

SISTEM PROTEKSI KOROSI PADA LAMBUNG KAPAL

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Ujian Sarjana**

Oleh :

TOPIK EFFENDI

NIM : 04 813 0021



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2008**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)26/12/23

Abstrak

Korosi peralatan proses dari baja yang menggunakan dengan air laut sebagai air utilitas disebabkan oleh kontaminan air laut yang bersifat korosif. Salah satu kontaminan yang dapat mempercepat laju korosi baja adalah sulfida. Karena korosi merupakan proses yang merugikan, maka perlu dilakukan pengendalian korosi, antara lain dengan penambahan inhibitor. Korosi atau karat merupakan peristiwa penurunan mutu material pada bahan logam akibat interaksi yang tidak menguntungkan dengan lingkungan. Korosi tidak dapat dihindari atau dihilangkan, namun dapat dikendalikan dengan melakukan proteksi katodik sistem anoda korban, yaitu memasang anoda korban pada bagian yang hendak diproteksi. Pemasangan anoda korban memerlukan desain yang tepat dan akurat agar sesuai dengan kebutuhan arus proteksi. Pada beberapa kasus seperti proteksi untuk pipa baja, tiang penyangga dermaga dan lambung kapal baja. jenis anoda yang akan dipergunakan, berat anoda dan umur desain proteksi. Output dari perangkat lunak ini antara lain jumlah anoda yang diperlukan, jarak pemasangan antar anoda, pemasangan anoda yang efektif (horizontal atau vertical).

ABSTRACTION.

Korosi Equipments process from steel using with the water go out to sea as water utilitas [of] because of kontaminan irrigate the sea having the character of corrosive. One of kontaminan which can quicken fast [of] korosi become militant [is] sulfide. Because korosi represent the process harming, hence require to be [done/conducted] [by] operation korosi, for example with the addition inhibitor. Korosi Or rust represent the degradation event [of] quality of material [of] [at] substance of metal of effect [of] [of] intraksi which [do] not profit environmentally. Korosi cannot be avoided or eliminated, manageable but by [doing/conducting] proteksi katodik system anodize the victim, that is install the victim anode [of] [at] shares which will diproteksi. Installation anodize the victim need the accurate and correct desain [so that/ to be] as according to requirement of current proteksi. [at] some case [of] like proteksi for the pipe of steel, dock stanchion and bounce up the steel ship. anode type to be utilized, weight anodize and age of desain proteksi. Output from this software for example needed anode amount, installation distance usher the anode, effective anode installation (horizontal or vertical).

Keyword: Anodize the victim, aluminium, floating tank, crude oil, irrigate the sea, white rust, product korosi, red rust, animal go out to sea the, chemical composition, closed potential and opened, capacities and current efficiency, galvanostatik.

2.1.4.4. Korosi Erosi (Corrosion Erosion)	13
2.1.4.5. Korosi karena Tegangan (Stress Corrosion Cracking / SCC)	14
2.1.4.6. Selective Leaching	14
2.1.4.7. Korosi Biologi (biological Corrosion)	15
2.1.4.8. Korosi Lubang (Pitting corrosion)	16
2.2. Basic Corrosion Proses	17
2.2.1. Prinsip Korosion (Corrosion Prinsiple).....	17
2.2.2. Karakteristik Korosion sell (Kharakteristik Of Corrosion Cell)	19
2.2.3. Reaksi Anodik dan Katodik (Anodic And Cathodik reaction).....	20
2.2.4. Elektrical Properti korosi sell (Electrical Properties Of corrosion Cell).....	21
2.2.5. Pengaruh Beda Potensial dan Galvanic (EMF and Galvanic Effect).....	22
2.3 Jenis-jenis korosi terhadap pengaruh ketahanan logam	23
2.3.1 Karat Atmosfer (Karat Udara).....	23
2.3.2 Mekanisme Elektro Kimia	29
2.3.3 Sel Karat.....	30
2.3.4 Karat Galvanis.....	36
2.3.5 Karat Regangan	37
2.3.6 Karat Pelarutan Selectif.....	39
2.3.7 Karat Celah.....	40

2.3.8 Karat Titik Embun.....	41
2.3.9 Karat Bakteri	43
2.4 Teori Korosi Di Lingkungan Air.....	45
2.5 Contoh-contoh kasus Pengendalian Korosi.....	48
2.5.1 Jeruji sepeda motor akibat tergoresnya lapisan seng....	48
2.5.2 Nilai safety di komponen sangat penting	50
BAB III METODE PENELITIAN	53
3.1. Pemilihan Judul	53
3.2. Waktu dan Tempat	53
3.3. Langkah-langkah Penelitian.....	54
3.4. Variabel yang diamati	55
3.5. Mengidentifikasi Masalah.....	55
3.6. Pengumpulan Data	55
3.7. Penyajian Data.....	55
3.8. Analisa Data	55
3.9. Kesimpulan.....	56
BAB IV PEMBAHASAN MASALAH.....	57
4.1. System Proteksi Pada KRI SIADA	57
4.1.1 Sejarah Kapal KRI Siada.....	58
4.1.2 Spesifikasi KRI Siada.....	60
4.1.3 Perawatan kapal KRI	62
4.1.4 Perawatan berkala Keseluruhan KRI SIADA	64
4.1.5 Perawatan Lokal	66
4.1.6 Spesifikasi KRI NALA 363	67

4.1.7 Spesifikasi Patkamla P. Rubiah (Hunter)	
Kapal Pemburu LANTAMAL I	69
4.2 Proteksi Katodik Metode Anoda korban	70
4.3 Penerapan Praktis Proteksi Katodik	
dengan Anoda tumbal	75
4.4 Proteksi Katodik Arus terpasang (ICCP)	77
4.5 Sistem proteksi pada kapal Tongkang	
dan kapal pemandu	82
4.5.1 Spesifikasi Kapal Tongkang	
PT. Pelataran Mega sukses	83
4.5.2 Spesifikasi Kapal Keasin I dan Mega Premier	84
4.6 Korosi Erosi	84
4.7 Prinsip-Prinsip Dasar Pengendalian Korosi	86
4.7.1 Pengendalian korosi melalui perancangan	88
4.7.2 Pengendalian korosi dan perubahan lingkungan	92
4.7.3 Pengendalian korosi dengan lapisan penghalang	94
BAB.V KESIMPULAN DAN SARAN	100
5.1. Kesimpulan	100
5.2. Saran	101
Daftar Pustaka	102
Lampiran	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Biaya untuk metode kontrol korosi dan servis akibat proses korosi pada seluruh logam komersial di Amerika Serikat pada tahun 1998 berjumlah 7,7 milyar dolar amerika. Di Jepang, pada tahun 1997 biaya untuk penggantian logam akibat proses korosi sekitar 443,24 milyar yen. Sedangkan di Indonesia belum ada nilai biaya pasti akibat proses korosi. Pada baja karbon rendah dengan kadar padu terbatas umumnya di bawah 2% dari total logam dasar Fe, logam tersebut sangat rentan terjadinya korosi karena rendahnya unsur – unsur padu untuk meningkatkan ketahanan korosi. Unsur-unsur padu tersebut adalah tembaga, krom, nikel, molybdenum dan fosfor dalam jumlah tertentu. Setiap logam mempunyai unsur ikatan dengan nilai yang sangat rendah sehingga tidak berpengaruh terhadap ketahanan korosi.

Faktor penting dalam korosi lingkungan adanya hujan, kabut atau pengembunan akibat kelembaban relatif yang tinggi. Dalam suatu struktur harus diperhatikan rancangan struktur agar mengalir dengan bebas air dan cukup ventilasi untuk mengeringkan seluruh permukaan. Kabut dan pengembunan bisa mengakibatkan korosi membasahi seluruh permukaan. Selapis tipis air yang tidak kelihatan sudah cukup membuat suatu sel korosi yang baik. Adanya tiga faktor sel korosi yaitu *anoda*, *katoda* dan *elektrolit*. Lapisan tipis embun yang terbentuk dari embun dan kabut atau dari kelembaban tinggi mudah jenuh dengan oksigen dari udara sehingga terjadi daerah katodik. Laju atau tingkat keparahan suatu logam

pada korosi lingkungan umumnya ditentukan konduktivitas elektrolit yang terlarut. Salah satunya yaitu lingkungan yang mengandung ion-ion klorida atau lingkungan laut. Pada lingkungan laut dengan kadar garam hingga 3,5% atau lingkungan dengan mempunyai kadar ion klorida yang cukup tinggi, baja karbon rendah mengalami kegagalan material akibat korosi yang menyeluruh ke seluruh permukaan logam tergantung dari konsentrasi elektrolit di lingkungan. Aplikasi baja karbon rendah di lingkungan dengan kadar ion klorida lebih dari 3% banyak di pakai pada *shipbuilding* dan *marine equipment*. Korosi lingkungan (atmospheric corrosion) harus diperhatikan dalam spesifikasi logam baja karbon khususnya adanya ion klorida.

Pencegahan korosi pada korosi lingkungan dilakukan dengan berbagai cara yaitu dengan pemilihan logam tahan korosi dan lapis lindung. Salah satu pencegahan yang di bahas dalam Penulisan Skripsi ini *adalah* pemilihan logam tahan korosi dan pencegahan korosi terhadap lambung kapal. Logam tahan korosi antara lain baja nirkarat AISI 304 dan AISI 316L. Logam-logam tersebut sangat tahan terhadap korosi lingkungan khususnya lingkungan yang mengandung ion-ion klorida hingga 3,5%wt. Ini disebabkan adanya unsur-unsur pemadu kromium lebih dari 4 % yang akan meningkatkan ketahanan korosi pada lingkungan agresif, unsur nikel juga meningkatkan ketahanan korosi. Pada logam AISI 316L, unsur nikel lebih banyak ditambahkan dibandingkan logam AISI 304 dan juga unsur molibdenum untuk meningkatkan ketahanan korosi suhu tinggi serta tahan terhadap proses *pickling* larutan asam

pemilihan bahan sangat penting dalam penentuan pemakaian bahan. Sebab perancang memilih bahan berdasarkan kemudahan pembuatannya, sifat-sifat,

perilaku dalam penggunaan, biaya dan pengadaan. Peningkatan bahan sangat bermanfaat dimasa akan datang apabila terjadi faktor berat menjadi masalah penting dalam rangka penghematan energi dan bahan baku mulai langka.

Bahan logam yang paling banyak merupakan logam Ferro, akan tetapi dalam penggunaan logam Ferro tersebut sudah dipadukan dengan unsur lain atau dengan kata lain suatu logam paduan atau yang kita kenal dengan nama baja. Baja merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana fungsi karbon tersebut adalah untuk menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih baik.

Sebagaimana kita ketahui bahwasannya suatu logam atau baja dapat terserang oleh korosi. Dimana proses korosi merupakan suatu faktor yang dapat merusak alat, peralatan atau bahan yang mempunyai unsur logam, proses korosi merupakan sebuah proses yang alamiah yang berlangsung sendiri. Oleh sebab itu yang bisa diusahakan hanyalah mengendalikannya atau memperlambat proses pengrusakan tersebut sehingga alat peralatan yang terserang dapat dikendalikan dan umur dari pemakaian bahan tersebut dapat di perediksi.

Pada proses pembuatan bahan sebelum dipasarkan ke konsumen, proses pengerjaan akhir suatu bahan haruslah diperhatikan sebab cepat atau lambatnya proses korosi tergantung pada unsur bahan yang digunakan dan pada permukaan bahan yang kontak dengan media korosinya.

1.2 Perumusan Masalah

Perlu diketahui bahwa korosi mengurangi daya guna, dimana sekitar 5 % dari penghasilan suatu negara maju digunakan untuk perbaikan, pemeliharaan, atau pergantian bagian-bagian yang rusak. Salah satunya yang banyak ditemui

adalah pengkaratan kendaraan bermotor, terutama didaerah-daerah pantai, selain itu masalah-masalah korosi pada jembatan-jembatan, alat peralatan rumah tangga, bagian tubuh buatan, kapal-kapal yang terbuat dari logam, sampai pada kabel-kabel dibawah laut.

