

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Pengertian Korosi

Korosi merupakan kerusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekelilingnya. Adapun proses korosi yang terjadi disamping oleh reaksi kimia, juga diakibatkan oleh proses elektrokimia yang melibatkan perpindahan elektron-elektron, entah dari reduksi ion logam maupun pengendapan logam dari lingkungan sekeliling. ⁽¹⁸⁾

Terkorosinya suatu logam dalam lingkungan elektrolit (air) adalah proses elektrokimia. Proses ini terjadi bila ada reaksi setengah sel yang melepaskan elektron dan reaksi setengah yang menerima elektron tersebut. Kedua reaksi ini akan terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan dinamis dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan jumlah elektron yang diterima. ⁽¹⁾

Korosi bisa disebut sebagai kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi dengan lingkungan yang korosif. Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Ada definisi lain yang mengatakan bahwa korosi adalah kebalikan dari proses ekstraksi logam dari bijih mineralnya. Contohnya, bijih mineral logam besi di alam bebas ada dalam bentuk senyawa besi oksida atau besi sulfida, setelah diekstraksi dan diolah, akan dihasilkan besi yang digunakan untuk pembuatan baja atau baja paduan. Selama pemakaian, baja tersebut akan bereaksi dengan lingkungan yang menyebabkan korosi (kembali menjadi senyawa besi oksida).

Deret Volta dan hukum Nernst akan membantu untuk dapat mengetahui kemungkinan terjadinya korosi. Kecepatan korosi sangat tergantung pada banyak faktor, seperti ada atau tidaknya lapisan oksida, karena lapisan oksida dapat menghalangi beda potensial terhadap elektroda lainnya yang akan sangat berbeda bila masih bersih dari oksida.

2.2 Penyebab Korosi

Peristiwa korosi berdasarkan proses elektrokimia yaitu proses (perubahan / reaksi kimia) yang melibatkan adanya aliran listrik. Bagian tertentu dari besi berlaku sebagai kutub negatif (elektroda negatif, anoda), sementara bagian yang lain sebagai kutub positif (elektroda positif, katoda). Elektron mengalir dari anoda ke katoda, sehingga terjadilah peristiwa korosi. Korosi dapat terjadi di dalam medium kering dan juga medium basah. Sebagai contoh korosi yang berlangsung di dalam medium kering adalah penyerangan logam besi oleh gas oksigen (O₂) atau oleh gas belerang dioksida (SO₂).

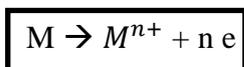
Di dalam medium basah, korosi dapat terjadi secara seragam maupun secara terlokalisasi. Contoh korosi seragam di dalam medium basah adalah apabila besi terendam di dalam larutan asam klorida (HCl). Korosi di dalam medium basah yang terjadi secara terlokalisasi ada yang memberikan rupa makroskopis, misalnya peristiwa korosi galvanik sistem besi-seng, korosi erosi, korosi retakan, korosi lubang, korosi pengelupasan, serta korosi pelumeran, sedangkan rupa yang mikroskopis dihasilkan misalnya oleh korosi tegangan, korosi patahan, dan korosi antar butir.

Walaupun demikian sebagian korosi logam khususnya besi, terkorosi di alam melalui cara elektrokimia yang banyak menyangkut fenomena antar muka. Hal inilah yang banyak dijadikan dasar utama pembahasan mengenai peran pengendalian korosi.

2.3. Mekanisme Korosi Logam

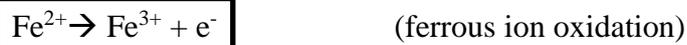
Reaksi anodik dalam setiap reaksi korosi merupakan reaksi oksidasi suatu logam menjadi ionnya yang ditandai dengan kenaikan valensi atau pelepasan elektron.

Secara umum reaksi anodik dapat dituliskan sebagai berikut :



n = jumlah elektron yang dihasilkan dan nilainya sama dengan valensi ion logam yang terkorosi.

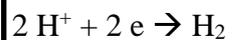
Contoh reaksi anodik :



Reaksi katodik dalam setiap reaksi korosi merupakan reaksi reduksi yang ditandai dengan penurunan valensi atau penyerapan elektron. Ada beberapa reaksi katodik yang berbeda yang sering dijumpai dalam korosi logam, yaitu :

Lingkungan asam ($\text{pH} < 7$) :

a) Tanpa oksigen



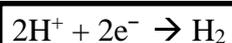
b) Dengan oksigen



c) Reduksi oksigen (larutan netral / basa, $\text{pH} \geq 7$)



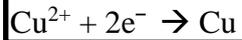
d) Evolusi Hidrogen



e) Reduksi ion logam



f) Deposisi (pengendapan) logam



2.4. Polarisasi Korosi

Ketika suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan larutan yang mengandung ion-ionnya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antara keduanya biasanya disebut polarisasi. Polarisasi atau penyimpangan dari potensial keseimbangan sama dengan polarisasi anoda pada logam dan polarisasi katoda pada lingkungannya.

Polarisasi merupakan perubahan potensial dari keadaan stabil, misalnya dari potensial elektroda rangkaian terbuka sebagai hasil dari aliran arus. Hal ini juga mengacu pada perubahan potensial elektroda selama elektrolisis, sehingga potensial dari sebuah anoda menjadi lebih mulia, dan bahwa katoda lebih aktif, dibandingkan potensial masing-masing reversibel. Sering dilakukan dengan pembentukan lapisan pada permukaan elektroda.

Polarisasi adalah salah satu bentuk reaksi korosi yang merupakan penyebab timbulnya karat pada kerusakan logam. Secara definitif polarisasi itu adalah proses pengutuban ion hidrogen, secara kimia listrik sehingga terbentuk gas hidrogen dengan bantuan pengikatan elektron yang dihasilkan dari proses degradasi logam.

Polarisasi kadang-kadang juga disebut sebagai "*overvoltage*" atau "*overpotential*". Dalam beberapa buku elektrokimia, ada perbedaan antara tegangan berlebih dan potensial berlebih. Yang pertama mengacu pada perbedaan antara potensial elektroda yang sebenarnya di mana elektrolisis dimulai dan potensial elektroda reversibel (potensial redoks standar), yang terakhir mengacu pada potensi penyimpangan dari keseimbangan potensial dalam suatu sistem.

Dalam konteks korosi, polarisasi mengacu pada pergeseran potensial dari potensial rangkaian terbuka (potensial korosi bebas) dari sistem korosi. Jika pergeseran potensial dalam

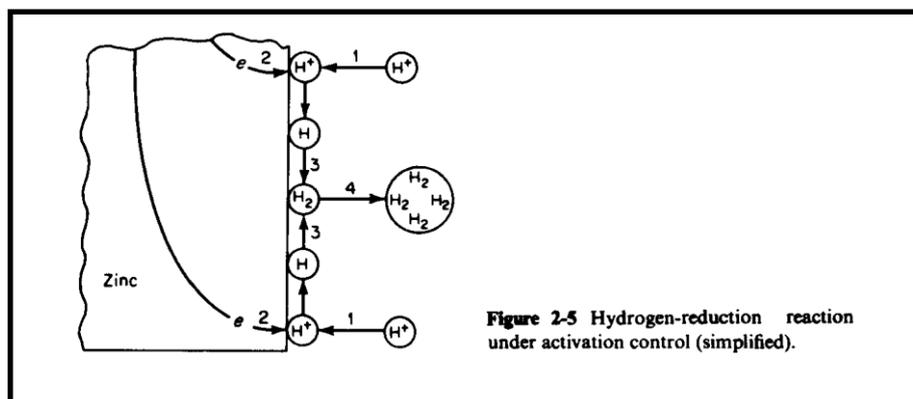
arah "positif" (atas E_{corr}), hal itu disebut "polarisasi anodik". Jika pergeseran potensial dalam arah "negatif" (bawah E_{corr}), hal itu disebut "polarisasi katodik".

Untuk semua logam dan paduan dalam lingkungan basah, polarisasi katodik selalu mengurangi laju korosi. Proteksi katodik pada dasarnya penerapan polarisasi katodik ke sistem korosi. Untuk sistem non-pasif (misalnya baja dalam air laut), polarisasi anodik selalu meningkatkan laju korosi. Untuk sistem yang menunjukkan transisi aktif ke pasif, polarisasi anodik akan meningkatkan laju korosi pada awalnya dan kemudian menyebabkan penurunan drastis laju korosi. Perlindungan anodik dasarnya penerapan polarisasi anodik ke sistem korosi.

