



TUGAS AKHIR-MO141326

PENGARUH BAKTERI *AZOTOBACTER*, *BACILLUS SUBTILIS*, DAN *PSEUDOMONAS PUTIDA* TERHADAP LAJU KOROSI ALUMUNIUM 6063

Redemptus Rajagukguk

NRP. 4309 100 079

Dosen Pembimbing:

Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D.

Harmin Sulistiyaning Titah S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



FINAL PROJECT-MO141326

**INFLUENCE OF *AZOTOBACTER*, *BACILLUS SUBTILIS*,
AND *PSEUDOMONAS PUTIDA* BACTERIA TO
CORROSION RATE OF ALUMINUM 6063**

Redemptus Rajagukguk

NRP. 4309 100 079

Supervisors:

Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D.

Harmin Sulistiyaning Titah S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

**PENGARUH BAKTERI *Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, dan *Pseudomonas putida*
TERHADAP LAJU KOROSI ALUMINIUM 6063**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

Redemptus Rajagukguk

NRP. 4309 100 079

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)
2. Harmin Sulistiyaning Titah S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)
3. Ir. J. J. Soedjono, M.Sc. (Penguji 1)
4. Dr. Ir. Wahyudi Citrosiswoyo M.Sc. (Penguji 2)
5. Dirta Marina Chamelia, S.T., M.T. (Penguji 3)
6. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T. (Penguji 4)

SURABAYA, 26 JULI 2017

**PENGARUH BAKTERI *AZOTOBACTER*, *BACILLUS SUBTILIS*, DAN
PSEUDOMONAS PUTIDA TERHADAP LAJU KOROSI ALUMINIUM**

6063

Nama Mahasiswa : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309 100 079
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Korosi merupakan suatu fenomena yang dialami oleh logam yang tidak mungkin dihindari. Proses korosi terjadi secara fisis, kimia, maupun biologis. Korosi biologis umumnya disebabkan oleh adanya mikroorganisme salah satu contohnya yaitu bakteri. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode *Immersion Test*. Material yang diuji adalah Aluminium, logam lunak dan ringan yang juga memiliki warna keperakan kusam karena lapisan tipis oksidasi yang terbentuk saat unsur ini terkena udara. Aluminium yang digunakan adalah aluminium 6063 yang dikembangkan dengan begitu pesat dan dapat diolah menjadi berbagai macam produk yang lebih ekonomis. Larutan menggunakan media air laut pengganti yang dibuat sesuai dengan standar ASTM D1141-98 (*reapproved 2003*), pada tiap material uji dalam 3 kondisi lingkungan laut, yaitu lingkungan laut dalam (salinitas 33‰), lingkungan laut sedang (salinitas 35‰), dan lingkungan laut dangkal (salinitas 37‰), yang kemudian ditambahkan 3 jenis bakteri, yaitu: *Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, dan *Pseudomonas putida*. Bakteri dikembangbiakkan didalam media NA (*Nutrient Agar*) selama 24 jam di dalam incubator, setelah itu dipindahkan ke dalam media NB (*Nutrient Broth*) dan di *Shaker* selama 6 jam. Material dimasukkan ke dalam media air laut buatan yang telah berisi bakteri dengan seluruh permukaan material berada di bawah air. Sehingga didapatkan Laju korosi untuk bakteri *Azotobacter* adalah: Salinitas 33‰ memiliki laju korosi 0.0443 mmpy, Salinitas 35‰ memiliki laju korosi 0.0470 mmpy, dan Salinitas 37‰ memiliki laju korosi 0.0554 mmpy. Laju korosi untuk bakteri *Bacillus subtilis* adalah: Salinitas 33‰ memiliki laju korosi 0.0215 mmpy, Salinitas 35‰ memiliki laju korosi 0.0301 mmpy, dan Salinitas 37‰ memiliki laju korosi 0.0329 mmpy. Laju korosi untuk bakteri *Pseudomonas putida* adalah: Salinitas 33‰ memiliki laju korosi 0.0155 mmpy, Salinitas 35‰ memiliki laju korosi 0.0156 mmpy, dan Salinitas 37‰ memiliki laju korosi 0.0194 mmpy.

Kata Kunci: Laju Korosi, *Immersion Test*, Aluminium, Bakteri, Salinitas.

**INFLUENCE OF AZOTOBACTER, BACILLUS SUBTILIS, AND
PSEUDOMONAS PUTIDA BACTERIA TO CORROSION RATE OF
ALUMINUM 6063**

Name : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309 100 079
Department : Ocean Engineering FTK – ITS
Supervisors : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Corrosion is a phenomenon experienced by metals that cannot be avoided. The corrosion process occurs physically, chemically, and biologically. Biological corrosion is generally caused by the presence of microorganisms, for example, bacteria. The research was conducted by using *Immersion Test* method. The material tested is Aluminum, a soft and light metal and also has a dull silvery color due to the thin layer of oxidation formed when this element is exposed to air. Aluminum used is aluminum 6063 which is developed so rapidly and can be processed into various products with more economical value. Solution using substituted seawater media prepared in accordance with ASTM D1141-98 (reapproved 2003) standard, on each test material in 3 marine environment conditions, namely deep ocean environment (salinity 33 ‰), medium marine environment (salinity 35 ‰), and Shallow marine environment (salinity 37 ‰), which then added 3 types of bacteria, namely: *Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, and *Pseudomonas putida*. The bacteria were bred in NA medium (Nutrient Agar) for 24 hours in the incubator, then transferred into NB (Nutrient Broth) media and placed on Shaker for 6 hours. The material is inserted into an artificial marine water medium containing bacteria with the entire surface of the material underwater. The corrosion rate for *Azotobacter* bacteria are: Salinity 33 ‰ has a corrosion rate of 0.0443 mmpy, Salinity 35 ‰ has a corrosion rate of 0.047 mmpy, and Salinity 37 ‰ has a corrosion rate of 0.0554 mmpy. The corrosion rate for *Bacillus subtilis* bacteria are: Salinity 33 ‰ has a corrosion rate of 0.0215 mmpy, Salinity 35 ‰ has a corrosion rate of 0.0301 mmpy, and Salinity 37 ‰ has a corrosion rate of 0.0329 mmpy. The corrosion rate for *Pseudomonas putida* bacteria are: Salinity 33 ‰ has a corrosion rate of 0.0155 mmpy, Salinity 35 ‰ has a corrosion rate of 0.0156 mmpy, and Salinity 37 ‰ has a corrosion rate of 0.0194 mmpy.

Keywords: Corrosion Rate, *Immersion Test*, Aluminum, Bacteria, Salinity.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Bapa dan Putera-Nya Yesus Kristus atas segala limpahan rahmat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini berjudul “Pengaruh Bakteri *Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, dan *Pseudomonas putida* Terhadap Laju Korosi Alumunium 6063” yang disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi kesarjanaan (S1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis menyadari bahwa pengerjaan dan penulisan dalam laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi materi maupun penyusunannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain untuk perbaikan dalam pengembangan karya tulis ini dimasa mendatang.

Surabaya, 26 Juli 2017

Redemptus Rajagukguk

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada Allah Bapa dan Putra-Nya yang tunggal Yesus Kristus atas Karunia yang diberikan kepada penulis dan semua pihak yang telah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Suntoyo, Bapak Rudi Waluyo P., Bapak Yoyok Setyo, dari Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah banyak membantu penulis selama berkuliah di Departemen Teknik Kelautan.
2. Bapak Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D. dari Teknik Kelautan ITS dan Ibu Harmin Sulistiyaning Titah S.T., M.T., Ph.D. dari Teknik Lingkungan ITS selaku dosen pembimbing penulis.
3. Bapak Hasan Ikhwan dari Teknik Kelautan ITS yang telah banyak memberi nasehat dan perhatian kepada mahasiswa-mahasiswa yang terlalu lama masa kuliahnya.
4. Kedua Orang Tua penulis, Bapak Ganda Toni dan Ibu Rahel Rudiana, saudara-saudara penulis Dion, Agnes, dan Anastasya yang telah bersabar selama ini.
5. Bu Iin dari laboratorium remediasi lingkungan dan Bu Merry dari laboratorium B3 dan limbah padat karena sudah banyak membantu penulis selama melakukan penelitian ini.
6. Keluarga besar Mahasiswa Teknik Kelautan Angkatan 2009, terutama Yusak Kurniawan, M. Bijak Prihantono, Reza Hervindra, Eko Prayoga, Cindy Adaya, Kemal P. Ramadhan dan anggota sapu jagad lain yang senasib sepenenderitaan dengan penulis.
7. Teman-teman penghuni Laboratorium Komputasi dan Numerik FTK ITS, Chandra Mahaputra, Syaifur Rohman, Fajar Vira, Tito Biapery dan Teman-teman Laboratorium DCOS FTK ITS Bayu Iman, Fajri Karim, Prasetyo yang telah menerima penulis di laboratorium.

8. Segenap Dosen-dosen Departemen Teknik Kelautan yang telah membimbing dan mengajar penulis selama perkuliahan di Teknik Kelautan.
9. Segenap Karyawan/Karyawati di Departemen Teknik Kelautan yang telah membantu penulis dalam urusan administrasi dan sebagainya.

Surabaya, 26 Juli 2017

Redemptus Rajagukguk

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I - PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II - TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1. Tinjauan Pustaka.....	7
2.2. DasarTeori	8
2.2.1. Definisi Korosi	8
2.2.2. Jenis-jenis Korosi	9
2.2.3. Logam Paduan Alumunium 6063.....	13
2.2.4. Karakteristik Bakteri.....	14
2.2.4.1. <i>Azotobacter</i>	14
2.2.4.2. <i>Bacillus subtillis</i>	16
2.2.4.3. <i>Pseudomonas putida</i>	17
2.2.5. Laju Korosi (<i>corrosion rate</i>)	18
2.2.5.1. ASTM G31-1972.....	18
2.2.5.2. Metode Kehilangan Massa (<i>Mass Loss</i>).....	21

2.2.5.3. Metode Elektrokimia	22
2.2.6. Korosi Yang Disebabkan Oleh Bakteri (MIC)	23
2.2.6.1. Definisi MIC	23
2.2.6.2. Mekanisme MIC	24
BAB III – METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian	27
3.2. Prosedur Penelitian	28
3.2.1. Persiapan Material	29
3.2.2. Persiapan Larutan Media Pengganti Air Laut	31
3.2.2.1. ASTM D 1141-98	31
3.2.3. Persiapan Pengembangbiakkan Bakteri (<i>Inoculation</i>)	34
3.2.4. Persiapan Percobaan	35
3.2.5. Pengujian Laju Korosi	38
BAB IV – ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Pengukuran Massa Alumunium.....	41
4.1.1. Laju Korosi	42
4.2. Pola Korosi	45
4.2.1. Pola Korosi Menurut Grafik Pengurangan Berat	45
4.2.2. Pola Korosi Menurut Foto Struktur Mikro	51
BAB V – KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1. KESIMPULAN	59
5.2. SARAN.....	59
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema ringkas dari beberapa jenis korosi (ASM, 2000).....	10
Gambar 2.2. <i>Azotobacter</i>	16
Gambar 2.3. <i>Bacillus subtilis</i>	17
Gambar 2.4. <i>Pseudomonas putida</i>	18
Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	27
Gambar 3.2. Alat dan Media disterilisasikan dengan <i>Autoclaf</i>	33
Gambar 3.3. Bakteri yang disimpan di dalam inkubator	35
Gambar 3.4. Media NB	35
Gambar 3.5. Media NB di atas <i>Shaker</i>	36
Gambar 3.6. Media NB dipindahkan kedalam <i>Centrifuge</i>	37
Gambar 3.7. Media NB setelah keluar dari centrifuge.....	38
Gambar 3.8. <i>Immersion Test</i> Alumunium.....	38
Gambar 3.9. Material yang digantung vertikal	39
Gambar 4.1. Grafik Perubahan Massa Sampel pada salinitas 33‰ dengan bakteri <i>Azotobacter</i>	46
Gambar 4.2. Grafik Perubahan Massa Sampel pada salinitas 35‰ dengan bakteri <i>Azotobacter</i>	46
Gambar 4.3. Grafik Perubahan Massa Sampel pada salinitas 37‰ dengan bakteri <i>Azotobacter</i>	47
Gambar 4.4. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada salinitas 33‰ dengan bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	47
Gambar 4.5. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada salinitas 35‰ dengan bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	48
Gambar 4.6. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada salinitas 37‰ dengan bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	49
Gambar 4.7. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada salinitas 33‰ dengan bakteri <i>Pseudomonas putida</i>	49
Gambar 4.8. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada salinitas 35 ‰ dengan bakteri <i>Pseudomonas putida</i>	50

Gambar 4.9. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada salinitas 35 ‰ dengan bakteri <i>Pseudomonas putida</i>	50
Gambar 4.10. Hasil foto struktur mikro permukaan alumunium 6063 sebelum diuji korosi, pembesaran 100 kali.....	52
Gambar 4.11. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri <i>Azotobacter</i> pada salinitas 33 ‰, pembesaran 100 kali	53
Gambar 4.12. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri <i>Azotobacter</i> pada salinitas 35 ‰, pembesaran 100 kali	53
Gambar 4.13. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi Bakteri <i>Azotobacter</i> pada salinitas 37 ‰, pembesaran 100 kali	54
Gambar 4.14. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> pada salinitas 33 ‰, pembesaran 100 kali	55
Gambar 4.15. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> pada salinitas 35 ‰, pembesaran 100 kali	55
Gambar 4.16. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> pada salinitas 37 ‰, pembesaran 100 kali	56
Gambar 4.17. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri <i>Pseudomonas putida</i> pada salinitas 33 ‰, pembesaran 100 kali	57
Gambar 4.18. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi Bakteri <i>Pseudomonas putida</i> pada salinitas 35 ‰, pembesaran 100 kali	57
Gambar 4.19. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi Bakteri <i>Pseudomonas putida</i> pada salinitas 37‰, pembesaran 100 kali	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi ASM untuk tipe korosi	10
Tabel 2.2. Bentuk-bentuk AA 6063 yang ada dipasaran dan kode pada ASTM ...	14
Tabel 2.3. Spesifikasi AA 6063 menurut ASM Handbook (1990)	14
Tabel 2.4. Konstanta berdasarkan satuan yang dipakai	21
Tabel 2.5. Syarat Untuk Bertumbuhnya Mikroorganisme	25
Tabel 2.6. Contoh Mikroorganisme Penerima Elektron	26
Tabel 3.1. Massa awal Sampel yang diberi bakteri <i>Azotobacter</i>	30
Tabel 3.2. Massa awal sampel yang diberi bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	30
Tabel 3.3. Massa awal sampel yang diberi bakteri <i>Pseudomonas putida</i>	31
Tabel 3.4. Komposisi Kimia dari Larutan Pengganti Air Laut	32
Tabel 4.1. Jumlah Massa yang berkurang untuk <i>Azotobacter</i>	41
Tabel 4.2. Jumlah Massa yang berkurang untuk <i>Bacillus subtilis</i>	41
Tabel 4.3. Jumlah Massa yang berkurang untuk <i>Pseudomonas putida</i>	42
Tabel 4.4. Laju Korosi untuk sampel yang diberi <i>Azotobacter</i>	43
Tabel 4.5. Laju Korosi untuk sampel yang diberi <i>Bacillus subtilis</i>	44
Tabel 4.6. Laju Korosi untuk sampel yang diberi <i>Pseudomonas putida</i>	44
Tabel 4.7. Laju Korosi Rata-rata.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A – Laporan Kegiatan Praktikum
- LAMPIRAN B – Perhitungan Laju Korosi Setiap Sampel

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Korosi merupakan suatu fenomena yang dialami oleh logam yang tidak mungkin dihindari. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Novan Indramawan, dilakukan percobaan untuk melihat pengaruh bakteri terhadap korosi material baja. Penelitian ini dilakukan untuk melihat apakah bakteri dapat mempercepat atau menghambat laju korosi pada baja. Bakteri yang digunakan adalah *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Thiobacillus ferrooxidans*. Menggunakan metode *Immersion*. Penelitian yang dilakukan kali ini menggunakan bakteri *Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, dan *Pseudomonas putida*, sedangkan material yang digunakan adalah aluminium 6063, jenis aluminium yang saat ini banyak digunakan sebagai bahan pembuatan kapal.

Korosi yang diamati pada penelitian ini adalah *Microbiologically Influenced Corrosion* (MIC) atau Korosi yang dipengaruhi bakteri, yang pertama kali dikonfirmasi lebih dari Seratus tahun yang lalu menurut Axelsen dan Rogne (1998). MIC didefinisikan oleh Videla (1996) sebagai proses elektrokimia di mana mikroorganisme hadir Memulai, memfasilitasi, dan mempercepat reaksi korosi. MIC telah menjadi Masalah utama di industri minyak dan gas bumi, serta di banyak kawasan industri lainnya seperti Utilitas air MIC dapat menyebabkan korosi dan kebocoran pada jaringan pipa, serta penyumbatan Dari sumur injeksi - yang semuanya, sebagaimana Flemming (1996) dan Videla (2002) melaporkan, bisa Mengurangi produksi dan meningkatkan potensi masalah keamanan. Pipa minyak mentah yang serius Kebocoran di Alaska Prudhoe Bay pada tahun 2006 memicu gejolak di pasar minyak global. MIC diduga menjadi penyebab utama kegagalan ini yang disebabkan oleh ¼ Lubang lubang jarum inci. melaporkan kasus MIC lain yang serius Dimana pipa ID 8 inci baru mengangkut minyak dan menghasilkan air gagal karena MIC hanya dalam waktu delapan bulan.

MIC kadang-kadang diabaikan dan dipandang sebelah mata oleh para insinyur dan kimiawan dengan sedikit apresiasi untuk perilaku mikroorganisme.

Kurangnya analisis teknik untuk mengenali, melokalisasi, dan mengontrol reaksi korosi yang terjadi pada permukaan logam dengan proses metabolisme mikroorganisme. Mikroorganisme dapat mendepolarisasi baik tempat katodik dan anodik secara langsung melalui aktivitas metabolismenya maupun secara tidak langsung melalui pengeluaran produk kimia yang reaktif (Iverson, 1987; Widdel, 1992a). Mikroorganisme ini tumbuh berkoloni menciptakan *biofilm* pada permukaan logam dan menciptakan reaksi elektrokimia lokal. Sebagai akibatnya korosi oleh mikroorganisme ini menyebabkan *pitting corrosion*, dimana biasanya korosi lebih parah daripada korosi yang menyebar merata pada seluruh permukaan logam (Lee *et al.*, 1995; Cord-Ruwisch, 2000).

korosi tidak mungkin sepenuhnya dapat dicegah karena memang merupakan proses alamiah bahwa semua bahan akan kembali ke asalnya. Asal dari tanah kembali ke tanah, asal dari bijih besi kembali jadi oksida besi. Walaupun demikian, pengendalian korosi harus dilakukan secara maksimal karena dilihat dari segi ekonomi dan segi keamanan merupakan hal yang tidak mungkin ditinggalkan. Tingkat korosi akan sangat berbeda tergantung dari ada atau tidak adanya biofilm, Padahal evaluasi dan diskriminasi yang tepat antara korosi biasa dan korosi yang dipengaruhi mikroba sangat sulit dilakukan, Karena keterlibatan mikroorganisme akan selalu sangat peka dan sulit untuk ditetapkan. Dengan penelitian yang lebih spesifik tentang seberapa jauh peranan bakteri di lingkungan laut akan meningkatkan kemampuan dalam penanganan korosi di lingkungan laut.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian kali ini adalah :

1. Bagaimanakah laju korosi material alumunium 6063 di dalam media yang berisibakteri *Azotobacter* pada salinitas lingkungan laut 33‰, 35‰, dan 37‰?
2. Bagaimanakah laju korosi material alumunium 6063 di dalam media yang berisi bakteri *Bacillus subtilis* pada salinitas lingkungan laut 33‰, 35‰, dan 37‰?
3. Bagaimanakah laju korosi material alumunium 6063 di dalam media yang berisibakteri *Pseudomonas putida* pada salinitas lingkungan laut 33‰, 35‰, dan 37‰?

