

BAB II

DASAR TEORI

2.1 RISK ASSESSMENT.

2.1.1. Konsep Resiko

Sengaja atau tidak disengaja, manusia membuat keputusan berdasarkan bahaya mulai dari keputusan sederhana seperti mengemudi ke suatu tempat atau menyebrang di jalan raya. Keputusan yang lebih penting seperti membeli rumah, investasi sampai keputusan untuk menikah secara tidak langsung diambil berdasarkan resiko. Semua aspek hidup tidak bebas resiko dan membutuhkan kewaspadaan.

Resiko adalah kombinasi dari kemungkinan terjadinya sebuah peristiwa selama jangka waktu tertentu dan akibat dari terjadinya peristiwa kejadian tersebut (pada umumnya negatif). Dalam bentuk matematika, resiko bisa dihitung melalui persamaan [5] :

$$\text{Risk} = \text{Probability} \times \text{Consequence} [5]$$

2.1.2 Risk-Based Inspection (RBI)

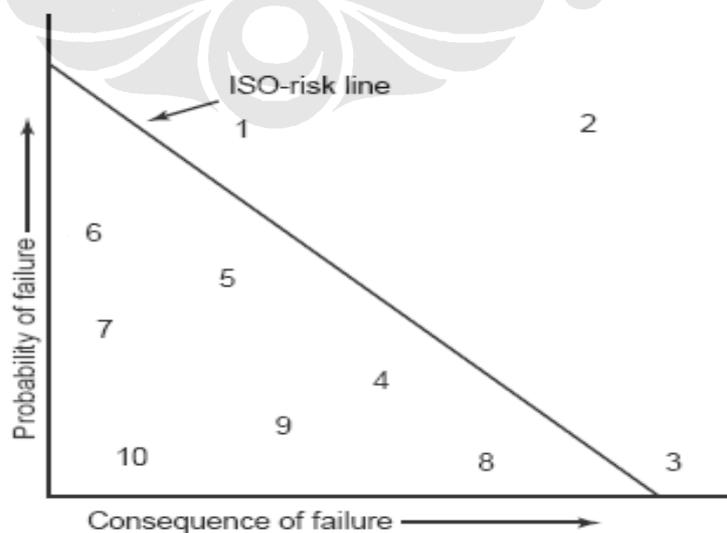
Risk-Based Inspection (RBI) adalah tinjauan terhadap resiko dan manajemen proses yang difokuskan kepada pencegahan kerugian dari peralatan bertekanan tinggi yang dikarenakan oleh kerusakan material. RBI sebagai pendekatan berbasis resiko, memfokuskan perhatian secara spesifik terhadap peralatan dan mekanisme terjadinya kerusakan yang membahayakan sebuah fasilitas [5].

Tujuan dari RBI adalah untuk menentukan kemungkinan terjadinya sebuah insiden yang merugikan (*probability*) dan bagaimana dampak dari insiden tersebut (*consequence*). Sebagai contoh : jika terjadi sebuah korosi pada *pressure vessel*, maka beberapa dampak akan ditimbulkan. Beberapa konsekuensi dari terjadinya insiden tersebut diantaranya : kerusakan dari peralatan, terbebasnya zat beracun ke

lingkungan yang menyebabkan rusaknya lingkungan, terhentinya proses produksi dan menyebabkan kerugian secara ekonomi.

Kombinasi dari kemungkinan terjadinya satu atau lebih peristiwa dengan konsekuensinya masing-masing akan menentukan resiko terhadap suatu operasi. Beberapa kegagalan (*failures*) bisa terjadi relatif sering tanpa efek yang signifikan terhadap segi kesehatan, lingkungan dan ekonomi. Sama dengan jika sebuah kegagalan bisa berdampak sangat serius tapi kemungkinan terjadinya kegagalan sangat rendah maka resiko tersebut tidak membutuhkan penanganan segera. Bagaimanapun, jika kemungkinan dan dampak sebuah peristiwa sangat tinggi maka diperlukan aksi mitigasi untuk memprediksi dan mencegah sebuah insiden [5].

Dengan adanya dua aspek dimensional dari resiko sangat diperlukan pemahaman yang dalam penggunaan resiko terhadap prioritas inspeksi dan perencanaan. Gambar 2.1 memperlihatkan resiko pada beberapa equipment pada sebuah *plant*. *Probability* dan *consequence* dari kegagalan telah ditentukan terhadap sepuluh equipment tersebut dan hasilnya telah diplot. Pemberian poin didasarkan tinggi rendahnya resiko pada equipment tersebut. Dari poin tersebut, perencanaan inspeksi bisa difokuskan terlebih dahulu kepada area yang beresiko tinggi. Garis '*ISO risk*' menggambarkan level dari resiko, *acceptable* dan *unacceptable*. Sering juga resiko diplot dengan menggunakan skala kotak-kotak (*log-log scale*).



