

ANALISA LAJU KOROSI PADA SISTEM PEMIPAAN BAWAH TANAH PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA

Syawaldi

ABSTRAK

Korosi merupakan permasalahan yang selalu terjadi pada peralatan produksi minyak dan gas bumi. Pipa produksi adalah salah satu peralatan yang tidak akan terlepas dari proses pengangkutan. *Long Range Ultrasonic Testing* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi terjadinya korosi pada jaringan pipa produksi. Metode ini memanfaatkan gelombang *ultrasonic* sebagai media evaluasi yang dilengkapi oleh *teletest unit* sebagai sistem pengaturannya. Pada pengujian rangkaian pipa produksi di lapangan ARZON #89 laju korosi akan didapat ketika terlebih dahulu dihitung besarnya pengurangan ketebalan dinding pipa (*wall loss*) dari hasil pelaporan data *teletest system*.

Kata Kunci : Korosi, *Wall Loss*, Pipa produksi, *Long Range Ultrasonic Testing*.

ABSTRACT

Corrosion is a problem that always happens to the equipment of oil and gas production. Pipe production is one piece of equipment that will not be separated from the process of corrosion. Long Range Ultrasonic Testing is one method that can be used to detect the onset of corrosion in the production pipeline. The method makes use of ultrasonic waves as a medium in the complete evaluation by teletest unit as system settings. In the test series in the field of production pipe Arzon # 89 the corrosion rate will be obtained when the magnitude of the reduction is calculated first pipe wall thickness (wall loss) of yield teletest data reporting system.

Keywords: *Corrosion, Wall Loss, Pipe production, Long Range Ultrasonic Testing.*

1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi dan industri penggunaan logam sebagai salah satu material sangat besar perannya, akan tetapi dalam kenyataannya banyak factor yang menyebabkan daya guna logam ini menurun. Dalam kehidupan sehari-hari banyak ditemukan material yang umurnya lebih singkat dari yang ditentukan.

Dengan seiringnya perkembangan bahan teknologi saat ini akan tetapi terdapat kerusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekelilingnya. Disini yang dimaksud dengan lingkungan sekelilingnya dapat berupa lingkungan asam, udara, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan air tanah.

Korosi logam dalam tanah dikendalikan oleh difusi oksigen terlarut dalam air yang terdapat dalam tanah. Tidak ada metoda yang dapat mengukur dengan pasti tingkat korosivitas tanah di suatu lokasi. Pencegahan korosi dapat dilakukan dengan aplikasi *coating* dan proteksi katodik.

Parameter Yang Menentukan Korosivitas Tanah

- Kandungan air
- Tingkat aerasi (kandungan oksigen)
- pH
- Tahanan tanah
- Potensial redoks
- Kandungan ion klorida dan sulfat

- Kehadiran bakteri.

Tembaga dan timbal memiliki ketahanan korosi yang lebih baik daripada baja dan seng dalam tanah yang sama. Komposisi baja karbon sedikit berpengaruh pada ketahanan korosinya. Tanah yang paling korosif adalah kandungan air, kandungan garam terlarut dan tingkat keasaman tinggi.

Dalam jangka waktu pendek, air tanah atau kandungan air dalam tanah relatif tidak bersifat korosif. Namun dalam jangka waktu lama, waktu tinggal air atau kandungan air di permukaan logam akan mengendalikan proses korosi dalam tanah.

Laju korosi di daerah rawa-rawa atau air payau dapat melebihi laju korosi logam yang tercelup seluruhnya dalam air yang di-aerasi, karena terjadinya korosi mikrobiologi yang disebabkan oleh bakteri pereduksi sulfat anaerobic.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan

Bahan yang dipakai untuk Penelitian Adalah pipa Jenis Material Ferritic Steel. Dengan Spesifikasinya adalah Diameter 10 inch.

2.2 Peralatan

Komponen – Komponen Utama

Komponen – komponen dari LRUT :

- ⇒ Teletest Unit
- ⇒ Collar
- ⇒ Modulles
- ⇒ Pump cable
- ⇒ Splitter cable
- ⇒ Umbilical cable
- ⇒ USB connector
- ⇒ Laptop

Dapat dilihat gambar dari masing-masing komponen LRUT terdapat pada gambar 2.1.



