

# KOROSI OLEH MIKROBA

Oleh :

Bambang Soehendro \* dan Nugroho Hadi \*\*

## S A R I

*Kegiatan kehidupan mikroba yang menjadi salah satu sebab korosi semakin mendapat perhatian dalam program pengurangan/pengecahan korosi pada peralatan industri.*

*Proses korosi oleh mikroba dapat terjadi di dalam tanah, cairan maupun di atmosfer. Akibat yang ditimbulkan tidak hanya terbatas pada logam saja tetapi juga pada bahan-bahan polimer dan bahkan beton. Mikroba penyebab korosi yang terutama adalah bakteri. Korosi dapat diakibatkan oleh satu jenis ataupun gabungan beberapa jenis bakteri. Pada kondisi lingkungan tertentu mikroba lainnya seperti protozoa, jamur atau ragi selain dapat mengakibatkan korosi juga dapat mempertajam proses korosi yang lain.*

## ABSTRACT

*The life activity of microbes which might cause corrosion receives interest in reduction programme and prevention of corrosion in industrial spare parts.*

*Corrosion process by microbes might happen in the ground, liquid and in the atmosphere. Negative result produced by microbes are not limited to metals, but also on polymer material and even concrete. The main kind of microbes consist of bacteria. Corrosion may happen by one kind of bacteria and by a group of bacteria. In a certain environment other microbes such as protozoa, fungi or yeast not only may cause corrosion but also sharpen corrosion process.*

## I. PENDAHULUAN

Pengaruh mikroba dalam proses korosi bahan belum banyak dipelajari dibandingkan dengan proses korosi yang lain, meskipun disadari banyak peristiwa korosi dapat dikaitkan dengan kegiatan mikroba. Di Inggris, kira-kira 10 % kerugian korosi logam disebabkan (langsung maupun tidak langsung) oleh mikroba. (Wakerley, 1979). Di Amerika Serikat, kerugian oleh korosi mikroba pada pipa-pipa di dalam tanah berkisar antara US \$ 500 - 2000 juta setiap tahunnya (Crombie et al, 1980).

Korosi yang diakibatkan oleh mikroba tidak hanya terbatas pada logam saja namun juga pada bahan yang lain seperti kayu, plastik, karet dan bahkan juga terjadi pada

beton. Tidak semua kegiatan mikroba mengakibatkan korosi; beberapa aktivitas hanya mengubah sifat-sifat fisika dan kimia bahan (tanpa mengurangi masanya) sehingga tidak dapat berfungsi seperti yang diharapkan. Akibat lain dari kegiatan mikroba yang merugikan adalah disebabkan oleh produk-produk metabolisme seperti asam, gas. Produk-produk ini dapat memberi akibat buruk tidak saja pada bahan peralatan pabrik tetapi juga pada kualitas bahan yang ada di dalamnya seperti minyak, gas, maupun bahan-bahan baku dan produk suatu industri.

Kegiatan mikroba yang menyebabkan korosi tidak mudah untuk segera dapat dideteksi, karena memerlukan pengetahuan dan peralatan yang khusus. Korosi tersebut

\* Jurusan Teknik Kimia Fak. Teknik UGM.

\*\* PPPTMGB "LEMIGAS"

biasanya terjadi juga bersama-sama korosi dengan mekanisme yang lain. Di samping itu akibat dari korosi karena mikroba sering sudah tertutup oleh akibat-akibat korosi dengan mekanisme yang berbeda.

Mengingat mikroba terdapat hampir di sembarang tempat, maka proses korosi yang diakibatkannya juga akan dijumpai pada peralatan yang berhubungan dengan udara, air maupun yang ditanam di dalam tanah. Meskipun tidak semua, namun jenis yang meliputi bakteri, fungi, algae, dan protozoa merupakan mikroba penyebab korosi. Dari berbagai jenis mikroba ini, bakteri merupakan penyebab yang utama, sedang produk kegiatan algae dan protozoa dapat membentuk lingkungan yang menguntungkan untuk pertumbuhan bakteri. Selain itu juga dapat menyebabkan tidak berfungsinya pencegah karat yang ada.

