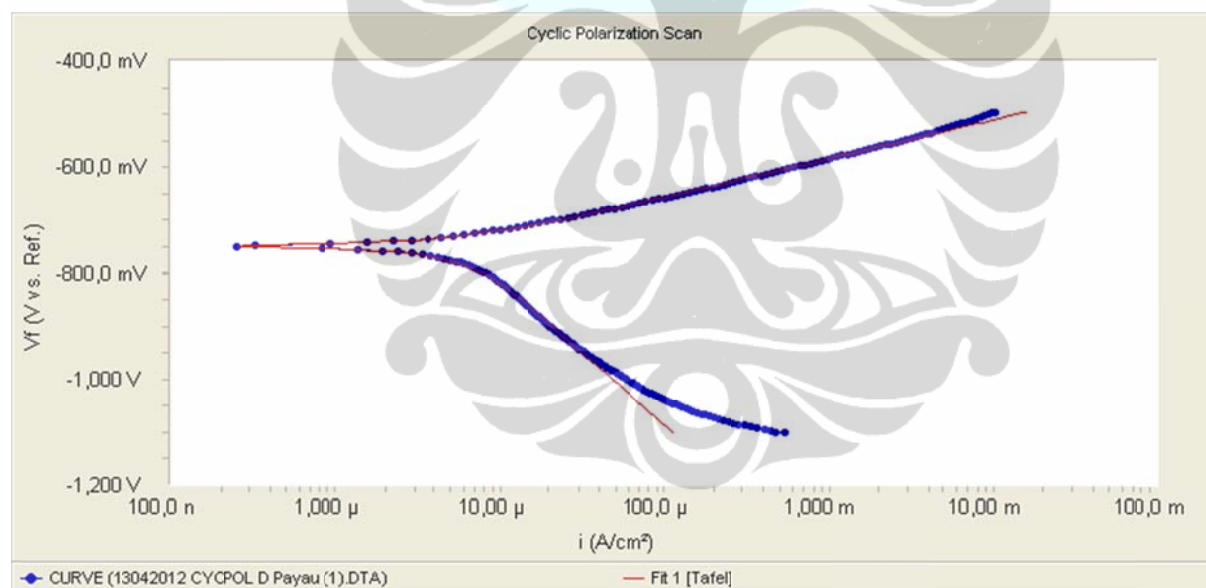


3. Air Laut Dangkal- Sampel A



Beta A	162,7e-3 V/decade	Icorr	799,0e-9 A/cm ²	Corrosion Rate	367,1e-3 mpy
Beta C	184,0e-3 V/decade	Ecorr	-229,0 mV	Chi Squared	8,264

4. Air Laut Dangkal - Sampel D



Beta A	73,80e-3 V/decade	Icorr	5,830e-6 A/cm ²	Corrosion Rate	2,677 mpy
Beta C	273,0e-3 V/decade	Ecorr	-749,0 mV	Chi Squared	274,8e-3

LAMPIRAN 7
HASIL UJI BENDING *FATIGUE*





BALAI BESAR TEKNOLOGI KEKUATAN STRUKTUR

LAPORAN PENGUJIAN

Test Report

Halaman 1 Dari 1
Page Of

Nomor
Number

Pemakai Jasa : Fakultas MIPA
Univ. Indonesia

Tanggal : 19 Maret 2012
No. 2722/PL/XI/2011

Mesin Uji : PWS 0037

Permukaan : Halus dan spatter

Ratio Tegangan : R = -1

Batas Siklus : $N_G = 10^6$

Benda Uji : Pelat 6 mm

Bahan : Steel

Standar Uji : JIS Z 2274

Jenis Beban : Bending

Frekuensi : 25 Hz

Tabel 1 : Hasil Pengujian

No	Dimensi (mm)	Permukaan	Tegangan Bending σ_a (N/mm ²)	Jumlah Siklus	Keterangan
1.	20,75x5,78	H	350	26 300	Patah (x)
2.	20,78x5,76	H	300	97 200	Patah (x)
3.	20,73x5,81	H	250	567 100	Patah (x)
4.	19,69x5,83	S	350	23 200	Patah (x)
5.	19,37x5,85	S	300	87 200	Patah (x)
6.	19,76x5,83	S	250	509 100	Patah (x)