Teletest Unit



Collar



Modulles



USB connector



laptop

Gambar 2.1 Komponen-Komponen LRUT
Fungsi Komponen Utama

- Teletest Unit : untuk mentransfor gelombang ultrasonic yang didapat pada pipa ke laptop dengan bentuk data.
- Collar : Sebagai alat bantu mengetahui nilai korosi pada pipa.
- Modulles : Merupakan Alat bantu dari collar.
- USB connector : Sebagai alat penghubung ke laptop.
- Laptop : Mengakses data yang didapat

3. Long Range Ultrasonic Test (LRUT)

3.1 Pengertian

Teletest adalah long – range ultrasonic non – destructive testing (NDT) merupakan teknologi yang dikembangkan untuk mendeteksi kerugian logam dalam pipa. Alat tersebut adalah sistem pulse – echo yang bertujuan menguji volume besar bahan dari titik uji. Aplikasi awalnya adalah untuk mendeteksi korosi dibawah isolasi pipa petrokimia, tetapi telah digunakan secara luas dalam situasi pemeriksaan lain dimana pipa atau tabung tidak dapat diakses, misalnya pipa dikuburkan, terbungkus atau ditinggikan diatas tanah.

Taletest terutama alat screening tujuan pemeriksaannya adalah untuk menguji jarak jangkauan pipa dengan cakupan 100% dari dinding pipa dan untuk mengidentifikasi daerah korosi atau erosi yang selanjutnya evaluasi lebih lanjut menggunakan teknik NDT yang lain seperti radiografi atau inspeksi ultrasonic konvensional.

4. Prinsip-Prinsip Operasi

Alat Teletest adalah suatu alat yang sistem pengerjaannya menggunakan gelombang pelat, juga dikenal sebagai Lamb wave, yang dihasilkan pada frekuensi suara yang lebih rendah (dalam rentang Kilo Hertz). Gelombang suara tersebut dapat merambat ke seluruh ketebalan pelat sepanjang beberapa meter.

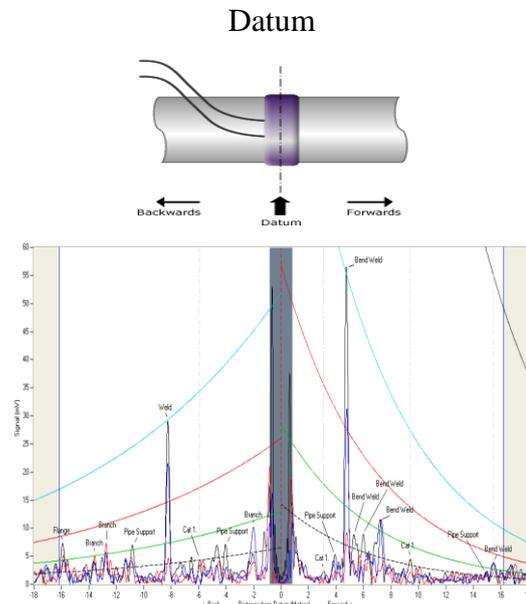
Frekuensi – frekuensi rendah (dalam jangkua ultrasonic) yang diperlukan untuk merambat mode gelombang dapat dihasilkan melalui frekuensi sebuah couplant cairan, antara transduser dan permukaan yang tidak dibutuhkan. Ultrasonic dilakukan dengan tekanan mekanis atau pneumatic. Diharapkan pada bagian belakang transduser dapat mempertahankan kontak dengan permukaan. Jarak yang seragam transduser ultrasonic disekitar lingkaran pipa memungkinkan gelombang suara yang dihasilkan merambat simetris terhadap sumbu pipa.

