

PENELITIAN BIKOROSI ATMOSFIR PADA BAJA LUNAK DI CILACAP

Oleh :

Wahjudi Wisaksono

Noegroho Hadi

SARI.

Kilang minyak Cilacap yang lama dipergunakan untuk mengolah minyak mentah Arab Saudi. Minyak mentah tersebut memiliki kadar belerang yang tinggi, yaitu lebih dari 1% berat. Kilang minyaknya adalah di dekat pantai dan terletak pada kawasan industri. Dari hasil pengamatan dan analisa udara, diketahui bahwa daerah Cilacap memiliki kelembaban nisbi diatas 70%. Selain dari itu udara kota tersebut mengandung senyawa SO_x , H_2S , merkaptan dan partikel kimia dan senyawa-senyawa tersebut berpengaruh terhadap korosi atmosfer.

Terbentuknya karat dan adanya senyawa kimia yang terendap pada karat merupakan titik awal dari usaha-usaha untuk mengetahui mekanisme biokorosi. Telah diketahui bahwa mikroba dapat meningkatkan laju korosi, misalnya pada tanah dan air. Penelitian yang dilakukan meliputi: mempelajari fenomena korosi atmosfer di daerah tropis, dengan mempelajari laju korosi atmosfer, pertumbuhan mikroba pada permukaan lempeng logam contoh dan mempelajari mekanisme atmosfer.

Penelitian tadi menunjukkan bahwa korosi atmosfer di Cilacap, terdiri dari korosi kimiawi dan korosi oleh mikroba (biokorosi), yang dipindahkan akibat adanya aliran udara. Mikroba dapat meningkatkan laju korosi atmosfer sampai 60% diatas korosi kimiawi, dalam jangka waktu dua tahun percobaan.

ABSTRACT.

The old oil refinery at Cilacap is used to process Saudi Arabian crude oil having a high sulphur content of more than 1% by weight. This oil refinery is located close to the coast in an industrial area. From the results of observations and analysis of the air it is known that Cilacap area has a relative humidity of more than 70%, and its air contains SO_x , H_2S , mercapthane and other chemical particles. The presence of such substances has influence on atmospheric corrosion.

The formation of rust and the presence of chemical compounds that settle upon give rise to the growth of microbes. It is already known that microbes can increase the rate of corrosion process. Research into atmospheric corrosion at Cilacap oil refinery conducted includes: Studying the pheno-

mena of atmospheric corrosion and atmospheric biocorrosion, studying the rate of corrosion in tropical regions by learning the rate of corrosion and atmospheric biocorrosion, studying the growth of microbes on the surfaces of steel coupons and studying atmospheric corrosion mechanisms.

Results of the research indicate that microbes are able to increase the rate at which atmospheric corrosion takes place by up to 60% in a test conducted over a period of two years.

I. PENGANTAR

Penelitian korosi atmosfer pada baja lunak di Cilacap dilakukan mengingat kilang lama digunakan untuk mengolah minyak mentah Arabian Light Crude Oil yang mempunyai kandungan belerang tinggi. Selain itu keadaan lingkungannya juga membantu terjadinya proses korosi atmosfer. Daerah Cilacap mempunyai kelembaban nisbi di atas kelembaban nisbi kritis (70%) dan curah hujan tinggi.

Penyebab korosi pada baja lunak di tanah disebabkan oleh bahan-bahan kimia, baik yang berada di tanah maupun yang dihasilkan sebagai akibat metabolisme mikroba. Untuk mempelajari masalah korosi atmosfer yang mungkin dibantu oleh peran mikroba (*biokorosi*), perlu memperhatikan faktor lingkungan dan faktor-faktor yang mendukung kehidupan mikroba.

Temperatur udara berpengaruh terhadap kelembaban nisbi dan laju korosi atmosfer, terutama pada udara yang mengandung SO_2 (Sanyal, *et al.* 1959).

Senyawa-senyawa pencemar yang ada di udara terutama berasal dari pembakaran bahan bakar, proses-proses dalam industri kimia dan kegiatan pertumbuhan mikroba. (Robinson, *et al.* 1960). Udara Cilacap banyak mengandung senyawa SO_x , CO_2 , H_2S , merkaptan dan partikel dalam bentuk aerosol dari kilang minyak dan industri kimia di sekitarnya. Senyawa SO_2 dan klorida adalah penyebab korosi atmosfer kimia yang paling aktif dan kemudian diikuti oleh senyawa NO_x , NH_3 , H_2S (Sereda, 1974). Partikel yang ada di udara dapat membantu proses korosi. Partikel dapat mempercepat proses pengkaratan bila ada senyawa SO_2 (Vernon, 1935). Partikel garam NaCl pada temperatur 40°C dan kelembaban nisbi 83% sangat berpengaruh pada proses korosi atmosfer dan kemudian dikikuti partikel garam NH_4Cl (Preston, 1959).

Partikel garam tertentu dapat berfungsi sebagai unsur hara untuk pertumbuhan mikroba, sehubungan dengan itu perlu dipelajari fenomenanya pada korosi atmosfer. Bila pada permukaan logam terdapat pertumbuhan mikroba, proses korosinya dapat dipercepat oleh peran pertumbuhan mikroba tersebut, proses ini disebut biokorosi.

Selain itu biokorosi juga telah dibuktikan, terjadi pada batu pada salah satu monumen kebudayaan kita, yaitu Candi Borobudur.

Penelitian ini dimaksudkan untuk membuktikan dan mengungkap peranan mikroba pada proses korosi atmosfer. Pengamatannya dilakukan selama dua tahun.

Mempelajari biokorosi harus memperhatikan habitat dan biokimianya. Kerusakan logam ataupun karat yang terbentuk bukan disebabkan oleh karena termakan mikroba, tetapi oleh senyawa kimia yang dihasilkan mikroba tersebut. Perlu ditentukan pula apakah biokorosi atmosfer terjadi setelah adanya karat hasil reaksi elektrokimia atau kimia. Karat yang terbentuk mungkin dipakai sebagai sarang bagi pertumbuhan mikroba dan perangkap bagi unsur hara dari udara.

Dalam setiap sistem biologis, pertumbuhan dapat didefinisikan sebagai penambahan semua komponen kimiawi secara beraturan. Pada media yang berisi cukup unsur hara, dapat dicapai tumbuh berimbang. Suatu bakteri yang menjalani pertumbuhan berimbang akan sesuai dengan reaksi kimia autokatalitik pertama, yaitu laju penambahan bakteri pada setiap waktu perbandingan lurus dengan jumlah atau masa bakteri yang ada pada waktu itu (Stanier, *et al.* 1970).

