

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Korosi Pada Logam

Korosi memiliki arti proses perusakan atau degradasi material logam akibat terjadinya reaksi kimia antara paduan logam dengan lingkungannya. Proses perusakan material logam tersebut tentu sangat merugikan dikarenakan dapat mengakibatkan penurunan sifat-sifat fisik mekanik material logam terhadap lingkungan kerja logam, ditempat material logam tersebut berada. Korosi atau karat juga dapat terjadi dikarenakan adanya lingkungan yang korosif pada logam yaitu suatu lingkungan yang dapat mempercepat proses korosi yang terjadi pada logam. Lingkungan korosif dapat tercipta jika tersedianya senyawa-senyawa korosif pada kandungan air maupun uap air yang berada ditempat material tersebut berada selain faktor senyawa-senyawa korosif faktor suhu dan tekanan yang tinggi juga dapat mengakibatkan terjadinya peristiwa korosif pada logam. Oleh sebab itu hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan masa umur pakai logam adalah dengan, melakukan penerapan sistem pencegahan korosi maupun sistem perawatan korosi terhadap material logam maupun lingkungan tempat material logam tersebut berada sehingga usia pakai material logam dapat bertahan dengan jangka waktu yang lama.

3.2 Jenis-Jenis Korosi dan Pencegahannya

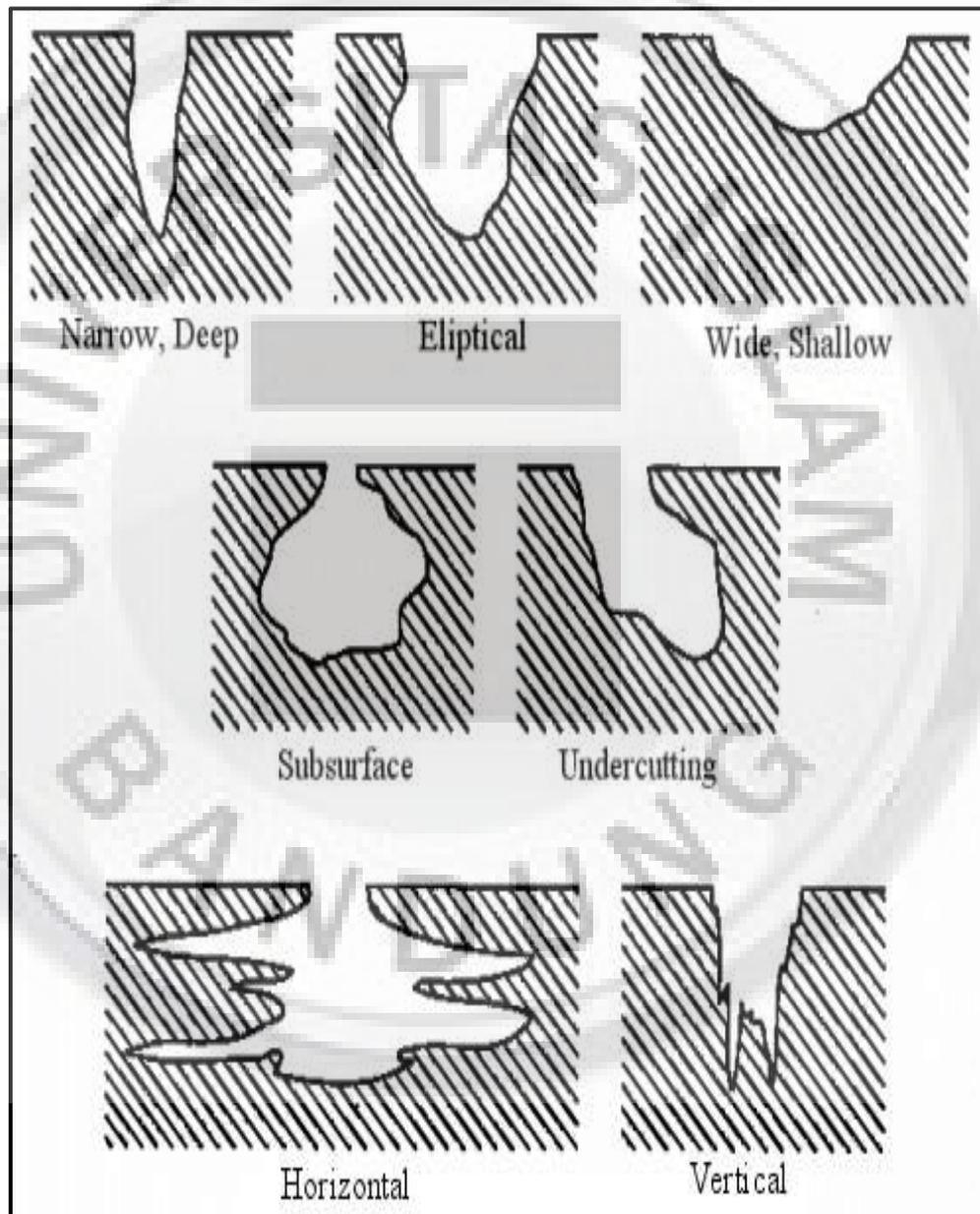
3.2.1 Korosi Sumuran