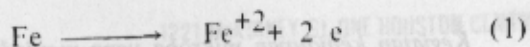
Korosi yang diakibatkan oleh mikroba dapat terjadi karena salah satu atau gabungan beberapa hal di bawah ini:

- a. Dalam kehidupannya mikroba menggunakan bahan tersebut sebagai sumber energi dan diubah menjadi bahan lain.
- b. Asam yang terbentuk sebagai hasil metabolisme mikroba seperti asam sulfat dan asam-asam organik lainnya dapat menyebabkan lingkungan yang bersifat korosif bagi bahan.
- c. Mikroba menggunakan salah satu komponen seperti elemen hidrogen, sehingga keseimbangan perlindungan katodis terputus (depolarisasi katode).
- d. Mikroba menutup sebagian permukaan peralatan sehingga pencegah karat tidak dapat mencapai permukaan tersebut.
- e. Mikroba merusak lapisan pelindung yang ada, sehingga permukaan terbuka terhadap lingkungan yang korosif.
- f. Mikroba mengubah konsentrasi, pH atau kandungan oksigen sehingga terbentuk sel elektrokimia.

## II. MEKANISME KOROSI

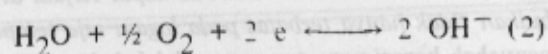
Mekanisme klasik yang dapat menguraikan korosi besi pada air yang mengandung oksigen adalah dengan model sel elektrokimia. Reaksi kimia tersebut dapat dibagi menjadi dua bagian (A.J. Freedman, 1984) :

a. Pada anoda terjadi pelarutan logam besi menjadi ion.

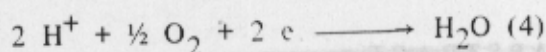
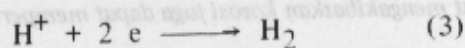


b. Pada katoda terjadi reaksi :

b.1. jika larutan netral atau basa

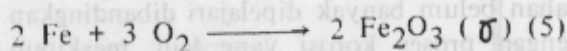


b.2. jika larutan bersifat asam



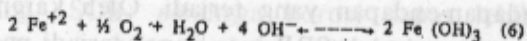
Pada keadaan sesungguhnya reaksi berjalan secara bertahap dan juga terjadi reaksi reaksi lebih lanjut pada larutan.

Pada kondisi korosi yang ringan, ion ferro yang terbentuk pada anoda akan teroksidasi oleh oksigen dan membentuk ferrioksida (gamma iron oxide). Senyawa ini merupakan lapisan yang sangat tipis yang menempel pada permukaan logam dan mencegah terlarutnya besi lebih lanjut, sehingga reaksi pada anoda menjadi :



Demikian juga pada katoda, oksigen harus dapat mencapai permukaan logam agar reaksi (2) dan (4) dapat terjadi. Ion hidroksil yang terbentuk juga dapat terserap pada permukaan dan membentuk lapisan yang dapat menghalangi penyerapan oksigen ke permukaan. Pada keadaan demikian, terjadi polarisasi katoda dan proses korosi berjalan lambat.

Pada kondisi korosi yang cepat, lapisan-lapisan pelindung tersebut tidak sempat terbentuk dan ion-ion Fe bereaksi dengan ion hidroksil sebagai berikut:



Ferrihidroksida akan terendapkan pada permukaan dan akan menutupi atau mencegah terbentuknya lapisan pelindung dan menjadikan lingkungan yang anaerob di bawahnya. Oleh sebab itu, di dalam cairan yang mengandung oksigen juga akan terdapat bagian permukaan logam yang bersifat anaerob yang memungkinkan kegiatan mikroba anaerob meningkat.

Adanya bahan-bahan lain di dalam media yang berhubungan dengan permukaan anoda dan katoda tentu saja mempengaruhi reaksi keseimbangan tersebut. Garam yang terlarut menyebabkan kenaikan daya hantar listrik cairan sehingga akan mempertinggi kecepatan larut besi. Bahan yang menutupi sebagian permukaan menyebabkan adanya perubahan/perbedaan konsentrasi oksigen, garam, pH dan lain-lainnya yang dapat membentuk satu sel elektrokimia baru dan mempertinggi kecepatan korosi. Apabila kondisi cairan memungkinkan pertumbuhan yang baik bagi suatu mikroba, misalnya kenaikan konsentrasi pada aliran yang lambat atau stagnant, maka kegiatan metabolisme mikroba juga akan sangat berpengaruh pada keseimbangan kimia tersebut.