Apabila kita mempunyai barang-barang sejenis maka harus dijaga dan dirawat sebaik-baiknya dan dicegah terjadinya korosi. Korosi tidak dapat dihindari dengan mempersyaratkan penggunaan bahan setaraf dengan emas, karena bahan-bahan lain memerlukan bahan yang lebih murah dalam penggunaannya namun memiliki sifat yang efektif dan ekonomis. Kita ketahui korosi dapat dikurangi dan dikontrol maupun ditekan seminimal mungkin bila ahli teknik memahami dasar-dasar korosi dan mengetahui cara-cara penganggulangnya.

Material baja karbon yang banyak dipakai untuk konstruksi mempunyai sifat dan daya tahan terhadap korosi yang baik terhadap asam organik dan air laut, namun korosi yang terjadi adalah korosi sumuran. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi laju korosi, salah satu cara yaitu metode Anoda korban atau proteksi katodik.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian sangat banyak salah satunya adalah :

1. Dapat Memberikan kemampuan untuk membahas penegahan korosi.
2. Dapat mengetahui jenis-jenis kapal dan dapat melihat seara langsung.
3. Dapat mengetahui logam mana dan media apa logam dapat cepat terserang korosi.

4. Dapat memberikan gambaran terjadinya korosi pada alat yang terjadi di Pabrik/Industri.

1.4. Batasan Masalah

Mengingat pencegahan korosi sangat banyak maka penulis membatasi permasalahan yang akan dibahas. Dimana pembahasan yang akan dibahas, mengenai :

1. Pengenalan secara umum dari beberapa metoda pencegahan korosi.
2. Pengenalan lebih spesifik pada metoda proteksi katodik.
3. Mengetahui jenis-jenis korosi yang terjadi di lapangan.
4. Mengetahui jenis-jenis kapal dan Spesifikasinya.
5. Dasar-dasar Prinsip Korosi.
6. Pemilihan Bahan dan Perancangan yang terbuat dari logam.

1.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian Tugas Sarjana ini, antara lain :

1. Mengenalkan System proteksi korosi pada lapisan luar baja.
2. Mengetahui system perawatan dan kebocoran pada lambung kapal.
3. Mengetahui pengaruh lingkungan terhadap laju korosi.
4. Mengetahui proses pencegahan korosi di lapangan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Jenis-jenis Baja

Menurut beumer (1978), secara umum bahan-bahan teknik dibagi dalam dua jenis, yaitu : logam (metal) dan bukan logam (non metal). Dengan demikian kita bisa melihat bahwa logam (metal) adalah bagian yang terpenting dan bukan logam (non metal) adalah selalu sangat dibutuhkan. Logam dapat dibagi dalam logam Ferro (logam Besi) adalah logam yang mengandung Unsur karbon, sedangkan logam non Ferro adalah logam yang tidak mengandung Unsur karbon. Yang termasuk kedalam kelompok logam Ferro adalah besi cor, sedangkan yang termasuk kedalam logam non Ferro adalah Alumunium, tembaga, seng, magnesium.

Baja yang merupakan bagian dari kelompok logam Ferro yang merupakan pencampuran antara unsur besi (Fe) dengan karbon (C), baja pada umumnya mempunyai kadar Zat arang sebesar 0,0-1,5%. Ada berbagai macam pembagian baja tetapi secara umum baja dikelompokkan atas dua bagian, yaitu :

1. Baja tanpa campuran.
2. Baja campuran.

Dalam baja tanpa campuran maupun dalam baja campuran kita kenal perbedaan berikut menurut cara bagaimana baja dibuat, yaitu :

1. Baja ditempa dan dicanai dengan kadar Zat arang 0,0-1,5%.
2. Baja tuang dengan Zat arang 0,2-0,5%.

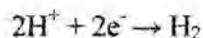
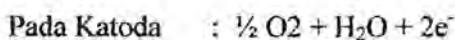
Selanjutnya kita mengenal perbedaan baja menurut cara pemakaian, yaitu :

1. Baja konstruksi dengan kadar Zat arang 0,0-0,3%.
2. Baja mesin dengan Zat arang 0,3-0,6%.
3. Baja perkakas dengan kadar Zat arang 0,6-1,5%.

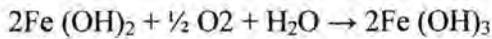
2.1.1 Definisi Korosi

Korosi (Karat) dapat di definisikan sebagai kerusakan atau penurunan kualitas material yang disebabkan oleh reaksi lingkungan atau kebalikan dari proses metalurgi Ekstraktif. Dengan kata lain korosi juga dapat didefinisikan suatu peristiwa rusaknya bahan material terutama logam, disebabkan oleh berinteraksi dengan lingkungan dimana bahan tersebut berada.

Masalah korosi adalah merupakan masalah yang sering terjadi didalam dunia Industri. Korosi dapat timbul dimana-mana, antara lain : Korosi Udara, Pantai, di dalam air dan semua tahap temperatur. Korosi pada dasarnya merupakan proses elektrokimia, dimana atom-atom bercampur dengan Zat asam dan membentuk Ion-ion positif (Kation). Hal ini menghasilkan aliran elektron-elektron dari suatu tempat dipermukaan logam ke tempat yang lain. Suatu reaksi elektrokimia akan terjadi dan berlangsung pada anoda dari sel-sel setempat serta pada katoda. Adapun reaksinya sebagai berikut :



Reaksi pada katoda adalah reduksi oksigen yang dinyatakan pada reaksi (2), karena air biasanya Netral atau basa lemah dan memiliki konsentrasi ion H rendah, reaksi selanjutnya adalah :



Atau $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Apabila permukaan baja atau logam kontak dengan air yang mengandung oksigen terlarut reaksi-reaksi korosi diatas akan berlangsung.

2.1.2 Proses Terjadinya Korosi.

Proses terjadinya korosi bisa melalui proses kimia maupun proses fisika atau kombinasi dari keduanya, yaitu :

a. Proses secara kimia

Dimana yang harus diketahui adalah proses elektrokimia, yaitu proses kimia yang melibatkan perpindahan elektron. Dalam proses elektro kimia harus ada empat unsur utama, yaitu Anoda (elektroda yang akan terkorosi), katoda (elektroda yang tidak terkorosi), Penghantar (Yang menghubungkan antar Anoda dan Katoda) dan yang terakhir harus ada elektrolit (Lingkungan yang bisa menghantar arus listrik seperti tanah, air, dan lain sebagainya). Bila dari salah satu keempat unsur tidak ada maka korosi tidak akan terjadi, misalnya secara teori diruang hampa (Vakum) korosi tidak akan terjadi.

b. Proses secara fisika.

Dimana bisa juga disebabkan secara fisika, seperti misalkan secara abrasi (gesekan dengan benda padat) adanya beban (ditarik atau ditekan), pengaruh

kecepatan aliran atau yang lainnya yang mempercepat terjadinya korosi. Bahan logam besi adalah salah satu bahan logam yang komponen utamanya adalah besi, seperti besi cor, baja karbon atau baja tahan karat (Stainless Steel) sedangkan yang bukan besi seperti kuningan, tembaga, perunggu atau lain sebagainya. Semua bahan bisa berkarat atau terkorosi tetapi prosesnya saja yang berbeda ada yang cepat dan lambat, sebagai contoh 2 logam dari bahan yang sama ditempatkan pada lingkungan yang sama tetapi yang satu tidak diberi perlindungan dan yang satu lagi diberi perlindungan. Adanya perlindungan tersebut maka masa pakai bahan tersebut berbeda dengan yang lain, yang satu umur pakainya setahun dan yang satu lagi bisa lebih dari setahun.

2.1.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi

Korosi pada dasarnya merupakan Interaksi dari suatu logam atau paduan dengan lingkungannya, Adapun Faktor-faktor itu meliputi :

a. Temperatur

Temperatur berpengaruh terhadap kenaikan laju korosi. Bahkan dalam logam suatu larutan yang tempraturnya mendekati tempratur kamar, jika sebagian dari logam memiliki tempratur yang lebih dibandingkan bagian yang lainnya maka bagian yang lebih tinggi akan menjadi Anodik. Umumnya kenaikan tempratur mengakibatkan kenaikan kecepatan korosi.

b. Perbedaan Potensial

Jika suatu logam dengan potensial yang berbeda pada suatu lingkungan, seperti Fe dan C pada larutan garam, maka logam yang berbeda lebih tinggi

pada deret galvanik akan terkorosi sedangkan logam yang berbeda pada paling rendah dalam deret galvanik akan terlindungi.

c. Perlakuan panas

Kelakuan korosi suatu bahan sangat dipengaruhi oleh perlakuan termal (panas) yang dialami bahan tersebut. Perlakuan panas dapat merubah struktur logam kekuatan dan kekerasan, adanya perubahan pada struktur logam akan mempengaruhi pula karakteristik korosi bahan yang bersangkutan.

d. Kondisi permukaan

Kondisi ini dimana kebersihan dan perlindungan permukaan sangat penting terhadap kecepatan korosi. Kebersihan suatu permukaan yang harus diperhatikan ada tidaknya permukaan lapisan tipis dan keberadaan Zat-Zat asing yang dapat memberikan pengaruh kuat terhadap laju kecepatan korosi yang terjadi.

e. Ketidakmurnian

Seperti yang kita ketahui, logam yang beredar dipasaran dibuat atau dibentuk umumnya bertujuan komersial yang biasanya tidaklah murni. Umumnya terjadi pada besi ataupun baja banyak bercampur dengan unsur karbon, Zat-Zat pengotor ini tidak menyebar secara merata dalam suatu logam melainkan bertumpuk pada bagian tertentu yang bisa berimbas terjadinya perbedaan potensial listrik dan bisa berakibat pada terjadinya korosi terhadap permukaan logam.

f. Waktu

Pada dasarnya mempengaruhi dalam masa pemakaian suatu bahan dan perawatan bahan. Apabila terjadi goresan pada bahan pelapis mulai berkurang

maka cepat terjadinya korosi. Jumlah produk yang terkorosi biasanya bertambah dengan kenaikan waktu. Dalam beberapa hal hubungan ini bersifat linier bahkan pada kasus-kasus tertentu, laju korosi menurun dengan bertambahnya waktu.

2.1.4 Macam-Macam Korosi Atau Klasifikasi Terdapat Delapan Bentuk.

Klasifikasi Umumnya berdasarkan penampilan (appearance) yang dapat dilihat dari permukaan logam secara visual. Hal ini mencakup semua masalah (problem) korosi yang mengakibatkan dalam bidang engineering. Korosi mempunyai banyak bentuk tergantung pada logam dan lingkungan yang bersangkutan dan proses pengkaratan yang mengakibatkan kerusakan, berdasarkan bentuk permukaan korosi yang dibedakan atas :

2.1.4.1 Korosi Permukaan Yang Merata (Unifrom Corrosion)

Proses korosi berlangsung secara merata karena produk korosi tidak bersifat protektif. Korosi jenis ini dapat dilihat dengan tanda oleh reaksi elektrokimia yang berlangsung secara merata diseluruh permukaan logam. Korosi ini paling sering terjadi dan seluruh permukaan bahan terserang yang mengakibatkan mengalami penipisan secara merata dan usia bahan dapat diperkirakan, tipe korosi ini relatif tidak terlalu berbahaya dan dapat terjadi dalam semua jenis lingkungan yang korosif.

2.1.4.2 Korosi Galvanis (Galvanic Corrosion)

Korosi ini dapat terjadi apabila dua buah bahan logam tidak sama berkontak didalam lingkungan yang korosif. Pada keadaan demikian terbentuk beda potensial antara kedua logam tersebut, beda potensial itu menyebabkan elektron atau timbulnya arus listrik sehingga logam yang mudah terkorosi menjadi Anodik dan logam yang lebih tahan korosi menjadi katodik. Hal ini biasanya bahan terserang berlangsung pada sekitar sambungan atau bidang kontak, tetapi disela-sela antara gasket sambungan bertindih, Sekrup-sekrup atau terbentuk oleh kotoran endapan, atau timbul dari produk-produk korosi. Korosi yang terjadi umumnya disebabkan oleh oksigen yang terkonsentrasi pada tempat celah dan pada permukaan cairan. Konsentrasi Oksigen yang rendah akan menempati Lokasi Anodik sehingga merupakan sumber korosi.