1.3. Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah diatas dapat diambil tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, yaitu :

1. Mendapatkan laju korosi material alumunium 6063 yang mendapat pengaruh bakteri *Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, dan *Pseudomonas putida* pada medium penguji pada masing-masing salinitas.
2. Mengetahui jenis bakteri yang paling korosif, serta kondisi lingkungan yang paling berpengaruh pada proses korosi.
3. Mendapatkan hasil visual struktur mikro dari korosi alumunium 6063 yang diuji.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian diharapkan dapat memberi manfaat terhadap peningkatan kemampuan dalam penanganan korosi di lingkungan laut, karena :

1. Tersedianya data mengenai ketahanan material karena pengaruh bakteri pada masing-masing salinitas.
2. Menunjang penelitian-penelitian lain tentang bakteri dalam lingkungan laut, misalnya tentang faktor penghambat pertumbuhan bakteri ataupun metode pelapisan material pencegah korosi.
3. Adanya tindakan awal dalam perancangan bangunan laut sebagai pencegahan meningkatnya laju korosi karena faktor bakteri.

1.5. Batasan Masalah

Untuk menyajikan penulisan yang baik dan agar pembahasan lebih terarah, maka perlu dibuat batasan-batasan sebagai berikut :

1. Bakteri yang diujikan, antara lain : *Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, dan *Pseudomonas putida*.
2. Material yang diujikan merupakan aluminium 6063.
3. Variasi larutan media penguji dengan 3 keadaan salinitas lingkungan laut, salinitas 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰.
4. Percobaan dilakukan pada material yang terbenam seluruhnya di bawah permukaan media larutan penguji (*immersed*).

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Berisi tentang studi literatur dan dasar teori yang digunakan sebagai dasar yang digunakan dalam tugas akhir ini.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang alur pengerjaan dan metodologi yang dipakai dalam mengerjakan tugas akhir ini.

4. BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil dan pembahasan dari analisa yang dilakukan serta sudah disesuaikan dengan metode penelitian dan dasar teori yang ada.

5. BAB V KESIMPULAN

Berisi tentang kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisa dan pembahasan dalam penelitian tugas akhir ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi terkait yang digunakan untuk mendukung pengerjaan tugas akhir ini.

7. LAMPIRAN

Berisi data atau informasi yang diperlukan dalam pembuatan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Novan Indramawan dilakukan percobaan untuk melihat pengaruh bakteri terhadap korosi material baja. Penelitian ini dilakukan untuk melihat apakah bakteri dapat mempercepat atau menghambat laju korosi pada baja. Penelitian ini melakukan Immersion Test, tetapi pengalaman menunjukkan bahwa semua logam dan paduan tidak memiliki respon sama terhadap faktor yang mempengaruhi korosi. Uji korosi "dipercepat" hanya memberikan hasil indikatif, atau bahkan mungkin sama sekali menyesatkan. Tidaklah praktis untuk mengusulkan sebuah prosedur pengujian korosi standar laboratorium yang tidak fleksibel untuk penggunaan umum, kecuali untuk tes kualifikasi material dimana standardisasi jelas dibutuhkan (ASTM G31).

Material yang digunakan adalah Baja A-36 yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembangunan kapal. Baja A-36, yang juga dikenal sebagai SS400 JIS 3101, didalam ASME Kode Bagian II-A, spesifikasi JIS dari pelat baja untuk konstruksi umum termasuk dalam kategori SA-36. Baja A-36 adalah salah satu baja canai panas struktural yang paling umum digunakan. Tipikal material baja karbon khas, harganya relatif murah, sangat bagus di las dan di *machining* dan material baja ini dapat mengalami berbagai perlakuan panas.

Bakteri yang digunakan adalah *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Thiobacillus ferrooxidans*. *Pseudomonas fluorescens* adalah bakteri gram negatif berbentuk batang yang menghuni tanah, tumbuh-tumbuhan, dan permukaan air. Suhu pertumbuhan optimum adalah antara 25-30 derajat celcius. *Thiobacillus ferrooxidans* adalah bakteri gram negatif yang mengandung protein proteotoksikotropik dan aerobik. Bakteri ini bersifat motil, dan memiliki flagella polar. *T. ferrooxidans* adalah *acidophile*, hidup di lingkungan dengan kisaran pH optimum 1,5 sampai 2,5. *T. ferrooxidans* juga termofilik, lebih memilih suhu 45 sampai 50 derajat celcius. Toleransi suhu yang tinggi terhadap bakteri mungkin

disebabkan oleh kandungan GC yang tinggi yaitu 55 sampai 65 persen mol. *Escherichia coli* adalah bakteri gram negatif, berbentuk batang, bakteri coliform dari genus *Escherichia* yang umum ditemukan di usus bawah organisme berdarah panas. (Endoterm). Bakteri tumbuh secara besar-besaran dalam kotoran segar dalam kondisi aerobik selama 3 hari, namun jumlahnya menurun perlahan setelahnya.

Bakteri *Pseudomonas fluorescens*, *Escherichia coli*, *Thiobacillus ferrooxidans* dan *Bacillus sp* juga digunakan dalam proses *bioleaching* sebagai bakteri yang mampu melarutkan senyawa timbal sulfida sukar larut menjadi senyawa timbal sulfat yang dapat larut melalui proses biokimia. *Bioleaching* merupakan suatu proses untuk melepaskan atau mengekstraksi logam dari mineral atau sedimen dengan bantuan organisme hidup atau untuk mengubah mineral sulfida sukar larut menjadi bentuk yang larut dalam air dengan memanfaatkan mikroorganisme (Brandt, 2001).

2.2. Dasar Teori

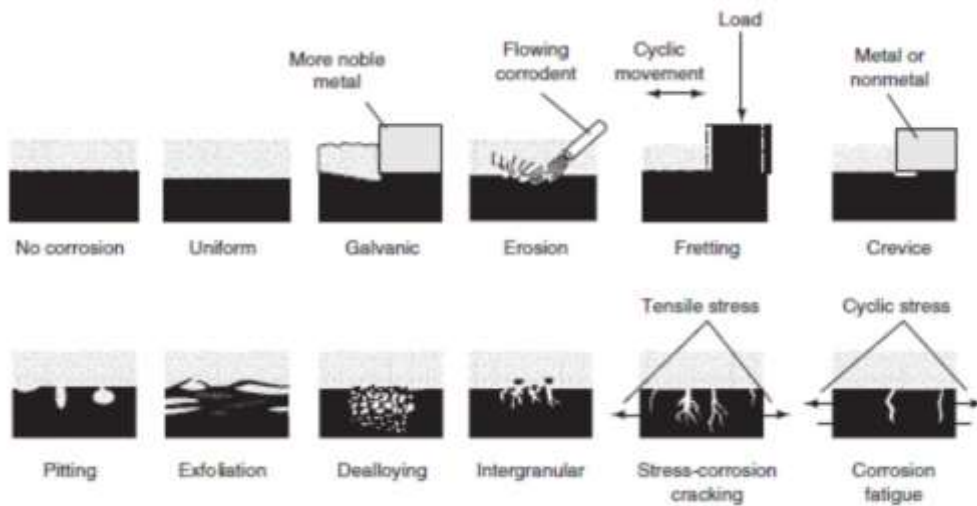
2.2.1. Definisi Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai kehancuran atau kemerosotan dari suatu material karena reaksinya dengan lingkungannya. Beberapa orang bersikeras definisi ini hanya berlaku untuk logam saja, tetapi sering *corrosion engineers* harus mempertimbangkan logam dan nonlogam untuk solusi dari masalah yang ada (Fontana, 1987). Berdasarkan *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) “korosi adalah reaksi antar muka yang tidak dapat dibalikkan dari suatu material (logam, keramik, dan polymer) dengan lingkungannya yang menyebabkan terkonsumsinya material atau pembubaran material menjadi komponen lingkungannya. Definisi lainnya diberikan oleh ISO 8044-1986 menyatakan: “Interaksi fisikokimia antara logam dan lingkungannya dimana menghasilkan perubahan dari property logam dan kadang-kadang dapat mengarah ke penurunan nilai dan fungsi logam, lingkungan, atau system teknis di tempatnya berada”. Definisi yang paling banyak digunakan adalah korosi merupakan degradasi suatu material karena reaksinya dengan lingkungannya (Tretheway and Chamberlain, 1995).

Pada dasarnya semua lingkungan bersifat korosif, beberapa contoh adalah udara dan kelembapan, air jernih, suling, asin dan tambang, atmosfer pedesaan, perkotaan dan industry. uap dan gas lain seperti klorin, ammonia, hydrogen sulfat, sulfur dioxide, dan gas bahan bakar, asam-asam mineral seperti *hydrochloric*, *sulfuric*, dan *nitric*, asam-asam organic seperti *naphthenic*, *asetic*, dan *formic*, alkali, tanah, pelarut, minyak sayuran dan minyak bumi; dan beragam produk makanan. Pada umumnya material inorganik bersifat lebih korosif dibandingkan material organik, sebagai contoh, korosi dalam pengolahan minyak bumi lebih kepada sodium klorida, belerang, Hydrochloric dan asam sulfat, dan air, daripada minyak, naphta, atau bensin (Fontana, 1987). Selain itu korosi juga dapat dipengaruhi oleh suhu dan tekanan tinggi yang mengakibatkan proses korosi semakin cepat. Lingkungan yang menyebabkan korosi disebut *corrosive* dan material/logam yang mengalami korosi disebut *corrodible* (Tretheway and Chamberlain, 1995).

2.2.2. Jenis-jenis Korosi

Menurut ASM Handbook (2000) ada 3 faktor dalam korosi yang dapat diklasifikasikan, yaitu: sifat dari bahan perusak, mekanisme korosi, dan penampilan dari logam yang terkorosi. Faktor yang terakhir adalah yang digunakan dan ini karena faktor ini menyediakan informasi yang memadai atas mode kegagalan untuk material yang terkorosi. Klasifikasi ini berdasarkan morfologi permukaan (Gambar 1 dan Tabel 1) dan harus diingat bahwa jenis korosi dapat berbeda antara teori dan kenyataan, karena ada kasus dimana korosi bisa memiliki lebih dari satu kategori. Mars G. Fontana mengatakan dalam bukunya “sangat sesuai untuk mengklasifikasikan korosi berdasarkan bentuk bagaimana korosi itu terwujud, dasar dari klasifikasi ini adalah penampilan dari logam yang terkorosi. Setiap bentuk dapat diklasifikasikan hanya dengan pengamatan visual. Dalam banyak kasus mata telanjang saja sudah cukup, tetapi pembesaran juga membantu atau diperlukan” (1987).



Gambar 2.1. Skema ringkas dari beberapa jenis korosi (ASM, 2000).

Pembagian jenis-jenis korosi yang lebih spesifik berdasarkan klasifikasi ASM adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1. Klasifikasi ASM untuk tipe korosi

General Corrosion:	Localized Corrosion:	Metallurgical Influenced Corrosion:	Mechanically Assisted Degradation:	Environmentally Induced Cracking:
Corrosive attack dominated by uniform thinning	High rates of metal penetration at specific sites	Affected by alloy chemistry and heat treatment	Corrosion with a mechanical component	Cracking produced by corrosion, in the presence of stress
Atmospheric corrosion	Crevice corrosion	Intergranular corrosion	Erosion corrosion	Stress – Corrosion Cracking
Galvanic corrosion	Filiform corrosion	Dealloying corrosion	Fretting corrosion	Hydrogen Damage
Stray-current corrosion	Pitting corrosion		Cavitation and water drop impingement	Liquid metal embrittlement
General biological corrosion	Localized biological corrosion		Corrosion fatigue	Solid metal induced embrittlement
Molten salt corrosion				
Corrosion in liquid metals				
High – temperature corrosion				

Sumber: Scully J. R., Taylor D.W., Electrochemical Methods of Corrosion Testing, Metals Hand Book Vol 13, 1987.

1. *Uniform/General Corrosion*

Pada korosi jenis ini, seluruh permukaan logam yang terekspos dengan lingkungan, terkorosi secara merata diseluruh permukaan benda, jenis ini mengakibatkan rusaknya konstruksi secara total. Dengan distribusi seragam dari reaktan katodik atas seluruh permukaan logam yang terekspose. Pada lingkungan asam ($\text{pH} < 7$), terjadi reduksi ion hydrogen dan pada lingkungan basa ($\text{pH} > 7$) atau netral ($\text{pH} = 7$), terjadi reduksi oksigen. Keduanya berlangsung secara “seragam” dan tidak ada lokasi yang spesifik. Katoda dan anoda terletak secara acak dan bergantian seiring waktu, hasil akhirnya adalah seluruh permukaan menjadi berkarat.

2. *Galvanic Corrosion*

Korosi yang terjadi ketika dua jenis logam yang berbeda mengalami kontak secara langsung di dalam media korosif. Korosi ini terjadi karena proses elektrokimiawi 2 macam metal yang berbeda potensial yang saling menempel didalam elektrolit yang sama. Dimana elektron mengalir dari metal dengan potensial rendah (Anodik) menuju metal dengan potensial yang lebih tinggi (Katodik), akibatnya metal dengan potensial lebih rendah berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion negatif yang berada didalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa tersebut, permukaan anoda kehilangan metal sehingga terbentuklah sumur-sumur karat (*surface attack*).

3. *Selective Leaching Corrosion*

Selective leaching adalah korosi selektif dari satu atau lebih komponen dari paduan larutan padat. Hal ini juga disebut pemisahan, pelarutan selektif atau serangan selektif. Contoh *dealloying* umum adalah dekarburisasi, *decobaltification*, *denickelification*, *dezincification*, dan korosi graphitic. Logam yang berbeda dan paduan memiliki potensial yang berbeda (atau potensial korosi) pada elektrolit yang sama. Paduan modern mengandung sejumlah unsur paduan berbeda yang menunjukkan potensial korosi yang berbeda. Beda potensial antara elemen paduan menjadi kekuatan pendorong untuk serangan preferensial yang lebih "aktif" pada elemen dalam paduan tersebut.

4. *Crevice Corrosion*

Korosi celah mengacu pada serangan lokal pada permukaan logam atau yang berbatasan langsung dengan, celah antara dua permukaan. Celah dapat terbentuk antara dua logam atau logam dan bahan non-logam. Di luar kesenjangan atau tanpa celah, kedua logam yang tahan terhadap korosi. Kerusakan yang disebabkan oleh korosi celah biasanya dibatasi pada satu logam di wilayah lokal dalam atau dekat dengan permukaan yang bergabung. Korosi dimulai oleh perbedaan konsentrasi beberapa kandungan kimia, biasanya oksigen, yang membentuk konsentrasi sel elektrokimia (perbedaan sel aerasi dalam kasus oksigen). Di luar dari celah (katoda), kandungan oksigen dan pH lebih tinggi - tetapi klorida lebih rendah.

5. *Pitting Corrosion*

Korosi sumuran adalah korosi lokal dari permukaan logam yang dibatasi pada satu titik atau area kecil, dan membentuk bentuk rongga. Korosi sumuran adalah salah satu bentuk yang paling merusak dari korosi. Untuk material bebas cacat, korosi sumuran disebabkan oleh lingkungan kimia yang mungkin berisi spesies unsur kimia agresif seperti klorida. Klorida sangat merusak lapisan pasif (oksida) sehingga pitting dapat terjadi pada dudukan oksida. Lingkungan juga dapat mengatur perbedaan sel aerasi (tetesan air pada permukaan baja, misalnya) dan pitting dapat dimulai di lokasi anodik (pusat tetesan air).

6. *Intergranular Corrosion*

korosi jenis ini juga disebut "*intercrystalline korosi*" atau "korosi interdendritik". Dengan adanya tegangan tarik, retak dapat terjadi sepanjang batas butir dan jenis korosi ini sering disebut "intergranular retak korosi tegangan (IGSCC)" atau hanya "intergranular stress corrosion cracking". Jenis korosi ini diawali dari beda potensial dalam komposisi, seperti sampel inti "*coring*" biasa ditemui dalam paduan casting. Pengendapan pada batas butir, terutama kromium karbida dalam baja tahan karat, merupakan mekanisme yang diakui dan diterima dalam korosi intergranular.

7. *Stress Corrosion Cracking (SCC)*

Korosi retak tegangan (SCC) adalah proses retak yang memerlukan aksi secara bersamaan dari bahan perusak (karat) dan berkelanjutan dengan tegangan

tarik. Ini tidak termasuk pengurangan bagian yang terkorosi akibat gagal oleh patahan cepat. Hal ini juga termasuk intercrystalline atau transkristalin korosi, yang dapat menghancurkan paduan tanpa tegangan yang diberikan atau tegangan sisa. Retak korosi tegangan dapat terjadi dalam kombinasi dengan penggetasan hidrogen. Korosi ini terjadi akibat adanya hubungan dari 3 faktor komponen, yaitu (1) Bahan rentan terhadap korosi, (2) adanya larutan elektrolit (lingkungan) dan (3) adanya tegangan. Sebagai contoh, tembaga dan paduan rentan terhadap senyawa amonia, baja ringan rentan terhadap larutan alkali dan baja tahan karat rentan terhadap klorida.

8. *Erosion Corrosion*

Erosi Korosi mengacu pada tindakan gabungan yang melibatkan erosi dan korosi di hadapan cairan korosif yang bergerak atau komponen logam yang bergerak melalui cairan korosif, yang menyebabkan percepatan terdegradasinya suatu logam. Efek mekanik aliran atau kecepatan fluida dikombinasikan dengan aksi cairan korosif menyebabkan percepatan hilangnya dari logam. Tahap awal melibatkan penghapusan mekanik film pelindung logam dan kemudian korosi logam telanjang oleh cairan korosif yang mengalir. Proses siklus ini sampai pelubangan komponen terjadi.

2.2.3. Logam Paduan Alumunium 6063

AA 6063 adalah logam campuran alumunium dengan magnesium dan silikon. Standar yang mengatur komposisinya dijaga oleh *The Aluminum Association*. AA 6063 mempunyai property mekanis yang baik dan bisa dipanaskan dan bisa dilas. Logam ini mirip dengan logam paduan British HE9. Spesifikasi AA 6063 menurut ASM Handbook (1990) sama dengan spesifikasi AMS. Extruded wire, rod, bar, shapes, and tube: 4156. dan ASME. Extruded wire, rod, bar, shapes, and tube: SB221. Pipe: SB241.