II. METODE DAN BAHAN PENELITIAN

Faktor yang mempengaruhi korosi atmosfer di Cilacap adalah oleh keadaan atmosfer,

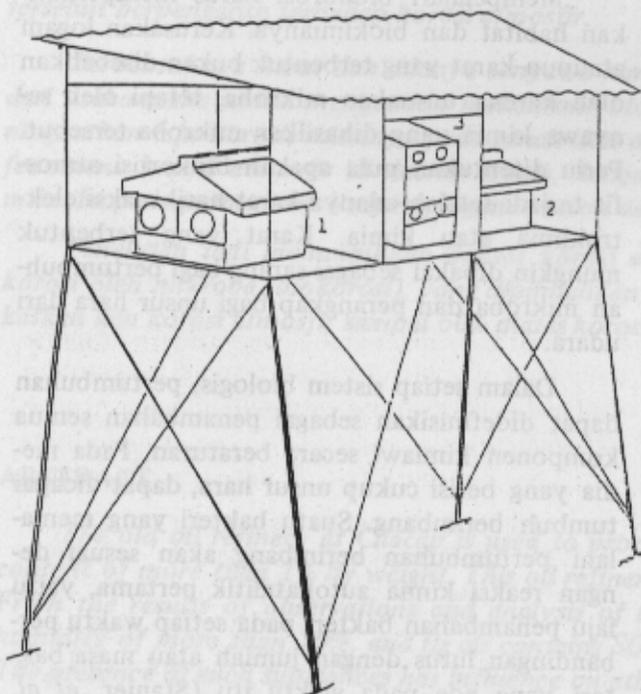
senyawa pencemar udara dan pertumbuhan mikroba. Adanya biokorosi atmosfer dilakukan dengan memantau korosi atmosfer pada keadaan steril dan tidak steril. Hasil pemantauan dari lapangan dianalisa di laboratorium.

Perencanaan dan pengujian peralatan yang digunakan memakan waktu enam bulan.

Satu unit rumah pengamat dilengkapi dengan tiga ruang (lihat gambar 1) :

1. Dua ruang untuk tempat dua kotak yang bentuk dan ukurannya sama. Satu kotak dibuat selalu steril dengan lampu *ultra violet*, kotak lainnya dibiarkan tidak steril.
2. Satu ruang di tengah tidak steril digunakan untuk meletakkan cawan-cawan petri yang berisi logam contoh steril, hygograph dan lain-lain.

Rumah pengamat tersebut dipasang pada ketinggian dua meter sampai lima meter dari permukaan tanah. Dinding rumah pengamat ditutup dengan kawat nyamuk untuk menghindari masuknya serangga dan kupu-kupu, tetapi



Gambar 1. Unit rumah pengamat korosi atmosfer

Keterangan Gambar :

1. Kotak tempat lempeng logam contoh tidak steril.
2. Kotak tempat lempeng logam contoh steril.
3. Tempat cawan petri.

udara dapat masuk dengan baik.

Kotak-kotak diberi ventilasi yang cukup supaya udara dapat masuk dengan sempurna. Logam yang diuji adalah baja lunak (*mild steel*) buatan PT. Krakatau Steel.

Benda uji dibuat lempeng (*coupon*) dengan ukuran 1" x 3" x 1/8". Lempeng logam tersebut dibuat halus, bersih dan rata pada semua permukaannya. Penggunaan baja lunak sebagai benda uji, disebabkan bahan semacam itu banyak digunakan untuk peralatan-peralatan yang tidak memerlukan temperatur tinggi, seperti tangki-tangki penimbun minyak mentah maupun minyak hasil pengolahan.

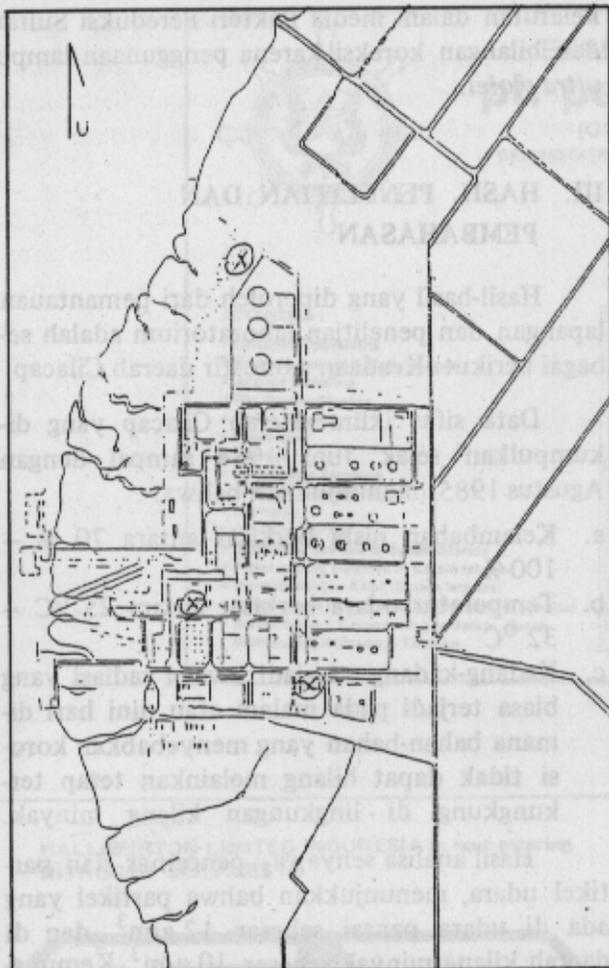
Peralatan yang dipergunakan di laboratorium di antaranya : *Atomic Absorption Spectrophotometer*, Perkin Elmer, untuk memeriksa kadar logam dan peralatan analisa lainnya. *Scanning Electron Microscope (SEM)*, Jeol JSM 35 CF, digunakan untuk; pengamatan morfologi karat, mengikuti mekanisme proses pengkaratan dan mempelajari tempat pertumbuhan mikroba.

Media yang dipakai untuk mempelajari laju pertumbuhan mikroba adalah : NBA (*Nutrient Broth Agar*) untuk total bakteri, CDA (*Czapek Dox Agar*) untuk jamur dan media khusus untuk bakteri pengoksidasi belerang dan bakteri pereduksi sulfat.

Semua penimbangan lempeng logam contoh dilakukan dengan alat timbang yang tetap.

Lokasi

Penelitian dilakukan dengan memantau laju korosi atmosfer pada lempeng-lempeng baja lunak yang disebabkan atmosfer steril dan atmosfer tidak steril di daerah kilang minyak Cilacap. Pemantauan lapangan menggunakan tiga unit rumah pengamat, dua unit rumah pengamat dipasang di area pengilangan minyak (gambar 2), dan satu unit dipasang di pantai (area 70), seperti gambar 3. Lokasi pengamatan adalah pantai pelabuhan minyak dan di dalam daerah pengilangan minyak. Di daerah kilang minyak pengamatan pada dua lokasi, yaitu daerah tempat pengiriman minyak di pinggir sungai Donan (area OM) dan daerah perbengkelan di dekat tangki-tangki penimbun minyak ringan (area 44).

