

PENGARUH BAKTERI DALAM PENCEMARAN LIMBAH TERHADAP KOROSI PADA STRUKTUR BAJA DI LINGKUNGAN LAUT

INFLUENCED OF BACTERIA IN OUTFALL TO CORROSION ON STEEL STRUCTURE IN MARINE ENVIROMENT

Herman Pratikno

Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS, Surabaya

email: hermanp@oe.its.ac.id

Abstrak

Korosi merupakan suatu fenomena dalam struktur bangunan laut yang tidak mungkin dihindari. Proses korosi terjadi secara fisis, kimia, maupun biologis. Korosi biologis umumnya disebabkan karena adanya suatu bakteri, yang dalam kerjanya bisa secara sendiri maupun gabungan dari bakteri yang berbeda. Limbah buangan dari bangunan laut seringkali menghasilkan beberapa bakteri yang berperan dalam proses korosi. Dengan menggunakan media air laut buatan dan rumusan penghitungan laju korosi sesuai standar ASTM, didapatkan perbandingan laju korosi pada tiap material uji dalam 3 kondisi lingkungan laut, yaitu laut dalam (salinitas 33‰), lingkungan laut sedang (salinitas 35‰), lingkungan laut dangkal (salinitas 37‰), yang divariasikan terhadap 3 jenis bakteri, yaitu: *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Thiobacillus ferroxidans*. Hasil analisa menunjukkan laju korosi maksimal yang terjadi mencapai 1,321 mm/year, atau meningkat 89,79% dari laju korosi maksimal tanpa penambahan bakteri, yaitu 0,696 mm/year.

Kata kunci: korosi, bakteri, salinitas, lingkungan laut

Abstract

Corrosion is the phenomena on the offshore structures which is impossible to avoid. Corrosion is occurred by physical, chemical and biological process. Generally, biological corrosion is caused by presence of microbes which on its process can be individual or make a new colony with other bacteria. Ocean outfall usually produce some bacteria which having role in corrosion process. With artificial sea water media and the corrosion rate calculation based on ASTM standard, has been compare the corrosion rate of the specimen on 3 sea water condition, consist of deep sea water (salinity 33‰), medium sea water (salinity 35‰), shallow sea water (salinity 37‰) and variate into 3 kinds bacteria as follows: *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, and *Thiobacillus ferroxidans* The result of this analysis show that maximum corrosion rate is 1,321 mm/year or increase 89,79% from the normal condition without adding bacteria, with value 0,696 mm/year.

Key words: corrosion, bacteria, salinity, marine environment

1. PENDAHULUAN

Korosi merupakan salah satu masalah yang sangat diperhitungkan dalam dunia industri, terutama industri kapal dan bangunan pantai maupun lepas pantai. Struktur tersebut sangat rentan terhadap korosi karena lingkungan laut yang bersifat korosif.

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, yaitu:

- Mendapatkan data laju korosi material baja pada medium pengujian dengan variasi 2 material baja dan 3 beda salinitas lingkungan laut tanpa pengaruh bakteri
- Mendapatkan laju korosi material baja dengan penambahan 3 jenis bakteri pada medium

pengujian dengan variasi 2 material baja dan 3 beda salinitas lingkungan laut.

- Mendapatkan kesimpulan mengenai bakteri mana yang cukup korosif, material yang paling tahan korosi, serta kondisi lingkungan yang paling berpengaruh pada proses korosi.

Batasan-batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bakteri yang diujikan, antara lain: *Pseudomonas fluorescens*, *Thiobacillus ferroxidans*, dan *Escherichia coli*
2. Material yang diujikan merupakan baja ASTM A 53 dan ASTM A 106
3. Variasi larutan media pengujian dengan 3 keadaan salinitas lingkungan laut, dengan

komposisi kimia pengganti air laut sesuai standar ASTM D1141-90, 1994

4. Percobaan dilakukan pada material yang terbenam seluruhnya di bawah permukaan laut (*immersed*)

Definisi Korosi

Korosi berasal dari bahasa latin "*Corrodere*" yang artinya perusakan logam atau berkarat akibat lingkungannya. Bagian yang berpotensi lebih rendah akan menjadi anoda sedangkan yang berpotensi lebih tinggi akan menjadi katoda (Dexter, 1995; Rochati, 1995).