Tabel 2.2. Bentuk-bentuk AA 6063 yang ada dipasaran dan kode pada ASTM

Mill Form And Condition	ASTM No.
Wire, rod, bar, shapes, and tube (extruded)	B 221
Tube (extruded, seamless); pipe	B 241
Tube (extruded, coiled)	B 491
Tube (drawn)	B 483
Tube (drawn, seamless)	B 210
Pipe (gas and oil transmission)	B 345
Structural pipe and tube (extruded)	B 429

Sumber: ASM *Handbook* (1990)

Tabel 2.3. Spesifikasi AA 6063 menurut ASM *Handbook* (1990):

Komposisi Kimia	
Silikon (Si)	0,2 % - 0.6 %
Besi (Fe)	0.35%
Tembaga (Cu)	0.10 %
Mangan (Mn)	0.10 %
Magnesium (Mg)	0.45 % - 0.9 %
Chromium (Cr)	0.10 %
Seng (Zn)	0.10 %
Titanium (Ti)	0.10 %
Other elements	0.05 % - 0.15 %
Alumunium (Al)	sisanya
Properti Mekanis	
<i>Young's Modulus</i> (E)	68.3 GPa (9.910 ksi)
<i>Tensile strength</i> (σ_t)	145-186 MPa (21.0-27.0 ksi)
<i>Elongation</i> (ϵ) <i>at break</i>	18-33%
<i>Poisson's ratio</i> (ν)	0.33
Properti Termal	
<i>Melting temperature</i> (T_m)	615 °C (1,139 °F)
<i>Thermal conductivity</i> (k)	201-218 W/m*k
<i>Linear thermal expansion</i>	$2.34 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
<i>Specific heat capacity</i> (c)	900 J/kg*K
Electrical Properties	
<i>Volume resistivity</i> (ρ)	30-35 nOhm*m
Properti Fisik	
<i>Density</i> (ρ)	2.69 g/cm ³

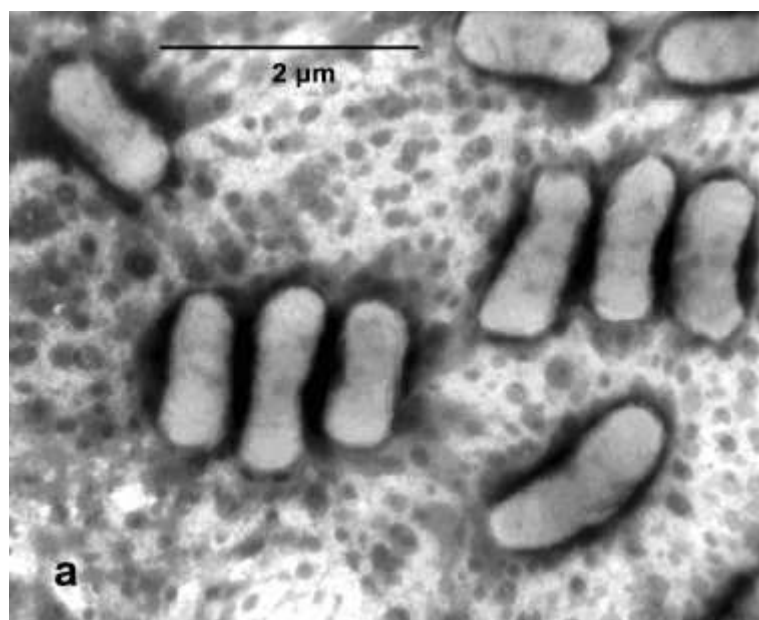
2.2.4. Karakteristik Bakteri

2.2.4.1. *Azotobacter*

Azotobacter memiliki ciri-ciri selnya berbentuk oval dengan diameter 1,5-2,0 μm . *Azotobacter* bersifat pleomorfi, yaitu selnya dapat berbentuk batang sampai kokus. Selnya terdapat individu, berpasangan, atau mengelompok dengan bentuk tidak beraturan, dan kadang-kadang membentuk rantai dengan panjang bervariasi. *Azotobacter* tidak membentuk endospora tetapi membentuk kista. *Azotobacter* dalam gram negatif dan ada juga yang bersifat motil karena memiliki flagela peritrik atau nonmotil. *Azotobacter* bersifat aerob tetapi masih dapat hidup dengan tekanan oksigen rendah. Bakteri ini termasuk dalam kemoorganotrop yang menggunakan karbon dari gula, alkohol, atau garam dari asam organik untuk tumbuh. *Azotobacter* mampu memfiksasi nitrogen sebanyak 10 mg N_2 setiap 1 g glukosa yang dikonsumsi. Molibdenum dibutuhkan untuk fiksasi nitrogen tetapi dapat juga digantikan dengan vanadium. *Azotobacter* tidak memiliki enzim proteolitik sehingga menggunakan sumber nitrogen berupa nitrat dan garam amonium. *Azotobacter* juga menghasilkan enzim katalase untuk mengkatalis hidrogen peroksida yang dihasilkan pada proses metabolisme. *Azotobacter* dapat hidup pada pH 4,8-8,5 dengan pH optimum untuk pertumbuhan dan fiksasi nitrogen 7,0-7,5. Habitat dari *Azotobacter* ini yaitu di tanah dan air, dan ada juga yang berasosiasi dengan tumbuhan pada bagian akar (Holt *et al.* 1994). Fiksasi nitrogen dianggap sebagai salah satu aktivitas mikroba yang menarik karena dapat *me-recycle* nitrogen dan berkontribusi pada homeostasis nitrogen di biosfer. Di antara *free-living nitrogen-fixing bacteria* salah satunya *Azotobacter*, memiliki habitat yang tersebar yaitu tanah, air, dan sedimen. *Azotobacter* mampu mengubah nitrogen menjadi amonia, yang pada gilirannya diangkat oleh tanaman (Kamil, *et al.* 2008).

Pada percobaan di lapangan yang sesuai dengan kondisi lingkungan sebenarnya, inokulasi *Azotobacter* memberikan efek menguntungkan pada tanaman, berkaitan dengan peningkatan nitrogen yang difiksasi di tanah, dan sekresi dari mikroba yang menstimulasi hormon giberelin, auksin, dan sitokinin. *Azotobacter* juga dapat digunakan produksi kompos, berkaitan dengan kemampuannya memfiksasi nitrogen dan melarutkan fosfat (Aquilanti *et al.* 2004). Berdasarkan penelitian dari (Ghosh *et al.* 1997) dan (Sorkhoh *et al.* 2010), menunjukkan bahwa *Azotobacter*, selain mampu memfiksasi nitrogen

juga mampu mereduksi merkuri dengan cara mengubah menjadi bentuk volatil. *Azotobacter* juga memiliki organomercuri lyase yang mengubah organomercuri menjadi merkuri anorganik, sehingga termasuk dalam *broad spectrum*.

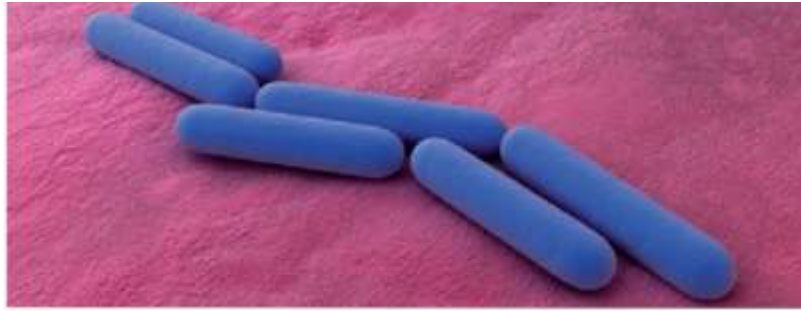


Gambar 2.2. *Azotobacter*
(Sumber: Carpa *et al.*, 2011)

2.2.4.2. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis bukan mikroba yang misterius atau tidak jelas. Bakteri ini merupakan bakteri yang sudah dipelajari dengan baik. *B. subtilis* adalah tipe asli dari genus *Bacillus* (N. A. Logan, 2004) dan dipandang oleh para peneliti sebagai contoh khas dari bakteri Gram-positif dan penghasil endospora. Karena itu, *B. subtilis* menarik banyak peneliti dan menjadikannya salah satu organisme pertama yang genomnya berhasil diurutkan (lebih dari sepuluh tahun yang lalu) (Peter Cartwright, 2009).

Bacillus subtilis memiliki penampilan berbentuk batang dan termasuk dalam famili bakteri gram-positif (gambar 2.2.). Selain banyak hadir di alam, ia juga merupakan bagian dari flora usus mikroba. Food and Drug Administration (FDA) AS mengklasifikasikan *Bacillus subtilis* sebagai GRAS organisme. Itu berarti umumnya dikenali sebagai aman dan bisa digunakan bebas masalah Di laboratorium S1 (iGEM Manual, 2016).



Gambar 2.3. *Bacillus subtilis*
(Sumber: Sebastian Kaulitzki, *Probiotic News*, 2009).

2.2.4.3. *Pseudomonas putida*

Pseudomonas putida adalah bakteri gram-negatif yang berbentuk batang, memiliki lebih dari satu flagella, yang dapat ditemukan di hampir semua habitat tanah dan air dimana ada oksigen. Bakteri ini dapat tumbuh secara optimal pada suhu 25-30° C dan dapat dengan mudah diisolasi. *Pseudomonas putida* (gambar 2.3.) mempunyai beberapa jenis termasuk KT2440, jenis yang membuat koloni di akar tanaman dimana terjadi hubungan timbal balik antara tanaman dan bakteri. Permukaan akar, rhizosphere, memungkinkan bakteri berkembang dari nutrisi akar dan *Pseudomonas putida* menginduksi pertumbuhan tanaman dan melindungi tanaman dari pathogen. Bakteri ini membantu dalam mempromosikan perkembangan tanaman, peneliti menggunakan bakteri ini dalam penelitian bioteknologi untuk mengembangkan biopestisida dan memperbaiki kesehatan tanaman (Espinosa-Urgel et al, 2000).

Pseudomonas putida memiliki metabolisme aerobik yang sangat beragam yang mampu medegradasi pelarut organik seperti toluene dan juga mengubah minyak stirena menjadi plastik *biodegradable Polyhydroxyalkanoates* (PHA). Ini membantu menurunkan busa polistiren yang dianggap tidak *biodegradable*. Karena nafsu makan bakteri ini untuk polutan organik yang kuat, peneliti tertarik menggunakan *pseudomonas putida* sebagai “pekerja’ laboratorium untuk penelitian proses tanah yang diperbaiki bakteri” (H. Kowalski, 2002). Bakteri ini unik karena memiliki gen paling banyak yang terlibat dalam menghancurkan hidrokarbon aromatic atau alifatik yang merupakan senyawa berbahaya yang disebabkan oleh pembakaran bahan bakar, batu bara, tembakau, dan bahan

organik lainnya. Ada ketertarikan besar dalam mengurutkan genom *Pseudomonas putida* karena efeknya yang kuat dalam bioremediasi (Marcus, 2003).



Gambar 2.4. *Pseudomonas putida*
(sumber: Dennis Kupkel Microscopy, Inc)

2.2.5. Laju Korosi (*corrosion rate*).

2.2.5.1. ASTM G31-1972

Standar ini mendeskripsikan prosedur yang diperkenankan dan faktor yang mempengaruhi pengujian korosi dengan metode *Immersion*, terutama pengujian massa yang hilang. Faktor ini termasuk mempersiapkan spesimen, perlengkapan, kondisi pengujian, metode pembersihan, evaluasi hasil, dan perhitungan serta laporan laju korosi. Standar ini juga menegaskan pentingnya merekam semua data dan menyediakan daftar untuk laporan data pengujian.

Pengujian korosi pada dasarnya melampaui standar yang lengkap. Standar ini, daripada menjadi sebuah prosedur, bertindak sebagai pemandu agar beberapa masalah pengujian dapat dihindari. Pengalaman menunjukkan bahwa semua logam dan paduan logam memiliki respon yang tidak sama terhadap faktor yang menyebabkan korosi dan pengujian yang “dipercepat” memberikan hasil yang indikatif, yang menjerumuskan. Sangat tidak praktis untuk mengajukan standar prosedur pengujian yang tidak fleksibel untuk penggunaan umum, kecuali kualifikasi material dimana standarisasi jelas diperlukan. Dalam merancang pengujian korosi, pertimbangan harus diberikan kepada beberapa faktor yang didiskusikan di standar ini, karena faktor ini sangat mempengaruhi hasil.

Metode dan prosedur yang dijelaskan Pada standar ini menunjukkan standar terbaik saat ini untuk dilakukan di laboratorium pengujian korosi sebagai pengembangan oleh ahli korosi pada proses industri. Untuk hasil yang baik dan akurat, pengaruh khusus dari beberapa variabel ini harus diperhatikan:

1. Spesimen logam yang tenggelam dalam cairan panas tertentu bisa jadi tidak berkarat dengan laju yang sama. Jika pengaruh perpindahan panas menjadi perhatian, prosedur khusus harus dilakukan (Fisher *et al.*, 1959).
2. Pada pengujian di laboratorium, kecepatan lingkungan relatif biasanya ditentukan oleh arus konveksi atau efek dari aliran udara. Jika pengaruh kecepatan aliran udara menjadi perhatian, maka dilakukan prosedur khusus untuk memindahkan lingkungan melalui spesimen berbentuk tabung (U.S. Patent 3,228,236, 1989).
3. Perilaku dari beberapa logam dan paduan logam dapat mempengaruhi keberadaan oksigen terlarut. Jika faktor ini menjadi perhatian maka dapat dilakukan pengujian ditempat udara tidak mengalir.
4. Pada beberapa kasus, laju korosi mungkin dipengaruhi oleh komposisi minor didalam larutan, dimana harus dilakukan penggantian larutan.
5. Produk korosi dapat menyebabkan efek tidak diinginkan pada produk kimia. Jumlah kontaminasi yang mungkin dapat diestimasi dari massa spesimen yang berkurang, dengan pengaplikasian yang benar antara area yang terkorosi, massa produk kimia, dan durasi kontak langsung permukaan yang terkorosi dengan massa produk kimia.
6. Produk korosi dapat mempengaruhi laju korosi dari material logam tersebut atau logam berbeda yang terkandung dalam logam yang diuji. Contohnya penumpukan ion *cupric* dalam pengujian paduan tembaga pada larutan dengan konsentrasi asam sulfat yang sedang akan mempercepat laju korosi tembaga, dibandingkan jika ion *cupric* dihilangkan. Praktisnya hanya logam paduan yang berasal dari tipe yang sama yang berada didalam alat pengujian.

7. Material pengujian korosi sebenarnya di rancang untuk menyelidiki korosi yang merata (*general corrosion*). Ada sejumlah fenomena spesial dimana kita harus mewaspadai desain dan penginterpretasi dari hasil pengujian.
8. Korosi galvanis dapat diselidiki dengan alat spesial dimana kita menghubungkan satu material dengan yang lain dalam sambungan listrik. Perilaku spesimen kemudian diamati dengan spesimen yang mendapat perilaku yang sama.
9. Korosi celah (*crevice corrosion*) atau korosi sel terkonsentrasi dapat terjadi dimana permukaan logam sebagian dihalangi dari cairan yang mengkorosi dibawah penyangga.
10. *Intergranular corrosion* tidak dapat diamati dengan pengukuran kehilangan massa kecuali serangan sangat parah hingga menyebabkan butiran jatuh dan sangat memerlukan pengamatan mikroskopis.
11. *Dealloying* atau korosi “berpisah” adalah kondisi dimana salah satu unsur pembentuk logam paduan terpisah dari paduan, seperti *dezincification* dari perunggu atau *graphitization* dari besi cor. Perhitungan kehilangan massa tidak dapat dilakukan untuk jenis korosi ini.

Menurut ASTM G31-1972 menghitung laju korosi memerlukan beberapa informasi dan asumsi, yaitu:

1. Penggunaan laju korosi menunjukkan bahwa massa yang hilang disebabkan oleh *general corrosion* (korosi merata) dan bukannya korosi local, seperti *pitting* atau *intergranular corrosion*.
2. Penggunaan laju korosi juga menunjukkan bahwa material belum terkena *dezincification* atau *intergranular corrosion*.
3. Serangan dalam dapat dianggap sebagai laju korosi jika diinginkan, tetapi perhitungannya tidak dapat dilakukan dengan metode kehilangan massa, dimana biasanya sangat kecil tetapi dalam struktur mikro menunjukkan kedalamannya.

Metode dan prosedur yang dijelaskan Pada standar ini menunjukkan standar terbaik saat ini untuk dilakukan di laboratorium pengujian korosi sebagai pengembangan oleh ahli korosi pada proses industri.

2.2.5.2. Metode Kehilangan Massa (*Mass22 Loss*).

Metode kehilangan Massa adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi yang terjadi. Untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Laju Korosi} = (K \times W) / (A \times T \times D) \quad \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

- K = konstanta,
- T = waktu terpapar dalam jam,
- A = area dalam cm²,
- W = massa yang hilang dalam gram,
- D = kepadatan dalam g/cm³

Tabel 2.4. Konstanta berdasarkan satuan yang dipakai

Corrosion Rate Units Desire	Constant (K) in corrosion Rate Equation
mils per year (mpy)	3.45 x 10 ⁶
inches per year (ipy)	3.45 x 10 ³
inches per month (ipm)	2.87 x 10 ²
millimetres per year (mm/y)	8.76 x 10 ⁴
micrometers per year (um/y)	8.76 x 10 ⁷
picometers per second (pm/y)	2.78 x 10 ⁶
grams per square meter per hour (g/m ² .h)	1.00 x 10 ⁴ x D
milligrams per square decimetre per day (mdd)	2.40 x 10 ⁶ x D
micrograms per square meter per second (µg/m ² .s)	2.78 x 10 ⁶ x D

Sumber: ASTM G1-90, reapproved 1999.

Metode ini adalah mengukur kembali berat awal dari benda uji (objek yang ingin diketahui laju korosi yang terjadi padanya), kekurangan berat dari pada berat awal merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat dikembalikan kedalam rumus untuk mendapatkan laju kehilangan beratnya.

Metode ini bila dijalankan dengan waktu yang lama dan suistainable dapat dijadikan acuan terhadap kondisi tempat objek diletakkan (dapat diketahui seberapa korosif daerah tersebut) juga dapat dijadikan referensi untuk treatment yang harus diterapkan pada daerah dan kondisi tempat objek tersebut.

2.2.5.3. Metode Elektrokimia.

Metode elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi, metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang (memperkirakan walaupun hasil yang terjadi antara satu waktu dengan eaktu lainnya berbeda). Kelemahan metode ini adalah tidak dapat menggambarkan secara pasti laju korosi yang terjadi secara akurat karena hanya dapat mengukur laju korosi hanya pada waktu tertentu saja, hingga secara umur pemakaian maupun kondisi untuk dapat ditreatmen tidak dapat diketahui. Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat di ukur, hingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama. Metode elektrokimia ini meggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CR \text{ (mpy)} = K (ai / nD) \quad \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana,

CR = Laju Korosi

K = Faktor Konstanta, mpy = 0,129; $\mu\text{m/yr}$ = 0.00327

a = berat atom dari logam

i = kepadatan arus ($\mu\text{A/cm}^2$)

n = jumlah electron yang hilang

D = kepadatan (gr/cm^3)

(Sumber: ASTM G1-90)

Metode ini menggunakan pembandingan dengan meletakkan salah satu material dengan sifat korosif yang sangat baik dengan bahan yang akan diuji hingga beda potensial yang terjadi dapat diperhatikan dengan adanya pembandingan tersebut. Berikut merupakan gambar metode yang dilakukan untuk mendapatkan hasil pada penelitian laju korosi dengan metode elektrokimia yang diuraikan diatas.