Gambar 2.1 Plot Garis Batas Resiko (*ISO Risk Line*) [5]

2.1.3 Tipe Pendekatan Pada RBI

Berbagai jenis penilaian RBI dapat dilakukan dengan beberapa cara. Prosedur RBI dapat diaplikasikan secara kualitatif, kuantitatif atau dengan menggunakan kedua aspek tersebut (semi-kuantitatif), setiap pendekatan menghasilkan cara yang sistematis untuk menyaring resiko, mengidentifikasi wilayah yang berpotensi untuk terjadi kerusakan dan mengembangkan daftar prioritas untuk inspeksi dan analisa lebih dalam. Tiap pengembangan ukuran tingkatan resiko digunakan untuk mengevaluasi probabilitas dari kerusakan dan konsekuensi dari kerusakan. Kedua nilai ini kemudian dikombinasikan untuk menilai resiko. Dapat juga menggunakan pendapat seorang ahli untuk dapat menilai suatu resiko tanpa melihat jenis atau tingkatannya [6] . Berikut beberapa pendekatan pada RBI :

a. Pendekatan kualitatif

Pendekatan ini membutuhkan data berdasarkan informasi deskriptif dari pengalaman engineer sebagai dasar analisis *probability* dan *consequence*. Hasil yang didapat dalam bentuk kualitatif yaitu tinggi, rendah dan sedang, meskipun nilai angka bisa dihasilkan oleh pendekatan ini. Dari tipe analisis ini, dengan tidak adanya data kualitatif yang penting maka peninjauan resiko tidak bisa dihasilkan. Keakuratan dari analisis kualitatif bergantung pada analisisnya.

b. Pendekatan kuantitatif

Analisis resiko secara kuantitatif membutuhkan informasi yang relevan mengenai desain fasilitas, proses operasi, *reability* dari komponen, aksi manusia, kerusakan fisik dan efek terhadap lingkungan dan kesehatan. Analisis resiko secara kuantitatif menggunakan model logis yang menggambarkan sebuah kejadian yang dapat berdampak buruk dan model fisik yang menggambarkan peningkatan dampak dan aliran material berbahaya ke lingkungan. Model tersebut dievaluasi berdasarkan kemungkinannya untuk menetapkan pemahaman kualitatif dan kuantitatif tentang level dari resiko dan untuk mengidentifikasi desain dan lokasi serta karakteristik operasional yang beresiko tinggi. Perbedaan Analisis resiko secara kuantitatif pendekatan kualitatif adalah dalam detailnya analisis.

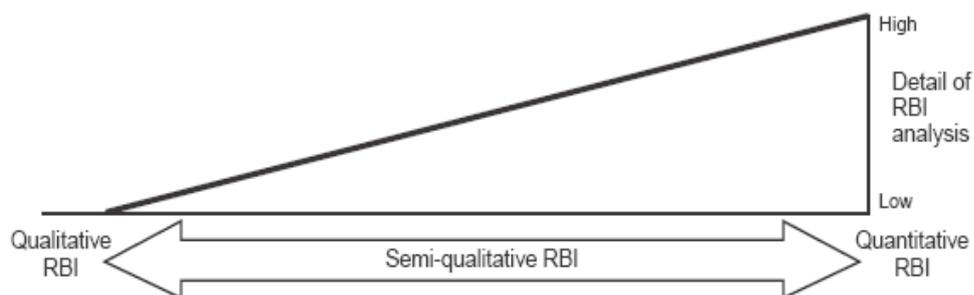
Model logis dari analisis resiko secara kuantitatif secara umum berisi *event trees* dan *fault trees*. *Event trees* menggambarkan awal dari sebuah kejadian dan kombinasi dari gagal atau tidaknya sistem, sedangkan *fault trees* menggambarkan cara kegagalan sistem yang telah diperlihatkan pada *event trees*. Model tersebut dianalisis untuk menghitung kemungkinan dan dampak setiap kegagalan. Hasil dari pendekatan ini berupa *risk number* (contohnya biaya per tahun)

c. Pendekatan semi kuantitatif

Pendekatan semi kuantitatif merupakan pendekatan yang berasal dari pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan ini dipakai untuk mendapatkan keuntungan dari masing-masing pendekatan (contohnya; kecepatan pada kualitatif dan kecermatan pada kuantitatif). Secara umum, data yang dibutuhkan pada pendekatan kuantitatif dibutuhkan pada pendekatan ini. Biasanya pendekatan ini menghasilkan kategori dari *consequence* dan *probability* daripada *risk number*. Namun nilai numerik bisa didapatkan untuk setiap kategori untuk penghitungan dari resiko dan penentuan batas resiko yang dapat diterima [6].

2.1.4 Kesatuan Pendekatan

Pada pelaksanaannya, RBI menggunakan aspek kuantitatif, kualitatif, dan semi kuantitatif. Pendekatan RBI ini tidak dianggap sebagai saingan tapi saling melengkapi. Sebagai contoh, pendekatan kualitatif level tinggi bisa digunakan untuk menemukan unit pada sebuah fasilitas yang beresiko tinggi. Sistem dan *equipment* pada unit tersebut di saring dengan pendekatan kualitatif dan pendekatan kuantitatif digunakan untuk unit yang beresiko tinggi. Contoh lain, dengan penggunaan pendekatan kualitatif untuk analisis *consequence* dan pendekatan semi kuantitatif untuk analisis *probability*. Gambar memperlihatkan kesatuan dari pendekatan yang digunakan [5].



