

Pemeriksaan Biokorosi dengan Mikroskop Elektron

Oleh: DR. Ir. Noegroho Hadi HS

SARI

Penelitian dilakukan untuk membuktikan secara kualitatif dan kuantitatif pengaruh pertumbuhan mikrobia pada biokorosi logam. Langkah-langkah penelitian meliputi; memantau laju biokorosi, mempelajari pertumbuhan mikrobia serta jenis-jenis mikrobia yang tumbuh pada permukaan coupon, bentuk karat. Pengamatan dilakukan dengan mikroskop elektron susunan dan mikroskop elektron transmisi.

Karat yang terbentuk dapat menjadi perangkap unsur hara yang berguna untuk pertumbuhan mikrobia tersebut. Mikrobia yang dapat tumbuh adalah jamur dan bakteri.

Bakteri yang berpengaruh utama pada biokorosi adalah bakteri belerang yaitu bakteri pereduksi belerang dan bakteri pengoksidasi belerang.

ABSTRACT

Research was conducted to establish qualitatively and quantitatively the affects of microbial growth on metallic corrosion.

The reasearch programme included monitoring the rate of biocorrosion, studying microbial growth and the types of microbes that grow on coupons and studying the types of biocorrosion products (rust) by scanning electron and transmission electron microscopes.

The rust so formed becomes a trap for nutrients that are utilized for microbial growth. The microbes able to grow on the metallic coupon are fungi and bacteria. The most active bacteria in the biocorrosion process are the sulphur bacteria; the are sulphate reducing and sulphur oxidizing bacteria.

I. PENDAHULUAN

Korosi adalah proses pengrusakan bahan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungannya dan berlangsung secara perlahan tapi pasti. Tidak ada bahan atau peralatan yang dapat terhindar dari korosi. Usaha yang dilakukan orang hanyalah menghambat atau mengendalikan korosi tersebut, supaya umur dan fungsi bahan bertambah panjang.

Sebagian besar reaksi korosi berlangsung menurut reaksi elektrokimia (Borton, 1972). Korosi terjadi karena lingkungan basah dan mengandung senyawa pencemar reaktif. Reaksi kimiawi pertama adalah pembentukan oksida logam pada permukaan logam. Oksida logam ini bersifat katodik dan logamnya bersifat anodik. Adanya perbedaan potensial ini akan mempercepat reaksi korosi.

Pada lingkungan yang lembab dan mengandung

unsur hara seperti PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- dan Mg^{++} , Na^+ atau K^+ tumbuh bakteri dan jamur. Jenis-jenis bakteri dan jamur tertentu dapat menghasilkan asam yang dapat merusak logam. Dalam tulisan ini pembahasan biokorosi hanya dilihat dari pengaruh bakteri belerang.

Biokorosi biasanya dimulai bilamana cat pelapis logam rusak sehingga bakteri dapat masuk dan hidup di bawah cat.

Pendekatan untuk memecahkan masalah korosi adalah dengan mempelajari faktor-faktor penyebabnya, baik penyebab biotik maupun abiotik.

Faktor-faktor utama penyebab korosi adalah:

- Tingkat pencemaran lingkungan. Senyawa pencemar yang berpengaruh terhadap korosi di antaranya: asam atau garam sulfat, klorida,

nitrat, pospat dan sebagainya. Senyawa-senyawa tersebut biasanya terlarut dalam air. Lingkungan semacam ini mempercepat proses korosi elektrolit dan biokorosi.

- Suhu. Menurut Arrhenius korosi pada baja akan naik dua kali lipat untuk kenaikan suhu sebesar 10°C . Pada atmosfer yang bersih teori Arrhenius hanya berlaku sampai suhu 40°C untuk logam besi. Di atas suhu 40°C laju korosi akan turun (Barton, 1972).
- Kelembaban nisbi ini berpengaruh terutama pada korosi atmosfer. Pengaruh ini dapat langsung ataupun berpengaruh pada kelarutan senyawa-senyawa pencemar dalam lapisan air yang menempel pada permukaan logam. Pada kelembaban nisbi di atas 70% molekul uap air menempel di permukaan logam membentuk suatu lapisan dengan ketebalan 50 - 90 molekul (Haynie, 1980). Lapisan tersebut terbentuk karena adanya ikatan Van Der Waals. Pengaruh kelembaban nisbi terhadap laju korosi atmosfer terlihat nyata pada kelembaban nisbi 70% dan biasa disebut kelembaban nisbi kritis, sebab di atas kelembaban nisbi 70% laju korosi naik dengan cepat.
- Curah hujan. Air hujan dapat melarutkan senyawa pencemar di atmosfer dan membawanya berkontak langsung dengan bahan atau logam. Pada celah-celah atau lubang-lubang peralatan, air hujan akan terperangkap. Pada daerah semacam ini biasanya proses korosi dan biokorosi dimulai.
- Pengaruh mikrobia.

