

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Material Logam

Logam dibedakan menjadi dua yaitu logam murni dan logam paduan (*alloy*). Logam dapat tersusun dari campuran unsur lain dengan jumlah perbandingan dan kadar tertentu, dari paduan tersebut maka logam akan memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda, tergantung dari unsur yang dipadukan.

Dalam industri minyak dan gas, penggunaan jenis material logam didasarkan atas kebutuhan. Dari dasar tersebut maka logam yang digunakan diharapkan mampu mendukung dari aktivitas produksi yang berlangsung, sehingga dengan demikian kegiatan produksi dapat berjalan dengan aman serta efektif.

3.1.1. Carbon Steel

Carbon steel adalah salah satu jenis paduan logam yang tersusun atas besi (Fe) dan karbon (C). Selain kedua unsur tersebut terdapat beberapa unsur lainnya seperti fosfor (P), sulfur (S), mangan (Mn) dan silikon (Si). Kandungan karbon (C) dalam *carbon steel* adalah sebesar 0,2 - 2,14%. Persentase kandungan karbon akan mempengaruhi dari kekerasan logam paduan *carbon steel* tersebut. Semakin tinggi kandungan karbon yang ada pada logam paduan *carbon steel*, maka akan semakin keras dan makin tinggi ketahanannya terhadap temperatur tinggi, namun keuletannya akan semakin berkurang dan titik leburnya juga akan semakin menurun. Begitu juga sebaliknya semakin rendah kandungan karbon yang terkandung pada logam paduan *carbon steel*, maka akan semakin rendah kekerasannya serta ketahanannya terhadap temperatur tinggi, tetapi keuletannya akan semakin tinggi dan titik leburnya juga semakin tinggi.

Berdasarkan kandungan karbonnya logam paduan *carbon steel* terdapat beberapa jenis, diantaranya adalah *low carbon steel*. *Low carbon steel* memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3%. *Carbon steel* jenis ini memiliki nilai kekuatan luluh sebesar 40.000 Psi, dan kuat tarik sebesar 415 dan 550 Mpa. *Low carbon steel* memiliki keuletan yang baik serta titik lebur yang tinggi, hal ini menyebabkan baja karbon jenis ini banyak digunakan dalam industri otomotif.

Jenis *carbon steel* selanjutnya adalah *medium carbon steel*. Kandungan karbon pada *medium carbon steel* adalah sebesar 0,3 – 0,59 %. Ketahanan *medium carbon steel* terhadap temperatur jauh lebih baik dibandingkan *low carbon steel*. Dari sisi sifat mekaniknya *carbon steel* jenis ini memiliki kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi daripada *medium carbon steel* sehingga *carbon steel* jenis ini banyak digunakan sebagai poros, pipa minyak dan gas, serta komponen mesin.

Jenis *carbon steel* yang lain adalah *high carbon steel*. *High carbon steel* memiliki kandungan karbon diatas 0,6%. *Carbon steel* jenis ini memiliki kekerasan, ketahanan pada temperatur dan kuat tarik yang jauh lebih tinggi dari kedua jenis *carbon steel* yang lain, namun memiliki keuletan serta titik lebur yang lebih rendah. Dengan kelebihan yang ada pada sifat mekaniknya tersebut, maka *carbon steel* jenis ini banyak digunakan sebagai bahan dalam pembuatan perkakas.

Sedangkan berdasarkan standar *American Iron and Steel Institute* (AISI) logam paduan *carbon steel* dapat diklasifikasikan menjadi empat kelompok yaitu, diantaranya :

1. Baja karbon *nonresulfurized*, baja karbon jenis ini mengandung mangan sebesar 0,25%-0,02%. Pada baja karbon *nonresulfurized* tidak memiliki komposisi sulfur sama sekali di dalam paduan logamnya.

2. Baja karbon *resulfurized*, baja karbon ini mengandung sulfur sebesar 0,08%-0,33%. Besarnya sulfur yang dikandung pada baja karbon jenis ini, berfungsi untuk meningkatkan *machinability* (kemampuan fungsi) dari baja karbon ini.
3. Baja karbon *rephosphorized* dan *resulfurized*, baja karbon ini mengandung sulfur sebesar 0,16% - 0,35% dan *phosphorus* 0,04% - 0,12% pada komposisi paduan logamnya. Kombinasi pada komponen paduan logam baja karbon jenis ini bertujuan untuk meningkatkan fungsi serta sifat mekanik dari baja karbon ini.
4. Baja karbon dengan *manganese* tinggi, baja karbon ini memiliki komposisi mangan yang lebih tinggi dibandingkan keempat jenis baja karbon lainnya. Kandungan mangan pada komposisi baja karbon jenis ini dapat mencapai 1,00% - 1,65%. Penambahan unsur mangan yang cukup tinggi ini berfungsi untuk proses deoksidasi serta mengikat unsur belerang pada logam.