Gambar 2.2 Rangkaian Pendekatan Pada RBI [5]

2.1.5. Aspek *Probability* pada RBI

Aspek *probability* pada RBI tergantung pada prakteknya dilapangan dan pendekatan yang digunakan. Untuk pendekatan kualitatif, aspek *probability* ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut[6] :

a Equipment Factor

Equipment factor berhubungan dengan jumlah komponen dalam suatu sistem yang berpotensi gagal.

b Damage Factor

Faktor ini merupakan resiko yang dapat terjadi berhubungan dengan mekanisme kegagalan pada unit. Kegagalan yang dapat terjadi diantaranya korosi, fatik, kerusakan akibat temperatur tinggi. Nilai dari *damage factor* ditentukan oleh mekanisme kerusakan tersebut.

c Inspection Factor

Faktor ini berhubungan dengan keefektifan inspeksi yang dilakukan terhadap sistem dan kemampuan inspeksi tersebut untuk mengidentifikasi sistem. Pengangkaan dari faktor ini diberi nilai negatif, karena dengan inspeksi yang berkualitas akan dapat mendeteksi sistem dan damage faktor dengan jelas.

d Condition Factor

Faktor ini berhubungan dengan kondisi fisik dari sistem dan sistem perlindungan pada sistem tersebut.

e Process Factor

Faktor ini merupakan ukuran dari potensial terjadinya operasi abnormal yang dapat menyebabkan kerugian.

f Mechanical Design Factor

Faktor ini berhubungan dengan desain dari sistem diantaranya kecocokan desain dengan standar yang berlaku, kekompleksan desain dan keinovativan desain.

Faktor-faktor diatas diangkakan untuk menentukan besarnya nilai *probability*. Pengangkaan dari tiap faktor didasarkan kepada data yang didapat dan *judgement* dari *engineer*.

2.1.6. Aspek *Consequence* pada RBI

Aspek *Consequence* pada RBI tergantung pada prakteknya dilapangan dan pendekatan yang digunakan. Untuk pendekatan kualitatif, aspek *Consequence* ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut [6] :

a. *Damage Consequence*

Faktor ini berhubungan dengan sifat material yang terlepas jika terjadi kegagalan. Material yang terlepas ke alam mempunyai tingkat reaktivitas dan *flammability* yang berbeda. Berdasarkan tingkatan dua faktor tersebut bisa ditentukan potensial kerusakan yang dapat ditimbulkan oleh gas alam jika terlepas ke lingkungan.

b. *Health Consequence*

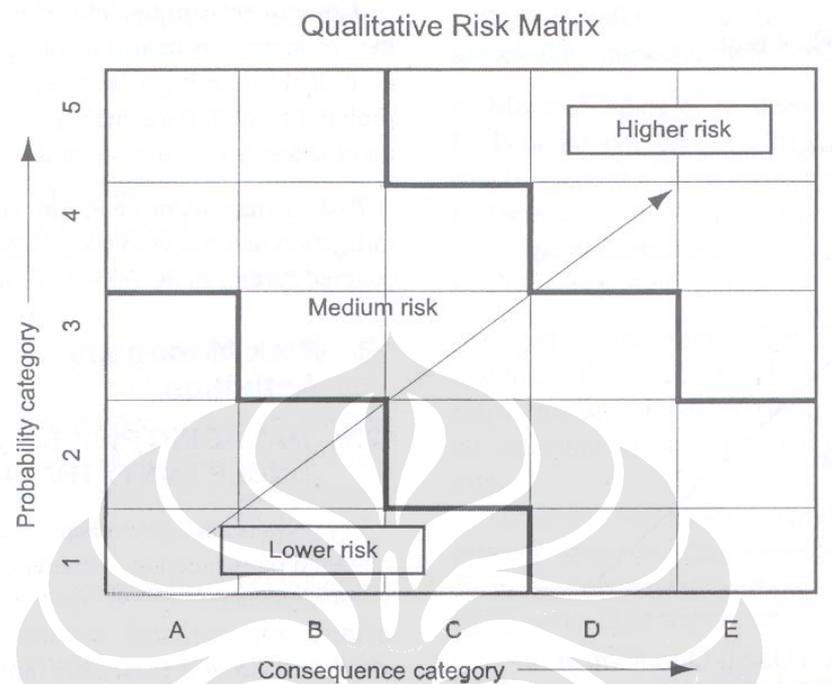
Faktor ini berhubungan dengan sifat material yang terlepas ke lingkungan yang berhubungan dengan dampaknya ke ekosistem sekitar terutama manusia. Pada umumnya tingkat *toxicity* material tersebut yang sangat menentukan besarnya faktor ini.