Polarisasi ada 2 macam yakni polarisasi aktivasi dan konsentrasi polarisasi. Aktivasi polarisasi dapat berlangsung dengan kontrol urutan reaksi pembentukan hidrogen yang pada logam dengan larutan yang bersentuhan. Sedangkan konsentrasi polarisasi terjadi akibat adanya konsentrasi hidroksil yang pekat sehingga pengontrolnya adalah konsentrasi dari ion.

- **Polarisasi aktivasi**

Proses elektrokimia yang dikontrol oleh reaksi berurutan pada permukaan metal-electrolyte.



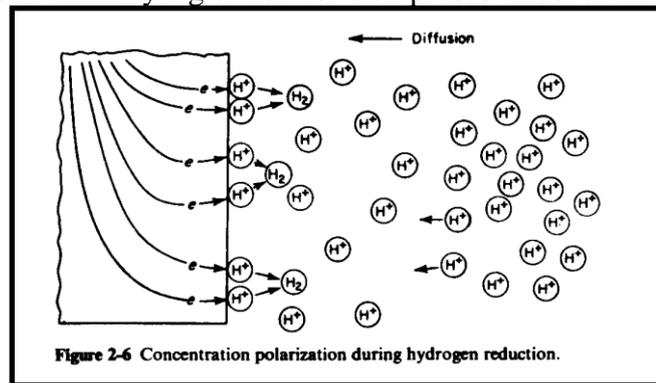
Gambar 2.1. Reduksi Hydrogen

Polarisasi aktivasi mengacu pada proses elektrokimia yang dikendalikan oleh urutan reaksi pada antarmuka logam - elektrolit. ini mudah diilustrasikan dengan mempertimbangkan reaksi hidrogen - evolusi pada seng selama korosi dalam larutan asam. Gambar 2.1 menunjukkan secara skematik beberapa langkah yang mungkin dalam pengurangan hidrogen pada permukaan

seng. Langkah ini juga dapat diterapkan pada pengurangan af spesies apapun pada permukaan logam spesies pertama harus diserap atau menempel ke permukaan sebelum reaksi dapat berjalan sesuai dengan langkah 1. mengikuti, transfer elektron (langkah 2) harus terjadi, menghasilkan penurunan spesies. seperti yang ditunjukkan pada langkah 3, dua atom hidrogen menggabungkan untuk dari gelembung gas hidrogen (langkah 4). kecepatan pengurangan ion hidrogen akan dikendalikan oleh paling lambat langkah-langkah ini. ini adalah gambaran yang sangat sederhana dari pengurangan hidrogen, banyak mekanisme telah diusulkan, yang sebagian besar adalah jauh lebih kompleks daripada yang ditunjukkan dalam Gambar.

Polarisasi konsentrasi

Proses elektrokimia yang di kontrol oleh proses difusi elektrolit.



Gambar2.2. Konsentrasi polarisasi dalam reduksi hydrogen

Polarisasi konsentrasi mengacu pada reaksi elektrokimia yang dikendalikan oleh difusi dalam elektrolit. ini diilustrasikan dalam gambar 2-6 untuk kasus evolusi hidrogen. di sini, jumlah ion hidrogen dalam larutan cukup kecil, dan tingkat reduksi dikendalikan oleh difusi ion hidrogen pada permukaan logam. dicatat bahwa dalam hal ini pengurangan tingkat dikendalikan oleh proses yang terjadi dalam solusi massal daripada di permukaan logam. polarisasi aktivasi biasanya adalah faktor pengendalian selama korosi dalam media yang mengandung konsentrasi tinggi spesies yang aktif (misalnya, asam pekat). polarisasi konsentrasi umumnya mendominasi ketika konsentrasi spesies direduksi kecil (misalnya, asam encer, larutan garam soda). dalam

kebanyakan kasus polarisasi konsentrasi selama pembubaran logam biasanya kecil dan dapat diabaikan, melainkan hanya penting selama reaksi reduksi.

Pentingnya membedakan antara polarisasi aktivasi dan polarisasi konsentrasi tidak bisa terlalu ditekankan. tergantung pada apa konfigurasi polarisasi mengendalikan reaksi reduksi, variabel environmental menghasilkan efek yang berbeda. misalnya, setiap perubahan dalam sistem yang meningkatkan laju difusi akan mengurangi efek polarisasi konsentrasi dan karenanya meningkatkan laju reaksi. dengan demikian, meningkatkan kecepatan atau agitasi dari medium korosif akan meningkatkan tingkat hanya jika proses katodik dikendalikan oleh polarisasi konsentrasi. jika kedua reaksi anoda dan katoda dikendalikan oleh polarisasi aktivasi, agitasi tidak akan berpengaruh terhadap laju korosi.

2.5 Jenis – Jenis Korosi Menurut Bentuknya

1. korosi seragam (*Uniform attack*)

Korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis. Biasanya ini terjadi pada pelat baja atau profil, logam homogen.

Korosi jenis ini bisa dicegah dengan cara :

- a. Diberi lapis lindung yang mengandung inhibitor seperti gemuk.
- b. Untuk jangka pemakaian yang lebih lama disarankan diberi logam berpaduan tembaga 0,4%
- c. Dengan melakukan pelapisan dengan cat atau dengan material yang lebih anodic
- d. Melakukan inhibitas dan proteksi katodik (cathodik protection)

Berikut Contohnya:



Gambar 2.3. Korosi Merata Pada Pipa



Gambar 2.4. Korosi Merata Pada Kaleng Minuman

2. korosi sumur (*Pitting corrosion*)

Korosi sumuran adalah korosi lokal dari permukaan logam yang dibatasi pada satu titik atau area kecil, dan membentuk bentuk rongga. Korosi sumuran adalah salah paling merusak dari korosi, karena sulit terlihat kerusakannya jika tanpa alat bantu.

Mekanisme Korosi Sumur : Untuk material bebas cacat, korosi sumuran disebabkan oleh lingkungan kimia yang mungkin berisi spesies unsur kimia agresif seperti klorida. Klorida sangat merusak lapisan pasif (oksida) sehingga pitting dapat terjadi pada dudukan oksida. Lingkungan juga dapat mengatur perbedaan sel aerasi (tetesan air pada permukaan baja, misalnya) dan pitting dapat dimulai di lokasi anodik (pusat tetesan air).

Cara pengendalian korosi sumuran adalah sebagai berikut:

- a. Hindari permukaan logam dari goresan.
- b. Perhalus permukaan logam
- c. Menghindari komposisi material dari berbagai jenis logam.

- d. Pilih bahan yang homogen
- e. Diberikan inhibitor
- f. Diberikan coating dari zat agresif

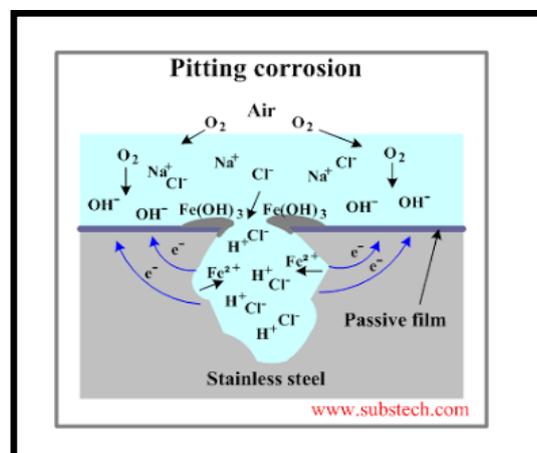
Berikut Contohnya:



Gambar 2.5. Korosi Sumuran



Gambar 2.6. Korosi Sumuran Pada Westafle



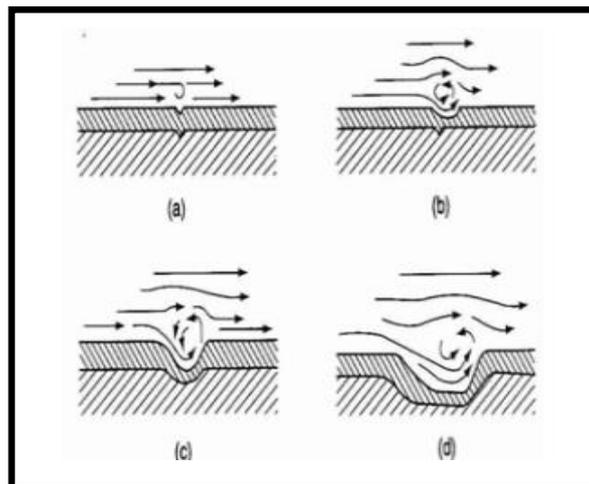
Gambar 2.7. Mekanisme *Pitting Corrosion*

3. korosi erosi (*Errosion Corrosion*)

Korosi yang terjadi karena keausan dan menimbulkan bagian – bagian yang tajam dan kasar, bagian – bagian inilah yang mudah terjadi korosi dan juga diakibatkan karena fluida yang sangat deras dan dapat mengikis film pelindung pada logam. Korosi ini biasanya terjadi pada pipa dan propeller. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara :

- a. Pilih bahan yang homogen
- b. Diberi coating dari zat agresif
- c. Diberikan inhibitor
- d. Hindari aliran fluida yang terlalu deras
- e. Menghindari partikel abrasive pada fluida.