Anoda akan larut



Dan elektron menuju ke katoda:



Logam yang tercelup dalam lingkungan air laut memang berpotensi korosi, masih mendapatkan lagi pengaruh bakteri yang tentunya akan meningkatkan laju korosi secara biologis.

Pencemaran Lingkungan Laut

Menurut Palar (1994) lingkungan hidup dikatakan tercemar apabila telah terjadi perubahan-perubahan dalam tatanan lingkungan itu sehingga tidak sama lagi dengan bentuk asalnya, sebagai akibat dari masuk dan/atau dimasukkannya suatu zat atau benda asing berupa limbah buangan (sludge) ke dalam tatanan lingkungan itu.

Pada aliran lambat pada saluran buangan air limbah umumnya tumbuh banyak bakteri penyebab korosi. Pada musim panas, temperatur secara keseluruhan akan naik, dan hal ini akan menyebabkan bertambahnya aktivitas bakteri pereduksi sulfat karena menjadi faktor pemercepat perubahan reaksi SO_4 menjadi S dan menambah unsur S yang ada pada limbah. Diperkirakan setiap penambahan temperatur 7°C dalam limbah akan meningkatkan produksi unsur S sebanyak 200%. (Chi-Yuan, Field, dan Pisano, 1996).

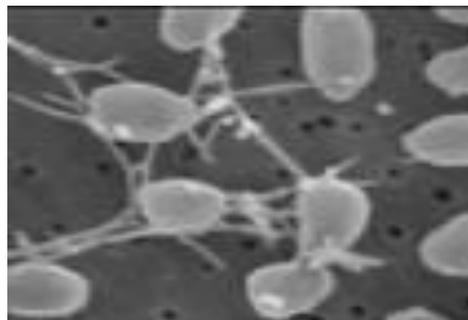
Tahap pertama adalah terbentuknya *biofilm* sebagai tempat hidup bakteri dan padatan lain membentuk protein seperti lem yang biasa disebut *zooglea*. Ketika *biofilm* ini menjadi tebal dan mampu mencegah oksigen untuk masuk, sebuah daerah anaerobik terbentuk. Sekitar dua minggu akan terbentuk *biofilm* dengan kandungan ion sulfat. Dengan lapisan ini, bakteri pereduksi sulfat

menggunakan ion sulfat, sebuah komponen umum dalam limbah buangan, sebagai sumber oksigen untuk proses asimilasi material organik dalam waktu yang sama oksigen tak larut digunakan oleh bakteri aerob. Ketika SO_4 digunakan bakteri, akan terbentuk sulfida. Kelajuan dari unsur S yang diproduksi lapisan *biofilm* bergantung pada variasi kondisi lingkungan, termasuk konsentrasi makanan organisme (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*), konsentrasi *Dissolved Oxygen* (DO), kecepatan pembuangan limbah, dan luas area pipa saluran.

Bakteri yang Dipakai dalam Pengujian

Pseudomonas fluorescens

Bakteri *P. fluorescens* dapat diklasifikasikan ke dalam klas *Schazomycetes*, ordo *Pseudomonadales*, famili *Pseudomonadaceae*, genus *Pseudomonas*, spesies *P. fluorescens*.



Gambar 1. Bakteri *Pseudomonas fluorescens*

Bakteri *P. fluorescens* merupakan bakteri sel tunggal, gram negatif berbentuk batang lurus atau melengkung, mempunyai ukuran $0,5-1,0 \mu\text{m} \times 1,5-5 \mu\text{m}$, dapat bergerak karena flagela atau motil, tidak membentuk spora dan tumbuh secara aerob. Bakteri ini mampu menggunakan H_2 atau CO_2 sebagai sumber energi, terdapat di tanah, air limbah, dan mampu mengolah sejumlah substrat organik, umumnya banyak berperan dalam proses biotransformasi misalnya dalam mendegradasi minyak.