Dikerjakan oleh
Prepared by

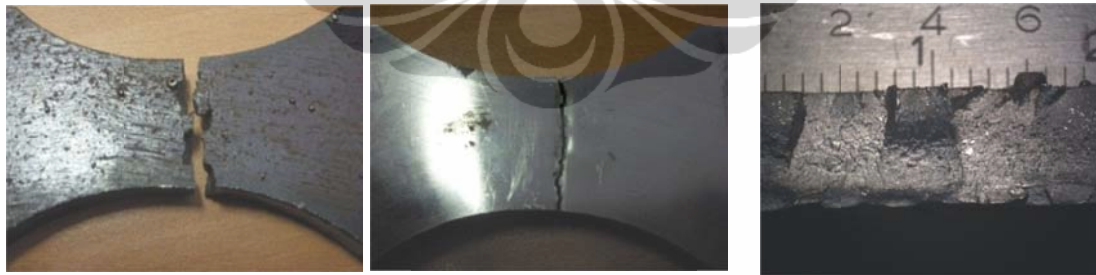
Diperiksa oleh
Checked by



Gambar L.1 Hasil uji *fatigue* – tanpa *spatter*



Gambar L.2 Hasil uji *fatigue* – *spatter*



Gambar L.3 Hasil uji *fatigue* – *spatter*

LAMPIRAN 8
HASIL SEM/EDAX

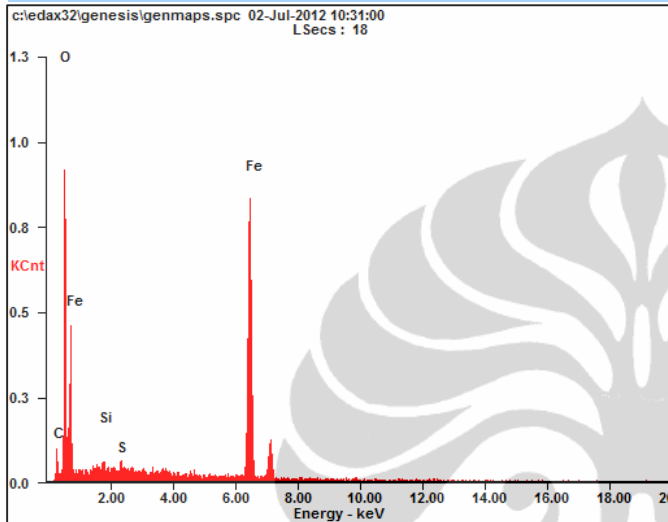


Microanalysis Report

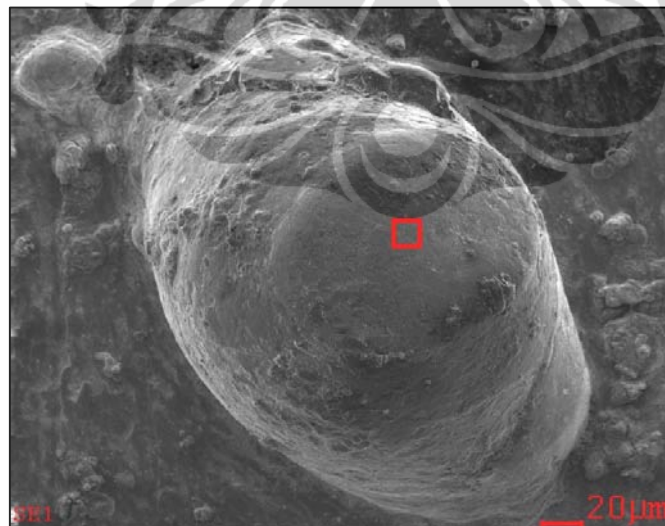
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	06.52	16.02
<i>OK</i>	25.84	47.70
<i>SiK</i>	00.62	00.65
<i>SK</i>	00.48	00.44
<i>FeK</i>	66.53	35.18
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