.Dalam hal ini luas korosi, penurunan ketebalan akan dilokalisasi, dan menyebabkan hamburan dari gelombang diubah refleksi, sehingga mode akan terjadi gelombang pantul yang terdiri dari gelombang datang ditambah mode dikonversi, sehingga cenderung menyebabkan pipa untuk hasil yang muncul dari sumber yang tidak seragam. Keberadaan sinyal ini merupakan indikator kuat dari cacat seperti korosi. Teletest mampu mendeteksi dan untuk membedakan antara gelombang simetris dan lentur dan kedua jenis tersebut ditampilkan.

Refleksiditampilkan sebagai sinyal amplitude dengan jarak jauh 'A – scan' tampilan, mirip yang digunakan dalam inspeksi ultrasonic konvensional. Namun jarak

rentang waktu yang diukur dalam puluhan meter bukan cm.

Sebuah komplikasi utama untuk system gelombang dipandu, sebagai berbeda dari inspeksi ultrasonic konvensional adalah sifat dispersive/ gelombang penuntun, artinya kecepatan gelombang penuntun lebih bervariasi dengan frekuensi lain, ini menyebabkan beberapa komplikasi salah satunya bahwa untuk mengkalibrasi jarak tempuh dari A – scan untuk membacanya jarak, bukan waktu. Hal ini memerlukan program computer untuk membaca dalam kecepatan dari frekuensi uji yang dipilih dari kalibrasi, atau kurva disperse. Ada tampilan kurva disperse yang dibentuk kedalam perangkat lunak teletest untuk berbagai diameter pipa/kombinasi. Dinding/tebal lingkaran lasan pada pipa menghasilkan sinyal dominan di A – scan dan bertindak sebagai titik acuan, penting digunakan untuk mensetting DAC kurva pada layar yang sinyal dari anomaly dapat dilihat seperti gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kurva anomaly pada layar laptop.

LRUT (Long Range Ultrasonic test) inspection using teletest Method services merupakan suatu alat untuk menentukan tingkat korosi pada pipa yang telah ditentukan, dengan demikian bisa digunakan untuk menentukan

perbaikan sehingga dapat menghindari terjadinya kebocoran.

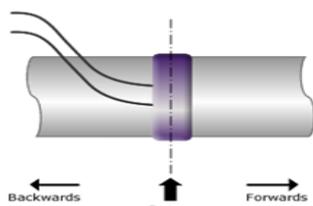
4.1. Pengumpulan Data

Untuk mengumpulkan data diperlukan data-data lapangan, data lapangan ini terdiri dari beberapa klasifikasi yang terangkup di data informasi umum. Pengujian pipa dengan menggunakan metode *Long Range Ultrasonic Testing* (LRUT) akan memberikan hasil pembacaan data berupa pengurangan ketebalan dinding pipa (*wall loss*) dalam satuan milimeter (mm). Namun, *teletest unit* juga akan menyajikan data-data yang menunjang sebagai hasil data untuk melengkapi analisa hasil pengujian.

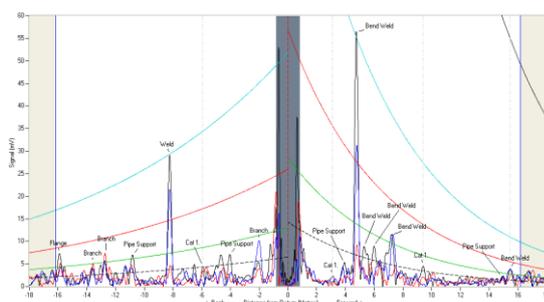
a. Posisi Datum

Datum adalah alat yang terpasang pada pipa yang terdiri dari collar dan transducer. Alat Teletest adalah suatu alat yang sistem pengerjaannya menggunakan gelombang pelat, juga dikenal sebagai Lamb wave, yang dihasilkan pada frekuensi suara yang lebih rendah (dalam rentang Kilo Hertz). Gelombang suara tersebut dapat merambat ke seluruh ketebalan pelat sepanjang beberapa meter, dapat dilihat seperti gambar 4.2.

Perkakas Teletest® sesuai untuk pengujian semua diameter pipa (ANSI/ASME nominal bore) dari 1.5 hingga 72 inchi. Pengujian masih dapat dilakukan pada suhu permukaan pipa maksimum +125°C.