Bakteri pengoksidasi belerang dan bakteri pereduksi sulfat dapat menghasilkan asam sulfat dan asam sulfida, asam ini bersifat korosif.

Pada penentuan sebab-sebab biokorosi perlu memperhatikan masalah kehidupan dan habitat bakteri tersebut serta lingkungannya. Bakteri pereduksi sulfat adalah bakteri anaerob, sehingga lingkungannya tidak boleh ada oksigen. Jenis bakteri ini dapat mereduksi SO_4^{2-} menjadi S^0 .

Bakteri pengoksidasi belerang dapat mengoksidasi senyawa belerang, thiosulfat, sulfat dan politionat menjadi asam sulfat yang bersifat sangat korosif.

Penggunaan mikroskop memberikan kemungkinan untuk mempelajari suatu objek atau

perincian dan bentuk atau struktur yang dengan mata biasa tidak dapat dilakukan. Suatu ciri khusus suatu mikroskop adalah daya resolusi. Daya resolusi adalah jarak terkecil di antara dua titik dari suatu objek yang masih dapat diamati secara terpisah. Makin kecil daya resolusinya makin besar kemampuan pembesaran yang dimiliki oleh alat tersebut. Untuk mendapatkan daya resolusi yang diperlukan, telah dikembangkan mikroskop elektron.

II. MIKROSKOP ELEKTRON

Mikroskop elektron dapat dibedakan menjadi dua yaitu Transmission Electrone Microscope (TEM) dan Scanning Electrone Microscope (SEM). TEM biasa digunakan untuk penelitian dalam bidang biologi, sebab mikroskop ini dapat digunakan untuk objek sampel yang tipis sehingga dapat ditembus oleh berkas sinar, sedangkan SEM lebih banyak digunakan untuk objek sampel yang tebal sehingga banyak digunakan untuk mempelajari struktur batuan ataupun permukaan logam.

A. Persiapan objek sampel

Sampel yang akan diperiksa perlu dilakukan persiapan-persiapan sebelumnya. Untuk sampel mikrobia yang mengandung cairan, diperlukan alat pembekuan dengan menggunakan nitrogen cair. Sistem pembekuan objek sampel ini dimaksudkan supaya objek sampel tersebut tidak akan rusak akibat lingkungan vakum yang tinggi selama pengujian di TEM.

Sedangkan objek sampel yang tebal penanganannya relatif lebih mudah. Bila objek sampel tidak bersifat konduktif, diperlukan proses pelapisan pada permukaannya. Pelapisan sampel dilakukan di dalam vacuum evaporation unit. Sebagai pelapis dapat digunakan karbon, emas, platina dan sebagainya.

Objek sampel yang diperiksa dengan SEM dipotong sesuai ukuran yang diperlukan dan direkatkan pada tempat sampel (*strub*) yang terbuat dari logam dan kemudian dilapisi dengan pelapis dengan tekanan kurang lebih 2×10^{-5} TORR. Setelah persiapan sampel selesai, kemudian sampel dimasukkan dalam ruang khusus (*specimen chamber*).

B. Pemotretan objek SEM

Sebelum dilakukan pemotretan, perlu dilakukan pengamatan objek sampel tersebut dengan memberikan pancaran sinar elektron bertenaga kurang lebih 15 K. volt sampai sampel mengeluarkan secondary electron dan back scattered electron, dan dideteksi dengan detector scintillator dan akhirnya akan menimbulkan gambar di CRT (*Cathode Ray Tube*). Pemotretan dilakukan setelah mendapatkan objek pada pembesaran tertentu sesuai dengan keinginan peneliti.

Mikroskop elektron susunan (SEM) dapat digunakan untuk melihat bentuk karat pada logam. Identifikasi karat dan lokasi pertumbuhan mikroskop. Sedangkan mikroskop elektron transmisi (*Transmission Electron Microscope*) digunakan untuk masalah-masalah mikrobiologi.

Pemantauan laju korosi dilakukan dengan mencelupkan/memasukkan coupon sampel dalam media korosif dan diukur penurunan beratnya setiap periode waktu tertentu. Selain pengukuran laju korosi, juga dilakukan pemantauan keadaan/bentuk karat, lokasi kehidupan mikrobial dengan menggunakan mikroskop elektron susunan. Dalam tulisan ini akan disampaikan hasil pengamatan dan pemotretan bentuk karat dan lokasi kehidupan bakteri dalam karat.

