



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KERUSAKAN PADA *LINE PIPE (ELBOW)* PIPA
PENYALUR INJEKSI DI LINGKUNGAN *GEO THERMAL***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

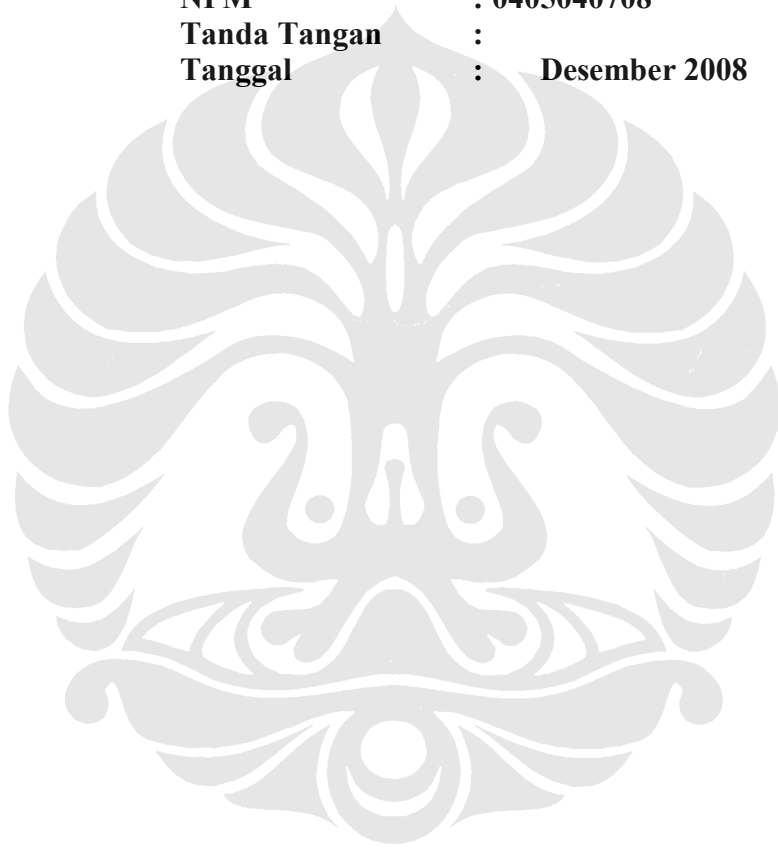
**WIRDA SAFITRI
0405040708**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Wirda Safitri
NPM : 0405040708
Tanda Tangan :
Tanggal : Desember 2008



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Wirda Safitri
NPM : 0405040708
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Analisis Kerusakan pada *Line Pipe (Elbow)* Pipa
Penyalur Injeksi di Lingkungan Geothermal

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 : Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi M, DEA (.....)
Penguji 1 : Ir. Andi Rustandi. M.T. (.....)
Penguji 2 : Deni Ferdian ST, M.Sc (.....)
Penguji 3 : Ir. Adrian (.....)

Ditetapkan di : Depok, Universitas Indonesia

Tanggal : 31 Desember 2008

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi 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 untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi M, DEA, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Pihak instalasi *geothermal* yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
4. Panji Martiandaru dan Haryanto Witjaksono, rekan sekaligus sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Desember 2008

Penulis

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

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

Nama : Wirda Safitri
NPM : 0405040708
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:

**Analisis Kerusakan pada *Line Pipe (Elbow)* Pipa Penyalur Injeksi di
Lingkungan Geothermal**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Desember 2008
Yang menyatakan

(Wirda Safitri)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	1
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1 Geothermal.....	4
2.1.1 Karakteristik Brine	6
2.2 Indeks Korosifitas	8
2.2.1 Indeks Korosifitas Langelier (LI).....	9
2.2.2 Indeks Korosifitas Ryznar (RI)	10
2.3 Korosi.....	11
2.3.1 Korosi Aqueous.....	12
2.3.2 Lingkungan Sebagai Faktor Korosi	13
2.3.3 Korosi di Bawah Terak (Under Scale Corrosion).....	17
2.4 Material	19
2.4.1 Komposisi dan Sifat Mekanis	19
2.4.2 Ketahanan Korosi.....	19
2.5 Proses Pengelasan Baja Karbon Pada Pipa	20
2.5.1 Umum.....	20
2.5.2 Kemampulan pada Baja Karbon	23
2.5.3 Metode Pengelasan pada Pipa	26
2.5.4 Cacat Las	29
2.6 Failure Analysis	33
2.6.1 Teknik Analisis Kegagalan (Failure Analysis)	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1 Diagram Alir Penelitian	36
3.2 Alat Dan Bahan	37
3.3 Prosedur Penelitian.....	37
3.3.1 Pengumpulan Data dan Informasi	37
3.3.2 Preparasi Sampel dan Preparasi Produk Korosi.....	38
3.3.3 Pengamatan dan Pengujian	39

