

FAKTOR UTAMA PENYEBAB KOROSI ATMOSFER DI KAWASAN INDUSTRI

Oleh :
Ir. Noegroho Hadi HS.

Abstrak. Korosi merupakan hasil interaksi antara bahan logam dengan lingkungannya. Korosi atmosfer, misalnya terjadi bila bahan logam rusak karena terkena oleh interaksi dengan atmosfer yang mengandung senyawa agresif.

Untuk melihat korosi atmosfer yang menjadi sorotan dalam naskah ini perlu diperhatikan daerahnya, apakah di tepi pantai, di daerah industri-kah atau di daerah perkotaan.

Pada setiap daerah tersebut, lingkungannya mengandung senyawa agresif yang berbeda-beda. Di dalam tulisan berikut akan dapat dilihat faktor-faktor utama yang berpengaruh pada kecepatan korosi atmosfer di kawasan industri.

Korosi atmosfer

Korosi adalah proses alamiah yang berlangsung dengan sendirinya secara perlahan-lahan tetapi pasti, dan tidak ada bahan konstruksi logam yang dapat berfungsi secara abadi. Semuanya, pada jangka waktu tertentu, akan rusak tak berfungsi lagi. Yang dapat dilakukan orang hanyalah mengendalikan proses korosi tersebut atau mengurangi kecepatannya, sehingga umur bahan konstruksi bertambah panjang.

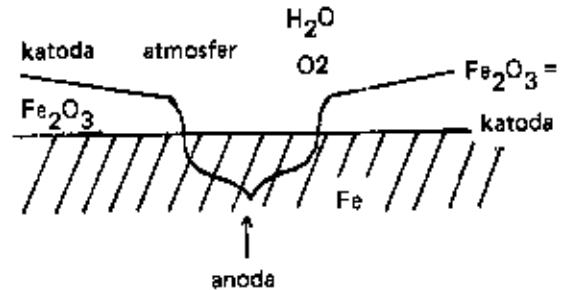
Dengan bertambahnya umur bahan konstruksi tersebut akan diperoleh keuntungan ekonomi. Di Indonesia, masalah korosi perlu mendapat perhatian yang serlus mengingat dua per tiga Wilayah Nusantara terdiri dari lautan dan terletak pada daerah tropis dengan curah hujan yang tinggi, kandungan senyawa klorida tinggi dan kelembaban di sekitar ambang kritis.

Lingkungan semacam ini dikenal sangat korosif. Lingkungan semacam ini dikenal sangat korosif. Khusus di daerah industri, lingkungan atmosfer yang korosif itu semakin bertambah agresif dengan adanya senyawa-senyawa polutan seperti : Sulfur-dioksida, sulfat, hydrogen-sulfida, karbon-monoksida, ammonia, karbon-dioksida, klorida, sulfonat dan sebagainya.

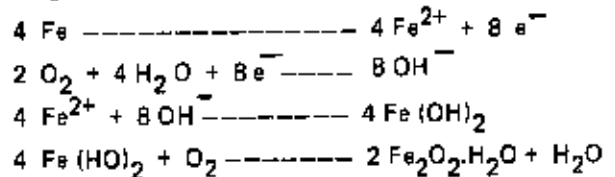
Ditinjau dari mekanisme korosi atmosfer, sebagian besar proses korosi berlangsung menurut mekanisme elektrokimia.

Menurut teori elektrokimia, korosi terjadi karena adanya lingkungan yang basah (mengandung air) dan adanya oksidogen. Sebagai contoh ; bila pelat baja telanjang berada di lingkungan atmosfer, setelah beberapa waktu lamanya permukaan tersebut akan diselaputi oleh lapisan oksida tipis yang tersebar tidak merata. Dengan adanya lapisan oksida tersebut, terjadilah perbedaan potensial antara sistem pelat dengan oksidannya, sehingga ter-

bentuklah suatu sel korosi seperti pada gambar berikut:



Karena lingkungan atmosfer mengandung air yang dapat berfungsi sebagai elektrolit dan oksigen dari udara yang terlarut, maka proses korosi berlangsung menurut reaksi sebagai berikut :



Bila di dalam lingkungan elektrolit terdapat garam-garam terlarut, daya hantar listrik lingkungan akan bertambah.

