



TUGAS AKHIR - MO.141326

STUDI EKSPERIMEN SISTEM ICAF (*IMPRESSED CURRENT ANTI FOULING*) DALAM MEREDUKSI FOULING BAKTERI DAN ALGA SECARA BERSAMAAN TERHADAP *BOX COOLER FLOATING PRODUCTION STORAGE AND OFFLOADING*

**NOVALDY SENAPUTRA
NRP 0431144.0000.100**

DOSEN PEMBIMBING:

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

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

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI EKSPERIMEN SISTEM ICAF (*IMPRESSED CURRENT ANTI FOULING*)
DALAM MEREDUKSI FOULING BAKTERI DAN ALGA SECARA BERSAMAAN
TERHADAP *BOX COOLER FLOATING PRODUCTION STORAGE AND OFFLOADING*
TUGAS AKHIR

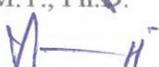
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NOVALDY SENAPUTRA

NRP. 04311440000100

Ditejui oleh:

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.  (Pembimbing 1)
2. Harmin Sulistiyaning Titah  (Pembimbing 2)
3. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc  (Penguji 1)
4. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.  (Penguji 2)
5. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T.  (Penguji 3)

SURABAYA, 15 JANUARI 2020

STUDI EKSPERIMEN SISTEM ICAF (*IMPRESSED CURRENT ANTI FOULING*) DALAM MEREDUKSI FOULING BAKTERI DAN ALGA SECARA BERSAMAAN TERHADAP *BOX COOLER FLOATING PRODUCTION STORAGE AND OFFLOADING*

Nama : Novaldy Senaputra

NRP : 04311440000100

Departemen : Teknik Kelautan

Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

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

ABSTRAK

Analisa tentang ketahanan mesin pendingin FPSO dari korosi yang terjadi dikarenakan bakteri dan alga *microfouling* dengan metode *Impressed Current Anti Fouling* (ICAF). Ketahanan yang dibuktikan dengan melakukan penelitian di laboratorium dengan menggabungkan kedua mikroorganisme dalam satu reaktor yang nantinya akan dipasangkan sistem ICAF. Material yang digunakan sebagai representatif dari mesin pendingin FPSO adalah Baja HSLA A36 sebagai katoda dan Tembaga (Cu) sebagai Anoda yang digunakan. Bakteri dalam penelitian adalah *Pseudomonas Fluorescens* dan Mikroalga adalah *Chlorella Vulgaris*. Variasi Kuat arus 0.3, 0.5, dan 1 A. Waktu Uji 3, 5, dan 10 menit, serta perbandingan jumlah Bakteri dan Alga di masukkan dalam penelitian 75%:25%, 50%:50%, 25%:75% untuk mengetahui seberapa akurat hasil dari eksperimen. Setelah pengujian, Bakteri dan Alga yang tersisa dalam reaktor dihitung didapatkan waktu yang paling efektif dalam membunuh mikroalga *Chlorella Vulgaris* adalah 10 menit dengan presentase mikroorganisme terbunuh 100 % pada konsentrasi perbandingan 50 % dan 25 % mikroalga. Dan waktu yang paling efektif dalam membunuh bakteri *Pseudomonas Fluorescens* adalah 10 menit dengan presentase mikroorganisme terbunuh 99,97 % pada konsentrasi perbandingan terkecil 25 % bakteri dalam 1 A. Sehingga dapat dikatakan bahwa jenis biofouling yang tidak dapat bertahan adalah mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan persentase kematian jumlah sel sebesar 97,72%.

**EXPERIMENTAL STUDY OF ICAF (IMPRESSED CURRENT ANTI
FOULING) SYSTEM TO REDUCE BACTERIAL AND ALGAE FOULING
TOGETHER TO BOX COOLER FLOATING PRODUCTION STORAGE
AND OFFLOADING**

Nama : Novaldy Senaputra

NRP : 04311440000100

Departemen : Teknik Kelautan

Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

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

ABSTRACT

This final project will discuss about the resistance of the FPSO cooling engine from corrosion that occurs due to bacteria and algae microfouling with the Impressed Current Anti Fouling (ICAF) method. The durability is proven by conducting research in the laboratory by combining the two microorganisms in one reactor which will be installed by the ICAF system. The material used as a representative of the FPSO cooling machine is HSLA A36 Steel as the cathode and Copper (Cu) as the Anode used. The bacteria in the study were *Pseudomonas Fluorescens* and Microalgae were *Chlorella Vulgaris*. Current strength variations of 0.3, 0.5, and 1 A. Test time 3, 5, and 10 minutes, as well as the ratio of the number of bacteria and algae included in the study 75%: 25%, 50%: 50%, 25%: 75% to find out how accurate the results of the experiment are. After testing, the remaining bacteria and algae in the reactor were calculated to obtain the most effective time in killing microalgae *Chlorella Vulgaris* is 10 minutes with the percentage of microorganisms killed 100% at a concentration ratio of 50% and 25% microalgae. And the most effective time in killing *Pseudomonas Fluorescens* bacteria is 10 minutes with the percentage of microorganisms killed 99.97% at the lowest concentration ratio of 25% of bacteria in 1 A. So it can be said that the type of biofouling that cannot survive is *Chlorella vulgaris* microalgae with the percentage of number of deaths cell 97.72%.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, serta tak lupa sholawat serta salam senantiasa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Judul yang diambil pada Tugas Akhir ini adalah “Studi Eksperimen Sistem ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*) Dalam Mereduksi Fouling Bakteri dan Alga Secara Bersamaan Terhadap *Box Cooler Floating Production Storage and Offloading*”.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis tidak lepas dari kesulitan yang disebabkan karena keterbatasan ilmu dan waktu. Berkat dukungan semangat dan doa dari berbagai pihak yang selalu mendampingi penulis, akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Tugas Akhir ini memuat semua aspek mulai dari latar belakang, gagasan awal, teori pendukung, metodologi penelitian, analisa dan pembahasan serta kesimpulan dan saran.