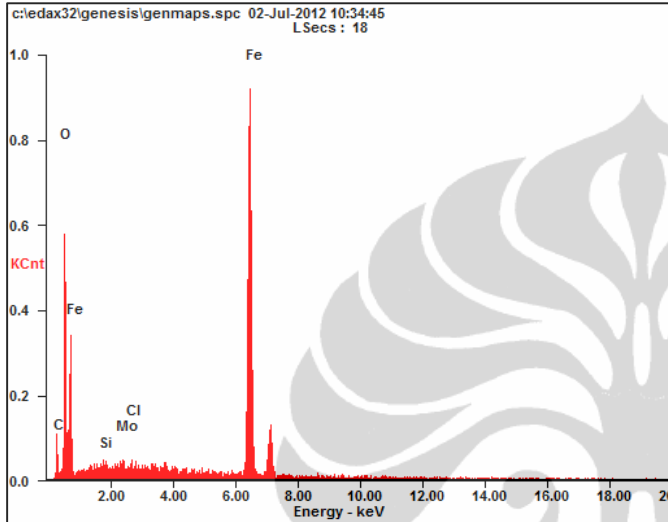


Microanalysis Report

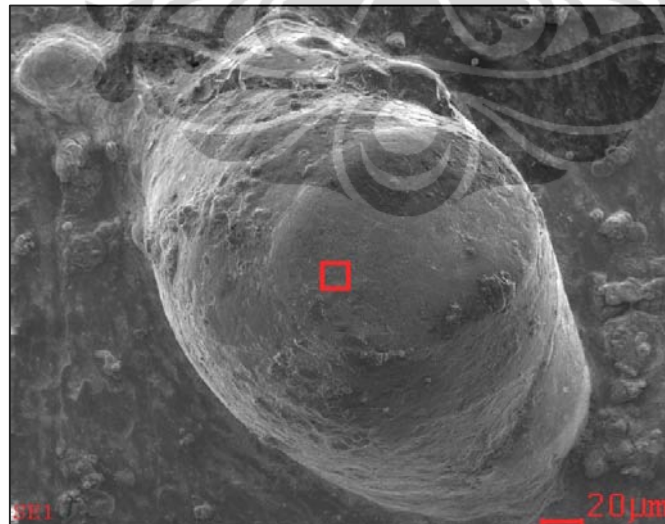
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



Element	Wt%	At%
CK	07.53	20.07
OK	18.74	37.49
SiK	00.55	00.63
MoL	01.17	00.39
ClK	00.46	00.42
FeK	71.54	41.00
Matrix	Correction	ZAF

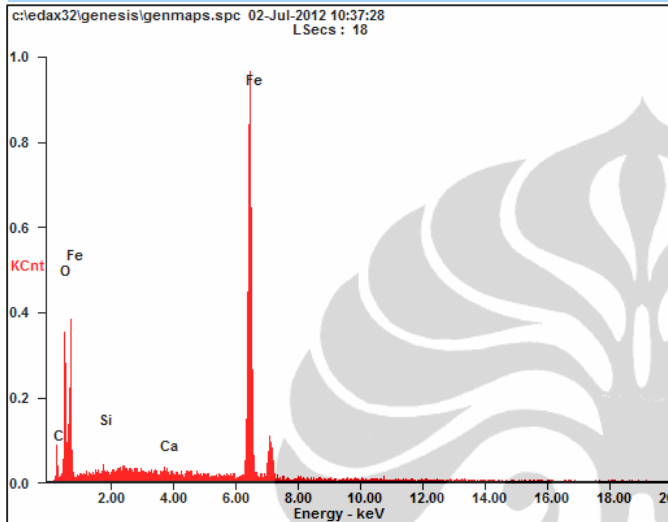


Microanalysis Report

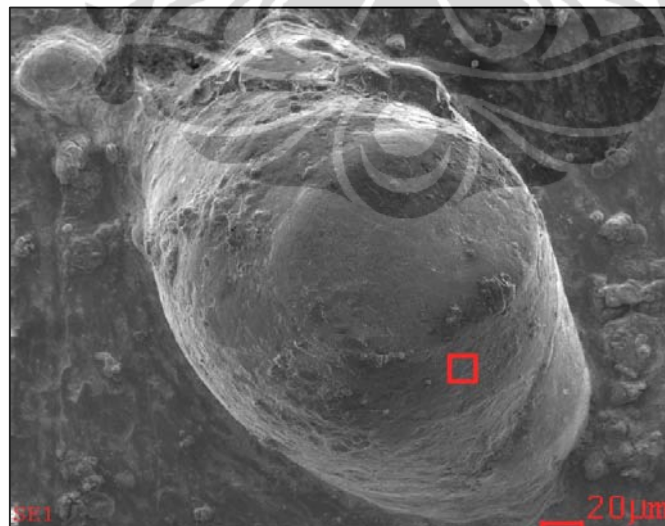
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



Element	Wt%	At%
CK	06.39	19.25
OK	12.12	27.40
SiK	00.71	00.92
CaK	00.50	00.45
FeK	80.28	51.99
Matrix	Correction	ZAF