Akibatnya reaksi korosi menurut teori elektrokimia akan bertambah pula. Dengan demikian kata lain logam semakin cepat rusak.

Bentuk korosi secara umum dapat diklasifikasikan dengan berbagai cara. Salah satu di antaranya misalnya menurut bentuk serangannya, seperti : korosi permukaan, korosi celah, korosi galvanik, korosi sumur, korosi antar butir, retak korosi tegang, korosi leleh dan sebagainya.

Selain itu dapat juga dibedakan menurut lingkungan korosif yang menyerang. Untuk korosi di lingkungan atmosfer, dibedakan atas :

- Korosi lingkungan atmosfer laut.
- Korosi lingkungan atmosfer industri.
- Korosi lingkungan atmosfer perkotaan.

Tetapi pada prakteknya, batas antara berbagai lingkungan atmosfer tersebut kadang-kadang tidak jelas.

Oleh sebab itu, agar dapat membedakan lingkungan-lingkungan tersebut, digunakan indikator kandungan senyawa korosif yang ada di udara.

Untuk sebuah kota yang padat penduduk maupun industri, dan kebetulan terletak di tepi pantai, maka ke tiga jenis lingkungan atmosfer tersebut saling bertumpang tindih.

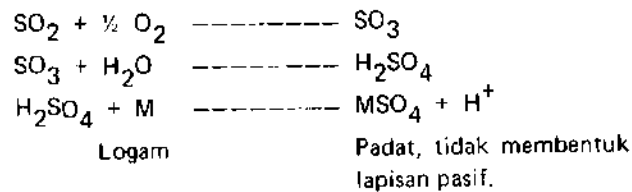
Faktor-faktor utama yang berpengaruh terhadap kecepatan korosi atmosfer di kawasan industri adalah:

1. Tingkat pencemaran udara.

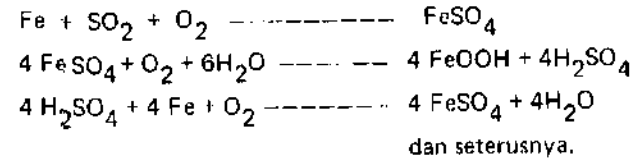
Yang dimaksud dengan tingkat pencemaran udara adalah kandungan senyawa polutan di udara termasuk debu.

Senyawa-senyawa polutan yang dikenal korosif antara lain : SO_2 , CO_2 , klorida dan sulfat, serta uap air.

Dengan adanya oksigen di udara, senyawa-senyawa polutan tersebut dapat merusak logam, reaksi-reaksi sebagai berikut :

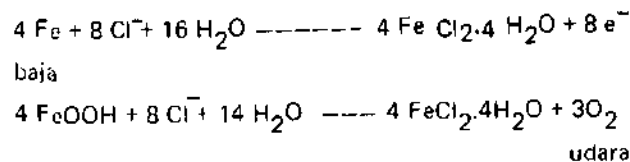


Khusus untuk besi/baja, reaksi di bawah ini juga mungkin terjadi.



2. Kandungan garam terlarut

Menurut mekanisme elektrokimia, makin besar daya hantar listrik larutan elektrolit, makin besar kecepatan korosi. Dengan adanya garam atau asam yang terlarut, maka daya hantar listrik elektrolit akan bertambah besar. Di bawah ini adalah contoh reaksi yang menunjukkan pengaruh senyawa klorida terhadap korosi baja.



3. Suhu

Seperti reaksi kimia pada umumnya, kecepatan reaksi korosi dipengaruhi oleh suhu. Sesuai dengan teori Arrhenius, kecepatan korosi baja di lingkungan atmosfer akan naik dua kali lipat untuk kenaikan suhu sebesar $10^{\circ}C$. (1).

4. Kelembaban udara relatif

Kelembaban udara relatif sangat menentukan proses korosi lingkungan atmosferik, terutama untuk besi dan baja. Untuk lingkungan atmosfer yang mengandung 0,01% SO_2 , harga kelembaban kritis adalah 60%, di bawah harga kelembaban kritis tersebut. Pengaruh kelembaban dapat diabaikan, tetapi di atasnya kecepatan korosi akan naik secara menyotok. (1).