Escherichia coli

Bakteri *E. coli* dapat diklasifikasikan ke dalam divisi *Schizophyta* klas *Schazomycetes*, ordo *Eubacteriales*, genus *Escherichia*, spesies *E. coli*. Bakteri ini merupakan bakteri yang berbentuk batang lurus, mempunyai ukuran $1,1-1,5 \mu\text{m} \times 2-6 \mu\text{m}$, bersifat gram negatif, tidak berkapsul dan dapat bergerak aktif (motil), dapat memfermentasikan berbagai karbohidrat menjadi asam dan gas.



Gambar 2. Bakteri *Escherichia coli*

Thiobacillus ferrooxidans

Bakteri *T. ferrooxidans* dapat digolongkan ke dalam bakteri kemotrofik gram negatif, sel-selnya kecil berbentuk batang mempunyai ukuran 0,5 x 1-4 µm, dapat bergerak, autotrof fakultatif, aerob.



Gambar 3. Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*

Laju Korosi

Milimeter per year didapatkan dengan menghitung berat material yang hilang selama uji korosi, dengan formula sebagai berikut (ASTM G 48, 2002):

$$\frac{\text{mm}}{\text{year}} = 12x \frac{(7290.W)}{(A.t.d)}$$

t = time of exposure (jam)

A = area (cm²)

W=berat yang hilang atau weight loss (gram)

d = densitas (gram/cm³) = 8 gram/cm³

Untuk baja Cr-Ni, densitas = 7,9 gram/cm³,
baja Cr-Ni-Mo = 8 gram/cm³

2. METODE PENELITIAN

Media Pengujian

Media pengujian menggunakan larutan pengganti air laut sesuai dengan standar ASTM D1141-90, "Standard Specification for Substitute Ocean Water.

Tabel 1. Komposisi Kimia Pengganti Air Laut ^{A,B}
(ASTM D1141-90)

Larutan	Konsentrasi, g/L
NaCl	24.53
MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
CaCl ₂	1.16
KCl	0.695
NaHCO ₃	0.201
KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003
Ba (NO ₃) ₂	0.0000994
Mn(NO ₃) ₂	0.0000340
Cu(NO ₃) ₂	0.0000308
Zn(NO ₃) ₂	0.0000096
Pb(NO ₃) ₂	0.0000066
AgNO ₃	0.0000049

^A Klorinitas = 19.38

^B pH (setelah disesuaikan dengan 0.1 N sodium hydroxide) = 8.2

Tabel 1 menunjukkan kondisi salinitas 35 (35‰), sehingga untuk menghitung jumlah gram pada dua salinitas sisa adalah sebagai berikut:

$$\text{NaCl pada salinitas } 33 \text{ ‰} = \frac{0.33}{0.35} \times 24.53 \text{ g/L} \\ = 23.13 \text{ g/L}$$

Bahan kimia

Semua bahan kimia yang digunakan dengan kemurnian proanalisis (pa) dari E. Merck, kecuali bila disebutkan lain.

a. Media *nutrien Broth* (NB) dengan komposisi Lab-Lemko powder 1,0 gram, ekstrak ragi 2,0 gram, pepton 5,0 gram, NaCl 5,0 gram, dan agar 5 gram.

b. Media *nutrien agar* (NA)

c. Media mineral cair 9 K yang terdiri dari 10,9 gram FeSO₄.7H₂O, 3,0 gram (NH₄)₂SO₄, 0,5 gram KH₂SO₄, 0,5 gram MgSO₄.7H₂O, 0,1 gram KCl, dan 0,01 gram Ca(NO₃)₂.4H₂O.