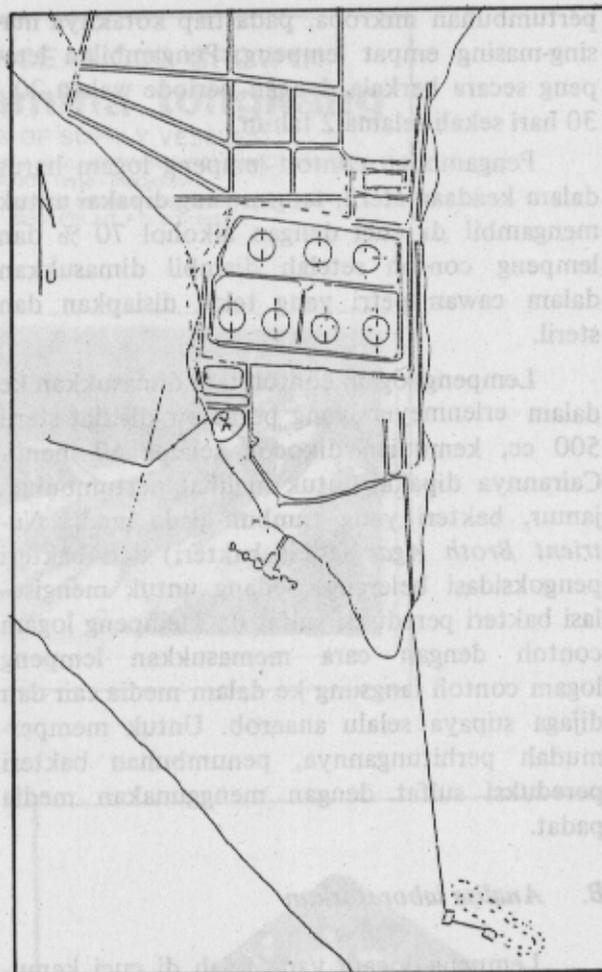


Gambar 2. Lokasi pemasangan rumah pengamat korosi (X) di area kilang minyak.

Satu unit rumah pengamat yang dipasang di pantai memantau laju korosi dan biokorosi atmosfer yang dipengaruhi selain oleh udara laut juga oleh gas-gas hidrokarbon yang keluar dari tangki minyak mentah sebagai akibat sistem pernapasan tangki dan partikel kimia yang terbawa oleh angin. Dua unit rumah pengamat yang dipasang di area kilang minyak dimaksudkan untuk mengamati korosi dan biokorosi atmosfer yang disebabkan oleh gas buangan proses, sisa pembakaran bahan bakar (*flue gas*), dan partikel di industri sekitarnya.

A. Metode penelitian

Penelitian dilakukan melalui pemantauan laju korosi atmosfer di lapangan dan penelitian laboratorium selama dua tahun. Pemantauan laju biokorosi atmosfer di lapangan.



Gambar 3. Lokasi rumah pengamat korosi atmosfer (X) di pinggir pantai/pelabuhan minyak.

Ruang lingkup pemantauan di lapangan mencakup di antaranya :

1. Pengumpulan data cuaca daerah Cilacap, yaitu curah hujan, kelembaban nisbi, arah angin dan temperatur udara.
2. Pengamatan dan pengambilan lempeng logam contoh secara berkala di setiap lokasi pengujian. Pengambilan lempeng logam secara berkala dimaksudkan untuk mengukur laju korosi dan laju pertumbuhan mikroba.
3. Pengambilan contoh senyawa pencemar, partikel kabut dari udara serta air hujan.

Pemantauan laju korosi dilakukan dengan memasang 1200 lempeng logam contoh yang digantung di kotak-kotak steril maupun tidak steril dalam tiga unit rumah pengamat korosi atmosfer. Jumlah lempeng logam contoh yang diambil untuk perhitungan laju korosi dan laju

pertumbuhan mikroba, pada tiap kotaknya masing-masing empat lempeng. Pengambilan lempeng secara berkala dengan periode waktu 20 - 30 hari sekali selama 2 tahun.

Pengambilan contoh lempeng logam harus dalam keadaan steril, tangan yang dipakai untuk mengambil di cuci dengan alkohol 70 % dan lempeng contoh setelah diambil dimasukkan dalam cawan petri yang telah disiapkan dan steril.

Lempeng logam contoh tadi dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi air distilat steril 500 cc, kemudian dikocok selama 60 menit. Cairannya dipakai untuk melihat pertumbuhan jamur, bakteri yang tumbuh pada media *Nutrient Broth Agar* (total bakteri) dan bakteri pengoksidasi belerang. Sedang untuk mengisolasi bakteri pereduksi sulfat dari lempeng logam contoh dengan cara memasukkan lempeng logam contoh langsung ke dalam media cair dan dijaga supaya selalu anaerob. Untuk mempermudah perhitungannya, penumbuhan bakteri pereduksi sulfat dengan menggunakan media padat.

B. Analisa laboratorium

Lempeng logam yang telah di cuci kemudian dibersihkan karatnya dengan HCl 10 % selama satu menit, selanjutnya disikat sehingga karatnya hilang. Lempeng kemudian dicuci dengan air distilat dan acetone. Keringkan dan ditimbang sampai berat tetap. Selisih berat antara berat awal lempeng dan berat lempeng setelah bersih dari karat merupakan penurunan berat karena korosi.

Analisa senyawa kimia dilakukan dengan beberapa metode dan peralatan. Analisa kandungan logam dengan mempergunakan AAS, sedang anion dengan titrasi atau gravimetri dan lain-lain.

C. Cara pengukuran dan penimbangan

Pengukuran berat karat pada lempeng logam dengan alat timbangan yang tetap, Mettler H- 35. Untuk mendapatkan berat yang sebenarnya perlu dimasukkan bilangan koreksi seperti, bilangan koreksi karena kelarutan bahan pencuci karat (HCl 10 %), bilangan koreksi

kelarutan dalam media Bakteri Pereduksi Sulfat dan bilangan koreksi karena penggunaan lampu *ultra violet*.

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil yang diperoleh dari pemantauan lapangan dan penelitian laboratorium adalah sebagai berikut: Keadaan atmosfer daerah Cilacap

Data sifat iklim daerah Cilacap yang dikumpulkan sejak Juni 1984 sampai dengan Agustus 1985, menunjukkan bahwa:

- Kelembaban nisbi berkisar antara 70 % - 100 %
- Temperatur udara berkisar antara 25 °C - 32 °C
- Kadang-kadang terjadi inversi radiasi yang biasa terjadi pada malam atau dini hari dimana bahan-bahan yang menyebabkan korosi tidak dapat hilang melainkan tetap terkungkung di lingkungan kilang minyak.

Hasil analisa senyawa pencemar dan partikel udara, menunjukkan bahwa partikel yang ada di udara pantai sebesar 12 g/m³ dan di daerah kilang minyak sebesar 10 g/m³. Kemungkinan besar partikel-partikel tersebut datang dari industri di sekitar pengilangan minyak.

Hasil analisa partikel yang dapat ditangkap dengan saringan 0.45 u sebagai tercantum pada tabel 1.

Bila dibandingkan hasil korosi pada lempeng logam contoh, yang terdapat di kotak steril dan tidak steril (gambar 4, gambar 5 dan gambar 6) untuk ketiga lokasi, maka terlihat dengan jelas bahwa korosi atmosfer tersebut terjadi sebagaimana kejadian sehari-hari. Proses korosi yang terjadi pada kondisi tidak steril ada dua komponen yang berperan, yaitu komponen kimiawi yang terjadi pada kondisi steril dan korosi yang disebabkan oleh agensia biotik yang dapat bekerja pada kondisi tidak steril.

Senyawa kimia yang ada di lempeng logam contoh dianalisa untuk melihat daya dukung lingkungan yang diperlukan bagi pertumbuhan mikroba. Bahan yang diperiksa adalah air cucian lempeng logam contoh.