### III. KEGIATAN BAKTERI

Bakteri adalah salah satu jenis mikroba yang mempunyai ukuran sangat kecil, dengan panjang antara 1–3  $\mu\text{m}$  dan diameter sekitar 0.5  $\mu\text{m}$ . Terdapat pada hampir seluruh bagian/tempat dan dapat tetap hidup pada lingkungan yang relatif "keras". Dalam lingkungan yang optimum, bakteri dapat berkembang biak dengan sangat cepat dengan *mass doubling time* sekitar 20–60 menit. Untuk ini lingkungan tempat bakteri hidup harus memenuhi persyaratan antara lain:

- mengandung unsur-unsur sebagai sumber energi,
- mengandung unsur-unsur sebagai sumber nitrogen,
- mengandung nutrisi yang diperlukan,

d. mempunyai pH dan suhu yang sesuai,

Berdasarkan keterlibatan oksigen dalam metabolismenya, bakteri dapat dibedakan atas :

- Bakteri aerob, yaitu bakteri yang memerlukan oksigen,
- Bakteri anerob, yaitu bakteri yang tidak memerlukan oksigen,

Kedua jenis bakteri ini dapat menyebabkan terjadinya korosi.

#### A. Bakteri Aerob.

Berbagai jenis bakteri aerob hidup dalam cairan yang mengandung oksigen. Beberapa di antaranya akan mempengaruhi keseimbangan reaksi-reaksi korosi besi seperti disebutkan di muka sehingga dapat mempercepat reaksi tersebut. Di antara beberapa jenis bakteri aerob adalah :

#### 1. Bakteri besi

Bakteri ini dapat mengoksidasi ion ferro yang terlarut dan membentuk ferrihidroksida yang mengendap pada permukaan logam, seperti terlihat pada reaksi (6). Endapan ferrihidroksida akan menutupi permukaan logam dari pencegah karat dan juga membentuk sel konsentrasi. Dan karena bakteri ini menggunakan ion ferro dari larutan maka pelarutan besi ke dalam larutan makin dipercepat. Bakteri besi ini banyak terdapat pada air sungai, air sumur dan terutama yang mempunyai suhu rendah. Jenis bakteri ini dapat hidup dan tumbuh meskipun tidak terdapat zat organik di sekitarnya, selama masih terdapat karbon dioksida dan mineral-mineral lain pada konsentrasi tertentu. Termasuk jenis ini adalah *Spaerotilus sp.*, *Clonothrix sp.*, *Chrenothrix sp.* dan *Galionella sp.*

#### 2. Nitrifying bacteria

Nitrifying bacteria dapat mengoksidasi amonia menjadi nitrat yang dapat menurunkan pH yang menyebabkan sifat korosif. Bakteri ini kurang mendapat perhatian, ka-



rena korosi yang disebabkan relatif kecil. Sebagai contoh dapat disebutkan *Nitrobacter sp.*, dan *Nitrosomonas sp.*

### 3. Bakteri pengoksidasi belerang (S.O.B.)

Suatu jenis bakteri yang dapat mengoksidasi belerang, sulfida dan thiocianate, dengan bantuan oksigen dalam medium menjadi asam sulfat. Energi yang terjadi digunakan untuk asimilasi karbon-dioksida yang diperlukan untuk metabolisme dan pertumbuhannya.

Konsentrasi asam yang terbentuk di bawah deposit bakteri ini dapat mencapai 15 – 20%, bersifat korosif bagi logam dan juga beton. Kerusakan pipa-pipa beton terutama disebabkan karena limbah yang mengandung hidrogen sulfida.

Hidrogen sulfida ini memungkinkan terbentuknya senyawa-senyawa belerang pada bagian atas parit. Senyawa ini selanjutnya akan dioksidasi oleh bakteri yang bersangkutan menjadi asam sulfat, yang menyebabkan korosi pada bagian atas dari parit beton, concrete manhole (Smith, 1981).