Penulis menyadari dalam menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan lainnya yang ditemui dalam Tugas Akhir ini. Untuk itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai sebuah apresiasi yang berharga untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini serta dapat menjadi koreksi bagi semua pihak yang nantinya memanfaatkan Tugas Akhir ini sebagai bahan referensi dalam penelitian selanjutnya. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan dalam bidang Teknik Kelautan serta bagi pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2020

Novaldy Senaputra

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan, semangat, dukungan moral dan spiritual dengan tulus dan ikhlas dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis diberikan kelancaran dan kemudahan selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Kedua Orang Tua tersayang, Bapak Edward Senaputra dan Ibu Helinawati serta keluarga besar Bapak Soedarmo yang telah memberikan dukungan, kasih sayang, doa serta materi dan segalanya bagi penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing pertama dan Kepala Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing kedua dan Sekertaris Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dengan sabar dan ikhlas selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran untuk penulis demi kebaikan dan kelancaran Tugas Akhir ini.
6. Ibu Hurun In dan Ibu Mery M. Soesilo selaku laboran di Laboratorium Fundamental, Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS yang telah memberikan bimbingan dan nasihat selama penulis melakukan eksperimen Tugas Akhir.
7. Seluruh Karyawan dan Staff Tata Usaha di Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah memberikan bantuan dalam hal administrasi dan birokrasi selama proses pengerjaan Tugas Akhir.

8. Teman-teman seluruh angkatan 2014 (MAELSTROM) yang telah membantu memberikan saran maupun masukan, dan selalu berjuang bersama-sama dari awal masuk kuliah hingga akhirnya sampai ke tahap ini.
9. Kakak Senior dan Adik Junior Departemen Teknik Kelautan yang telah bersedia memberikan ilmunya dan selalu mendoakan penulis agar dapat meraih kesuksesan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Kakak Senior Departemen Teknik Lingkungan yang telah bersedia memberikan ilmunya terutama dalam permasalahan *Antifouling*.
11. Serta pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
RINGKASAN EKSEKUTIF	iii
EXECUTIVE SUMMARY.....	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xiii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR RUMUS	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Hipotesa Awal.....	5
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Baja.....	7
2.2.2 Baja HSLA Grade AH 36.....	9
2.2.3 Korosi	9
2.2.4 Jenis-jenis Korosi	11
2.2.5 Korosi Biologi	13
2.2.6 <i>MIC (Microbiologically Influenced Corrosion)</i>	13

2.2.7 Microfouling Bakteri dan Alga	14
2.2.8 Bakteri <i>Pseudomonas Fluorescens</i>	15
2.2.9 Mikroalga <i>Chlorella Vulgaris</i>	15
2.2.10 Penghambatan Korosi akibat Biofouling	15
2.2.11 Sacrificial Anodes	16
2.2.12 ICCP (Impressed Current Cathodic Protection).....	17
2.2.13 ICAF (Impressed Current Anti Fouling).....	18
2.2.14 Perhitungan Colony Forming Unit	19
2.2.15 Anoda Proteksi	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian	25
3.3 Persiapan Alat dan Bahan	25
3.4 Persiapan Larutan Uji dan Reaktor	26
3.5 Pengembangbiakan Mikroalga.....	27
3.6 Pengembangbiakan Bakteri.....	29
3.7 Pengujian ICAF Sederhana	30
3.8 Perhitungan Mikroalga dengan <i>Hemocytometer</i>	30
3.9 Perhitungan Bakteri dengan <i>Colony Forming Unit</i>	30
3.10 Analisa Data Eksperimen	34
3.11 Kesimpulan dan saran	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Penelitian Pendahuluan	35
4.2 Persiapan Alat dan Bahan	35
4.3 Persiapan Larutan Uji	35
4.4 Pengembangbiakan Mikroalga <i>Chlorella Vulgaris</i>	36

4.4.1 Uji Parameter Pertumbuhan <i>Chlorella Vulgaris</i>	36
4.4.1.1. Nilai pH.....	37
4.4.1.2. Suhu	38
4.4.1.3. Salinitas	38
4.4.1.4. OD (<i>Optical Density</i>)	38
4.4.1.5. Jumlah Sel.....	39
4.5 Pengembangbiakan <i>Bakteri Pseudomonas Fluorescens</i>	40
4.6 Penelitian Utrama Uji ICAF	41
4.6.1 Hasil uji Ketahanan <i>Chlorella Vulgaris</i> dan <i>Pseudomonas Fluorescens</i> dengan Variasi Arus dan Waktu	42
4.6.2 Hasil Uji <i>Chlorella Vulgaris</i> 75% : 25% <i>Pseudomonas Fluorescens</i>	42
4.6.2 Hasil Uji <i>Chlorella Vulgaris</i> 50% : 50% <i>Pseudomonas Fluorescens</i>	45
4.6.3 Hasil Uji <i>Chlorella Vulgaris</i> 25% : 75% <i>Pseudomonas Fluorescens</i>	48
4.6 Uji AAS	52
4.7 Hasil Kebutuhan Anoda Cu pada Kondisi Sebenarnya	53
4.8 Biaya Listrik Kebutuhan Daya Transformator <i>Rectifier</i>	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Korosi pada Sistem Pendingin Kapal.....	2
Gambar 2.1 Sistem yang Bermasalah dengan <i>Biofouling</i>	13
Gambar 2.2 Bakteri <i>Pseudomonas Fluorescens</i>	14
Gambar 2.3 Mikroalga <i>Chlorella Vulgaris</i>	15
Gambar 2.4 Sistem Anoda Korban	16
Gambar 2.5 Sistem Arus Paksa.....	17
Gambar 2.6 Ilustrasi ICAF pada Sistem pendingin di Seachest Kapal.....	18
Gambar 2.7 Anoda Tembaga	18
Gambar 2.8 <i>Neubauer Improved</i>	19
Gambar 2.9 Skema <i>Colony Forming Unit</i>	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	24
Gambar 3.2 Larutan Air LAut 35 ppt.....	26
Gambar 3.3 Reaktor Uji ICAF	27
Gambar 3.4 Vitamin Pengembangbiakkan Alga.....	28
Gambar 3.5 Pertumbuhan Mikroalga <i>Chlorella Vulgaris</i>	28
Gambar 3.6 <i>Nutrient Broth</i> cair	29
Gambar 3.7 Hasil pengembangbiakan Bakteri <i>Pseudomonas Fluorescens</i>	30
Gambar 3.8 Alat ICAF Sederhana	31
Gambar 3.9 Sistem ICAF Sederhana	31
Gambar 3.10 Mikroskop Binokuler	32
Gambar 4.1 Grafik pH <i>Chlorella Vulgaris</i>	37
Gambar 4.2 Grafik Suhu <i>Chlorella Vulgaris</i>	38
Gambar 4.3 Grafik <i>Optical Density Chlorella Vulgaris</i>	39
Gambar 4.4 Grafik Jumlah Sel <i>Chlorella Vulgaris</i>	40
Gambar 4.5 Alat Centrifuge	41
Gambar 4.6 Sistem ICAF Sederhana	42
Gambar 4.7 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,3 A.....	43
Gambar 4.8 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,5 A.....	44
Gambar 4.9 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 1 A.....	45
Gambar 4.10 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,3 A.....	46