Korosi sumuran merupakan korosi lokal yang terjadi pada permukaan yang terbuka akibat terjadinya perusakan lapisan pasif. Proses terjadinya korosi sumuran ini diawali dengan pembentukan suatu deposit di atas permukaan bahan antar muka lapisan pasif dan elektrolit, sehingga terjadi penurunan pH atau tingkat keasamaan, dan mengakibatkan terjadinya pelarutan lapisan pasif secara perlahan-lahan serta menyebabkan lapisan pasif tersebut menjadi pecah dan terjadi korosi sumuran. Jenis korosi sumuran atau *pitting corrosion* ini sangat berbahaya karena lokasi terjadinya tidak mudah diketahui dan sangat kecil tetapi sangat dalam, pada operasi Geothermal dengan tekanan operasi tinggi dapat mengakibatkan terjadinya kondisi pipa patah atau meledak karena terjadinya lubang pada pipa.

Cara pencegahan untuk korosi jenis ini adalah dengan :

- Meletakkan pipa dengan posisi berada di atas permukaan tanah sehingga tidak terjadi genangan air yang akan membasahi pipa.
- Melapisi permukaan pipa dengan lapisan pelindung berupa *coating*. Lapisan ini berguna sebagai pelindung material pipa, terhadap lingkungan luar pipa sehingga material pipa lebih kuat terhadap terjadinya peristiwa korosi.
- Penambahan *inhibitor* yang sesuai dengan lingkungan internal tempat material pipa tersebut berada.

- Merencanakan lingkungan tempat pipa tersebut agar material pipa bisa lebih tahan terhadap tingginya laju korosi.
- Melindungi pipa dengan memasang anoda korban seperti magnesium dan aluminium agar material pipa bisa lebih terjaga.

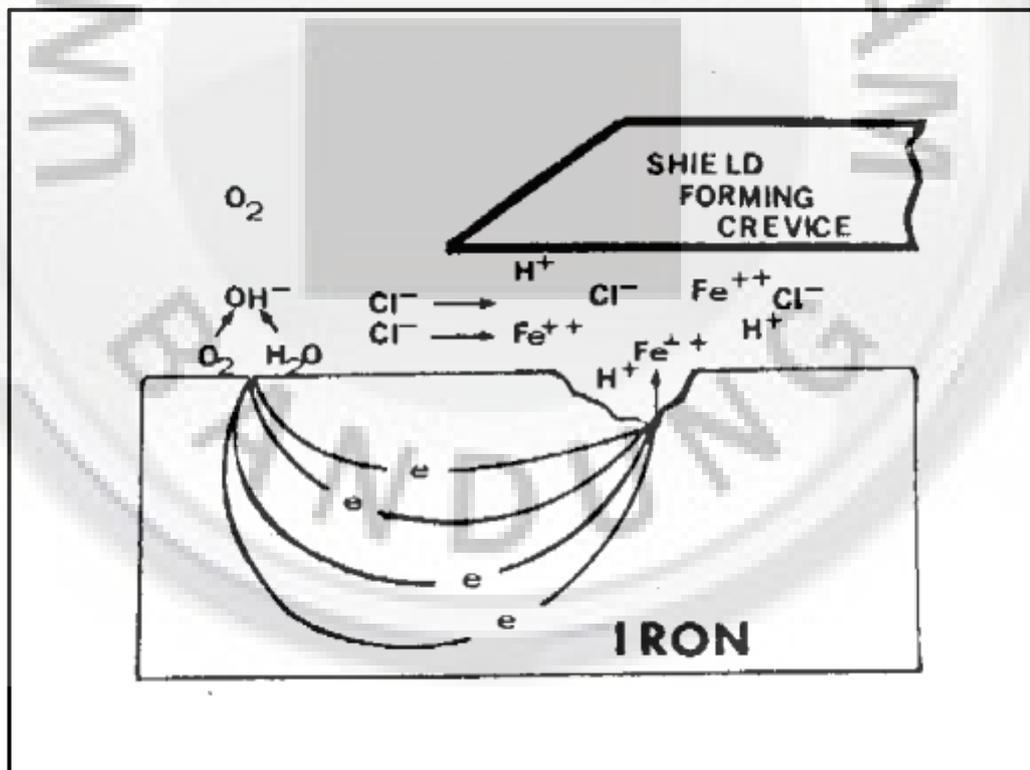


(Sumber : ASTM G46 Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion)