EXPERIENCE IS OUR GROWTH pt. pertamina tongkang

(OWNERS OF SUPPLY VESSELS)

GEDUNG PATRA LANTAI 11 & 12 JL. JENDERAL GATOT SUBROTO KAV. 22-34

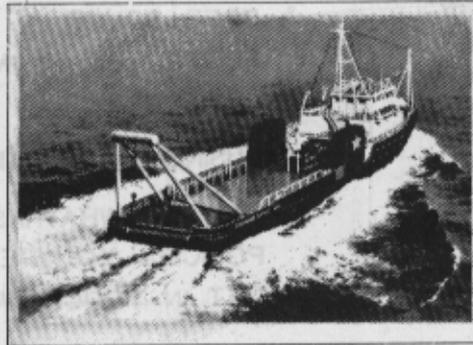
JAKARTA 12950 - INDONESIA

PHONE : 515206, 515504, 515364, 515349

TELEX : 62661 PTK JKT, P. O. BOX 265 JKT

ACTIVITIES :

- Offshore Operations
- Transportations & Bulk Supplies
- Anchor Handling
- Rig Towing/Moving
- Ocean Towing
- Chartering
- Salvage
- Underwater Services
- Terminal Operations
- Agencies
- Offshore Survey
- Bunkering services in Batam Islands
- Water supply services in Batam Islands
- Warehousing in Kabil (Batam Islands)
- Office space rent in Batu Ampar (Batam Islands)
- Stevedoring & Cargodoring in Batam, Merak, Balikpapan, Bontang & Tarakan



HALLIBURTON LIMITED INDONESIA is now offering
NITROGEN SERVICES for



- | | |
|----------------------|-------------------|
| * FOAM CLEANER | * FOAM FRAC |
| * FOAM CEMENT | * DRILL STEM TEST |
| * FOAM ACID | * GAS LIFTING |
| * NITROFIED TREATING | |

(For Quick Recovery)

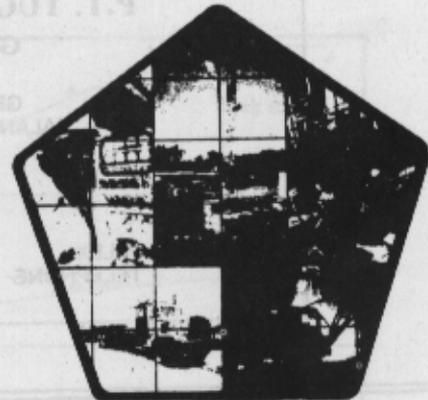
Engineered computerized design available on
all aspects of NITROGEN SERVICES

Office Address :

P.T. HALLIBURTON INDONESIA JL. Kemang
Bangka I No. 28 Jakarta Selatan - Indonesia
Tromolpos 15/JKT.

Tel : 7996223 - 7996224 - 7993201 .

Telex : 48264/HOWCO IA



PRESTASI

- | | |
|--|---|
| * Keahlian dan pengalaman dalam manajemen dan pelaksanaan. | * Alat Pengboran Konvensional |
| * Alat Pengboran yang dapat diangkat Helicopter | * Pengboran yang efisien hingga kedalaman 20.000 kaki |
| * Pengboran yang efisien hingga kedalaman 15.000 kaki | * Armada angkutan lapangan minyak dan Alat-alat berat |
| | * Peralatan2 bermutu tinggi siap melaksanakan tugas secara profesional. |



MEDCO

PT META EPSI DRILLING COMPANY
Jl. Madun No. 12
Telepon : 348900, 381137, 381168
Telex : 45066
P.O. Box : 4311 JKT1001.

PERUSAHAAN NASIONAL yang mengutamakan PRESTASI



SELAIN DARI ASURANSI MINYAK DAN GAS BUMI,
KAMI JUGA MEMBERIKAN PERLINDUNGAN ATAS
HARTA DAN NYAWA. MILIKILAH POLIS ASURANSI
TUGU PRATAMA INDONESIA (TPI)

SAFE SOUND
PROTECTED FROM RISKS
TPI MAKES SURE YOUR
BUSINESS STAYS THAT WAY
FIND OUT WHAT INSURANCE
POLICIES YOU REQUIRE
GET IN TOUCH WITH