Gambar 4.11 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,5 A.....	47
Gambar 4.12 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 1 A.....	48
Gambar 4.13 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,3 A.....	49
Gambar 4.14 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,5 A.....	50
Gambar 4.15 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 1 A.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Laju Konsumsi Anoda	22
Tabel 4.1 Pengamatan uji laju pertumbuhan <i>Chlorella Vulgaris</i>	36
Tabel 4.2 Parameter Pertumbuhan Bakteri <i>Pseudomonas Fluorescens</i>	40
Tabel 4.3 Uji AAS – PDAM Surabaya	52
Tabel 4.4 Tipe Anoda Proteksi.....	53
Tabel 4.5 Tahun Habis Anoda	53

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Laju Konsumsi Anoda	19
Rumus 2.2 Rata-rata Sel.....	20
Rumus 2.3 Jumlah Organisme	22
Rumus 2.4 <i>Anode Life Time</i>	22

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DOKUMENTASI EKSPERIMEN

LAMPIRAN B DOKUMENTASI EKSPERIMEN

LAMPIRAN C PERHITUNGAN CHLORELLA VULGARIS

LAMPIRAN D PERHITUNGAN PSEUDOMONAS FLUORESCENS

LAMPIRAN E SURAT PENGESAHAN LABORATORIUM

LAMPIRAN F HASIL LABORATORIUM PDAM AAS

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Minyak dan gas bumi adalah sumber energi utama dunia yang masih dipakai hingga saat ini. Permintaan global terhadap energi fosil telah mendorong produksi minyak di dunia. Sehingga perlu dibangun fasilitas untuk menjaga integritas fisik dan mekanik dari infrastruktur yang telah ada (Biomorgi., 2012). Untuk menunjang hal tersebut, teknologi di bidang perindustrian pun berkembang pesat untuk menjangkau perairan yang lebih luas.

Dalam hal ini terdapat dua bentuk transport yaitu dengan menggunakan kapal dan distribusi menggunakan sistem perpipaan. Kapal yang digunakan untuk mengangkut dan sekaligus mengolah hasil eksplorasi di lepas pantai salah satunya adalah FPSO (Floating Production Storage and Offloading). Penggunaan FPSO ini sangat efektif tidak hanya dalam dunia perminyakan, tapi hampir diseluruh dunia perindustrian. Namun penggunaan teknologi ini memiliki beberapa kekurangan. Pada umumnya FPSO dibuat dengan material logam.

Penggunaan material logam yang semakin meningkat, dengan sendirinya akan diikuti dengan meningkatnya permasalahan korosi atau dalam sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Korosi pada lingkungan air laut menimbulkan laju korosi yang relatif sangat cepat pada kapal. Hal ini disebabkan karena reaksi redoks antara suatu logam dengan salinitas pada air laut atau zat-zat terlarut berupa padat dan gas, seperti garam-garam anorganik, gas-gas terlarut dan senyawa-senyawa organik dari organisme hidup yang memiliki konsentrasi lebih besar daripada zat cair lainnya (Danesto, 2017).

Organisme hidup ini yang akan menjadi salah satu penyebab konstruksi baja pada bagian kapal dapat mengalami korosi karena mikroba akan meningkatkan konsentrasi oksigen pada logam atau dikenal dengan istilah *biofouling*. Adanya *biofouling* khususnya pada bagian sistem pendingin kapal sangatlah merugikan karena dapat meningkatkan tahanan kapal yang berujung

pada tingginya penggunaan bahan bakar, biaya pemeliharaan, dan proses interferensi parameter.



Gambar 1.1 Korosi pada sistem pendingin kapal

(Sumber: <https://officerofthewatch.com/2013/11/01/sea-chest-corrosion-with-box-cooler-arrangement/>, Diakses 13 September 2019)

Penggunaan sistem anti korosi seperti *sacrificial anodes* pada sistem perpipaan bawah laut, sistem tambat suatu struktur dan lainnya sudah umum digunakan, namun sistem tersebut belum efektif digunakan pada suatu bagian struktur tertentu seperti pada bagian sistem pendingin kapal dikarenakan oleh sulitnya instalasi, inspeksi dan *maintenance* maupun cara mengganti anoda tersebut yang memakai biaya berlebih. Inovasi dikembangkan sejalan dengan masalah-masalah yang terjadi dan penanganan yang sesuai. Demi mengatasi masalah korosi dikarenakan biofouling maka sistem *Impressed Current* dikembangkan untuk menangani *Anti Fouling* yang berkembang maka disebut ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*).

Prinsip ICAF sendiri didasarkan pada perbedaan tegangan yang dipicu secara artifisial antara anoda tembaga dan katoda pelat baja terintegrasi. Saat tembaga larut ke dalam air laut, sebuah lingkungan diciptakan untuk mencegah pengotoran dan melindungi baja. Unit daya sistem memastikan bahwa anoda tembaga menambahkan jumlah yang tepat dari partikel tembaga ke air laut. Sehingga mikroorganisme akan terbunuh oleh ion-ion tembaga yang terlarut dalam lingkungan baja yang dilindungi.

Berasal dari permasalahan tersebut penulis melakukan eksperimen untuk mencari waktu yang dibutuhkan untuk membunuh rata-rata setiap mikroorganisme penyebab fouling, serta arus listrik yang efektif dalam penggunaan sistem ICAF sehingga akan meminimalisir biaya ekonomis pemakaian anoda tembaga dan listrik yang dikeluarkan. Pada awalnya penulis melakukan pengembangbiakan biofouling hingga mencapai tahap layak uji coba, selanjutnya sistem ICAF digunakan untuk mengamati proses terbunuhnya biofouling tersebut. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini berupa logam tembaga (Cu) sebagai kutub negatif (anoda) dan logam baja sebagai kutub positif (katoda). Kuat arus listrik dan waktu pemaparan serta perbandingan mikroorganisme yang dijadikan sampling menjadi perlakuan utama dalam penelitian ini.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan. Rumusan masalah yang perlu dilakukan guna mendapat solusi dari permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa waktu yang dibutuhkan ICAF agar bakteri dan alga penyebab fouling mati?
2. Berapa besar arus listrik yang dikeluarkan oleh ICAF agar bakteri dan alga penyebab fouling mati?
3. Diantara *Pseudomonas fluorescens* dan *Chlorella Vulgaris*, Jenis mikroorganisme manakah yang paling tidak dapat bertahan dengan menggunakan metode ICAF?
4. Bagaimana penerapan hasil uji coba terhadap kondisi lapangan sebenarnya?