2.1.4.3 Korosi Antar Butir Atau Korosi Pada Celah (Crevice Corrosion).

Korosi jenis ini biasa terjadi pada baja tahan karat sebagai dari akibat proses heat treatment at stressau Pengelasan. Dalam keadaan tertentu bidang antara muka butiran menjadi reaktif sehingga terjadi korosi lokal disekitar batas-batas butir yang di sebut batas butir bersifat Anodik, sementara butir sendiri bersifat katodik adalah reaktifitas yang tinggi pada batas butir dapat disebabkan oleh :

1. Adanya unsur pengotor,
2. Pengayaan salah satu unsur pepadu.
3. Pengurangan unsur-unsur tersebut pada daerah batas butir.

Oleh sebab itu batas butir termakan oleh lingkungan sehingga butir-butir lepas dan rontok, korosi antar butir dapat terbentuk :

1. Kerusakan (korosi) Permukaan yang rata dengan laju yang tinggi.
2. Lubang-lubang yang elatif kasar dan dalam
3. Retakan.

Korosi antar butir berhubungan dengan struktur mikro logam yang bersangkutan.

2.1.4.4 Korosi Erosi (Corrosion Erosion).

Korosi ini umumnya disebabkan oleh pengrusakan bahan karena pengikisan oleh kecepatan aliran fluida atau turbolensi. Merupakan percepatan dari corrosion rate disebabkan gerakan yang relative antara cairan yang corrosive dan permukaan logam. Biasanya gerakan sangat cepat, hingga pengaruh abrasi dan mechanical wear juga terlibat didalamnya. Logam akan lepas dari permukaan dalam bentuk ion yang larut atau berbentuk corrosion product (Solid). Bentuk-Bentuk ini sering di jumpai pada : Piping system (bent, elbow, tess), pumps, blowers, heat exchangers tubes, orifice, nozzles, Shipe, dan lain sebagainya. Kasus lain yang disamakan dengan korosi ini adalah Cavitation karena pengaruh vapour bubbles dan fretting corrosion yang terjadi pada contat areas antara material (logam yang menerima beban sama-sama dengan Vibration dan slip dalam lingkungan Atmospere. Aliran Fluida dipermukaan bahan akibat adanya kecepatan aliran dari turbulen, maka lapisan pelindung atau lapisan oksida lingkungan akan terkikis sehingga bahan konstruksi rusak.

2.1.4.5 Korosi Karena Tegangan (Stress Corrosion Cracking).

Umumnya korosi yang terjadi bersifat retak yang pada akhirnya akan patah karena bahan konstruksi mengalami tegangan. Dimana pada bagian yang mengalami tegangan akan terkorosi terlebih dahulu. Stress Corrosion Cracking (SCC) adalah bentuk crack (retak) yang disebabkan adanya tensile stress dan environment yang spesifik corrosion medium. Pada kejadian ini ada dua faktor yang bekerja sekaligus, yaitu : Lingkungan dan Tegangan.

Kerusakan ini dijumpai dalam 2 bentuk, yaitu:

1. Hydrogen blistering. Karena penetrasi atom hydrogen ke dalam logam dan dapat terkumpul dalam rongga dalam bentuk H_2 yang dapat menimbulkan tekanan sangat besar, sehingga dari luar logam kelihatan mengembang secara local (Local Deformation).
2. Hydrogen Embrittlement. Karena penetrasi atom hydrogen dan interaksi dengan Fe mengakibatkan kehilangan ductility dan tensile strength dari logam tersebut yang berakibat timbulnya crack.

Korosi pada jenis ini sangat berbahaya, sukar dideteksi dan sukar di perhatikan atau diprediksi kapan akan terjadinya. Biasanya terjadi pada logam-logam tertentu (Yang mengandung senyawa Sulfida (S), Clorida (Cl) dan ammonia (NH_3).

2.1.4.6 Selective leaching

Adalah hilangnya salah satu unsur logam dalam alloy karena proses korosi. Contoh yang sering dijumpai adalah larutnya zinc (Zn) dari brass alloy

(Dezincification). Brass terdiri dari $\pm 30\%$ Zn dan 70% Cu dan dezincification segera dapat kelihatan dengan mata biasa, karena dari warna kuning (brass) menjadi warna kemerah-merahan (dari Copper).

Ada 2 jenis Dezincification, yaitu :

- Uniform (layer type) dezincification yang dijumpai pada brass dengan kadar Zn tinggi.
- Localized (Plug Type) dezincification yang dijumpai pada brass dengan kadar Zn rendah.

Graphitization adalah juga merupakan kasus selective leaching, dari jenis grey cast iron dalam environment yang tidak terlalu besar corosivitasnya, dimana graphite nampak pada permukaan logam yang sifatnya lebih lunak.

2.1.4.7 Korosi Biologi (Biological Corrosion).

Pengaruh micro organisme maupun macro organisme ini dibahas tersendiri pada biocorrosion. Biological corrosion bukan jenis corrosion, tetapi kerusakan metal oleh suatu proses yang secara langsung atau tidak langsung sebagai hasil dari aktivitas organisme yang hidup. Aktivitas micro dan macro organisme tersebut dapat dijumpai didalam tanah, air tawar, air laut, petroleum product dan sebagainya. Dalam kondisi PH antara 0-11 dan tempratur antara $0-85^{\circ}$ C serta tekanan sampai 15.000 Lb/in^2 .



Gambar 1. Karat Secara Mikrobiologi (Sumber, www.corosion.com)

Kumpulan bakteri yang bersifat korosif adalah bakteri yang dalam metabolismenya menjadikan sulfur atau senyawanya sebagai unsur yang penting, misalnya bakteri pengoksidasi sulfur : *Thiobacillus thio-oxidans*, dan bakteri pereduksi sulfat : Genus *Desulfovibrio* atau *Desulfotomaculum*. Bagaimana korosi bisa terjadi karena bakteri anaerob ini? Besi dan baja karbon biasanya mempunyai laju korosi yang rendah dalam air netral terdeaerasi (oksigenya telah diusir pergi) dan di dalam larutan garam karena hanya terjadi reaksi reduksi katodik:



Bakteri anaerob pereduksi sulfat (*sulphate reducing bacteria* / SRB) akan menyebabkan korosi pada struktur baja yang ditimbun dalam tanah, dengan pembentukan lapisan tak protektif seperti FeS dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. , bila SRB pada awalnya tidak aktif. Bila SRB aktif sejak awal, maka produk korosi yang terbentuk adalah FeS dan sedikit FeCO_3 , pada pH 7 . Mikroba ini menyebabkan terjadinya proses korosi dengan bentuk serangan korosi merata, sumuran, ataupun sel konsentrasi. Mekanisme korosi oleh bakteri dapat dikelompokkan dalam proses-proses berikut :

1. Memproduksi sel aerasi diferensial.
2. Memproduksi metabolit korosif.

Interferensi terhadap proses katodik dalam kondisi bebas oksigen. Mekanisme korosi oleh SRB dikemukakan oleh banyak ahli antara lain oleh Pak Kuhr dan Vlugt, Pak Sharpley, Pak Dexter, Pak Booth dan Tiller, dan sebagainya.

2.1.4.8 Korosi Lubang (Pitting Corrosion).

Korosi ini umumnya timbul dengan bentuk lubang-lubang yang tidak merata (terlikalisir) di permukaan bahan. Lubang dapat berkembang menjadi dalam sekali

tembus kepermukaan dibaliknya, karena karena tidak merata dan tidak menentu sehingga usia peralatan dapat diprediksi dan sangat berbahaya. Korosi jenis ini umumnya dapat dijumpai pada Stainles Steel dan Aluminium dalam air laut dan air asam. Mekanisme yang terjadi korosi ini tidak jelas, tetapi bisa diduga seperti sebagai berikut :

1. Permukaan logam ditutup oleh permukaan oksida.
2. Lapisan oksida rusak atau tidak sempurna.
3. Bahan dalam dari logam menjadi Anoda dan bagian luar menjadi katoda.

Biasanya terjadi dalam lingkungan yang mengandung senyawa-senyawa tertentu seperti : Sulfur (S), dan Clorida (Cl). Penyebab utama adalah Ion-ion Clorida, yang disebabkan adanya garam Clorida akan berperan sebagai autokatalistik dari kawat tersebut. Apabila lapisan rusak maka akan timbul korosi secara lokal dan dengan adanya oksigen akan mempercepat proses korosi lubang.

2.2. Basic Corrosion Process

2.2.1 Prinsip korosion (Corrosion Principles).

Definisi secara umum korosi dapat disingkat menjadi “kerusakan atau Pengikisan” Material, umumnya adalah logam karena suatu proses/reaksi dengan lingkungan (environment), dalam pembicaraan sehari-hari dikenal dengan istilah karat atau pengkaratan, yang tidak lain adalah proses korosion dari besi atau baja.

Sebagai bentuk akhir dari proses korosi dapat berbentuk lubang pada tangki (line), pitting pada Pump Plunyer atau impeller, crack (retak-retak) pada condenser tubes dan lain sebagainya. Orang yang bekerja di bidang operasional cenderung berpendapat korosi adalah sebagai kondisi akhir dari suatu kerusakan

alat, tetapi para ilmuwan atau engineer berpendapat lain, bahwa *korosi adalah* proses/reaksi yang dapat menyebabkan kerusakan alat apabila reaksi tersebut dapat diketahui dan dipahami maka cara untuk mencegah kerusakan dikemudian hari dapat diupayakan.

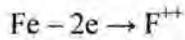
Pada setiap kerusakan akibat korosion akan selalu melibatkan energy transfer, dimana baik logam maupun lingkungan dapat mengeluarkan energy tersebut sehingga terjadi proses. Seperti diketahui bahwa logam diperoleh dari alam dengan menghabiskan sejumlah energy. Karena korosi terhadap logam dapat digambarkan sebagai akibat alamiah dari energy yang tersimpan pada saat diproses.

Logam terdapat di bumi dalam bentuk kombinasi seperti oxida, carbonat atau sulfide yang disebut bijih logam (Core) untuk mengubah menjadi logam murni diperlukan tambahan energy, hingga logam berada pada energy level yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan bijih logamnya. Karena hal tersebut ada kecenderungan secara alamiah, bahwa logam kembali ke bentuk aslinya dan ini dapat terjadi melalui proses dengan adanya :

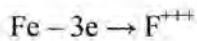
- Moisture (kelembaban)
- Gases (O_2 , CO_2 , H_2SO)
- Soil (tanah)
- Process Streams
- Water
- Chemical, dan Sebagainya.

Kecenderungan demikian dapat dimanfaatkan untuk membuat perkiraan maupun *control terhadap adanya korosion*. Untuk mengetahui bagaimana energy ditransfer antara metal dan lingkungannya selama proses korosion diperlukan proses visualisasi dari bentuk energy tersebut yaitu, Elektron (Negatively Charge). Elektron tidak dapat berdiri sendiri dan tidak bermassa, tetapi dapat bergerak

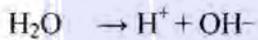
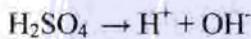
secara mudah dalam metal dan aliran atau gerakan ini disebut Electricity. Atom merupakan bagian terkecil dari logam dan terdiri dari inti bermuatan positif dan di kelilingi oleh electron. Bila atom dari logam kehilangan electron, yang tertinggal dinamakan ion dan mempunyai muatan positif (cation).



(Atom Fe) (Ferrous ion)



Untuk non metal akan membentuk Anion (Negatively Charged ion) yang biasanya terjadi karena terurainya (dissociation) asam atau garam dalam cairan (air) seperti :



Dengan adanya ion bebas dalam cairan menyebabkan cairan menjadi konduktor (elektrically Conduktive). Cairan yang demikian dinamakan Elektrolyte. Dengan demikian korosi yang terjadi dalam lingkungan yang mengandung cairan (air) akan melibatkan energy transfer, dimana elektron akan mengalir dalam logam sebanyak ion logam kedalam electrolyte. Proses korosi yang terjadi dinamakan “ electro chemical proses”.