**P.T. TUGU PRATAMA INDONESIA
GENERAL INSURANCE**

GEDUNG PATRA, 1ST FLOOR
JALAN GATOT SUBROTO KAV. 32 - 34
JAKARTA SELATAN
INDONESIA

TELEX : 44699 - 45337 GUTAMA IA
TELEPHONE : 512041, 512293, 512468, 512654

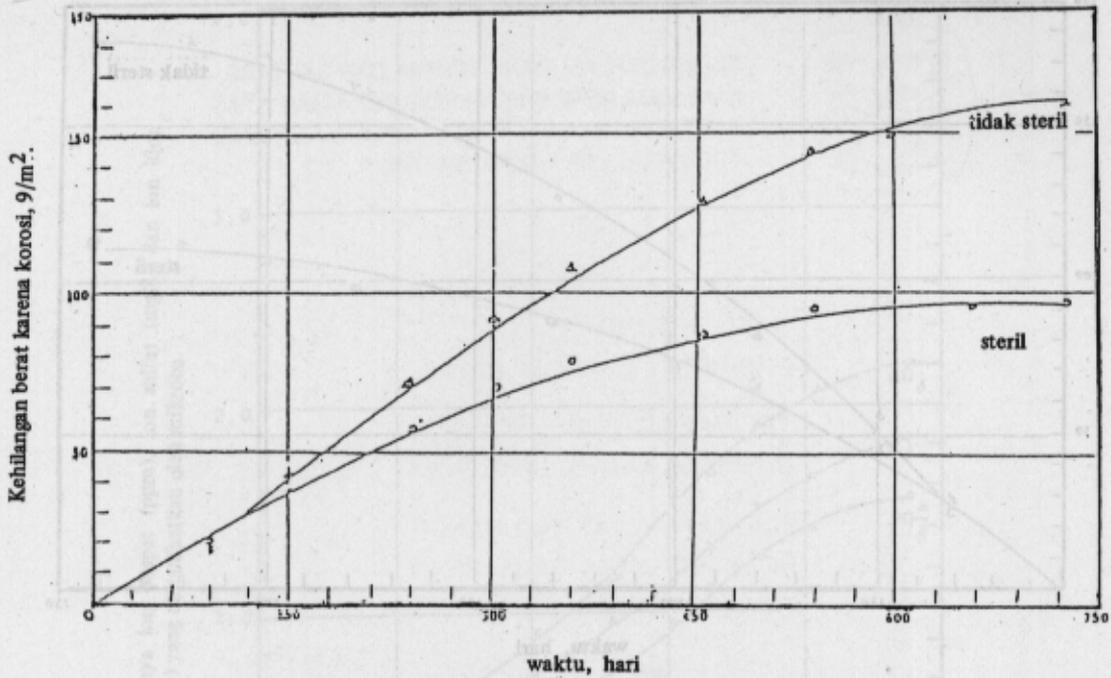


**A SYMBOL OF COOPERATION
FOR
THE PROGRESS AND DEVELOPMENT
OF
INDONESIA**

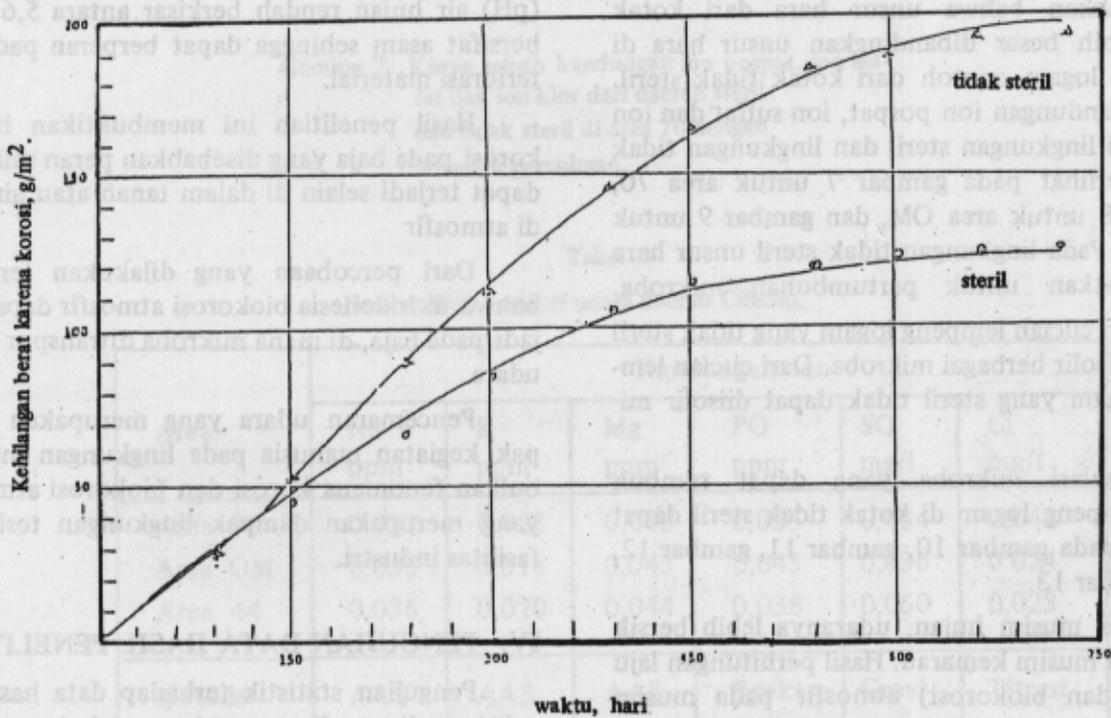


RATU PLAZA Office Tower - 7TH Floor
Jl. Jendral Sudirman, Senayan
JAKARTA
Tel. 737344 (Hunting System)
Telex No. 47335 UNION IA

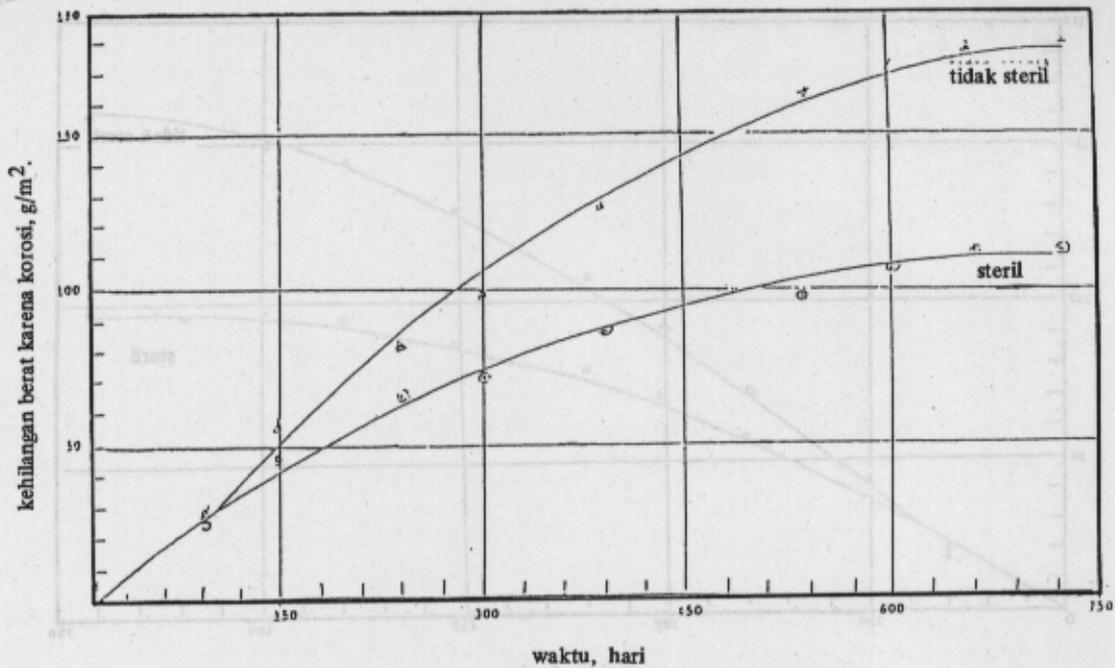
PASIR RIDGE
P.O.Box 76
BALIKPAPAN
EAST KALIMANTAN



Gambar 4. Kurva hubungan kehilangan berat karena korosi dengan waktu di area 70.



Gambar 5. Kurva hubungan kehilangan berat karena korosi dengan waktu di area OM



Gambar 6. Kurva hubungan kehilangan berat karena korosi dengan waktu di area 44.

Bila dibandingkan kandungan kation dan anion yang ada pada lempeng logam contoh menunjukkan bahwa unsur hara dari kotak steril lebih besar dibandingkan unsur hara di lempeng logam contoh dari kotak tidak steril. Selisih kandungan ion pospat, ion sulfat dan ion klor dari lingkungan steril dan lingkungan tidak steril, terlihat pada gambar 7 untuk area 70, gambar 8 untuk area OM, dan gambar 9 untuk area 44. Pada lingkungan tidak steril unsur hara dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroba.

Dari cucian lempeng logam yang tidak steril dapat diisolir berbagai mikroba. Dari cucian lempeng logam yang steril tidak dapat diisolir mikroba.

Populasi mikroba yang dapat tumbuh pada lempeng logam di kotak tidak steril dapat terlihat pada gambar 10, gambar 11, gambar 12, dan gambar 13.

Pada musim hujan, udaranya lebih bersih dari pada musim kemarau. Hasil perhitungan laju korosi (dan biokorosi) atmosfer pada musim hujan lebih rendah 30 % dari pada laju korosi dan biokorosi atmosfer pada musim kemarau. Hal ini disebabkan senyawa pencemar yang ada di udara sebagian akan larut dalam air hujan

dan juga berkurangnya unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroba. Keasaman (pH) air hujan rendah berkisar antara 5,6 - 5,8 bersifat asam sehingga dapat berperan pada deteriorasi material.