1.3. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah tersebut, maka tujuan penelitian tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mendapatkan waktu untuk mencegah tumbuhnya bio fouling menggunakan ICAF.

2. Mendapatkan besar arus listrik pada ICAF dalam mencegah tumbuhnya bio fouling.
3. Mendapatkan jenis mikroorganisme yang paling tidak dapat bertahan dengan menggunakan metode ICAF.
4. Mendapatkan hasil penerapan dari uji coba yang dilakukan kedalam kondisi sebenarnya.

1.4. Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan ini, diharapkan data-data yang didapat dapat bermanfaat dan menjadi referensi bagi perusahaan migas, lembaga penelitian, instansi terkait maupun pihak independent yang membutuhkan kalau memiliki studi kasus dan masalah yang sama. Selain itu juga diharapkan agar bisa menjadi penambahan wawasan mengenai pencegahan korosi pada sistem pendingin kapal.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan dan asumsi dalam studi ini yaitu sebagai berikut:

1. Variasi perbandingan jumlah alga dan bakteri yang dianalisis dari 25%:75%, 50%:50%, dan 75%:25%.
2. Variabel yang digunakan dalam penelitian adalah waktu (menit) serta kuat arus listrik pada pengoperasian ICAF yaitu sebesar 5, 10, dan 15 menit serta 0,3 ; 0,5 ; dan 1 Ampere.
3. Katoda dan Anoda yang digunakan untuk pengujian ini yaitu plat logam baja HSLA *Grade* AH36 sebagai katoda dan plat logam tembaga (Cu) sebagai anoda
4. Bakteri laut yang digunakan dalam eksperimen ini adalah *Pseudomonas fluorescens*.
5. Alga laut yang digunakan dalam eksperimen ini adalah *Chroloa Vulgaris*.
6. Salinitas air laut dalam pengujian 3,5%
7. Metode perhitungan bakteri menggunakan metode *Colony Forming Unit*
8. Metode perhitungan mikroalga menggunakan *Hemocytometer*

1.6. Hipotesa Awal

Dari rumusan masalah tersebut, maka hipotesa awal peneliti sebagai berikut:

1. Waktu yang dibutuhkan untuk membunuh mikroorganisme bio fouling menggunakan metode ICAF sekitar 10 menit (Gilang Reza, 2018)
2. Besar arus listrik efisien pada ICAF dalam mencegah tumbuhnya bio fouling sekitar 1 Ampere (Danesto, 2017)
3. Bakteri *Pseudomonas Fluorences* merupakan jenis mikroorganisme yang paling tidak dapat bertahan dengan menggunakan metode ICAF.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi dilepas pantai, mengandung risiko besar dalam implementasinya. Risiko paling besar yang mengganggu dan menyebabkan kerugian besar dalam aspek frugal adalah ketika platform mengalami collapse. Penyebab terjadinya collapse suatu platform, bisa berbagai macam dan salah satunya adalah faktor korosi. Penelitian kali ini dilakukan dengan memanfaatkan hasil dari penelitian terdahulu pada bidang yang sama sebagai referensi. Namun pada aplikasinya, studi mengenai ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*) ini masih terbilang jarang (Gilang, 2018).

1. Afif Wiludin dan Heri Soepomo (2013) meneliti bahwa sistem ICCP lebih unggul dari sistem SACP dari segi ekonomis maintenance selama 20 tahun, sistem ICCP hanya melakukan pengecekan ringan arus setiap minggu menggunakan voltmeter, sedangkan pada sistem SACP harus melakukan penggantian anode setiap 2 tahun sekali.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium, dan nikel. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar

dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk (Davis, 1982). Berdasarkan kandungan karbon, (Beumer, B.J.M., 1994) membuat baja dibedakan menjadi:

1. Baja Karbon rendah (0,05% - 0,35% C) digunakan untuk kawat, baja profil, dan ulir baut.
2. Baja Karbon Menengah (0,35% - 0,50% C) digunakan untuk rel kereta api, as roda gigi dan lain-lain.
3. Baja Karbon Tinggi (0,50% - 1,7% C) digunakan untuk perkakas potong, gergaji, pisau dan bagian yang tahan gesekan.

Kadar karbon mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap mutu baja. Baja dengan kadar karbon 0,1 – 0,35% tidak dapat dikeraskan (dipijarkan dan didinginkan tiba-tiba). Baja dengan kadar karbon rendah mempunyai nilai kekerasan yang rendah pula. Makin rendah kadar karbonnya maka baja tersebut makin lunak dan mudah ditempa, sebaliknya makin tinggi kadar karbonnya maka makin besar pula nilai kekerasannya. Sifat mekanis baja juga dipengaruhi oleh cara mengadakan ikatan karbon dengan besi. Menurut Schonmetz (1985) terdapat 3 bentuk utama kristal saat karbon mengadakan ikatan dengan besi, yaitu :

1. Ferit, yaitu besi murni (Fe) terletak rapat saling berdekatan tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya. Ferit merupakan baja yang paling lunak, ferrit murni tidak akan cocok digunakan sebagai bahan untuk benda kerja yang menahan beban karena kekuatannya kecil.
2. Karbid besi (Fe_3C), suatu senyawa kimia antara besi dengan karbon sebagai struktur tersendiri yang dinamakan sementit. Peningkatan kandungan karbon akan menambah kadar sementit. Sementit dalam baja merupakan unsur yang paling keras.
3. Perlit, merupakan campuran antara ferrit dan sementit dengan kandungan karbon sebesar 0,8%. Struktur perlitis mempunyai kristal ferrit tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel

2.2.2. Baja HSLA Grade AH 36

Mesin Pendingin kapal biasanya terbuat dari baja HSLA (*High Steel Low Alloy*), High strength low alloy (HSLA) adalah jenis baja paduan yang memberikan sifat mekanik yang lebih baik atau resistensi besar terhadap korosi dari baja karbon. Baja HSLA bervariasi dari baja lain bahwa HSLA Steel tidak dibuat untuk memenuhi komposisi kimia tertentu melainkan untuk sifat mekanik khusus. HSLA Steel memiliki kandungan karbon antara 0,05-0,25% untuk mempertahankan sifat mampu bentuk dan mampu las. Elemen paduan lain mencakup hingga 2,0% jumlah mangan dan kecil dari tembaga, nikel, niobium, nitrogen, vanadium, kromium, molibdenum, titanium, kalsium, unsur tanah jarang, atau zirconium, Tembaga, titanium, vanadium, dan niobium ditambahkan untuk tujuan memperkuat. Unsur-unsur ini dimaksudkan untuk mengubah struktur mikro baja karbon (Nandyo A. 2008).