Bakteri yang Diujicobakan

Bakteri yang digunakan ada 3 jenis, yaitu *T. ferrooxidans*, *Pseudomonas fluorescens* dan *E. Coli*

Persiapan Spesimen Uji Korosi

Dalam penelitian ini spesimen uji korosi menggunakan baja ASTM A53 dan baja ASTM A106, sesuai dengan *American Society of Mechanical Engineers* (ASME).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari penelitian ini meliputi:

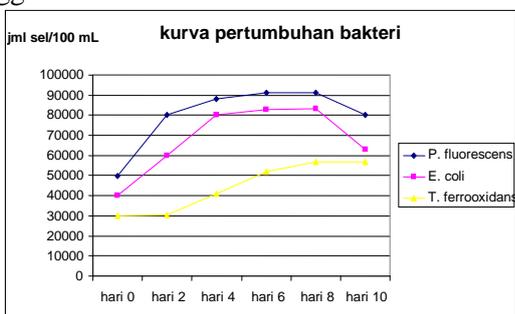
1. Pertumbuhan bakteri pada media pengganti air laut. Media pengujian menggunakan larutan

pengganti air laut sesuai ASTM D1141-90, "Standard Specification for Substitute Ocean Water".

2. Laju korosi baja ASTM A53 dan ASTM A106 pada media pengujian tanpa pengaruh bakteri.
3. Laju korosi baja ASTM A53 dan ASTM A106 pada media pengujian dengan variasi bakteri *E. coli*, *P. fluorescens*, dan *T. ferrooxidans*.

Kurva Pertumbuhan Bakteri

Kurva pertumbuhan bakteri dinyatakan dalam jumlah sel/mL (log) yang dilakukan selama rentang waktu 10 hari, didasarkan pada masa inkubasi bakteri. Bakteri ditumbuhkan dalam media pengganti air laut ASTM D 1141-90 salinitas 35‰.



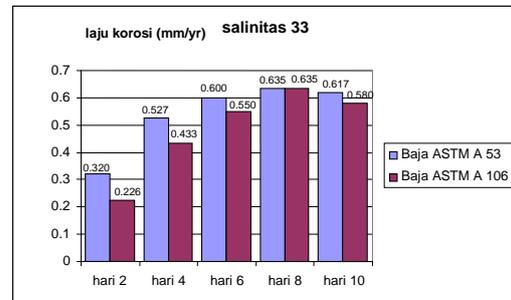
Gambar 4. Kurva Perbandingan Pertumbuhan Bakteri dalam Air Laut Salinitas 35‰

Kurva pertumbuhan bakteri di atas menunjukkan bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan *Escherichia coli* memiliki pola pertumbuhan yang mirip. Keduanya mengalami pertumbuhan yang sangat cepat yang terlihat dari fase eksponensial dari hari pertama sampai hari ke-6. Sedangkan pada bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*, selain pertumbuhannya lambat juga memiliki fase lagi selama 2 hari pertama.

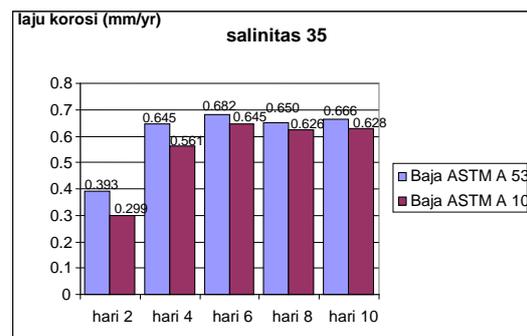
Bakteri *P. fluorescens* mencapai jumlah maksimum pada hari ke 6-8 masa pertumbuhannya. Pada fase tersebut. Jumlah koloni bakterinya mencapai 91200 sel/100 mL air laut. Untuk bakteri *E. coli*, jumlah maksimumnya mencapai 83300 sel/100mL air laut. Jumlah tersebut tercatat pada hari ke-8, mirip dengan *Pseudomonas fluorescens*. Sedangkan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* yang memang seharusnya hidup di kondisi asam, ternyata masih dapat menyesuaikan diri dengan air laut salinitas 35‰, hal ini disebabkan karena ketahanan bakteri ini yang sangat baik. Jumlah koloni maksimum selama pengujian dicapai pada hari ke-8 s/d hari ke-10, dengan jumlah koloni bakteri 57000 sel/100mL.