Gambar 3.1
Korosi sumuran

3.2.2 Korosi Celah

Korosi celah adalah korosi yang terjadi pada celah di antara dua bagian komponen Logam, proses terjadinya korosi celah ini adalah dengan terjadi korosi merata di seluruh bagian luar dan dalam pipa, sehingga terjadi peristiwa oksidasi logam dan proses reduksi oksigen. Apabila oksigen yang berada di dalam celah telah habis sedangkan oksigen yang berada pada bagian luar celah masih banyak, akan mengakibatkan permukaan logam yang berhubungan dengan bagian luar pipa akan menjadi katoda dan permukaan logam di dalam celah pipa akan menjadi anoda, sehingga akan terjadi korosi didalam celah tersebut.



(Sumber : ASTM G78 Standard Guide for Crevice Corrosion Testing of Iron-Base and Nickel-Base Stainless Alloys in Seawater and Other Chloride-Containing Aqueous Environments)

Gambar 3.2
Korosi celah

Jenis korosi ini tidak tampak dari luar pipa dan sangat merusak pada pipa. Jenis korosi ini sering didapati pada sambungan yang kurang kedap, salah satu penyebab jenis korosi ini adalah adanya lubang yang bocor yang berada pada *gasket*, *lap joint*, serta endapan yang berada pada pipa

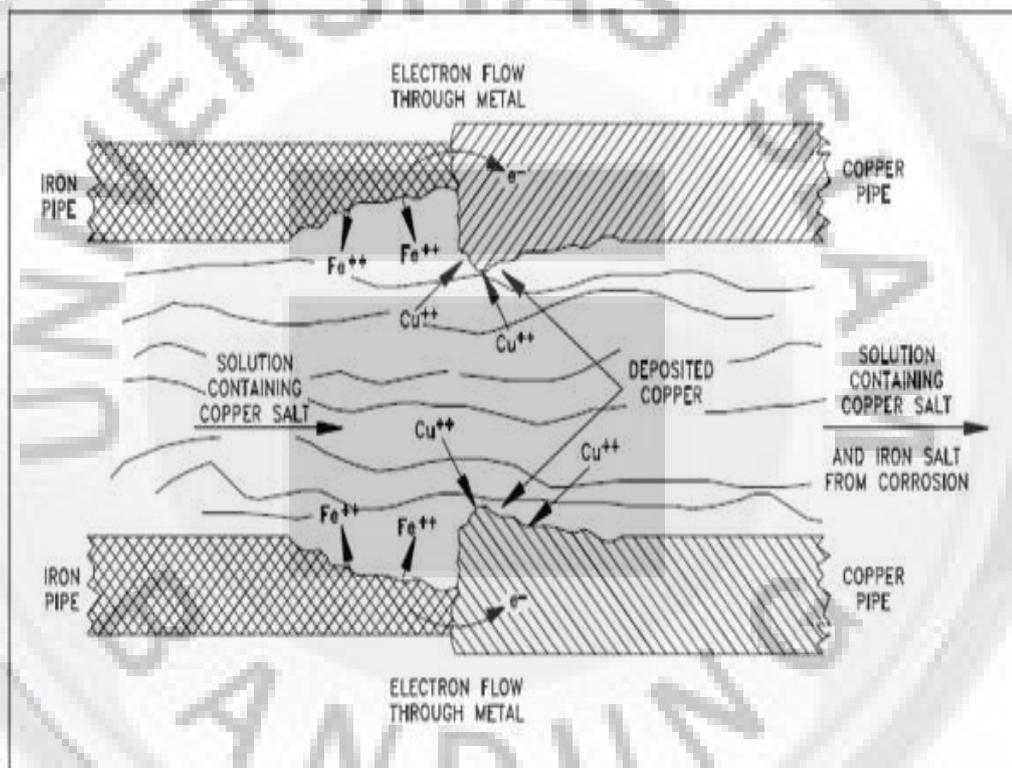
Pencegahan jenis korosi pipa seperti ini adalah :

1. Penggunaan sistem sambungan *butt joint* dengan pengelasan dibanding dengan sambungan keliling untuk peralatan peralatan dan pemasangan pipa baru.
2. Celah atau sambungan ditutup dengan proses pengelasan yang baik dan tidak terdapat lubang.
3. Proses pemeriksaan sambungan pipa harus diperiksa dan dibersihkan secara teratur, terutama pada sambungan-sambungan pipa dengan kondisi yang rawan.
4. Hindari pemakaian *packing* yang bersifat higroskopis.
5. Menggunakan *gasket* dan *absorbent* berbahan *teflon* jika memungkinkan.
6. Pada desain saluran pipa perlu dihindari adanya lengkungan – lengkungan dengan belokan yang sangat tajam.

