

**PENGARUH KONSENTRASI ZAT ANTI KOROSI OLIGOMER 4-VINIL
PIRIDIN TERHADAP PERTUMBUHAN *IRON OXYDIZING BACTERIA*
(IOB)**

(Skripsi)

Oleh

WINDI RATNASARI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

PENGARUH KONSENTRASI ZAT ANTI KOROSI OLIGOMER 4-VINIL PIRIDIN TERHADAP PERTUMBUHAN *IRON OXYDIZING BACTERIA* (IOB)

Oleh

WINDI RATNASARI

Korosi atau pengkaratan adalah peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu logam yang disebabkan oleh reaksi dengan lingkungannya. Korosi dapat dicegah dengan menggunakan inhibitor atau zat anti korosi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi zat anti korosi oligomer 4-vinil piridin terhadap pertumbuhan *iron oxydizing bacteria* (IOB), yang diduga efektif menghambat pertumbuhan mikroba pengoksidasi besi (*Thiobacillus ferrooxidans*). Tahap penelitian meliputi pembuatan kurva pertumbuhan dari bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan penentuan nilai pH optimum dari pertumbuhan bakteri tersebut. Oligomer 4-vinil piridin yang berperan sebagai inhibitor korosi dilakukan sintesis hingga diperoleh hasil sintesis oligomer 4-vinil piridin. Selanjutnya *Thiobacillus ferrooxidans* dan hasil sintesis oligomer 4-vinil piridin dihitung nilai *lethal concentration* (LC₅₀). Berdasarkan kurva pertumbuhan diperoleh waktu setengah dari fase eksponensial yaitu pada hari ke-7 dan nilai pH optimum diperoleh pada pH 2,5. Hasil sintesis oligomer 4-vinil piridin diperoleh cairan kental berwarna jingga. Nilai LC₅₀ pada oligomer 4-vinil piridin diperoleh pada konsentrasi 0,14 ppm. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa senyawa oligomer 4-vinil piridin mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*.

Kata kunci : Oligomer 4-Vinil Piridin, *Iron Oxydizing Bacteria*, *Thiobacillus ferrooxidans*, *Lethal Concentration 50* (LC₅₀).

ABSTRACT

EFFECT OF 4-VINYL PYRIDINE OLIGOMER CORROSION MATERIAL CONCENTRATION ON IRON OXYDIZING BACTERIA (IOB) GROWTH

By

WINDI RATNASARI

Corrosion or rusting is the process of damage or deterioration of the quality of a metal caused by reaction with its environment. Corrosion can be prevented by using inhibitors or anti corrosion substances. This study aims to determine the effect of the concentration of anti-corrosion resistant substance 4-vinyl pyridine oligomeric against the growth of iron oxydizing bacteria (IOB), which is suspected to effectively inhibit microbial growth of iron oxidization (*Thiobacillus ferrooxidans*). The research phase includes the creation of growth curves from *Thiobacillus ferrooxidans* bacteria and the optimum pH value determination of the bacteria growth. 4-vinyl pyridine oligomeric which acts as a corrosion inhibitor carried out synthesis until obtained by the synthesis of 4-vinyl pyridine oligomeric. Furthermore, *Thiobacillus ferrooxidans* and the synthesis results of 4-vinyl pyridine oligomeric computed value of lethal concentration (LC₅₀). Based on the growth curve obtained half time from the exponential phase is on the 7th day and the optimum pH value is obtained at pH 2.5. Results of the synthesis of 4-vinyl pyridine oligomers is obtained orange coloured viscous fluid. The LC₅₀ value in 4-vinyl pyridine oligomers is obtained at a concentration of 0.14 ppm. Based on the results of the study can be concluded that the 4-vinyl pyridine oligomeric compounds are able to inhibit the growth of *Thiobacillus ferrooxidans* bacteria.

Keywords: 4-Vinyl Pyridine Oligomeric, Iron Oxydizing Bacteria, *Thiobacillus ferrooxidans*, Lethal Concentration 50 (LC₅₀)

**PENGARUH KONSENTRASI ZAT ANTI KOROSI OLIGOMER 4-VINIL
PIRIDIN TERHADAP PERTUMBUHAN *IRON OXYDIZING BACTERIA*
(IOB)**

Oleh

WINDI RATNASARI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **PENGARUH KONSENTRASI ZAT ANTI
KOROSI OLIGOMER 4-VINIL PIRIDIN
TERHADAP PERTUMBUHAN *IRON
OXYDIZING BACTERIA (IOB)***

Nama Mahasiswa : **Windi Ratnasari**

No. Pokok Mahasiswa : 1517011015

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing




Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.
NIP. 19711001 200501 1 002



Dr. Ilim, M.S.
NIP. 19650525 199003 2 002

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA



Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 19740705 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji


Ketua : **Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.**



Sekretaris : **Dr. Ilim, M.S.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Nurhasanah, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.

NIP. 19640604 199003 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **02 Desember 2019**

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Windi Ratnasari
NPM : 1517011015
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa skripsi saya berjudul:

“Pengaruh Konsentrasi Zat Anti Korosi Oligomer 4-Vinil Piridin Terhadap
Pertumbuhan *Iron Oxydizing Bacteria* (IOB)”

Adalah benar karya saya sendiri dan saya juga tidak keberatan jika sebagian atau
seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi
untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 16 Desember 2019



(Windi Ratnasari)
NPM. 1517011015

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Winda Ratnasari, lahir di Sukanegara pada tanggal 13 Oktober 1997, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, dari Bapak Sukamto dan Ibu Sulasmi. Penulis mengawali jenjang pendidikan Taman Kanak-Kanak Aisyiyah Bustanul Atfal Sukanegara pada tahun 2002. Tahun 2003 penulis melanjutkan

pendidikannya di SDN 01 Sukanegara yang diselesaikan pada tahun 2009.

Kemudian penulis melanjutkan sekolah menengah pertama di SMPN 01

Bangunrejo, Lampung Tengah pada tahun 2009-2012, dan sekolah menengah atas

di SMAN 01 Bangunrejo, Lampung Tengah pada tahun 2012-2015. Pada tahun

2015, penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan kimia FMIPA Universitas

Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri

(SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif berorganisasi. Organisasi yang

pernah diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) Fakultas

Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung sebagai Kader

Muda Himaki (KAMI) periode 2015/2016 dan anggota Biro Penerbitan (BP)

periode 2016/2017. Selain mengikuti organisasi, penulis juga pernah menjadi

asisten Praktikum Biokimia I tahun 2019 untuk mahasiswa biologi. Pada tahun

2019, penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul “Uji *Minimum Inhibitor Concentration* (MIC’s) at Anti Korosi Oligomer 4Vinil Piridin Terhadap *Iron Oxydizing Bacteria* (IOB)” di Laboratorium Biokimia FMIPA Universitas Lampung. Penulis melaksanakan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 32 hari di Desa Bumi Tinggi, Kecamatan Bumi Agung, Kabupaten Lampung Timur pada tahun 2018.

Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawab kepada :

*Kedua orang tuaku,
Bapak Sukanto dan Ibu Sulasmi yang telah memberikan kasih sayang, cinta, doa, dukungan dan motivasinya.*

*Rasa hormatku kepadaku:
Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.
Ibu Dr. Ilim, M.S.
Terima kasih atas ilmu, nasihat, dan kesabaran dalam membimbing selama ini.*

Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia atas seluruh ilmu yang telah diberikan

Keluarga besar dan sahabat

*Almamater Tercinta
Universitas Lampung*

MOTTO

Kemenangan yang seindah-indahnya dan sesukar-sukarnya yang boleh direbut oleh manusia ialah menundukan diri sendiri."

(Ibu Kartini)

Allah tidak akan membebani seseorang melainkan dengan kesanggupannya

(Q.S. Al-Baqarah:286)

Success is not a final, only an achievement

It's not whether you get knocked down,
it's whether you get up

(Vince Lombardi)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan
Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain.