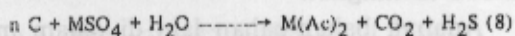
Demikian pula korosi yang terjadi pada bahan-bahan bangunan yang udara sekitarnya mengandung senyawa belerang. Bahan-bahan karet yang menggunakan belerang sebagai bahan vulkanisasi dapat pula diserang oleh bakteri jenis ini. Bakteri pengoksidasi belerang yang dikenal antara lain *Thiobacillus sp.*

#### B. Bakteri Anaerob

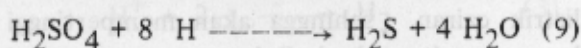
Dari berbagai jenis bakteri anaerob yang dianggap paling banyak menimbulkan korosi adalah Sulphate Reducing Bacteria (SRB), yaitu bakteri yang dapat memanfaatkan dan mengubah sulfat menjadi sulfida. Mengingat sifatnya yang anaerob, maka bakteri ini aktif terutama pada peralatan (seperti pipa-pipa) yang ditanam di dalam tanah. Meskipun demikian dalam lingkungan yang mengandung oksigen, dapat pula terbentuk kondisi anaerob yaitu yang terletak di bawah

endapan-endapan yang terjadi. Oleh karenanya, korosi oleh SRB juga dapat terjadi pada alat-alat yang berhubungan (exposed) dengan udara, air ataupun cairan yang lain.

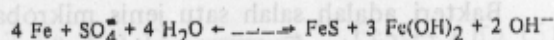
Salah satu species SRB adalah *Desulfovibrio desulfuricans* yang memperoleh energi dengan mereduksi sulfat dan pada saat yang bersamaan mengoksidasi bahan organik. Persamaan reaksi yang umum adalah sebagai berikut (Crombie et al, 1984):



C adalah bahan organik dan M adalah logam. Reaksi berjalan melalui hidrogenasi sulfat oleh enzim hidrogenase :



Pada suasana yang asam hidrogen yang diperlukan pada polarisasi katoda dapat diambil untuk reaksi (9) sehingga terjadi proses depolarisasi katoda dan menyebabkan lebih banyak besi terlarut. Kecuali itu gas hidrogen sulfida yang timbul juga korosif dan dapat menyerang baja lunak, baja putih dan logam campuran Cu dan Ni. Sifat korosif akan diperberat dengan lingkungan pH yang rendah, akibatnya akan terjadi reaksi dengan besi membentuk ferrosulfida. Dengan demikian reaksi keseluruhan menjadi :



Dalam larutan yang mengandung kromat, zinc, pencegah karat basa, hidrogen sulfida dapat bereaksi dengan kromat dan dapat mengendapkan Zn sehingga kehilangan fungsinya sebagai pencegah. Demikian juga klor yang digunakan sebagai biosida kurang efektif karena hidrogen sulfida dapat bereaksi dengan klor dan lendir di sekeliling sel bakteri tidak tertembus oleh klor.

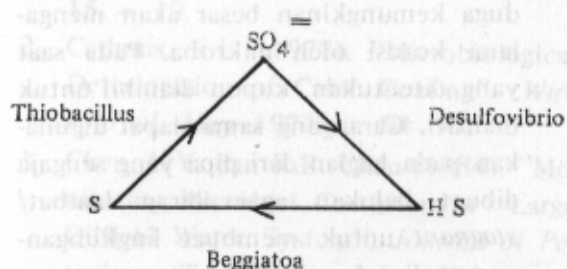
Ferrosulfida dapat dioksidasi menjadi ion ferri dan belerang yang sangat korosif terhadap besi. Selain itu belerang juga dapat dimanfaatkan oleh bakteri pengoksidasi be-

lerang (SOB) sehingga korosi dapat lebih parah lagi. Oleh sebab itu akibat korosi akan lebih diperbesar apabila terjadi perubahan kondisi aerob dan anaerob berganti-ganti pada suatu tempat.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa korosi oleh SRB :

- Terjadi pada lingkungan anaerob dan memerlukan air.
- Korosi logam yang terjadi tidak merata pada keseluruhan tetapi membentuk *pitting* (lubang-lubang kecil) pada logam.
- Pada besi cor yang terkorosi, akan terbentuk endapan karbon.
- Sebagai produk metabolisme dihasilkan ferrosulfida (kadang-kadang terdapat juga belerang).