2.1.7 Matriks Resiko

Ketika nilai-nilai resiko dikembangkan, nilai-nilai tersebut lalu ditampilkan dalam berbagai cara untuk menyampaikan hasil dari analisa kepada pembuat keputusan dan perencana inspeksi. Satu tujuan dari analisa resiko adalah untuk menyampaikan hasil dalam bentuk terkini yang dapat dimengerti oleh orang lain. Menggunakan matriks resiko atau plot resiko dapat membantu memenuhi tujuan ini.

Untuk metodologi penggolongan resiko yang menggunakan kategori *Consequence* dan *Probability*, menampilkan hasil dalam matriks resiko dalah cara yang sangat efektif untuk menyampaikan distribusi dari resiko keseluruhan proses tanpa nilai angka. Contoh matriks resiko ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pada gambar ini, kategori *Consequence* dan *Probability* disusun sehingga resiko tertinggi kearah sudut kanan atas. Matriks ini biasanya digabungkan nilai angka dengan kategori-kategori untuk menghasilkan panduan kepada karyawan untuk melaksanakan penilaian (contoh, probabilitas kategori C terdiri dari 0.001 sampai 0.01). Ukuran yang berbeda pada matriks dapat digunakan (contoh 4 x 4, 5 x 5

dll). Tanpa melihat matriks yang dipilih, konsekuensi dan probabilitas harus menghasilkan perbedaan antara bagian yang dinilai.



Gambar 2.3. Contoh Matriks Resiko Menggunakan *Probability* Dan *Consequence* Untuk Menampilkan Golongan Resiko [6].

2.2 PIPA GAS

2.2.1 Kelas Lokasi Pipa

Kelas lokasi adalah area geografis di sepanjang pipa yang diklasifikasikan berdasarkan jumlah dan dekatnya bangunan dan karakteristik lain yang dipertimbangkan ketika menentukan faktor desain, tekanan operasi dan metode pengujian pipa serta perlindungan yang dibutuhkan. Berikut ini pembagian dari kelas lokasi [7]:

a. Kelas lokasi 1

Area yang dikategorikan kelas lokasi 1 merupakan area yang mempunyai 10 atau kurang bangunan dalam radius 1 mil. Kelas lokasi 1 biasanya diperuntukkan untuk area seperti gurun, gunung, tanah pertanian dan area berpenduduk jarang. Kelas lokasi 1 dibagi menjadi dua divisi. Divisi 1 diuji hidrostatik 1,25 kali tekanan maksimum operasi. Sedangkan divisi 2 dites hidrostatik 1,1 kali tekanan operasi maksimum.

b. Kelas lokasi 2

Area yang dikategorikan kelas lokasi 2 merupakan area yang mempunyai jumlah bangunan antara 10 sampai 46 bangunan pada radius 1 mil. Kelas lokasi 2 mempunyai tingkat populasi sedang seperti daerah di pinggir kota dan area industri

c. Kelas lokasi 3

Area yang dikategorikan kelas lokasi 3 merupakan area yang mempunyai jumlah bangunan lebih dari 26 bangunan pada radius 1 mil. Kelas lokasi 3 merupakan area suburban yang sedang berkembang.

d. Kelas lokasi 4

Area dengan lokasi kelas 4 mencakup area dimana terdapat bangunan *multistory* dan daerah populasi padat. Bangunan *multistory* merupakan bangunan yang mempunyai 4 lantai atau lebih.

Tabel 2.1 Faktor Desain (F) Kelas Lokasi [7]

Kelas lokasi	Faktor Desain (F)
Kelas lokasi 1 Divisi 1	0,80
Kelas lokasi 1 Divisi 2	0,72
Kelas lokasi 2	0,60
Kelas lokasi 3	0,50
Kelas lokasi 4	0,40

2.2.2 Tekanan Desain Pipa Baja

Tekanan Desain merupakan tekanan maksimum yang diizinkan, ditentukan oleh prosedur desain yang dipakai terhadap material dan lokasi. Tekanan desain untuk sistem pipa gas baja atau ketebalan pipa untuk tekanan desain yang ditentukan ditentukan oleh formula dibawah ini :

$$P = \frac{2St}{D} (FET)$$

P = design pressure, psig

S = specified minimum yield strength

Untuk Pipa jenis API 5L grade B, nilai $S = 35000$ psi (ASME 31.8)

t = Ketebalan

- D = Diameter luar pipa
 F = Faktor Desain
 E = *longitudinal joint factor*
 T = *temperature derating factor* [7]
Untuk

2.3 GAS ALAM

Gas alam sering juga disebut sebagai gas bumi atau gas rawa, adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana (CH_4). Gas alam dapat ditemukan di ladang minyak, ladang gas bumi dan juga tambang batu bara. Ketika gas yang kaya dengan metana diproduksi melalui pembusukan oleh bakteri anaerobik dari bahan-bahan organik selain dari fosil, maka ia disebut biogas. Sumber biogas dapat ditemukan di rawa-rawa, tempat pembuangan akhir sampah, serta penampungan kotoran manusia dan hewan.