Dan hanya kepada Tuhanmu lah hendaknya kamu berharap

(QS. Al-Insirah: 6-8)

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Konsentrasi Zat Anti Korosi Oligomer 4-Vinil Piridin Terhadap Pertumbuhan *Iron Oxydizing Bacteria* (IOB)" sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Shalawat serta salam tak lupa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya yang selalu taat mengikuti dan mengamalkan ajaran dan sunnahnya. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku pembimbing I penelitian atas segala bimbingan, semangat, bantuan, nasihat, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Ilim, M.S., selaku pembimbing II penelitian atas segala bimbingan, nasihat, motivasi, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

5. Ibu Dr. Nurhasanah, M.Si., selaku pembahas penelitian atas kesediaan memberikan motivasi, kritik dan saran yang membangun bagi penulis.
6. Bapak Prof. Dr. Rudy TM Situmeang, M.Sc., selaku pembimbing akademik penulis yang telah memberikan bimbingan, semangat, motivasi, dan saran selama perkuliahan.
7. Segenap staf pengajar dan karyawan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Kedua orang tuaku, Bapak Sukanto dan Ibu Sulasmi terimakasih yang tak terhingga atas segala kasih sayang, cinta, kesabaran, dukungan, semangat, dan do'a yang tak pernah berhenti.
9. Kakak-kakak dan keponakan-keponakanku tersayang, serta seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan kasih sayang, semangat, dukungan, dan do'a untuk penulis.
10. Sahabat yang menemani berjuang dari awal perkuliahan : Dwi Nurhayati, Putri Damayanti, Reni Wulandari, Rifka Amalia, dan Risyda Umami yang telah menemani penulis dalam berbagai keadaan dan perasaan. Terimakasih untuk kebersamaan yang tak terlupakan, semangat, bantuan, nasihat, canda dan tawanya.
11. Partner penelitian "Singkong Squad" : Desi Damayanti, Dwi Nurhayati, Melina Putri Ahmad, Rani Fitria, Uhti Alaika, Widya Kusuma, dan Widya Susanti yang telah berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan penelitian, selalu membantu dan menyemangati penulis.

12. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Biokimia yang menemani penulis selama penelitian.
13. Keluarga Chem15try Unila, terimakasih atas kebersamaan yang telah dilalui dalam keidupan di kampus dari awal sampai sekarang. *See you guys!*
14. Riki Oktavianus yang dengan sabar selalu mendo'akan, memberi semangat, bantuan, menjadi pendengar setia bagi penulis, dan memotivasi penulis untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
15. Keluarga "The Cabul's Wisuda" yang telah menjadi teman, sahabat serta keluarga bagi penulis. Terimakasih atas kebersamaan, keceriaan, dan canda tawanya *guys!*
16. Teman-teman Kost Wisma Rizky, Asrama Safitri dan Penguni Sans Appart serta teman mainku Desi Sulistyawati dan Febriana Citra yang telah memberikan semangat kepada penulis untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
17. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlipat-lipat ganda. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi rekan-rekan khususnya mahasiswa kimia dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, Desember 2019

Windi Ratnasari

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	ivv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	5
C. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Korosi	7
1. Pengertian Korosi.....	7
2. Jenis-Jenis Korosi	9
3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi.....	15
4. Dampak Korosi	19
5. Pengendalian Korosi	20
6. Pengendalian Korosi dengan Inhibitor	24
7. Jenis-Jenis Inhibitor	25
B. Inhibitor Oligomer 4-Vinil Piridin.....	27
C. Bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	28
III. METODE PENELITIAN	31
A. Waktu dan Tempat	31
B. Alat dan Bahan.....	31
C. Prosedur Penelitian.....	32
1. Persiapan Alat.....	32
2. Pembuatan Media Bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	32
3. Kultur dan Peremajaan Bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	32
4. Penentuan Kurva Pertumbuhan Bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	33

5. Penentuan Nilai pH Optimum Bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	33
6. Sintesis Oligomer 4-Vinil Piridin	34
7. Penentuan Nilai <i>Lethal Concentration</i> 50 (LC ₅₀) Anti Korosi Oligomer 4-Vinil Piridin Terhadap Pertumbuhan <i>Iron Oxydizing Bacteria</i> (IOB)....	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
A. Kultivasi Bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	35
B. Pertumbuhan Bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	36
C. Penentuan Nilai Optimum pH pada Pertumbuhan Bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	40
D. Sintesis Oligomer 4-Vinil Piridin	41
E. Penentuan Nilai <i>Lethal Concentration</i> (LC ₅₀) Anti Korosi Oligomer 4-Vinil Piridin Terhadap Pertumbuhan <i>Iron Oxydizing Bacteria</i> (IOB)....	42
V. SIMPULAN DAN SARAN	46
A. Simpulan.....	46
B. Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN	54

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil nilai absorbansi kurva pertumbuhan <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	38
2. Preparasi I Media Cair <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	55
3. Preparasi II Media Cair <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	55
4. Perhitungan Kurva Pertumbuhan Bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	57
5. Perhitungan Parameter a dan $\ln k $ dari Kurva Pertumbuhan <i>Thiobacillus</i> <i>ferrooxidans</i>	61
6. Hasil Nilai Absorbansi Penentuan pH Optimum Pertumbuhan <i>Thiobacillus</i> <i>ferrooxidans</i>	63
7. Hasil Absorbansi Penentuan LC ₅₀ Oligomer 4-Vinil Piridin Terhadap Pertumbuhan <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Korosi seragam.....	9
2. Korosi sumuran.....	10
3. Korosi celah.....	11
4. Korosi galvanis.....	12
5. Korosi erosi.....	12
6. Korosi kavitasi.....	13
7. Korosi batas butir pada pipa.....	14
8. Korosi mikrobiologi.....	15
9. Korosi selektif.....	15
10. Struktur Oligomer 4-Vinil Piridin.....	27
11. Hasil kultivasi <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> pada media padat.....	36
12. Hasil kultivasi <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> pada media cair.....	36
13. Kurva pertumbuhan bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	37
14. Grafik pH optimum bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	41
15. Hasil sintesis oligomer 4-vinil piridin.....	42
16. Hasil penentuan nilai <i>lethal concentration</i> 50 (LC ₅₀) dari oligomer 4-vinil piridin.....	43
17. Grafik hasil uji <i>lethal concentration</i> 50 (LC ₅₀).....	44

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan sektor industri di Indonesia saat ini meningkat cukup pesat. Peningkatan tersebut didukung oleh adanya mesin-mesin besar, pipa-pipa saluran (minyak, gas, dan air), serta peralatan-peralatan berat lain yang digunakan dalam dunia industri. Peralatan-peralatan tersebut hampir semua didominasi oleh logam sebagai materialnya. Namun dalam aplikasinya, logam sering menimbulkan masalah yang cukup sulit untuk dipecahkan. Salah satu masalah yang cukup besar pada logam yaitu korosi. Banyak kerugian yang disebabkan oleh korosi sehingga perusahaan perlu mengeluarkan biaya yang cukup besar untuk memperbaiki peralatan yang mengalami kerusakan akibat korosi (Dai *et.al.*, 2015).

Korosi merupakan penurunan kualitas yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan logam dengan unsur-unsur lain yang terdapat di alam (Sidiq, 2013). Korosi dikenal sebagai pengkaratan yang merupakan suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu logam yang disebabkan oleh reaksi dengan lingkungannya. Sehingga proses korosi tidak dapat dihindari dan sangat merugikan (Bayliss, 2010).

Berdasarkan data *National Association of Corrosion Engineers* (NACE), biaya yang dikeluarkan oleh USA untuk penanggulangan korosi pada eksplorasi dan pemurnian minyak dan gas sebesar \$1,4 milyar (Haslim, 2012). Kerugian akibat korosi bagi perekonomian di Inggris mencapai \$1,365 juta dalam setahun yang mewakili 3,5% dari *Gross National Production* (GNP) (Bhaskaran *et.al.*, 2005). Di Indonesia pemerintah menganggarkan 1-1.5% dari *Gross Domestic Production* (GDP) atau mencapai triliun rupiah dana yang dianggarkan untuk menangani korosi (Wahyuningsih, 2010). Biaya-biaya besar yang dikeluarkan oleh pemerintah di bidang industri digunakan untuk melindungi material dari serangan korosi dengan penggantian alat yang rusak, perawatan peralatan, pengecatan material, maupun pelapisan logam. Sehingga hal tersebut harus ditangani dengan baik mengingat besarnya kerugian yang akan ditanggung perusahaan apabila korosi dibiarkan begitu saja (Liu, 2015).

Korosi di lingkungan industri rentan terjadi karena udara yang lembab, kandungan oksida asam yang tinggi seperti gas SO_2 dan CO_2 , adanya kontak dengan senyawa elektrolit, adanya zat pengotor, serta adanya mikroorganisme. Kehadiran mikroorganisme tertentu seperti bakteri, jamur ataupun alga dapat menyebabkan terjadinya korosi yang dipengaruhi secara mikrobiologis. Mikroorganisme tersebut dapat berperan secara aktif maupun secara pasif dalam menyebabkan korosi (Bazes, 2009). Pada mikroorganisme yang berperan secara aktif, kehadiran mikroorganisme menyebabkan terjadinya reaksi korosi atau mempercepat adanya reaksi korosi yang dipengaruhi oleh pH, suhu, laju aliran fluida, konsentrasi oksigen dan

lingkungan asam (Enning and Garrelfs, 2014). Mikroorganisme yang berperan secara aktif dapat disebabkan oleh bakteri aerob maupun anaerob. Sedangkan mikroorganisme yang berperan secara pasif, dapat menyebabkan perubahan laju aliran fluida yang menginduksi adanya korosi erosi (Barton and Hamilton, 2007).