3.2.3 Korosi Galvanik

Korosi galvanik akan terjadi apabila terdapat dua logam yang berbeda yang dihubungkan dan berada di lingkungan yang korosif. Korosi

ini terjadi dikarenakan kedua logam memiliki beda potensial antara satu logam dengan logam yang lain, sehingga akan menimbulkan aliran elektron diantar kedua logam tersebut sehingga, salah satu dari logam yang memiliki beda potensial paling rendah atau kurang mulia akan mengalami korosi, sedangkan logam lainnya yang memiliki beda potensial paling tinggi atau mulia akan akan terlindungi dari serangan korosi.



(Sumber : ASTM G82 Standard Guide for Development and Use of a Galvanic Series for Predicting Galvanic Corrosion Performance)

Gambar 3.3
Korosi galvanik

Pencegahan jenis korosi pipa seperti ini adalah :

- Memilih jenis pipa dengan posisi pada deret volta sedekat mungkin untuk menghindari terjadinya reaksi oksidasi dan reduksi akibat adanya perbedaan potensial.

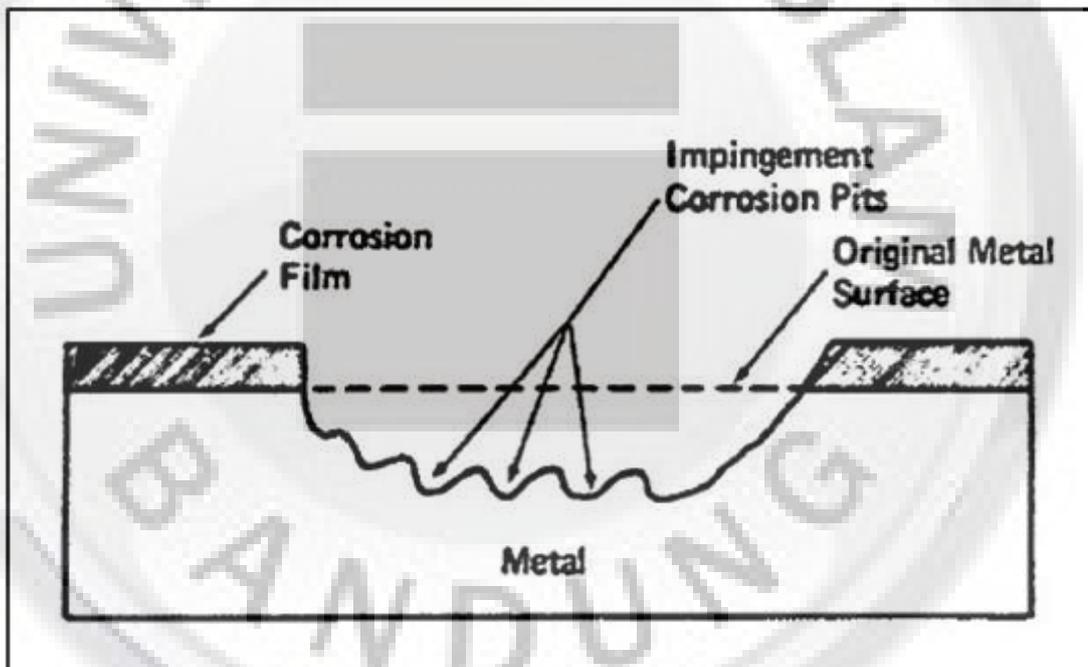
- memberikan lapisan isolator di antara dua bagian logam yang berbeda bila memungkinkan.
- menggunakan lapisan pelindung berupa *coating* dengan mengutamakan pemberian lapisan pada logam anoda agar tidak terjadi reaksi oksidasi dan reduksi.
- menggunakan *inhibitor* pada bagian dalam mengurangi proses korosi yang berlangsung pada logam.
- menggunakan sambungan baut dengan bahan yang sama dengan bahan logam pipa guna mencegah pertukaran elektron.