III. PEMERIKSAAN STRUKTUR KARAT DAN MORFOLOGI BAKTERI DENGAN MIKROSKOP ELEKTRON

Ahli ilmu logam sering menggunakan mikroskop elektron untuk mempelajari sifat bahan, keadaan logam jadi, dan kerusakan akibat terjadinya karat maupun perengkahan. Jenis contoh yang dapat diperiksa mikroskop elektron bermacam-macam, di antaranya logam, keramik, batuan dan sebagainya.

Pemeriksaan lokasi kehidupan bakteri dalam karat dan bentuk bakteri dapat menggunakan mikroskop elektron transmisi.

Contoh logam yang akan diperiksa struktur karatnya dilapisi dulu dengan karbon dalam unit penguapan hampa (*vacuum evaporation unit*). Pelapisan ini dimaksudkan untuk mendapatkan konduktivitas yang diperlukan. Data contoh dari suatu titik ke titik yang lain diperkuat oleh video amplifier dan selanjutnya disinkronkan oleh *scanning circuit*. Gambar yang dihasilkan dapat

terlihat dalam layar monitor dan dapat diambil dengan suatu pemotretan.

Mempelajari bentuk karat, dimaksudkan untuk mengetahui: macam-macam bentuk kristal karat yang terbentuk; mengidentifikasi kristal karat yang terbentuk dengan membandingkan kristal standar; melihat lokasi tempat-tempat pertumbuhan mikrobial.

Struktur kristal karat yang terjadi adalah goethite (FeOOH), hematite (Fe_2O_3) dan magnetite (Fe_3O_4).

Bentuk kristal senyawa goethite (FeOOH) adalah batang, kristal magnetite berbentuk butiran bulat. bentuk kristal hematite (Fe_2O_3) dapat berbeda-beda tergantung dari pH lingkungan, lama reaksi dan pemakainya. Bentuk kristal ini adalah bentuk kubus, bulat panjang dan kadang-kadang piramida (Ailor, 1980).

Pemeriksaan morfologi bakteri dilakukan dengan alat mikroskop elektron transmisi yang ada di laboratorium Kimia Fisika Pusat Universitas Gadjah Mada.

IV. MEMPELAJARI BIODOROSI

Mempelajari dan membuktikan adanya peran mikrobial pada korosi logam dengan cara melihat pertumbuhan mikrobial pada permukaan logam dan dikaitkan dengan mekanisme korosi yang terjadi.

Kegiatan-kegiatan penelitian meliputi: menghitung laju pertumbuhan mikrobial yang berpengaruh pada proses biodorosi; mengukur laju korosi dan biodorosi; mempelajari bentuk karat dan mikrobial dengan mikroskop elektron.

Pengukuran laju korosi dengan cara penimbangan. Laju korosi atau biodorosi diukur pada setiap periode waktu tertentu.

Langkah-langkah pengukuran laju korosi adalah sebagai berikut: lempeng logam yang diambil pertama-tama dipakai untuk isolasi mikrobial yang tumbuh dipermukaan lempeng, kemudian dicuci dengan HCl 10% sampai bersih dari karat; setelah bersih ditimbang, selisih berat lempeng pada awal penimbangan dan setelah digunakan dalam percobaan serta ditambah dengan bilangan koreksi, adalah merupakan berat karat.

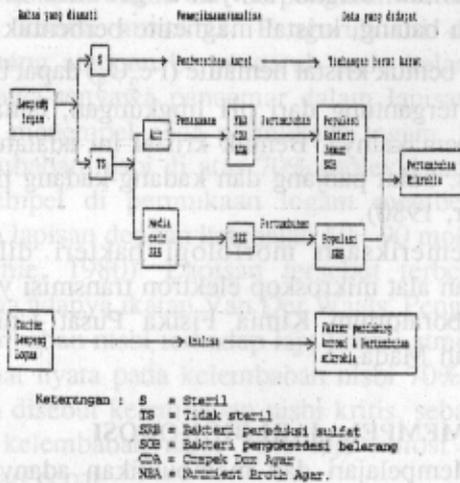
Penghitungan populasi mikrobial dilakukan dalam lingkungan yang steril. Penghitungan populasi mikrobial dengan metode plate count. Media yang digunakan adalah media padat, yaitu

Nutrient Broth Agar (NBA) yaitu media umum untuk bakteri total, *Czapek Dox Agar* (CDA) media umum untuk jamur dan media khusus untuk bakteri pengoksidasi belerang dan bakteri pereduksi sulfat.