Jenis bakteri yang dapat menyebabkan korosi antara lain bakteri pereduksi sulfat dan bakteri pengoksidasi besi. Beberapa bakteri pereduksi sulfat yang dikenal antara lain *Desulfovibrio desulfuricans*, *Desulfobacterium*, *Desulfomonas*, dan *Desulfotomaculum nigrificans*. Umumnya bakteri pereduksi sulfat merupakan bakteri anaerob yang memiliki ketahanan yang baik pada temperatur sampai dengan 80°C dan bekerja baik pada pH 5-9 (Enning and Garrelfs, 2014). Sedangkan *Thiobacillus ferrooxidans*, *Gallionella*, *Sphaerotilus* merupakan contoh bakteri pengoksidasi besi. *Thiobacillus ferrooxidans* merupakan bakteri aerobik yang hidup dikisaran pH optimum 1,5-2,5 dan suhu 45-50°C (Ulusoy and Dimoglo, 2017). Bakteri ini mampu mengoksidasi Fe (II) menjadi Fe (III) yang dapat menyebabkan korosi. Hal ini disebabkan karena bakteri tersebut mampu mendegradasi logam melalui reaksi redoks untuk memperoleh energi bagi keberlangsungan hidupnya.

Metode yang umum digunakan untuk mengurangi terjadinya korosi di bidang industri adalah dengan pelapisan pada permukaan logam, perlindungan katodik, penambahan inhibitor korosi, dan lain-lain (Qian *et.al.*, 2015). Korosi pada bagian permukaan luar pipa dapat diatasi dengan pelapisan

(*coating*) atau perlindungan katodik, sedangkan pada permukaan bagian dalam pipa hanya dapat dikendalikan dengan cara penambahan inhibitor korosi. Penggunaan inhibitor korosi untuk perlindungan pipa bagian dalam adalah teknik yang paling banyak digunakan dalam bidang industri (Mainier *and* Guimaraes, 2014). Sehingga cara ini merupakan salah satu cara yang efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang murah dan prosesnya sederhana.

Inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang ditambahkan ke dalam lingkungan korosif, walaupun dalam jumlah sangat sedikit tetapi dapat menurunkan laju korosi. Inhibitor korosi dapat berupa senyawa organik maupun anorganik, namun inhibitor anorganik dapat bersifat toksik bagi lingkungan apabila terakumulasi terutama yang mengandung fosfat, kromat dan logam berat lainnya (Chigondo *and* Chigondo, 2016). Sedangkan inhibitor organik lebih bersifat ramah terhadap lingkungan (Azzaoui *et.al.*, 2017). Inhibitor organik sendiri terdiri dari inhibitor organik alami dan sintesis. Inhibitor organik alami diperoleh dari ekstrak tumbuhan, biasanya terdiri dari senyawa-senyawa organik yang mengandung gugus nitrogen, belerang, oksigen, fosfor yang memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan elektron bebas ini nantinya dapat berfungsi sebagai ligan yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan logam. Sedangkan inhibitor organik sintesis terbuat dari bahan bakar fosil, contohnya seperti senyawa imidazolin dan senyawa polimer (Chigondo *and* Chigondo, 2016).

Pada penelitian sebelumnya Ilim *et.al.* (2016), diketahui bahwa senyawa polimer mampu membentuk lapisan pelindung permukaan logam yang lebih baik dibandingkan inhibitor korosi dengan molekul berukuran kecil. Karena kinerjanya yang baik, banyak senyawa polimer yang telah diteliti kemampuannya sebagai inhibitor korosi, diantaranya polivinil piridin (4-vinil piridin) atau P(4-VP) (Ilim *et.al.*, 2017). Sejauh ini, studi pengamatan tentang penggunaan P(4-VP) sebagai inhibitor korosi terhadap *Iron Oxydizing Bacteria* (IOB) atau bakteri pengoksidasi besi belum ditemukan. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas inhibitor oligomer 4-vinil piridin terhadap bakteri pengoksidasi besi.

B. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka penelitian ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Mengkultivasi bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* sebagai bakteri pengoksidasi besi.
2. Mendapatkan kurva pertumbuhan dari bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*.
3. Mengetahui nilai pH optimum dari bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*.
4. Mengetahui nilai *Lethal Concentration* 50 (LC₅₀) dari oligomer 4-vinil piridin terhadap pertumbuhan *Thiobacillus ferrooxidans*.

C. Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan tujuan diatas maka penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* sebagai bakteri pengoksidasi besi.
2. Memberikan informasi mengenai senyawa oligomer 4-vinil piridin dapat berperan sebagai inhibitor korosi.
3. Memberikan kontribusi dalam menangani permasalahan korosi di Indonesia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Korosi

Pada bagian ini dibahas tentang; pengertian korosi, jenis-jenis korosi, faktor-faktor yang dapat mempengaruhi laju korosi, dampak korosi, pengendalian korosi dengan inhibitor korosi, jenis-jenis inhibitor korosi, oligomer 4-vinil piridin dan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*.

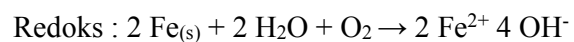
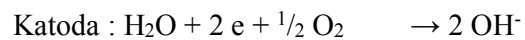
1. Pengertian Korosi

Korosi merupakan penurunan mutu logam akibat adanya reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Logam yang mengalami penurunan mutu tidak hanya melibatkan reaksi kimia namun juga reaksi elektrokimia, yakni antara bahan-bahan yang bersangkutan dengan terjadinya perpindahan elektron. Banyak faktor yang dapat menyebabkan korosi suatu material, salah satu diantaranya yakni pengaruh konsentrasi media korosi (Singhbabu, *et.al.*, 2015).

Korosi adalah reaksi dari suatu logam dengan senyawa lain yang berada disekitarnya yang menghasilkan senyawa yang tidak dikehendaki. Peristiwa korosi mengakibatkan degradasi atau penurunan mutu material, sehingga logam menjadi material yang kurang bermanfaat (Valdez, *et.al.*, 2014). Hasil

dari reaksi korosi ini, suatu material atau logam akan mengalami perubahan (baik berupa fisik maupun kimia) sifatnya ke arah yang lebih rendah atau bisa dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang. Proses korosi ini merupakan suatu fenomena yang alami. Jika dipandang dari sudut metalurgi, fenomena korosi merupakan peristiwa dimana suatu material akan kembali dalam bentuk asalnya karena pada bentuk asalnya logam memiliki energi yang rendah, atau bisa disebut juga kebalikan dari proses metalurgi ekstraksi karena pada metalurgi ekstraksi membutuhkan energi yang besar untuk mendapatkan logam yang lebih murni.

Contoh yang umum terjadi proses korosi adalah pada pipa penyalur minyak dan gas yang menggunakan material logam baja paduan di lingkungan air laut sebagai berikut:



Reaksi di atas dapat dijelaskan bahwa reaksi terjadi pada anoda ialah logam Fe mengalami oksidasi sehingga menghasilkan ion-ion logam Fe dan elektron. Pada katoda terjadi reaksi reduksi dimana terjadi pelepasan ion-ion OH^- yang menyebabkan lingkungan menjadi basa atau netral. Ion OH^- ini berasal dari reduksi oksigen.

Pada logam yang teroksidasi akan larut ke lingkungannya menghasilkan ion-ion logam dan melepaskan elektron secara bersamaan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi dimana ion-ion dari lingkungan mendekati logam dan

menangkap elektron-elektron yang tertinggal pada logam. Korosi terjadi melalui perantara dimana perantara tersebut adalah lingkungannya dan biasa disebut sebagai elektrolit.

2. Jenis-Jenis Korosi

Jenis-jenis korosi sangat beraneka ragam. Secara umum, jenis-jenis korosi dapat dibedakan menjadi korosi seragam (*uniform corrosion*), korosi sumuran (*pitting corrosion*), korosi celah (*crevice corrosion*), korosi galvanis (*galvanic corrosion*), korosi erosi (*erosion corrosion*), korosi kavitasi (*cavitation corrosion*), korosi batas butir (*intergranular corrosion*), korosi mikrobiologi, dan korosi selektif.

a. Korosi Seragam (*Uniform Corrosion*)

Korosi seragam ditandai dengan serangan korosif secara merata di seluruh luas permukaan atau sebagian besar dari total luas tersebut, dapat dilihat pada Gambar 1 (Roberge, 2008).



Gambar 1. Korosi seragam (Roberge, 2008)

Korosi jenis ini mengakibatkan pengurangan ketebalan yang relatif merata pada permukaan logam (Bardal, 2007). Korosi ini terjadi ketika luas permukaan logam terkorosi sepenuhnya dalam lingkungan seperti cairan elektrolit (larutan kimia, logam cair), gas elektrolit (udara), atau elektrolit *hybrid* (air, organisme biologis). Contohnya seperti *stainless steel* yang direndam dalam lingkungan natrium klorida (NaCl), tangki baja yang berkarat karena terkena udara, korosi pada pipa dekat rel kereta api dan lain-lain (Perez, 2016).

b. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran merupakan jenis korosi lokal yang secara selektif menyerang bagian permukaan logam. Gambar 2 menunjukkan contoh logam yang mengalami korosi sumuran.