2.2.2 Karakteristik korosion sell (Kharakteristik of Corrosion Cell).

Dapat dilihat carbon Stell berhubungan dengan air (electrolyte) yang mengandung ion bebas (bermuatan). Logam larut dari permukaan terjadi didaerah

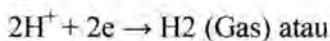
yang dinamakan Anode. Atom Fe di daerah Anode melepaskan diri (menuju cairan) dalam bentuk Fe^{++} ini terjadi karena logam Fe berada pada energy level yang tinggi dan mempunyai kecenderungan untuk larut.

2.2.3 Reaksi Anodik dan katodik (Anodic And Cathodic Reaction).

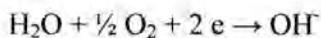
Bila tiap Fe^{++} ion terbentuk, maka dua electron ($2e$) tertinggal dalam metal $Fe \rightarrow F^{++} + 2e$. Atom yang melepaskan elektron mengalami oksidasi meskipun tidak ada oxygen. Bila oksidasi ini berlangsung secara terus menerus akan terjadi akumulasi Fe^{++} di sekitar Anode. Dalam industri minyak biasanya dalam liquid larut juga unsur-unsur lain seperti O_2 , H_2S , CO_2 dan sebagainya yang dapat bereaksi dengan Fe, dan membentuk rust ($Fe_2O_3H_2OX$). Iron Sulfide atau Iron carbonate.

Akibat akumulasi ini kelebihan elektron akan menimbulkan apa yang dinamakan electrical pressure atau potensial. Dengan terjadinya potensial, kelebihan electron akan mengalir dari Anode ke bagian lain dimana muatannya akan terneutralisir. Reaksi demikian dinamakan reduksi dan Zat yang menerima electron dinamakan tereduksi, bagian lain dari logam dimana proses reduksi terjadi dinamakan Cathode.

Reduksi pada Cathode yang umumnya terjadi :



Bila ada unsur O_2 reaksinya dalam bentuk :



Akumulasi gas H_2 pada permukaan cathoda dapat mengurangi corosion.

2.2.4 Elektrical Properti korosi sell (Electrical properties of corrosion cell)

Korosi sell selalu terdiri dari paling sedikit dua elektroda, anode dan katode yang berada dalam electrolyte dan saling dihubungkan (gambar 3). Dimana metal ion meninggalkan electrolyte dan electron mengalir dari anoda ke katoda melalui logam penghubung metal (Metallic path). Anode selalu mengalami korosi sedangkan katode tidak. Meskipun demikian logam mulia seperti platinum dan beberapa non metallic material seperti carbon dapat berfungsi sebagai anode dan tanpa mengalami korosi. Aliran elektron tersebut terjadi karena adanya perbedaan potensial (E) antara Anode dan Katode. Perbedaan potensial juga dinamakan elektromotive (Driving) force atau emf. Pada setiap rangkaian listrik maka jumlah arus yang mengalir dan dengan demikian juga jumlah korosi yang terjadi pada anoda akan sangat tergantung pada perbedaan potensial dan total tahanan yang ada. Hubungan antara E dan tahanan (hukum Ohm) adalah sebagai berikut :

$$I = E / R \text{ atau } E = IR,$$

Dimana : I = Arus (Ampere)
 E = Potensial atau emf (volt)
 R = Resistance (ohm).

Bila dilihat pada gambar 3, maka R merupakan jumlah dari :

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4.$$

Dimana : R_1 = Metalic Path resistance (Umumnya sangat kecil)
 R_2 = Electrolyte Path resistance.
 R_3 = Boundary resistance pada Anoda.
 R_4 = Bunday resistance pada Katoda.

2.2.5. Pengaruh Beda Potensial dan Galvanic (EMF dan galvanic effect).

Perbedaan potensial (ΔE) adalah merupakan ukuran dari Elektromotive (driving) potensial yang memungkinkan terjadinya atau mengalirnya arus listrik dan dengan demikian terjadinya korosi. Dalam penggunaan convention yang baru, anode pada korosion sel dianggap negative (-) terhadap katode (+) dan dapat dibuktikan dengan menggunakan volt meter. Sedangkan dari anode ke katode melalui electrolyte. Menurut pengertian ini korosi terjadi dimana arus meninggalkan logam dan dimana arus masuk ke dalam logam korosi tidak terjadi. Konsep ini masih tetap dipakai. Perlu diperhatikan bahwa potensial (-) dan (+) mempunyai arti hanya bila ada hubungannya dengan reference potensial.(lihat tabel 1). Potensial kedua elektroda mungkin negative terhadap reference standard. Bila salah satu lebih besar negativenya maka yang lain dapat dianggap positif terhadap yang pertama. Namun perbedaan tersebut tidak tetap dan mudah berubah.

Tabel 1. Standart EMF of Metals.

Metal-metal ion equilibrium (unit activity)	Electrode potensial vs. normal hydrogen Electrode at 25 °C, Volts.
Au-Au ⁺³	+ 1.498
Pt-Pt ⁺²	+ 1.2
Noble or cathodic Pd-Pd ⁺²	+ 0.987
Ag-Ag ⁺	+ 0.799
Hg-Hg ⁺²	+ 0.788
Cu-Cu ⁺²	+ 0.337

	H_2-H	0.000
	$Pb-Pb^{+2}$	- 0.126
	$Sn-Sn^{+2}$	- 0.136
	$Ni-Ni^{+2}$	- 0.250
	$Co-Co^{+2}$	- 0.277
	$Fe-Fe^{+2}$	- 0.403
	$Cr-Cr^{+3}$	- 0.440
	$Zn-Zn^{+2}$	- 0.744
	$Al-Al^{+3}$	- 0.763
Active	$Mg-Mg^{+2}$	- 1.662
Anodice	$Na-Na^+$	- 2.363
	$K-K^+$	- 2.714
		- 2.925

Sumber, Theythey, 1991

2.3 Jenis-Jenis Korosi Terhadap Pengaruh Ketahanan Logam.

2.3.1 Karat Atmosfer .

Jenis karat ini paling dominan di muka bumi ini, disebabkan terjadi akibat proses elektrokimia antara dua bagian benda padat khususnya metal besi yang berbeda potensial yang langsung berhubungan dengan udara terbuka. Mekanisme terjadinya jenis karat ini adalah bahwa hampir tidak ada benda, khususnya metal yang bebas dari kotoran di dalam matrialnya yang lazim disebut Impurities, yang berupa oksida dari metal besi tersebut akibat bereaksi dengan zat asam di udara

perbedaan struktur molekul dari material itu sendiri, serta perbedaan tegangan didalam bagian-bagian metal besi tersebut.

Secara alami hal-hal tersebut dapat menimbulkan perbedaan potensial antara bagian-bagian, menyebabkan sebagian dari metal bersifat katodik yakni kotoran, oksida dan struktur molekul yang katodis. Sedangkan bagian anodis yakni, bagian metal besi yang murni. Apabila keadaan udara sekitar dingin dan basah, maka akan terbentuk titik-titik embun pada permukaan metal besi yang dingin, begitupun saat terjadi hujan, maka permukaan metal menjadi basah.

Dikarenakan dalam udara terdapat banyak sekali sampah, debu sebagai pencemar yang terkadang menimbulkan larutan yang sangat asam jika bercampur dengan partikel-partikel air embun. Dimana larutan yang PH nya sangat rendah inilah yang berfungsi sebagai bahan penghantar (elektrolyte) yang sangat baik, sehingga terjadilah sel karat didalam titik embun yang menempel pada permukaan yang memiliki beda potensial tersebut.

- Elektron mengalir dari daerah anodik ke katodik, meninggalkan ion-ion ferum yang bermuatan positif dan tidak stabil. Hal ini dinyatakan dalam persamaan :
$$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{++} + 2e^{-}$$
 (reaksi Oksidasi)
- Didalam air banyak terdapat ion hidrosil bermuatan negatif, ion hidrosil berasal dari : $\text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{OH})^{-}$ atau $4e^{-} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 (\text{OH})^{-}$.
- Didaerah katodik terjadi reaksi sebagai berikut : $2\text{H}^{+} + 2e^{-} \rightarrow \text{H}_2$ berupa gas (reaksi reduksi).
- Didalam air terjadi reaksi antara ion besi yang sangat tidak stabil dengan ion hidrosil yang bermuatan negatif menjadi garam Ferro Hidroksida yang tidak

larut. $Fe^{++} + 2(OH)_2$ Fero Hidroksida. Atau $4Fe + 6H_2O + 3O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3$
 dan $2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 3H_2O$ (i) Ferioksida.
 $2Fe(OH)_2 + FE^{++}2H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 6H^+$ (H) Magnetik dan
 $Fe(OH)_2 + (OH)^+ \rightarrow FeO (OH) + H_2O$ (HI) Karat.

Sewaktu bintik-bintik embun atau air hujan mengering kena panas matahari. Proses pengkaratan terhenti dan akan berlanjut jika permukaan yang berkarat tadi menjadi basah kembali dengan cara yang sama. proses ini akan berlangsung secara berulang-ulang hingga takik karat bertambah dalam dan produk karat menutupinya. Zat pencemar bermacam-macam dominan berlangsung pada lokasi di tempat terjadinya pengkaratan seperti ditepi pantai zat pencemar yang dominan adalah NaCl yang berasal dari pertikel air laut. Sedangkan di Lingkungan Industri Zat SO_2 , H_2S , NH_3 , NO_2 dan garam-garam lain, untuk pedesaan Zat yang dominan yaitu Carbonyl sulfide COs.

Tabel 2. Konsentrasi Gas Belerang Di Udara Dalam Ppm.

Gas	Daerah Industri, pelosok	pedesaan
H_2S	15-5000	5-50
CS_2	70-370	25-45
CH_2SCH_3 (Dimethyl Sulfida)		42-62
COS	430-570	430-570
SO_2	10^3-10^6	50-120

Sumber, Widharto, 2004

Karenanya walaupun jenis metal di suatu lokasi tahan karat, belum tentu bersifat sama di lokasi lain. Seperti baja berlapis galvanis tahan karat di daerah pedesaan, tapi kurang tahan karat dikawasan industri. Untuk itu daerah-daerah tersebut dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu : Marine, Industrial, tropical, Artic, Urban (Pelosok) dan Rural (Pedesaan). Apabila produk karat semakin lama menebal menutup permukaan baja maka cenderung melindungi permukaan tersebut, sehingga laju pengkaratannya menurun dengan bertambahnya waktu. Namun apabila permukaan selalu basah yang disebabkan oleh hujan atau yang lain dimana hujan tidak mampu membersihkan permukaan tersebut, justru semakin lama laju pengkaratan semakin cepat dibanding dengan permukaan terbuka keudara bebas. Penyebabnya diperkirakan oleh terbentuknya asam sulfat, karena diserap oleh kerak maka mempercepat proses pengkaratan. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat pengkaratan Atmosfer, yaitu :

- Jumlah Zat pencemar di udara (debu,gas), yaitu rata-rata kandungan debu dikota-kota besar 2 mg/m^3 dan menjadi lebih pekat dikawasan Industri sebesar 1000 mg/m^3 bahkan lebih. Diperkirakan lebih dari 35.000 kg debu per $\text{km}^2/100 \text{ ton/mil}$ persegi/ mengendap setiap bulan diatas suatu kota industri. Debu tersebut terdiri antara lain butiran-butiran arang, paduan arang (carbon Compound, oksida metal, H_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaCl dan garam-garam lain. Sedangkan gas yang merusak gas hydrogen sulfide menyebabkan karat tarnish pada perak atau tembaga. Dan sulfur dioksida (SO_2) yang berasal dari pembakaran batu bara, minyak bakar atau gasoline dimana unsur-unsur tersebut sangat berbahaya di kawasan industri yang dapat merusak berbagai

jenis material bangunan dan prasarana umum lainnya bahkan apabila terbawa hujan akan menyebabkan hujan asam yang dapat membunuh tumbuhan dan hewan ternak pemakan tumbuh-tumbuhan yang tercemar.