2.2.6. Korosi yang Disebabkan oleh Bakteri (*Microbiologically-Induced Bacteria*).

2.2.6.1. Definisi MIC

Korosi biologis atau MIC (*Microbiologically-Induced Bacteria*) mengacu kepada kemungkinan adanya mikroorganisme yang terlibat didalam kemerosotan logam atau non logam. MIC bukan merupakan suatu mekanisme korosi yang baru tetapi menggabungkan mikroorganisme dalam proses korosi. Definisi yang sesuai untuk MIC adalah “MIC mengacu kepada pengaruh mikroorganisme pada proses korosi logam secara kinetis, disebabkan oleh mikroorganisme yang menempel pada permukaan (biasanya disebut *biofilms*). Persyaratan untuk MIC adalah keberadaan mikroorganisme, jika korosi dipengaruhi oleh aktivitas mereka, syarat yang lebih lanjut adalah sumber energy, sumber karbon, donatur elektron, penerima elektron dan air (Flemming, HC. *et al.* 2000).

Interaksi organisme dengan proses korosi, adalah subjek kompleks yang mencakup kontribusi dari beberapa disiplin ilmu mulai dari ilmu kimia dan permukaan hingga mikrobiologi dan bakteriologi. Dua aspek utama dari subjek, korosi dan *fouling* menjadi pertimbangan. Interaksi yang sangat bergantung pada keberadaan air ini, dapat berbentuk efek mekanis murni, di mana komponen lingkungan dimetabolisme untuk menghasilkan zat berpotensi korosif seperti asam organik atau hidrogen sulfida. Komponen utama dan mekanisme *fouling* dijelaskan, diikuti dengan pertimbangan efek pengotoran pada lingkungan dan kondisi lokal pada antarmuka biofilm / logam. Organisme yang paling sering ditemukan terlibat dalam interaksi korosi ditemukan pada industri minyak lepas pantai dan tangki bahan bakar pesawat dari aluminium (Edyvean dan Videla. 2013).

2.2.6.1. Mekanisme MIC

Korosi oleh mikroba biasanya terjadi pada pipa logam dalam tanah yang dibungkus oleh kain aspal yang terbuka dan jadi koloni tempat bakteri pereduksi sulfat. Bentuk korosinyapun sering seperti bekas lilitan kain pada pipa. Ada juga mikroba pengoksidasi belerang sehingga membentuk SO_3 dan H_2SO_4 yang dapat menimbulkan korosi berat pada logam dalam lingkungan yang aerob (Dexter, 1995). Lapisan bakteri anaerob bisa ada di bagian dalam endapan korosi, sedangkan bagian luarnya dihuni oleh bakteri aerob. Beberapa bakteri mampu memanfaatkan hidrogen yang terbentuk selama proses korosi katodik. Koloni bakteri dan endapan dapat membentuk sel konsentrasi, menyebabkan dan meningkatkan korosi galvanik. Korosi bakteri dapat muncul dalam bentuk korosi pitting, misalnya pada jaringan pipa industri minyak dan gas (Olmstead dan Hamlin, 1900).

Mikroorganisme untuk hidupnya melakukan metabolisme secara langsung atau secara tidak langsung dengan logam hingga akan menimbulkan reaksi korosi, atau dapat pula membuat lingkungannya bersifat korosif sebagai hasil reaksinya. Contohnya mikroba reduktor sulfat *anaerobik*, yaitu *Desulfovibrio desulfuricans*. Apapun kondisi lingkungannya, mikroorganisme butuh air, sumber energi untuk mendorong metabolisme mereka, dan nutrisi untuk menyediakan material penting (karbon, nitrogen, fosfor, trace metal, dll) untuk pembaharuan sel dan pertumbuhan. Pemahaman akan faktor-faktor ini terkadang bisa membantu dalam investigasi kegagalan. Energi mungkin berasal dari sinar matahari melalui fotosintesis atau dari reaksi kimia. Pentingnya metabolisme fotosintesis dibatasi dalam konteks artikel ini mengacu ke fasilitas di atas tanah atau struktur terendam yang menerima sinar matahari. Untuk sistem tertutup dan fasilitas yang terkubur, metabolisme mikroba didasarkan pada energi yang diturunkan dari reduksi oksidasi (redoks) reaksi. Di bawah kondisi aerobik, pengurangan oksigen ke air melengkapi oksidasi metabolik nutrisi organik untuk karbon dioksida. Di bawah kondisi anaerob, akseptor elektron selain oksigen bisa digunakan (Thomas R. Jack, 2002).

Table 2.5. Syarat untuk Bertumbuhnya Mikroorganisme

Prasyarat	Disediakan Oleh:	Jenis Pertumbuhan
Sumber Energi	Cahaya	Phototrophic
	Substansi Kimia	Chemotrophic
Sumber Karbon	CO ₂	Autotrophic
	Substansi Organik	Heterotrophic
Donor Elektron (yang teroksidasi)	Substansi inorganik	Lithotrophic
	Substansi Organik	Organotrophic
Penerima Elektron (yang tereduksi)	Oksigen	Aerobic
	NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ ,	“anoxic”
	SO ₄ ²⁻ , CO ₂	Anareobic

Sumber: Flemming *et al*, 2000.

Cahaya adalah sumber energy yang paling penting untuk fotosintesis. Proses ini adalah sumber utama bagi mikroorganisme untuk mendapatkan nutrisi. Proses ini telah “dikembangkan” oleh mikroorganisme beberapa milyar tahun yang lalu, mengakibatkan keberadaan oksigen di atmosfer. Hal ini mengakibatkan bencana lingkungan bagi mikroorganisme anaerobik, tetapi mereka telah mendapatkan cara untuk bertahan, di area bebas oksigen dibawah permukaan, didalam organism hidup dan di daerah kekurangan oksigen dibawah *biofilm* (Flemming *et al*, 2000).

Oksidasi sulfida oleh bakteri pengoksidasi sulfur mengakibatkan pengurangan pH yang drastis, dapat dimengerti dengan persamaan ini:



Mekanisme ini sangat berbahaya bagi logam, yang dapat mengakibatkan kehancuran pada struktur yang mayoritas terbuat dari baja. Berikut adalah beberapa tipe penting korosi yang relevan dengan penerima elektron dan organism yang berperan terhadap reaksinya (Schlegel. 1992):

Tabel 2.6. Contoh Mikroorganisme Penerima Elektron

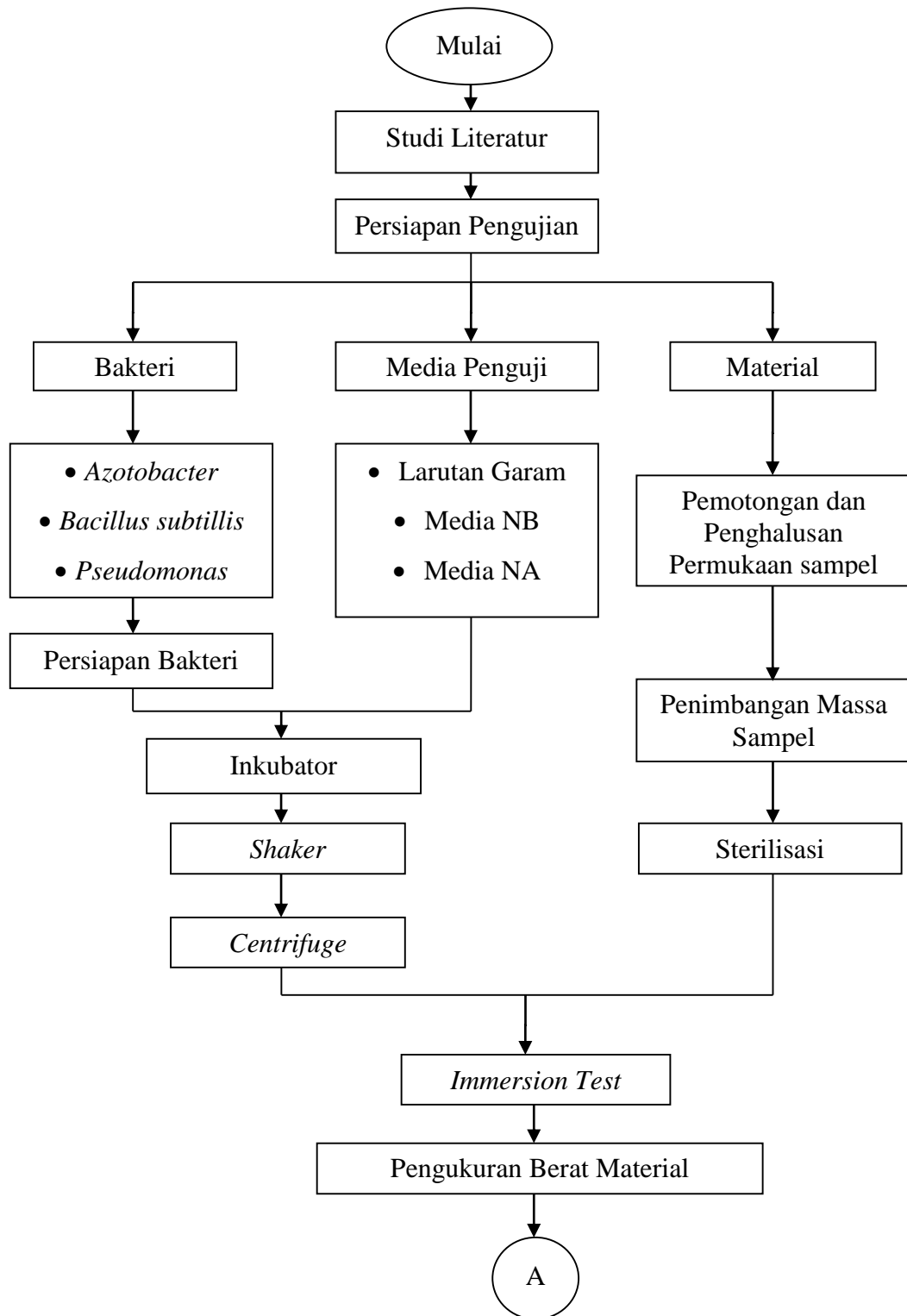
Penerima Elektron	Produk	Jenis Pernafasan, Organisme
Pernafasan Aerobik		
O ₂	H ₂ O	Pernafasan Oksigen: semua organism yang wajib dan tidak wajib didalam kehadiran oksigen; <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>E. coli</i>
Pernafasan Anaerobik		
NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻ , N ₂ O, N ₂	Pernafasan Nitrit, <i>denitrification</i> : <i>Paracoccus denitrificans</i> , <i>Pseudomonas stutzeri</i>
S ²⁻	SO ₄ ²⁻	Pernafasan Sulfat: mewajibkan bakteri anaerobik: <i>Desulfovibrio desulfuricans</i> , <i>Desulfomaculum ruminis</i> , <i>Desulfonema limicola</i>
S	S ²⁻	Pernafasan Sulfur: Tidak wajib dan wajib bakteri anareobik: <i>Desulfuromonas acetoxidans</i>
CO ₂	<i>Acetate</i>	Pernafasan karbonat: bakteri asetogenik <i>Clostridium acetium</i>
	<i>Methane</i>	Pernafasan karbonat: bakteri metanogenik; <i>Methanobacterium</i> , <i>Methanosarcina barkeri</i>
<i>Fumarate</i>	<i>Succinate</i>	Pernafasan <i>fumarate</i> : bakteri succinogenik: <i>E. coli</i> , <i>Wolinella succinogenes</i>
Fe ³⁺	Fe ²⁺	Pernafasan besi: <i>Alteromonas putrefaciens</i>
MnO ₂	Mn ²⁺	Pernafasan mangan: <i>Shewanella putrefaciens</i> , <i>geobacter sp.</i>

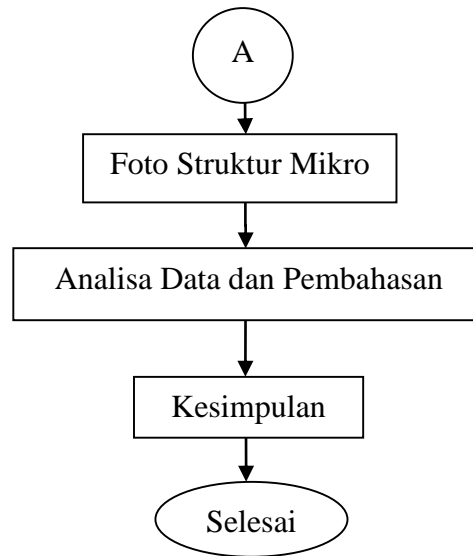
Sumber: Schlegel. 1992.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian





Gambar3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Prosedur Penelitian

Metodologi di atas diselesaikan dengan langkah pengerjaan rincinya sebagai berikut:

1. Studi literatur

Tugas akhir ini diawali dengan pemahaman materi yang baik, mencari teori dan data-data yang akan digunakan dalam penelitian dan analisa. Data-data dan teori yang digunakan diperoleh dari penelitian sebelumnya, jurnal, buku-buku, website, dll.

2. Persiapan Pengujian

Eksperimen diawali dengan mempersiapkan material uji. Material yang digunakan adalah Alumunium 6063 yang telah diketahui komposisi unsur-unsur materialnya. Material dipersiapkan dengan mengacu pada standar ASTM G1-90, "Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion". Kemudian ditimbang dan diukur luas permukaannya.

3. Persiapan Bakteri

Bakteri dikembangbiakkan, menggunakan metode streak plate. Media agar dipersiapkan terlebih dahulu sebelum memulai. Bakteri kemudian di inkubasi selama 24 jam.

4. Larutan Media Uji

Pada penelitian ini digunakan larutan pengganti air laut sesuai dengan standar ASTM D 1141-98. 2003. "Standard Practice for The Preparation of Substitute Ocean Water".

5. Persiapan Percobaan

Pada tahapan kali ini meliputi peralatan penunjang percobaan.

6. Pengujian Ketahanan Korosi

Mengacu pada standar ASTM G31-72 "Standard Practice for Lab Immersion Corrosion Testing for Metals" pada eksperimen ini akan membandingkan laju korosi pada tiap material uji dalam 3 variasi, yaitu: kondisi lingkungan laut dalam dengan salinitas 33‰, lingkungan laut sedang dengan salinitas 35‰, lingkungan laut dangkal dengan salinitas 37‰. Dari variasi medium tersebut akan dicatat perubahan yang terjadi pada material dengan standar ASM yang masih divariasikan lagi terhadap bakteri yang akan digunakan.

7. Analisa Hasil dan Pembahasan

Menganalisa data hasil percobaan dan membahas karakteristik variasi data hasil percobaan.

8. Kesimpulan.

Membuat kesimpulan berdasarkan hasil analisa dari data yang telah didapatkan.

3.2.1. Persiapan Material

Untuk setiap salinitas kita menggunakan 3 sampel seperti ketentuan di dalam ASTM G1-90. 1999. Material yang sudah dipotong- potong dihaluskan permukaannya dengan kertas amplas untuk mendapat hasil dari struktur mikro yang jelas. Material ditimbang menggunakan neraca analitik dan diukur dimensinya menggunakan jangka sorong sesuai dengan instruksi ASTM G-1 90, berikut adalah Massa awal dan dimensi sampel:

Tabel 3.1. Massa awal dan dimensi sampel yang diberi bakteri *Azotobacter*.

Sampel	Salinitas		
	33 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	m = 1.3784 gr d = 1.91 cm t = 0.32 cm	m = 1.3865 gr d = 1.92 cm t = 0.34 cm	m = 1.3782 gr d = 1.91 cm t = 0.31 cm
R2	m = 1.3780 gr d = 1.9 cm t = 0.32 cm	m = 1.3771 gr d = 1.88 cm t = 0.31 cm	m = 1.3802 gr d = 1.91 cm t = 0.33 cm
R3	m = 1.3982 gr d = 1.93cm t = 0.34 cm	m = 1.3769 gr d = 1.88 cm t = 0.32 cm	m = 1.3763 gr d = 1.88 cm t = 0.30 cm

Tabel 3.2. Massa awal dan dimensi sampel yang diberi bakteri *Bacillus subtilis*.

Sampel	Salinitas		
	33 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	m = 1.3772 gr d = 1.89cm t = 0.31 cm	m = 1.3753 gr d = 1.88cm t = 0.30 cm	m = 1.3787 gr d = 1.91cm t = 0.33 cm
R2	m = 1.3780 gr d = 1.9 cm t = 0.33 cm	m = 1.3888 gr d = 1.91cm t = 0.32 cm	m = 1.3781 gr d = 1.9 cm t = 0.32 cm
R3	m = 1.3913 gr d = 1.9 cm t = 0.35 cm	m = 1.3801 gr d = 1.9 cm t = 0.33 cm	m = 1.3787 gr d = 1.89 cm t = 0.32 cm

Tabel 3.3. Massa awal dan dimensi sampel yang diberi bakteri *Pseudomonas putida*.

Sampel	Salinitas		
	33 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	m = 1.3212 gr d = 1.87 cm t = 0.26 cm	m = 1.3478 gr d = 1.88 cm t = 0.28 cm	m = 1.3432 gr d = 1.88 cm t = 0.27 cm
R2	m = 1.3286 gr d = 1.87 cm t = 0.27 cm	m = 1.3368 gr d = 1.88 cm t = 0.28 cm	m = 1.3640 gr d = 1.9 cm t = 0.29 cm
R3	m = 1.3344 gr d = 1.87 cm t = 0.27 cm	m = 1.3411 gr d = 1.88 cm t = 0.28 cm	m = 1.3471 gr d = 1.89 cm t = 0.28 cm

3.2.2. Persiapan Larutan Media Pengganti Air Laut.

Pembuatan media uji dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B-3 Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, yang dilakukan pada hari rabu, 7 Desember 2016 pada pukul 09.00 sampai selesai. Media uji yang digunakan ialah larutan air laut buatan, dibuat dengan menggunakan Sodium Klorida yang memenuhi standard ASTM D 1141-98. “Standard Practice for The Preparation of Substitute Ocean Water”.

3.2.2.1. ASTM D 1141-98.

Standar ini meliputi persiapan dari larutan yang mengandung garam dalam proporsi dan konsentrasi yang mewakili air laut. Standar ini menyediakan 3 jenis larutan, yang terkonsentrasi tetapi stabil di dalam penyimpanan. Untuk persiapan larutan pengganti air laut, dimana 2 larutan pertama dengan tambahan garam dikombinasikan dengan volume yang lebih besar. Perbaikan tambahan dalam pengaturan konsentrasi logam berat disediakan oleh tambahan larutan dari stok ketiga. Larutan pengganti air laut dapat digunakan di dalam laboratorium dimana air laut buatan diperlukan, sebagai contoh test kontaminasi minyak, evaluasi detergensi, dan pengujian laju korosi.

Bahan kimia harus digunakan di semua tes, kecuali disarankan sebaliknya. Sangat disarankan bahwa semua bahan memenuhi spesifikasi *Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society*. Bahan lain dapat digunakan jika pertama dipastikan bahwa bahan itu murni sehingga diijinkan untuk digunakan tanpa mengurangi keakuratan dari pengujian.

Tabel 3.4. Komposisi Kimia dari Larutan Pengganti Air Laut^{A,B}

Senyawa	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 ₂) ₂	0.0000340
Cu(NO ₃) ₂	0.0000308
Zn(NO ₃) ₂	0.0000096
Pb(NO ₃) ₂	0.0000066
AgNO ₃	0.00000049

Sumber: ASTM D1141-98(2003).