Gambar 2. Korosi sumuran (Cramer, 2003)

Permukaan logam yang terserang korosi sumuran ditandai dengan adanya lubang. Korosi ini lebih sulit diamati dibandingkan jenis korosi seragam.

Korosi retak tegang dan korosi lelah merupakan awal terbentuknya korosi sumuran (Roberge, 2008).

c. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi celah terjadi ketika permukaan logam terkena medium korosif yang menyebabkan korosi terlokalisasi (Sidiq dkk, 2013). Logam yang mengalami korosi celah ditandai dengan adanya celah-celah, lubang, ataupun retak seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Korosi celah pada sambungan pipa (Cramer, 2003)

Celah tersebut hadir akibat tersumbatnya kotoran dan air di antara dua logam yang berdempetan (Roberge, 2008).

d. Korosi Galvanis (*Galvanic Corrosion*)

Korosi galvanis merupakan proses pengkaratan elektrokimiawi. Korosi ini dapat terjadi apabila dua jenis logam yang berbeda potensial dimasukkan ke dalam satu elektrolit. Elektron dari logam yang bersifat anodik mengalir menuju logam yang bersifat katodik. Akibatnya, logam yang bersifat anodik akan terkorosi. Korosi galvanis dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Korosi galvanis (Roberge, 2008).

Logam dengan potensial elektroda lebih tinggi (katodik) akan mengalami reduksi, sedangkan logam yang memiliki potensial elektroda lebih rendah (anodik) akan mengalami oksidasi. Kedua logam akan membentuk sel galvanik. Bahan dengan potensial korosi lebih tinggi menjadi katoda sedangkan yang lebih rendah sebagai anoda dan terkorosi (Roberge, 2008).

e. Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

Korosi erosi adalah jenis korosi yang disebabkan karena adanya aliran, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Korosi erosi (Roberge, 2008).

Laju korosi erosi bergantung pada kecepatan pelarutan lapisan pelindung permukaan logam (Shreir, 2010).

f. Korosi Kavitasi (*Cavitation Corrosion*)

Bentuk korosi ini berkaitan erat dengan korosi erosi. Jenis korosi ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Korosi kavitasi (Bardal, 2007).

Korosi jenis ini terjadi ketika tingginya kecepatan cairan yang menghasilkan gelembung-gelembung uap air. Apabila gelembung-gelembung tersebut mengenai permukaan logam akan menyebabkan lapisan pelindung pecah dan terjadilah korosi (Bardal, 2007).

g. Korosi Batas Butir (*Intergranular Corrosion*)

Korosi batas butir merupakan korosi yang menyerang batas butir secara lokal, sehingga butir-butir logam akan hilang. Korosi jenis ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Korosi batas butir pada pipa (Budianto dkk, 2009)

Korosi ini disebabkan adanya kotoran pada batas butir, kelebihan atau kekurangan unsur paduan. Kerentanan paduan terhadap korosi batas butir dapat dikurangi dengan perlakuan panas (Roberge, 2008).

h. Korosi Mikrobiologi

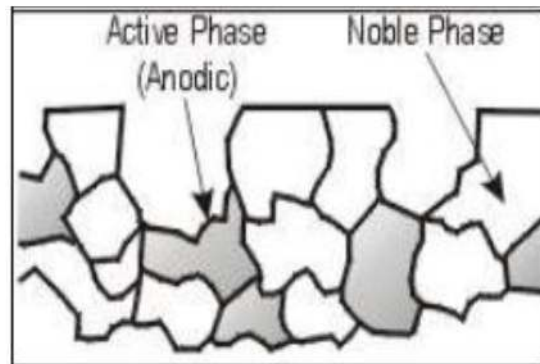
Korosi yang terjadi karena adanya mikroba. Mikroorganisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur alga dan protozoa. Mikroorganisme pada umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis atau biodeposit. Salah satu mikroorganisme yang dapat mempercepat proses korosi yaitu bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*. Khusus untuk bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dibahas lebih lanjut pada subbab C. Gambar 8 menunjukkan contoh dari korosi mikrobiologi.



Gambar 8. Korosi mikrobiologi (Umoren, 2009)

i. Korosi Selektif

Korosi selektif yaitu terjadi akibat terlarutnya suatu unsur yang bersifat lebih anodik dari suatu paduan, misalnya *dezincification* yang melepaskan Zn dari paduan tembaga. Gambar 9 menunjukkan contoh dari korosi selektif.



Gambar 9. Korosi selektif (Loto, 2011).

3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Laju korosi pada lingkungan netral normalnya adalah 1 *mils per year* (mpy) atau lebih kecil. Umumnya permasalahan korosi disebabkan oleh air, tetapi ada beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi proses laju korosi antara lain, yaitu suhu, kecepatan alir fluida atau kecepatan pengadukan, konsentrasi

bahan korosif, faktor kandungan gas dan padatan terlarut, komposisi dan struktur logam, mikroba dan waktu kontak (Shi, *et.al.*, 2014)

a. Suhu

Kenaikan suhu akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya (Garbatov, *et.al.*, 2014).

b. Kecepatan Alir Fluida atau Kecepatan Pengadukan

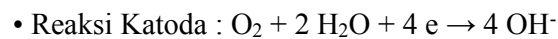
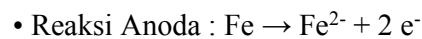
Laju korosi cenderung bertambah jika laju atau kecepatan aliran fluida bertambah besar. Hal ini karena kontak antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar sehingga ion-ion logam akan makin banyak yang lepas sehingga logam akan mengalami kerapuhan (korosi).

c. Konsentrasi Bahan Korosif

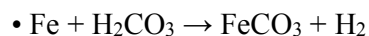
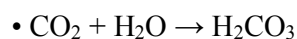
Hal ini berhubungan dengan pH atau keasaman dan kebasaan suatu larutan. Larutan yang bersifat asam sangat korosif terhadap logam dimana logam yang berada di dalam media larutan asam akan lebih cepat terkorosi karena merupakan reaksi anoda. Sedangkan larutan yang bersifat basa dapat menyebabkan korosi pada reaksi katodanya karena reaksi katoda selalu serentak dengan reaksi anoda.

d. Faktor Kandungan Gas dan Padatan Terlarut

1. Adanya Oksigen, oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild steel alloys* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam kandungan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang (Zakowski, *et.al.*, 2014). Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut:



2. Karbondioksida, jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa *pitting* yang secara umum reaksinya adalah:



FeCO_3 merupakan *corrosion product* yang dikenal sebagai *sweet corrosion* (Das, 2014)

3. Klorida, klorida menyerang lapisan *mild steel* dan lapisan *stainless steel* padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*,

dan juga menyebabkan pecahnya paduan. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam yang lebih konduktif, laju korosinya juga akan lebih tinggi.

4. Karbonat, kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan logam, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah *scale*.
5. Sulfat, ion sulfat biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri pereduksi sulfat diubah menjadi sulfida yang korosif.

e. Komposisi dan Struktur Logam

Logam dengan tingkat kemurnian tinggi cenderung tidak mudah terkorosi dibandingkan dengan logam yang sama dengan kemurnian yang rendah. Struktur material juga akan mempengaruhi terjadinya korosi. Kurangnya homogenitas struktur dapat menimbulkan efek-efek galvanis mikro pada material yang mengakibatkan terjadinya pengarat. Adanya titik-titik yang tidak sama dengan titik-titik sekitarnya dapat mengakibatkan salah satu bertindak sebagai anoda dan yang lain sebagai katoda. Dalam kondisi seperti ini, material akan lebih reaktif dalam lingkungan elektrolit.

f. Mikroba

Adanya koloni mikroba pada permukaan logam dapat menyebabkan peningkatan korosi pada logam. Hal ini disebabkan karena mikroba tersebut mampu mendegradasi logam melalui reaksi redoks untuk memperoleh energi bagi keberlangsungan hidupnya. Mikroba yang mampu menyebabkan korosi, antara lain: protozoa, bakteri besi mangan oksida, bakteri reduksi sulfat, dan bakteri oksidasi sulfur-sulfida. Contohnya seperti *Thiobacillus thiooxidans* dan *Thiobacillus ferrooxidans* (Ling, *et.al.*, 2014)

g. Waktu Kontak

Dalam proses terjadinya korosi, laju reaksi sangat berkaitan erat dengan waktu. Pada dasarnya semakin lama waktu logam berinteraksi dengan lingkungan korosif maka semakin tinggi tingkat korosifitasnya. Aksi inhibitor diharapkan dapat membuat ketahanan logam terhadap korosi lebih besar. Dengan adanya penambahan inhibitor ke dalam larutan, maka akan menyebabkan laju reaksi menjadi lebih rendah, sehingga waktu kerja inhibitor untuk melindungi logam menjadi lebih lama. Kemampuan inhibitor untuk melindungi logam dari korosi akan hilang atau habis pada waktu tertentu, hal itu dikarenakan semakin lama waktunya maka inhibitor akan semakin habis terserang oleh larutan.