- Suhu
- Kelembaban Kritis (Critical Humidity), yaitu karena kelembaban relative biasanya berfluktuasi sesuai dengan berfluktuasinya suhu dan udara serta sampah/kotoran di udara maupun didalam baja bersifat hidrokopis maka untuk mencegah agar tidak terjadi kondensasi dipermukaan baja, kelembaban relative harus diperkecil jauh dibawah 100 % Tingkat kelembaban dimana dibawah harga tingkat pengakratan tidak berarti disebut kelembaban relative kritis K.R.K Untuk baja, tembaga, nikel, dan seng berkisar antara 50-70%. Namun tidak berlaku pada daerah polusi terberat, karena berapapun kelembaban kritis akan tetap terjadi karat atmosfer. Faktor yang menentukan kepekaan suatu metal baja terhadap atmosfer disuatu lingkungan khusus adalah Presentase waktu (Waktu Kebebasan/ time of Witness) dimana angka kelembaban relative kritis dilampui. Hal ini dapat ditentukan dengan menghitung tegangan antara metal yang berkarat dengan elektroda platina. Didaerah tropis sangat berbahaya dalam tingkat korosi atmosfer.
- Berikut tabel menunjukan usia rata-rata lapisan galvanis dari baja berlapis galvanis, yaitu :

0,3-0,5	0,2-0,3	3-4	2-3	1
---------	---------	-----	-----	---

Sumber, Corrosion, PT. Arun

- Arah dan kecepatan Angin
- Reduksi matahari dan
- Jumlah Curah hujan
- Berikut tabel laju pengkaratan dari beberapa jenis metal pada beberapa jenis lokasi pengkaratan, yaitu :

Tabel 4. Laju Pengkaratan Dari Beberapa Jenis Metal Pada Beberapa Jenis Lokasi Pengkaratan.

Lingkungan	Laju Pengkaratan, GMD (Gram/M ² /Hari)		
	Baja	Seng	Tembaga
Atmosfer dipelosok	-	0,017	0,014
Atmosfer Marine (laut)	0,29 0,15	0,013 0,10	0,032 0,029
Atmosfer Industri	2,5	1,0	0,8
Air Laut	0,5	0,3	0,07
Tanah			

Sumber, Widharto, 2004

2.3.2 Mekanisme Elektro Kimia

Pada umumnya proses pengkaratan terdiri dari proses elektro kimia, yang mekanismenya sama dengan yang terjadi di dalam baterai. Baterai terdiri dari

Tanah

Sumber, Widharto, 2004

2.3.2 Mekanisme Elektro Kimia

Pada umumnya proses pengkaratan terdiri dari proses elektro kimia, yang mekanismenya sama dengan yang terjadi di dalam baterai. Baterai terdiri dari elektroda yang terbuat dari karbon dan mangkuk yang terbuat dari seng. Kedua elektroda tersebut dipisahkan oleh elektrolit yang terdiri dari larutan Amonium klorida (NH_4Cl). Jika elektroda karbon dihubungkan dengan elektroda mangkuk seng melalui sebuah bola lampu, maka bola lampu akan menyala karena terjadinya arus listrik yang mengalir dari katoda ke anoda sebagai hasil reaksi kimia di kedua elektroda tersebut melalui elektrolit NH_4Cl . Pada mangkuk seng terjadi reaksi oksidasi : $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{++} + 2e$ (reaksi Anoda), sedangkan pada elektroda karbon terjadi reaksi reduksi : $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$ gas (reaksi Katoda). Akibat oksidasi tersebut ,metal Zn diubah menjadi ion Zn yang terhidrasi (Hydrated Zinions) $\text{Zn}^{2+} \cdot n\text{H}_2\text{O}$.semakin besar arus yang terjadi, semakin banyak metal Zn yang menjadi ion sehingga metal seng kehilangan massa atau berkarat.berat metal yang bereaksi,sesuai dengan hokum faraday, dinyatakan dalam persamaan berikut ini. Berat metal yang beraksi = klt, Dimana :

I = Arus dalam Ampre

C = Coulomb($1C = 1A$ dalam 1 detik)

k = Konstanta = $3,39 \times 10^{-4}$ g/c

t = waktu dalam detik

Karena serangan karat tersebut, mangkuk seng akan berlubang (Perforated) hanya dalam beberapa jam saja, tapi jika panel penghubung dilepas, arus listrik terputus, maka umur mangkuk seng dapat bertahun-tahun. Disebabkan dengan kondisi tidak tersambung (open Circuit). Proses pengkaratan seng menjadi sangat lambat, disebabkan oleh adanya kotoran seperti besi yang tertanam dipermukaan seng. Kotoran tersebut bekerja sebagai katoda terhadap seng yang bersifat anodic, sehingga terjadi aliran electron dari anoda ke katoda dan menyebabkan karat didaerah anoda. Hal ini disebut local-action current, dan proses ini disebut waktu bertahun-tahun sebelum mampu menghabiskan mangkuk seng.

a. Karat elektro kimiawi

Bentuk karat elektro kimiawi adalah proses elektro kimia dari oksidasi metal. Oksidasi adalah terlepasnya electron dari suatu atom, misalnya terlepasnya electron dari atom besi, yaitu : $Fe \leftrightarrow Fe^{2+} + 2e^-$. disebut potensial elektroda yang tergantung pada kondisi metal dan larutan penghantar.

2.3.3 Sel Karat

Sel karat adalah suatu proses pengkaratan yang terjadi dalam ukuran kecil namun mandiri. Bisanya dipacu oleh pengaruh-pengaruh luar (lingkungan) yang terus menerus terbaru sehingga menjadi stimulan (pengiat) yang berkesinambungan, jenis karat tersebut sebagai berikut :

a. Sel Karat Konsentrasi Kimia Berbeda

Sebagai contoh adalah elektroda tembaga yang dimasukkan kedalam larutan $CuSO_4$ dengan konsentrasi berbeda. Maka elektroda yang berada pada larutan

yang kenyang akan bersifat katodik dan yang berada pada larutan encer akan bersifat Anodik. apabila keduanya berhubungan akan terjadi penggerogotan permukaan pada anoda dan deposisi (plating) tembaga pada katoda. Contoh : Suatu instalasi pipa berada di dalam tanah dekat pantai dimana lapisan tanah atas berandung garam rendah , dan bawah berlapis garam tinggi, maka terjadilah aliran elektron dan anoda (Bagian pipa dibawah) ke katoda (bagian pipa di atas pipa) dimana bagian Anoda mengalami pengkaratan. Pipa tidak dilindungi anti karat.

b. Sel Karat Konsentrasi Oksigen

Suatu fenomena alam bahwa metal dengan daerah kandungan oksigen tinggi akan bersifat katodik terhadap bagian metal yang berada didaerah kandungan oksigen rendah yang bersifat Anodik. Contoh : pipa berada dibawah tanah dan menyebrang jalan . bagian pipa berada dibawah jalan dengan sendirinya kekurangan Zat asam dibandingkan pipa yang berada di luar badan jalan. Karena bagian pipa yang berada dibawah jalan akan berkarat disebabkan bersifat Anodik terhadap bagaian pipa diluar badan jalan.

c. Sel Perbedaan Temperatur.

Apabila dua metal yang sama, dalam elektrolit yang sama namun berbeda suhu, jika kedua metal tersebut dihubungkan maka metal yang terletak ditempat yang bersuhu rendah akan bersifat Anodis dan yang bersuhu tinggi akan bersifat katodik dengan demikian akan terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda yang menyebabkan karat dibagian anoda tersebut.

d. Sel Arus Dipaksakan (Impressed Current).

Sel jenis ini adalah sel karat yang reaksinya dipacu dan dibawa oleh aliran arus listrik yang dipaksakan. Yang berasal dari luar sel sumber arus yang dipaksakan adalah generator listrik atau transformer arus searah. Contoh : sel elektro plating (Fernikel, Pelapisan elektro, penyepuhan). Dan aki mobil apabila di charge (diisi). Terdapat dua jenis sel arus dipaksakan, yaitu :

- Sel arus paksa disengaja, yaitu : sel perlindungan katodik pada pipa tanah. Arus berasal dari sumber listrik searah menuju elektroda dan melalui tanah arus mengalir dari elektroda ke pipa sehingga menjadi katoda yang tidak berkarat dan arus kembali ke sumber (Rectifier).
- Sel Arus paksa yang terjadi secara eksidental (tidak sengaja), yaitu : Arus liar yang berasal dari rangkaian kereta listrik masuk kepipa bawah tanah melalui rel kedalam tanah kemudian kepipadan arus kembali ke rel. Tempat masuknya arus kepipa menjadi katoda dan tempat titik kembalinya arus pipa ke rel menjadi Anoda yang berkarat.

e. Sel Regangan (Stress Cell)

Stress cell adalah sel karat yang disebabkan oleh terjadinya daerah katoda dan Anoda pada suatu metal utuh (tidak terputus) Akibat adanya internal stress atau regangan, dimana dapat berupa regangan sisa dan regangan geser (residual stress), daerah yang mengandung regangan akan bersifat Anodik terhadap bagian metal lainnya yang tidak beregangan. Contoh Apabila sebuah paku dimasukan kedalam air asin/air laut maka paku akan berkarat yang diawali bagian kepala dan bagian yang runcing. Sebab bagian tersebut dibentuk secara paksa dengan system cold forming (pembentukan dingin) yang selalu dihasilkan regangan sisa

akibatnya bagian tersebut akan menjadi Anodik terhadap bagian paku lainnya jika dihubungkan melalui elektrolit.

f. Sel Lapisan Permukaan (Surface Film Cell)

Pengkaratan yang terjadi apabila sebagian permukaan besi tersebut diselaputi selapis oksida (Film) yang walaupun tebalnya 0,3 Volt dengan bagian permukaan yang telanjang. Contoh : antar instalasi pipa bersifat fleksibel/lentur terhadap kemungkinan gangguan teknis dan oprasional, maka dimasing-masing penghubung dipasang kerangan (valve). Yang merupakan pipa lama tidak mengalami kebocoran lagi, namun beberapa saat kemudian pipa baru yang mengalami perforasi akibat serangan karat eksternal, hal ini disebabkan karena telah terjadi sel karat lapis permukaan dimana pipa lama yang permukaannya mulai berkerak dan beroksida menjadi katodik terhadap pipa baru yang belum diselimuti Film osida, yang bersifat Anodik.

g. Sel Galvanik

Sel ini disebut juga dengan dua jenis karat metal (Bemetal Corrosion) atau dissimilar cell terdiri dari dua elektroda dari dua jenis metal yang berbeda apabila suatu metal A, yang lebih "mulia" (noble) daripada B. Dihubungkan didalam suatu elektrolit. Maka A akan menjadi katoda dan B menjadi Anoda. Masing-masing metal memiliki potensial yang lazim disebut potensial Elektromotive. (EMF). Metal nobel biasanya memiliki potensial elektromotif negatif, Zat cair memiliki EMF 0 Volt. Sel galvanic tidak akan terjadi apabila kedua metal yang berbeda tidak berhubungan langsung walaupun keduanya berada dalam elektrolit yang sama(open circuit). Standart Elektromotive series ini dapat berubah akibat pengaruh perubahan suhu, konsentrasi Zat-zat yang terlarut, kondisi permukaan

elektroda, Kotoran/sampah pada permukaan elektroda. Karena itulah EMF tidak menggambarkan kondisi sebenarnya dalam perindustrian disebabkan sel galvanis sering terjadi tanpa disengaja dan cukup mendatangkan masalah.