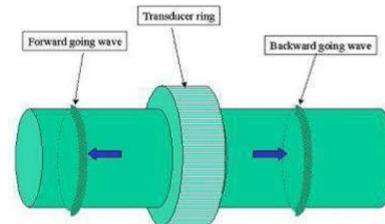
Gambar 4.2 Posisi Datum



Gambar 4.3 Kurva anomaly pada layar laptop

b. Category Posisi Datum

Pada saat pengujian pipa, rangkaian transducer yang dijadikan dalam satu cincin dan dipasang ke permukaan keliling pipa, gelombang suara akan merambat ke dua arah seperti ditunjukkan pada gambar 4.4.

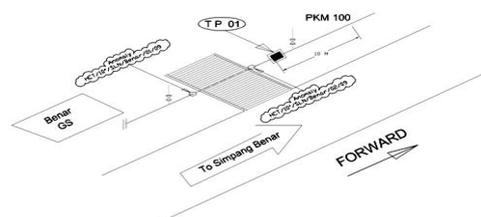


Gambar 4.4 Posisi Transducer pada pipa.

Dari Gambar 4.3 dilakukan pembacaan. Ada tiga jenis warna yang dapat menunjukkan adanya *anomaly* (kejanggalan) yang menunjukkan adanya kerusakan atau pengurangan *performance* pipeline; dibawah garis hijau adalah kategori 1 yang berarti kerusakan ringan, di antara garis hijau dan merah adalah kategori ke 2 yang menunjukkan kerusakan sedang dan diatas garis merah adalah kategori ke 3 yaitu kerusakan atau korosi parah.

5. Gambar Skema Kerusakan Pipa

Setelah semua data dilakukan pembacaan, *engineer* akan menggambarkan letak kerusakan (korosi) pada rangkaian *pipeline* pada gambar 4.5. Gambaran tersebut dibuat dalam tampilan gambar skema berikut :



Gambar 4.5 Skema Kerusakan Pipa (Irsindo Pratama, 2010)

Gambar skema ini menunjukkan letak atau posisi pengujian pipa di beberapa titik pengujian. Yang mana ada 84 titik pengujian yang dilakukan dalam analisa laju korosi ini.

6. Perhitungan

Teletest unit memberikan pembacaan, pengolahan dan menyajikan data hasil pengujian. Untuk melakukan perhitungan laju korosi pada pipeline data yang harus diketahui adalah pengurangan ketebalan dinding pipa (*wall loss*), data ini diperoleh dari hasil pembacaan *teletest system*.

Data lain yang diperlukan untuk mendapatkan nilai laju korosi adalah selisih antara tahun awal pemasangan pipa dengan tahun dilakukannya inspeksi pipa. Setelah *wall loss* dan data tersebut maka laju korosi pipa dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{Corrosion Rate (CR)} = \frac{\text{Thickness initial} - \text{Thickness actual}}{\text{Years between 't' actual and 't' initial}}$$

(persamaan 4.1)

Keterangan:

Corrosion Rate (CR) : Laju korosi, mm/years.

Thickness Initial (Ti) : Ketebalan awal pipa, mm.

Thickness Actual (Ta): Ketebalan hasil pengujian, mm.

Years between "Ti" and "Ta": Selisih antara tahun awal pemasangan pipa dengan tahun pada saat pengujian.

Dari hasil yang di peroleh oleh *teletest focus* maka dapat kita hitung laju korosi sebagai berikut:

a. Untuk titik pengujian 1 (TP1)

Corrosion Rate (CR₁) =

$$\frac{Ti-Ta}{\text{yearbetweenTidanTa}} = \frac{6,6-2,6}{2010-1975} = 0,114 \text{ mm/tahun}$$

b. Untuk titik pengujian 2 (TP2)

Corrosion Rate (CR₂) = $\frac{Ti-Ta}{\text{yearbetweenTidanTa}}$ =

$$\frac{6,9-3,9}{2010-1975} = 0,085 \text{ mm/tahun}$$

c. Untuk titik pengujian 3 (TP3)