3.1.2. *Stainless steel*

Stainless steel adalah paduan logam yang mengandung beberapa unsur logam yaitu besi (Fe), karbon (C), kromium (Cr), nikel (Ni) dan molybdenum (Mo). Paduan logam ini memiliki karakteristik ringan serta tahan karat. Tahan karat pada paduan logam ini disebabkan oleh adanya unsur kromium, nikel dan molybdenum yang dapat menghasilkan lapisan pelindung pada permukaan besi (Fe) sehingga dapat menahan reaksi oksidasi yang terjadi pada besi.

Stainless steel terdapat beberapa jenis diantaranya adalah baja tahan karat Martensit (komposisi 12 - 13% kromium dan karbon 0,1 - 0,3 %), *stainless steel* jenis ini memiliki ketahanan hingga suhu 500 °C. Kemudian baja tahan karat Ferit (komposisi 16-18% kromium) *stainless steel* jenis ini memiliki ketahanan oksidasi yang jauh lebih tinggi sehingga banyak digunakan dalam konstruksi bangunan. Selain itu terdapat baja tahan karat Austenit (komposisi 18% dan nikel 8%), *stainless steel*

jenis ini memiliki ketahanan oksidasi yang paling baik dan mudah untuk dibentuk dibandingkan jenis *stainless steel* yang lain.

3.1.3. Paduan Alumunium

Paduan alumunium adalah campuran logam yang terdiri dari alumunium dengan dua unsur logam lain seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn dan lain sebagainya. Tujuan dari perpaduan tersebut adalah untuk meningkatkan sifat mekanik dari logam tersebut. Paduan jenis ini memiliki ketahanan terhadap korosi yang jauh lebih tinggi, hal tersebut dapat terjadi sebagai akibat terbentuknya lapisan pelindung Al_2O_3 dari unsur Al pada permukaannya.

Pada logam paduan alumunium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dibandingkan baja. Dengan kelebihan yang dimilikinya tersebut, jenis paduan logam ini banyak digunakan sebagai bahan alternatif untuk pengganti fungsi dari logam lain. Sebagai contoh pengaplikasian paduan logam jenis ini banyak digunakan pada sejumlah peralatan dalam berbagai industri, konstruksi dan peralatan rumah tangga.

3.2 *Naphtha Oil*

Naphtha oil atau yang disebut dengan minyak nafta adalah salah satu produk minyak hasil dari proses pemisahan minyak mentah (*Crude Oil*) yang memiliki titik didih sebesar $175^{\circ}C - 200^{\circ}C$, sehingga dalam destilasi bertingkat, produk ini termasuk dalam kategori fraksi kedua. Dalam penggunaannya, nafta hasil destilasi banyak digunakan sebagai komponen bahan baku untuk dijadikan HOMO (*High Octane Mogas Component*) contohnya seperti pertamax, pertamax plus, dan avtur. Selain itu nafta juga banyak digunakan sebagai perekah uap (*steam cracker*) dan pelarut (*solvent*) dalam industri kimia.

Naphtha oil dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *light naphtha* (nafta ringan) dan *heavy naphtha* (nafta berat), yang membedakan dari kedua jenis nafta tersebut adalah susunan rantai karbonnya serta titik didihnya. Pada *light naphtha* memiliki titik didih 30°C - 50°C, sedangkan pada *heavy naphtha* memiliki titik didih sebesar 50°C - 150°C, sehingga dengan demikian produk yang akan dihasilkan dari kedua jenis *naphtha oil* tersebut pun juga akan berbeda.

Selain *naphtha oil* terdapat beberapa produk lain yang dihasilkan dari destilasi *crude oil* yaitu seperti kerosin (minyak tanah), *Liquified Petroleum Gas* (LPG), propylene, solar (diesel) dan *decant oil*. Seluruh produk destilasi tersebut diperoleh berdasarkan perbedaan titik didihnya, yang selanjutnya dari hasil produk tersebut akan diolah lebih lanjut untuk menjadi produk yang siap pakai.