Pada kelembaban kritis tersebut, molekul-molekul uap air akan menempel di sepanjang permukaan logam, membentuk suatu lapisan dengan ketebalan antara 15-90 molekul. (2). Lapisan ini terbentuk dengan adanya ikatan *Van der Waals*. Proses korosi berlangsung dan dipercepat oleh adanya lapisan ini. Semakin tebal lapisan ini, semakin cepat proses perusakan. Menurut *Rosenfeld, Tomashov dan Clark* kecepatan korosi mencapai maksimum pada tebal lapisan molekul 150 U.

5. Curah hujan

Pada dasarnya hujan dapat mengurangi kadar senyawa-senyawa polutan yang terkandung di lingkungan atmosfer. Tetapi air hujan melarutkan senyawa-senyawa polutan tersebut dan membawanya berkontak langsung dengan logam, terutama di tempat-tempat kritis, seperti celah-celah.

Oleh sebab itu, curah hujan adalah salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam mempelajari karakteristik korosi lingkungan atmosfer. Begitu pula halnya dengan faktor-faktor meteorologi yang lain, seperti : kecepatan dan arah angin serta pancaran sinar matahari.

6. Korosi oleh lingkungan asam (*Sour Corrosion*)

Korosi oleh sulfida ini pada mulanya berjalan lambat dan lambat laun akan bertambah cepat. Untuk menahan atau mengurangi korosi ini dilakukan dengan pelapisan, pengecatan dengan penambahan inhibitor (*formaldehyde*), untuk peralatan tertentu dengan mempergunakan logam alloy atau logam lain yang tahan korosi (aluminium). Senyawa H_2S tidak korosi hanya pada lingkungan tanpa air. Bila ada uap air akan menjadi sangat korosif, lingkungan ini akan lebih bersifat korosi bila ada CO_2 dan atau O_2 . Mekanisme reaksi secara sederhana dapat dituliskan sebagai berikut :



FeS_x ini akan membentuk endapan pada logam dan akan mempercepat reaksi korosi, sebab FeS_x akan bersifat sebagai katoda.

7. Korosi atmosfer oleh pengaruh mikroba

Semua bentuk korosi yang berhubungan dengan proses kimiawi, derajat kerusakan tergantung kepada senyawa kimianya, kelembaban dan konsentrasi oksigen

Korosi yang berlangsung dengan adanya mikroba, pada penentuan sebab-sebab korosi tersebut perlu diperhatikan proses bio-kimia yaitu proses-proses yang berhubungan dengan kehidupan mikroba.

Kerusakan-kerusakan yang dijumpai pada bahan-bahan konstruksi/peralatan bukan disebabkan oleh karena termakan mikroba semata-mata, tetapi oleh hasil-hasil kehidupan mikroba tersebut. Jadi dapat dikatakan di sini bahwa mikroba hanya mempercepat korosi. Mikroba yang dapat berpengaruh terhadap biokorosi adalah bakteri, jamur dan algae.

Dalam lingkungan udara pantai yang lembab dan mengandung senyawa-senyawa organik akan memungkinkan adanya proses biokorosi. Kerusakan-kerusakan logam yang terjadi baik langsung maupun tak langsung yang berhubungan dengan kehidupan mikroba, dapat menimbulkan :

- terjadinya elektrochemical concentration cell yang berbeda-beda yang dapat menyebabkan perbedaan harga potensial pada permukaan metal,
- terbentuknya senyawa-senyawa kimia yang reaktif dalam larutan atau pun pada permukaan logam,
- perubahan redoks potensial dari lingkungan yang disebabkan karena perubahan konsentrasi oksigen dan ini secara langsung akan mempengaruhi proses korosi.

Mikroba yang sangat berbahaya adalah bakteri, karena pada lingkungan yang sesuai sangat cepat berkembang biak dan sangat mudah menyesuaikan diri terhadap perubahan-perubahan kondisi fisis, kimiawi dan biologis dari lingkungannya. Dalam hal terakhir ini dapat dijelaskan bahwa mikroba dapat membentuk enzim yang sesuai, yang diperlukan untuk merubah lingkungan yang ditempati menjadi bahan makanannya.