Baja HSLA Grade AH 36 termasuk kedalam baja berkarbon rendah yaitu sekitar 0,062% (Tri Sudrajat, Achmad. 1990). Plat ini biasa digunakan pada bagian bawah kapal karena baja karbon rendah dapat lebih mudah ditekuk atau memiliki kelenturan yang termasuk tinggi sehingga dapat mengikuti lekuk *body* kapal terutama pada bagian lambung paling depan dan belakang kapal yang umumnya melengkung. Baja ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi, lebih kuat dan memiliki resisten terhadap korosi yang cukup besar. Jenis baja ini dapat digunakan dalam desain kapal laut dengan berat diatas 10.000 ton.

2.2.3. Korosi

Kata korosi berasal dari bahasa latin “Corrodere” yang artinya merusak logam atau berkarat. Korosi adalah terjadinya kerusakan material (khususnya logam) akibat lingkungannya. Pada logam terjadinya akibat reaksi kimia yaitu pada temperatur yang tinggi antara logam dan gas atau terjadi korosi elektrokimia dalam lingkungan air atau udara basah (Supardi, 1997).

Reaksi langsung disebut juga korosi kering dan reaksi penggantian disebut korosi basah. Reaksi langsung termasuk oksidasi di udara, reaksi dengan uap belerang, hidrogen sulfide dan kandungan kering lainnya, juga reaksi dengan logam cair lainnya misalnya natrium. Reaksi ini nyata dan umum terjadi

pada suhu relatif tinggi. Pada dasarnya reaksi korosi logam berlangsung secara elektrokimia (Trethewey, 1991), yang terjadi pada daerah katoda dan anode dengan membentuk rangkaian arus tertutup. Reaksi korosi berlangsung di daerah permukaan katoda dan anode. Korosi elektrokimia dapat dijelaskan dengan suatu sistem yang disebut sel korosi basah sederhana dengan noda dan katoda tunggal.

Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktu bahan, bentuk kristal, unsur-unsur kelumit yang ada dalam bahan, teknik pencampuran bahan dan sebagainya. Korosi akan dan hanya akan terjadi bila di metal terjadi sebuah siklus tertutup yang dinamakan "*Corrosion cell*". *Corrosion cell* adalah sirkuit elektrikal imajiner media berpindahannya electrons dan ions dari dua logam dengan muatan yang berbeda. Di dalam *corrosion cell* selalu terdapat empat faktor :

1. Anoda: adalah elektroda, bisa berupa logam maupun penghantar listrik lain, pada sel elektrokimia yang terpolarisasi jika arus listrik mengalir ke dalamnya. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron. Pada proses elektrokimia, baik sel galvanik (baterai) maupun sel elektrolisis, anoda mengalami oksidasi.
2. Katoda: merupakan elektroda negatif. Dalam elektrolis, katoda merupakan elektroda dengan potensial negatif terhadap anoda. Dalam berbagai sistem elektrik, misalnya tabung lucutan dan piranti elektrik padat, katoda adalah ujung akhir electron masuk dalam sistem.
3. *Metallic pathway*: adalah konduktor yang menghubungkan anoda dan katoda. Ia dapat berupa kontak logam-ke-logam, atau factor eksternal seperti kabel, baut (system bolting), deck support, system suspensi, atau sejenisnya) atau bila korosi terjadi dalam satu jenis logam saja, maka *metallic pathway*-nya adalah logam itu sendiri, yang terpenting disini *methalic pathway* merupakan jembatan mengalirnya elektron (arus listrik) diantara anoda dan katoda.
4. Elektrolit: adalah liquid, atau medium yang menghantarkan listrik (mengandung ions). Ini membuktikan bahwa di dalam banyak kasus korosi dengan mudah terjadi dilingkungan yang lembab atau

mengandung banyak air. Air yang mengandung ions dan menghantarkan listrik.

5. Oksigen: Sebenarnya keempat faktor diatas sudah cukup untuk menghasilkan korosi, tetapi kecepatan korosi yang dihasilkan lambat. Di dalam banyak hal oksigen adalah penyebab percepatan korosi. Jadi ada literatur yang menjelaskannya sebagai faktor kelima (dalam tanda kutip). Oksigen dalam proses korosi dapat diperoleh udara sekitar, larut didalam air, atau bagian dari atmosfer.

2.2.4. Jenis-jenis Korosi

Dibawah ini merupakan beberapa jenis dari korosi berdasarkan penyebabnya :

1. Korosi seragam (*Uniform attack*)

Korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis. Biasanya ini terjadi pada pelat baja atau profil, logam homogen.

2. Korosi sumur (*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 paling merusak dari korosi, karena sulit terlihat kerusakannya jika tanpa alat bantu.

3. Korosi erosi (*Errosion Corrosion*)

Korosi yang terjadi karena keausan dan menimbulkan bagian – bagian yang tajam dan kasar, bagian – bagian inilah yang mudah terjadi korosi dan juga diakibatkan karena fluida yang sangat deras dan dapat mengikis film pelindung pada logam. Korosi ini biasanya terjadi pada pipa dan propeller.

4. Korosi galvanis (*Galvanis corrosion*)

Galvanic atau *bimetalic corrosion* adalah jenis korosi yang terjadi ketika dua macam logam yang berbeda berkontak secara langsung dalam media korosif. Dimana elektron mengalir dari metal kurang mulia (Anodik) menuju metal yang lebih mulia (Katodik), akibatnya

metal yang kurang mulia berubah menjadi ion – ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal.

5. Korosi Tegangan (*Stress Corrosion*)

Korosi yang terjadi karena tegangan dan regangan dari suatu material dan media korosif secara langsung

6. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain atau non logam dan diantaranya terdapat celah yang dapat menahan kotoran dan air sebagai sumber terjadinya korosi. Konsentrasi Oksigen pada mulut lebih kaya dibandingkan pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian mulut menjadi katodik. Maka terjadi aliran arus dari dalam menuju mulut logam yang menimbulkan korosi. Atau juga perbedaan konsenrasi zat asam.

7. Korosi Lubang/Kavitasi (*Cavitation Corrosion*)

Terjadi karena tingginya kecepatan cairan menciptakan daerah-daerah bertekanan tinggi dan rendah secara berulang-ulang pada permukaan peralatan dimana cairan tersebut mengalir. Maka terjadilah gelembung-gelembung uap air pada permukaan tersebut, yang apabila pecah kembali menjadi cairan akan menimbulkan pukulan pada permukaan yang cukup besar untuk memecahkan film oksida pelindung permukaan

8. Korosi Kelelahan (*Fatigue Corrosion*)

Terjadi karena adanya beban siklik terhadap suatu logam yang dikombinasi dengan korosi. Korosi *fatigue* terjadi pada daerah yang mendapat beban, bagian las dan lainnya.