3.3 Korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya (Trethewey, 1991). Korosi juga dapat diartikan sebagai peristiwa alamiah yang terjadi pada bahan dan merupakan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam (Supriyanto, 2007).

Korosi memiliki arti proses perusakan atau degradasi material logam akibat terjadinya reaksi kimia antara panduan logam dengan lingkungannya. Proses perusakan material logam tersebut tentu sangat merugikan, karena dapat mengakibatkan penurunan 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 di tempat material tersebut berada.

Reaksi yang terjadi pada peristiwa korosi pipa baja sebagai berikut :

1. Reaksi Oksidasi



2. Reaksi Reduksi

a. Dalam kondisi lingkungan $\text{pH} < 7$ (asam)



b. Dalam kondisi lingkungan $\text{pH} \geq 7$ (netral dan basa)



Selain faktor suhu, tekanan yang tinggi juga dapat mengakibatkan terjadinya korosi pada logam. Oleh karena itu, hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan umur pakai logam adalah dengan cara melakukan penerapan sistem pencegahan korosi maupun sistem pengendalian korosi terhadap material logam tersebut. Dengan demikian, umur pakai material logam tersebut dapat bertahan sesuai dengan umur desainnya. (Sundjono, 2006).

3.4 Jenis–Jenis Korosi

Korosi yang terjadi pada suatu logam dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Dari berbagai faktor tersebutlah maka mekanisme pembentukan korosi yang akan terjadi pun akan berbeda-beda pula. Akibat perbedaan dalam mekanisme pembentukannya tersebut maka bentuk korosi yang ditampilkan juga akan berbeda.

Berikut adalah beberapa jenis-jenis korosi yang terjadi pada logam :

3.4.1 Korosi Merata (*Uniform Corrosion*)

Korosi jenis ini adalah korosi yang terjadi secara menyeluruh pada permukaan pipa dalam laju yang bersamaan. Terjadinya selang waktu yang berdekatan serta kondisi korosi yang menyerang secara bersamaan ini disebabkan oleh reaksi logam pada lingkungannya seperti temperatur udara sekitar, kelembaban relatif, kontak dengan tanah dan lain sebagainya. Korosi ini akan menyebabkan kehilangan material dalam jumlah yang cukup besar pada permukaan logam. Logam yang terkena korosi jenis ini menampilkan perubahan kondisi logam yang sangat signifikan serta jelas yang ditandai dengan perubahan warna awal yang menyebar secara luas dan merata pada permukaan yang terjadi korosi.

Jenis korosi ini dapat diketahui dengan baik karena tampilan serangannya yang menyeluruh dan seragam di semua permukaan logam. Korosi ini terjadi jika lingkungan korosif mempunyai akses yang sama ke seluruh bagian dari permukaan logam dan secara termodinamika logamnya harus mempunyai komposisi kimia yang sama. Akan tetapi kondisi ini tidak berlaku umum. Pada umumnya korosi merata ini tidak mempunyai sifat protektif mandiri yang baik, sehingga mekanisme korosi di semua tempat berlangsung tanpa hambatan yang berarti. (Harsisto, 2005).



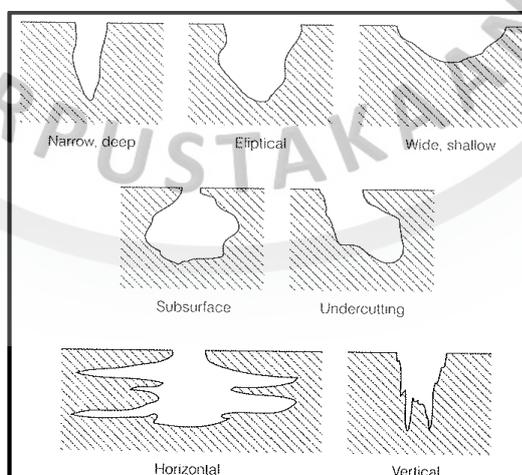
Sumber : Anonim , 2016

Gambar 3.1
Korosi Merata

3.4.2 Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran merupakan korosi lokal yang terjadi pada permukaan yang terbuka akibat terjadinya perusakan lapisan pasif oleh lingkungan oksidatif kuat dan ion klorida yang sangat agresif. Korosi jenis ini ditandai dengan adanya lubang kecil yang terbentuk pada bagian permukaan logam. Jenis korosi sumuran atau *pitting corrosion* ini sangat berbahaya karena lokasi terjadinya tidak mudah diketahui dan sangat kecil. Pada operasi dengan tekanan operasi tinggi, korosi jenis ini dapat mengakibatkan terjadinya kondisi pipa patah atau meledak karena terjadinya lubang pada pipa.