BAB IV DATA PENELITIAN.....	47
4.1 Pengumpulan Data dan Informasi Awal	47
4.1.1 Data Operasional.....	47
4.2 Pengamatan Visual dan Makroskopi.....	47
4.3 Profil Ketebalan Sampel	50
4.4 Pengamatan Foto Makro	51
4.5 Pengujian Komposisi Kimia	52
4.6 Pengujian Kekerasan Brinell.....	52
4.6.1 Kekerasan pada logam induk elbow	52
4.6.2 Kekerasan pada HAZ elbow	53
4.6.3 Kekerasan pada daerah sambungan elbow.....	53
4.7 Pengamatan Struktur Mikro	53
4.8 Pengujian SEM/EDX	54
4.9 Pengujian XRD	55
4.10 Pengujian Komposisi Air	57
4.11 Pengujian Polarisasi	57
BAB V PEMBAHASAN	59
5.1 Pengamatan Visual.....	59
5.2 Pengukuran Ketebalan	59
5.3 Pengamatan Permukaan Secara Makro (Fraktografi).....	59
5.4 Pengujian Komposisi Kimia	60
5.5 Pengujian Kekerasan.....	60
5.6 Pengamatan Struktur Mikro	61
5.7 Pengujian SEM/EDX	62
5.8 Pengujian XRD	62
5.9 Pengujian Komposisi Air	62
5.10 Pengujian Polarisasi	62
5.11 Analisa Penyebab Korosi	63
BAB VI KESIMPULAN.....	66
6.1 Kesimpulan	66
6.2 Saran.....	66
DATA ACUAN	67
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Interpretasi dari hasil perhitungan Langelier Indeks (LI).....	9
Tabel 2.2	Nilai LSI yang disempurnakan oleh Carrier	9
Tabel 2.3	Interpretasi dari hasil perhitungan (RI)	10
Tabel 2.4	Ryznar Index yang disempurnakan oleh Carrier	10
Tabel 2.5	Ion alkalinitas berdasarkan tingkatan pH	11
Tabel 2.6	Komposisi kimia A106 Grade B	19
Tabel 2.7	Klasifikasi dan kemampuan baja karbon	24
Tabel 2.8	Hubungan antara nilai carbon equivalent (CE) dengan kemampuan	25
Tabel 4.1	Komposisi kimia pada <i>line pipe (elbow)</i> untuk daerah logam induk	52
Tabel 4.2	Komposisi kimia pada <i>line pipe (elbow)</i> untuk daerah sambungan.....	52
Tabel 4.3	Kekerasan pada logam induk <i>elbow</i>	52
Tabel 4.4	Kekerasan pada HAZ <i>elbow</i>	53
Tabel 4.5	Kekerasan pada daerah sambungan <i>elbow</i>	53
Tabel 4.6	Komposisi Produk Korosi.....	54
Tabel 4.7	Hasil analisa air	57
Tabel 4.8	Hasil uji potensial korosi	58
Tabel 4.9	Hasil uji polarisasi.....	58
Tabel 5.1	Peringkat RCR dalam rentang laju korosi pada berbagai satuan ukur	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skematik power plant geothermal Salak	5
Gambar 2.2	Model sederhana yang menunjukkan reaksi elektrokimia dari proses korosi	13
Gambar 2.3	Pengaruh temperatur pada korosi dengan kandungan oksigen dalam air	13
Gambar 2.4	Pengaruh kelarutan oksigen terhadap laju korosi	14
Gambar 2.5	Hubungan konsentrasi oksigen terlarut terhadap suhu	15
Gambar 2.6	Pengaruh tekanan parsial CO ₂ terhadap laju korosi ..	15
Gambar 2.7	Pengaruh kecepatan aliran air terhadap lapisan protektif	16
Gambar 2.8	Pengaruh pH dan Temperatur pada Baja Karbon di Lingkungan Soft Water	17
Gambar 2.9	Pengaruh tekanan parsial terhadap kecepatan korosi	17
Gambar 2.10	Skematis korosi di bawah kerak	18
Gambar 2.11	Struktur utama dari single-pass weld, perbesaran 4x	21
Gambar 2.12	Nomenklatur daerah las	21
Gambar 2.13	Skema daerah las	22
Gambar 2.14	Pengaruh panas terhadap perubahan mikrostruktur daerah las ..	22
Gambar 2.15	Tipikal kekerasan pada daerah las untuk plain carbon steel .	23
Gambar 2.16	Hubungan antara komposisi dan underbead hardness, sensitivitas crack, dan notch-bead bead angle untuk ketebalan 1 inchi. Baja C-Mn plate welded dengan elektroda E6010	26
Gambar 2.17	Skematis las busur teredam SAW	27
Gambar 2.18	Skematis las busur teredam SAW	27
Gambar 2.19	Skematis GMAW (Gas Metal Arc Welding)	28
Gambar 2.20	Cacat las incomplete penetration	30
Gambar 2.21	Skematik cacat las incomplete penetration	30
Gambar 2.22	Pengaruh ukuran elektroda pada sambungan lasan;.....	30
Gambar 2.23	Cacat las inklusi terak .	31
Gambar 2.24	Cacat las inklusi terak .	31
Gambar 2.25	Cacat Lack of fusion .	32
Gambar 2.26	Cacat las akibat porositas .	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 3.2	Daerah pengambilan sampel uji	38
Gambar 3.3	Daerah pengambilan sampel uji untuk foto mikro, SEM/EDX, dan XRD	39
Gambar 3.4	Sampel yang digunakan dalam Pengamatan Metalografi	42
Gambar 4.1	Produk korosi masih menempel pada dinding pipa	48
Gambar 4.2	Sampel leakage yang masih utuh	48
Gambar 4.3	Potongan sampel dengan penampakan luar dari leakage	48
Gambar 4.4	Daerah bocor yang tertutup deposit korosi	49
Gambar 4.5	Daerah bocor pada pipa.....	49
Gambar 4.6	Bagian lasan yang tidak mengalami kegagalan.....	49
Gambar 4.7	Bagian lasan yang tidak terisi logam las (<i>incomplete of penetration</i>) dan penipisan di daerah HAZ	50