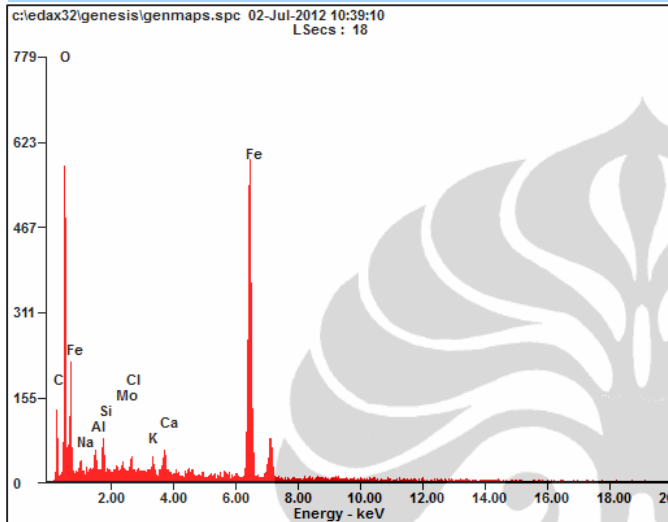


Microanalysis Report

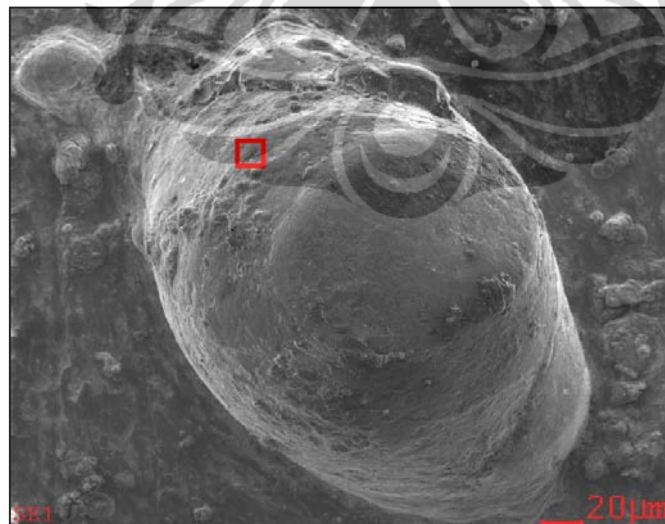
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



Element	Wt%	At%
CK	12.71	27.41
OK	25.38	41.08
NaK	01.59	01.80
AlK	01.11	01.06
SiK	01.57	01.45
MoL	00.78	00.21
ClK	00.79	00.58
KK	00.76	00.51
CaK	01.46	00.94
FeK	53.83	24.96
Matrix	Correction	ZAF

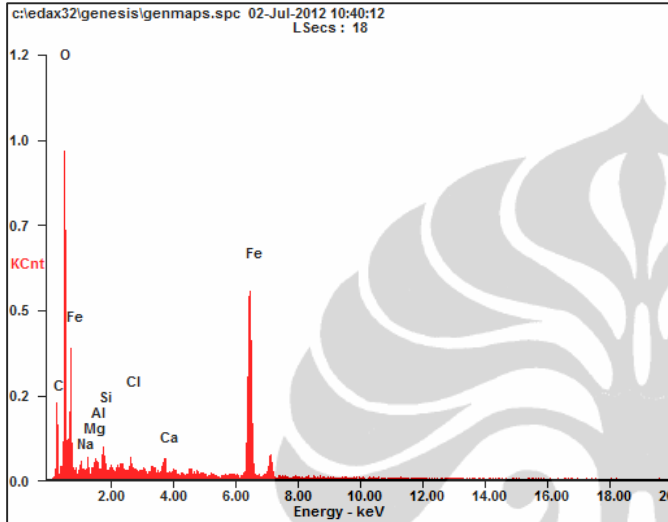


Microanalysis Report

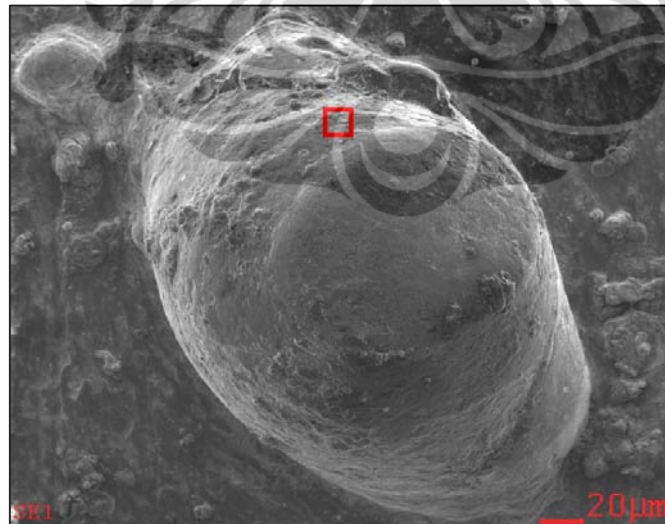
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