Laju Korosi Baja pada Media Pengujian Tanpa Pengaruh Bakteri.

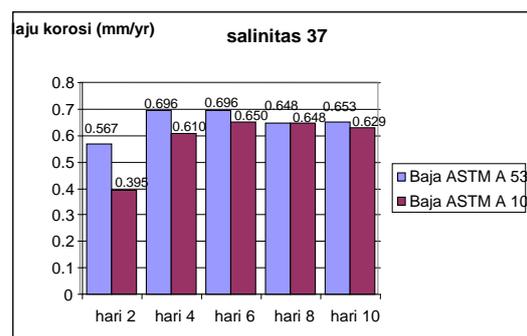
Pengujian ini ditujukan sebagai eksperimen perbandingan faktor ketahanan korosi material baja ASTM A53 dan ASTM A106, sebelum penambahan 3 jenis bakteri dalam limbah.



Gambar 5. Diagram Perbandingan Laju Korosi pada Salinitas 33‰ Tanpa Pengaruh Bakteri



Gambar 6. Diagram Perbandingan Laju Korosi pada Salinitas 35‰ Tanpa Pengaruh Bakteri



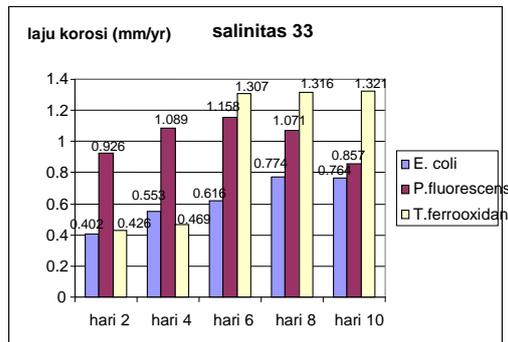
Gambar 7. Diagram Perbandingan Laju Korosi pada Salinitas 37‰ Tanpa Pengaruh Bakteri

Dari Gambar 5 hingga Gambar 7, nampak jelas bahwa spesimen uji baja ASTM A106 memiliki tingkat ketahanan korosi yang lebih baik daripada baja ASTM A53. Dengan laju korosi maksimum

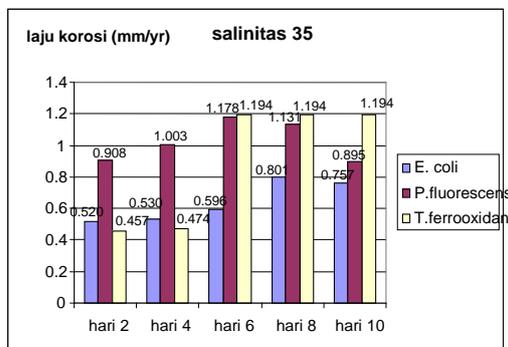
sebesar 0,696 mm/tahun yang terjadi pada salinitas 37‰ hari ke-6, material ASTM A 53 sedikit lebih rentan terkorosi jika dibandingkan dengan ASTM A 106 yang laju korosi maksimumnya 0,650 mm/tahun yang terjadi pula pada salinitas 37‰ hari ke-6.