Berikut Contohnya:



Gambar 2.8. Mekanisme korosi erosi



Gambar 2.9. Sebuah blade akibat korosi erosi



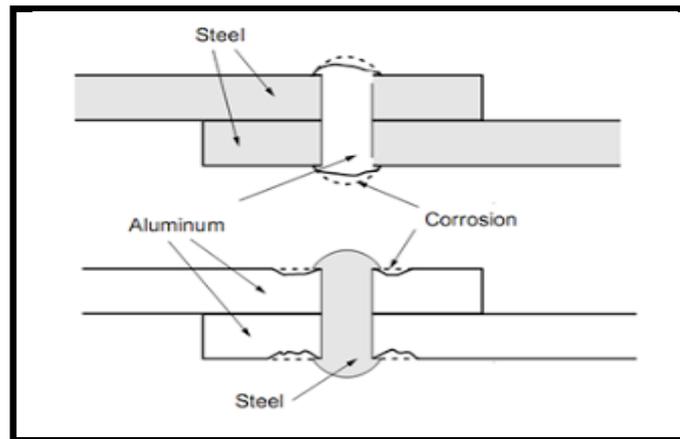
Gambar 2.10. Mekanisme korosi erosi pada pipa

4. korosi galvanis (*Galvanis corrosion*)

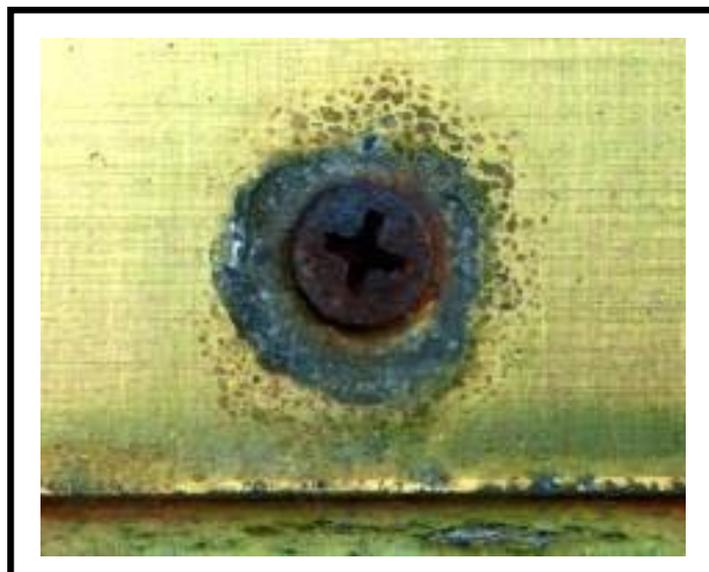
Galvanic atau *bimetallic corrosion* adalah jenis korosi yang terjadi ketika dua macam logam yang berbeda berkontak secara langsung dalam media korosif.

Mekanisme korosi galvanik: korosi ini terjadi karena proses elektro kimiawi dua macam metal yang berbeda potensial dihubungkan langsung di dalam elektrolit sama. Dimana elektron mengalir dari metal kurang mulia (Anodik) menuju metal yang lebih mulia (Katodik), akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion – ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa tersebut, permukaan anoda kehilangan metal sehingga terbentuklah sumur - sumur karat (*Surface Attack*) atau serangan karat permukaan.

Berikut Contohnya:



Gambar 2.11. Mekanisme Korosi Galvanis



Gambar 2.12. Korosi Galvanic pada Sambungan Baut



Gambar 2.13. Korosi Galvanic pada sambungan pipa

Metode-metode yang dilakukan dalam pengendalian korosi ini adalah:

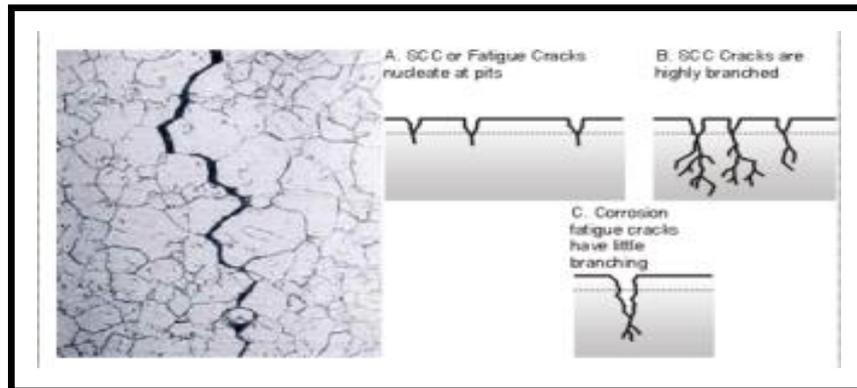
- Menekan terjadinya reaksi kimia atau elektrokimianya seperti reaksi anoda dan katoda
- Mengisolasi logam yang cukup tebal dari lingkungannya sehingga tidak terjadi aliran elektrolit
- Mengurangi ion hydrogen di dalam lingkungan yang di kenal dengan mineralisasi
- Mengurangi oksigen yang larut dalam air
- Mencegah kontak dari dua material yang tidak sejenis
- Memilih logam-logam yang memiliki unsur-unsur yang berdekatan
- Mencegah celah atau menutup celah
- Mengadakan proteksi katodik dengan menempelkan anoda umpan.
- Pasang proteksi katodik
- Penambahan anti korosi inhibitor pada cairan

5. korosi tegangan (*Stress corrosion*)

Korosi retak tegangan (*Stress Corrosion Cracking*) adalah proses retak yang memerlukan aksi secara bersamaan dari bahan perusak (karat) dan berkelanjutan dengan tegangan tarik. Ini tidak termasuk pengurangan bagian yang terkorosi akibat gagal oleh patahan cepat. Hal ini juga termasuk *intercrystalline* atau transkristalin korosi, yang dapat menghancurkan paduan tanpa tegangan yang diberikan atau tegangan sisa. Retak korosi tegangan dapat terjadi dalam kombinasi dengan penggetasan hidrogen.

Mekanisme korosi tegangan: terjadi akibat adanya hubungan dari 3 faktor komponen, yaitu (1) Bahan rentan terhadap korosi, (2) adanya larutan elektrolit (lingkungan) dan (3) adanya tegangan. Sebagai contoh, tembaga dan paduan rentan terhadap senyawa amonia, baja ringan rentan terhadap larutan alkali dan baja tahan karat rentan terhadap klorida.