^AKlorinitas dari larutan pengganti air laut adalah 19.38.

^BpH (setelah pengaturan dengan 0.1 N Larutan NaOH) adalah 8.2

Pertama membuat larutan dengan salinitas 33‰, maksudnya dalam 1 kg air laut terkandung 33 gr garam. Massa jenis air adalah 1000 kg/m^3 , berarti 1 liter air mempunyai massa 1 kg. Rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}\text{Salinitas } 33\text{‰} &= 33 / 1000 \text{ gr} \\ &= 33 / (33 + 967) \text{ gr}\end{aligned}$$

Untuk mempermudah pembuatan larutan media pengganti air laut menggunakan Labu ukur. 33 gram NaCl dimasukkan ke dalam labu ukur kemudian diisi air sampai mencapai batas yang ada pada leher botol. Lakukan hal yang sama untuk salinitas 35‰, dan salinitas 37‰.

Setelah itu kita membuat media NA (*Nutrient Agar*) sebanyak 100 ml untuk media berkembangbiaknya bakteri, dengan komposisi 2 gr NA kemudian dimasukkan ke dalam cawan petri. Media selanjutnya adalah NB (*Nutrient Broth*) dimana diperlukan sebanyak 500 ml, jadi dibutuhkan 4 gr NA, kemudian dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer. Masukkan semua larutan media uji yang telah diberi tanda ke dalam *Autoclaf* untuk disterilkan pada temperature 120°C tekanan 1 ATM selama 2 jam.



Gambar 3.2. Alat dan Media disterilisasikan dengan *Autoclaf*

3.2.3. Pengembangbiakkan Bakteri (*Inoculation*).

Penumbuhan bakteri (*Inoculation*) dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B-3 Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, untuk pengembangbiakan bakteri yang dilakukan pada hari rabu, 8 Desember 2016 pada pukul 09.00 sampai selesai. Bakteri yang digunakan sudah tersedia di Laboratorium Limbah Padat dan B-3,

Bakteri dapat dikembangbiakkan atau ditumbuhkan menggunakan media NA (*Nutrient Agar*) dibiakkan dengan metode Streak Plate, alat yang diperlukana dalah Jarum Ose, Pembakaran Bunsen, Petri Dish, dan Media yang dipakai adalah media Agar.

Hal pertama yang kita lakukan ketika menggunakan metode ini adalah menyalakan Bunsen cukup dengan nyala yang sedang, kemudian kita sterilkan jarum ose menggunakan Bunsen. Ujung jarum dibakar hingga menyala, pastikan jarum cukup dingin sebelum mengambil bakteri, dengan cara membiarkan jarum diudara selama beberapa detik. Celupkan ujung jarum kedalam tabung berisi bakteri, oleskan ujung jarum keatas media agar yang sudahdisterilkanmenggunakan *Autoclaf*. Petri Dish berisikan Agar disterilkan pada suhu 120°C dan tekanan 1 ATM selama 30 menit.

Oleskan ujung jarum diatas media Agar dengan halus agar media Agar tidak lecet, seperti melukis. Pastikan tutup *petri dish* tidak menyentuh apapun yang membuatnya terkontaminasi mikroorganisme lain. Setelah melakukan semua itu kita masukkan *Petri Dish* yang berisi bakteri yang kita kembangbiakkan ke dalam inkubator, dibiarkan selama 24 jam pada suhu 34 -37°C.



Gambar 3.3. Bakteri disimpan di dalam Inkubator

3.2.4. Persiapan Percobaan

Bakteri yang telah diinkubasi selama 24 jam kemudian dipindahkan ke dalam media cair NB (Nutrient Broth). Alat dan bahan yang diperlukan hampir sama yaitu Jarum ose, Pembakaran Bunsen, *Petri Dish* berisi bakteri yang telah di inkubasi selama 24 jam, Media NB di dalam Labu Erlenmeyer. Media NB disterilkan juga di dalam *Autoclaf* dengan suhu 120°C dan tekanan 1 ATM selama 2 jam.



Gambar 3.4. Media NB

Jarum ose disterilkan dengan pembakaran Bunsen hingga menyala, dibiarkan beberapa saat supaya dingin dan tidak membunuh bakteri yang akan diambil. Gunakan ujung jarum yang telah steril untuk mengambil satu koloni

bakteri dari *Petri Dish* yang telah diinkubator selama 24 jam. Sterilkan ujung Labu yang berisi Media NB agar tidak terkontaminasi mikroorganisme lain, dengan cara membakar ujung labu dengan api selama beberapa detik, dilakukan sampai 2 kali. Pindahkan koloni bakteri ke dalam media NB. Selalu ingat untuk mensterilkan ujung labu dan ujung jarum ose, agar tidak terkontaminasi mikroorganisme lain. Labu NB yang sudah berisi koloni bakteri selanjutnya akan di guncang menggunakan *shaker*, untuk membantu bakteri menyebar dan berkembang.

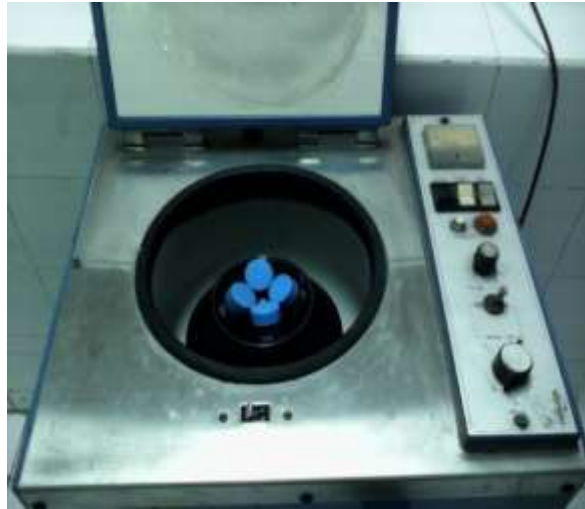


Gambar 3.5. Media NB Di atas *Shaker*.

Bakteri memiliki fase pertumbuhan yang dapat diukur dengan 2 cara yaitu dengan metode OD (Optical Density) dan CFU (Colony Forming Unit). Metode OD menggunakan alat bernama *Spectrofotometer* yang mengukur tingkat kekeruhan dari media tempat tumbuhnya bakteri. Kurva pertumbuhan bakteri terdiri dari beberapa fase yaitu: *lag* fase, *log* fase, *stationary* fase, dan *decay* fase. *Lag* fase adalah fase dimana bakteri beradaptasi dengan lingkungannya, sehingga belum membentuk koloni, pada *log* fase bakteri sudah mulai berkembangbiak dan pada fase ini adalah spesimen yang tepat untuk eksperimen, *stationary* fase dimana bakteri yang sudah mulai tidak berkembangbiak, *Decay* fase banyak koloni bakteri yang mati. Labu berisi bakteri yang di tumbuhkan dalam media NB yang telah di shaker selama 6 jam kemudian dipersiapkan untuk dipakai sebagai larutan media pengujian korosi aluminium 6063.

Kita persiapkan alat berupa Tabung *Centrifuge*, Pembakaran Bunsen, dan Labu berisi bakteri yang telah di-*shaker* selama 4-5 jam. Tabung *Centrifuge* terlebih

dahulu disterilkan menggunakan etanol atau alkohol. Sebelum memindahkan cairan ke dalam tabung *centrifuge* pastikan ujung labu erlenmeyer dibakar supaya steril.



Gambar 3.6. Media NB dipindahkan kedalam tabung untuk dimasukkan ke dalam *Centrifuge*

Centrifuge adalah alat untuk memisahkan koloni bakteri dengan media NB. Cairan dibagi sama rata kedalam 4 tabung *centrifuge*. Kemudian letakkan tabung didalam *centrifuge*, atur kecepatan memutar centrifuge sebesar 3000 rpm selama 15 menit. Setelah selesai maka akan didapatkan endapan koloni bakteri yang terpisah dengan media NB. Buang media NB kedalam *beaker glass*, hati-hati agar endapan bakteri tidak ikut erbuang. Campur pelat bakteri yang tertinggal di dalam abung dengan 10 ml air salin yang juga telah disterilkan menggunakan *Autoclaf*. Dengan menggunakan *Spectrofotometer* akan melihat seberapa besar *Optical Density* (OD) dari koloni yang telah dicampur dengan air salin.



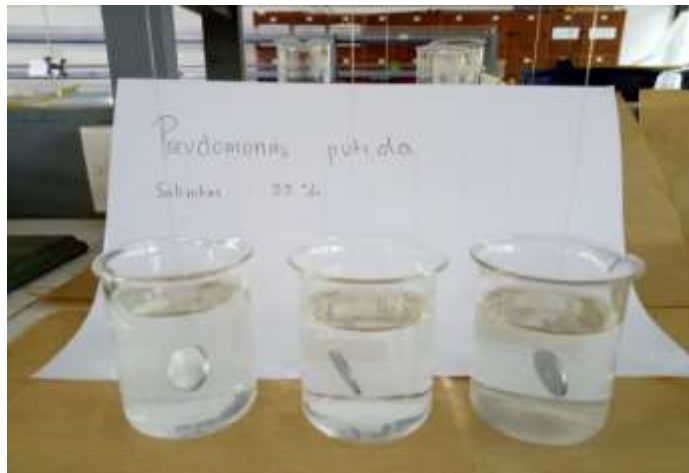
Gambar 3.7. (kanan) setelah keluar dari centrifuge, (kiri) setelah di campur dengan air salin

3.2.5. Pengujian Laju Korosi

Setelah mendapatkan OD 1 untuk masing-masing tabung, bakteri dapat digunakan untuk penelitian korosi aluminium 6063. Gelas beaker yang masing-masing berisi 1 keping material, akan diisi larutan pengganti air laut yang sudah ditambahkan dengan bakteri *Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, dan *Pseudomonas putida*. Rumus yang dipakai untuk menentukan berapa bakteri yang digunakan adalah 5% dari volume total larutan dalam satu gelas. Penelitian ini menggunakan *beaker glass* 100 ml, setiap gelas akan diisi 60 ml larutan media uji. Material yang berada didalam gelas tidak boleh tenggelam sehingga digunakan tali yang terbuat dari plastik agar material tetap mengambang.



Gambar 3.8. *Immersion Test* Aluminium 6063



Gambar 3.9. Material digantung secara vertikal.

Gambar 3.8 menunjukkan tiap gelas berisi 1 sampel Alumunium 6063 yang digantung secara vertical sesuai pedoman ASTM G31-1972 “*Standard Practice for Lab Immersion Corrosion Testing for Metals.*”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengukuran Massa Alumunium.

Setelah 18 hari melakukan pengukuran, didapatkan massa yang berkurang untuk setiap sampel seperti berikut:

Massa yang Telah berkurang = Massa Awal – Massa hari ke-18

Tabel 4.1. Jumlah Massa yang telah berkurang untuk *Azotobacter*.

Sampel	Salinitas		
	33 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	0.0032 gr	0.0033 gr	0.0048 gr
R2	0.0040 gr	0.0047 gr	0.0059 gr
R3	0.0048 gr	0.0048 gr	0.0052 gr

Pada Tabel 4.1. dapat kita Lihat untuk sampel R1 semakin tinggi salinitas media semakin banyak massa yang berkurang, untuk sampel R2 juga memiliki pola yang sama, semakin tinggi salinitasnya semakin banyak massa yang berkurang. Pada sampel ketiga tidak ada perbedaan antara salinitas 33 ‰ dan 35 ‰, tetapi pada salinitas 37 ‰ massa yang berkurang lebih banyak sehingga masih mengikuti pola pada sampel sebelumnya.

Tabel 4.2. Jumlah Massa yang telah berkurang untuk *Bacillus subtilis*.

Sampel	Salinitas		
	33 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	0.0017 gr	0.0038 gr	0.0053 gr
R2	0.0021 gr	0.0024 gr	0.0028 gr
R3	0.0023 gr	0.0029 gr	0.0038 gr

Pada Tabel 4.2. dapat kita Lihat untuk sampel R1 semakin tinggi salinitas media pengganti air laut, semakin banyak massa yang berkurang, untuk sampel R2 juga memiliki pola yang sama, semakin tinggi salinitasnya semakin banyak massa yang berkurang, demikian juga untuk sampel R3.

Tabel 4.3. Jumlah Massa yang telah berkurang untuk *Pseudomonas putida*.

Sampel	Salinitas		
	33 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	0.0015 gr	0.0015 gr	0.0018 gr
R2	0.0015 gr	0.0018 gr	0.0019 gr
R3	0.0013 gr	0.0016 gr	0.0019 gr

Pada Tabel 4.3. dapat kita Lihat untuk sampel R1 massa yang hilang untuk salinitas media 33 ‰ sedikit lebih tinggi daripada salinitas 35 ‰, tetapi masih dalam rasio yang wajar, sehingga dapat diabaikan. Pada salinitas 37 ‰ massa yang hilang mengalami peningkatan. Untuk sampel R2 pada salinitas 33 ‰ dan 35 ‰ massa yang berkurang sama, dan mengalami peningkatan yang sedikit pada salinitas 37 ‰. Sampel R3 massa yang berkurang mengikuti pola yang seperti pada Tabel sebelumnya, dimana semakin tinggi salinitas semakin banyak massa yang berkurang.

4.1.1. Laju Korosi

Data yang sudah didapat Kemudian digunakan untuk menghitung laju korosidengan mengacu pada persamaan 2.1. tentang laju korosi menggunakan metode *weight loss*, mengacu pada standar ASTM G1-90:

$$\text{Laju Korosi} = (K \times W) / (A \times T \times D) \quad \dots\dots\dots 2.1.$$

Dimana:

- K = konstanta,
- T = Lama Pengujian (jam)
- A = area (cm²)
- W = berat yang hilang dalam (gram)
- D = kepadatan Material(g/cm³)

Konstanta dapat diambil dari Tabel 2.4. dimana perhitungan menggunakan satuan mm/y, lama pengujian 18 hari, kepadatan material dapat kita lihat pada tabel 2.3. dan massa yang hilang diambil dari Tabel 4.1., Tabel 4.2., dan Tabel 4.3.

Perhitungan laju korosi Alumunium 6063 dapat dilihat didalam Lampiran didapatkan Hasil Laju korosi sesuai pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4. Laju Korosi untuk sampel yang diberi *Azotobacter*.

Sampel	Salinitas		
	33 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	0.0314 mm/y	0.0316 mm/y	0.0319 mm/y
R2	0.0403 mm/y	0.0465 mm/y	0.0575 mm/y
R3	0.0472 mm/y	0.0475 mm/y	0.0534 mm/y

Pada sampel R1 mengalami peningkatan laju korosi dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35 ‰ sebesar 0.0002 mm/y dan peningkatan sebesar 0.0003 mm/y dari salinitas 35 ‰ ke salinitas 37 ‰. Pada sampel R2 mengalami peningkatan laju korosi dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35 ‰ sebesar 0.0062 mm/y dan peningkatan sebesar 0.0110 mm/y dari salinitas 35 ‰ ke salinitas 37 ‰. Pada sampel R3 mengalami peningkatan laju korosi dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35 ‰ sebesar 0.0003 mm/y dan peningkatan sebesar 0.0051 mm/y dari salinitas 35 ‰ ke salinitas 37 ‰.

Tabel 4.5. Laju Korosi untuk sampel yang diberi *Bacillus subtilis*.

Sampel	Salinitas		
	33 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	0.0171 mm/y	0.0317 mm/y	0.0516 mm/y
R2	0.0207 mm/y	0.0236 mm/y	0.0278 mm/y
R3	0.0223 mm/y	0.0285 mm/y	0.0380 mm/y

Pada sampel R1 mengalami peningkatan laju korosi dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35 ‰ sebesar 0.0146 mm/y dan peningkatan sebesar 0.0199 mm/y dari salinitas 35 ‰ ke salinitas 37 ‰. Pada sampel R2 mengalami peningkatan laju korosi dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35 ‰ sebesar 0.0029 mm/y dan peningkatan sebesar 0.0042 mm/y dari salinitas 35 ‰ ke salinitas 37 ‰. Pada sampel R3 mengalami peningkatan laju korosi dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35 ‰ sebesar 0.0062 mm/y dan peningkatan sebesar 0.0095 mm/y dari salinitas 35 ‰ ke salinitas 37 ‰.

Tabel 4.6. Laju Korosi untuk sampel yang diberi *Pseudomonas putida*.

Sampel	Salinitas		
	33 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	0.0155 mm/y	0.0156 mm/y	0.0189 mm/y
R2	0.0155 mm/y	0.0156 mm/y	0.0193 mm/y
R3	0.0138 mm/y	0.0167 mm/y	0.0196 mm/y

Pada sampel R1 hanya mengalami peningkatan laju korosi dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35 ‰ sebesar 0.0001 mm/y dan peningkatan sebesar 0.0033 mm/y dari salinitas 35 ‰ ke salinitas 37 ‰. Pada sampel R2 juga hanya mengalami peningkatan laju korosi dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35 ‰ sebesar 0.0001 mm/y dan peningkatan sebesar 0.0037 mm/y dari salinitas 35 ‰ ke salinitas 37 ‰. Pada sampel R3 mengalami peningkatan laju korosi dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35 ‰ sebesar 0.0029 mm/y dan peningkatan sebesar 0.0029 mm/y dari salinitas 35 ‰ ke salinitas 37 ‰.

Setelah mendapatkan hasil perhitungan laju korosi dari setiap sampel maka selanjutnya akan dirata-ratakan sehingga didapatkan Laju korosi untuk masing-masing bakteri. Perlu diketahui bahwa untuk menghindari simpangan yang terlalu besar sehingga data menjadi tidak valid maka satu sampel yang nilainya terlalu jauh akan dibuang. Perhitungan dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.7. Laju Korosi rata-rata

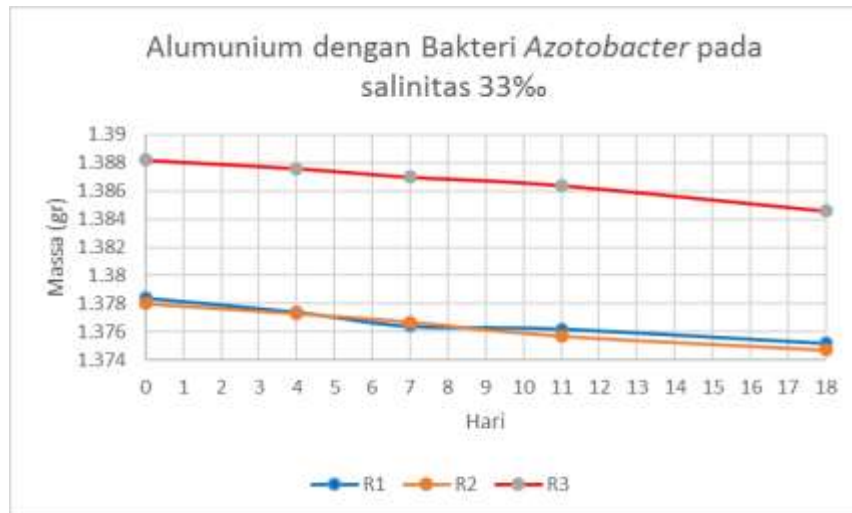
Bakteri	Salinitas		
	33 ‰	35 ‰	37 ‰
<i>Azotobacter</i>	0.0443mm/y	0.0470mm/y	0.0554mm/y
<i>Bacillus subtilis</i>	0.0215mm/y	0.0301mm/y	0.0329mm/y
<i>Pseudomonas putida</i>	0.0155mm/y	0.0156mm/y	0.0194mm/y

Dari tabel diatas dapat kita lihat pada sampel yang diberi bakteri *Azotobacter* dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35‰ mengalami peningkatan sebesar 0.0037 mm/y dan dari salinitas 35‰ ke 37‰ mengalami peningkatan sebesar 0.0084 mm/y. Pada sampel yang diberi *Bacillus subtilis* dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35‰ mengalami peningkatan sebesar 0.0086 mm/y dan dari salinitas 35‰ ke salinitas 37‰ mengalami peningkatan sebesar 0.0028 mm/y. Pada sampel yang diberi *Pseudomonas putida* dari salinitas 33 ‰ ke salinitas 35‰ mengalami peningkatan sebesar 0.0001 mm/y dan dari salinitas 35‰ ke salinitas 37‰ mengalami peningkatan sebesar 0.0038 mm/y.