Corrosion Rate (CR₃) =

$$\frac{Ti-Ta}{\text{YearbetweenTidanTa}} = \frac{6,9-6,9}{2010-1975} = 0$$

Untuk perhitungan Titik Point 4 sampai Titik Point 84 dapat dilihat pada tabel 4.1 di bawah ini:

TP	Ti	Ta	WL	Yti	Yta	Yta-ti	CR
1	6.6	2.6	4	1975	2010	35	0,114
2	6.9	3.9	3	1975	2010	35	0,086
3	6.9	6.9	0	1975	2010	35	0
4	6.8	6.8	0	1975	2010	35	0
5	6.8	4.8	2	1975	2010	35	0,057
6	6.2	3.2	3	1975	2010	35	0,086
7	6.6	4.6	2	1975	2010	35	0,057
8	6.5	4.5	2	1975	2010	35	0,057
9	6.1	2.1	4	1975	2010	35	0,114
10	6	1	5	1975	2010	35	0,143
11	6.6	2.6	4	1975	2010	35	0,114
12	6.5	2.5	4	1975	2010	35	0,114
13	6.5	1	5,5	1975	2010	35	0,157
14	6.5	2.5	4	1975	2010	35	0,114
15	6.6	4.6	2	1975	2010	35	0,057
16	6.4	2.4	4	1975	2010	35	0,114
17	6.4	3.4	3	1975	2010	35	0,086
18	6.7	4.7	2	1975	2010	35	0,057
19	6.7	3.2	3,5	1975	2010	35	0,1
20	6.5	3.5	3	1975	2010	35	0,086
21	6.6	3.6	3	1975	2010	35	0,086
22	6.6	2.6	4	1975	2010	35	0,114
23	6.6	3.6	3	1975	2010	35	0,086
24	6.6	4.1	2,5	1975	2010	35	0,071
25	6.5	2	4,5	1975	2010	35	0,129
26	6.5	3.5	3	1975	2010	35	0,086
27	6.5	4.5	2	1975	2010	35	0,057
28	6.5	4.5	2	1975	2010	35	0,057
29	6.5	4.5	2	1975	2010	35	0,057
30	6.5	4	2,5	1975	2010	35	0,071
31	6.5	4	2,5	1975	2010	35	0,071
32	6.5	4	2,5	1975	2010	35	0,071
33	6.5	4.5	2	1975	2010	35	0,057
34	6.6	2.6	4	1975	2010	35	0,114
35	6.6	4.6	2	1975	2010	35	0,057
36	6.7	4.7	2	1975	2010	35	0,057
37	6.4	2.4	4	1975	2010	35	0,114
38	6.5	3.5	3	1975	2010	35	0,086
39	6.6	4.6	2	1975	2010	35	0,057
40	6.6	2.6	4	1975	2010	35	0,114
41	6.4	3.9	2,5	1975	2010	35	0,071
42	6.3	4.3	2	1975	2010	35	0,057
43	5.4	3.9	1,5	1975	2010	35	0,043
44	6.3	2.8	3,5	1975	2010	35	0,1
45	6.3	4.3	2	1975	2010	35	0,057
46	6.3	2.8	3,5	1975	2010	35	0,1
47	6.2	4.2	2	1975	2010	35	0,057
48	6.2	3.2	3	1975	2010	35	0,086
49	6.1	3.1	3	1975	2010	35	0,086
50	6.1	3.6	2,5	1975	2010	35	0,071
51	6.2	3.7	2,5	1975	2010	35	0,071
52	6.2	4.2	2	1975	2010	35	0,057
53	6.3	4.3	2	1975	2010	35	0,057