Pengamatan morfologi bakteri dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron transmisi. Pemeriksaan struktur karat dilakukan dengan mikroskop elektron susunan (SEM).

Gambar 1.

Skema / bagan metode penelitian



Dari hasil studi terdahulu telah diketahui bahwa pengaruh mikrobial yang dominan dalam lingkungan produk minyak adalah bakteri belerang. Bakteri tersebut adalah dari jenis bakteri pereduksi sulfat (SRB) dan bakteri pengoksidasi belerang (SOB).

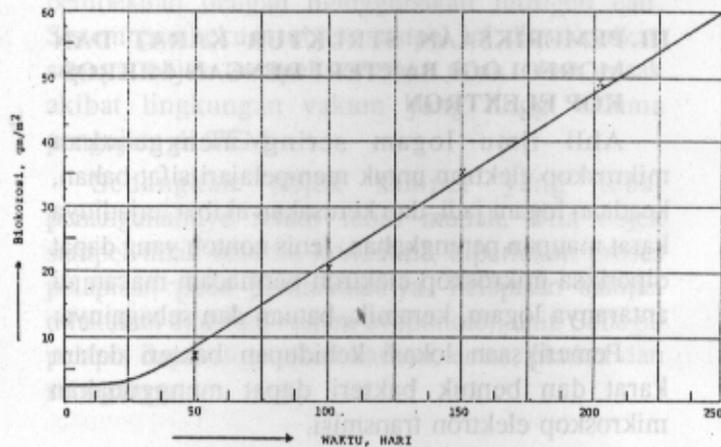
Pada Gambar 2 terlihat laju biokorosi yang terjadi dan dari studi yang telah dilakukan (Noegroho Hadi Hs., 1987) telah diketahui bahwa korosi terjadi pertama oleh adanya proses abiotik, baru setelah 30 hari terjadi korosi yang dimulai oleh jamur dan bakteri yang tumbuh. Setelah 50 hari laju korosi menjadi lebih cepat, sebab bakteri belerang sudah mulai aktif.

Hasil pemeriksaan struktur karat dengan mikroskop elektron dapat mengungkapkan bahwa proses korosi di sini dimulai dari terjadinya perengkakan pada permukaan logam, (lihat Gambar 3). Rengkan ini akan diisi dengan unsur-unsur hara sehingga mikrobial dapat tumbuh.

Mikroskop elektron transmisi tidak dapat untuk mengidentifikasi mikrobial, yang dilihat adalah bakteri yang ada dan pertumbuhannya gambar bakteri belerang dan pertumbuhannya dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 2.

Kurva persamaan garis biokorosi pada lempeng.



V. HASIL PENELITIAN

Pertumbuhan mikrobial pada permukaan lempeng logam contoh diikuti secara berkala. Waktu pemeriksaan laju pertumbuhan bersamaan dengan pengukuran laju korosi.

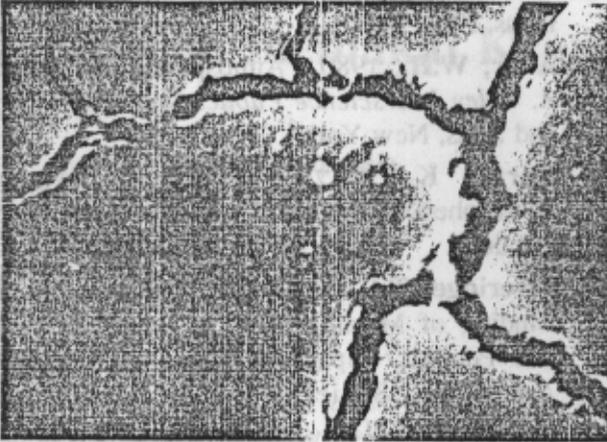
Pertumbuhan mikrobial yang diamati adalah bakteri total, jamur dan bakteri belerang.

Hasil pengamatan pertumbuhan mikrobial dapat disimpulkan dalam lingkungan ini adalah jamur dan bakteri total. Jamur dan bakteri yang mati dapat membantu pertumbuhan unsur hara sehingga dapat mempercepat pertumbuhan bakteri belerang (Davis, 1967).