Element	Wt%	At%
CK	15.41	29.62
OK	31.76	45.83
NaK	01.59	01.60
MgK	00.85	00.80
AlK	00.80	00.69
SiK	01.31	01.08
ClK	00.91	00.59
CaK	01.32	00.76
FeK	46.04	19.03
Matrix	Correction	ZAF

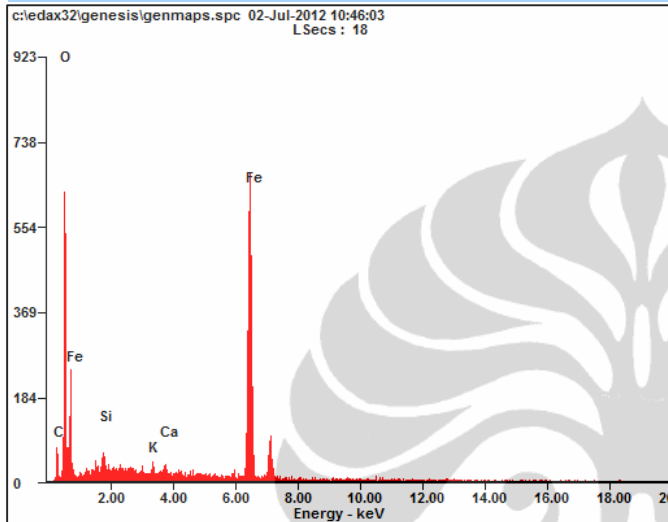


Microanalysis Report

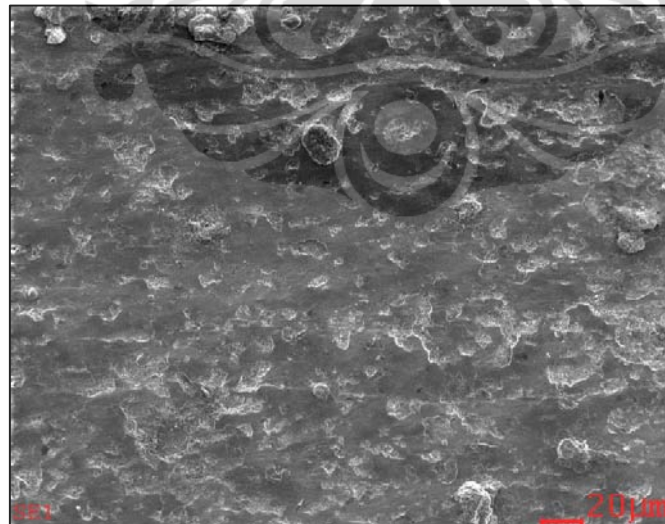
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



Element	Wt%	At%
CK	06.34	15.73
OK	25.07	46.72
SiK	01.09	01.16
KK	00.77	00.58
CaK	00.87	00.64
FeK	65.86	35.16
Matrix	Correction	ZAF