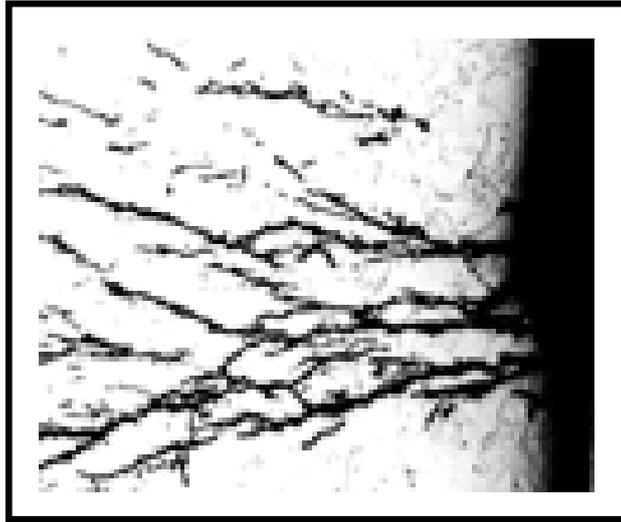
Berikut Contohnya:



Gambar 2.14. Mekanisme Korosi SCC



Gambar 2.15. Korosi SCC Pada Sebuah Logam



Gambar 2.16. Korosi SCC

Cara pengendalian korosi tegangan adalah:

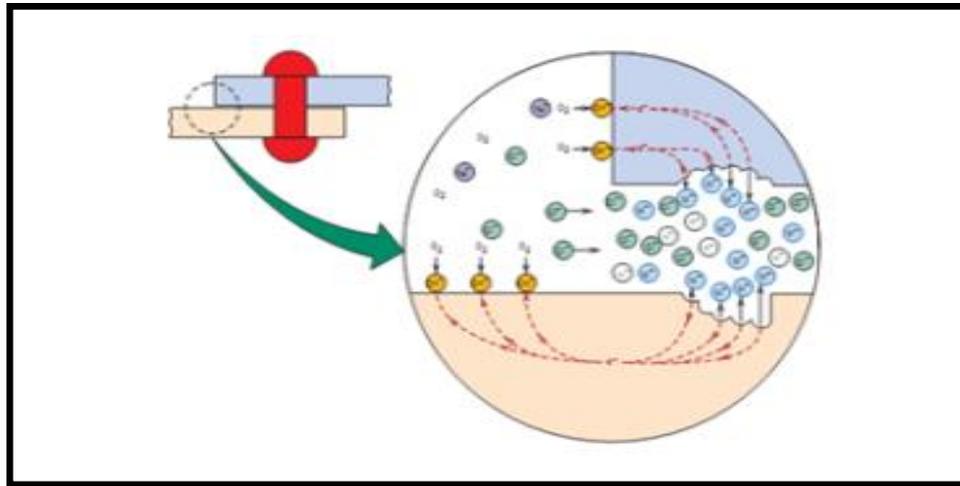
- a. Turunkan besarnya tegangan
- b. Turunkan tegangan sisa termal
- c. Kurangi beban luar atau perbesar area potongan
- d. Penggunaan inhibitor.

6. korosi celah (*Crevice corrosion*)

Korosi celah (*Crevice Corrosion*) ialah sel korosi yang diakibatkan oleh perbedaan konsentrasi zat asam. Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi O_2 pada mulut kaya dibanding pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodic dan bagian mulut jadi katodik

Mekanisme *Crevice Corrosion*: dimulai oleh perbedaan konsentrasi beberapa kandungan kimia, biasanya oksigen, yang membentuk konsentrasi sel elektrokimia (perbedaan sel aerasi dalam kasus oksigen). Di luar dari celah (katoda), kandungan oksigen dan pH lebih tinggi - tetapi klorida lebih rendah.

Berikut Contohnya:



Gambar 2.17. Mekanisme Korosi Celah



Gambar 2.18. Korosi Celah Pada Sambungan Pipa

Cara pengendalian korosi celah adalah sebagai berikut:

- Hindari pemakaian sambungan paku keeling atau baut, gunakan sambungan las.
- Gunakan gasket non absorbing.
- Usahakan menghindari daerah dengan aliran udara.
- Dikeringkan bagian yang basah
- Dibersihkan kotoran yang ada

7. Korosi mikrobiologi

Korosi yang terjadi karena mikroba mikro organisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga dan *protozoa*. Korosi ini bertanggung jawab terhadap degradasi material di lingkungan.

Pengaruh inisiasi atau laju korosi di suatu area, mikro organisme umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis atau biodeposit. Lapisan film tipis atau biofilm. Pembentukan lapisan tipis saat 2 – 4 jam pencelupan sehingga membentuk lapisan ini terlihat hanya bintik-bintik dibandingkan menyeluruh di permukaan. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara :

- a. Memilih logam yang tepat untuk suatu lingkungan dengan kondisi-kondisinya
- b. Memberi lapisan pelindung agar lapisan logam terlindung dari lingkungannya
- c. Memperbaiki lingkungan supaya tidak korosif
- d. Perlindungan secara elektrokimia dengan anoda korban atau arus tandingan.
- e. Memperbaiki konstruksi agar tidak menyimpan air, lumpur dan zat korosif lainnya.

Berikut Contohnya:



Gambar 2.19. Korosi Mikrobiologi

8. korosi lelah (*Fatigue corrosion*)

Korosi ini terjadi karena logam mendapatkan beban siklus yang terus berulang sehingga smakin lama logam akan mengalami patah karena terjadi kelelahan logam. Korosi ini biasanya

terjadi pada turbin uap, pengeboran minyak dan propeller kapal. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara :

- a. Menggunakan inhibitor
- b. Memilih bahan yang tepat atau memilih bahan yang kuat korosi.

Berikut Contohnya:



Gambar 2.20. Korosi Lelah

9. Bakteri Penyebab Korosi

Fenomena korosi yang terjadi dapat disebabkan adanya keberadaan dari bakteri. Jenis-jenis bakteri yang berkembang yaitu :

- **Bakteri reduksi sulfat**

Bakteri ini merupakan bakteri jenis anaerob membutuhkan lingkungan bebas oksigen atau lingkungan reduksi, bakteri ini bersirkulasi di dalam air aerasi termasuk larutan klorin dan oksidiser lainnya, hingga mencapai kondisi ideal untuk mendukung metabolisme. Bakteri ini tumbuh pada oksigen rendah. Bakteri ini tumbuh pada daerah-daerah kanal, pelabuhan, daerah air tenang tergantung pada lingkungannya.

Bakteri ini mereduksi sulfat menjadi sulfid, biasanya terlihat dari meningkatnya kadar H_2S atau Besi sulfida. Tidak adanya sulfat, beberapa turunan dapat berfungsi sebagai fermenter menggunakan campuran organik seperti pyruvate untuk memproduksi asetat, hidrogen dan CO_2 , banyak bakteri jenis ini berisi enzim hidrogenase yang mengkonsumsi hidrogen.

- **Bakteri oksidasi sulfur-sulfida**

Bakteri jenis ini merupakan bakteri aerob yang mendapatkan energi dari oksidasi sulfid atau sulfur. Beberapa tipe bakteri aerob dapat teroksidasi sulfur menjadi asam sulfurik dan nilai pH menjadi 1. Bakteri *Thiobacillus* umumnya ditemukan di deposit mineral dan menyebabkan drainase tambang menjadi asam.

- **Bakteri besi mangan oksida**

Bakteri memperoleh energi dari oksidasi Fe^{2+} ke Fe^{3+} dimana deposit berhubungan dengan bakteri korosi. Bakteri ini hampir selalu ditemukan di Tubercle (gundukan Hemispherical berlainan) di atas lubang pit pada permukaan baja. Umumnya oksidaser besi ditemukan di lingkungan dengan filamen yang panjang.

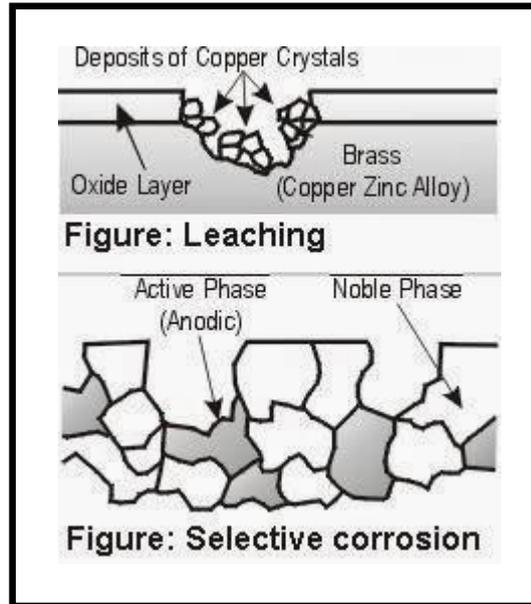
10. Selective Leaching Corrosion

Selective leaching adalah korosi selektif dari satu atau lebih komponen dari paduan larutan padat. Hal ini juga disebut pemisahan, pelarutan selektif atau, Serangan selektif. Contoh dealloying umum adalah dekarburisasi, decobaltification, denickelification, dezincification, dan korosi graphitic.