3.2.4 Korosi Merata

Korosi merata adalah korosi yang terjadi secara diseluruh permukaan pipa, oleh karena itu pada pipa yang mengalami korosi merata akan mengakibatkan terjadinya pengurangan ketebalan material baja pipa yang relatif besar per satuan waktu. Kerugian langsung akibat korosi merata berupa kehilangan kekuatan dan sifat fisik pipa karena ketebalan pipa yang semakin berkurang, serta tingkat keamanan pipa untuk beroperasi semakin mengecil dikarenakan pipa yang beroperasi dapat meledak suatu waktu bila kekuatan pipa tidak sebanding dengan tekanan yang berada dalam pipa. Korosi jenis ini adalah jenis korosi yang paling merugikan karena akan mengakibatkan tingginya biaya perawatan pipa

Pencegahan jenis korosi pipa seperti ini adalah :

- Menggunakan lapisan pelindung atau *coating* di seluruh bagian pipa.
- Melakukan proses galvanis dengan cara melapisi pipa dengan lapisan logam yang lebih tahan terhadap korosi.
- Melindungi pipa dari genangan air yaitu dengan meletakkan pipa di atas permukaan tanah.
- Menggunakan proteksi Katodik pada pipa.



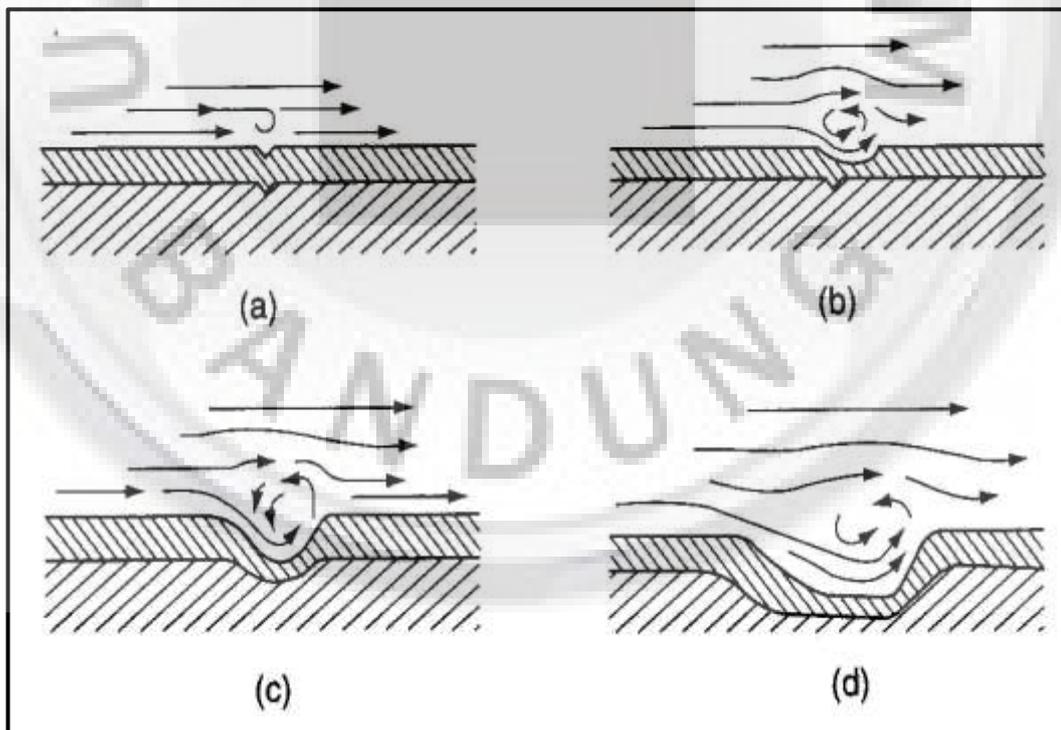
(Sumber : ASTM G50 Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals)

Gambar 3.4
Korosi merata

3.2.5 Korosi Erosi

Korosi erosi adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam pipa yang diakibatkan oleh aliran fluida yang sangat cepat dan memiliki

tekanan pipa yang tinggi sehingga merusak permukaan logam dan lapisan pelindung atau *coating* pipa. Proses erosi jenis ini terutama terjadi pada bagian lengkungan atau *elbow* pada pipa dikarenakan adanya aliran turbulen pada pipa. Mekanisme pembentukan korosi erosi adalah sebagai berikut aliran fluida ataupun gas yang melewati pipa dengan tekanan yang tinggi akan mengakibatkan adanya benturan antara aliran fluida atau gas terhadap bagian permukaan pipa jika proses ini berlangsung secara terus menerus dan berlangsung dalam jangka waktu yang lama maka akan mengakibatkan terjadinya korosi erosi dan lapisan pipa akan menipis dikarenakan gesekan yang terus menerus dengan material fluida atau gas yang terjadi pada bagian dalam pipa.