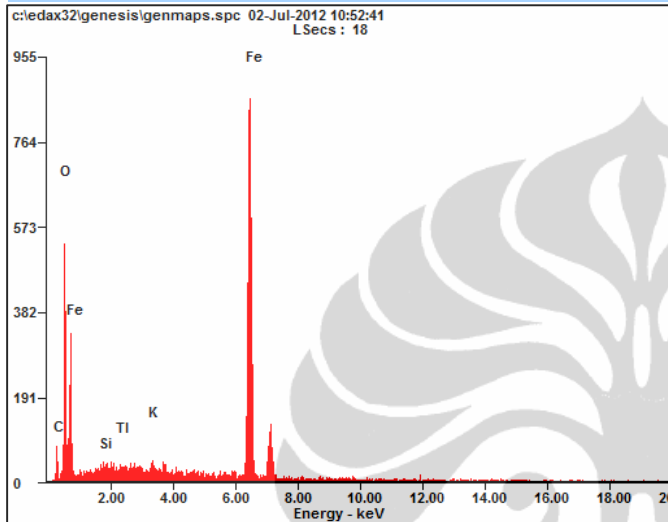


Microanalysis Report

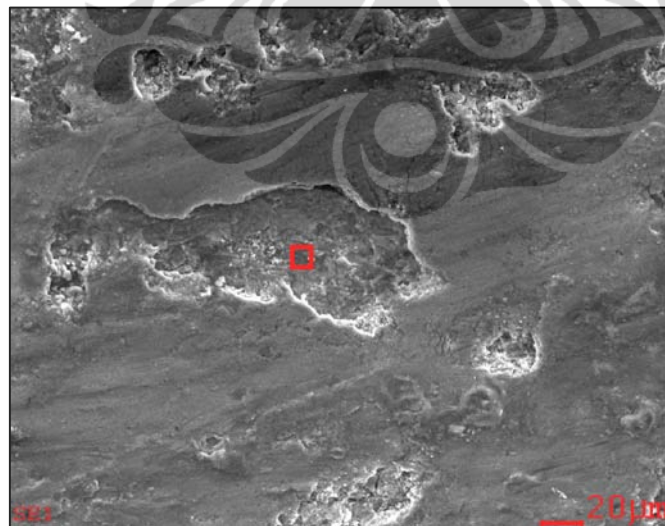
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



Element	Wt%	At%
CK	05.73	16.41
OK	16.72	35.91
SiK	00.51	00.63
TiK	01.20	00.20
KK	00.69	00.60
FeK	75.15	46.25
Matrix	Correction	ZAF

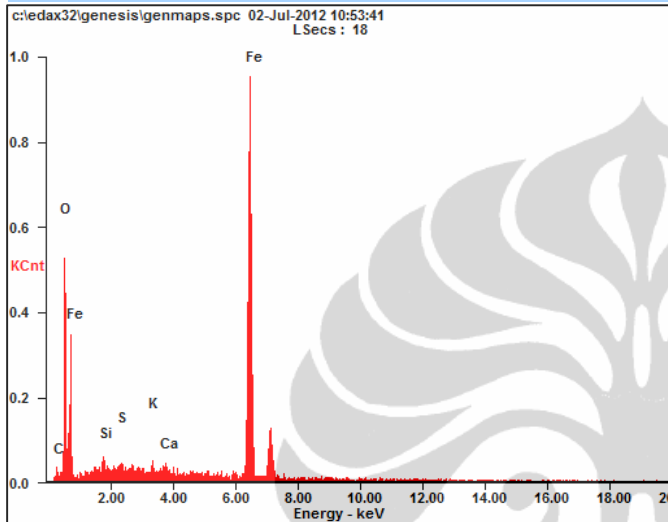


Microanalysis Report

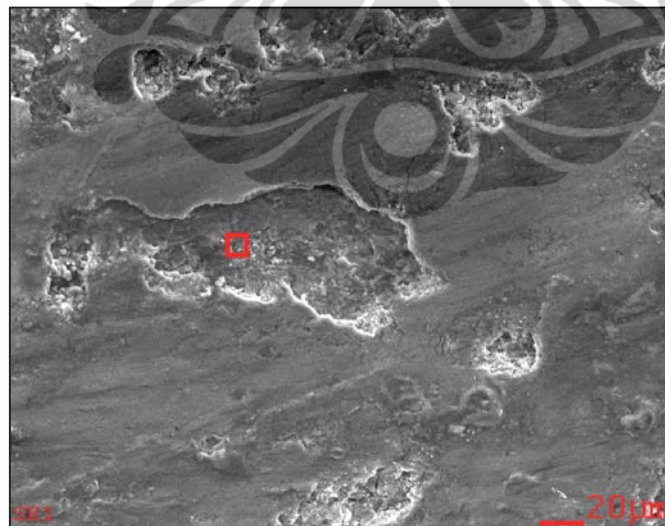
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



Element	Wt%	At%
CK	02.54	07.83
OK	15.89	36.77
SiK	01.15	01.51
SK	00.45	00.52
KK	00.58	00.55
CaK	00.74	00.69
FeK	78.65	52.13
Matrix	Correction	ZAF