Komponen utama dalam gas alam adalah metana (CH_4), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), selain juga gas-gas yang mengandung sulfur (belerang). Gas alam juga merupakan sumber utama untuk sumber gas helium. Nitrogen, helium, karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S), dan air dapat juga terkandung di dalam gas alam. Merkuri dapat juga terkandung dalam jumlah kecil. Komposisi gas alam bervariasi sesuai dengan sumber ladang gasnya.

Campuran organosulfur dan hidrogen sulfida adalah kontaminan utama dari gas yang harus dipisahkan. Gas dengan jumlah pengotor sulfur yang signifikan dinamakan sour gas dan sering disebut juga sebagai "*acid gas* (gas asam)". Gas alam yang telah diproses dan akan dijual bersifat tidak berasa dan tidak berbau. Akan tetapi, sebelum gas tersebut didistribusikan ke pengguna akhir, biasanya gas tersebut diberi bau dengan menambahkan thiol, agar dapat terdeteksi bila terjadi kebocoran gas. Gas alam yang telah diproses itu sendiri sebenarnya tidak berbahaya, akan tetapi gas alam tanpa proses dapat menyebabkan tercekiknya pernafasan karena ia dapat mengurangi kandungan oksigen di udara pada level yang dapat membahayakan.

Gas alam dapat berbahaya karena sifatnya yang sangat mudah terbakar dan menimbulkan ledakan. Gas alam lebih ringan dari udara, sehingga cenderung mudah tersebar di atmosfer. Akan tetapi bila ia berada dalam ruang tertutup, seperti dalam rumah, konsentrasi gas dapat mencapai titik campuran yang mudah meledak, yang jika tersulut api, dapat menyebabkan ledakan yang dapat menghancurkan bangunan [8].

2.4. KOROSI EKSTERNAL PIPA

2.4.1. Korosi Pada Tanah

Tanah merupakan kumpulan dari mineral, zat organik, air, dan gas. Tanah terbentuk dari kombinasi dari aktivitas cuaca seperti air dan angin, juga pembusukan organik. Proporsi dari komposisi dasar akan membedakan jenis tanah. Sebagai contoh, humus mempunyai kandungan zat organik yang tinggi, sedangkan kandungan zat organik pasir pantai mendekati nol. Sifat dan karakteristik tanah berbeda-beda tergantung pada kedalaman.

Korosi pada tanah merupakan masalah utama, terlebih terumata jika banyak terdapat infrastruktur yang terkubur di dalam tanah. Korosi pada tanah terjadi pada pipa gas, minyak dan air; tanki penyimpanan bawah tanah; kabel-kabel listrik, dan sistem jangkar. Sistem-sistem tersebut diharuskan dapat berfungsi baik dan berkelanjutan selama beberapa dekade. Korosi pada tanah merupakan fenomena yang kompleks, dengan melibatkan banyak variabel. Reaksi kimia melibatkan hampir setiap elemen yang diletakkan di dalam tanah. Variasi dari sifat dan karakteristik dari tanah memberikan pengaruh yang kuat terhadap korosi dari benda-benda yang terkubur di tanah.

Tekstur tanah merujuk kepada ukuran dari distribusi partikel mineral pada tanah. Pasir, lumpur, dan lempung berdasarkan kepada tekstur tersebut. Tanah dengan proporsi pasir yang tinggi mempunyai daya serap air yang terbatas [9].

2.4.2. Parameter Tanah Yang Menyebabkan Korosi.

Terdapat beberapa variabel yang teridentifikasi mempunyai pengaruh terhadap laju korosi pada tanah, antara lain [9];

a. Air.

Air dalam bentuk *liquid* merupakan elektrolit untuk reaksi elektrokimia korosi. Perbedaannya terdapat pada aliran air jenuh dan tak jenuh pada tanah. Aliran air tak jenuh bergerak dari area basah ke area yang kering. Tingkat air tanah penting untuk diperhatikan, karena berubah-ubah dari area ke area. Aliran air jenuh tergantung pada ukuran, distribusi, tekstur, struktur dan zat organik tanah.

Pergerakan air pada tanah bisa terjadi dengan beberapa cara seperti: gravitasi, aksi kapilarisasi, tekanan osmotik, dan interaksi elektrostatik dari partikel pada tanah. Kemampuan tanah menahan air sangat tergantung pada teksturnya. Pasir yang kasar hanya bisa menyimpan air sangat sedikit, sedangkan tanah liat mampu menyimpan air dalam jumlah yang besar.

b. Tingkat aerasi

Konsentrasi oksigen akan berkurang seiring dengan kedalaman tanah. Pada tanah netral atau mengandung unsur alkalin, konsentrasi oksigen mempunyai efek yang penting terhadap laju korosi. Terlebih dengan adanya mikroba, laju korosi bisa sangat cepat. Perpindahan oksigen sangat cepat pada jenis tanah kasar dan tanah kering. Proses penggalian bisa meningkatkan derajat aerasi pada tanah. Laju korosi pada tanah yang sering terganggu (seperti penggalian) akan lebih tinggi dari tanah yang tidak terganggu.