Data pengamatan pertumbuhan mikrobial menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri belerang dalam lingkungan produk minyak, tidak saja tergantung dari jumlah kadar belerang dalam hidrokarbon, tetapi juga tergantung dari jenis garam belerang yang ada dan garam klorida. Kedua jenis garam tersebut dapat berpengaruh baik tetapi dapat juga merusak pertumbuhan jenis bakteri tersebut.

Gambar 3

Foto rengkahan pada permukaan lempeng logam merupakan awal terjadinya korosi. Foto SEM, perbesaran 10.000x.



Gambar 4.

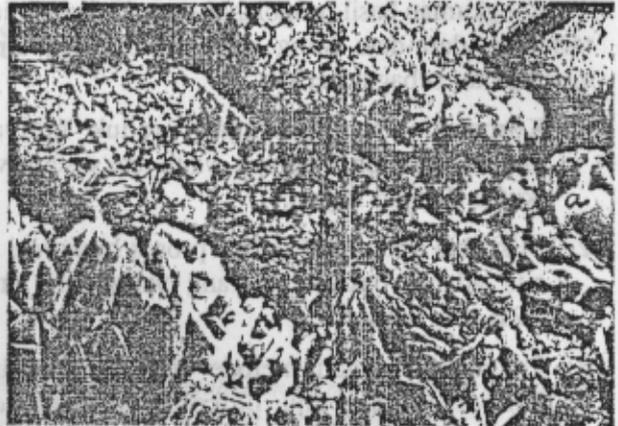
Foto bakteri belerang di dalam celah/lubang, karat. Foto Mikroskop Elektron, perbesaran 2.000x.



Gambar 5.

Foto kristal karat pada permukaan lempeng logam.

a). Kristal Hematite, b). Kristal Goethite, c). Magnetite. Foto SEM perbesaran 2.000x.



Gambar 6.

Foto karat berbentuk lubang (pitting) tempat bakteri dan unsur hara terperangkap. Foto SEM, perbesaran 2.000x.



Gambar 7.

Foto bakteri di dalam lubang-lubang karat foto Mikroskop Elektron, perbesaran 10.000x.



Korosi lanjut adalah reaksi logam dengan senyawa-senyawa kimia (asam) yang terbentuk karena adanya pertumbuhan mikrobial maupun senyawa kimia yang telah ada. Kristal-kristal karat yang terbentuk adalah berbentuk hematite (Fe_2O_3), dan kristal goethite (Fe_3O_4). Senyawa-senyawa FeS , FeS_4 maupun FeCl_2 yang terbentuk akan teroksidasi membentuk oksida-oksida besi tersebut (Gambar 5). Kristal hematite memiliki bermacam-macam struktur kristal, hal ini tergantung dari pH lingkungannya.

Lokasi pertumbuhan bakteri terlihat di dalam lubang-lubang maupun dalam rengkahan-rengkahan (Gambar 6 dan 7).

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Rangkuman hasil pengolahan data dan penelitian terhadap data-data yang didapat, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Korosi dalam lingkungan produk minyak dimulai dari korosi abiotik, yaitu reaksi senyawa ikutan dengan logam;
2. Mikrobia yang aktif dalam proses biokorosi di sini adalah bakteri belerang yaitu dari jenis SRB dan SOB;
3. Pengujian dengan metode statistik terhadap kelompok data laju biokorosi dan bakteri belerang, menyimpulkan bahwa besar kecilnya biokorosi dipengaruhi oleh populasi bakteri tersebut.

B. Saran

1. Biokorosi merupakan faktor yang perlu untuk diperhitungkan dalam penentuan nilai korosi;
2. Penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan industri yang ada.

KEPUSTAKAAN

1. Aiba, S. Humphrey, A.E., and Milles, N.E., 1965, "Biochemical Engineering", Academic Press, New York.
2. Ailor, W.H., 1980, "Atmospheric Corrosion" A. Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York.
3. Barto, K., 1972, "Petrotecton Againt Atmospheric Corrosion", John Weley and Sons, London.
4. Beveridge, T.J., 1983, "Mechanisme of the Binding of Metallic Lons to Bacterial Walls and Possible Impact on Microbial Ecology" American Society for Microbiology, Washington D.C.
5. Bugar, D.M., 1997, "Corrosion Control", J., Metal Finishing.
6. Davis, J.B., 1967, "Petroleum Microbiology" Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
7. Noegroho Hadi Hs., 1987, "Proses Biokorosi Atmosfer pada logam baja lunak di kilang minyak Cilacap", UGM, Jogjakarta.
8. Rosjati Nur, 1988, "Mikroskop Elektron dan Kegunaannya dalam Eksploitasi Minyak dan Gas Bumi", *Majalah LPL* Jakarta.