Tabel 5. Electromotive Series Dari Metal

Metal	Ion yang terbentuk	Potensial (Volt)
Lithium	Li^+	+2,96
Rubidium	Rb^+	+2,93
Potassium	K^+	+2,92
Strontium	Sr^{++}	+2,92
Barium	Ba^{++}	+2,90
Calcium	Ca^{++}	+2,87
Sodium	Na^+	+2,71
Magnesium	Mg^{++}	+2,40
Alumunium	Al^{+++}	+1,70
Beryllium	Be^{++}	+1,69
Manganese	Mn^{++}	+1,10
Zinc	Zn^{++}	+0,76
Chromium	Cr^{++}	+0,56
Iron (Ferrum)	Fe^{++}	+0,44
Cadmium	Cd^{++}	+0,40
Indium	In^{+++}	+0,34
Thalium	Tl^+	+0,33
Cobalt	Co^{++}	+0,28

Nickel	Ni ⁺⁺	+0,23
Tin (Stanium)	Sn ⁺⁺	+0,14
Lead (Plumbura)	Pb ⁺⁺	+0,12
Iron (Ferry)	Fe ⁺⁺⁺	+0,04
Hidrogen	H ⁺	0,00
Antimony	Sb ⁺⁺⁺	-0,10
Bismuth	Bi ⁺⁺⁺	-0,23
Arsenic	As ⁺⁺⁺	-0,30
Copper (Cupri)	Cu ⁺⁺	-0,34
Copper (Cuprum)	CU ⁺	-0,47
Tellurium	Te ⁺⁺⁺⁺	-0,56
Silver	Ag ⁺	-0,80
Mercury	Hg ⁺⁺	-0,80
Palladium	Pd ⁺⁺	-0,82
Platinum	Pt ⁺⁺⁺⁺	-0,86
Gold (Auric)	Au ⁺⁺⁺	-1,36
Gold (Aurous)	Au ⁺	-1,50

Sumber, Van Vlack, 1994

h. Sel-sel karat lainnya

Misalnya sel fhoto-voltaic atau photo electric, dimana salah satu elektroda berada ditempat yang terang/kena cahaya dan yang lain ditempat yang gelap, maka terjadilah perbedaan potensial yang cukup tinggi yang akan menimbulkan sel karat. *Faktor pergerakan (motion)*, yaitu : aliran air sungai yang dapat

menyebabkan beda potensial yang cukup terhadap tanah sekitarnya sehingga apabila ada suatu besi atau pipa yang melawati atau sejajar maka akan terserang karat, disebabkan terkena arus liar pada sel arus dipaksakan (*Impressed Current Cell*), demikian pula apabila kapal laut melaju sepanjang alur pelayaran, maka dapat kapal tersebut akan sedikit pula menghasilkan arus. *Faktor Tekanan*, yaitu : potensial elektroda dapat disebabkan oleh perubahan tekanan. Dapat terjadi karena kondisi potensial dengan perubahan tekanan, namun belum terbukti pada proses Industri. Sedangkan *Faktor Kombinasi*, yaitu : kadang-kadang kedua sel terjadi dengan bekerja dengan arah yang sama. Kadang berlawanan. Contoh : didalam Well Casing atau selongsong pemboran, biasanya terjadi sel karat oksigen dan sel karat suhu dalam waktu bersamaan sel tersebut cenderung memperlakukan pipa boran sebelah bawah (*Deep Pipe*) Sebagai Anoda. dan ada juga sel karat konsentrasi sewaktu selongsong melewati beberapa lapis/strata tanah ada yang bekerja secara berlawanan dan searah, sel kombinasi ini terjadi secara berlipat ganda tanpa batas.

2.3.4 Karat Galvanis

Karat ini berprinsip reaksi sebagaimana halnya sel galvanis. Merupakan proses pengkaratan elektro kimiawi apabila dua macam yang berbeda potensial dihubungkan langsung didalam elektrolit yang sama. Electron mengalir dari logam yang kurang mulia (Anodik) menuju kemetal yang lebih mulia (katodik), akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan electron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Maka permukaan *Anoda* Kehilangan

metal sehingga terbentuklah sumur-sumur karat atau jika merata disebut Surface Attack (serangan karat permukaan). Contoh : Pipa bawah tanah dengan kolom rak pipa melalui Clamp(Penjepit pipa), sedangkan kolom rak pipa dilengkapi dengan arde anti petir yang terbuat dari tembaga kaenanya terjadilah hubungan langsung antara pipa bawah tanah dengan arde tembaga tersebut didalam suatu elektrolit tanah basah yang konduktif. Maka terjadilah proses karat galvanis dengan pipa bawah tanah sebagai anodanya.terjadilah serangn karat disebelah luar pipa bawah tanah tersebut.

2.3.5 Karat Regangan

Gaya-gaya mekanis seperti tarikan (tensile) atau kompresi (compressive) berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan pada bagian metal yang sama ditinjau dari laju korosi pengkaratan pertahun. Retak karat regangan (RKR) dapat terjadi pada jenis metal apa saja seperti titanium dan bahkan emas. Titanium yang terkenal tahan karat, akan gagal apabila sedang dalam kondisi beregangan Internal dan berhubungan dengan air asin pada suhu diatas 290⁰C (550⁰T) dengan larutan klorida dalam kondisi tertentu dengan alcohol atau zat-zat lainnya.

Tabel. 6. Zat Penyebab Karat Dan Kondisi Lingkungan Penyebab Rkr Pada Perbagai Sistem Paduan.

Sistem paduan	Lingkungan
Paduan Alumunium	<ul style="list-style-type: none"> • Klorida • Udara Industri yang lembab • Udara Laut

Paduan Tembaga (Kuningan, dll)	<ul style="list-style-type: none"> • Ion Amonium • Amine
Paduan Nikel	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrosikda terkonsentrasi dan panas • Uap asam, hidrofluorida (hydrofluorice)
Baja karbon Rendah	<ul style="list-style-type: none"> • Hidroksida terkonsentrasi dan mendidih • Nitrat terkonsentrasi dan mendidih • Produk penyulingan destruktif dari batu bara
Baja Oil-country oil Field	<ul style="list-style-type: none"> • H₂S dan CO₂
Baja paduan rendah berkekuatan Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> • Klorida
Baja Nir noda	<ul style="list-style-type: none"> • Klorida Mendidih
Baja Austentic (Seri 300)	<ul style="list-style-type: none"> • Hidroksida terkonsentrasi dan mendidih • Asam politionik
Baja Feritik dan baja Martensitik (seri 400)	<ul style="list-style-type: none"> • Klorida • Air Pendingin Reaktor
Baja " Maraging" (18% Ni)	<ul style="list-style-type: none"> • Klorida

Paduan Titanium

- Klorida
 - Metil Alkohol
 - Klorida padat suhu diatas 550⁰F
-

Sumber, Thethey, 1991

2.3.6 Karat Peralutan Selektif

Karat ini menyangkut larutnya suatu komponen dari Zat paduan sehingga karat ini disebut pelarutan selektif (Selective Dissolution) atau Parting atau De'alloying. Zat komponen yang larut selalu bersifat Anodik terhadap komponen yang lain (Matrix). Walaupun secara visual tampak perubahan warna pada permukaan paduan, tapi tidak tampak adanya kehilangan materi berupa takik, perubahan dimensi, retak atau alur. Namun berat yang terkena jenis karat ini menjadi berkurang, berpori-pori dan terpenting adalah kehilangan sifat mekanisnya semula yakni menjadi getas dan mempunyai kekuatan tarik sangat rendah. Jenis karat pelarutan yang terkenal adalah Dezincification (desensifikasi), proses ini adalah proses peralutan Zat Seng dari metal paduan brass atau kuningan yang merupakan perpaduan antara Zat Seng dengan tembaga yang mengandung komponen seng antara 10 hingga 40%. Proses karat desensifikasi tampak sebagai perubahan mencolok dari warna kekuningan (Kuningan) menjadi warna merah tembaga.

Grafitisasi (Graphitization) atau graphic corrosion (karat Grafit) adalah salah satu bentuk dealloying atau pelarutan selektif yang melibatkan kelarutan unsur besi (Ferrum) dari logam paduan besi karbon yang disebut besi cor (Cast Iron) yang biasanya jenis abu-abu atau Gray-Cast Iron. Proses ini biasanya berlangsung

secara merata, Uniform dari arah permukaan kedalam material dan meninggalkan materi (matrix) yang keropos dari unsur paduan yang tertinggal. Proses ini terjadi didalam air asin atau air laut, air tambang yang bersifat asam di dalam larutan asam dan didalam tanah khususnya yang mengandung sulfat dan bakteri pereduksi sulfat (Sulfat reducing Bacteria). Jenis karat ini bergantung komposisi paduan, bahwa suatu sisa serangan karat grafit masih mengandung kekuatan tarik yang memadai dan memiliki ketahanan yang lumayan terhadap Erosi atau abrasi, misalnya pada besi cor yang mampu menahan terhadap tekanan air yang ada namun akan hancur berantakan apabila terkena cangkul tukang gali secara tidak disengaja. Dengan sedikit memasukan unsur nikel pada paduan besi cor maka akan sangat mengurangi kepekaan terhadap grafitisasi. Suatu besi cor yang terkena grafitisasi dapat berubah menjadi bahan pensil tulis yang baik.

2.3.7 Karat Celah (Crevice Corrosion)

Jenis karat ini adalah sel korosi yang diakibatkan oleh perbedaan konsentrasi zat asam. Sebab celah sempit terisi dengan elektrolit (air yang PH-nya rendah) maka terjadilah suatu sel korosi dengan katodanya permukaan sebelah luar celah yang basah dengan air yang lebih banyak mengandung zat asam daripada bagian sebelah dalam celah yang sedikit mengandung zat asam sehingga akibatnya bersifat anodic. karena bagian air dalam celah mongeringnya lama, meskipun bagian luar sudah mengering sehingga proses karat ini cukup lama dimana bagian dalamnya kehilangan metal.

Karat ini terjadi pada bahan nir noda, baik yang austenitic maupun ferritic. Pitting terjadi di dalam celah bahan baja nir noda apabila terendam air laut,

diawali dari celah karena tempat tersebut air laut stagnan. Kecepatan berlangsung bulanan, bahan Ferritic lebih cepat berkarat disbanding dengan Austentic karena perbedaan kandungan nikel.

Jenis karat ini banyak dialami oleh konstruksi karoseri kendaraan karena pabrikasinya menggunakan pengelasan electric resistance (tahanan listrik) system spot pada plta tipis yang disusun secara bertumpu(Overlap) inilah yang menimbulkan celah. Jika terpercik air laut atau air buangan dan terkena hujan maka jika celah tidak tertutup dengan zat anti karat (Taffcote), dalam jangka waktu paling lama 6 bulan akan mengalami perforasi/berlubang-lubang akibat serangan karat celah.

2.3.8 Karat Titik Embun

Jenis karat ini banyak dipengaruhi oleh faktor polusi dan kelembaban yang menyebabkan titik embun (dew point) atau kondensasi. Apabila sisa-sisa air hujan terperangkap dan tidak mengering didaerah terlindung, maka poses ini mempercepat proses pengkaratan atmosferis. Akibat keadaannya sangat korosif terutama didaerah dekat pantai dimana banyak partikel Air Asin yang terhembus angin dan mendarat dipermukaan metal atau dikawasan industri yang kaya akan pencemaran udara. Jika air embun tercampur dengan zat pencemar yang ada akibat jarang jatuhnya hujan maka akan menjadi larutan elektrolit yang sangat baik, sehingga mempercepat proses pengkaratan. Kondensasi didukung oleh dua faktor, yaitu : Faktor cuaca yang relative dingin dan kelembaban relative yang cukup tinggi (+80%). Tingkat karat akan menjadi ganas apabila selain zat

pengkarat (Corrodent) yang tinggi, kelembaban dan suhu yang bersifat cyclic (naik-turun secara teratur).