(Sumber : ASTM G32 - 10 Standard Test Method for Cavitation Erosion)

Gambar 3.5
Korosi Erosi

Pencegahan jenis korosi pipa seperti ini adalah :

1. Bila memungkinkan dapat mengurangi kecepatan aliran fluida untuk mengurangi turbulensi dan tumbukan yang berlebihan dalam pipa.
2. Menggunakan komponen pipa yang halus dan rapi pengerjaannya hal ini bertujuan mengurangi tumbukan pada bagian dalam pipa dan mengurangi terjadinya aliran turbulensi dalam pipa.
3. Menggunakan paduan logam yang lebih tahan korosi dan tahan erosi.
4. Penambahan *inhibitor* atau *passivator* pada pipa.
5. Proteksi katodik pada pipa.

3.2.6 Korosi Retak Tegang

Korosi retak tegang adalah suatu bentuk korosi di mana material mengalami keretakan akibat pengaruh lingkungannya. Jenis Korosi ini terjadi pada paduan logam yang mengalami tegangan tarik statis terhadap lingkungan dengan kondisi tertentu, seperti baja tahan karat sangat rentan terhadap lingkungan klorida panas, serta logam tembaga rentan dalam larutan ammonia dan baja karbon sangat rentan terhadap kondisi yang kaya akan nitrat. Korosi jenis ini terjadi diakibatkan dari tegangan berulang pada lingkungan yang korosif. Sedangkan korosi akibat pengaruh hidrogen terjadi karena berlangsungnya difusi hidrogen kedalam kisi paduan.

Cara pencegahan jenis korosi pipa seperti ini adalah dengan :

- Menggunakan paduan logam yang tepat untuk pipa
- Memberikan lapisan pelindung pada pipa atau *coating* agar pipa terlindung dari senyawa-senyawa kimia tertentu

3.2.7 Korosi Karena Suhu Tinggi

Korosi jenis ini terjadi karena logam berada dalam suatu keadaan lingkungan dengan temperatur kerja yang tinggi yang mengakibatkan reaksi oksidasi dan reduksi antara logam dengan oksigen berlangsung dengan cepat dan mengakibatkan terjadi perubahan susunan kimia awal pada logam sehingga mengakibatkan pipa terkorosi. Korosi jenis ini banyak terjadi pada pipa-pipa baja karbon karena pada paduannya banyak dipakai unsur besi dan karbon. Pipa jenis ini bila diberikan perlakuan panas pada suhu 500°C – 1000°C akan mengakibatkan timbulnya krom karbida pada lapisan luar dan dalam pipa

Cara pencegahan jenis korosi pipa seperti ini adalah dengan :

- Memilih material pipa yang tahan terhadap suhu operasi dengan temperatur yang tinggi.
- Menggunakan lapisan pelindung atau *coating* yang dibuat khusus untuk pelapis pipa dengan suhu operasi yang tinggi.

3.3 Metode Pengawasan Laju Korosi

Dalam melakukan pengawasan terhadap laju korosi maka diperlukan suatu metoda yang digunakan untuk mengetahui laju korosi

yang terjadi di dalam pipa. Metoda inspeksi dan pengawasan terhadap laju korosi yang sering digunakan, yaitu :

- Metoda Kehilangan Berat (*Coupon Test*)
- Metoda Polarisasi (*Corrater*)
- Metoda Tahanan Listrik (*Corrosometer*)

Dalam metoda kehilangan berat suatu lempengan logam yang dibuat dari bahan yang sama dengan material logam pipa yang akan dipantau laju korosinya. Untuk selanjutnya material logam ini (*Coupon*) diletakan didalam pipa yang akan di pantau laju korosinya selama 90 hari. Setelah 90 hari barulah material logam (*Coupon*) dikeluarkan dari dalam pipa untuk ditimbang mendapatkan data kehilangan berat pada pipa guna mendapatkan data yang diperlukan untuk menghitung laju korosi. (*ASTM G4 – Guide For Conducting Corrosion Coupon Test In Field Applications*).

Metoda kedua yang sering digunakan adalah metoda polarisasi. Metoda polarisasi adalah salah satu metoda pengawasan yang menggunakan media pengantar korosinya berupa cairan. Metoda polarisasi merupakan metoda yang menggunakan tahanan listrik, di mana tahanan listrik tersebut terhubung dengan dua atau lebih elektroda serta elektroda tersebut selalu dalam keadaan tercelup pada fluida karena hal tersebut maka hasil nilai tahanan listrik pada saat pengukuran sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena hantaran listrik dari alat *corrater* menuju elektroda sangat tinggi tahanannya karena berhubungan secara langsung dengan fluida yang berada dalam pipa.