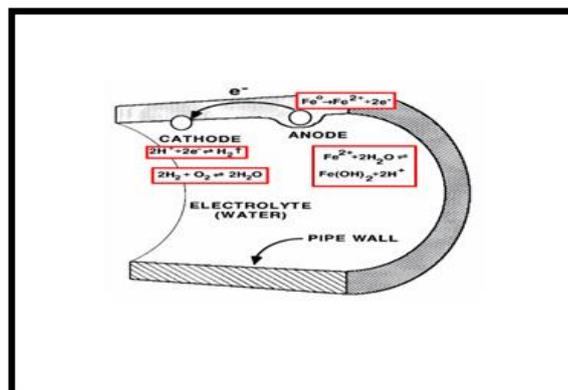
Mekanisme *selective leaching* : logam yang berbeda dan paduan memiliki potensial yang berbeda (atau potensial korosi) pada elektrolit yang sama. Paduan modern mengandung sejumlah unsur paduan berbeda yang menunjukkan potensial korosi yang berbeda. Beda potensial antara elemen paduan menjadi kekuatan pendorong untuk serangan preferensial yang lebih "aktif" pada elemen dalam paduan tersebut.

Dalam kasus *dezincification* dari kuningan, seng istimewa terlarut dari paduan tembaga-seng, meninggalkan lapisan permukaan tembaga yang keropos dan rapuh.

Berikut Contohnya:



Gambar 2.21. Mekanisme Selective Leaching Corrosion



Gambar 2.22. Selective Leaching Corrosion Pada Pipa

Cara pengendalian atau mencegah selective leaching adalah :

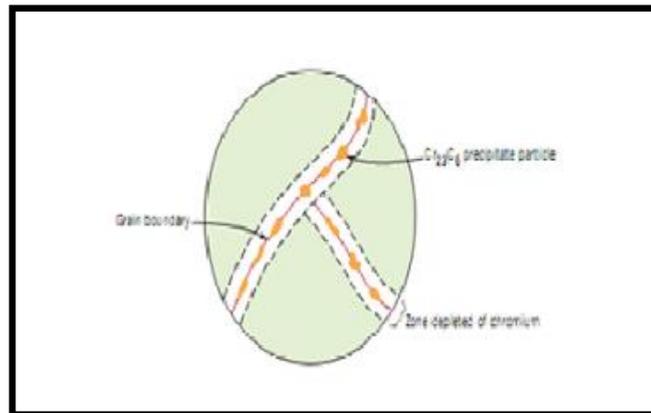
- Menghindari komposisi yang berbeda dari material penyusun

11. Korosi Interdendritik (*Intergranular Corrosion*)

Intergranular corrosion kadang-kadang juga disebut "intercrystalline korosi" atau "korosi interdendritik". Dengan adanya tegangan tarik, retak dapat terjadi sepanjang batas butir dan jenis korosi ini sering disebut "intergranular retak korosi tegangan (IGSCC)" atau hanya "*intergranular stress corrosion cracking*".

Mekanisme *intergranular corrosion* : jenis serangan ini diawali dari beda potensial dalam komposisi, seperti sampel inti “coring” biasa ditemui dalam paduan casting. Pengendapan pada batas butir, terutama kromium karbida dalam baja tahan karat, merupakan mekanisme yang diakui dan diterima dalam korosi intergranular.

Berikut Contohnya:



Gambar 2.23. Mekanisme Korosi Batas Butir



Gambar 2.24. Korosi Batas Butir Pada Pipa

Cara pengendalian korosi batas butir adalah:

- Turunkan kadar karbon dibawah 0,03%.
- Tambahkan paduan yang dapat mengikat karbon.
- Pendinginan cepat dari temperatur tinggi.
- Pelarutan karbida melalui pemanasan.
- Hindari pengelasan.

2.6. Pencegahan Korosi

Peristiwa korosi pada logam merupakan fenomena yang tidak dapat dihindari, namun dapat dihambat maupun dikendalikan untuk mengurangi kerugian dan mencegah dampak negatif yang diakibatkannya. Dengan penanganan ini umur produktif peralatan elektronik dalam rumah tangga atau kegiatan industri menjadi panjang sesuai dengan yang direncanakan, bahkan dapat diperpanjang untuk memperoleh nilai ekonomi yang lebih tinggi. Upaya penanganan korosi diharapkan dapat banyak menghemat biaya operasional, sehingga berpengaruh terhadap efisiensi dalam suatu kegiatan industri serta menghemat anggaran pembelanjaan rumah tangga.

Berikut contoh pengendalian/pencegahan korosi :

1. Mencegah kontak dengan oksigen dan atau air

Korosi besi memerlukan oksigen dan air. Bila salah satu tidak ada, maka peristiwa korosi tidak dapat terjadi. Korosi dapat dicegah dengan melapisi besi dengan cat, oli, logam lain yang tahan korosi (logam yang lebih aktif seperti seng dan krom). Penggunaan logam lain yang kurang aktif (timah dan tembaga) sebagai pelapis pada kaleng bertujuan agar kaleng cepat hancur di tanah. Timah atau tembaga bersifat mempercepat proses korosi.

2. Perlindungan katoda (pengorbanan anoda)

Besi yang dilapisi atau dihubungkan dengan logam lain yang lebih aktif akan membentuk sel elektrokimia dengan besi sebagai katoda. Di sini, besi berfungsi hanya sebagai tempat terjadinya reduksi oksigen. Logam lain berperan sebagai anoda, dan mengalami reaksi oksidasi. Dalam hal ini besi, sebagai katoda, terlindungi oleh logam lain (sebagai anoda, dikorbankan). Besi akan aman terlindungi selama logam pelindungnya masih ada / belum habis. Untuk perlindungan katoda pada sistem jaringan pipa bawah tanah lazim digunakan logam magnesium, Mg. Logam ini secara berkala harus dikontrol dan diganti.

3. Membuat alloy atau paduan logam yang bersifat tahan karat,

Misalnya besi dicampur dengan logam Ni dan Cr menjadi baja stainless (72% Fe, 19%Cr, 9%Ni).

4. Pengecatan.

Jembatan, pagar, dan railing biasanya dicat. Cat menghindarkan kontak dengan udara dan air. Cat yang mengandung timbel dan zink (seng) akan lebih baik, karena keduanya melindungi besi terhadap korosi.

5. Pelumuran dengan oli atau gemuk.

Cara ini diterapkan untuk berbagai perkakas dan mesin. Oli dan gemuk mencegah kontak dengan air.

6. Pembalutan dengan plastik.

Berbagai macam barang, misalnya rak piring dan keranjang sepeda dibalut dengan plastik. Plastik mencegah kontak dengan udara dan air.

7. Tin plating (pelapisan dengan timah).

Kaleng-kaleng kemasan terbuat dari besi yang dilapisi dengan timah. Pelapisan dilakukan secara elektrolisis, yang disebut *tin plating*. Timah tergolong logam yang tahan karat. Akan tetapi, lapisan timah hanya melindungi besi selama lapisan itu utuh (tanpa cacat). Apabila lapisan timah ada yang rusak, misalnya tergores, maka timah justru mendorong atau mempercepat korosi besi. Hal itu terjadi karena potensial reduksi besi lebih negatif daripada timah. Oleh karena itu, besi yang dilapisi dengan timah akan membentuk suatu sel elektrokimia dengan besi sebagai anode. Dengan demikian, timah mendorong korosi besi. Akan tetapi hal ini justru yang diharapkan, sehingga kaleng-kaleng bekas cepat hancur.

8. Galvanisasi (pelapisan dengan Zink).

Pipa besi, tiang telepon dan berbagai barang lain dilapisi dengan zink. Berbeda dengan timah, zink dapat melindungi besi dari korosi sekalipun lapisannya tidak utuh. Hal ini terjadi karena suatu mekanisme yang disebut *perlindungan katode*. Oleh karena potensial reduksi besi lebih positif daripada zink, maka besi yang kontak dengan zink akan membentuk sel elektrokimia dengan besi sebagai katode. Dengan demikian besi terlindungi dan zink yang mengalami oksidasi (berkarat). Badan mobil-mobil baru pada umumnya telah digalvanisasi, sehingga tahan karat.

9. Cromium Plating (pelapisan dengan kromium).

Besi atau baja juga dapat dilapisi dengan kromium untuk memberi lapisan pelindung yang mengkilap, misalnya untuk bumper mobil. *Cromium plating* juga dilakukan dengan elektrolisis. Sama seperti zink, kromium dapat memberi perlindungan sekalipun lapisan kromium itu ada yang rusak.