4. Dampak Korosi

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung spontan, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan

sama sekali. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya (Khasani, *et.al.*, 2014). Banyak sekali dampak yang diakibatkan oleh korosi ini, berikut beberapa dampak negatif yang bisa ditimbulkan oleh proses korosi diantaranya adalah:

- a. Patahnya peralatan yang berputar karena korosi, yang merugikan dari segi materil dan mengancam keselamatan jiwa.
- b. Pecahnya peralatan bertekanan dan/atau bersuhu tinggi karena korosi, yang selain merusak alat juga membahayakan keselamatan
- c. Hancurnya peralatan karena lapuk oleh korosi sehingga tidak bisa dipakai lagi sebagai bahan konstruksi, dan harus diganti dengan yang baru.
- d. Hilangnya keindahan konstruksi karena produk korosi yang menempel padanya.
- e. Bocornya peralatan, seperti; tangki, pipa dan sebagainya, sehingga tidak bisa berfungsi maksimal. Peralatan yang bocor/rusak juga mengakibatkan produk ataupun fluida kerja terkontaminasi oleh fluida atau bahan-bahan lain, maupun oleh senyawa-senyawa hasil korosi. Bocor/rusaknya peralatan juga merugikan dari segi produksi, akibat hilangnya produk berharga. Kebocoran/kerusakan bisa mengakibatkan terhentinya operasi pabrik, bahkan membahayakan lingkungan akibat terlepasnya bahan berbahaya ke lingkungan (Tang, *et.al.*, 2016).

5. Pengendalian Korosi

Korosi pada logam secara elektrokimia disebabkan karena komposisi kimia logam yang tidak homogen. Proses terkorosinya logam adalah proses yang

spontan dan tidak dapat dicegah. Serangan korosi hanya dapat dikendalikan sehingga struktur dan komponen logam mempunyai masa pakai yang lebih panjang. Metode pengendalian korosi dapat dibedakan menjadi lima kategori, yaitu pemilihan desain, pemilihan material, perlakuan lingkungan, pelapisan, proteksi katodik dan anodik serta penambahan inhibitor korosi (Heidersbach, 2018).

a. Pemilihan Desain

Usaha penanggulangan korosi sebaiknya sudah dilakukan sejak tahapan desain proses, mulai dari pemilihan proses, penentuan kondisi-kondisi prosesnya, penentuan bahan-bahan konstruksi, pemilihan *layout* saat konstruksi sampai pada tahap terakhir.

b. Pemilihan Material

Bahan konstruksi harus dipilih yang tahan korosi. Ketahanan korosi masing-masing bahan tidak sama pada berbagai macam lingkungan. Diantara bahan-bahan konstruksi yang paling sering digunakan adalah besi, alumunium, timah hitam, tembaga, nikel dan titanium.

c. Perlakuan Lingkungan

Upaya perlakuan lingkungan sangat penting dalam penanggulangan korosi di industri. Ada dua cara perlakuan lingkungan, yaitu pengubahan media/elektrolit dan penggunaan inhibitor.

1. Perubahan Media/Elektrolit

Misalnya penurunan suhu, penurunan kecepatan alir, penghilangan oksigen dan mengubah konsentrasi elektrolit.

2. Penggunaan Inhibitor

Inhibitor adalah senyawa kimia jika ditambahkan dalam jumlah yang kecil saja kepada lingkungan yang korosif akan menurunkan laju korosinya. Inhibitor sendiri terbagi atas inhibitor organik dan inhibitor anorganik (Wibowo and Ilman, 2011).

- d. Pelapisan

Metode pelapisan atau *coating* adalah salah satu upaya pengendalian korosi dengan menerapkan suatu lapisan dengan permukaan logam. Misalnya, dengan pengecatan atau penyepuhan logam. Penyepuhan besi biasanya menggunakan logam krom atau timah. Kedua logam ini dapat membentuk lapisan oksida yang tahan terhadap korosi lebih lanjut. Ada dua macam cara pelapisan, yaitu pelapisan dengan bahan logam dan pelapisan dengan bahan nonlogam (Cordoba, *et.al.*, 2016).

1. Pelapisan dengan bahan logam

Pada pelapisan dengan bahan logam, dapat digunakan bahan-bahan logam yang lebih inert maupun yang kurang inert sebagai bahan pelapis. Pemakaian kedua macam bahan tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

2. Pelapisan dengan bahan nonlogam yaitu dengan pelapisan berbahan

dasar organik seperti cat polimer dan pelapis berbahan dasar anorganik.

e. Proteksi Katodik dan Anodik

Proteksi katodik merupakan metode pencegahan korosi pada logam dengan cara logam yang ingin dilindungi dijadikan lebih bersifat katodik. Proteksi katodik dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu yang dilakukan dengan arus listrik dari *power supply* yang kemudian disebut sebagai arus tanding dan jika dihubungkan dengan logam lain atau lebih dikenal dengan anoda tumbal. Proteksi katodik sangat efektif untuk melindungi korosi eksternal pada pipa saluran yang berada di bawah tanah atau di bawah air laut. Proteksi anodik adalah metode perlindungan logam terhadap korosi dengan cara merubah potensial logam menjadi lebih positif. Metode ini juga digunakan untuk melindungi korosi internal pada tangki, namun hanya efektif jika logam dan lingkungan dapat membentuk lapisan pasif (Zhou, *et.al.*, 2014).

f. Penambahan Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan akan menurunkan serangan korosi lingkungan terhadap logam. Biasanya proses korosi logam berlangsung secara elektrokimia yang terjadi secara simultan pada daerah anoda dan katoda. Inhibitor biasanya ditambahkan dalam jumlah sedikit, baik secara kontinu maupun periodik menurut suatu selang waktu tertentu. Sejauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana (Mitrasari, dkk., 2013).

6. Pengendalian Korosi dengan Inhibitor

Inhibitor adalah senyawa kimia yang apabila ditambahkan ke dalam lingkungan dalam jumlah sedikit dapat menghambat laju korosi. Metode pengendalian korosi dengan inhibitor korosi merupakan salah satu metode yang umum dan berkembang sangat pesat. Penggunaan inhibitor hingga saat ini masih menjadi solusi terbaik untuk melindungi korosi internal pada logam, dan dijadikan sebagai pertahanan utama industri proses dan ekstraksi minyak. Inhibitor merupakan metoda perlindungan yang fleksibel, yaitu mampu memberikan perlindungan dari lingkungan yang kurang agresif sampai pada lingkungan yang tingkat korosifitasnya sangat tinggi serta mudah diaplikasikan (Singh, 2017).

Adapun mekanisme kerjanya dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
2. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi dan endapan yang terjadi cukup banyak.
3. Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.

4. Inhibitor menghilangkan kontituen yang agresif dari lingkungannya
(Verma, *et.al.*, 2015)

7. Jenis-Jenis Inhibitor

Jenis-jenis inhibitor terbagi menjadi inhibitor katodik, inhibitor anodik, inhibitor campuran, dan inhibitor adsorpsi (Kosari, *et.al.*, 2014).

a. Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik adalah zat yang dapat menghambat terjadinya reaksi di katoda, karena pada daerah katodik terbentuk logam hidroksida (MOH) yang sukar larut dan menempel kuat pada permukaan logam sehingga menghambat laju korosi. Beberapa zat mengutamakan untuk daerah katodik yang jadi penyebab terjadinya korosi sumur, korosi tegangan, korosi tegangan, penggetasan hidrogen, seperti senyawa Hg, paduan Pb, senyawa sianida. Inhibitor katodik ini cenderung tidak efisien walaupun tidak berbahaya pada logam, tetapi kurang memperbaiki ketahanan korosi logam.

b. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik adalah senyawa kimia yang mengendalikan korosi dengan cara menghambat transfer ion-ion logam ke dalam air, korosi ini akan menahan terjadinya reaksi korosi pada yang anodik. Karena korosinya terjadi pada anoda, maka penggunaan inhibitor anoda ini sangat efisien. Bahayanya jika inhibitor ini tidak menutupi seluruh anoda, maka akan memperluas daerah katoda. Jadi inhibitor yang kurang justru akan menyebabkan terjadinya korosi

sumur. Contoh inhibitor anodik yang banyak digunakan adalah senyawa kromat.

c. Inhibitor Campuran

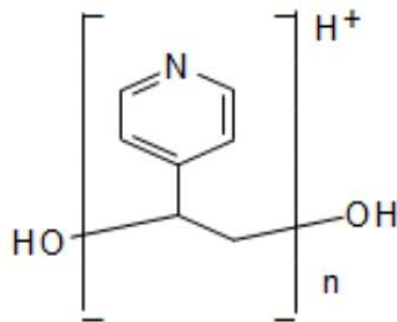
Inhibitor campuran mengendalikan korosi dengan cara menghambat proses di katodik dan anodik secara bersamaan. Pada umumnya inhibitor komersial berfungsi ganda, yaitu sebagai inhibitor katodik dan anodik. Contoh inhibitor jenis ini adalah senyawa silikat, molibdat, dan fosfat.

d. Inhibitor Adsorpsi

Inhibitor teradsorpsi umumnya merupakan senyawa organik yang dapat mengisolasi permukaan logam dari lingkungan korosif dengan cara membentuk film tipis yang teradsorpsi pada permukaan logam. Dewasa ini sudah berpuh bahkan mungkin ratusan jenis inhibitor organik yang digunakan. Studi mengenai mekanisme pembentukan lapisan lindung atau penghilangan konstituen agresif telah banyak dilakukan baik dengan cara-cara yang umum maupun dengan cara-cara baru dengan peralatan modern. Pada umumnya senyawa-senyawa organik yang dapat digunakan adalah senyawa yang mampu membentuk senyawa kompleks baik kompleks yang terlarut maupun kompleks yang mengendap. Untuk itu diperlukan adanya gugus fungsi yang mengandung atom atom yang mampu membentuk ikatan kovalen terkoordinasi, misalnya atom nitrogen, belerang, pada suatu senyawa tertentu (Gaber, *et al*, 2010).