**Tabel 7. Hasil Percobaan Pada Beberapa Jenis Material Selama 8 Tahun
Diberbagai Tempat**

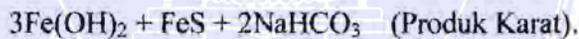
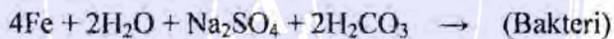
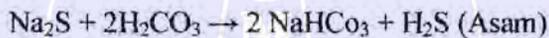
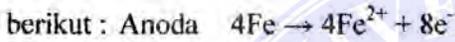
BAJA	Komposisi %				Kehilangan	
	C	P	Cu	Lain-lain	mm	mils
Dibawah pengaruh udara industri						
Karbon	0,2	0,02	0,03		0,20	8,0
Mengandung tembaga	0,2	0,02	0,3		0,11	4,4
Mengandung krom	0,009	0,2	0,4	1 Cr	0,048	1,9
Mengandung nikel	0,2	0,1	0,7	1,5 Ni	0,051	2,0
Dibawah pengaruh Air Laut						
Karbon	0,2	0,02	0,03		0,24	9,5
Mengandung tembaga	0,2	0,01	0,2		0,15	5,8
Mengandung krom	0,1	0,14	0,4	1 Cr	0,069	2,7
Mengandung Nikel	0,1	0,1	0,7	1,5 Ni	0,076	3,0
Dibawah pengaruh udara laut Tropis						
Karbon	0,25	0,08	0,02		0,52	20,4
Mengandung tembaga	0,2	0,004	0,24		0,45	17,6
Mengandung krom	0,07	0,008	0,1	3,2 Cr	0,23	9,1

Mengandung Nikel	0,2	0,34	0,6	2,1 Ni	0,19	7,5
------------------	-----	------	-----	--------	------	-----

Sumber, Thethey, 1991

2.3.9 Karat Bakteri

Secara teoritis apabila tidak terdapat zat asam, maka laju pengkaratan pada baja relatif lambat, tapi pada kondisi-kondisi tertentu ternyata laju pengkaratannya cukup tinggi. Setelah diselidiki ternyata disebabkan oleh bakteri anaerobik yang hanya bertahan dengan kondisi tanpa zat asam. Bakteri ini mengubah (reducing) garam sulfat menjadi asam yang relatif dan menyebabkan karat, reaksinya sebagai berikut :



Biasanya bakteri ini disebut Sulfate Reducing Bacteria, bakteri tersebut berfungsi sebagai Depolarizer. Tanda-tanda keberadaan bakteri ini biasanya ditandai dengan bau busuk menyengat apabila kerak produk dikupas. Untuk mendeteksinya secara positif diberi tetes HCl pada kerak dan akan timbul bau busuk dari H₂S. Nama bakteri ini adalah Sporovibrio Desulfuricans. Cara mencegahnya adalah dengan memberi aerasi (memasukan zat asam) kedalam air, klorinasi, Tannates, Potassium, Tellurite, Cetyl Pyridinium, O-Nitrohenol atau Selenate Anorganik. Bakteri lainnya yakni menyebabkan lapisan berlendir

(Slime), sehingga terjadi deposisi besi, jamur dan sejenis algac.dapat menyebabkan konsentrasi oksigen maka terjadi karat pitting.

Tabel. 8. Jenis-Jenis Mikro Organisme (Jasad Renik) Yang Menyebabkan Kerusakan Pada Konstruksi.

Nama	Jenis
Flavobakterium	
Mucoids	Bakteri pembentuk lender
Aerobacter	penyebab sel karat konsentrasi
Pseudomonas	oksigen
B. subtilis	
B. Cereus	
Desulfovibrio	Bakteri penyebab karat
Clostridia	
Gallionella	Bakteri pendeposisi besi
Grenothrix	
Chroococcus	
Oscillatoria	Algae (lumut)
Chlorococcus	
Ulothrix	
Scenedesmus	
Navicula.	
<i>Aspergillus</i>	
Alternaria	Jamur

Penicillium

Trichoderma

Torula

Monilia

Sumber, Widharto, 2004

Selain bakteri diatas masih terdapat jenis makhluk lain yang cukup mengganggu produksi, yakni segala jenis biota air/laut :

- Segala jenis kerang-kerangan dan remis berada pada system pendingin atau penukar kalor yang menggunakan air laut/ air tawar.
- Segala jenis Barnacles dan udang-udangan
- Ganggang laut, anemon dan lain sebagainya.

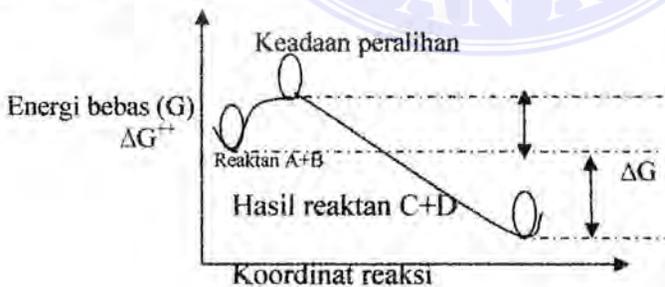
Pencegahannya dengan cara menciptakan sesuatu yang tidak nyaman bagi bibit makhluk tersebut yakni dengan mengijeksikan klorine maksimum 1 ppm (0,3-0,6) dapat mengubah sulfide yang korosif menjadi kurang.

2.4 Teori Korosi Di Lingkungan Air



Gambar 2. Kondisi dermaga I Pelabuhan Belawan (sumber, foto Penulis)

Korosi adalah suatu aspek bahasan menyangkut berbagai ilmu disiplin atau menggabungkan unsur-unsur fisika, kimia, metalurgi, elektronika dan rekayasa. Dimana korosi adalah gejala yang timbul secara alami, pengaruhnya hampir dialami semua zat dan diatur oleh perubahan-perubahan energi. Pengkajian tentang perubahan energi disebut termodinamika, suatu definisi besaran-besaran variabel dan persamaan-persamaan. Hukum : energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnakan, kaidah : semua perubahan spontan terjadi disertai pelepasan energi bebas dari sistem kelilingungan sekitar pada tempratur dan tekanan konstan. Konsep yang menjelaskan laju reaksi-reaksi korosi adalah teori keadaan peralihan (transition State Theory), yaitu $A + B \rightarrow C + D$. Dimana persamaan ini bentuk ringkas pernyataan, Dua Zat A dan B, yang dikenal sebagai reaktan, saling berinteraksi sedemikian rupa untuk membentuk dua zat baru C dan D yang disebut hasil reaksi. Agar terjadi zat baru A dan B harus saling sentuh, juga berpadu secara fisik agar terbentuk suatu zat AB, dan hanya reaktan-reaktan memiliki energi cukup antara keduanya berpadu dengan tepat dan waktu yang singkat. AB disebut keadaan peralihan dan reorganisasi keadaan peralihan yang menghasilkan C + D.



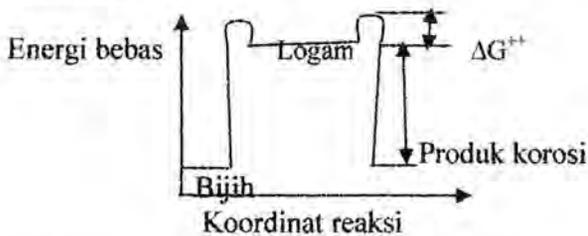
Gambar 3. Profil Untuk Reaksi Yang Mengubah A + B Menjadi C + D Melalui Suatu Keadaan Peralihan (Sumber, Thethey, 1991)

Dalam bentuk sederhana, laju reaksi korosi, yaitu :

$$\text{Laju} = \text{tetapan laju} \times (\text{reaktan-reaktan})$$

Dimana besaran dalam kurung menyatakan ukuran banyaknya Zat. Tetapan laju dinyatakan dalam : Tetapan Laju = $C \exp(-\Delta G^{++}/RT)$, dimana C dan R = tetapan-tetapan, T = temperatur bertambah, ΔG^{++} = Energi bebas aktivasi atau ukuran penghalang dinaikan maka tetapan laju berkurang. disebut persamaan Arrbenius. Ada tiga cara pengabungan atom, yaitu melalui penggunaan elektron-elektron secara bersama untuk membentuk ikatan kovalen, melalui pertukaran elektron-elektron untuk membentuk ikatan ionik, melalui penggunaan elektron-elektron secara bersama untuk membentuk ikatan logam. Natrium klorida apabila dilarutkan dalam air menghasilkan medium korosi yang sangat agresif sama dengan air laut. Apabila suatu bahan ionik dilarutkan kedalam air maka ion-ionnya memisahkan diri dan menyebar secara acak diantara molekul-molekul air. Persamaan yang dapat menjelaskan proses korosi dimana tidak ada elektron bebas yang dibangkitkan, yaitu : $\text{Na} + \text{Cl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ dari reaksi $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + e^-$ dan $\text{Cl} + e^- \rightarrow \text{Cl}^-$.

Arus konvesional adalah arus dalam konsep teknik listrik, yaitu aliran muatan positif dalam suatu rangkaian. Aliran Arus adalah gerakan muatan-muatan positif dalam suat rangkaian. Natrium Nitrit dan natrium kromat dalam larutan disebut Inhibitor.



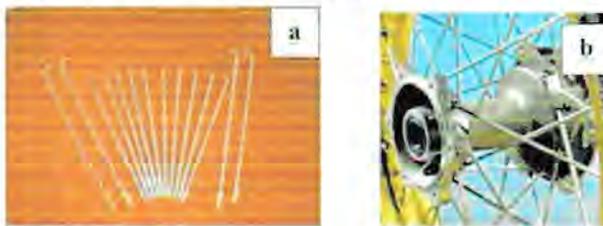
Gambar 4. Profil Energi Termodinamik Untuk Logam Dan Senyawa-Senyawanya (Sumber, Thethey, 1991)

Laju korosi (V) dinyatakan sebagai : $V = K_{kor}$ (Reaktan) dengan $K_{kor} = A \exp(-\Delta G^{++}/RT)$, dimana ΔG^{++} = energi bebas aktivasi/perintang energi, K_{kor} = tetapan laju/ suatu reaksi korosi, R =tetapan gas universal, T = tempratur mutlak.

2.5 Contoh Kasus Pengendalian Korosi

2.5.1 Jeruji Sepeda Motor Akibat Tergoresnya Lapisan Seng Dilingkungan Klorida.

Semua proses alur produksi komponen kendaraan bermotor seperti proses pemilihan bahan baku, manufaktur, *finishing*, *packaging* dan *shipping* tidak luput terjadinya suatu kegagalan korosi. Ketahanan material terhadap korosi tergantung dari berbagai faktor antara lain elektrokimia, metalurgi, sifat kimia fisika dan termodinamika [1]. Salah satu komponen terpenting dari sebuah kendaraan bermotor roda dua yaitu jeruji (spoke). Jeruji berfungsi sebagai penghubung antara komponen *velg* dan *brake drum*. Komponen jeruji dibuat melalui proses manufaktur rod. Logam dasarnya berupa baja karbon rendah. Logam tersebut dilapisi oleh logam seng. Dalam penggunaan kendaraan otomotif tidak luput dari pengaruh lingkungan sekitar. Lapisan *coating* di permukaan logam bertujuan untuk memisahkan lingkungan sekitar dari logam, maupun untuk mengendalikan lingkungan mikro pada permukaan logam [2].



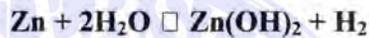
Gambar 5. (a) Jeruji (Spoke), (b) Perangkat Roda dua (Sumber, Qinyun Qinjing)

Fungsi lapis lindung logam adalah memberikan lapisan yang mengubah sifat dari logam tersebut. Logam komersial yang banyak digunakan di industri, struktur atau alat-alat yang digunakan di luar ruangan umumnya baja lapis lindung seng (galvanized steel). Baja tersebut mempunyai sifat permesinan baik, sifat baik saat pembentukan dingin Pembuatan lapisan seng menggunakan metode pencelupan panas (hot dipping). Proses tersebut dilakukan dengan mencelupkan benda yang akan dilindungi ke dalam cairan panas logam pelindung. Cara ini dinamakan galvanizing karena bahan pelindung utama seng. Seng bersifat anodik ($E^0 = +0,76V$ SHE) dibandingkan logam dasarnya besi ($E^0 = +0,44$ V SHE) sehingga lapisan seng tersebut sebagai pelindung logam dasar dari lingkungan korosif. Lapisan seng secara elektrokimia melindungi logam dasar baja. Saat seng dipasangkan ke logam dasar baja, baja akan terpolarisasi potensial sehingga menjadi sifat katodik sedangkan seng bersifat anodik. Proses tersebut terjadi saat kerusakan lapisan seng akibat proses mekanik, *handling* atau kimia.



Gambar 6. Mikro Struktur Galvanize Steel Bersih, Perbesaran 185 X (Sumber, [www. Proquest.Com](http://www.Proquest.Com))

Goresan –goresan (*anak panah putih*) ini diprediksi sebagai inisiasi area yang akan membentuk sel korosi dengan komponen antara lain : Anoda (logam seng), Katoda (logam dasar baja), Elektrolit (udara/uap basah air laut). Pada Gambar 8 terlihat produk karat hasil reaksi elektrokimia. Di bawah produk karat semua lapisan seng telah hilang dan hanya logam dasar Fe saja. Reaksi penipisan lapisan seng terjadi di dalam lingkungan elektrolit terlihat pada reaksi kimia di bawah ini.