Laju Korosi Baja pada Media Penguji dengan Pengaruh Bakteri *E. coli*, *P. fluorescens*, dan *T. ferrooxidans*

Grafik laju korosi baja ASTM A 53

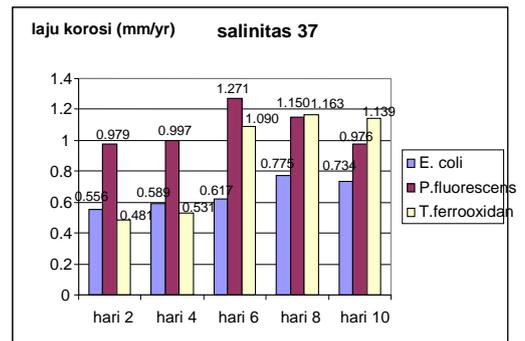


Gambar 8. Diagram Perbandingan Laju Korosi Baja ASTM A53 Pada Salinitas 33‰ dengan Pengaruh Bakteri



Gambar 9. Diagram Perbandingan Laju Korosi Baja ASTM A 53 pada Salinitas 35‰ Dengan Pengaruh Bakteri

Pada Gambar 8 terlihat bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada hari ke-10 lingkungan laut salinitas 33‰. Hal ini terjadi karena pengaruh bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan laju korosinya sebesar 1,321 mm/year. Bakteri *Thiobacillus Ferrooxidans* adalah bakteri yang mampu menghasilkan senyawa H₂SO₄ dalam proses metabolisme yang dilakukannya.

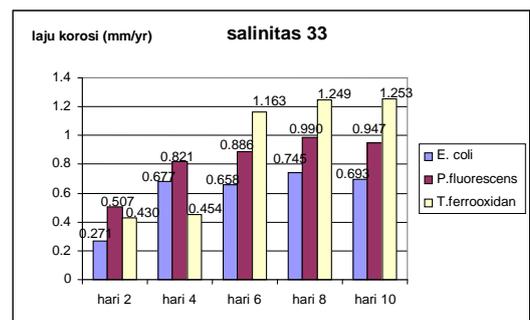


Gambar 10. Diagram Perbandingan Laju Korosi Baja ASTM A 53 pada Salinitas 37‰ Dengan Pengaruh Bakteri

Secara umum, bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan *Pseudomonas fluorescens* yang memiliki laju korosi maksimum sebesar 1,271 mm/tahun (salinitas 37‰, hari ke-6) memegang peranan penting dalam pengkorosian baja di kondisi salinitas 33‰ ini.

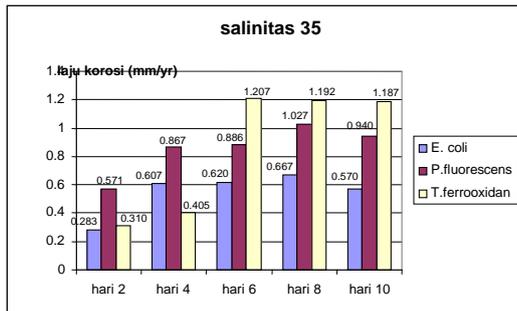
Data pengukuran yang menunjukkan angka di atas 1 mm/year merupakan bukti bahwa peranan bakteri dalam peristiwa perkaratan tidak dapat dikesampingkan. Hanya saja untuk *E. Coli*, korosi yang terjadi tidak berbeda terlalu jauh jika dibandingkan pada pengujian tanpa bakteri. Laju korosi maksimumnya hanya 0,801 mm/tahun yang terjadi pada salinitas 35‰ hari ke-8.

Grafik Laju Korosi Baja ASTM A 106



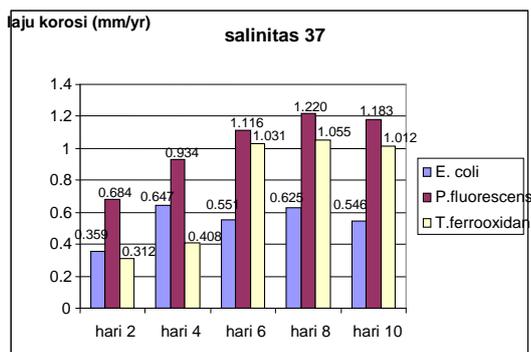
Gambar 11. Diagram Perbandingan Laju Korosi Baja ASTM A 106 pada Salinitas 33‰ Dengan Pengaruh Bakteri