B. Inhibitor Oligomer 4-Vinil Piridin

Salah satu turunan polivinil piridin yang memiliki sifat sebagai inhibitor korosi, khususnya dalam medium yang mengandung CO₂ atau asam karbonat adalah oligomer (4-vinil piridin). Senyawa ini telah digunakan sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium air laut buatan (larutan NaCl 3%) yang jenuh dengan karbondioksida (Ilim, *et.al.*, 2016).



Gambar 10. Struktur Oligomer 4-Vinil Piridin

Hasil penelitian Ilim, *et.al.* (2016) menunjukkan bahwa senyawa oligomer (4-VP) dapat menurunkan laju korosi baja lunak dalam larutan NaCl 3% jenuh CO₂, kemampuan proteksinya semakin baik dengan semakin tinggi konsentrasi. Pengaruh suhu pada kedua jenis senyawa oligomer ini berbeda, proteksi O(4-VP) semakin baik dengan naiknya suhu yang menyarankan bahwa oligomer tersebut berinteraksi dengan permukaan baja lunak secara kemisorpsi.

C. Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*

Thiobacillus berukuran kecil, tidak berwarna, berbentuk lonjong, bakteri gram negatif, selnya berbentuk batang (0,5x1-4,0µm) dengan beberapa spesies bersifat motil dengan flagel polar. Merupakan bakteri saprofit, yaitu bakteri yang hidupnya dari sisa-sisa organisme mati atau sampah. Bakteri ini mampu mendapatkan energi yang berasal dari oksidasi satu atau lebih senyawa sulfur tereduksi seperti sulfida, tiosulfat atau dari oksida besi ferro (Fe^{2+}) menjadi feri (Fe^{3+}). Produk akhir dari bakteri ini menghasilkan senyawa sulfat dari senyawa sulfur yang dioksidasi. Bakteri ini termasuk bakteri *acidophilic* yaitu dapat hidup pada pH 1,5-2,5. Selain itu termasuk ke dalam bakteri *thermophilic* yang hidup pada suhu 45-50 °C (Holt, 2013).

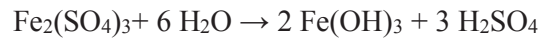
Beberapa bakteri khemolithotrof dapat mengoksidasi sulfur dan memperoleh energi dari reduksi CO_2 . Bakteri ini dapat mengoksidasi besi, yang menyebabkan mereka dapat memetabolisme ion-ion metal seperti besi ferro:
 $\text{Fe}^{2+} + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$ (Robertson and Kuenen, 2006).

Reaksi oksidasi pirit adalah sebagai berikut:



Produksi ferri sulfat dari ferro sulfat sangat besar karena proses pembentukannya dipercepat oleh aktivitas bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* (No. 2), dan pada kondisi yang masam reaksi pirit dengan ferri sulfat (No. 3)

berlangsung sangat cepat. Ferri sulfat juga dapat terhidrolisis sehingga menambah kemasaman seperti diperlihatkan reaksi berikut:



Thiobacillus ferrooxidans mampu mengoksidasi Fe(II) menjadi Fe(III) dan mengoksidasi senyawa-senyawa belerang tereduksi serta memanfaatkan oksidasi ini sebagai sumber energinya (Schlegel, 2011). Woods and Rawlings (2005) menyebutkan bahwa *Thiobacillus ferrooxidans* memiliki kebutuhan nutrisi yang sangat kecil. Semua strain bersifat autotropik, yang berarti mikroorganisme tersebut dapat menggunakan CO₂ dari atmosfer sebagai sumber karbon untuk mensintesa senyawa organik, akan tetapi tidak dapat tumbuh pada sumber karbon organik. Menurut Kumar (2014), *Thiobacillus* kebanyakan hidup secara aerob obligat yang memerlukan keberadaan oksigen untuk kehidupannya. Pada *Thiobacillus* sumber energi berasal dari oksidasi sulfur elemental, sulfit, thiosulfit, polithionat, dan thiosianat yang dijadikan sebagai donor elektron.

Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* memiliki keuntungan dan kekurangannya masing-masing.

a. Keuntungan Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*

1. Dapat mengoksidasi senyawa besi belerang (besi sulfida) disekelilingnya. Proses ini membebaskan sejumlah energi yang akan digunakan untuk membentuk senyawa yang diperlukan dan menghasilkan senyawa asam sulfat dan besi sulfat.

2. Dapat mengubah tembaga sulfida yang tidak larut dalam air menjadi tembaga sulfat yang larut dalam air.
 3. Dalam lingkungan tanah, berguna sebagai sumber sulfat dan fosfat untuk pemupukan tanah.
 4. Bakteri ini merupakan bakteri kemolitotrof, dimana bakteri kemo dapat mengambil dan mengumpulkan ion-ion logam beracun sehingga bermanfaat untuk memindahkan polutan dari air limbah (Maftu'ah dan Susilawati, 2018)
- b. Kerugian Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*

Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* pengoksidasi Fe (mengubah Fe^{3+} yang bersifat sebagai ion terlarut menjadi $Fe(OH)_3$ yang bersifat tidak larut) dapat menyebabkan korosi. Hal ini disebabkan karena mikroba tersebut mampu mendegradasi logam melalui reaksi redoks untuk memperoleh energi bagi keberlangsungan hidupnya (Miller and Risatti, 1988).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-Agustus 2019 di Laboratorium Biokimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Biokimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas, kompor gas, *laminar air flow*, tabung sentrifuse, *autoclave*, inkubator, pipet mikro, Erlenmeyer, pembakar spirtus, lemari pendingin, kuvet, kain kasa, kapas, jarum ose, cawan petri, kertas, *shaker inkubator*, oven, korek api, kapas, kasa, aluminium foil, neraca analitik, evaporator, refluks, dan spektrofotometer UV-Vis.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah media bakteri yang terdiri dari: K_2HPO_4 , $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $(NH_4)_2SO_4$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, H_2SO_4 , NaOH dan agar. Media korosif yang terdiri dari: NaCl 3% (NaCl dan $NaHCO_3$), bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*, dan oligomer 4-vinil piridin.

C. Prosedur Penelitian

1. Persiapan Alat

Seluruh alat yang digunakan dicuci, dikeringkan dan disterilkan menggunakan *autoclave* selama 15 menit dengan suhu 121°C dan tekanan 1 atm. Sterilisasi ini bertujuan untuk menghilangkan mikroba yang tidak diinginkan.

2. Pembuatan Media Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*

Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* diperoleh dari koleksi Laboratorium Mikrobiologi, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati (SITH), Institut Teknologi Bandung dalam bentuk cair. Bakteri ini kemudian diremajakan pada media sebagai berikut: K_2HPO_4 0,0625 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,0625 g, $(NH_4)_2SO_4$ 0,0625 g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 4,175 g, H_2SO_4 13,5 mL, NaOH 5 mL (agar 3% untuk media padat) dalam pelarut aquades sebanyak 80 mL seperti yang terlampir pada Lampiran 1. Bakteri ini tumbuh optimal dalam keadaan gelap (tidak terkena cahaya) dalam waktu ± 7 hari, ditandai dengan berubahnya media menjadi kuning karat (Hazra and Widyati, 2011).

3. Kultur dan Peremajaan Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*

Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* merupakan bakteri asidofilik obligat, sehingga selama proses kultivasi, bakteri ini ditumbuhkan dalam media padat dan cair yang memiliki pH 1,5-3. Kultivasi pada media cair diinkubasikan pada suhu ruang menggunakan *shaker inkubator* dengan kecepatan 250 rotasi

per menit (rpm) dan ditutupi dengan kertas karbon untuk mencegah adanya cahaya yang masuk. Sedangkan kultivasi pada media padat disimpan dalam inkubator.