Lubang kecil yang ada pada korosi sumuran umumnya memiliki arah yang sama dengan gravitasi. Hal ini dapat terjadi akibat adanya mekanisme reaksi yang menghasilkan larutan pekat serta berat, sehingga larutan tersebut tertinggal berada di dalam sumuran dan menjadi sarana terjadinya serangan pada korosi selanjutnya. Beberapa faktor yang memicu untuk terjadinya korosi jenis ini adalah adanya elektrolit yang diam pada logam, adanya garam-garam klorida pengoksidasi yang terlarut dalam lingkungan logam dan adanya cacat pada pembuatan logam.



Sumber : Utomo Budi , 2009

Gambar 3.2
Bentuk Korosi Sumuran

3.4.3 Korosi Atmosferik (*Atmospheric Corrosion*)

Korosi jenis ini adalah korosi yang terjadi akibat pengaruh dari kondisi udara sekitar. Dimana korosi jenis ini dipengaruhi oleh air, nilai kelembaban relatif yang tinggi serta kandungan ion-ion dalam udara seperti oksigen dan nitrogen. Korosi jenis ini umumnya menyerang bagian luar permukaan logam yang terpapar langsung dengan kondisi udara. Tingkat kerusakan logam akibat korosi jenis ini bergantung pada senyawa ion pengotor yang terkandung dalam udara seperti senyawa karbon dioksida, monoksida, belerang trioksida dan lain sebagainya yang berasal dari hasil pembakaran pada kendaraan bermotor dan industri.

Temperatur udara sangat berpengaruh terhadap korosi jenis ini. Dimana temperatur tersebut berpengaruh melalui dua cara. Cara pertama, yaitu apabila temperatur tinggi maka kelarutan oksigen berkurang. Cara kedua, yaitu jika temperatur turun lebih rendah dari titik embun, udara menjadi jenuh dan titik – titik air akan mengendap pada setiap permukaan yang terbuka. Sehingga dengan demikian, korosi pada permukaan logam dapat terjadi.

3.5 Pengendalian Korosi

Pengendalian korosi dilakukan dengan tujuan untuk menahan dari tingginya laju korosi yang terjadi. Berikut adalah beberapa cara dalam pengendalian korosi, diantaranya yaitu :

1. Seleksi Material dan Desain

Daya tahan material logam terhadap korosi dapat ditingkatkan dengan merekayasa komposisi logam, struktur mikronya atau dengan membuat kondisi tegangan dan permukaannya. Peningkatan daya tahan korosi dengan pepaduan dapat bersifat sebagai berikut (*Jonnes, 2001*) :

- a. *Passive*, misalnya dilakukan dengan menambahkan Cr, Ni dan Mo dalam baja tahan karat dan dalam paduan lain;
- b. Katodik, mendorong proses pasifasi misalnya penambahan unsur-unsur Cu, Ag, Pd atau Pt dalam baja tahan asam; Ni dalam aluminium;
- c. Penetral, misalnya Ti, Nb dan Ta sebagai pembentuk karbida dalam *austenitic stainless steel*, seperti Ti dan Cu untuk menetralkan unsur S dalam baja, kemudian Mg dan Mn untuk menetralkan Fe dan Si dalam aluminium;
- d. Pembentuk oksida, misalnya Cr, Al dan Si dalam baja tahan panas, Al, Be dan Mg dalam tembaga untuk meningkatkan daya tahan terhadap korosi;
- e. *Inhibiting*, misalnya As atau Sb dalam kuningan (*brass*) untuk mencegah lepasnya atau hilangnya *zinc* (*dezincification*).

2. Rekayasa Media Korosif

Pengendalian korosi dengan rekayasa media korosif dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :

- a. Menghilangkan kandungan O₂ dalam fluida;
- b. Menetralkan asam dalam fluida;
- c. Menetralkan garam-garam pada fluida dengan pertukaran ion;
- d. Menghilangkan partikel-partikel padatan dalam fluida dengan cara penyaringan.