Ada dua jenis bakteri yang dapat mempengaruhi proses korosi :

- Anaerobic — bakteri yang dalam kehidupannya tak memerlukan oksigen.
- Aerobic — bakteri yang dalam kehidupannya memerlukan oksigen
Senyawa oksigen ini diperlukan oleh bakteri aerobik untuk mengoksidasi hidrogen, unsur organik atau anorganik.

Bila melihat sumber energi yang digunakan untuk kehidupannya maka bakteri aerobik dapat dibedakan atas :

- bakteri heterotroph — bakteri yang menggunakan unsur organik sebagai sumber energi.
- bakteri autotroph — bakteri yang mengoksidasi unsur-unsur anorganik dan menggunakan energi yang dibebaskan untuk mempertahankan kehidupannya.
Senyawa karbon yang diperlukan bakteri autotroph untuk mempertahankan kehidupannya diperoleh dalam bentuk CO₂ baik yang bebas maupun yang terikat sebagai karbonat maupun biokarbonat.

Dalam prakteknya bakteri aerobik dan anaerobik dapat berada bersama-sama, karena itu mereka berpengaruh terhadap korosi juga secara bersamaan.

Kemungkinan fisiologi mikroba

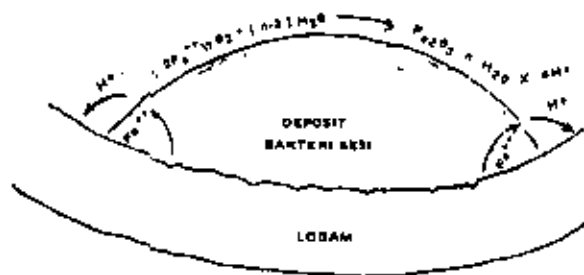
KELAMPIYAN & JENIS MIKROBA	LINGKUNGAN S & Fe	HASIL OKSIDASI REDUKSI	KONDISI				
			LINGKUNGANNYA	pH		TEMP	
				OPT	INTERVAL	INTERVAL	
Sebagian besar bakteri anaerobic	Sulfat, thiosulfat & H ₂ S dalam larutan (pH rendah)	Asam sulfat	Asam sulfat	6-7	5-9	25-30	60-65
Polimikroba yang membentuk bakteri anaerobic	Sulfat, sulfat & thiosulfat	Asam sulfat	Asam sulfat	2-4	5-9	28-30	19-37
Thiosulfat & diazot bakteri aerobik	Thiosulfat sulfat	Thiosulfat sulphur sulphur sulfat	Aerobik tanah	7	7-9	30	
Iron bacteria aerobik	Fe ²⁺ sulfat, karbonat, Mn karbonat	Fe ³⁺ OH ₃	Aerobik tanah yang mengandung senyawa yang terikat pada Fe	4-10		24	6-40

Bakteri besi, seperti *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Claudiothrix* dapat membentuk lendir. Lendir ini banyak terlihat pada bagian sudut mati "dead spot" dari peralatan-peralatan seperti lingkungan pipa, sambungan T dan Y, flange dan lain-lain.

Pembentukan lendir ini akan membentuk kondisi anaerobic yang memberikan lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat. Di sini dapat diperkirakan penyebab yang dominan untuk proses biokorosi adalah :

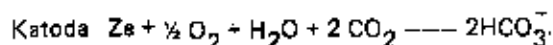
– **Bakteri besi ("Iron bacteria" – aerobik).**

Akan mengoksidasikan ion Ferro menjadi Ferri dan mengendapkannya sebagai $Fe(OH)_3$. Selain itu dapat membentuk lendir tersebut. Bakteri ini memerlukan oxygen dan CO_2 sebagai sumber energinya.

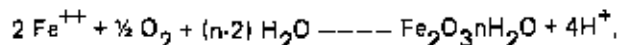


Gambar 1 : Mekanisme korosi oleh bakteri besi

Reaksinya dimulai tanpa kegiatan bakteri ini, sebagai berikut :



Dengan bantuan bakteri besi :



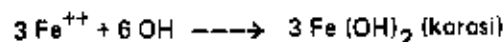
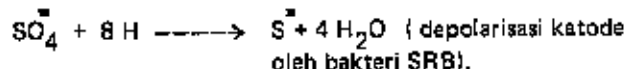
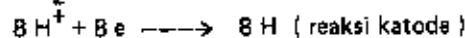
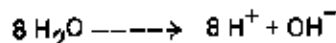
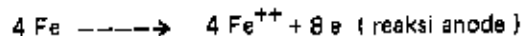
– **Bakteri pereduksi sulfat**

Bakteri pereduksi sulfat merupakan bakteri anaerob, jadi dapat hidup di bawah deposit, lendir dan lain-lain. Bakteri ini dapat merubah atau mereduksi

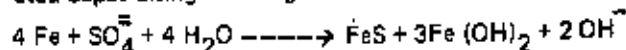
senyawa sulfat (SO_4), protein-protein yang mengandung sulfur dan lain-lain menjadi H_2S .