Selain *Desulfovibrio*, bakteri lain yang juga dapat mereduksi sulfat adalah *Clostridium sp.* Bakteri ini juga menghasilkan gas metan yang dapat dimanfaatkan oleh jenis bakteri lain sebagai sumber energi. "Kerja sama" antara bakteri semacam ini banyak dijumpai dan dapat mengakibatkan korosi yang lebih parah. Hasil metabolisme satu bakteri dapat digunakan oleh bakteri lain yang juga terdapat dalam siklus belerang seperti dapat digambarkan dalam bagan berikut :



Dengan demikian kehidupan bakteri dapat berlangsung secara sinambung namun masih tergantung juga pada tersedianya komponen lain seperti nutrien, mineral dan kondisi lingkungan (seperti pH dan suhu).

#### IV. KEGIATAN MIKROBA YANG LAIN

Seperti disebutkan dalam bab terda-

hulu, ada beberapa jenis mikroba lain yang langsung maupun tidak langsung mengakibatkan korosi.

##### A. Fungi

Terdiri atas ragi dan jamur yang mempunyai ukuran lebih besar dari pada bakteri. Terutama terdapat pada penukar panas dan menara pendingin, mengakibatkan pelapukan kayu dan pembentukan lendir. Deposit mikroba ini dapat menutupi sebagian permukaan sehingga membentuk sel elektrokimia dan menghalangi pencegah karat mencapai permukaan sehingga mengakibatkan bertambah besarnya korosi.

Fungi juga dapat menyebabkan rusaknya bahan-bahan polimer yang umumnya digunakan sebagai pelindung pada permukaan logam. Polimer alam umumnya bersifat dapat terdegradasi oleh mikroba menjadi karbon dioksida, air dan mineral. Polimer sintetik tidak dapat terdegradasi, tetapi sifat-sifatnya dapat berubah oleh aktivitas fungi, sehingga mengurangi kegunaannya sebagai lapisan pelindung.

##### B. Algae

Jenis mikroba ini mempunyai ukuran yang lebih besar lagi dan mengandung klorofil, berwarna biru atau biru-hijau. Algae hanya dapat hidup di tempat yang terkena sinar matahari. Untuk hidup dan tumbuh algae dapat melakukan fotosintesa dan dari sintesa ini dihasilkan karbohidrat. Namun apabila terbawa pada tempat tanpa sinar matahari, algae yang mati akan membentuk deposit dan merupakan saingan yang dapat menahan bakteri dan fungi. Algae ini juga merupakan sumber makanan bagi mikroba tersebut. Dengan demikian algae tidak secara langsung menimbulkan korosi, namun dapat membuat lingkungan lebih baik bagi pertumbuhan mikroba lain yang dapat mengakibatkan korosi.

## V. PENGAMATAN DAN PENCEGAHAN/ PENGURANGAN BIKOROSI

Akibat yang merugikan dari kegiatan mikroba terhadap suatu bahan, dapat diperkecil dengan berbagai cara antara lain :

- a. Menggunakan lapisan pelindung (*coating*) dengan bahan polimer sintesis yang mengandung logam seperti Cu, Zn dan Cr.
- b. Menambahkan bahan pembunuh mikroba (biosida) yang tepat untuk jenis mikroba yang dihadapi.
- c. Mengubah kondisi lingkungan sedemikian sehingga tidak sesuai dengan persyaratan kehidupan mikroba yang dihadapi.

Cara yang dipilih tergantung pada jenis peralatan yang dilindungi. Untuk pipa-pipa yang ditanam di dalam tanah maupun alat-alat yang berhubungan langsung dengan atmosfer cara (a) adalah yang paling tepat. Cara (b) sesuai untuk diterapkan pada peralatan dalam *cooling water system*. Untuk memilih biosida, perlu diketahui secara pasti jenis mikroba yang dominan dalam air tersebut. Cara penetapan apakah suatu mikroba tertentu menyebabkan korosi dengan menghitung jumlah mikroba per satuan volume adalah kurang teliti. Hal ini disebabkan karena kurang jelasnya hubungan antara jumlah mikroba dan kegiatannya. Di samping itu pada suatu sistem air yang besar, sangat sukar untuk dapat mengambil contoh yang representatif. Perlu dilakukan penetapan yang lebih sistematis, yaitu dimulai dengan penetapan batas umum dan batas spesifik. Untuk maksud ini perlu diketahui batas kondisi lingkungan bagi kegiatan mikroba umumnya yaitu (Stoecker 1984) :

1. pH = 1 - 10,5
2. suhu = 0 - 80 deg. C
3. adanya sumber energi, mineral dan bahan organik.