3. Pelapisan Permukaan Logam (*Coating*)

Pengendalian korosi dengan cara *coating* dapat dilakukan dengan berbagai cara serta metode diantaranya, yaitu:

- a. Pelapisan logam secara organik

Pelapisan ini dilakukan dengan melapisi logam dasar menggunakan cairan yang memiliki komponen organik *pigment*, *additive* dan *solvent*. Komponen

tersebut nantinya akan membentuk sebuah pelapis yang membatasi logam dengan kondisi lingkungan sekitar yang dapat memicu terjadinya korosi.

b. *Hot dipping*

Merupakan salah satu metoda yang dilakukan dengan pencelupan logam dasar yang ingin diproteksi kedalam cairan logam pelapis. Proses ini dilakukan pada saat suhu yang tinggi.

c. Inorganik *coating*

Inorganik *coating* adalah satu metoda proteksi logam dengan cara pelapisan menggunakan bahan-bahan tertentu. Bahan-bahan tersebut tentunya dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung. Perlindungan yang diberikan adalah berupa pembentukan lapisan pada logam yang ingin dilindungi. Contoh inorganik *coating* yang tergolong dalam kategori sebagai lapisan pelindung adalah *vitreous enamel*. Bahan ini dapat tahan terhadap alkali (yang tidak terlalu kuat) dan asam (kecuali asam *hydrofluor*).

d. Pelapisan difusi

Pelapisan difusi adalah metoda pengendalian korosi yang dilakukan dengan menggunakan konsep pembentukan lapisan paduan logam berdasarkan prinsip difusi antar logam. Dengan memanfaatkan lapisan yang terbentuk antar logam tersebut, maka logam dasar yang ingin dilindungi dapat terproteksi dengan baik.

e. *Cladding*

Cladding adalah pelapisan suatu logam tidak tahan korosi dengan logam yang memiliki ketahanan korosi lebih tinggi. Namun pada metoda ini, logam yang dilapisi memiliki sifat mekanik dan fisik yang baik. Metoda ini umumnya diaplikasikan pada logam yang memiliki sifat mudah dibentuk.

4. *Corrosion Inhibitor*

Inhibitor korosi merupakan zat organik atau anorganik yang apabila ditambahkan ke dalam lingkungan yang korosif akan menghambat reaksi pada korosi yang terjadi sehingga diharapkan mampu untuk menurunkan laju korosi. Dalam hal ini inhibitor tersebut ditambahkan untuk melindungi bagian internal struktur terhadap korosi, akibat adanya fluida yang mengalir atau tersimpan dalam struktur tersebut seperti pada pipa alir, bejana dan tangki timbun. Berikut adalah beberapa macam jenis inhibitor korosi, diantaranya adalah :

a. Inhibitor katodik

Inhibitor jenis ini berfungsi untuk menurunkan laju korosi dengan cara menghambat reaksi reduksi. Dimana molekul organik yang bersifat netral akan teradsorpsi di permukaan logam, akibatnya celah untuk ion hidrogen menuju permukaan elektroda akan berkurang. Dengan berkurangnya celah akses ion hidrogen menuju permukaan elektroda tersebut, maka *hydrogen overvoltage* akan meningkat akibatnya laju korosi yang terjadi pun juga akan semakin menurun. Yang termasuk dalam jenis inhibitor ini adalah *oxygen scavenger* dan inhibitor presipitasi katodik seperti *hydrazine*.

b. Inhibitor anodik

Inhibitor jenis ini berfungsi menghambat reaksi oksidasi. Dimana mekanisme perlindungan yang diberikan adalah dengan cara mengadsorpsi molekul organik yang terdapat pada permukaan logam, sehingga katalis FeOH_{ad} dapat berkurang, akibatnya laju korosi pun juga akan semakin menurun. Yang termasuk inhibitor jenis ini adalah kromat, borat, fosfat, nitran dan molibdat.

c. Inhibitor campuran

Inhibitor jenis ini adalah kombinasi dari inhibitor anodik dengan inhibitor katodik. Kombinasi inhibitor ini digunakan pada kondisi tertentu dengan tujuan

untuk memperoleh fungsi dari masing-masing inhibitor tersebut, dengan harapan penurunan laju korosi dapat berjalan secara efektif.