Senyawa H_2S ini sangat korosif karena bereaksi dengan logam menjadi FeS yang berwarna hitam.

Biasanya korosi yang disebabkan oleh aktifitas bakteri ini berbentuk seperti kerucut yang mendalam. Mekanisme reaksi korosi oleh bakteri pereduksi sulfat telah ditemukan oleh *Van Walzogen Kuhr*, sebagai berikut :



atau dapat disingkat sebagai berikut :



Bakteri pengoksidasi belerang (Sulphur oxydizing bacteria)

Bakteri pengoksidasi belerang dapat mengoksidasi senyawa belerang, thiosulfat, sulfid dan beberapa polythionates menjadi sulfat yang berupa asam kuat. Bakteri ini dari jenis Thiobacillus.

Ada tiga species yang dikenal sebagai penyebab korosi yaitu : Th. thioporus, Th. thi-oxidans dan Th. concretivorus. Ke tiga species tersebut obligate autotrophic, berarti bahwa dapat mensintesa senyawa organik komplek seperti protein, karbohidrat dan sebagainya dari senyawa anorganik.

Mereka biasanya berada dalam daerah lumpur, air dan sebagainya. Suhu optimal untuk pertumbuhan berkisar $25^{\circ}C - 30^{\circ}C$, dan akan mati pada suhu tinggi sekitar $55^{\circ}C - 60^{\circ}C$.

Bakteri ini dapat bekerja sama dengan bakteri SRB.

PENUTUP

Menurut data yang ada pada literatur, kerugian langsung, baik sebagai logam setengah jadi maupun barang jadi, dapat diperkirakan sebesar 2%/th dari harganya. Biasanya korosi di daerah tropis akan lebih besar, seperti di Indonesia. Bila dilihat dari keadaan lingkungan

di Indonesia, di mana suhu kelembaban udara dan curah hujan yang tinggi, maka dapat diperkirakan bahwa laju korosi atmosfer akan tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan study korosi atmosfer dan pengaruh mikroba yang lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kenneth G. Campton, 1969. Atmospheric Corrosion NACE Basic Corrosion Course.
2. Uhlig H H, 1971. Corrosion and Corrosion Control John Willy & Sons, Inc New York.
3. Davis, J B, 1967. Petroleum Microbiology, Elsevier Publishing Co, Amsterdam.
4. Noegroho Hadi, September 1982. Korosi atmosfer di Pertamina Unit Pengolahan IV Cilacap (laporan penelitian).
5. Noegroho Hadi, 1982. Mekanisme korosi pada tanki Penimbun Minyak di Pengilangan Minyak, Lembaran Publikasi Lemigas, Nomer 3, Vol 16, 1982.
6. Legault, R. A and Pearsons, UP, December 1978. Atmospheric Corrosion air Marine Environment NACE, 300 Corrigan Tower Building Dallas Texas.
7. Smith, CA Dr, 1981. The Microbiology Of Corrosion, Anti Corrosion, J. PP 15 - 17, NACE.
8. Ducan J. Cromble, et al, 1980. Corrosion of Iron by sulphate - reducing bacteria, Chemistry and Industry. J. Cardiff CF 1 3 NU Wales.
9. Einar Mattsson, July 1982, The Atmospheric Corrosion Properties of Some Common Structural Metals - A comparative study, Material Performance J pp 9 - 19.
10. Karel Barton, 1976, Protection against Atmospheric Corrosion, John Willy's Cons, London, New York - Sydney - Toronto.
11. Tadao Ohtsuko
Bull of The Japan Pert. Inst. II, 39 (May 1969)
12. H. Bauther
Ind. Eng. Chem, 51 (11), 1349 - (Nov 1959).