54	6.2	3.7	2,5	1975	2010	35	0,071
55	6.2	3.7	2,5	1975	2010	35	0,071
56	6.4	3.9	2,5	1975	2010	35	0,071
57	6.4	3.4	3	1975	2010	35	0,086
58	6.4	4.4	2	1975	2010	35	0,057
59	6.2	4.2	2	1975	2010	35	0,057
60	6.2	4.2	2	1975	2010	35	0,057
61	6.3	4.3	2	1975	2010	35	0,057
62	6.4	4.4	2	1975	2010	35	0,057
63	6.2	3.7	2,5	1975	2010	35	0,071
64	6.5	4.5	2	1975	2010	35	0,057
65	6.5	4.5	2	1975	2010	35	0,057
66	6.1	3.6	2,5	1975	2010	35	0,071
67	6.3	2.3	4	1975	2010	35	0,114
68	6.3	2.3	4	1975	2010	35	0,114
69	6.2	2.2	4	1975	2010	35	0,114
70	6.3	2.3	4	1975	2010	35	0,114
71	6.4	3.4	3	1975	2010	35	0,086
72	6.5	2.5	4	1975	2010	35	0,114
73	6.2	2.2	4	1975	2010	35	0,114
74	6.1	3.6	2,5	1975	2010	35	0,071
75	6.2	3.2	3	1975	2010	35	0,086
76	6.2	3.2	3	1975	2010	35	0,086
77	6.4	4.9	2,5	1975	2010	35	0,071
78	6.1	3.1	3	1975	2010	35	0,086
79	6.1	3.1	3	1975	2010	35	0,086
80	6.1	2.1	4	1975	2010	35	0,114
81	6.1	3.6	2,5	1975	2010	35	0,071
82	6.3	3.3	3	1975	2010	35	0,086
83	5.8	2.8	3	1975	2010	35	0,086
84	6.1	4.6	1,5	1975	2010	35	0,043

7. PEMBAHASAN

Dalam rangkaian penelitian yang penulis lakukan, langkah pertama yang dilakukan setelah menyelesaikan perumusan masalah dan *study literature* adalah mengumpulkan data. Penulis mengambil data penelitian di lapangan arzon #89 yang merupakan rangkaian pipeline yang dilakukan pengujian untuk mengetahui laju korosi dengan menggunakan metode *Long Range Ultrasonic Testing* (LRUT) atas izin PT Irsindo Pratama. Terdapat 84 *test point* sebagai titik-titik pengujian untuk mengukur rangkaian pipeline, dengan tujuan akhir mendapatkan laju korosi yang terjadi pada rangkaian pipa tersebut.

Dari hasil pengujian LRUT akan didapat nilai *wall loss* (pengurangan dinding pipa) pada setiap *test point*nya, sehingga penulis dapat melakukan perhitungan seberapa besar *corrosion rate* (laju korosi) yang terjadi

pada setiap titik pengujian. Data-data yang harus dikumpulkan untuk menunjang perhitungan tersebut adalah; ketebalan awal pipa (*thickness initial*) ketika pipa pertama kali dipasang dalam satuan millimeter, ketebalan pipa ketika dilakukan pengujian dengan menggunakan metode LRUT (*thickness actual*) dalam satuan millimeter, pengurangan ketebalan pipa yang terjadi (*wall loss*) dalam satuan millimeter, tahun pertama pipa dipasang dan tahun ketika dilakukan pengujian.

Dari analisa yang didapat bahwa kita dapat mengetahui nilai laju korosi yang mana nilai Thickness Actual (Ketebalan hasil Pengujian).

- Nilai Ketebalan 1mm -1,5 mm itu harus dilakukan ganti satu joint pipa.
- Nilai Ketebalan 2 – 3,5 mm itu dapat memasang *sleeve*, membuat logam pengalih korosi dan lain lain.
- Nilai Ketebalan $\leq 4,6$ mm dilakukan pemasangan Anoda Carbon/Coating.

Dari keseluruhan rangkaian pengujian dengan menggunakan *long range ultrasonic testing*, kesimpulan akhirnya adalah untuk mengetahui laju korosi pipelinedan merekomendasikan solusinya.

Korosi Mikrobiologis

Korosi yang terjadi akibat (langsung atau tidak langsung) adanya aktivitas bakteri. Kondisi Lingkungan :

1. Basah
2. pH = 4 – 9
3. Temperatur (10°C – 50°C)

Korosi logam yang parah di lingkungan pada gambar 5.1 akuatik pada pH ~ netral dan T kamar, Endapan lendir berlebihan atau tubercules, berwarna hitam dan berbau busuk (H₂S). Lingkungan menjadi asam, Identifikasi bakteri pada gambar 5.2 dengan cara isolasi dari media korosif.