5. Rekayasa Potensial Antar Muka Logam

Pengendalian korosi secara rekayasa potensial antar logam dilakukan dengan cara merekayasa potensial elektroda agar korosi dapat dicegah atau menghambat dari laju korosi yang terjadi. Metode ini dapat dilakukan dengan cara proteksi katodik. Proteksi katodik (*Cathodic Protection*) dapat dilakukan dengan dua cara sistem yaitu dengan menggunakan sistem anoda korban (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*) dan sistem arus tanding (*Impressed Current Cathodic Protection*). Berikut adalah penjelasannya :

a. Sistem Proteksi Anoda Korban atau *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP)

Dapat dilakukan saat suatu logam dihubungkan dengan logam yang lebih reaktif (anoda) secara elektrik. Rangkaian hubungan antar logam ini mengarah pada sebuah rangkaian galvanik. Untuk memproteksi korosi secara efektif dari struktur logam, material anoda harus mempunyai beda potensial yang cukup besar agar dapat menghasilkan aliran arus elektrolit, sehingga elektron yang ada pada anoda akan mengalir pada katoda dan melindungi dari korosi yang terjadi. Umumnya sistem anoda korban digunakan untuk melindungi struktur logam dengan kebutuhan arus yang proteksinya dan resistivitas tanahnya rendah.

b. Sistem Arus Tanding atau *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP)

Pada sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dapat dilakukan dengan menggunakan anoda yang dihubungkan dengan

sumber arus DC atau AC yang berasal dari luar yang dinamakan *cathodic protection rectifier*. Kemudian arus dari anoda akan mengalir pada elektrolit, dimana kutub positif dihubungkan pada anoda dan kutub negatif dihubungkan pada struktur logam yang ingin diproteksi. Selanjutnya elektron akan mengalir keseluruhan pada permukaan struktur yang ingin diproteksi dan kembali lagi pada *rectifier*. Dengan demikian elektron dari anoda akan melapisi pada bagian struktur tersebut, akibatnya struktur yang ada akan menjadi terproteksi. Sistem arus tanding ini biasa digunakan untuk melindungi struktur yang membutuhkan arus proteksi yang besar.

3.6 Faktor–Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi suatu logam, suatu logam yang sama belum tentu mengalami tingkat korosi yang sama pada lingkungan yang berbeda. Begitu juga dengan pipa logam pada kondisi lingkungan yang sama tetapi jenis material pipa tersebut berbeda, belum tentu material pipa tersebut mengalami peristiwa korosi yang sama. Maka, hal tersebut dapat disimpulkan, bahwa terdapat dua faktor utama yang sangat mempengaruhi laju korosi pada suatu pipa logam, yaitu faktor internal dan faktor eksternal.

3.6.1 Faktor Internal

Faktor ini merupakan faktor yang memuat komposisi dari paduan logam yang ada dalam 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. Dengan demikian, faktor ini juga akan mempengaruhi ketahanan korosi dari logam tersebut pada suatu kondisi lingkungan.

Selain itu faktor internal yang menyebabkan terjadinya korosi adalah fluida yang mengalir pada bagian dalam pipa tersebut. Nilai pH, komposisi, temperatur dan kecepatan atau debit fluida yang mengalir berpengaruh terhadap korosi yang terjadi pada bagian dalam pipa. Tingginya pengotor pada fluida yaitu seperti sulfur dan klorida juga turut mempengaruhi korosi yang terjadi.

3.6.2 Faktor Eksternal

Faktor ini sangat mempengaruhi laju korosi, dimana faktor eksternal yang dimaksud adalah faktor yang berasal dari luar pipa logam atau faktor yang berhubungan dengan kondisi lingkungan tempat pipa logam tersebut berada. Adapun beberapa faktor eksternal yang mempengaruhi laju korosi, yaitu:

1. Udara

Udara mampu mempengaruhi korosi yang terjadi pada suatu logam, hal tersebut tergantung dari komposisi pada udara tersebut, serta tingkat kelembaban udara yang ada. Semakin tinggi nilai kelembaban udara pada suatu daerah menandakan daerah tersebut memiliki tingkat kebasahan yang tinggi juga, sehingga pada kondisi basah tersebut logam akan lebih mudah bereaksi untuk terjadinya korosi. Pada komposisi udara yang didominasi oleh kandungan asam turut menjadi faktor eksternal penyebab terjadinya korosi.

2. Air

Air juga merupakan salah satu faktor penyumbang korosi pada suatu logam, air dengan kondisi tertentu seperti air laut, merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya korosi pada logam. Kandungan garam yang terdapat pada air laut dapat menyebabkan tingginya korosi yang terjadi. Hal tersebut dapat terjadi karena garam atau NaCl merupakan senyawa yang baik untuk terjadinya proses transfer muatan, akibatnya elektron yang ada akan semakin

mudah untuk diikat oleh oksigen di udara. Dengan demikian korosi yang terjadi pun akan semakin tinggi pada kondisi lingkungan tersebut.