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa korosi pada baja yang disebabkan peran mikroba dapat terjadi selain di dalam tanah atau air juga di atmosfer

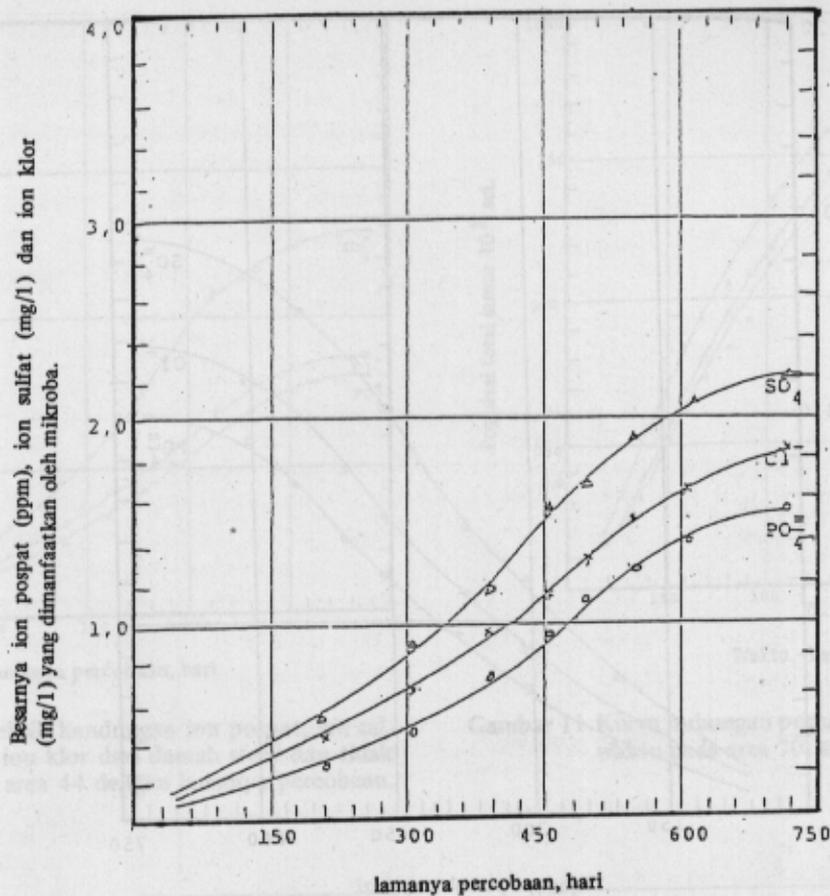
Dari percobaan yang dilakukan terbukti bahwa di Indonesia biokorosi atmosfer dapat terjadi pada baja, di mana mikroba ditranspor lewat udara.

Pencemaran udara yang merupakan dampak kegiatan manusia pada lingkungan menimbulkan fenomena korosi dan biokorosi atmosfer yang merupakan dampak lingkungan terhadap fasilitas industri.

IV. PENGUJIAN DATA HASIL PENELITIAN

Pengujian statistik terhadap data hasil penelitian, dimasukkan untuk menjelaskan mekanisme korosi atmosfer dan peran mikroba yang ada di dalamnya.

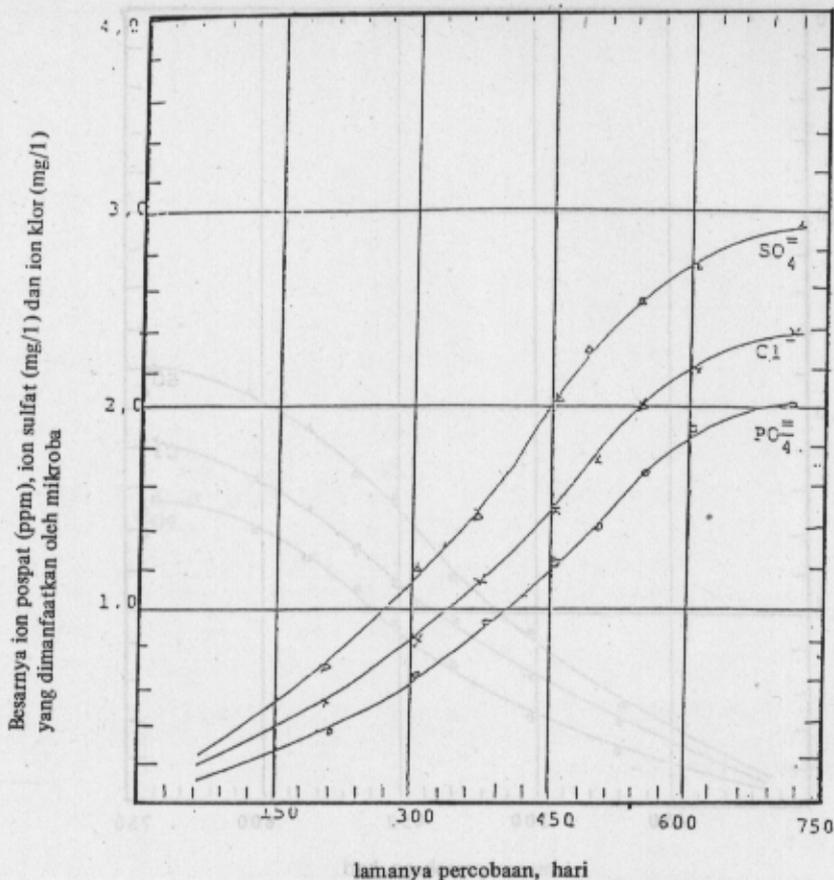
Hasil perhitungan mendapatkan data sebagai



Gambar 7. Kurva selisih kandungan ion pospat, ion sulfat dan ion klor dari daerah steril dan tidak steril di area 70 dengan lamanya percobaan.

Tabel 1
Hasil analisis partikel udara daerah Cilacap.

Area	Kandungan ion					
	Na ppm	K ppm	Mg ppm	PO ppm	SO mg/l	Cl mg/l
Area 70	0,032	0,023	0,048	0,035	0,054	0,042
Area OM	0,035	0,018	0,043	0,043	0,036	0,024
Area 44	0,036	0,020	0,044	0,038	0,060	0,023
Metode	AAS	AAS	AAS	Spektro fotometri	Gravimetri	Titrisasi



Gambar 8. Kurva selisih kandungan ion pospat, ion sulfat dan ion klor dari daerah steril dan tidak steril di area OM dengan lamanya percobaan.

berikut:

1. Hasil uji nilai pukul rata dan uji variansi terhadap kelompok data laju biokorosi dan laju pertumbuhan populasi bakteri pengoksidasi belerang dan bakteri pereduksi sulfat dari ketiga lokasi pengamatan, menunjukkan bahwa kelompok data dari ketiga lokasi tersebut, sama. Berarti bahwa pengaruh pertumbuhan bakteri belerang tersebut terhadap laju biokorosi pada lokasi percobaan sama. Atas dasar hasil pengujian tersebut, dapat dibuat suatu model regresi hubungan laju biokorosi dengan populasi bakteri belerang dengan cara menggabungkan/merata-ratakan data dari ketiga lokasi tersebut.

Persamaan regresi berbentuk garis lurus, sebagai berikut:

$$Y = 0.0081 + 0.000033 n$$

nilai korelasi (r) = 0.9939

Bahwa Y adalah laju biokorosi, g/m^2 hari. n adalah populasi bakteri belerang, sel/hari.