4. Penentuan Kurva Pertumbuhan Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*

Penentuan kurva pertumbuhan bakteri bertujuan untuk mengetahui dinamika pertumbuhan bakteri. Dibuat dengan cara mengukur tingkat pertumbuhan tiap selang waktu tertentu kemudian mengalurkan hasil pengukurannya dalam sebuah grafik yang menunjukkan hubungan antara biomasa sumbu *y versus* periode waktu pengukuran pada sumbu *x*.

Sebanyak 6 buah labu Erlenmeyer ukuran 250 mL yang berisi 80 mL media pertumbuhan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* disiapkan untuk pengukuran kurva pertumbuhan. Sebanyak 2 μ L kultur *Thiobacillus ferrooxidans* ditambahkan ke dalam masing-masing labu Erlenmeyer sejumlah 6 buah, sedangkan satu labu Erlenmeyer dijadikan kontrol. Seluruh sampel dibungkus menggunakan kertas karbon dan diinkubasi pada suhu ruang di dalam shaker inkubator dengan kecepatan 250 rpm. Sampel diambil setiap 24 jam selama 15 hari untuk mengukur nilai absorbansi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 600 nm untuk mengetahui kurva pertumbuhan dari bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*.

5. Penentuan Nilai pH Optimum Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*

Media inokulum disiapkan dengan komposisi yang sama yakni sebanyak 40 mL dengan variasi pH yang berbeda yakni 1,5; 2; 2,5; 3. Pembuatan media

inokulum dengan pH berbeda dilakukan penambahan NaOH 1N sebanyak 2,5 mL ke dalam media pertumbuhan *Thiobacillus ferrooxidans*. Kemudian diinkubasi pada suhu ruang di dalam *shaker incubator* dengan kecepatan 250 rpm selama 7 hari dan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm.

6. Sintesis Oligomer 4-Vinil Piridin

Oligomer 4-vinil piridin disintesis dengan menggunakan monomer 4-vinil piridin, pelarut metanol, akuades dan inisiator H₂O₂ dengan komposisi dan prosedur yang sama seperti yang dilakukan Ilim *et.al.* (2016).

7. Penentuan Nilai *Lethal Concentration 50* (LC₅₀) Anti Korosi Oligomer 4-Vinil Piridin Terhadap Pertumbuhan *Iron Oxydizing Bacteria* (IOB)

Tabung reaksi sebanyak enam buah disiapkan dan masing-masing dimasukkan 2 µL bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* yang telah diremajakan pada waktu optimum yaitu 7 hari dan pH optimum 2,5. Pada masing-masing tabung dimasukkan inhibitor oligomer 4-vinil piridin dengan konsentrasi bervariasi yaitu 0; 0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1 ppm dengan masing-masing tabung dilakukan sebanyak dua kali pengulangan. Pertumbuhan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan inhibitor oligomer 4-VP diamati pada masing-masing tabung pada waktu 24 jam. Kemudian diukur nilai absorbansi masing-masing menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kurva pertumbuhan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* diperoleh waktu optimum pertumbuhan adalah 11 hari dengan nilai ln absorbansi sebesar $9,68 \times 10^{-1}$.
2. pH optimum yang diperoleh pada media pertumbuhan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* adalah pH 2,5 dengan nilai ln absorbansi sebesar $1,94 \times 10^{-1}$.
3. Oligomer 4-vinil piridin telah berhasil disintesis berupa cairan kental berwarna jingga.
4. Berdasarkan persamaan regresi linear nilai *lethal concentration* 50 (LC₅₀) dari oligomer 4-vinil piridin selama 24 jam adalah pada konsentrasi 0,14 ppm.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka disarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui efektivitas oligomer 4-vinil piridin sebagai inhibitor dan pertumbuhan *Thiobacillus ferrooxidans* terhadap logam yang mudah terkorosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Azzaoui, K., Mejdoubi, E., Jodeh, S., Lamhamdi, A., Castellon, E., Algarra, M., Zarrouk, A., Errich, A., Salghi, R., and Lgaz, H. 2017. Eco Friendly Green Inhibitor Gum Arabic (GA) for the Corrosion Control of Mild Steel in Hydrochloric Acid Medium. *Journal Corrosion Science*. 27: 111-112
- Bardal, Einer. 2007. *Corrosion and Protection*. The Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, Norway.
- Barton, L.L and Hamilton, W.A. 2007. *Sulphate Reducing Bacteria*. Cambridge University Press. New York. 484-500 pp.
- Bayliss, D. 2010. *Steelwork Corrosion Control*. Oxford University Press USA. New York.
- Bazes, A. S. 2009. Investigation of the Antifouling Constituents From the Brown Alga *Sargassum Muticum*. *Journal of Applied Phycology*. 2:395-403.
- Bhaskaran, R., Palaniswamy, N., and Rengaswamy, N.S. 2005. A Review of Differing Approaches Used to Estimate the Cost of Corrosion (and Their Relevance in the Development of Modern Corrosion Prevention and Control Strategies). *Journal Corrosion Science and Engineering Division*. 13:621-628.
- Budianto, A., Purwantini, K., dan Sujitno, B.A.T. 2009. Pengamatan Struktur Mikro pada Korosi Antar Butir dari Material Baja Tahan Karat Austenitik Setelah Mengalami Proses Pemanasan. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 5:107-129.
- Bundjali, B., Hasan, M., Hariyawati, K., and Mariani, H. 2010. Study on Properties of Poly(urethane-ester) Synthesized from Prepolymers of ϵ -Caprolactone and 2,2 Dimethyl-1,3-Propanediol Monomers and Their Biodegradability. *Journal of Polymer and the Environment*. 18:188-195.
- Chen, S.Y. and Lin, J.G. 2000. Influence of Solid Content an Bioleaching of Heavy Metal from Contaminated Sediment By *Thiobacillus*spp. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 75:649-656.

- Chigondo, Marko and Chigondo, Fidelis. 2016. Recent Natural Corrosion Inhibitors for Mild Steel: An Overview. *Journal of Chemistry*. 20:47-54.
- Cordoba, L.C., Montemor, M.F., and Coradin, T. 2016. Silane/TiO₂ Coating to Control the Corrosion Rate of Magnesium Alloys in Simulated Body Fluid. *Corrosion Science*. 104:152-161.
- Cramer, J. B. 2003. *ASM Handbook Volume 13A Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*. ASM International The Materials Information Company. New York.
- Dai, N., Zhang, J., Chen, Q., Yi, B., Cao, F., Zhang, and Jianqing. 2015. Effect of The Direct Current Electric Field on the Initial Corrosion of Steel in Simulated Industrial Atmospheric Environment. *Journal Corrosion Science*. 99:295-303.
- Das, G.S. 2014. Influence of Hydrogen Sulfide on CO₂ Corrosion in Pipeline Steel. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 3:2224-2228.
- Dhahiyat, Y. dan Djuangsih. 1997. *Uji Hayati (Bioassay); LC₅₀ (Acute Toxicity Tests) Menggunakan Daphnia dan Ikan*. Skripsi PPSDAL LP UNPAD. Bandung.
- Dick, R. 1992. A Review: Long-Term Effects of Agricultural Systems on Soil Biochemical and Microbial Parameters. *International Science Conference Natural and Mathematic Science*. 14:73-88.
- Enning, Dennis and Garrelfs, Julia. 2014. Corrosion of Iron By Sulfate-Reducing Bacteria: New Views of an Old Problem. *Journal Applied and Environmental Microbiology*. 80:1226:1236.
- Gaber, A.M., Khamis, E., and Adeel, S. 2010. Inhibition of Alumunium Corrosion of Alkaline Solutions Using Natural Compound. *Material Chemistry and Physics*. 109:297-305.
- Garbatov, Y., Soares, C.G., Parunov, J., and Kodvanj, J. 2014. Tensile Strength Assesment of Corroded Small Scale Specimens. *Corrosion Science*. 85:296-303.
- Hasan, Oskar. 2001. *Studi Tentang Beberapa Model Pertumbuhan*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Intitut Pertanian Bogor. Bogor.
- Haslim, A.B.J. 2012. *Studi Inhibisi Korosi Baja API-5L dalam Air Formasi (Connate Water) dengan Ekstrak Kulit Buah Sawo (Manilkara Zapota) Menggunakan Metode Polarisisasi*. Skripsi. Universitas Indonesia.