3. Tanah

Tanah memiliki berbagai jenis, jenis tanah dipengaruhi oleh komposisi penyusunnya, apabila tanah tersusun atas material pembawa asam seperti *sulphuric*, maka tanah tersebut akan berjenis asam. Logam yang bersentuhan dengan kondisi tanah asam dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan terjadi korosi pada logam tersebut.

4. pH

pH atau *potential of Hydrogen* adalah suatu parameter yang menyatakan konsentrasi ion hydrogen pada suatu zat. pH digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasahan yang ada pada suatu zat. Zat tersebut bisa dalam kondisi *liquid* (cair) seperti air ataupun solid (padat) seperti pada tanah. Dari ketiga kategori nilai pH yaitu asam, netral, dan basa, pH dengan kategori asam adalah pH dengan kondisi yang memiliki potensi sangat tinggi untuk terjadinya korosi pada suatu logam.

5. Resistivitas

Resistivitas adalah nilai yang menunjukkan tingkat ketahanan suatu objek. Dimana dalam hal ini resistivitas yang dimaksud adalah resistivitas tanah. Dimana semakin rendah nilai resistivitas tanah pada suatu daerah maka akan semakin tinggi tingkat korosivitasnya. Untuk lebih jelasnya mengenai tingkat korosivitas berdasarkan nilai resistivitas tanahnya dapat dilihat pada **Tabel 3.1** di bawah ini.

Tabel 3.1
Corrosivity Ratings Based on Soil Resistivity

No	Soil Resistivity (Ω cm)	Corrosivity Rating
1	> 20000	Essentially noncorrosive
2	10000 to 20000	Mildly corrosive
3	5000 to 10000	Moderately corrosive
4	3000 to 5000	Corrosive
5	1000 to 3000	Highly corrosive
6	<1000	Extremely Corrosive

Sumber : Corrosion Engineering Principles & Practice, 1991

3.7 Ketahanan Korosi Relatif

Ketahanan korosi relatif adalah ketahanan suatu material logam terhadap peristiwa korosi yang terjadi. Ketahanan korosi relatif pada suatu material logam memiliki nilai yang berbeda-beda, dengan nilai yang berbeda-beda tersebut maka ketahanan korosi relatif suatu logam dapat digolongkan menjadi enam kategori yaitu *outstanding*, *excellent*, *good*, *fair*, *poor*, dan *unacceptable*. Penggolongan tersebut di dasari dari nilai laju korosi yang ada. Untuk lebih detailnya penggolongan ketahanan kategori ketahanan korosi relatif berdasarkan laju korosi dapat dilihat pada **Tabel 3.2** di bawah ini.

Tabel 3.2
Ketahanan Korosi Relatif

Relative Corrosion Resistance	Mpy	mm/yr	μ m/yr	Nm/h	Pm/s
Outstanding	<1	<0.02	<25	<2	<1
Excelent	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+

Sumber: MG Fontana, *Rekayasa Korosi*, McGraw-Hill, 1996

3.8 Monitoring Korosi

Monitoring atau pemantauan korosi dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya adalah dengan menggunakan metoda kehilangan berat dan metoda

pengurangan ketebalan. Berikut adalah penjelasan dari metoda *monitoring* korosi yang ada :

3.8.1 Metoda Kehilangan Berat

Metoda kehilangan berat adalah salah satu metoda *monitoring* korosi yang dilakukan dengan memasang sebuah media objek uji kedalam pipa dan dibiarkan terpasang secara internal dan teraliri oleh fluida yang mengalir pada pipa. Media tersebut biasanya berbahan dasar logam seperti seng (Zn), tembaga (Cu) ataupun baja karbon yang berbentuk seperti kepingan. *Monitoring* ini dilakukan dengan mengukur berat awal suatu media objek uji dengan berat setelah media objek uji tersebut terpasang. Hasil selisih penimbangan yang dilakukan di laboratorium selanjutnya akan dijadikan sebagai data untuk dilakukan perhitungan aktual dari korosi yang terjadi.

3.8.2 Metoda Pengurangan Ketebalan

Metoda *monitoring* ini dilakukan dengan pengukuran secara langsung pada pipa logam. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *ultrasonic thickness gauge*. Prinsip dari alat ukur ini adalah memantulkan gelombang ultrasonik yang kemudian diinterpretasikan dalam sebuah grafik pada layar digital alat tersebut. Hasil pemantulan gelombang tersebut akan memberikan nilai dari pengukuran *thickness* yang dilakukan.