Gambar 7. Mikro Struktur Galvanize Steel Berkarat, Perbesaran 185 X
(Sumber, Www. Proquest.Com)

Pengujian EPMA (ElectroProbe Microanalyzer) memperlihatkan mapping area adanya daerah mengandung klorida secara kualitatif. Indikasi dini bahwa ion klorida memberikan efek merusak terhadap lapisan seng jika lapisan tersebut tergores saat handling, pengerjaan atau shipping.

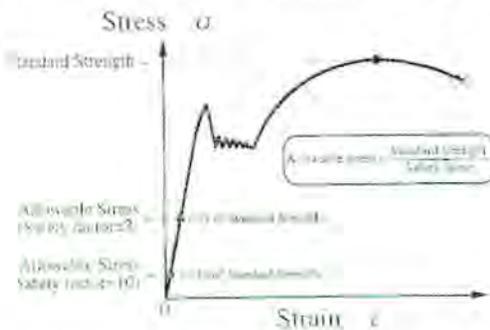
2.5.2 Nilai Safety Dikomponen Sangat Penting

Pertimbangan dalam suatu desain melihat jenis – jenis kondisi internal dan lingkungan yang akan bekerja saat operasional. Material tidak boleh patah atau defleksi saat kondisi operasional. Para desainer harus bisa menentukan batasan-

batasan tegangan yang bekerja di tiap komponen sehingga terjaga kualitas dan fungsi produk atau struktur. Batasan-batasan tegangan dinamakan kekuatan standar dan nilainya sering ditentukan secara statistik atau pengalaman, tapi secara normal kekuatan maksimum seperti kekuatan tarik maksimum dan kekuatan kompresif. Nilai ambang batas tersebut dinamakan tegangan yang diperbolehkan (allowable stress). Allowable stress merupakan kekuatan standar dibagi faktor keamanan.

$$\text{Allowable stress} = \frac{\text{Standard Strength}}{\text{Safety factor}}$$

Nilai faktor keamanan umumnya bernilai lebih dari satu, dan ditentukan dari penggunaan komponen, kondisi penggunaan dan kondisi lingkungan sekitar. Jika nilai faktor keamanan lebih besar maka nilai allowable stress lebih kecil dibandingkan standard strength (ultimate tensile stress) sehingga para desainer harus merencanakan suatu cara perhitungan seperti penambahan ketebalan komponen untuk menjaga kekuatan struktur. Pada Gambar 1 menunjukkan tingkatan allowable stress dengan berbagai nilai faktor keamanan. Semakin tinggi tingkat keamanan (safety factor), nilai tegangan yang diperbolehkan untuk komponen semakin rendah dari nilai standard strength.



Gambar 8. Batas kekuatan logam (Sumber, www. Proquest.Com & Diktat 2008)

Tabel 9. Menunjukkan Unwin's safety factor dimana standard strength diadopsi melalui nilai ultimate strength (ultimate tensile strength, compressive strength, dan sebagainya)

Material	Kondisi beban statis	Kondisi beban berulang-ulang	Kondisi beban impak
Produk baja	3	5~8	12
Besi tuang	4	6~10	15
Tembaga,aluminium,dsb	5	6~9	15
Kayu	7	10~15	20
Batu	20	30	-

Sumber, www.Corrosion.Com

Pada kondisi beban statis, nilai safety factor tidak terlalu besar karena beban yang dikenakan pada komponen saat operasional dimungkinkan konstan dengan toleransi wajar. Pada kondisi beban berulang-ulang. Nilai safety factor dinaikkan karena beban berulang-ulang dapat membuat komponen cepat mengalami lelah (fatigue) dan patah di bawah yield stress Pada kondisi beban impak, nilai safety factor dinaikkan secara signifikan, ini dikarenakan beban yang dikenai oleh komponen secara tiba-tiba dengan energi besar. komponen akan rusak/patah dibawah tegangan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pemilihan Judul

Disini penulis mengambil judul system proteksi korosi pada lambung kapal dengan latar belakang ketertarikan penulis tentang pemanfaatan logam dan karakteristik logam yang unik membuat penulis tertarik saat kuliah tentang pemilihan bahan, metalurgi, dan korosi, penulis tertarik dengan system lingkungan pada air laut, karena itulah penulis memilih lambung kapal sebagai objek penulisan tugas akhir ini.

Penulis memilih kapal perang TNI-AL dan kapal niaga atau kapal barang sebagai perbandingan penulis dalam penerapan yang sesungguhnya dilapangan tentang perawatan pada kapal terutama pada lambung kapal dengan penerapan penulis pada buku-buku literature penulis dan yang sudah penulis pelajari di bangku kuliah.

3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian

Adapun penelitian ini dilaksanakan sebagai bentuk langkah konkrit yang harus dilakukan oleh seorang mahasiswa untuk menyelesaikan pendidikannya yang dimulai dari tingkat perguruan tinggi Program Strata 1 (S1). Untuk menguatkan atau penyempurnaan penulisan yang bisa di pertanggung jawabkan secara ilmiah. Adapun penelitian atau observasi bertempat pada Pangkalan Utama TNI-AL LANTAMAL 1 BELAWAN yang beralamat pada Jl. Serma Hanafia No.1 Belawan.

Untuk itu penulis juga melakukan observasi di berbagai dermaga yang berada dibelawan atas saran dari komandan TNI-AL, diantaranya pelabuhan belawan PT. Pelni dan kapal Tongkang milik PT. Pelataran Mega Sukses/Keasin I. Dan kapal-kapal kecil milik TNI-AL tentang struktur kapal.

3.3 Langkah-Langkah Penelitian

Untuk mengumpulkan data-data yang diperoleh dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian atau langkah-langkahnya sebagai berikut :

- a. **Study Pustaka**, yaitu : Dalam penulisan skripsi ini penulis melakukan dengan metode penelitian mengumpulkan dan menganalisa buku-buku dari perpustakaan yang berhubungan dengan masalah atau objek yang diteliti, diantaranya perpustakaan UMA, Daerah, ITM, USU, dan lain-lainnya. begitupun dengan media internet dan berbagai media lainnya.
- b. **Observasi**, yaitu : Setelah mengumpulkan buku-buku dari pustaka, penulis juga harus menggunakan metode Observasi lapangan, dimana penelitian langsung mengumpulkan data dengan mengamati pada lokasi tempat yang dituju peneliti yaitu TNI-AL Lantamal I Belawan dengan Satuan Fasharkan sebagai Instansi Pembuatan dan perawatan kapal Milik TNI-AL, dan kapal Tongkang dan pemandunya milik PT. Pelataran Mega Sukses/Keasin I.
- c. **Interview**, yaitu : selain metode pustaka dan Observasi penulis juga melakukan metode Tanya jawab langsung pada objek atau staf pegawai pihak perusahaan untuk mendapatkan data yang lebih spesifik dan kongkrit.

3.4 Variabel Yang Diamati

Sedangkan Variabel yang diteliti pada penelitian ini adalah Kapal Perang TNI-AL KRI SIADA 862, Kapal Patroli keamanan laut P. Rubiah dan lainnya, begitupun dengan Kapal Tongkang dan Pemandunya milik PT. Pelataran Mega Sukses/Keasin I.

3.5 Mengidentifikasi Masalah

Masalah yang diidentifikasi berupa cara perawatan kapal baik secara berkala maupun keseluruhan, kendala yang dihadapi kapal saat perjalanan dan pergantian Anoda korban, pencegahan korosi yang dilakukan oleh pemilik kapal ataupun perusahaan.

3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data, yaitu data yang dikumpulkan melalui peninjauan langsung terhadap objek penelitian, dan tinjauan pustaka.

3.7 Penyajian Data

Penyajian data-data yang diperoleh disajikan dalam bentuk teks, dan gambar.

3.8 Analisa Data

Analisa dilakukan secara kuantitatif, yaitu dengan menggunakan rumus-rumus atau persamaan yang berlaku dan sesuai dengan pembahasan.

3.9 Kesimpulan

Disini penulis mencoba menyimpulkan bahwa dari pengambilan data dan pengumpulan data baik secara Observasi maupun tinjauan pustaka bahwasannya Logam dapat diperpanjang dan biaya perawatan dapat menjadi efisien apabila dilakukan pemilihan bahan maupun perawatan secara berkala atau rutin sesuai dengan fungsi dan lingkungan logam itu berada.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Korosi (Karat) dapat di definisikan sebagai kerusakan atau penurunan kualitas material yang disebabkan oleh reaksi lingkungan atau kebalikan dari proses metalurgi Ekstraktif. Dengan kata lain korosi juga dapat didefinisikan suatu peristiwa rusaknya bahan material terutama logam, disebabkan oleh berinteraksi dengan lingkungan dimana bahan tersebut berada. Masalah korosi adalah merupakan masalah yang sering terjadi didalam dunia Industri. Korosi dapat timbul dimana-mana, antara lain : Korosi Udara, Pantai, di dalam air dan semua tahap temperatur. Korosi pada dasarnya merupakan proses elektrokimia, dimana atom-atom bercampur dengan Zat asam dan membentuk Ion-ion positif (Kation).

Pencegahan korosi pada korosi lingkungan dilakukan dengan berbagai cara yaitu dengan pemilihan logam tahan korosi dan lapis lindung. Pemasangan-pemasangan anoda tumbal pada struktur baik dilingkungan laut atau yang terkubur dalam tanah telah dipraktekan selama puluhan tahun yang akan terus menjadi metode korosi yang sangat penting. Karena sistem ini relatif murah, mudah dipasng dapat ditmpatkan di tempat-tempat tanpa catu daya dan tidak diperlukannya peralatan listrik yang mahal serta tidak adanya kemungkinan salah arah dalam pengaliran arus sebagaimana yang dialami oleh kapal HMS Blackwood. Kombinasi proteksi katodik dan pelapisan merupakan cara yang paling ekonomis untuk melindungi struktur baja. Perlindungan pada kapal selain

UNIVERSITAS MEDAN AREA juga digunakan proteksi arus terpasang.

5.2 Saran

1. Untuk perawatan pada kapal khususnya pada lambung kapal lebih efisien dan ekonomis menggunakan sistem proteksi katodik.
2. Harus dilakukan pengecekan atau perbaikan minimal 1 tahun.
3. Pengecatan sebaiknya dilakukan saat udara tidak lembab dan basah
4. Perbaikan kebocoran sebaiknya dilakukan pada tenaga ahli dan teknik pengelasan harus diperhatikan.
5. Hindari kecepatan maksimal pada laju kapal saat kondisi arus sedang tinggi.
6. Perhatikan ketebalan plat dan umur dari kapal dengan perawatan yang lebih efektif.



DAFTAR PUSTAKA

1. Kenneth, r. thethey, bsc, chem., MRSC. Micorr, ST. Korosi untuk mahasiswa saint dan rekayasa. PT Gramedia Pustaka Jakarta (1991).
2. Sri widharto. Karat dan pencegahannya. PT. Pradnya Paramitha Jakarta (2004).
3. Lawrence H. Van Vlack, Sriati Djaprie, Ir. M.E., M.Met. Ilmu dan Teknologi bahan. Erlangga Jakarta (1994).
4. Pusat pengembangan tenaga perminyakan dan gas. Corrosion. PT. Arun
5. Modul Arsip TNI-AL LANTAMAL I Belawan
6. Modul PT. Pelataran Mega Sukses
7. Amru Siregar, Ir. MT. Perpatahan dan kelelahan Diktat Kuliah Fakultas teknik jurusan mesin (2008)
8. Mukyar, ST. Rangkuman Kuliah korosi (2007)
9. Website www.corrosion.com
10. Website www.proqust.com
11. Diktat kuliah Teknik Mesin USU
12. Gristina, A.G. 1987. Biomaterial-Centered Infection:Microbial Adhesion Versus Tissue Integration. *Science*. 237-1588-1590.
13. Sunardi, 116 Unsur Kimia, Yrama Widya, 2006.
14. Website. www.kimia.com
15. Website. www.Metalurgi.com
16. Website. www.Material.com
17. Website. www.Karat.com
18. Website. www.Bahan.com