10. Sacrificial Protection (pengorbanan anode).

Magnesium adalah logam yang jauh lebih aktif (berarti lebih mudah berkarat) daripada besi. Jika logam magnesium dikontakkan dengan besi, maka magnesium itu akan berkarat tetapi besi tidak. Cara ini digunakan untuk melindungi pipa baja yang ditanam dalam tanah atau badan kapal laut. Secara periodik, batang magnesium harus diganti.

11. Inhibitor

inhibitor adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Sedangkan inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju penyerangan korosi lingkungan itu terhadap suatu logam.

2.7. Inhibitor

Suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Secara khusus, inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan tertentu, dapat menurunkan laju penyerangan lingkungan itu terhadap suatu logam. Atau inhibitor dapat berarti senyawa yang jika ditambahkan dalam jumlah kecil pada suatu sistem korosi dapat meminimalkan laju korosi pada konsentrasi tertentu ⁽¹¹⁾⁽¹⁹⁾.

Sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui cara adsorpsi untuk membentuk suatu lapisan tipis yang tidak nampak dengan ketebalan beberapa molekul saja, ada pula yang karena pengaruh lingkungan membentuk endapan yang nampak dan melindungi logam dari serangan yang mengkorosi logamnya dan menghasilkan produk yang membentuk lapisan pasif, dan ada pula yang menghilangkan konstituen yang agresif.

Inhibitor dibagi atas 6 jenis, yaitu inhibitor yang memberikan pasivasi anodik, pasivasi katodik, inhibitor ohmik, inhibitor organik, inhibitor pengendapan, dan inhibitor fasa uap.

Sebagian besar, korosi menyerang benda yang bersifat logam. Proses korosi logam berlangsung secara elektrokimia yang terjadi secara simultan pada daerah anoda dan katoda yang membentuk rangkaian arus listrik tertutup. Korosi merupakan pembebasan oksidatif yang terjadi pada suatu luas permukaan logam ⁽⁹⁾. Hal inilah yang banyak dijadikan dasar utama pembahasan mengenai peran inhibitor korosi, terutama korosi logam.

Inhibitor pada korosi logam ada dua jenis, yaitu anorganik dan organik. Fosfat, kromat, dikromat, silikat, borat, tungstat, molibdat dan arsenat adalah beberapa senyawa anorganik yang digunakan sebagai inhibitor pada korosi logam ⁽²¹⁾. Inhibitor organik adalah senyawa heterosiklik yang mengandung atom nitrogen, sulfur atau oksigen yang mempunyai pasangan elektron bebas ⁽¹⁷⁾. Inhibitor korosi logam yang paling efektif adalah senyawa-senyawa organik. Hal ini disebabkan karena senyawa organik memiliki pasangan elektron bebas pada rantai karbonnya atau pada sistem rantai aromatik yang dapat berikatan dengan muatan positif logam, sehingga terjadi adsorpsi antara permukaan logam dengan inhibitor. Adsorpsi ini akan

membentuk lapisan pelindung pada logam akibat adanya fisisorpsi atau akan membentuk khelat pembatas yang tak larut akibat adanya kemisorpsi, yang menghindarkan logam kontak langsung dengan media korosif⁽¹²⁾⁽²²⁾.

Terdapat 6 jenis inhibitor yaitu:

1. inhibitor yang memberikan pasivasi anodik
2. inhibitor yang memberikan pasivasi katodik
3. inhibitor ohmik
4. inhibitor organik
5. inhibitor pengendapan
6. inhibitor fasa uap

2.8. Cara Kerja Inhibitor

Suatu inhibitor kimia adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Secara khusus, inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan tertentu, dapat menurunkan laju penyerangan lingkungan itu terhadap suatu logam.

Pada prakteknya, jumlah yang ditambahkan adalah sedikit, baik secara kontinu maupun periodik menurut suatu selang waktu tertentu. Adapun mekanisme kerjanya dapat dibedakan sebagai berikut :

- a. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
- b. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.

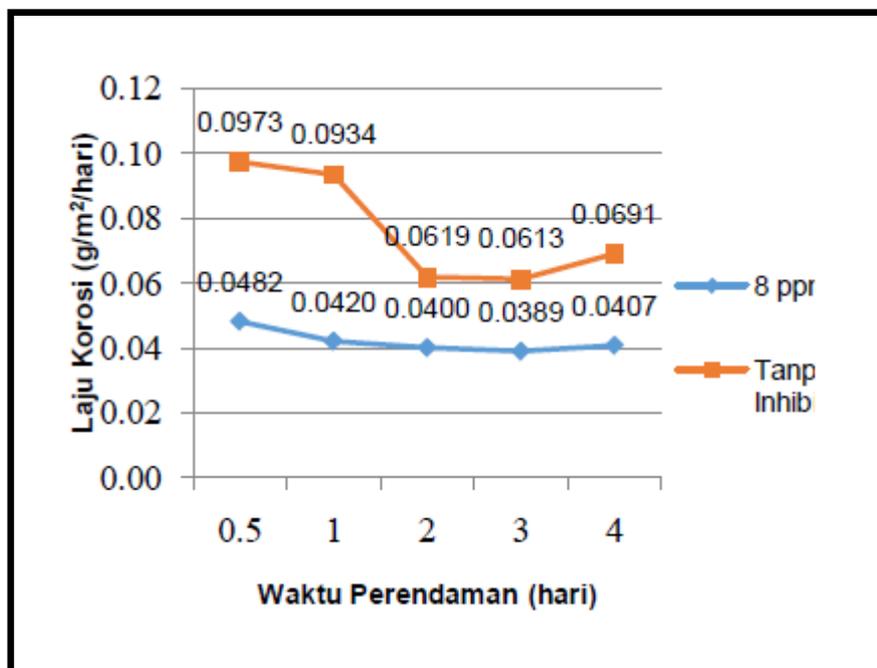
c. Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.

d. Inhibitor menghilangkan kontituen yang agresif dari lingkungannya.

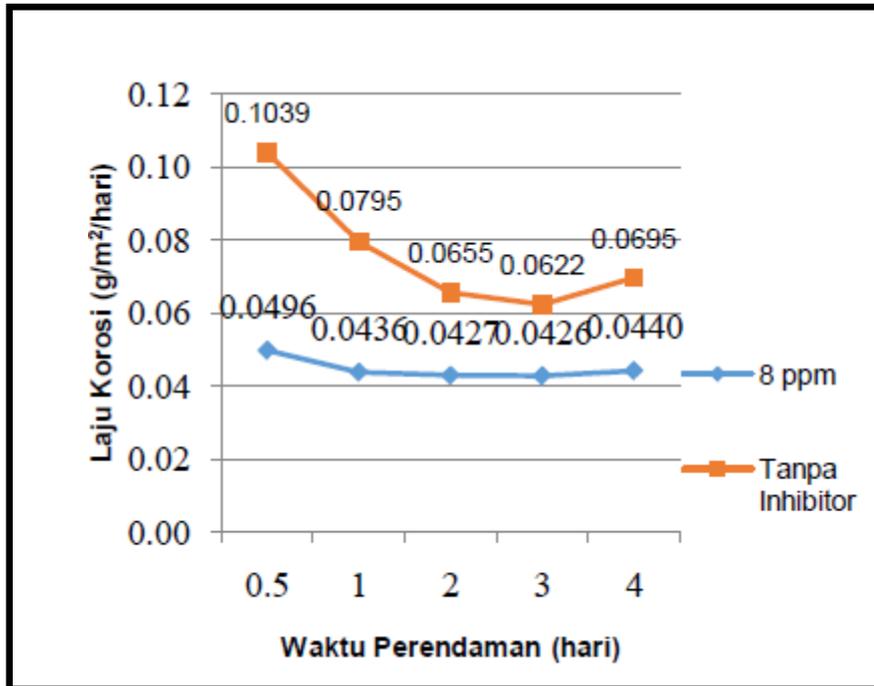
Berdasarkan sifat korosi logam secara elektrokimia, inhibitor dapat mempengaruhi polarisasi anodik dan katodik. Bila suatu sel korosi dapat dianggap terdiri dari empat komponen yaitu: anoda, katoda, elektrolit dan penghantar elektronik, maka inhibitor korosi memberikan kemungkinan menaikkan polarisasi anodik, atau menaikkan polasisasi katodik atau menaikkan tahanan listrik dari rangkaian melalui pembentukan endapan tipis pada permukaan logam. Mekanisme ini dapat diamati melalui suatu kurva polarisasi yang diperoleh secara eksperimentil