Kemudian pada hasil pengukuran ini juga akan dapat diketahui adanya anomali yang diketahui juga dari interpretasi pemantulan gelombang. Anomali yang dihasilkan juga dapat mendakan adanya rekahan atau *crack* yang terjadi pada permukaan logam tersebut. Metoda ini banyak digunakan pada sejumlah inspeksi untuk *monitoring* pada peralatan berbahan dasar logam di industri minyak dan gas.

3.9 Perhitungan *Thickness Required* (T_r), *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP), Laju Korosi (*Corrosion Rate*) dan Sisa Umur Pakai (*Remaining Service Life*) Pipa

Untuk perhitungan *Corrosion Rate*, *Thickness required*, *Maximum Allowable Working Pressure*, dan *Remaining Service Life* ini merujuk pada standar API 570. Berikut adalah penjelasan singkat dari persamaan yang digunakan dalam pengolahan data yang ada.

1. Perhitungan *Thickness Required* (T_r)

Perhitungan *Thickness Required* diperlukan untuk menentukan tebal minimal dari pipa agar pipa dapat beroperasi dengan aman, perhitungan ini diperlukan untuk menentukan sisa umur pakai (*Remaining Service Life/ RSL*) pada pipa tersebut. Persamaan yang digunakan dalam menentukan *Thickness required* ini adalah sebagai berikut:

$$T_r = \frac{P \times D}{2 \times S \times E} + CA \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :

- T_r = *Thickness Required* (mm)
- P = *Internal Design Pressure* (psi)
- D = *Diameter Pipa* (mm)
- S = *Specification Minimum Yield Strength* (psi)
- E = *Joint Factor*
- CA = *Corrosion Allowance* (mm)

2. Perhitungan MAWP (*Maximum Allowable Working Pressure*)

MAWP (*maximum allowable working pressure*) adalah tegangan yang diizinkan dari material yang digunakan. MAWP merupakan parameter penting dalam analisis tegangan sistem perpipaan. Tegangan kerja dalam sistem perpipaan tidak boleh melebihi tegangan yang diizinkan berdasarkan kode dan standar material tersebut. Berikut adalah rumus persamaan untuk mendapatkan nilai *maximum allowable working pressure* :

$$\text{MAWP} = \frac{2 \times S \times E \times t_{\text{aktual}}}{D} \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

MAWP	= <i>Maximum Allowable Working Pressure</i> (psi)
S	= <i>Specification Minimum Yield Strength</i> (psi)
E	= <i>Joint Factor</i>
t _{aktual}	= <i>Tebal hasil pengukuran</i> (mm)
D	= <i>Outside Diameter</i> (mm)

3. Perhitungan Laju Korosi (*Corrosion Rate*)

Perhitungan laju korosi (*corrosion rate*) adalah suatu perhitungan yang digunakan untuk mengetahui nilai laju korosi pada material pipa baja yang terkorosi. Pada standar API 570 rumus yang digunakan untuk menghitung laju korosi ini adalah sebagai berikut :

$$\text{CR} = \frac{t_{\text{nominal}} - t_{\text{aktual}}}{\text{Umur Pakai Pipa}} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

CR	=	<i>Corrosion rate</i> (laju korosi) (mm/tahun)
t_{nominal}	=	Tebal pipa pada pemasangan awal (mm)
t_{aktual}	=	Tebal pipa pada saat inspeksi (mm)
Umur Pakai Pipa	=	Waktu pemasangan hingga inspeksi saat ini (tahun)

4. Perhitungan Sisa Umur Pakai (*Remaining Service Life*) Pipa

Perhitungan sisa umur pakai (*Remaining Service Life*) pipa adalah perhitungan yang digunakan untuk menentukan sisa umur pakai pipa agar pipa dapat beroperasi dengan aman berdasarkan tebal pipa minimal yang diperbolehkan untuk dipakai. Persamaan yang dipakai dalam perhitungan *Remaining Service Life* ini adalah sebagai berikut :

$$RSL = \frac{t_{\text{aktual}} - t_{\text{required}}}{CR} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

RSL	=	Sisa Umur Pakai Pipa (tahun)
t_{aktual}	=	Tebal pipa pada saat inspeksi (mm)
t_{required}	=	<i>Thickness Required</i> (mm)
CR	=	<i>Corrosion Rate</i> (laju korosi) (mm per tahun)