4.2. Pola Korosi

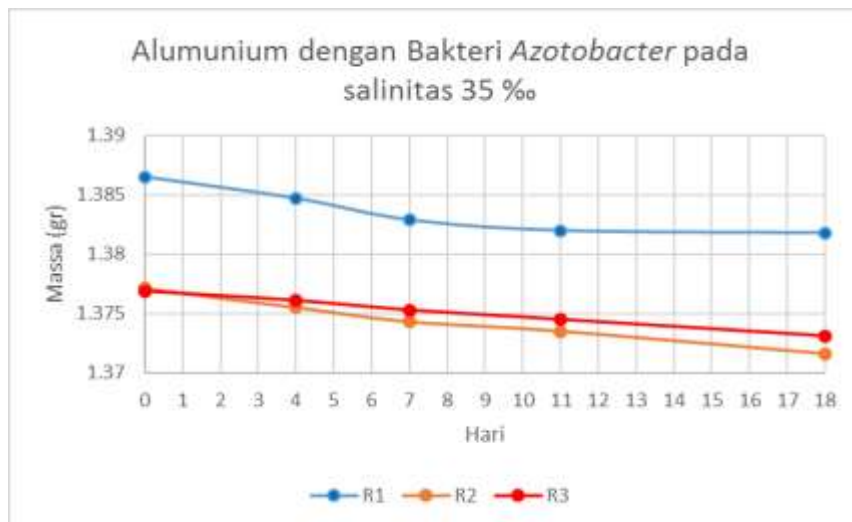
4.2.1. Pola Korosi Menurut Grafik Pengurangan Berat

Pola korosi yang terjadi pada setiap sampel dapat dilihat dengan membuat grafik pengurangan berat berdasarkan pengukuran yang kita lakukan setiap 4 hari.



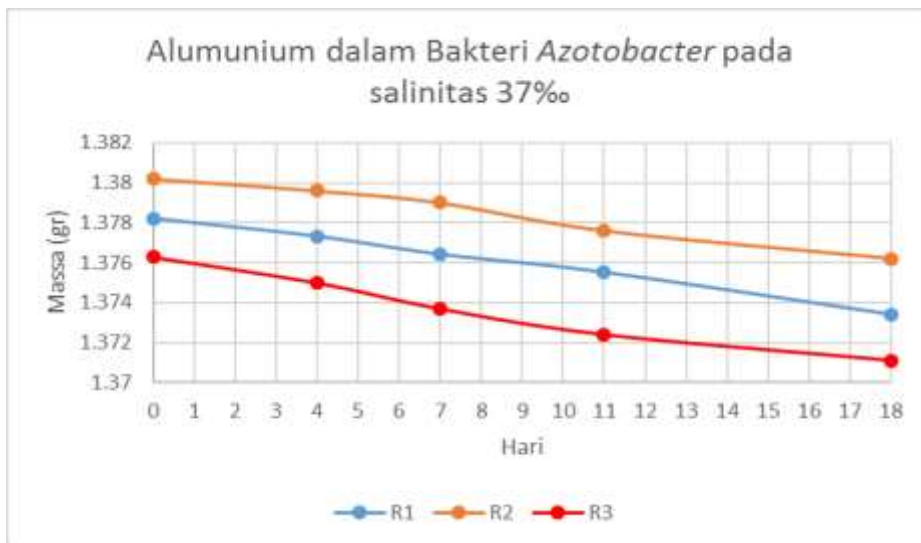
Gambar 4.1. Grafik Perubahan Massa sampel pada media uji dengan salinitas 33‰ dan diberi bakteri *Azotobacter*.

Dari grafik diatas pola yang hampir linier untuk sampel R2, sedangkan untuk sampel R1 dan R3 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang sedikit lebih besar kemudian setelah hari ke 7 polanya menjadi linier, tetapi perbedaannya tidak terlalu besar.



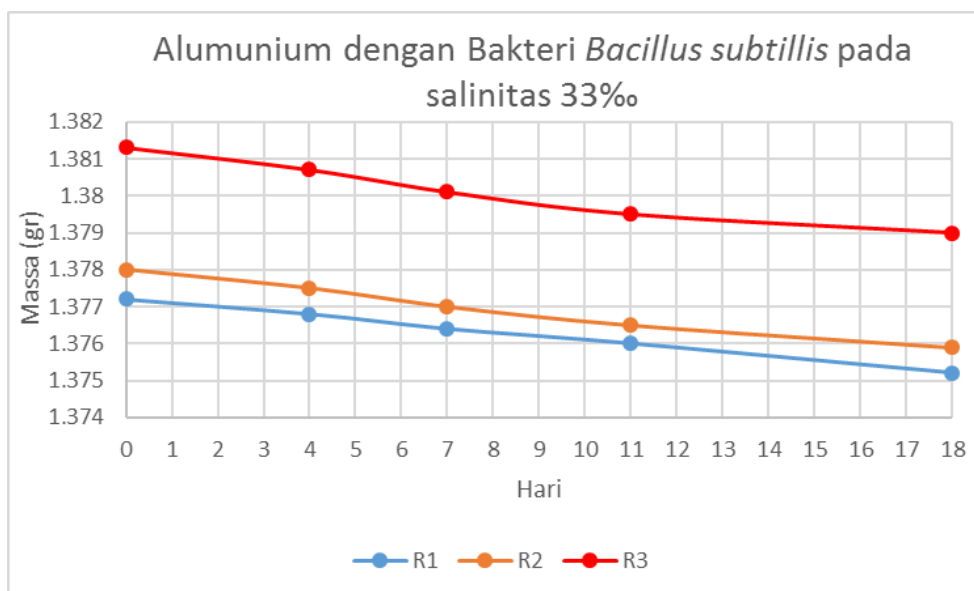
Gambar 4.2. Grafik Perubahan Massa sampel pada media uji dengan salinitas 35‰ dan diberi bakteri *Azotobacter*.

Dari grafik diatas sampel R3 memiliki pola yang hampir linier, sedangkan untuk sampel R1 dan R2 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang sedikit lebih besar kemudian setelah hari ke 7 polanya menjadi linier.



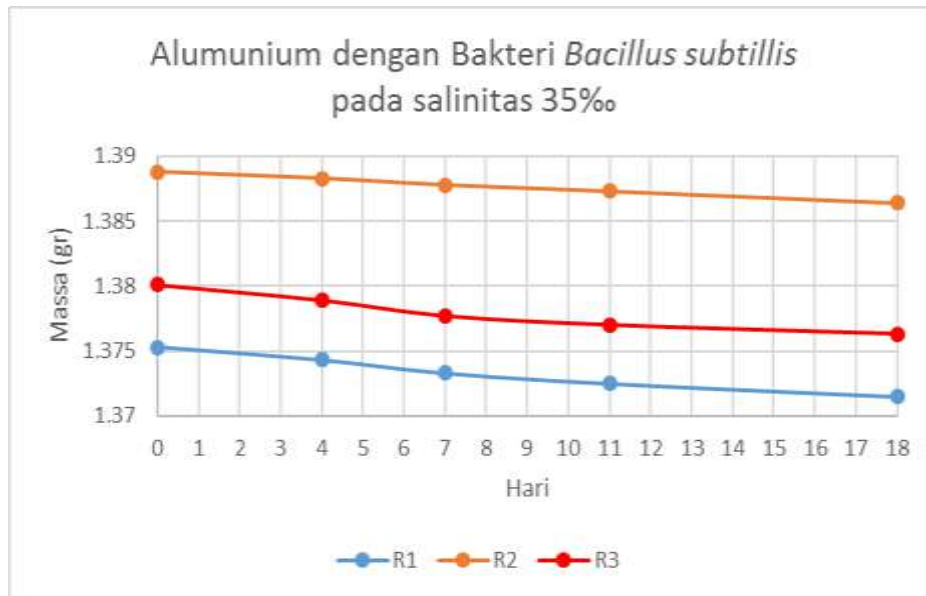
Gambar 4.3. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada media uji dengan salinitas 37‰ dan diberi bakteri *Azotobacter*.

Dari grafik diatas sampel R1 memiliki pola yang linier, sedangkan untuk sampel R2 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang linier kemudian setelah hari ke 7 mengalami perubahan yang besar, untuk sampel R3 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang sedikit lebih besar kemudian setelah hari ke 7 polanya menjadi linier.



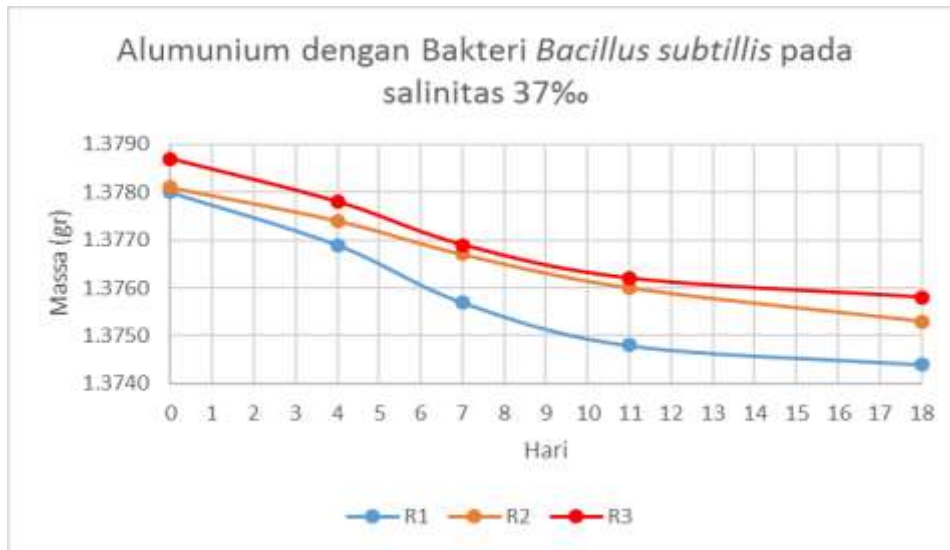
Gambar 4.4. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada media uji dengan salinitas 33‰ dan diberi bakteri *Bacillus subtilis*.

Dari grafik diatas sampel R1 memiliki pola yang linier, sedangkan untuk sampel R2 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang linier kemudian setelah hari ke 7 mengalami perubahan yang besar, untuk sampel R3 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang sedikit lebih besar kemudian setelah hari ke 7 polanya menjadi linier.



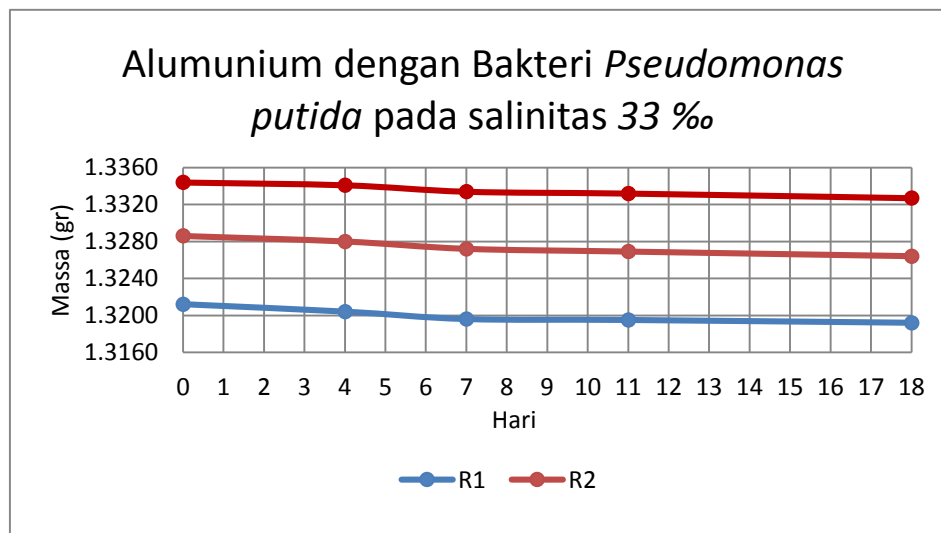
Gambar 4.5. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada media uji dengan salinitas 35% dan diberi bakteri *Bacillus subtilis*.

Dari grafik diatas pola yang hampir linier untuk sampel R2, sedangkan untuk sampel R1 dan R3 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang sedikit lebih besar kemudian setelah hari ke 7 polanya menjadi linier, tetapi perbedaannya tidak terlalu besar.



Gambar 4.6. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada media uji dengan salinitas 37‰ dan diberi bakteri *Bacillus subtilis*.

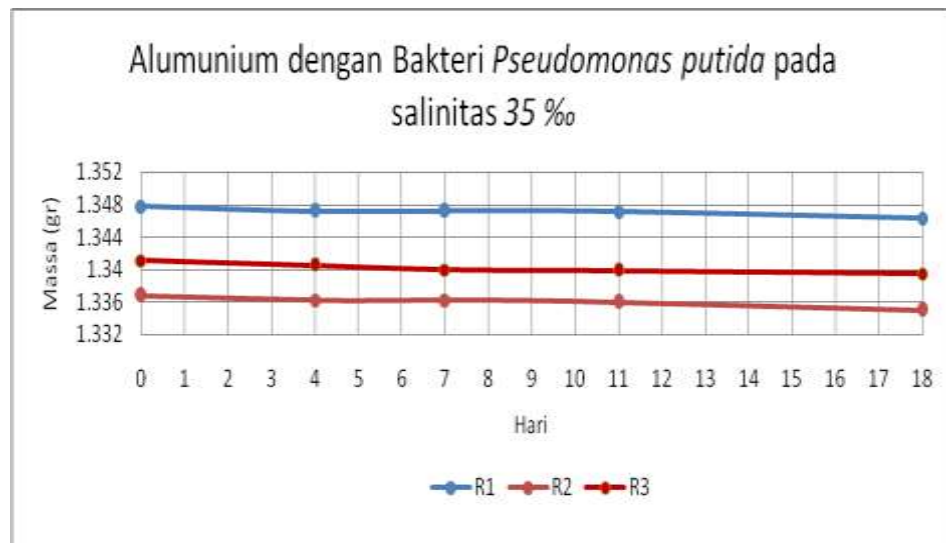
Dari grafik diatas sampel R1 memiliki pola yang linier, sedangkan untuk sampel R2 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang linier kemudian setelah hari ke 7 mengalami perubahan yang besar, untuk sampel R3 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang sedikit lebih besar kemudian setelah hari ke 7 polanya menjadi linier.



Gambar 4.7. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada media uji dengan salinitas 33‰ dan diberi bakteri *Pseudomonas putida*.

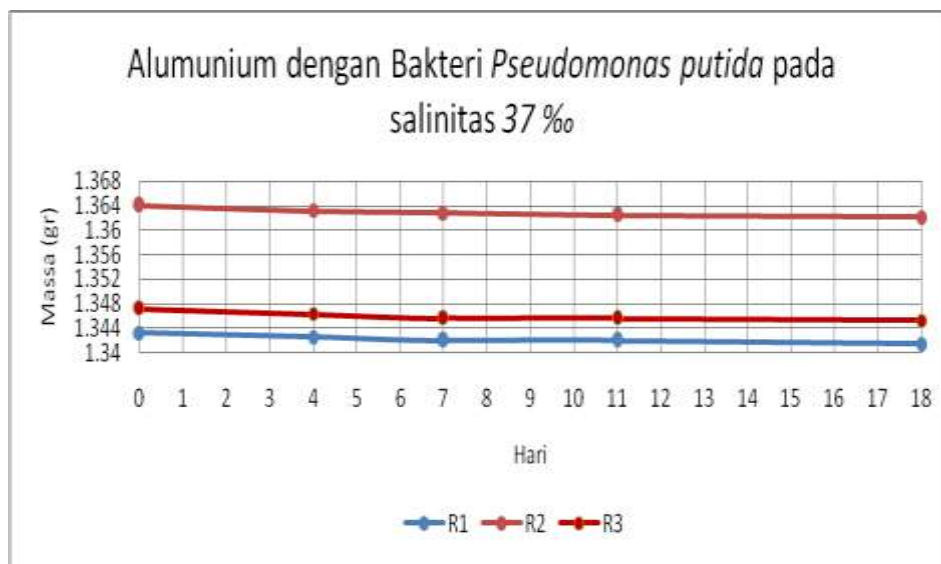
Dari grafik diatas sampel R1 memiliki pola yang linier, sedangkan untuk sampel R2 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang linier kemudian setelah hari ke 7 mengalami perubahan yang besar, untuk sampel R3 dari

hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang sedikit lebih besar kemudian setelah hari ke 7 polanya menjadi linier.



Gambar 4.8. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada media uji dengan salinitas 33‰ dan diberi bakteri *Pseudomonas putida*.

Dari grafik diatas sampel R1 memiliki pola yang linier, sedangkan untuk sampel R2 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang linier kemudian setelah hari ke 7 mengalami perubahan yang besar, untuk sampel R3 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang sedikit lebih besar kemudian setelah hari ke 7 polanya menjadi linier.



Gambar 4.9. Grafik Perubahan Massa Alumunium pada media uji dengan salinitas 33‰ dan diberi bakteri *Pseudomonas putida*.

Dari grafik diatas sampel R1 memiliki pola yang linier, sedangkan untuk sampel R2 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang linier kemudian setelah hari ke 7 mengalami perubahan yang besar, untuk sampel R3 dari hari ke 0 sampai hari ke 7 massa mengalami perubahan yang sedikit lebih besar kemudian setelah hari ke 7 polanya menjadi linier.