c. pH

Tanah pada umumnya mempunyai pH sekitar 5 sampai 8. Pada kisaran tersebut, pH tidak dipertimbangkan sebagai variabel dominant yang menyebabkan korosi. Tanah yang lebih asam akan menyebabkan korosi terhadap material konstruksi baja, besi cor, dan *coating* seng. Keasaman tanah dihasilkan oleh mineral yang terlarut didalamnya, pembusukan, limbah industri, hujan asam, dan aktifitas mikrobiologi. Tanah alkalin cenderung mengandung kandungan sodium, potassium, magnesium, dan kalsium yang tinggi.

d. Resistivitas tanah

Pada umumnya, resistivitas tanah sering dijadikan sebagai indikator kekorosifan tanah. Dikarenakan aliran arus ionik dihubungkan dengan reaksi korosi tanah, tanah dengan resistivitas tinggi menyebabkan reaksi korosi akan berkurang pada tanah. Resistivitas tanah akan berkurang seiring dengan

meningkatnya kandungan air dan zat ionik. Resistivitas tanah bukanlah satu-satunya parameter yang menyebabkan korosi. Resistivitas tanah yang tinggi tidak bisa dijadikan acuan terhadap bahaya korosi. Resistivitas tanah yang bervariasi sepanjang pipa merupakan suatu hal yang tidak diinginkan, karena hal ini akan berpotensi terbentuknya sel korosi. Untuk itu, struktur seperti pipa, nilai dari klasifikasi bahaya korosi berdasarkan nilai absolut dari resistivitas tanah terbatas.

e. MIC (*microbiologically influenced corrosion*)

MIC merupakan korosi yang disebabkan oleh adanya aktivitas mikrobiologi dan atau *metabolites* (produk yang dihasilkan dari proses metabolisme). Bakteri, jamur dan mikroorganisme lain bisa menyebabkan korosi pada tanah. Berikut mekanisme terjadinya MIC :

- *Cathodic depolarization*, dimana laju katodik dipercepat dengan adanya aktivitas mikrobiologi.
- *Formation of occluded surface cell*, dimana mikroorganisme membentuk koloni “*patchy*” pada permukaan. Polimer yang lengket memikat dan mengumpulkan species biologis dan nonbiologis untuk menghasilkan sel celah dan sel konsentrasi.
- *Fixing of anodic reaction sites*, dimana koloni mikrobiologi pada permukaan akan mengakibatkan terbentuknya korosi pori (*pits*), dikarenakan aktivitas mikrobiologi pada koloni tersebut.
- *Underdeposit acid attack*, dimana serangan korosi dipercepat oleh terbentuknya produk asam karena aktivitas mikrobiologi.

Berikut mikroorganisme yang menyebabkan korosi pada tanah:

- Bakteri anaerob, yang menghasilkan spesies yang korosif dalam jumlah yang tinggi dikarenakan proses metabolismenya.
- Bakteri Aerob, yang menghasilkan mineral asam yang korosif.
- Jamur, yang bisa menghasilkan produk korosif sebagai hasil sampingan dari proses metabolismenya. Selain logam dan campurannya, jamur juga bisa mendegradasi *organic coating* dan kayu
- *Slime former*, yang bisa menghasilkan sel korosi konsentrasi pada permukaan.

2.4.3 Klasifikasi Kekorosifan Tanah.

Untuk tujuan desain dan *risk assessment* korosi, sangat penting untuk menentukan kekorosifan pada tanah. Pengujian korosi pada tanah sangat kompleks karena masa ekspos pipa yang lama (struktur yang ditanam pada tanah biasanya digunakan pada waktu yang lama) dan kondisi tanah yang berbeda-beda. Dengan mempertimbangkan parameter yang kompleks yang menyebabkan korosi pada tanah, maka kemungkinan permodelan kekorosifan tanah sulit. Batasan tersebut harus dipertimbangkan ketika penerapannya. Salah satu klasifikasi yang sederhana didasarkan pada parameter tunggal, yaitu resistivitas tanah. Tanah yang mengandung pasir mempunyai hambatan yang tinggi sehingga sulit terjadi korosi pada tanah tersebut, hal tersebut akan berlawanan dengan tanah liat yang mengandung air. Parameter resistivitas tanah digunakan sangat luas pada praktek di lapangan dan dijadikan variabel yang dominan dengan tidak adanya aktivitas mikrobiologi [9].

Tabel 2.2 Rating Kekorosifan Berdasarkan Resistivitas Tanah [9]

Resistivitas tanah(ohm-cm)	Rating Kekorosifan
> 20.000	<i>Noncorrosive</i>
10.000-20.000	<i>Mildly corrosive</i>
5000-10.000	<i>Moderately corrosive</i>
3000-5000	<i>Corrosive</i>
1000-3000	<i>Highly corrosive</i>
< 1000	<i>Extremely corrosive</i>

2.4.4 Karakteristik Korosi Pada Paduan Logam

Baja sering digunakan untuk konstruksi pada tanah, tapi hampir tak ada tanpa proteksi korosi. Akan mengkejutkan jika baja sangat mudah diserang localized corrosion jika dikubur pada tanah. Serangan korosi seperti itu biasanya disebabkan oleh sel differensial aerasi, kontak dengan jenis tanah yang berbeda, MIC, atau sel galvanik ketika partikel-partikel kontak dengan baja tersebut. Stray Current pada tanah bisa menyebabkan seranga pitting. Tingkat aerasi yang rendah pada tanah tidak bisa dijadikan jaminan rendahnya laju korosi pada tanah, hal itu dikarenakan adanya kumpulan mikroorganisme pada tanah.