1. Kinetika korosi atmosfer dapat dihitung dengan rumus umum untuk korosi atmosfer, yaitu $Y = AX^B$. Pada pengujian nilai pukul rata dan uji variansi terhadap data biokorosi dan waktu, menyimpulkan bahwa nilai pukul rata dan variansi, sama. Atas dasar pengujian tersebut, dapat dihitung model korosi atmosfer di Cilacap dalam lingkungan steril, sebagai berikut:

$$Y = 81,08 X^{0,53}, \text{ nilai korelasi } (r) = 0.9807$$

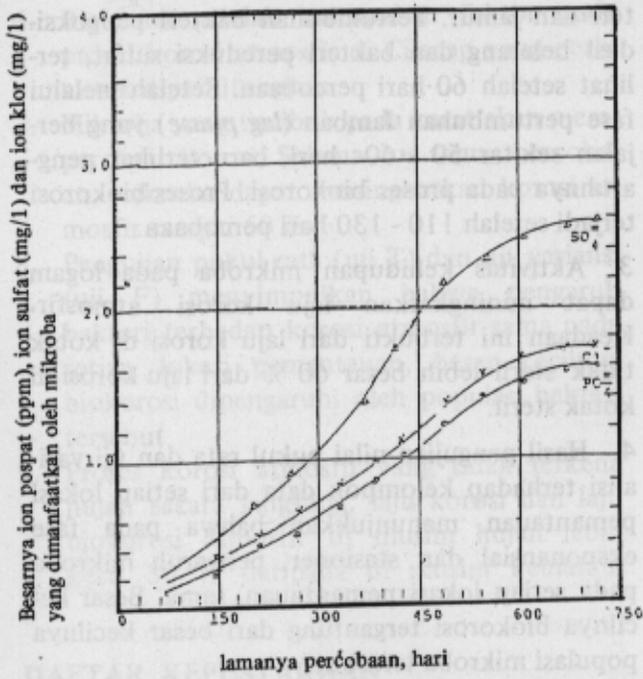
Y adalah biokorosi g/m^2

X adalah waktu, tahun

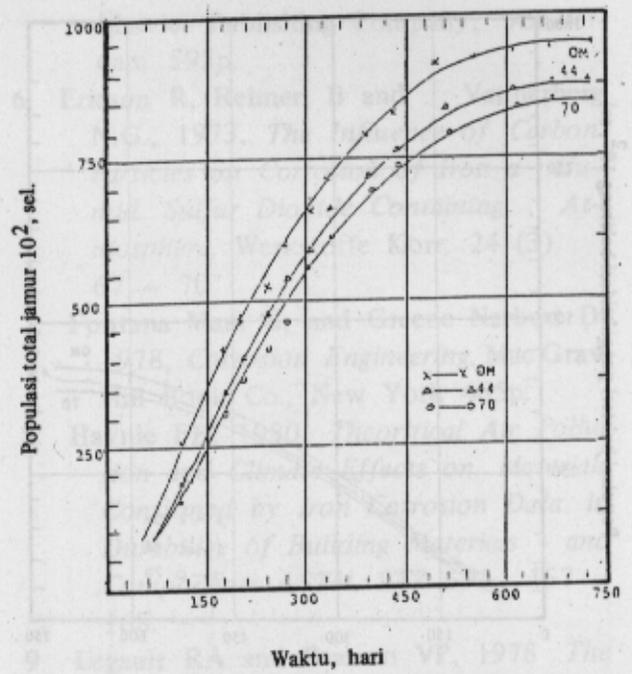
Kinetika biokorosi atmosfer dibuat dalam dua persamaan, yaitu persamaan garis pada fase eksponensial dan persamaan garis pada fase stasioner. Persamaan garis dari ketiga lokasi pengamatan adalah:

a. Persamaan garis pengaruh pertumbuhan bakteri belerang pada fase eksponensial adalah:

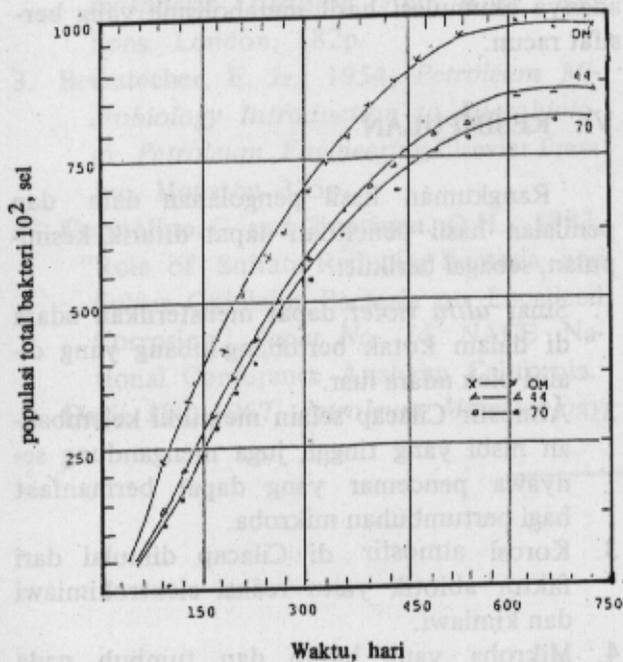
$$Y = 32,5X^{1,7} \text{ nilai korelasi } (r) = 0.9975$$



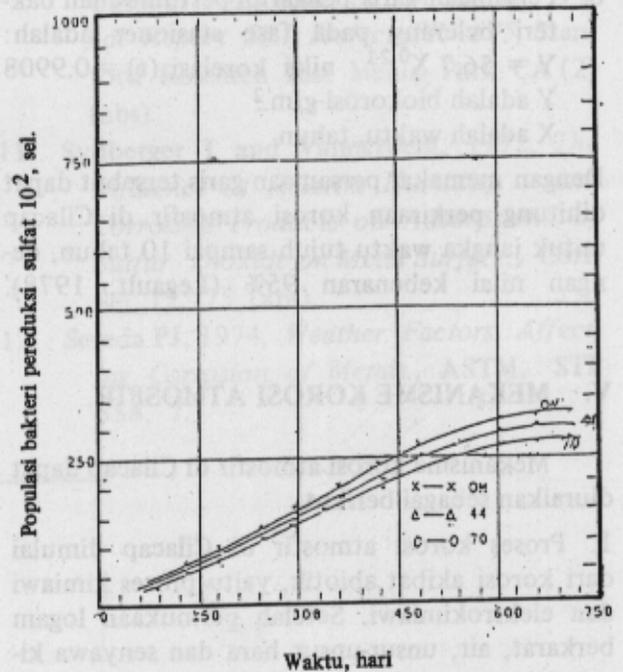
Gambar 9. Kurva selisih kandungan ion pospat, ion sulfat dan ion klor dari daerah steril dan tidak steril di area 44 dengan lamanya percobaan.



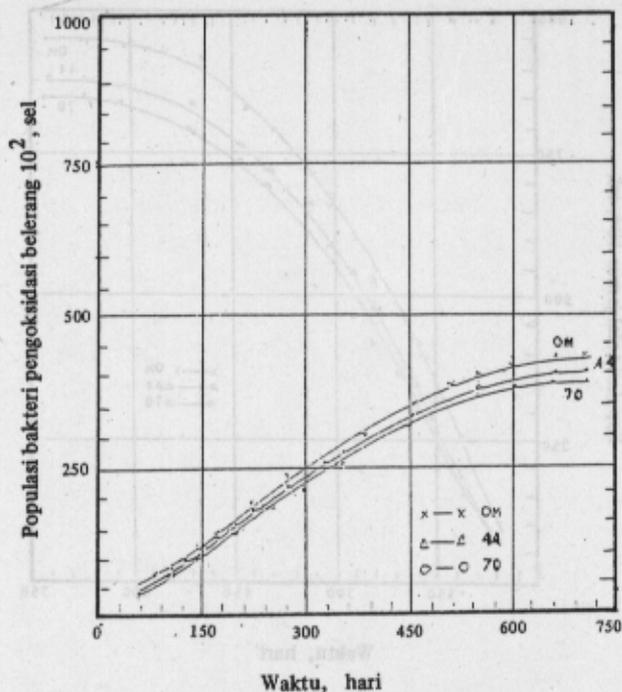
Gambar 11. Kurva hubungan populasi total jamur dengan waktu pada area 70, area OM dan area 44.