Lingkungan dengan kondisi di luar batas-batas tersebut tidak memungkinkan terja-

dinya aktivitas mikroba yang mengakibatkan korosi. Persyaratan kondisi lingkungan akan dapat dipersempit lagi untuk setiap species. Kondisi lingkungan tersebut dapat dilihat pada pustaka dan dapat dipakai sebagai dasar penelitian selanjutnya. Bentuk kerusakan logam, hasil samping korosi (karat) dapat merupakan petunjuk spesifik adanya suatu species tertentu. Identifikasi lebih lanjut dengan isolasi mikroba pada lokasi kerusakan dilakukan dengan cara Weber (1983) dan Smith (1981). Penundaan yang terlalu lama antara saat terjadinya korosi dengan saat dilakukannya analisa dapat menyebabkan gagalnya identifikasi (Stoecker, 1984).

Untuk suatu sistem yang telah dipilih cara penanggulangannya perlu dilakukan pemantauan kegiatan mikroba. Chen (1984) merekomendasikan cara-cara pemantauan sebagai berikut :

1. Perhitungan bakteri  
Kenaikan yang tiba-tiba atas jenis dan konsentrasi mikroba tertentu dapat digunakan sebagai indikasi meningkatnya aktivitas mikroba.
2. Pengamatan permukaan logam  
Dibuat kupon-kupon logam yang dipasang pada beberapa tempat yang diduga kemungkinan besar akan mengalami korosi oleh mikroba. Pada saat yang ditentukan, kupon diambil untuk diamati. Cara yang sama dapat digunakan pada bagian dari pipa yang sengaja dibuat belokan agar aliran lambat/*stagnant* untuk membuat lingkungan yang paling buruk pada sistem. Bagian ini dapat dilepas tanpa banyak mengganggu operasi dan selanjutnya dapat diperiksa.
3. Analisa bahan yang melekat pada permukaan pipa  
Bahan ini diharapkan berupa hasil-hasil korosi dan sebagian masa mikroba, se-



hingga dapat dilakukan analisa atas jumlah dan jenis hasil korosi.

Analisa kualitas air

4. Penyimpangan yang besar dari harga normal pada konsentrasi-konsentrasi sulfida, zat padat tersuspensi, pH dan oksigen terlarut mungkin disebabkan karena adanya peningkatan kegiatan mikroba.
5. Evaluasi biosida yang sedang digunakan Air dari berbagai tempat diambil contohnya dan dilakukan tes laboratorium untuk mengetahui apakah biosida yang sedang digunakan masih dapat bekerja efektif pada kondisi air yang ada.

Hasil kelima cara pengamatan di atas digabungkan untuk mendapatkan kesimpulan yang pasti mengenai aktivitas mikroba di dalam sistem.

## VI. KESIMPULAN

Pengaruh mikroba pada proses korosi dapat terjadi melalui berbagai media seperti udara, cairan (air) dan di dalam tanah. Metabolisme mikroba tertentu dapat mengubah logam menjadi zat yang larut, menghasilkan asam yang korosif, menyebabkan depolarisasi katoda ataupun membentuk sel elektrokimia pada permukaan logam. Hal ini menyebabkan korosi menjadi lebih cepat. Penelitian menunjukkan bahwa bakteri SRB pada suatu kondisi lingkungan tertentu dapat mengakibatkan korosi 20 kali lebih cepat. Pengaruh mikroba tidak hanya terbatas pada logam, tetapi juga dapat terjadi pada polimer dan bahan bangunan (beton).