2.9. Hasil Penelitian Orang Lain

- **PENGARUH WAKTU PERENDAMAN EKSTRAK KOPI UNTUK MENGINHIBISI KOROSI PADA BESI**

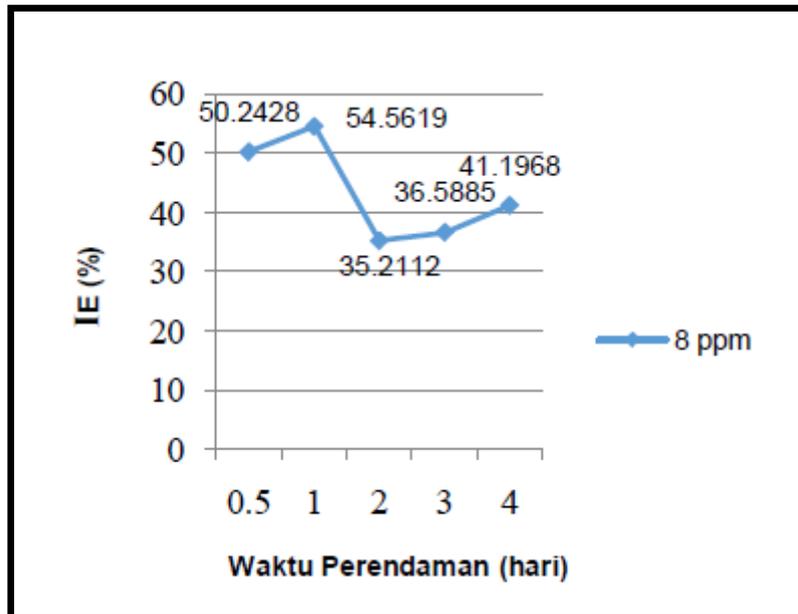


Gambar 2.25. Grafik Hubungan Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi Besi tanpa dan adanya Inhibior dengan NaCl 0,2%

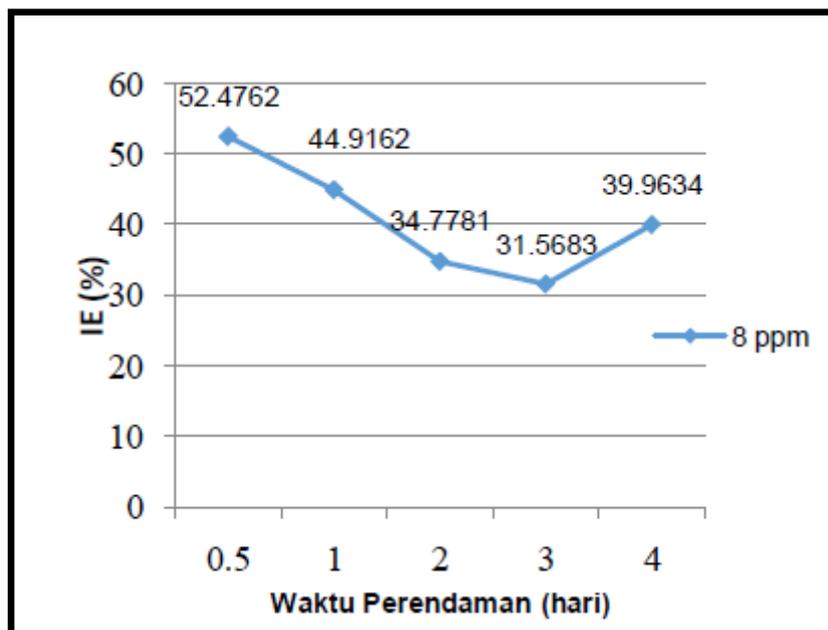


Gambar 2.26. Grafik Hubungan Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi Besi tanpa dan adanya Inhibitor dengan NaCl 1%

Pada gambar 2.25 dan 2.26 terlihat penurunan laju korosi pada spesimen di media terhadap waktu perendaman spesimen. Spesimen Pada media mengalami penurunan laju korosi jika semakin lama terendam. Hal ini terjadi karena kopi membentuk senyawa kompleks dengan besi menjadi Fe tanat yang dapat melindungi besi sehingga mengurangi laju korosi, gambar yang ditunjukkan pada grafik menggambarkan grafik penurunan. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya adsorpsi inhibitor pada permukaan spesimen. Spesimen dengan jumlah inhibitor yang ditambahkan sedikit akan teradsorpsi dalam jumlah sedikit pada permukaan spesimen dalam rentang waktu yang relatif masih singkat. Hal ini menyebabkan laju korosi yang cukup tinggi. Berdasarkan gambar 2.25 dan 2.26 dapat dilihat suatu sistem yang terinhibisi ataupun yang tidak terinhibisi akan cenderung menurun dengan bertambahnya waktu. Penyebabnya hal ini bisa dari kontaminasi medianya ⁽⁸⁾.



Gambar 2.27. Grafik Hubungan Waktu Perendaman terhadap % IE menggunakan kafein 8 ppm pada media NaCl 0,2% ng digunakan.



Gambar 2.28. Grafik Hubungan Waktu Perendaman terhadap % IE menggunakan kafein 8 ppm pada media NaCl 1%

Berdasarkan Gambar 2.27 Inhibisi dengan larutan NaCl 0,2% persen IE yang paling besar didapatkan pada hari ke-1 yaitu sebesar 54,56% dengan laju korosi sebesar $0,042 \text{ g/m}^2$ per hari.

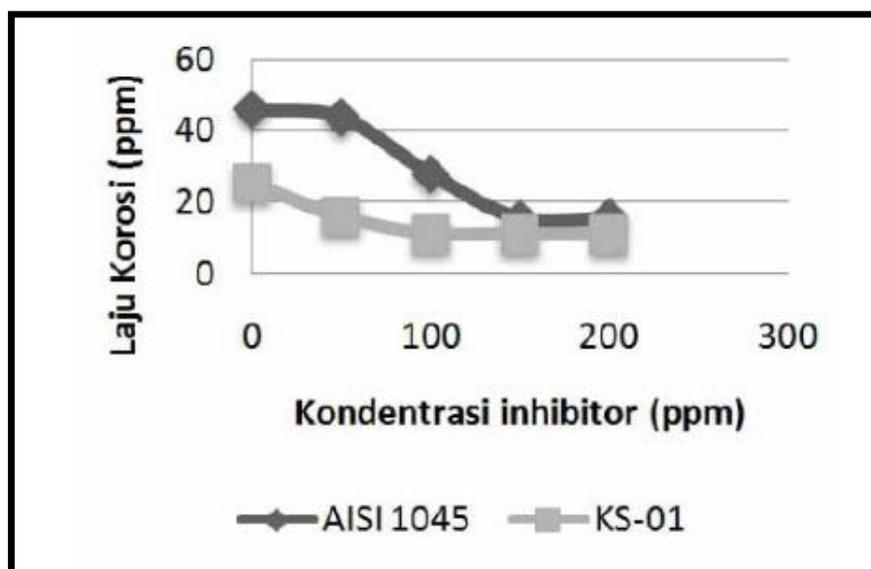
Waktu ini merupakan waktu optimum, dimana inhibitor kafein memiliki sifat yang lebih aktif atau belum terjadi penjumlahan. Pada konsentrasi dan waktu tersebut, kafein memberikan

kerapatan arus korosi dan laju korosi paling kecil. Polarisasi permukaan besi ke arah lebih positif akibat terpolarisasi oleh gugus fungsi amina sangat kecil, sebab gugus tersebut dalam media uji berada dalam keadaan terprotonasi⁽¹⁸⁾.

sebagai gugus amonium, $-NH^{3+}$. Pada hari ke-3 terjadi penurunan persen IE sebesar 35,21% dan laju korosi meningkat sebesar $0,040 \text{ g/m}^2$ per hari, hal ini disebabkan karena terjadi penurunan efektifitas inhibisi sehingga tidak lagi meningkatkan efisiensi dari inhibitor. Berdasarkan gambar 2.28, inhibisi dengan larutan NaCl 0,5% persen IE yang paling besar didapatkan pada hari ke-1 yaitu sebesar 52,47% dengan laju korosi sebesar $0,050 \text{ g/m}^2$ per hari. Waktu ini merupakan waktu optimum, Sedangkan pada hari ke-1 terjadi penurunan persen IE sebesar 44,91% dan laju korosi meningkat sebesar $0,044 \text{ g/m}^2$ per hari, hal ini disebabkan terjadinya penurunan efektifitas inhibisi dikarenakan inhibitor kafein sudah terjadi penjenuhan. sehingga tidak lagi meningkatkan efisiensi dari inhibitor⁽⁸⁾.