Perlindungan korosi utama untuk baja pada tanah adalah penggunaan *coating*. Penggunaan *coating* juga dikombinasikan dengan proteksi katodik seperti anoda korban dan arus tanding. Pengkombinasian tersebut dibutuhkan karena diskontinuitas dan cacat pada *coating* akan bisa terjadi.

Paduan *Cast Iron* juga digunakan pada tanah, banyak pipa distribusi air dan gas di beberapa kota masih menggunakannya. Hal ini secara perlahan digantikan oleh baja dan pipa polimer. Meskipun cast iron secara umum lebih tahan korosi pada tanah dibandingkan dengan baja, cast iron juga rentan terhadap serangan korosi seperti baja. Penggunaan cast iron pada tanah juga diproteksi dengan *coating* dan proteksi katodik.

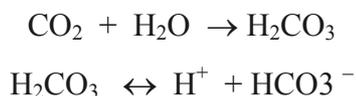
Stainless Steel jarang digunakan pada tanah, karena ketahanan korosinya pada tanah tergolong buruk. Adanya ion halida dan sel konsentrasi pada permukaannya cenderung untuk menyebabkan localized corrosion. Dikarenakan pitting cenderung diawali pada nilai potensial yang tinggi, potensial redoks yang tinggi meningkatkan bahaya localized corrosion. Beberapa jenis stainless steel (meskipun jenis paduan tinggi) biasanya tidak imun terhadap MIC [9].

2.5. PARAMETER KOROSI INTERNAL PIPA

2.5.1 Parameter CO₂

Dalam produksi gas dan minyak, CO₂ selain H₂S merupakan salah satu factor utama penyebab korosi. Gas ini tidak bersifat korosif jika berada dalam keadaan kering dan tidak terlarut dalam air. Jika terlarut dalam air gas ini akan membentuk suatu asam lemah H₂CO₃ yang bersifat korosif.

Secara umum, CO₂ yang terlarut dalam air akan membentuk asam karbonat dengan reaksi,



Korosi CO₂ pada intinya merupakan masalah korosi yang disebabkan oleh asam karbonat. CO₂ menjadi bersifat korosif akibat adanya air sehingga akan membentuk asam karbonat.



Dibandingkan dengan oksigen, reaksi tersebut cenderung terjadi akibat daya larut CO₂ yang lebih tinggi dari oksigen

Karbon dioksida menjadi asam lemah (H₂CO₃) pada air dengan reaksi yang relatif lambat. Bagaimanapun, laju korosi CO₂ jauh lebih besar dari efek asam karbonik itu sendiri. Salah satu faktor yang mempengaruhi laju korosinya adalah tekanan parsial dari CO₂. Tekanan parsial CO₂ merupakan hasil perkalian fraksi mol CO₂ dengan tekanan pipa. Berikut batasan terjadi atau tidaknya korosi CO₂ berdasarkan tekanan parsial [11]:

1. Tekanan parsial CO₂ besar dari 30 psi menyebabkan korosi
2. Tekanan parsial CO₂ 7-30 psi bisa menyebabkan korosi
3. Tekanan parsial CO₂ kecil dari 7 psi tidak menyebabkan korosi

2.5.2 Parameter H₂S

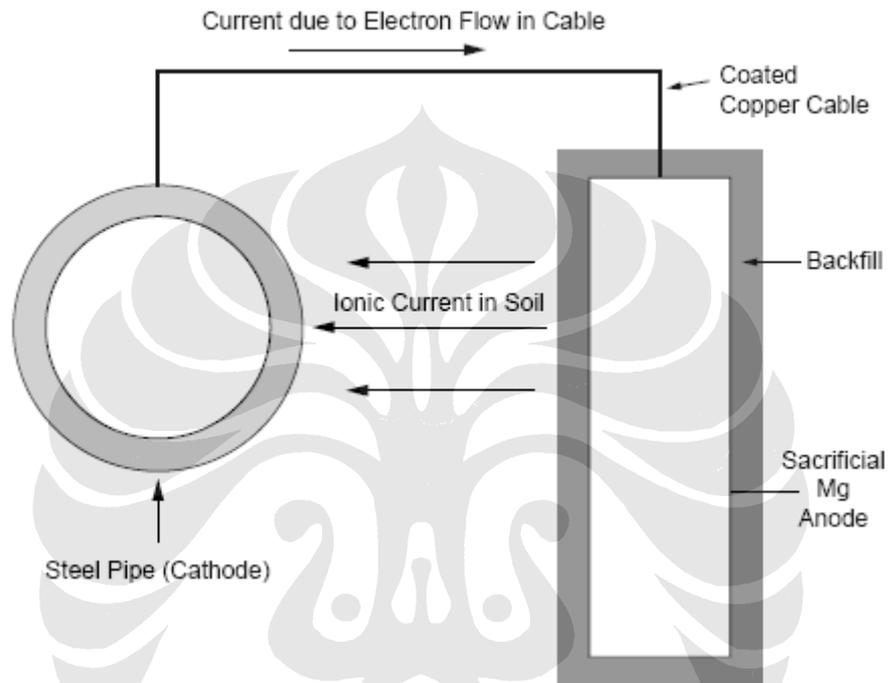
Masalah utama dengan adanya H₂S adalah *metal embrittlement* yang disebabkan oleh penetrasi dari gas H₂ ke logam. H₂S merupakan asam lemah ketika larut didalam air, dan bertindak sebagai katalis dalam penyerapan hidrogen pada baja yang kemudian menyebabkan *Sulfide Stress cracking* pada baja berkekuatan tinggi. Lingkungan dengan H₂S pada umumnya menyebabkan korosi seperti korosi merata, korosi pitting, *sulfide stress cracking*, *hidrogen blistering*, dan hidrogen embrittlement. Oleh karena faktor tersebut Adanya gas H₂S sangat dihindari. Lingkungan dengan kandungan H₂S diatas 250 ppm dan pH dibawah 6.5 akan dikategorikan korosif [12].