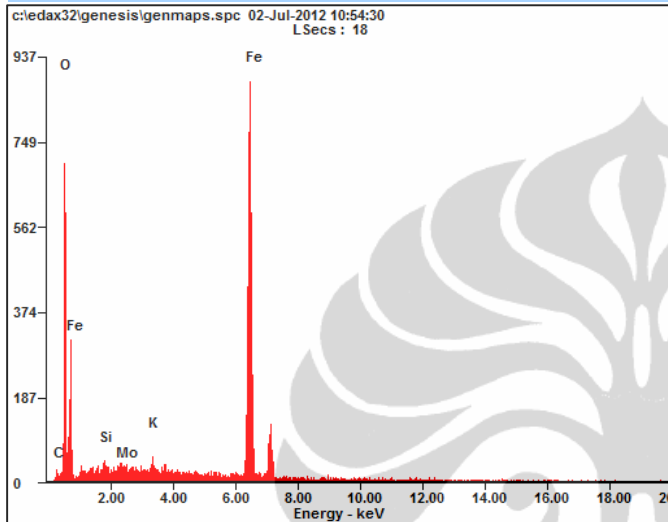


Microanalysis Report

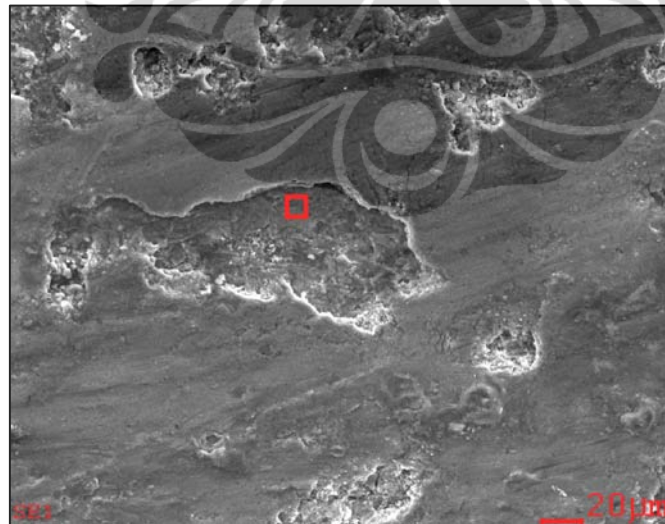
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



Element	Wt%	At%
<i>CK</i>	01.93	05.65
<i>OK</i>	20.55	45.23
<i>SiK</i>	00.51	00.64
<i>MoL</i>	00.99	00.36
<i>KK</i>	00.68	00.61
<i>FeK</i>	75.34	47.50
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

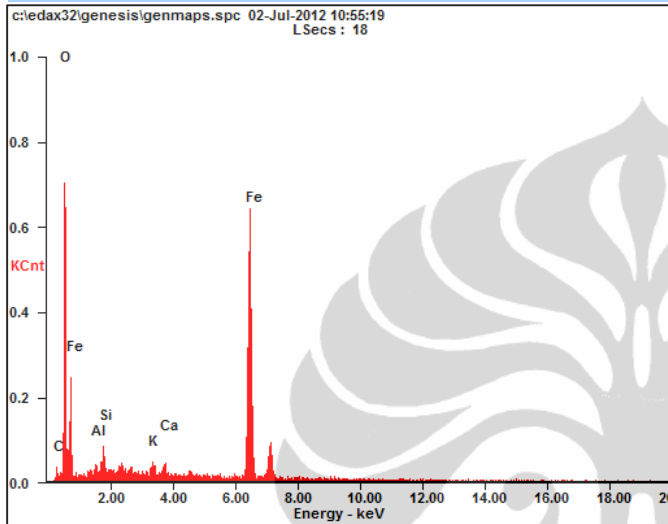


Microanalysis Report

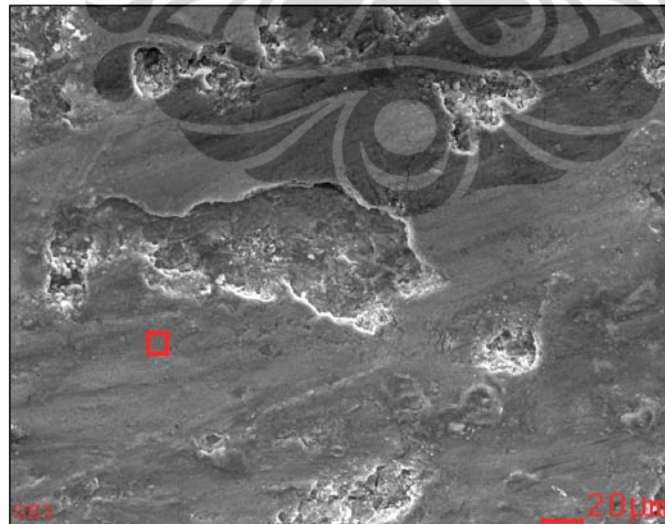
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	03.03	07.67
<i>OK</i>	27.63	52.50
<i>AlK</i>	00.94	01.06
<i>SiK</i>	01.96	02.13
<i>KK</i>	01.04	00.81
<i>CaK</i>	01.08	00.82
<i>FeK</i>	64.31	35.01
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