9. Korosi Biologi (*Biological Corrosion*)

Korosi biologi adalah proses korosi yang terjadi akibat pengaruh makroorganisme atau mikroorganisme hidup.

2.2.5. Korosi Biologi (*Biological Corrosion*)

Fenomena korosi yang disebabkan oleh aktifitas organisme sudah termasuk dalam korosi mayor, karena akibat yang timbul sangat signifikan, seperti pada kaki-kaki pada suatu platform, jembatan, dan dermaga di pelabuhan. (Cowie, Phillip R. *et al*, 2007) Korosi jenis ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Macro fouling

Korosi biologi ini disebabkan oleh aktifitas organisme makro atau organisme yang masih dapat dilihat kasat mata, seperti kerang-kerangan

2. Micro Fouling

Korosi biologi jenis ini disebabkan oleh aktifitas organisme *micro* atau organisme yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Banyak pula yang menyebutnya dengan *MIC (Microbiologically Influenced Corrosion)*.

2.2.6. MIC (*Microbiologically Influenced Corrosion*)

Korosi akibat alga dan bakteri adalah yang paling umum dalam kategori korosi biologi. Jenis-jenis mikroorganisme yang berpengaruh terhadap korosi yang terjadi dalam dunia maritim lebih banyak dari makroorganisme. Keunikan dan keberagaman cara mikroorganisme menyebabkan korosi pada suatu material struktur membuat mikroorganisme harus diperhatikan dan diteliti lebih lanjut.

Table 1. Systems with Persistent Microbiologically Influenced Corrosion Problems[2].

Application/System	Problem Components/Areas	Microorganisms
Pipelines/storage tanks (water, wastewater, gas, oil)	<ul style="list-style-type: none"> Stagnant areas in the interior Exterior of buried pipelines and tanks, especially in wet clay environments 	<ul style="list-style-type: none"> Aerobic and anaerobic acid producers Sulfate reducing bacteria Iron/manganese oxidizing bacteria Sulfur oxidizing bacteria
Cooling system	<ul style="list-style-type: none"> Cooling towers Heat exchangers Storage tanks 	<ul style="list-style-type: none"> Aerobic and anaerobic bacteria Metal oxidizing bacteria Slime forming bacteria Algae Fungi
Docks, piers, and other aquatic structures	<ul style="list-style-type: none"> Splash zone Just below low tide 	<ul style="list-style-type: none"> Sulfate reducing bacteria
Vehicle fuel tanks	<ul style="list-style-type: none"> Stagnant areas 	<ul style="list-style-type: none"> Fungi
Power generation plants	<ul style="list-style-type: none"> Heat exchangers Condensers 	<ul style="list-style-type: none"> Aerobic and anaerobic bacteria Sulfate reducing bacteria Metal oxidizing bacteria
Fire sprinkler systems	<ul style="list-style-type: none"> Stagnant areas 	<ul style="list-style-type: none"> Anaerobic bacteria Sulfate reducing bacteria

Gambar 2.1 Sistem yang Bermasalah dengan Biofouling

Sumber : Lane, 2005

2.2.7. *Microfouling* Bakteri dan Alga

Bakteri yang mampu mendegradasi logam di dalam laut antara lain *Thiobacillus ferrooxidans*, *T.thiooxidans*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*, *Bacillus Licheniformis*, *B.Cereus* (Crueger dan Crueger (1984). Namun karena geografis perairan Indonesia yang mayoritas adalah perairan dangkal dan sedang, bakteri yang banyak tersebar di perairan Indonesia seperti hasil dari penelitian Agus Irianto tahun 2013 adalah *P.fluorescens*, *E.Coli*, *T ferrooxidans*.

2.2.7.1. *Microfouling* Bakteri *Pseudomonas fluorescens*

Bakteri *P. fluorescens* diklasifikasikan ke dalam kelas *Schazomycetes*, ordo *Pseudomonadales*, famili *Pseudomonadaceae*, genus *Pseudomonas*, spesies *P. fluorescens*. *Pseudomonas fluorescens* merupakan bakteri aerob obligat, artinya bakteri ini membutuhkan oksigen untuk hidupnya, mempunyai sel tunggal, gram negatif berbentuk batang lurus atau melengkung, berukuran 0,5-1,0 x 1,5-5 μm , dapat bergerak karena flagela atau motil, dan tidak membentuk spora.

Termasuk kedalam bakteri yang dapat ditemukan dimana saja (ubiquitous), seringkali ditemukan pada bagian tanaman (permukaan daun dan akar) dan sisa tanaman yang membusuk, tanah dan air. (Ardiana Kartika B. 2012). Bakteri ini mudah untuk dipelihara, saat mereka tumbuh pada media minimal dan pada 25-30 derajat Celcius. *P. fluorscens* memiliki daya tahan tinggi terhadap logam-logam berat seperti tembaga, kadmium dan krom. Derajat toksik dari suatu logam seperti krom dapat direduksi ($\text{Cr}6+$ menjadi $\text{Cr}3+$).



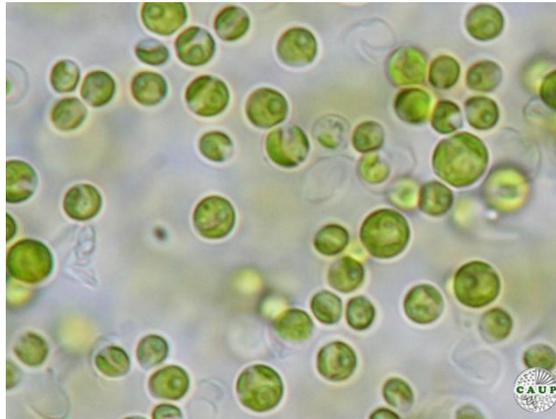
Gambar 2.2 *Pseudomonas Fluorences*

(<http://wsm.wsu.edu/discovery/wp-content/uploads/2009/05/pseudomonas-fluorescens-d7-full.jpg>, diakses 15 September 2019)

2.2.8. *Microfouling* Alga *Chlorella Vulgaris*

Nama *Chlorella* berasal dari zat bewarna hijau (*chlorophyll*) yang juga berfungsi sebagai katalisator dalam proses fotosintesis (Steenblock 2000). *Chlorella* oleh Bold dan Wynne (1985) dikategorikan ke dalam kelompok alga hijau yang memiliki jumlah genera sekitar 450 dan jumlah spesies lebih dari 7500. Nama alga hijau diberikan karena kandungan zat hijau (*chlorophyll*) yang dimilikinya sangat tinggi, bahkan melebihi jumlah yang dimiliki oleh beberapa tumbuhan tingkat tinggi.