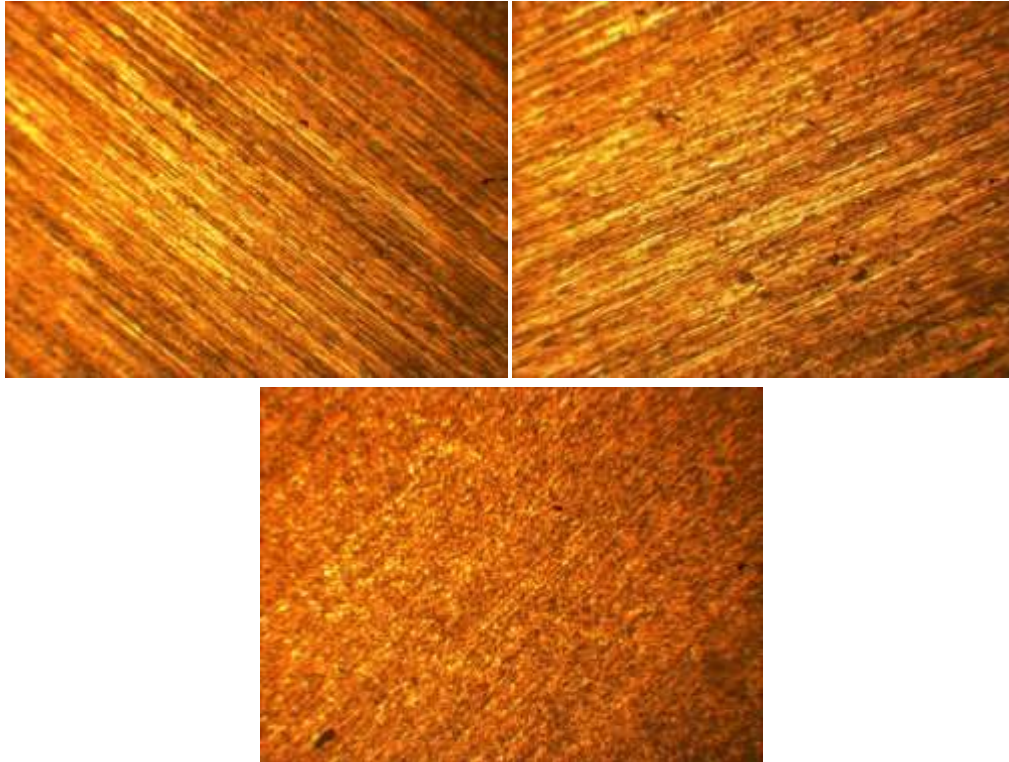
4.2.2. Pola Korosi Menurut Foto Struktur Mikro

Struktur Mikro pada material sangat erat kaitannya dengan sifat pada logam tersebut. Pada penelitian ini struktur mikro bertujuan untuk melihat pola korosi yang disebabkan oleh masing-masing bakteri. Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksikan dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*.

Untuk mengetahui sifat dari suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Dengan melalui diagram fasa, kita dapat meramalkan struktur mikronya dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat :

- a. Ukuran dan bentuk butir
- b. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
- c. Pengotor yang terdapat dalam material

Dari struktur mikro kita juga dapat memprediksi sifat mekanik dari suatu material sesuai dengan yang kita inginkan. Berikut adalah foto struktur mikro Aluminium 6063 sebelum dilakukan uji korosi dengan *Immersion Test*. Foto di ambil di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS.

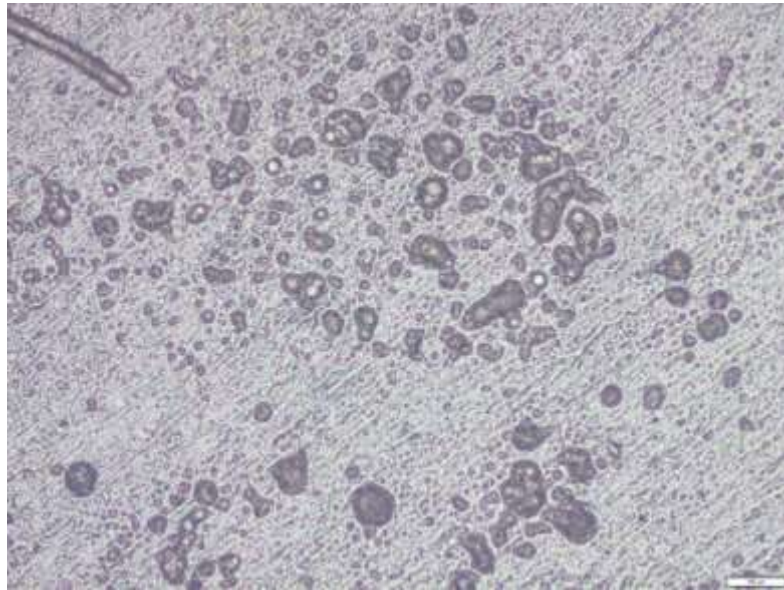


Gambar 4.10. Hasil foto struktur mikro permukaan alumunium 6063 sebelum diuji korosi, pembesaran 100 kali.

Dapat dilihat pada gambar diatas permukaan alumunium 6063 yang telah dihaluskan dengan kertas pasir dimulai dari kertas pasir yang kasar 600SW, dilanjutkan dengan kertas pasir 800SW, dan terakhir kertas pasir 1200SW. Untuk mendapatkan permukaan material yang dibutuhkan untuk memudahkan melihat korosi yang dialami oleh material setelah pengujian selesai.

Penghalusan permukaan juga bertujuan untuk menghilangkan korosi yang sudah ada, seperti *pitting corrosion* yaitu korosi yang membentuk lubang-lubang kecil seperti sumur dikarenakan komposisi material yang tidak tersebar merata, jenis korosi seperti ini memerlukan perhitungan laju korosi yang rumit sehingga pada penelitian ini diabaikan. Demi mencegah perhitungan laju korosi tetap dapat dilakukan dengan metode *weight loss* maka penghalusan permukaan sangat diperlukan.

Berikut ini adalah hasil foto struktur mikro material alumunium 6063 setelah dilakukan *Immersion Test* Selama 18 hari:



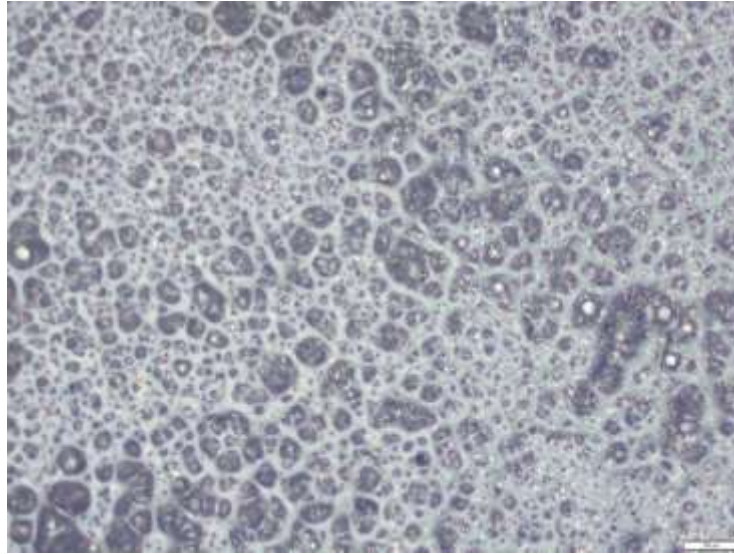
Gambar 4.11. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri *Azotobacter* pada salinitas 33 ‰, pembesaran 100 kali.

Dapat dilihat pada gambar 4.11. bagaimana permukaan sampel yang telah diuji selama 18 hari dengan pengaruh bakteri *Azotobacter*. Korosi yang terjadi adalah *uniform corrosion*, korosi merata pada seluruh permukaan sampel. Diikuti *pitting corrosion* yang menyebar di seluruh permukaan, diakibatkan oleh *biofilm* terbentuk oleh koloni bakteri.



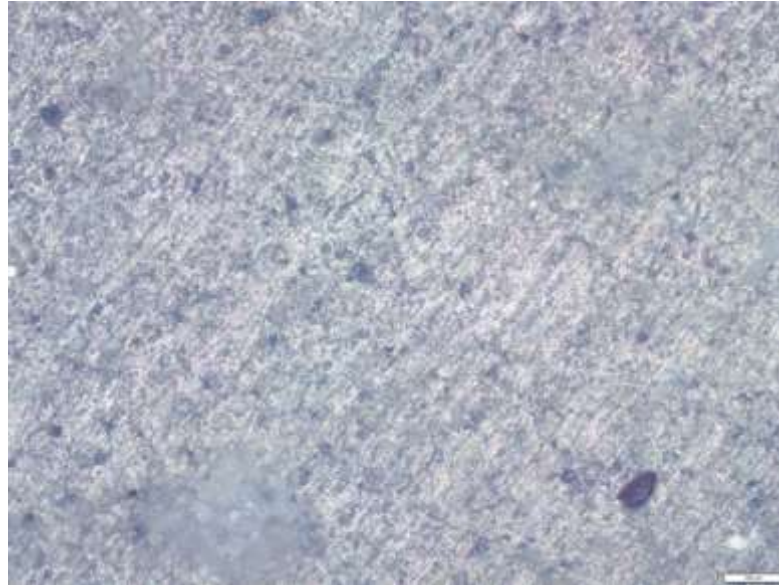
Gambar 4.12. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri *Azotobacter* pada salinitas 35 ‰, pembesaran 100 kali.

Dapat dilihat pada gambar 4.12. bagaimana permukaan sampel yang telah diuji selama 18 hari dengan pengaruh bakteri *Azotobacter*. Korosi yang terjadi adalah *uniform corrosion*, korosi merata pada seluruh permukaan sampel. Diikuti *pitting corrosion* yang menyebar di seluruh permukaan, tetapi daripada masuk lebih kedalam diameter lubang membesar mengakibatkan lubang semakin menyatu dengan lubang-lubang disekitarnya membentuk *uniform corrosion*.



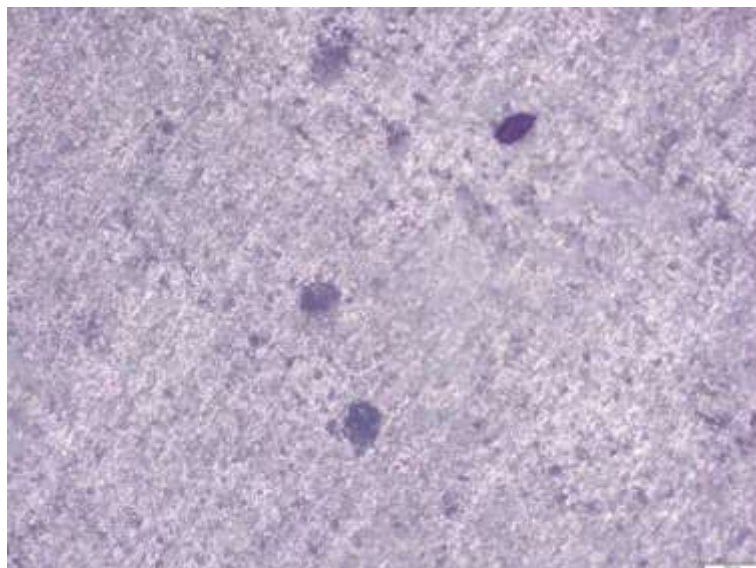
Gambar 4.13. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri *Azotobacter* pada salinitas 37 ‰, pembesaran 100 kali.

Dapat dilihat pada gambar 4.13. bagaimana permukaan sampel yang telah diuji selama 18 hari dengan pengaruh bakteri *Azotobacter*. Korosi yang terjadi adalah *uniform corrosion*, korosi merata pada seluruh permukaan sampel. Diikuti *pitting corrosion* yang menyebar di seluruh permukaan, tetapi daripada masuk lebih kedalam diameter lubang membesar mengakibatkan lubang semakin menyatu dengan lubang-lubang disekitarnya membentuk *uniform corrosion*.



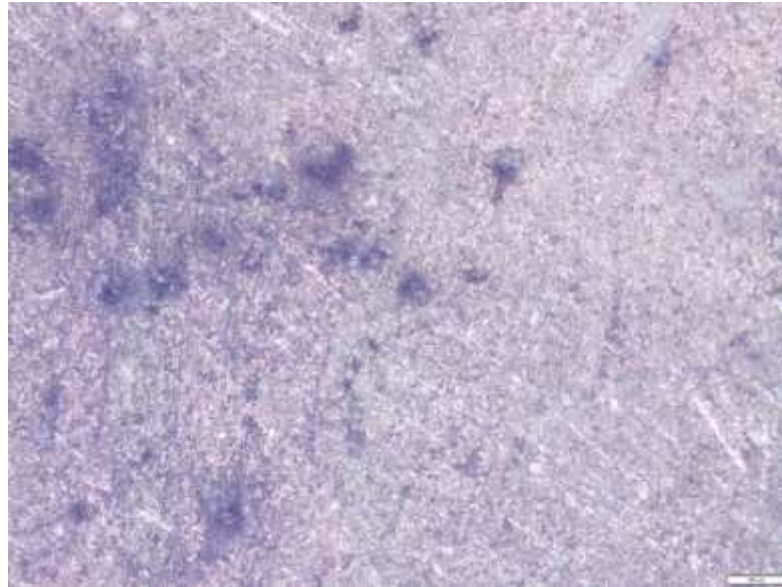
Gambar 4.14. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri *Bacillus subtilis* pada salinitas 33 ‰, pembesaran 100 kali.

Dapat dilihat pada gambar 4.14. bagaimana permukaan sampel yang telah diuji selama 18 hari dengan pengaruh bakteri *Bacillus subtilis*. Korosi yang terjadi adalah *uniform corrosion*, korosi merata pada seluruh permukaan sampel. Diikuti *pitting corrosion*, seperti pada sampel yang mendapat pengaruh *Azotobacter*.



Gambar 4.15. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri *Bacillus subtilis* pada salinitas 35 ‰, pembesaran 100 kali.

Dapat dilihat pada gambar 4.15. bagaimana permukaan sampel yang telah diuji selama 18 hari dengan pengaruh bakteri *Bacillus subtilis*. Korosi yang terjadi adalah *uniform corrosion*, korosi merata pada seluruh permukaan sampel. Diikuti *pitting corrosion*, yang berjauhan tidak seperti pada sampel yang mendapat pengaruh *Azotobacter*.



Gambar 4.16. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri *Bacillus subtilis* pada salinitas 37 %, pembesaran 100 kali.

Dapat dilihat pada gambar 4.16. bagaimana permukaan sampel yang telah diuji selama 18 hari dengan pengaruh bakteri *Bacillus subtilis*. Korosi yang terjadi adalah *uniform corrosion*, korosi merata pada seluruh permukaan sampel. Korosi terlihat menyebar dengan rata diseluruh permukaan.



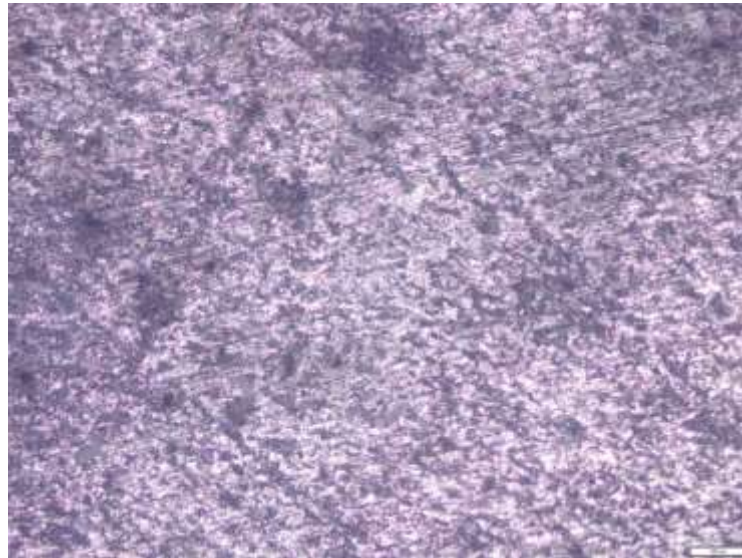
Gambar 4.17. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri *Pseudomonas putida* pada salinitas 33 ‰, pembesaran 100 kali.

Dapat dilihat pada gambar 4.17. bagaimana permukaan sampel yang telah diuji selama 18 hari dengan pengaruh bakteri *Pseudomonas putida*. Korosi yang terjadi adalah *uniform corrosion*, korosi merata pada seluruh permukaan sampel. Korosi terlihat menyebar dengan rata diseluruh permukaan. Terlihat juga adanya *pitting corrosion* yang memiliki diameter berbeda.



Gambar 4.18. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri *Pseudomonas putida* pada salinitas 35 ‰, pembesaran 100 kali.

Dapat dilihat pada gambar 4.18. bagaimana permukaan sampel yang telah diuji selama 18 hari dengan pengaruh bakteri *Pseudomonas putida*. Korosi yang terjadi adalah *uniform corrosion*, korosi merata pada seluruh permukaan sampel. Korosi terlihat menyebar dengan rata diseluruh permukaan. Terlihat juga adanya *pitting corrosion* yang berdekatan sehingga menjadi *uniform corrosion*.



Gambar 4.19. Struktur Mikro permukaan alumunium 6063 yang dipengaruhi bakteri *Pseudomonas putida* pada salinitas 37 ‰, pembesaran 100 kali.

Dapat dilihat pada gambar 4.19. bagaimana permukaan sampel yang telah diuji selama 18 hari dengan pengaruh bakteri *Pseudomonas putida*. Korosi yang terjadi adalah *uniform corrosion*, korosi merata pada seluruh permukaan sampel. Korosi terlihat menyebar dengan rata diseluruh permukaan. *Pitting corrosion* tidak terlihat jelas, tetapi dilihat dari permukaan yang tidak rata dapat diasumsikan pernah terjadi *Pitting corrosion* sebelumnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Laju Korosi untuk Aluminium yang mendapat pengaruh bakteri:
 - *Azotobacter* Pada salinitas 33 ‰ adalah 0.0443 mm/y, Pada salinitas 35 ‰ adalah 0.0470 mm/y, Pada salinitas 37 ‰ adalah 0.0554 mm/y
 - *Bacillus subtilis* Pada salinitas 33 ‰ adalah 0.0215 mm/y, Pada salinitas 35 ‰ adalah 0.0301 mm/y, Pada salinitas 37 ‰ adalah 0.0329 mm/y.
 - *Pseudomonas putida* Pada salinitas 33 ‰ adalah 0.0155 mm/y, Pada salinitas 35 ‰ adalah 0.0156 mm/y, Pada salinitas 37 ‰ adalah 0.0194 mm/y.
- Kondisi lingkungan air laut yang paling korosif untuk material aluminium 6063 adalah pada salinitas 37 ‰. Memenuhi hipotesa awal bahwa semakin tinggi tingkat garam atau salinitas semakin tinggi pula laju korosi.
Bakteri yang paling korosif adalah *Azotobacter*, dimana pada setiap salinitas laju korosinya lebih besar daripada bakteri yang lain, sedangkan bakteri yang kurang korosif adalah *Pseudomonas putida* karena laju korosinya pada setiap salinitas lebih kecil daripada bakteri yang lain.
- Hasil foto struktur mikropada Bab IV memperlihatkan korosi yang terjadi pada semua sampel adalah korosi *uniform attack* dan *pitting corrosion* juga terlihat pada beberapa sampel.

5.2. Saran

- Penelitian selanjutnya dapat mengganti kondisi lingkungan air laut ke salinitas yang lebih rendah atau salinitas di perairan Indonesia.
- Mengganti material dengan metal yang banyak digunakan *Marine Engineering* selain baja, seperti seng, tembaga, dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aquilanti, L., Favili, F. and Clementi, F. (2004). **Comparison of Different strategies for Isolation and Preliminary identification of *Azotobacter* from soil samples.** *Soil Biol. Biochem.*, 36: 1475-1483.
- ASM Handbook, Volume 2: **Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials.** ASM Handbook Committee, p 103 DOI: 10.1361/asmhba0001060.
- ASTM D 1141-98. 2003. **“Standard Practice for Preparation of Substitute Ocean Water”.** ASTM International.
- ASTM G1-90. 1999. **“Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens”.** ASTM International.
- ASTM G31. 1972. **“Standard Practice for Lab Immersion Corrosion Testing for Metals”.** ASTM International.
- Axelsen, S.B., Rogne, T., 1998. **Do micro-organisms “eat” metal?** Microbiologically Influenced Corrosion of Industrial Materials (Contract No. BRRT-CT98_5098).
- Berndt, M., and Kaempfer, W.1999. **Estimation of service life of concrete pipes in sewer networks.** *Durability of Building Materials and Components* 8, 36-45.
- Carpa, Rahela., Lucian Barbu – Tudoran. 2011. **Investigation of The Poly-B-Hydroxybutyrate (Phb) Producing in Mountain bacterial strains by transmission electron microscopy.** Babeş Bolyai University. Institute of Technology-Toxicology.
- Chandler, K. A. 1985. **Marine and Offshore Corrosion.** Butterworths. London.
- Chi-Yuan Fan⁽¹⁾, Richard Field⁽²⁾, W. C. Pisano⁽³⁾. 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.