Gambar 4.8	Bagian lasan yang mulai terbentuk lubang-lubang	50
Gambar 4.9	Profil ketebalan <i>line pipe (elbow)</i>	51
Gambar 4.10	Foto makro kebocoran dengan perbesaran 8X.....	51
Gambar 4.11	Penampang melintang sampel perbesaran 8X.....	54
Gambar 4.12	Foto mikrostruktur sampel <i>line pipe (elbow)</i> dengan perbesaran 500x; etsa nital 2%	54
Gambar 4.13	Grafik hasil EDX produk korosi <i>line pipe (elbow)</i>	55
Gambar 4.14	Hasil Pengujian SEM produk korosi <i>line pipe (elbow)</i>	56
Gambar 4.15	Hasil Pengujian XRD produk korosi <i>line pipe (elbow)</i>	56
Gambar 4.16	Hasil pengujian XRD yang mendapatkan persenyawaan Si dan C	57
Gambar 5.1	Bentuk cacat las incomplete penetration.....	64



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil spektro sampel pipa <i>elbow</i>	69
Lampiran 2	Hasil spektro sampel bagian sambungan.....	70
Lampiran 3	Hasil SEM bagian <i>leak</i> perbesaran 750x.....	71
Lampiran 4	Hasil XRD produk korosi pipa <i>elbow</i> untuk lapisan terluar.....	72
Lampiran 5	Hasil XRD produk korosi pipa <i>elbow</i>	74
Lampiran 6..	Hasil EDX produk korosi pipa <i>elbow</i>	76
Lampiran 7	Hasil polarisasi air untuk daerah logam induk (<i>base</i>)	78
Lampiran 8	Hasil polarisasi air untuk daerah HAZ (<i>heat affected zone</i>)	79
Lampiran 9	Hasil polarisasi air untuk daerah lasan (<i>weld</i>).....	80
Lampiran 10	Hasil pengujian komposisi air	81
Lampiran 11	Database untuk menghitung indeks korosifitas	82
Lampiran 12	Foto penampang melintang sampel perbesaran 8x.....	83
Lampiran13	Foto mikrostruktur bagian logam induk etsa 2% natal dan perbesaran 100x.....	84
Lampiran14	Foto mikrostruktur bagian HAZ etsa 2% natal dan perbesaran 100x	85
Lampiran15	Foto mikrostruktur bagian <i>leak</i> etsa 2% natal dan perbesaran 100x	86
Lampiran16	Foto mikrostruktur bagian logam lasan etsa 2% natal dan perbesaran 100x.....	87