Bentuk umum sel-sel *Chlorella* adalah bulat atau elips (bulat telur), termasuk fitoplankton bersel tunggal (*unicellular*) yang soliter, namun juga dapat dijumpai hidup dalam koloni atau bergerombol. Diameter sel umumnya berkisar antara 2-12 mikron, warna hijau karena pigmen yang mendominasi adalah klorofil (Bold 1980).



Gambar 2.3 *Chlorella Vulgaris*

(Sumber : Choopani, *et.al*, 2016)

2.2.9. **Penghambatan Korosi akibat Organisme atau Bio-Fouling**

Fouling terjadi saat struktur atau kapal yang terendam secara terus menerus dalam kurun waktu yang tidak terlalu lama. Fouling umumnya terjadi ketika kapal dalam kondisi stasioner (artinya tidak bergerak), sehingga untuk struktur atau bangunan yang terendam air secara terus menerus dengan tidak bergerak akan membuat tempat berkembang biak bagi organisme fouling dengan

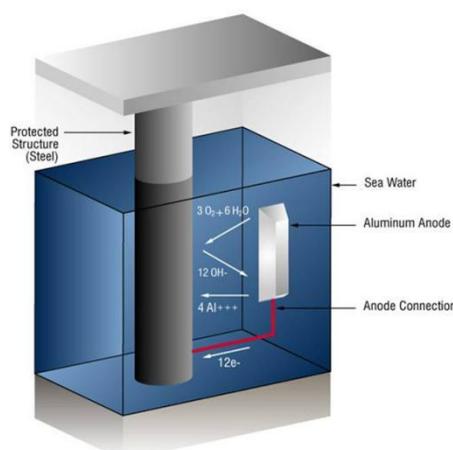
cepat, hal ini merupakan makanan dan tempat tinggal bagi organisme laut. Fouling tidak terjadi pada bawah lambung kapal saja tetapi dapat menyerang structure atau material lain yang terendam air secara terus menerus tanpa adanya pencegahan.

Sebenarnya kata menghambat akan lebih masuk akal dalam pembahasan kali ini, karena *bio-fouling* akan terus terjadi selama faktor - faktor pemicu yang berpotensi masih ada. Oleh karena itu, ada beberapa cara untuk menghambat pertumbuhan korosi pada struktur-struktur yang membutuhkan, diantaranya :

2.2.10. Sacrificial Anodes

Penghambatan laju korosi dengan cara ini sudah umum dilakukan didunia teknik dan perindustrian. Penggunaan anoda korban untuk sistem pengendalian korosi dapat berbentuk lapisan di seluruh permukaan logam seperti pada baja yang digalvanisasi atau ditempel secara menyebar. Anoda yang ditempelkan akan menyebabkan distribusi arus tidak merata pada permukaan logam yang dilindungi.

Anoda yang dipasang bersifat lebih anodik dari logam yang dilindungi, karena logam anodik akan terkorosi lebih dahulu. Pemilihan anoda korban didasarkan pada konduktivitas lingkungan. Logam yang umum digunakan sebagai anoda korban adalah Zinc, Aluminium dan Magnesium.



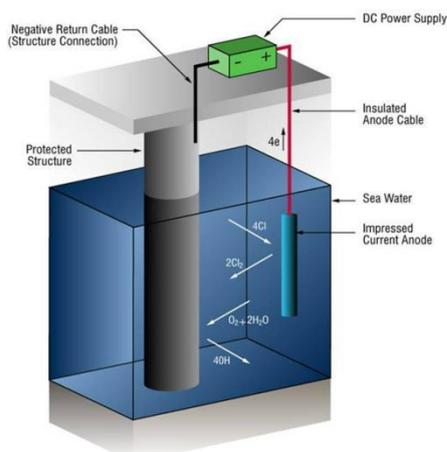
Gambar 2.4 Sistem Anoda Korban

Sumber : Pertamina RU IV

2.2.11. ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*)

Impressed Current adalah metode perlindungan katodik dengan menggunakan sumber arus listrik dari luar. Berbeda dengan anoda korban, jenis anoda yang digunakan oleh system impressed current adalah anoda dengan nilai potensial logam jauh lebih positif dari logam yang dilindungi. Sebisa mungkin anoda impressed current tidak terdegradasi. Jadi anoda ini hanya berfungsi sebagai *auxiliary anode* atau anode pelengkap sebuah sel korosi. Walaupun secara teori tidak terdegradasi, namun pada kenyataannya tetap saja electron yang mengalir pada pipa tetap disuply dari anoda impressed current. Anode system ICCP ini dapat berbentuk batangan tubular dari berbagai material khusus, seperti: high silicon cast iron, grafit, campuran logam oksida, platina dan niobium. Metode ini biasanya digunakan untuk mem- proteksi fasilitas -fasilitas yang besar.

Metode ICCP harus dihubungkan dengan arus listrik DC, jika arus listrik nya AC maka harus dihubungkan dengan rectifier (penyearah arus) arena fungsi dari sumber listrik DC ini adalah untuk mengarahkan elektron yang teroksidasi dari anode menuju ke logam yang dilindungi sehingga logam tersebut tidak mudah untuk teroksidasi (korosi) karena kehilangan elektronnya.

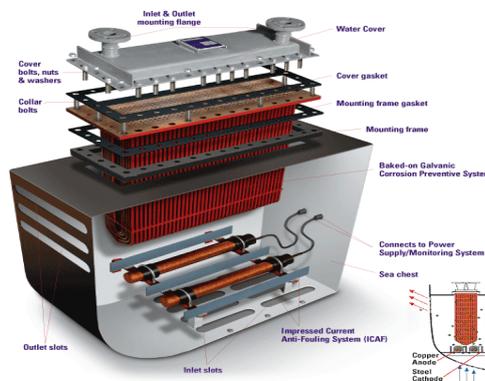


Gambar 2.5 Sistem Arus Paksa

(Sumber : Data Penulis)

2.2.12. ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*)

Pada umumnya, cara kerja *ICAF* dengan *ICCP* sangat serupa, namun perbedaan terletak pada tempat aplikasi dari *ICAF* ini yaitu pada daerah lambung kapal, sistem pendingin kapal, jaringan pipa – pipa yang rawan terserang korosi akibat dari organisme, terutama mikroorganisme. *ICCP* lebih berfokus pada korosi akibat selain dari organisme hidup pada dasarnya.