2.6. PERLINDUNGAN KOROSI

2.6.1 Anoda Korban

Prinsip dari proteksi katodik adalah memperlakukan logam yang akan diproteksi secara keseluruhan sebagai katoda. Inti dari penggunaan proteksi katodik dengan anoda korban atau sering disebut metoda *sacrificial anode* ini adalah penempatan suatu bahan pada logam yang dilindungi dengan perhitungan deret galvanik bahwa bahan tersebut akan melindungi logam utama dengan cara mengorbankan logam itu sendiri. Potensial dari logam yang menjadi anoda harus lebih reaktif daripada logam yang akan diproteksi.

Pada prinsipnya, sistem proteksi dengan anoda korban yaitu membuat sebuah sel galvanik, dengan pemakaian anoda reaktif yang dikonsumsi pada interaksi galvanik, artinya proteksi katodik bukan mengeliminasi korosi melainkan memindahkan korosi ke anoda korban. Secara teori, struktur akan diproteksi sebagai hasil dari aliran arus galvanik. Pada aplikasinya, digunakan beberapa jumlah anoda untuk memastikan perlindungan semua struktur.



Gambar 2.4 Prinsip Anoda Korban [9]

Untuk perlindungan korosi pada tanah terutama tanah dengan resistivitas tinggi, anoda korban magnesium sering digunakan karena mempunyai *driving voltage* yang tinggi. Magnesium mempunyai driving voltage mencapai -0.95 V (dengan asumsi potensial struktur 850V vs SCE). Meskipun demikian anoda, aluminium mempunyai efisiensi yang rendah. [9].

Pada perlindungan baja, terdapat kriteria untuk proteksi katodik. Salah satu kriteria menyatakan bahwa perlindungan yang cukup akan dicapai dengan potensial negatif (katodik) setidaknya 850mV dengan adanya proteksi katodik. Potensial tersebut diukur dengan menggunakan elektroda standar *saturated copper/copper sulfate*. Pada aplikasinya, kriteria ini digunakan secara luas untuk menentukan kelayakan dari struktur yang terbuat dari baja atau besi pada

lingkungan tanah. Sistem proteksi katodik dinyatakan layak jika mempunyai potensial proteksi lebih negatif dari -850 mV. [10]

2.6.2. Pelapisan Organik

Salah satu usaha pertama untuk mencegah korosi yaitu dengan melapisi material. Dengan prinsip tersebut, struktur yang dilapisi akan terisolasi dengan lingkungan sehingga korosi tidak bisa terjadi. Selain itu, pelapisan akan efektif jika material pelapis tersebut merupakan insulator listrik yang efektif, bisa diaplikasikan tanpa bisa rusak sedikitpun, dan membentuk lapisan yang sempurna sampai kapanpun. Meskipun hal tersebut bisa diwujudkan dengan *advanced multi-layer systems*, namun tidak ekonomis. Meskipun pelapisan material bukanlah proteksi yang sempurna untuk pengendalian korosi, namun akan efektif jika digunakan semestinya. Pada penggunaannya pelapisan material digunakan bersamaan dengan proteksi katodik [10].

2.7 NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA)

NFPA adalah organisasi internasional nonprofit yang didirikan pada tahun 1896 sebagai National Fire Protection Association (Asosiasi Perlindungan Kebakaran Nasional). Misi dari lembaga internasional nonprofit NFPA adalah untuk mengurangi beban dunia dari kebakaran dan zat-zat yang berbahaya lainnya pada kualitas hidup dengan menyediakan dan mendukung undang-undang dan standar konsensus, penelitian, pelatihan dan pendidikan. NFPA memberi rating terhadap material berbahaya berdasarkan tingkat Flammability, Reactivity dan Toxicity.