Material A106 lebih tahan terhadapkorosi daripada material A53 karena grade material lebih tinggi. Laju korosi maksimal material A106 sebesar 1,253 mm/tahun yang terjadi pada salinitas 33‰ hari ke-10 karena pengaruh bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*



Gambar 12. Diagram Perbandingan Laju Korosi Baja ASTM A 106 pada Salinitas 35% Dengan Pengaruh Bakteri

Pseudomonas fluorescens mencatatkan laju korosi maksimal 1,220 mm/year yang terjadi pada salinitas 37‰ hari ke-8, dan untuk *Escherichia coli*, korosi maksimalnya terjadi pada salinitas 33‰ hari ke-8 dengan laju korosi sebesar 0,745 mm/tahun.



Gambar 13. Diagram Perbandingan Laju Korosi Baja ASTM A 106 pada Salinitas 37% Dengan Pengaruh Bakteri

Laju korosi material akibat bakteri *Escherichia coli* masih di bawah dua bakteri uji lainnya, meskipun menghasilkan senyawa organik dan H_2S dalam metabolismenya. Hal ini dikarenakan lapisan biofilm yang dihasilkan bakteri ini menutupi permukaan spesimen uji sehingga menjadi terlindung dari korosi.

Hubungan antara Kurva Pertumbuhan Bakteri dengan Laju Korosi Material Baja ASTM A 53 dan ASTM A 106

Dari kurva pertumbuhan bakteri *P. fluorescens* dan *E. coli* didapatkan fase eksponensial (*log-phase*), fase stasioner (*stationary-phase*), dan fase mati (*death-phase*).

Sedangkan pada pertumbuhan *T. ferrooxidans* didapatkan fase permulaan (*lag-phase*) yang

merupakan fase penyesuaian dari bakteri, karena sebenarnya bakteri ini hidup di lingkungan perairan yang asam. Fase permulaan ini berlangsung sampai hari ke-4 dan fase stasioner mulai hari ke-6 sampai hari ke-10. Fase eksponensial (*logaritma*) terjadi pada saat terdapat kelebihan nutrisi yang dibutuhkan mikroba. Dimana fase ini terjadi pertumbuhan yang sangat cepat dari bakteri, dan kecepatan pertumbuhan sebanding dengan jumlah massa sel dari tiap individu yang berdampak pada meningkatnya laju korosi spesimen uji.

4. KESIMPULAN

Bakteri yang menimbulkan korosi paling besar adalah *Thiobacillus ferrooxidans* pada lingkungan laut salinitas 33‰. Selain itu, terdapat keterkaitan antara masa inkubasi bakteri terhadap laju korosi dari suatu material baja di lingkungan laut. Secara umum, material baja ASTM A106 lebih tahan korosi akibat bakteri daripada material baja ASTM A53 pada kondisi di lingkungan laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bradford, A. S. (1992). **Corrosion Control**. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Brimblecombe, Peter. Lein, Alla Yu. (1988). **Evolution of the Global Biogeochemical Sulphur Cycle Scope 39**. Scientific Commite on Problems of the Environment. Paris.
- Bryson, H. J. (1996). **Corrosion of Carbon Steel**. ASM Handbook. Formerly 9th ed, Metals Handbook. Vol. 13.
- Chandler, K. A. (1985). **Marine and Offshore Corrosion**. Butterworths. London
- Chi-Yuan Fan, Richard Field, W. C. Pisano. (1996). **Sewer and Tank Flushing for Corrosion and Pollution Control**. Environmental Protection Agency. U.S.
- Dexter, C. S. (1995). **Localized Biological Corrosion**. College of Marine Studies University of Delaware.
- Dexter, C. S. (1996). **General Biological Corrosion**. ASM Handbook. Formerly 9th ed, Metal Handbook. Vol. 13.