Metoda yang ketiga yang sering digunakan dalam melakukan pemantauan terhadap laju korosi adalah dengan menggunakan metoda Metoda Tahanan Listrik (*Corrosometer*). Metoda ini bekerja berdasarkan sinyal listrik, di mana sinyal ini menunjukkan berapa banyak berat logam yang hilang yang diakibatkan dari peristiwa korosi. Sinyal listrik yang didapat dari *corrosion probe* selanjutnya diproses oleh alat *corrosometer* untuk mendapatkan nilai kumulatif dari kehilangan logam sehingga alat dapat diketahui besarnya laju korosi pada pipa.



Foto 3.1
Corrosometer CK 3

Pada dasarnya Corrosometer CK-3 memiliki 4 bagian utama yaitu Bagian *function switch*, bagian *corrosion dial*, bagian *probe selector switch*, dan bagian *panel meter* bagian-bagian ini memiliki fungsi dan

tugas tertentu dalam proses pembacaan laju korosi. Untuk dapat melakukan pengukuran yang tepat maka proses pembacaan data dial harus dilakukan dengan benar .

Bagian *function switch* pada bagian ini merupakan bagian indikasi tentang penggunaan sensitivitas arus listrik dalam panel ini terdapat 4 bagian utama yaitu :

1. Bagian *OFF*

Pada bagian *off* ini alat secara otomatis akan mematikan seluruh aliran listrik sehingga aliran listrik benar-benar tidak mengalir

2. Bagian Normal.

Pada bagian ini alir aliran listrik yang dialirkan dalam keadaan normal. Bagian ini sering dipakai bila tidak ada gangguan dari arus liar di sekitar *probe span*.

3. Bagian Tinggi atau *High*

Pada bagian ini alir aliran listrik lebih tinggi sehingga sensitivitas probe span semakin tinggi, pemakaian bagian *high* ini bila banyaknya gangguan dari aliran arus listrik disekitar lokasi pengukuran *probe span*.

4. Bagian Tes Baterai atau *Batt Test*

Pada bagian ini merupakan bagian yang digunakan untuk melakukan test terhadap baterai yang digunakan di dalam alat, bila arus baterai dalam kondisi prima maka jarum merah indikator akan menuju ke arah kanan tulisan *batt* bila baterai dalam kondisi buruk.

Bagian *probe selector switch* pada bagian ini merupakan bagian yang digunakan untuk arus pada alat, bagian ini terdiri dari angka-angka yang dapat diputar. Angka tersebut diselaraskan dengan bagian indikator meter. Jika kalibrasi optimal maka angka akan berada tepat di bagian tengah indikator meter. *Probe selector switch* mempunyai nilai maksimal sebesar 999 dan nilai optimal sebesar 000.

Bagian *probe selector switch* pada bagian ini merupakan bagian dari alat *corrosometer* untuk menentukan jenis probe apa yang digunakan dalam pengukuran jika menggunakan jenis probe berupa lilitan kawat dapat memutar pada bagian *wire* sedangkan untuk probe yang berupa pelat dapat memutar ke arah *stripe/tube* dan untuk melakukan apakah probe bekerja dengan baik dapat memutar ke arah *spesial* sedangkan untuk melakukan pengukuran logam pada material logam dengan sensitivitas normal dapat memutar ke arah *check*.

Panel mater terdiri dari garis merah ditengah bagian panel yang berfungsi untuk menentukan pengukuran alat yang pas dalam melakukan pengukuran laju korosi pada pipa.

3.4 Faktor- Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi suatu pipa, suatu pipa logam yang sama belum tentu mengalami kasus korosi yang sama pula pada lingkungan yang berbeda. Begitu juga dua pipa logam

pada kondisi lingkungan yang sama tetapi memiliki jenis material pipa yang berbeda, belum tentu material pipa tersebut mengalami peristiwa korosi yang sama. Maka dari hal tersebut dapat disimpulkan, bahwa terdapat dua faktor utama yang sangat mempengaruhi laju korosi pada suatu pipa logam, yaitu faktor metalurgi dan faktor lingkungan. Faktor metalurgi adalah faktor komposisi paduan logam yang berada pada pipa tersebut dikarenakan setiap bahan logam dan paduan logam memiliki sifat dan karakteristik baik secara kimia maupun fisika yang berbeda dalam kondisi lingkungan kerja tertentu, yang termasuk dalam faktor metalurgi antara lain :

- Jenis logam dan paduannya yang digunakan dalam pipa pada lingkungan tertentu, suatu pipa logam dapat tahan terhadap korosi. — contoh, pipa aluminium yang dapat membentuk suatu lapisan pasif pada lingkungan tanah dan air biasa, sedangkan pipa dengan komposisi logam Fe, Zn dapat dengan mudah terkorosi pada lingkungan ini.