Gambar 10. Kurva hubungan populasi total bakteri dengan waktu pada area 70, area OM dan area 44.



Gambar 12. Kurva hubungan populasi bakteri pereduksi sulfat dengan waktu pada area 70, area OM dan area 44.



Gambar 13. Kurva hubungan populasi bakteri pengoksidasi belerang dengan waktu pada area 70, area OM dan area 44.

- b. Persamaan garis pengaruh pertumbuhan bakteri belerang pada fase stasioner adalah: $Y = 56,7 X^{0,23}$ nilai korelasi (r) = 0.9908
 Y adalah biokorosi g/m^2
 X adalah waktu, tahun

Dengan memakai persamaan garis tersebut dapat dihitung perkiraan korosi atmosfer di Cilacap untuk jangka waktu tujuh sampai 10 tahun, dengan nilai kebenaran 95% (Legault, 1978).

V. MEKANISME KOROSI ATMOSFIR

Mekanisme korosi atmosfer di Cilacap dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Proses korosi atmosfer di Cilacap dimulai dari korosi akibat abiotik, yaitu proses kimiawi dan elektrokimiawi. Setelah permukaan logam berkarat, air, unsur-unsur hara dan senyawa kimia lainnya yang mengendap, terperangkap pada pori-pori karat. Lingkungan semacam ini memungkinkan untuk pertumbuhan mikroba.
2. Mikroba yang dapat tumbuh di permukaan lempeng logam contoh adalah bakteri pengoksidasi belerang, bakteri pereduksi sulfat, total bak-

teri dan jamur. Pertumbuhan bakteri pengoksidasi belerang dan bakteri pereduksi sulfat, terlihat setelah 60 hari percobaan. Setelah melalui fase pertumbuhan lambat (*lag phase*) yang berjalan sekitar 50 - 60 hari, baru terlihat pengaruhnya pada proses biokorosi. Proses biokorosi terjadi setelah 110 - 130 hari percobaan.

3. Aktivitas kehidupan mikroba pada logam dapat meningkatkan laju korosi atmosfer. Keadaan ini terbukti dari laju korosi di kotak tidak steril lebih besar 60 % dari laju korosi di kotak steril.

4. Hasil pengujian nilai pukul rata dan uji variansi terhadap kelompok data dari setiap lokasi pemantauan menunjukkan bahwa pada fase eksponensial dan stasioner, pengaruh mikroba pada setiap lokasi pemantauan, sama. Besar kecilnya biokorosi tergantung dari besar kecilnya populasi mikroba tersebut.

5. Pertumbuhan bakteri pengoksidasi belerang dan bakteri pereduksi sulfat setelah hari ke 545 lambat. Dalam keadaan yang normal, menurut Stanier (1970), hal tersebut disebabkan oleh terbatasnya unsur hara dan kemungkinan juga adanya akumulasi hasil metabolisme yang bersifat racun.

VI. KESIMPULAN

Rangkuman hasil pengolahan data dan penilaian hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan, sebagai berikut:

1. Sinar *ultra violet* dapat mensterilkan udara di dalam kotak berlubang-lubang yang dialiri oleh udara luar.
2. Atmosfir Cilacap selain memiliki kelembaban nisbi yang tinggi, juga mengandung senyawa pencemar yang dapat bermanfaat bagi pertumbuhan mikroba.
3. Korosi atmosfer di Cilacap dimulai dari faktor abiotik yaitu reaksi elektrokimiawi dan kimiawi.
4. Mikroba yang hidup dan tumbuh pada lempeng logam contoh adalah jamur, total bakteri pengoksidasi belerang dan bakteri pereduksi sulfat.
5. Mikroba yang paling berperan pada proses biokorosi adalah bakteri pereduksi sulfat dan bakteri pengoksidasi belerang.

6. Biokorosi adalah merupakan faktor pada proses korosi atmosfer di Cilacap yang perlu untuk diperhitungkan.
7. Mikroba yang tumbuh pada karat akan mempercepat korosi. Selama dua tahun percobaan, mikroba dapat meningkatkan korosi atmosfer sampai 60 %.
8. Pengujian pukul rata (uji T) dan uji variansi (uji F) menyimpulkan bahwa pengaruh bakteri terhadap korosi atmosfer sama pada setiap lokasi pemantauan, besar kecilnya biokorosi dipengaruhi oleh populasi bakteri tersebut.
9. Proses korosi atmosfer yang tidak terkena hujan secara langsung, laju korosi dan laju biokorosi atmosfer di musim hujan lebih kecil 30 % daripada di musim kemarau.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. Ailor W.H, 1980, *Atmospheric Corrosion*, A Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York, 1025p.
2. Barton K, 1972, *Protection Against Atmospheric Corrosion*, John Wiley and Sons. London, 182p.
3. Beerstecher, E. Jr., 1954, *Petroleum Microbiology Introduction to Microbiology Petroleum Engineering*, Elsevier Press Inc. Houston 375p.
4. Cragnolino. G and Tuovinen. O.H., 1983, "Role of Sulfate Reducing Bacteria and Sulfur Oxidizing Bacteria on Localized Corrosion", Paper No. 24, NACE National Conference Anaheim California.
5. Davis JB., 1967, *Petroleum Microbiology*,

Elsevier Publishing Company, Amsterdam 595p.

6. Ericson R, Reimer, B and Vannerberg N.G., 1973, *The Influence of Carbon Particles on Corrosion of Iron a Humid. Sulfur Dioxide Containing Atmosphere*, Werkstoffe Korr. 24 (3) 67 - 70
7. Fontana Mars G, and Greene Narbert D, 1978, *Corrosion Engineering*, Mac Graw Hill Book Co., New York 465p.
8. Haynie FH, 1980, *Theoretical Air Pollution and Climate Effects on Materials Confirmed by Iron Corrosion Data in Durability of Building Materials and Components ASTM*, STP 691, 157 - 168.
9. Legault RA and Pearson VP, 1978 *The Kinetics of the Atmospheric Corrosion of Aluminized Steel.*, Corr. NACE 34 (10), 344-349.
10. Robinson E and Robbins RC, 1968, "Sources Abundance and Fate of Gaseous Atmospheric Pollutants," *Final Report SRI Project PR-675*, Stanford Research Inst Menlo Park CA (2) (abs).
11. Sydberger T and Vannerberg, 1972, *The Influence of Relative Humidity and Corrosion Products on Adsorption of Sulfur Dioxide on Metal Surface.*, Corr. Sci 12,775 (abs).
12. Sereda PJ, 1974, *Weather Factors Affecting Corrosion of Metals.*, ASTM, STP 558, 7.