Meskipun demikian kesadaran akan peranan mikroba sebagai bagian yang perlu diperhatikan di dalam menyusun program pencegahan korosi yang menyeluruh masih perlu diperbesar. Kesadaran ini perlu juga dimiliki oleh pelaku-pelaku di lapangan, agar program tersebut dapat dilaksanakan secara efektif.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Berger, D.M. (1979). "Corrosion Control", *Metal Finishing*, July 1979, p. 15 - 19.
2. Cadmus, E.L. (1977). "Microbiological Deterioration of Cable Coating", *Wire Journal*, May 1977, p. 94-97.
3. Chen, E.Y. dan R.B. Chen (1984). "Monitoring Microbial Corrosion in Large Oilfield Water System", *Journal of Petroleum Technology*, July 1984, p.1171-1176.
4. Calturi, T.F. dan K.J. Kozelski (1984). "Corrosion and Biofouling Control in a Cooling Tower System", *Materials Performance*, April 1984, p.43 - 47.
5. Crombie, D.J. G.J. Moody dan J.D.R. Thomas (1980). "Corrosion of Iron by Sulphate Reducing Bacteria", *Chemistry and Industry*, June 1980, p.500-504.
6. Freedman, A.J. (1984). "Cooling Water Technology in the 1980s", *Materials Performance*, November 1984, p.9 - 16.
7. Puckorius, P.R. (1978). "Controlling Corrosive Microorganisms in Cooling Water System", *Chemical Engineering*, October 23, 1978, p.171 - 174.
8. Pugh, W.H.A. (1982). "Microbial Fouling of Pipe Lines", *Corrosion Prevention and Control*, June 1982, p. 8 - 10.
9. Smith, C.A. (1981). "The Microbiology of Corrosion", *Anti Corrosion*, January 1981, p.15 - 16.
10. Stoecker, J.G. (1984). "Guide for the Investigation of Microbiologically In-

duced Corrosion", *Materials Performance*, August (1984).

11. Wakerley, D.S. (1979), "Microbial Corrosion in U.K. Industry, A Preliminary Survey of The Problem", *Chemistry and Industry*, October 1979, p. 656 - 659.

12. Weber, G.R. (1983), "Isolation and Testing of Metal Corroding Bacteria", *Materials Performance*, October 1983, p.24 - 27.



**Schlumberger**

**P.T. PACIFIC WELLOG**

**BERSAMA PARTNER KAMI SCHLUMBERGER OVERSEAS S.A.** menyertai Pertamina dan Para Kontraktor bagi hasil di Indonesia dalam menemukan minyak dan Gas dengan tehnik yang paling mutakhir.

**JASA KAMI MELIPUTI:**

Tehnik pencatatan data petrofisik, borehole seismic, untuk lubang bor terbuka ataupun yang telah terselubung dengan Wireline Logging beserta evaluasinya di lapangan.

Tehnik pemerosesan data dan evaluasi lapisan bumi yang mendetail pada pusat-pusat pengolahan komputer kami.

Tehnik perforasi/pelubangan dengan menggunakan kabel ataupun tubing secara mekanis.

**KAMI DAPAT DIHUBUNGI PADA ALAMAT-ALAMAT :**

**KANTOR PUSAT**

Tunas Bldg. Ground Floor,  
Jl. Gunung Sahari Raya 82  
Tel. : 417527-418423  
Telex : 49276 Pac IA  
Jakarta 10610 Indonesia

**CABANG:**

**PALEMBANG :**  
Jl. Heng Tush P. O. Box 48 / PG  
Palembang - Sumatera Selatan  
Tel : (711) 24125, 24248  
Telex : 37304 SLB PG IA

**MEDAN :**  
Jl. Multatuli No. 1, P.O. Box 220  
Medan, Sumatera Utara  
Tel : (61) 516994 - 518666  
Pertamina 236  
Telex : 51747 SCHL MDN

Wisma Harapan, 10 - 11 th Floor  
Jl. Jendral Sudirman 34  
P. O. Box 437 / RMY  
Tel : 581626 - 8  
581376 - 9  
284321 - 3  
Telex : 46381 SLMINA JKT  
Jakarta 10230 Indonesia

**BALIKPAPAN :**  
Jl. Mierak, P.O. Box 18  
Balikpapan, Kal. Tim  
Tel : (342) 22710 - 2 (PTT Exchange)  
1134 / 1434 / 2434 (Pertamina - " - )  
Telex : 37112 SLBPP IA

**CIREBON :**  
Mandu, P.O. Box 13  
Cirebon, Jawa Barat  
Tel. : (231) 2282 Ext. 315  
Telex : 28109 PLAZA CBN