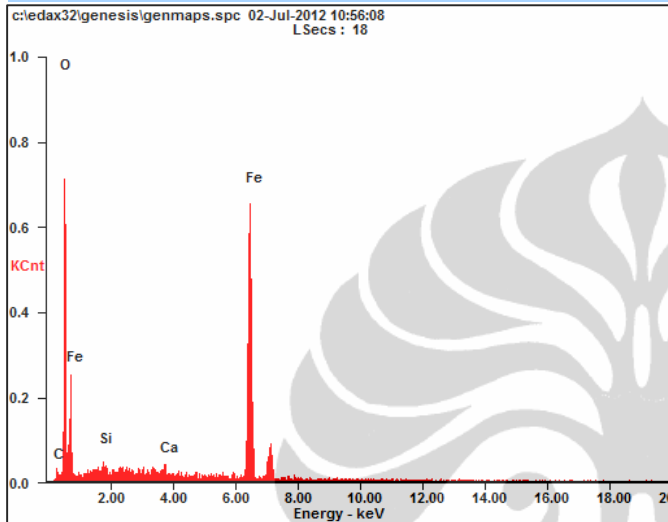


Microanalysis Report

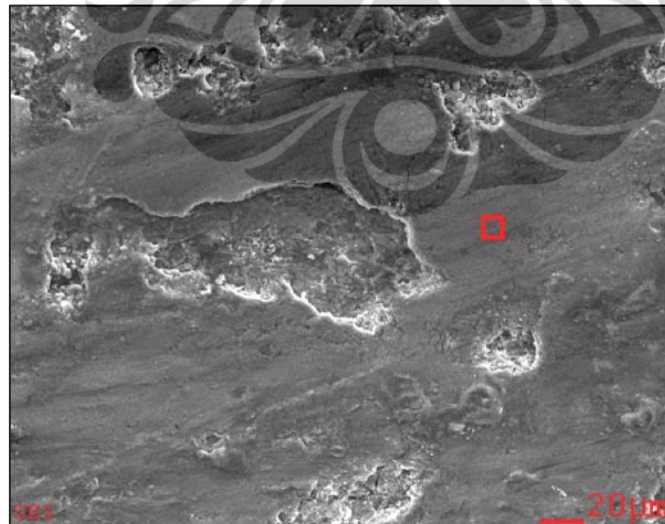
Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	02.61	06.89
<i>OK</i>	26.44	52.27
<i>SiK</i>	00.84	00.94
<i>CaK</i>	00.89	00.70
<i>FeK</i>	69.22	39.21
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

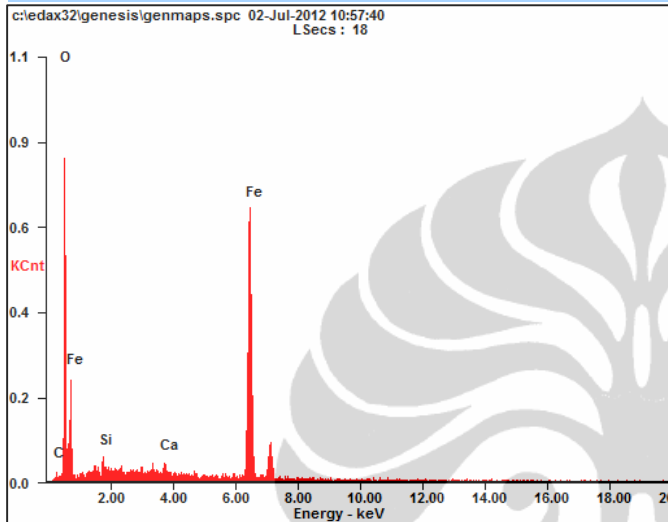


Microanalysis Report

Prepared for: *Siti Komariyah*

Prepared by: *Suryadi*

7/2/2012



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.82	04.87
<i>OK</i>	26.49	53.05
<i>SiK</i>	01.34	01.53
<i>CaK</i>	00.83	00.66
<i>FeK</i>	69.51	39.88
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