- PENGARUH INHIBITOR KAFEINA PADA LAJU KOROSI DAN STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON KS-01 DAN AISI 1045 DALAM MEDIA AIR LAUT

(Berta Vidyananda,2012)



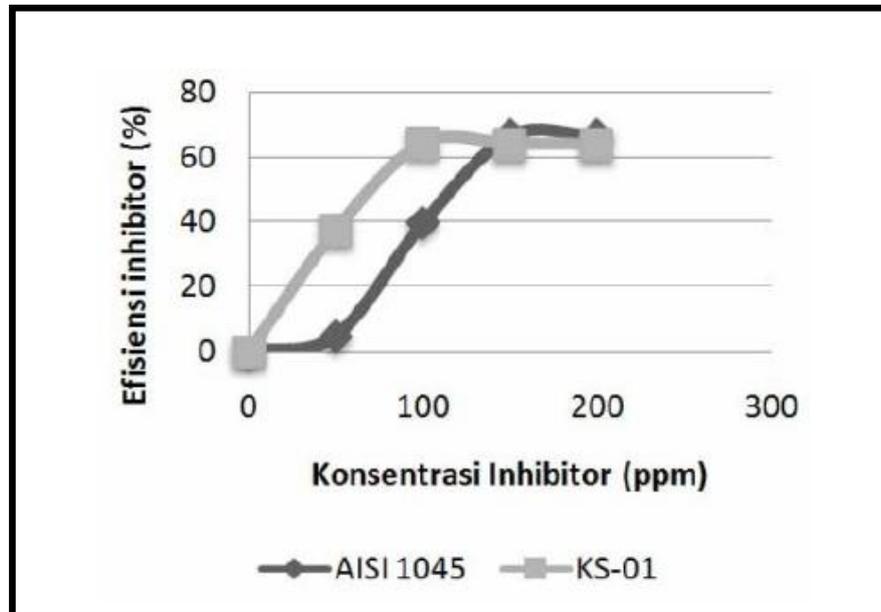
Gambar 2.29. Grafik laju korosi baja karbon dalam air laut

kafeina sebanyak 50 ppm, laju korosi baja KS-01 menurun dari 25,07 mpy menjadi 15,65 mpy. Hal ini dapat dijelaskan karena inhibitor membentuk senyawa di permukaan logam, yang terdiri dari senyawa kompleks antara besi dengan senyawa kafeina, senyawa ini menurunkan konduktivitas logam, dan konsekuensinya menurunkan laju korosi. Kemudian dengan bertambahnya konsentrasi *inhibitor* kafeina, laju korosi baja KS-01 semakin menurun, hingga pada konsentrasi optimum *inhibitor*nya, yaitu 100 ppm, dengan laju korosi sebesar 8,93 mpy. Pada penambahan *inhibitor* kafeina sebanyak 150 ppm, laju korosi baja KS-01 naik menjadi 10,52 mpy, hal ini

menunjukkan bahwa penambahan *inhibitor* kafeina sebanyak 150 ppm telah melewati batas optimum *inhibitor* kafeina terhadap baja KS-01 dalam air laut.

Untuk laju korosi baja AISI 1045 dalam air laut penambahan *inhibitor* kafeina sama seperti pada baja

KS-01. Laju korosi baja AISI 1045 semakin menurun dengan bertambahnya konsentrasi *inhibitor* kafeina dalam larutan uji, sampai pada konsentrasi optimumnya, yaitu pada konsentrasi 150 ppm. Pada konsentrasi *inhibitor* kafeina 200 ppm, laju korosi baja AISI 1045 meningkat dibandingkan dengan pada konsentrasi *inhibitor* kafeina 150 ppm dari 15,29 mpy menjadi 15,83 mpy. Dari data laju korosi tersebut, *inhibitor* kafeina efisien untuk digunakan dalam pencegahan korosi baja KS-01 dan AISI 1045. Grafik efisiensi *inhibitor* kafeina dalam air laut terhadap baja KS-01 dan AISI 1045 dapat dilihat pada Gambar berikut.



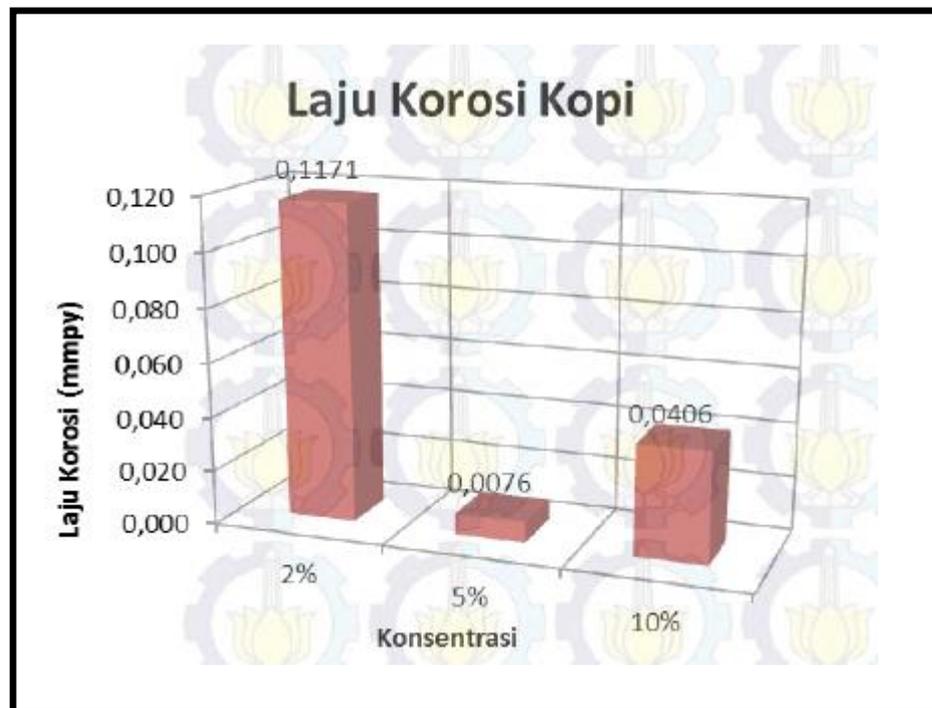
Gambar 2.30. Grafik efisiensi *inhibitor* kafeina terhadap konsentasi inhibitor dalam media air laut efisiensi optimum *inhibitor* kafeina pada baja KS-01 dalam air laut adalah pada konsentrasi *inhibitor*.

kafeina sebesar 100 ppm dalam air laut, yaitu sebesar 64,38%, sedangkan efisiensi optimum *inhibitor* kafeina pada baja AISI 1045 adalah pada konsentrasi *inhibitor* kafeina sebesar 150 ppm, yaitu sebesar 66,63%. Kafeina merupakan salah satu senyawa yang mengandung gugus nitrogen yang memiliki pasangan elektron bebas, sehingga kafeina dapat digunakan sebagai *inhibitor* korosi. Gugus nitrogen ini berfungsi sebagai pendonor elektron terhadap besi (II) untuk membentuk senyawa kompleks(6). Reaksi yang terjadi antara logam besi dengan medium korosif seperti air dan udara, sehingga mengoksidasi besi menjadi ion besi (II) yang dapat dilihat pada persamaan (1). $Fe + 2e^- \rightarrow Fe^{2+}$ (10) .

- **STUDI PENGGUNAAN EKSTRAK BAHAN ALAMI SEBAGAI INHIBITOR KOROSI PADA CAT UTUK PELAT KAPAL A36**

Tabel 2.1. Hasil Pengujian Laju Korosi untuk Kopi

Konsentrasi	Laju Korosi Rata-rata
2%	0,1171
5%	0,0076
10%	0,0406



Gambar 2.31. Grafik Laju Korosi Untuk Inhibitor Kopi

Meskipun kopi dan teh sama-sama memiliki kafein yang bersifat inhibitor korosi, tetapi berdasarkan data pengujian, nilai rata-rata laju korosi teh lebih baik dibandingkan nilai rata-rata laju korosi kopi. Hal ini disebabkan kadar kafein yang lebih tinggi pada teh dibandingkan kafein pada kopi ⁽¹⁶⁾ .