Faktor yang selanjutnya sangat mempengaruhi laju korosi pada pipa adalah faktor lingkungan di mana suatu lingkungan dapat digolongkan lingkungan yang baik dalam arti kata lingkungan dengan laju korosi yang lambat maupun lingkungan yang korosif di mana suatu keadaan lingkungan yang sangat korosif dengan laju korosi yang tinggi.

Faktor-faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi korosi antara lain:

- Faktor lingkungan air dengan material pipa komposisi kimia ion-ion tertentu yang terlarut di dalam air dapat mengakibatkan jenis korosi yang berbeda-beda. Contohnya adalah antara air laut dan air tanah. Dalam lingkungan air laut material pipa dapat dengan mudah korosif karena, dalam lingkungan air laut mengandung ion klor yang sangat reaktif, sehingga mengakibatkan tingginya laju korosi berbeda dengan lingkungan air tanah yang relatif lebih tahan korosi.
- Jenis material yang dialirkan pada pipa, bila material yang dialirkan mengandung gas asam, maka korosi akan mudah terjadi karena gas asam bersifat korosif.

3.5 Ketahanan Laju Korosi Relatif

Ketahanan suatu material pipa dalam menghadapi peristiwa korosi pada suatu kondisi tertentu dapat menghasilkan laju korosi yang berbeda-beda oleh sebab itu perlu digolongkan kedalam suatu pembagian berdasarkan nilai laju korosi yang terjadi pada material pipa tersebut. Proses pembagian ini agar dapat mempermudah dalam mengetahui kondisi material pipa yang sebenarnya di lapangan.

Tabel 3.1
Comparison Of MPY With Equivalent Metric-Rate Expressions
 (Sumber: MG Fontana, *Rekayasa Korosi*, McGraw-Hill, 3rd ed, hal 172, 1986 Dicitak ulang dengan izin, McGraw-Hill Book Co)

Relative Corrosion Resistance	Mpy	Mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	Nm/h	Pm/s
Oustanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 - 5	0.02 – 0.1	25 - 100	02-10	1 – 5
Good	1-5	0.1 – 0.5	100 - 500	10 – 50	20 – 50
Fair	20 - 50	0.5 -1	500 - 1000	50 - 150	20 – 50
Poor	50 - 200	01-5	1000 - 5000	150 - 500	50 – 200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

3.6 Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi adalah suatu perhitungan yang digunakan untuk mengukur tingginya laju korosi pada material pipa baja yang hilang. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai laju korosi adalah sebagai berikut :

$$\text{Laju Korosi (mpy)} = \frac{\Delta \text{ Reading}}{\Delta \text{ Time}} \times 0,365 \times \text{Probe Span}$$

Di mana :

$\Delta \text{ Reading}$ = Pembacaan dimulai dari hari pertama pengukuran sampai dengan hari terakhir pengukuran.

$\Delta \text{ Time}$ = Waktu dimulai dari hari pertama pengukuran sampai dengan hari terakhir pengukuran (hari).

0,365 = Dalam satu tahun dianggap 365 hari.

Probe Span = Bernilai 10 (untuk tipe probe span T 20).

3.7 Perhitungan *Thickness Required*

Perhitungan *Thickness Required* diperlukan untuk menentukan tebal minimal dari pipa agar pipa bisa beroperasi dengan aman, perhitungan ini sangat diperlukan untuk menghitung sisa umur pakai (*Remaining Service Life*) pada pipa. Rumus yang di gunakan untuk mengukur *Thickness Required* adalah sebagaimana berikut

$$Tr = (P \times D) / (2 \times S \times E) + Ca$$

Di mana :

Tr = *Thickness Required* (Inchi).

P = Tekanan Kepala Sumur (Kscg)

D = Diameter Pipa (Inchi)

S = *Specification Minimum Yield Strength* (Kscg)

E = *Joint Factor*

Ca = *Corroton Allowance* (Inchi)

3.8 Perhitungan *Remaining Service Life*

Remaining Service Life (RSL) adalah suatu perhitungan yang digunakan untuk menentukan sisa umur pakai pipa agar pipa dapat beroperasi dengan aman berdasarkan tebal pipa minimal yang diperbolehkan dipakai.

Perhitungan *Remaining service life* mempunyai rumus sebagaimana berikut :

$$RSL = \frac{Ta - Tr}{CR}$$

Di mana ;

RSL = Sisa Umur Pipa (Tahun).

Ta = Data Tebal Hasil Pengukuran dengan menggunakan alat *Ultrasonic Thickness Meter* (Inchi).

Tr = *Thickness Required* (Inchi).

CR = *Corrosion Rate (Inchi Per Year)* Hasil pengukuran dengan menggunakan alat *Corrosometer CK-3 Portable Monitor*.