- Hazra, F., and Widyati, E. 2011. Acid Mine Drainage Restriction by Controlling Population of Thiobacillus spp with Soil Organic Enrichment. *Journal of Materials and Environmental Science*. 4:103-105.
- Heidersbach, Robert. 2018. *Metallurgy and Corrosion Control in Oil and Gas Production*. SPi Global Pondicherry. United State of America.
- Holt, M. F. 2013. An Initial Study Into Silver Corrosion in Transformers Following Oil Reclamation. *IEEE Electrical insulation conference*. 6:75-81.
- Ilim, Jefferson, A., Simanjuntak, W., Jeanin, M., Syah, Y.M., Bundjali, B., and Buchari. 2016. Synthesis and Characterization of Oligomer 4-Vinylpyridine as a Corrosion Inhibitor for Mild Steel in CO₂ Saturated Brine Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*. 16:198-207.
- Ilim, Bahri, S., Simanjuntak, W., Syah, Y.M., Bundjali, B., and Buchari. 2017. Performance of Oligomer 4-Vinyl Piperidine as a Carbon Dioxide Corrosion Inhibitor of Mild Steel. *Journal of Materials and Environmental Science*. 8:2381-2390.
- Khasani, M.M., Lowes, L.N., Crewe, A.J., and Alexander, N.A. 2014. Finite Element Investigation of the Influence of Corrosion Patern on Inelastic Buckling and Cyclic Response of Corroded Reinforcing Bars. *Engineering Structure*. 75:113-125.
- Kosari, A., Moayed, M.H., Davoodi, A., Parvizi, R., Momeni, M., Eshghi, H., and Moradi, H. 2014. Electrochemical and Quantum Chemical Assesment of Two Organic Compounds from Pyridine Derivatives as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in HCl Solution Under Stagnant Condition and Hydrodynamic Flow. *Corrosion Science*. 78:138-150.
- Kumar, Maheep. 2014. Bacteria Involving in Nitrogen Fixation and Their Evolutionary Correlation. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 3:824-830.
- Lebrini, M. 2010. Inhibition Effect of Alkaloids Extract from Annona Squamosa Plant on the Corrosion of C38 Steel in Normal Hydrochloric Acid Medium. *International Journal of Electrochemical Science*. 16:211-255.
- Ling, A.L., Robertson, C.E., Haris, K., Frank, D.N., Kotter, C.V., Stevens, M.J., Pace, N.R., and Hernandez, M.T. 2014. Carbon Dioxide and Hydrogen Sulfide Associations with Regional Bacterial Diversity Paterns in Microbially Induced Concrete Corrosion. *Environmental Science and Technology*. 48:7357-7364.

- Liu, C. T. 2015. Corrosion Behavior of Carbon Steel in The Presence of Sulfate Reducing Bacteria and Iron Oxidizing Bacteria Cultured in Oilfield Produced Water . *Corrosion Science*. 5:31-37.
- Loto, C.A. 2011. Inhibition Effect of Tea (*Camellia sinensis*) Extract on the Corrosion of Mild Steel in Dilute Sulphuric Acid. *Journal Material and Environment Science*. 4:335-344.
- Maftu'ah, Eni dan Susilawati Ani. 2018. Bioleaching untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Sulfat Masam Aktual untuk Tanaman Padi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati*. 17:225-349.
- Mainier, F.B. and Guimaraes, P.I. 2014. Use of Corrosion Inhibitor in Solid Form to Prevent Internal Corrosion of Pipelines and Acidification Process. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2:111-116.
- Miller, K. and Risatti. 1988. Microbils Oxidation of Pyrrhotites in Coal Chars. *Chemical and Process Engineering Research*. 67:1150-1154.
- Mitrasari, D., Handani, S., dan Yetri, Y. 2013. Pengendalian Laju Korosi Baja St-37 dalam Medium Asam Klorida dan Natrium Klorida Menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camelia Sinensis*). *Jurnal Fisika Unand*. 2:204-211.
- Perez, N. 2016. *Electrochemistry and Corrosion Science: Second Edition*. Chapman and Hall Ltd. New York. 250 pp.
- Pratiwi, S.T. 2008. Mikrobiologi Farmasi. Erlangga. Jakarta.
- Qian, Y., Li, Y., Jungwirth, S., Seely, N., Fang, Y., and Shi, X. 2015. The Application of Anti-Corrosion Coating for Preserving the Value of Equipment Asset in Chloride-Laden Environments: A Review. *International Journal of Electrochemical Science*. 10:10.756-10.780.
- Roberge, P. 2008. *Corrosion Engineering: Principles and Practices*. The McGraw-Hill. New York.
- Robertson, J. and Kuenen. 2006. *The Genus Thiobacillus, Thiomicrospira, and Thiosphaera*. Dalam *The Prokaryotes*. Springer-Verlog. New York.
- Ruiz, E., Aperador, W., and Mejia, A. 2014. Effects of Thiobacillus ferrooxidans on Corrosion of AISI 4140 Steel in Presence of Oil Biodiesel. *International Journal Electrochemical Science*. 9:5937-5938.

- Sacher, R.A., McPherson, R.A., Campos, J.M., and Widman, F. 2000. Widmann's Clinical Interpretation of Laboratory Test. *Chemical Engineering Science*. 8:87-89.
- Schlegel, H. 2011. *Geometry optimization*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science. Singapore.
- Scriven, E.F.V., Stout, J.R., Keay, J.G. and Murugan, R. 1995. H₂O₂-catalyzed Solution Polymerizations for Linear Polyviylpyridines. *US Patent Database IBM*. America, Really Industries, Inc. Indianapolis.
- Shi, C., Karagah, H., Dawood, M., and Belarbi, A. 2014. Numerical Investigation of H-Shaped Short Steel Piles with Localized Severe Corrosion. *Engineering Structure*. 73:114-124.
- Shreir, L. 2010. *Basic Concept of Corrosion*. Dalam *Shreir's Corrosion*. Chapman and Hall Ltd. New York.
- Sidiq, Fajar M. 2013. Analisa Korosi dan Pengendaliannya. *Journal Foundry*. 3:2087-2259.
- Sidiq, M., Hidayatullah, S., dan Siswiyanti. 2013. Analisa Pengaruh Inhibitor Ekstrak Rimpang Jahe Terhadap Laju Korosi Internal Pipa Baja ST-41 pada Air Tanah. *Jurnal Simetris*. 8:2252-4983
- Singh, D. G. 2017. Discovery of Potential Inhibitor Against Human Acetylcholinesterase: A Molecular Docking and Molecular Dynamics Investigation. *Computational Biology and Chemistry*. 2:691-700.
- Singhbabu, Y.N., Sivakumar, B., Singh, J.K., Bapari, H., Pramanick, A.K., and Sahu, R.K. 2015. Efficient Anti-Corrosive Coating of Cold-Rolled Steel in a Seawater Environment Using an Oil-Based Graphene Oxide Ink. *The Royal Society of Chemistry*. 7:8035-8047.
- Tang, F., Bao, Y., Chen, Y., Tang, Y., and Chen, G. 2016. Impact and Corrosion Resistance of Duplex Epoxy/Enamel Coated Plates. *Construction and Building Materials*. 112:7-18.
- Ulusoy, I. and Dimoglo, A. 2017. Electricity Generation in Microbial Fuel Cell Systems with *Thiobacillus ferrooxidans* As the Cathode Microorganism. *International Journal of Hydrogen Energy*. 155:211-218.
- Umoren, S.A. 2009. Polymers as Corrosion Inhibitor For Metals in Different Media. *The Open Corrosion Journal*. 2:175-188.

- Valdez, B., Kiyota, S., Stoytcheva, M., Zlatev, R., and Bastidas, J.M. 2014. Cerium-Based Conversion Coatings to Improve the Corrosion Resistance of Aluminium Alloy 6061-T6. *Corrosion Science*. 87:141-149.
- Verma, C., Ebenso, E.E., Bahadur, I., Obot, I.B., and Quraishi, M.A. 2015. 5-(Phenylthio)-3H-Pyrrole-4-Carbonitriles as Effective Corrosion Inhibitors for Mild Steel in 1 M HCl: Experimental and Theoretical Investigation. *Journal of Molecular Liquid*. 212:209-218.
- Wahyuningsih, Y. S. 2010. Metanamina Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon dalam Lingkungan Sesuai Kondisi Pertambangan Minyak Bumi. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 10:213-218.
- Wibowo, Waris dan Ilman, M. Noer. 2011. Studi Ekperimental Pengendalian Korosi pada Aluminium 2024-T3 di Lingkungan Air Laut Melalui Penambahan Inhibitor Kalium Kromat (K_2CrO_4). *Jurnal Rekayasa Proses*. 5:10-16
- Wood and Rawlings, I. P. 2005. Expression of a *Thiobacillus ferrooxidans* origin of replication in *Escherichia coli*. *Journal of Bacteriology*. 20:211-215.
- Zakowski, K., Narozny, M., Szocinski, M., and Darowicki, K. 2014. Influence of Water Salinity on Corrosion Risk-the Case of the Southern Baltic Sea Coast. *Environmental Monitoring and Assessment*. 186:4871-4879.
- Zhou, C., Lu, X., Xin, Z., Liu, J., and Zhang, Y. 2014. Polybenzoxazine/SiO₂ Nanocomposite Coatings for Corrosion Protection of Mild Steel. *Corrosion Science*. 80:269-275.