- E. Juzeliunas, R. Ramanauskas, A. Lugauskas, K. Leinartas, M. Samulevicene, A. Sudavicius. 2006. **Influence of wild strain *Bacillus mycoides* on metals: from corrosion acceleration to environmentally friendly protection, Electrochim. Acta** 51.6085e6090.
- Espinosa-Urgel, M., Salido, A., Ramos, J. 2000. **“Genetic Analysis of Functions Involved in Adhesion of *Pseudomonas putida* to Seeds”**. Journal of Bacteriology. Volume 182.p.2363-2369.
- Flemming, HC., Beech, I., Bergel, A., Mollica, A., Scotto, V., and Sand, W., 2000. **Simple Methods for the Investigation of The Role of Biofilms in Corrosion**. Brite-Euram III Thematic Network.
- Fontana, Mars G. 1987. **Corrosion Engineering Third Edition**. McGraw-Hill Book Company. Singapore.
- Indramawan, Novan. 2007. **“Pengaruh Bakteri Dalam Pencemaran Limbah Terhadap Korosi Struktur Baja Di Lingkungan Laut”**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Iverson, W. P. 1996. 1987. **Microbial corrosions of Metals**. Adv. Appl. Microbiol. 32: 1-36.
- Kowalski, H. 2002. **“U.S. – German Research Consortium Sequences Genome of Versatile Soil Microbe”**. J. Craig Venter Archive.
- Lederberg, J. 1992. **Encyclopedia of Microbiology. Vol. 2**. Academic Press, Inc. USA.
- Lee, W., Z. Lewandowski, P. H. Nielsen, and W. A. Hamilton. 1995. **Role of Sulfate-reducing bacteria in corrosion of mild steel: a review**. Biofouling 8: 165-194.
- Logan, N. A. 2004. **Safety of Aerobic Endospore-Forming Bacteria. In *Bacterial Spore Formers: Probiotics and Emerging Applications*** (Ricca E. et al., eds.). Horizon Bioscience, Wymondham, Norfolk, UK: 93-105.
- Olmstead, W.M., and Hamlin, H., 1900. **Converting portions of the Los Angeles outfall sewer into a septic tank**. Engineering News 44, 317-318.
- Rochati, D. 1999. **Pengembangan Desain Produk Pipa dan Pelat Baja Tahan Korosi dalam Lingkungan Gas**. Dep. Perindustrian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Bahan dan Barang Teknik. Bandung.

- Jack, Thomas R. 2002. **Biological Corrosion Failures**. ASM Handbook, Volume 11: Failure Analysis and Prevention. ASM International. 2002.
- Trethewey, K. R., and Chamberlain, J. (1995): **Corrosion for students of Science and Engineering**, 3rdEd. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Videla, H.A., 1996. **Manual of Biocorrosion**, 1st ed. CRC-Press, pp 13-45.
- Widdel, F. 1992. **Microbial corrosion, p. 277-318**. *In* P.Praeve, M. Schilingmann, W. Crueger, K. Esser, R. Thauer, F. Wagner (ed.). *Biotechnology Focus*, vol. 3. Carl Hansen Verlag, Munich.

LAMPIRAN A
LAPORAN PRAKTIKUM



LAPORAN PRAKTIKUM *RE-GROWTH* BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079

Tanggal:
7 Desember 2016

- Penelitian dilakukan di Laboratorium B3 dan Remediasi Lingkungan
- Membuat Larutan pengganti Air Laut dengan salinitas 33‰, 35‰, dan 37‰



- Mempersiapkan alat-alat yang akan digunakan untuk menumbuhkan bakteri, yaitu: cawan petri, labu Erlenmeyer, dan kertas coklat
- Membuat Media NA (*Nutrient Agar*) dan NB (*Nutrient Broth*)



- Semua media dimasukkan kedalam *Autoclaf* selama 2 jam.



LAPORAN PRAKTIKUM *RE-GROWTH* BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079

Tanggal:
8 Desember 2016

- Media NA dipersiapkan untuk menumbuhkan bakteri dengan metode *Streak Plate*.



- Cawan yang berisi bakteri disimpan di dalam *Inkubator* selama 24 jam.



LAPORAN PRAKTIKUM *RE-GROWTH* BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079

Tanggal:
9 Desember 2016

- Bakteri yang telah di inkubasi selama 24 jam kemudian dipindahkan kedalam media NB.
- Media NB di letakkan di atas *Shaker* selama 6 jam.



- Setelah 6 jam Media NB dipindahkan ke dalam tabung untuk dimasukkan ke dalam *centrifuge*, dengan kecepatan 3000 rpm selama 15 menit.



- Kemudian pada Tabung akan terbentuk endapan koloni bakteri



- Sisa larutan NB kita buang sehingga hanya menyisakan endapannya saja, endapan tersebut dicampur dengan larutan garam, kemudian diperiksa dengan *spectrophotometer* untuk mengetahui OD larutan tersebut pada *wavelength* 600 nm.



- setelah didapatkan OD 1 larutan dimasukkan ke dalam gelas beaker untuk di campur dengan larutan garam dengan konsentrasi 5% dari total larutan.



- Material kemudian digantung dan dimasukkan ke dalam larutan yang telah berisi bakteri dan dilakukan pengukuran berat setiap 4 hari



LAPORAN PRAKTIKUM *RE-GROWTH* BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079

Tanggal:
13 Desember 2016

- Pengukuran berat material dilakukan di Laboratorium B3 dan Remediasi Lingkungan
- Hasil Pengukuran hari ke-4
- *Azotobacter*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3774	1.3847	1.3773
R2	1.3773	1.3755	1.3796
R3	1.3976	1.3761	1.3750

- *Bacillus subtilis*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3768	1.3743	1.3772
R2	1.3775	1.3883	1.3774
R3	1.3907	1.3789	1.3778



LAPORAN PRAKTIKUM RE-GROWTH BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079

Tanggal:
16 Desember 2016

- Pengukuran berat material dilakukan di Laboratorium B3 dan Remediasi Lingkungan
- Hasil Pengukuran hari ke-7
- *Azotobacter*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3764	1.3829	1.3764
R2	1.3767	1.3739	1.3790
R3	1.3970	1.3753	1.3737

- *Bacillus subtilis*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3764	1.3733	1.3757
R2	1.3770	1.3878	1.3767
R3	1.3901	1.3777	1.3769



LAPORAN PRAKTIKUM RE-GROWTH BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079

Tanggal:
20 Desember 2016

- Pengukuran berat material dilakukan di Laboratorium B3 dan Remediasi Lingkungan
- Hasil Pengukuran hari ke-11
- *Azotobacter*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3762	1.3820	1.3755
R2	1.3747	1.3735	1.3766
R3	1.3964	1.3745	1.3724

- *Bacillus subtilis*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3760	1.3725	1.3738
R2	1.3765	1.3873	1.3760
R3	1.3895	1.3770	1.3762



LAPORAN PRAKTIKUM RE-GROWTH BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079


Tanggal:
27 Desember 2016

- Pengukuran berat material dilakukan di Laboratorium B3 dan Remediasi Lingkungan
- Hasil Pengukuran hari ke-18
- *Azotobacter*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3752	1.3818	1.3734
R2	1.3747	1.3712	1.3762
R3	1.3946	1.3731	1.3711

- *Bacillus subtilis*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3755	1.3715	1.3734
R2	1.3759	1.3864	1.3753
R3	1.3890	1.3763	1.3758

	<p align="center">LAPORAN PRAKTIKUM <i>RE-GROWTH</i> BAKTERI</p>	<p align="right">FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111</p>
<p>NAMA NRP</p>	<p>: Redemptus Rajagukguk : 4309100079</p>	<p>Tanggal: 7 Juli 2017</p>
<p>- Mengulangi Langkah-langkah pada praktikum <i>re-growth</i> bakteri</p>		



LAPORAN PRAKTIKUM *RE-GROWTH* BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079

Tanggal:
13 Juli 2017

- Pengukuran berat material dilakukan di Laboratorium B3 dan Remediasi Lingkungan
- Hasil Pengukuran hari ke-3
- *Pseudomonas putida*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3784	1.3865	1.3782
R2	1.3780	1.3771	1.3802
R3	1.3982	1.3769	1.3763



LAPORAN PRAKTIKUM *RE-GROWTH* BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079

Tanggal:
16 Juli 2017

- Pengukuran berat material dilakukan di Laboratorium B3 dan Remediasi Lingkungan
- Hasil Pengukuran hari ke-7
- *Pseudomonas putida*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3774	1.3847	1.3773
R2	1.3773	1.3755	1.3796
R3	1.3976	1.3761	1.3750



LAPORAN PRAKTIKUM *RE-GROWTH* BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079

Tanggal:
20 Juli 2017

- Pengukuran berat material dilakukan di Laboratorium B3 dan Remediasi Lingkungan
- Hasil Pengukuran hari ke-11
- *Pseudomonas putida*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3764	1.3829	1.3764
R2	1.3767	1.3739	1.3790
R3	1.3970	1.3753	1.3737



LAPORAN PRAKTIKUM *RE-GROWTH* BAKTERI

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
60111

NAMA : Redemptus Rajagukguk
NRP : 4309100079

Tanggal:
3 Juli 2017

- Pengukuran berat material dilakukan di Laboratorium B3 dan Remediasi Lingkungan
- Hasil Pengukuran hari ke-18
- *Pseudomonas putida*

Sampel	Salinitas		
	36 ‰	35 ‰	37 ‰
R1	1.3762	1.3820	1.3755
R2	1.3747	1.3735	1.3766
R3	1.3964	1.3745	1.3724

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN LAJU KOROSI

Sampel yang dipengaruhi Bakteri *Azotobacter* Pada Salinitas 33 ‰.

$$\begin{aligned} \text{LK R1} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0032}{7.6467 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0314 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R1

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.955)^2) + (3.14 \times 1.91 \times 0.32) \\ &= 7.6467 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R2} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0040}{7.4575 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0403 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R2

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.95)^2) + (3.14 \times 1.9 \times 0.32) \\ &= 7.4575 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R3} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0048}{7.6365 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0472 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R3

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.95)^2) + (3.14 \times 1.9 \times 0.32) \\ &= 7.6365 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sampel yang dipengaruhi Bakteri *Azotobacter* Pada Salinitas 35 ‰.

$$\begin{aligned} \text{LK R1} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0033}{7.8374 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0316 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R1

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.96)^2) + (3.14 \times 1.92 \times 0.34) \\ &= 7.8374 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R2} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0047}{7.3790 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0465 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R2

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.94)^2) + (3.14 \times 1.88 \times 0.31) \\ &= 7.3790 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R3} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0048}{7.4380 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0475 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R3

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.94)^2) + (3.14 \times 1.88 \times 0.32) \\ &= 7.4380 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sampel yang dipengaruhi Bakteri *Azotobacter* Pada Salinitas 37 ‰.

$$\begin{aligned} \text{LK R1} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0048}{7.5267 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0319 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R1

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.955)^2) + (3.14 \times 1.91 \times 0.31) \\ &= 7.5267 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R2} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0052}{7.7067 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0534 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R2

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.955)^2) + (3.14 \times 1.91 \times 0.33) \\ &= 7.7067 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R3} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0039}{7.3200 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0575 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R3

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.94)^2) + (3.14 \times 1.88 \times 0.30) \\ &= 7.3200 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sampel yang dipengaruhi Bakteri *Bacillus subtilis* Pada Salinitas 33 ‰.

$$\begin{aligned} \text{LK R1} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0017}{7.4479 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0171 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R1

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.945)^2) + (3.14 \times 1.89 \times 0.31) \\ &= 7.4479 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R2} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0021}{7.6365 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0207 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R2

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.95)^2) + (3.14 \times 1.9 \times 0.33) \\ &= 7.6365 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R3} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0023}{7.7558 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0223 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R3

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.95)^2) + (3.14 \times 1.9 \times 0.35) \\ &= 7.7558 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sampel yang dipengaruhi Bakteri *Bacillus subtilis* Pada Salinitas 35 ‰.

$$\begin{aligned} \text{LK R1} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0024}{7.3200 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0236 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R1

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.94)^2) + (3.14 \times 1.88 \times 0.33) \\ &= 7.3200 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R2} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0029}{7.6467 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0285 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R2

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.955)^2) + (3.14 \times 1.91 \times 0.32) \\ &= 7.6467 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R3} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0038}{7.6365 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0317 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R3

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.95)^2) + (3.14 \times 1.9 \times 0.33) \\ &= 7.6365 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sampel yang dipengaruhi Bakteri *Bacillus subtilis* Pada Salinitas 37 ‰.

$$\begin{aligned} \text{LK R1} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0028}{7.7067 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0278 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R1

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.955)^2) + (3.14 \times 1.91 \times 0.33) \\ &= 7.7067 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R2} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0038}{7.5768 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0380 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R2

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.95)^2) + (3.14 \times 1.9 \times 0.32) \\ &= 7.5768 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R3} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0053}{7.5073 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0516 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R3

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.945)^2) + (3.14 \times 1.89 \times 0.32) \\ &= 7.5073 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sampel yang dipengaruhi Bakteri *Pseudomonas putida* Pada Salinitas 33 ‰.

$$\begin{aligned} \text{LK R1} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0013}{7.2609 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0155 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R1

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.94)^2) + (3.14 \times 1.88 \times 0.29) \\ &= 7.2609 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R2} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0015}{7.0755 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0155 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R2

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.94)^2) + (3.14 \times 1.88 \times 0.29) \\ &= 7.2609 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R3} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0032}{7.0755 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0194 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R3

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.935)^2) + (3.14 \times 1.87 \times 0.27) \\ &= 7.0755 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sampel yang dipengaruhi Bakteri *Pseudomonas putida* Pada Salinitas 35 ‰.

$$\begin{aligned} \text{LK R1} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0015}{7.2019 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0156 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R1

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.94)^2) + (3.14 \times 1.88 \times 0.28) \\ &= 7.2019 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R2} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0016}{7.2019 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0156 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R2

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.94)^2) + (3.14 \times 1.91 \times 0.28) \\ &= 7.2019 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R3} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0018}{7.2019 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0167 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R3

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.94)^2) + (3.14 \times 1.88 \times 0.28) \\ &= 7.2019 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sampel yang dipengaruhi Bakteri *Pseudomonas putida* Pada Salinitas 37 ‰.

$$\begin{aligned} \text{LK R1} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0018}{7.1429 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0189 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R1

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.94)^2) + (3.14 \times 1.88 \times 0.27) \\ &= 7.1429 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R2} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0019}{7.3978 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0193 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R2

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.95)^2) + (3.14 \times 1.9 \times 0.29) \\ &= 7.3978 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LK R3} &= \frac{K \times W}{A \times T \times d} \\ &= \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.0019}{7.2699 \times 432 \times 2.69} \\ &= 0.0196 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Luas Permukaan Sampel R3

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi r^2) + (\pi \times d \times t) \\ &= 2(3.14 \times (0.945)^2) + (3.14 \times 1.91 \times 0.28) \\ &= 7.2699 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Laju Korosi Rata-rata untuk bakteri yang diberi *Azotobacter* Pada Salinitas 33 ‰

$$\begin{aligned}\text{Laju Korosi Rata-rata} &= \frac{R_2+R_3}{2} \\ &= \frac{0.0403+0.0483}{2} \\ &= 0.0443 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

Laju Korosi Rata-rata untuk bakteri yang diberi *Azotobacter* Pada Salinitas 35 ‰

$$\begin{aligned}\text{Laju Korosi Rata-rata} &= \frac{R_2+R_3}{2} \\ &= \frac{0.0465+0.0475}{2} \\ &= 0.0470 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

Laju Korosi Rata-rata untuk bakteri yang diberi *Azotobacter* Pada Salinitas 37 ‰

$$\begin{aligned}\text{Laju Korosi Rata-rata} &= \frac{R_2+R_3}{2} \\ &= \frac{0.0575+0.0534}{2} \\ &= 0.0554 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

Laju Korosi Rata-rata untuk bakteri yang diberi *Bacillus subtilis* Pada Salinitas 33 ‰

$$\begin{aligned}\text{Laju Korosi Rata-rata} &= \frac{R_2+R_3}{2} \\ &= \frac{0.0207+0.0223}{2} \\ &= 0.0215 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

Laju Korosi Rata-rata untuk bakteri yang diberi *Bacillus subtilis* Pada Salinitas 35 %

$$\begin{aligned}\text{Laju Korosi Rata-rata} &= \frac{R1+R3}{2} \\ &= \frac{0.0317+0.0285}{2} \\ &= 0.0301 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

Laju Korosi Rata-rata untuk sampel yang diberi *Bacillus subtilis* Pada Salinitas 37 %

$$\begin{aligned}\text{Laju Korosi Rata-rata} &= \frac{R2+R3}{2} \\ &= \frac{0.0278+0.0380}{2} \\ &= 0.0329 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

Laju Korosi Rata-rata untuk sampel yang diberi *Pseudomonas putida* Salinitas 33 %

$$\begin{aligned}\text{Laju Korosi Rata-rata} &= \frac{R1+R2}{2} \\ &= \frac{0.0155+0.0155}{2} \\ &= 0.0155 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

Laju Korosi Rata-rata untuk sampel yang diberi *Pseudomonas putida* Salinitas 35 %

$$\begin{aligned}\text{Laju Korosi Rata-rata} &= \frac{R1+R2}{2} \\ &= \frac{0.0156+0.0156}{2} \\ &= 0.0156 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

Laju Korosi Rata-rata untuk sampel yang diberi *Pseudomonas putida* Salinitas 33 ‰

$$\begin{aligned}\text{Laju Korosi Rata-rata} &= \frac{R_2+R_3}{2} \\ &= \frac{0.0193+0.0196}{2} \\ &= 0.0194 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Pekanbaru, 14 Desember 1990, yang merupakan anak kedua dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Yosef Arnoldi Bagan Batu, SD Yosef Arnoldi Batu, SD Santo Thomas 5 Medan, SMP P. CAHAYA Medan dan SMA Santo Thomas 2 Medan. Kemudian setelah lulus dari SMA tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan ITS dan mengambil bidang keahlian Korosi. Selama kuliah, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Kelautan

Tim Dana dan Usaha pada tahun 2011-2012, dan Departement KWU (Kewirausahaan) pada tahun 2012-2013. Kerja praktek di PT PAL Indonesia, Surabaya selama dua bulan pada tahun 2016. Pada Tahun 2017, penulis akhirnya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Bakteri *Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, dan *Pseudomonas putida* Terhadap Laju Korosi Alumunium 6063”. Penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini dalam waktu dua semester.

Contact Person: redem.hari@gmail.com