Gambar 5.1 Korosi pada lingkungan.



Gambar 5.2 korosi akibat bakteri.

Lokasi-Lokasi Rawan Korosi

Mikrobiologis

- Deadlegs dalam tangki, pipa, sambungan pipa pada industri proses kimia
- Handling systems minyak dan gas bumi di darat maupun di offshore
- Pipa tertanam dalam tanah lempung basah (water saturated clay type soil)
- Tangki bahan bakar pesawat terbang .Dll.

Pengendalian Korosi Mikrobiologis

- Pembersihan mekanik permukaan logam dan penambahan biosida secara periodik
- Proteksi katodik
- Lapis pelindung yang mengandung Zn / Cu / Cr

Korosi Mikrobiologis Pada Ferritic Steel

- Lendir → tempat inisiasi korosi pitting pada ferritic steel dalam air laut maupun air tawar
- Biofilm → mengkatalisa reduksi oksigen terlarut menaikkan potensial stainless steel hingga > potensial pitting kritis
- Propagasi pitting dan crevice dengan mekanisme hidrolisis asam.
- Banyak terjadi pada kampuh las dan HAZ

Untuk meminimalkan resiko pada rangkaian pipeline yang lain apabila tidak diganti, dapat dilakukan pelapisan pada

pipa yaitu dengan cat (*coating*), dilakukan perlindungan katodik dan anodik, pemasangan *sleeve*, atau diberikan zat pelambat karat (*corrosion inhibitor*) pada pipa dan lain-lain

Kesimpulan

1. Besarnya laju korosi pada rangkaian pipeline tidaklah sama, hal ini searah dengan besarnya *wall loss* yang terjadi pada rangkaian pipelinenya yang dipengaruhi oleh faktor *internal* dan *external* pipa produksi.
2. Pada kasus ini pengaruh pipa di dalam tanah akibat korosi adalah adanya Korosi Mikrobiologis yg terjadi, sehingga Laju Korosi di dalam tanah dengan di permukaan Tanah berbeda.

Saran

1. Pada pipeline yang mengalami korosi, sebaiknya :
 - a. Dilakukan pergantian pipa
 - b. Dilakukan pelapisan terhadap pipa
 - c. Dilakukan perlindungan katodik dan anodik
 - d. Penggunaan zat pelambat karat (*corrosion inhibitor*) pada pipa
2. Upayakan agar pipeline di cek laju korosinya 5 tahun sekali
3. Sebaiknya perusahaan memberikan tambahan pekerjaan kepada kontraktor berupa *corrosion engineer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Corrosion_Club.Com.**, 2010, Gambar Gambar Korosi
- Google Image.Com.**, 2010, Gambar Gambar Korosi
- Irsindo Pratama**, 2011, *Report Data Long Range Ultrasonic Testing*, Pekanbaru.
- Widharto, S.**, 2004, *Karat dan Pencegahannya*.
- Pradnya Paramita**, Cetakan ke-3, Jakarta.
- Ilmu bahan logam jilid 1, 2, 3** – BJM Beumer – PT Bhratara KA Jakarta.

- Josep Datsoko**, 1996, *Material Properties and Manufacturing Process*, second edition, New York.
- Van Vlack, Lawrence H**, 1991, *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bahan Logam)*, alih bahasa Ir. Sriati Japrie M.E.E. Met, Penerbit Erlangga Jakarta.
- Herbert. H. Uhlig**, 1971, *Corrosion and Corrosion Control, Second Edition*, Massachusetts Institute of Technology.
- Dieter, George E**, 1992, *Metalurgy Mekanik*, Edisi ketiga, alih bahasa Ir. Sriati Japrie M.E.E. Met, Penerbit Erlangga Jakarta.
- Donald R, Askeland**, 1984, *The Science and Engineering of Materials*.
- Trethewey Kenneth. R. E Bsc. Ph.D.Chem.MRSC,MICon.ST**,1991, *Korosi Untuk Mahasiswa Sains Dan Rekayasa*, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.