Gambar 2.6 Ilustrasi ICAF pada sistem pendingin di Seachest Kapal (<http://marinebearings.com.au/product/duramax-boxcoolers/>, diakses 15 September 2019)

Gambar diatas merupakan gambar umum dari ICAF. Anoda yang terletak dibawah *coolertubes* dialirkan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik pada suatu kapal melalui kabel yang terpasang. Intinya adalah karena anoda – anoda tersebut akan mengeluarkan ion – ion untuk membunuh segala jenis *fouling* yang masuk dari *inlet* kapal, sehingga tidak membuat *cooler tubes* pada *sea chest* kapal terjangkit *fouling*.



Gambar 2.7 Anoda Tembaga

(<https://evac.com/solutions/marine-growth-prevention/technology/>, diakses 15 September 2019)

Kebutuhan Arus pada ICAF sebagai Proteksi Pada sistem ICAF yang akan memberikan proteksi terhadap plat yang akan dilindungi diperlukan kebutuhan arus yang akan menyuplai ke tiap anoda dan katoda yang terpasang. Arus tersebut disebut sebagai arus proteksi. Besarnya arus tersebut dapat dihitung dengan rumusan (Chandler, 1985)

$$I_p = Ax \frac{cd}{1000} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

I_p : Kebutuhan arus proteksi (A)

A: Luas penampang bagian yang dilindungi (m^2)

Cd: Densitas arus minimum (mA/m^2)

2.2.13. Perhitungan Colony Forming Unit

1. Menggunakan Kamar Hitung (Counting Chamber)

Perhitungan ini dapat menggunakan hemositometer. Peteroff Hauser Bacteria Counter atau alat-alat lain yang sejenis. Dasar perhitungannya ialah dengan menempatkan satu tetes suspense bahan atau biakanmikroba pada alat tersebut ditutup dengan gelas penutup kemudian diamati dengan mikroskop yang perbesarannya tergantung pada besar kecilnya mikroba. Dengan menentukan jumlah sel rata-rata tiap petak (ruangan) yang telah diketahui volumenya, dari alat tersebut dapat ditentukan jumlah sel mikroba tiap cc.



Gambar 2.8 *Neubauer Improved*

Sumber : Dokumen Penulis

Prinsip dari perhitungan Petroff-Hauser yaitu melakukan perhitungan dengan pertolongan kotak-kotak skala, di mana dalam setiap ukuran skala seluas 1 mm² terdapat 25 buah kotak besar dengan luas 0,04 mm², dan setiap kotak besar terdiri dari 16 kotak kecil. Alat haemocytometer digunakan di bawah mikroskop, sisinya mempunyai ukuran 0,05 mm. Sedangkan satu kotak sedang berukuran nilai 0,2 mm. Dan tebal nya adalah 0,1 mm. Jumlah sel per mL sampel dapat dihitung sebagai berikut:

1. Jumlah sel dalam 25 kotak besar = Jumlah sel per kotak besar × 25 kotak

2. Jumlah sel per mm³ sampel = Jumlah sel dalam 25 kotak besar × (1/0,02)

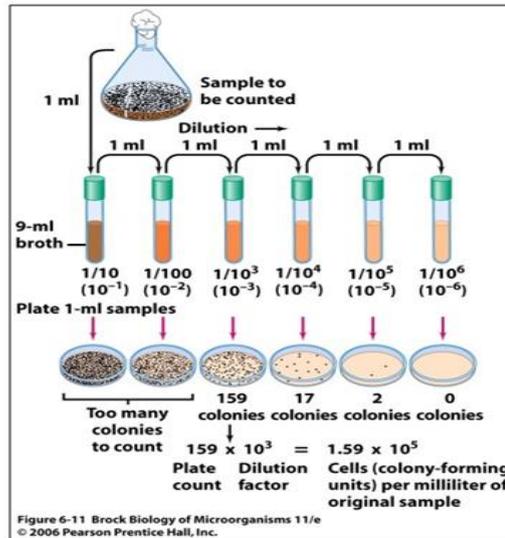
3. Jumlah sel per ml sampel = Jumlah sel per mm³ sampel × 10³

4. Jumlah sel per ml sampel = Jumlah sel per kotak besar × 25 kotak × 50 × 10³

$$. Rata - rata Sel = \frac{Jumlah\ Sel\ Terlihat}{5\ Kotak} \dots\dots\dots(2.2)$$

2. Menghitung Dengan Metode Cawan

Prinsip metode ini adalah sel mikroba yang masih hidup ditumbuhkan padamedia agar padat, maka sel mikroba tersebut akan berkembangbiak dan membentuk koloni yang dapat dilihat langsung dengan mata tanpa mikroskop. Sebaiknya jumlah koloni mikroba yang tumbuh dan dapat dihitung berkisar antara 30-300 koloni. Metode cawan dengan jumlah koloni yang tinggi (>300) sulit untuk dihitung sehingga kemungkinan kesalahan perhitungan sangat besar.



Gambar 2.9 Skema *Colony Forming Unit*

Pengenceran sampel membantu untuk memperoleh perhitungan jumlah yang benar, namun pengenceran yang terlalu tinggi akan menghasilkan jumlah koloni yang rendah/menghancurkan koloni. Metode perhitungan cawan merupakan cara yang paling sensitif untuk menghitung jumlah mikroba.

Keuntungan:

- a) Hanya sel yang hidup yang dapat dihitung.
- b) Beberapa jenis mikroba dapat dihitung sekaligus.
- c) Digunakan untuk isolasi & identifikasi mikroba

Kerugian:

- a) Hasil perhitungan tidak menunjukkan jumlah sel mikroba yang sebenarnya karena beberapa sel yang berdekatan membentuk satu koloni.
- b) Media dan kondisi yang berbeda menghasilkan nilai yang berbeda pula.
- c) Mikroba yang tumbuh harus pada media padat dan membentuk koloni yang kompak, jelas serta tidak menyebar.
- d) Memerlukan persiapan dan waktu inkubasi beberapa hari sehingga pertumbuhan koloni baru dapat dihitung

Rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah mikroorganisme dengan metode ini cukup singkat, yaitu :

$$\text{Jumlah Organisme} = \frac{\text{Jumlah Koloni pada Cawan}}{\text{Faktor Pengenceran}} \dots\dots\dots 2.3)$$

Keterangan :

- Satuan dari jumlah organisme : CFU/ml atau CFU/gr

2.2.14. Anoda Proteksi

Menentukan besar dan jenis dari anoda proteksi disesuaikan dengan jangka waktu proteksi yang direncanakan. Untuk itu digunakan rumusan sebagai berikut, (Gurrappa, 2004)

$$L = \frac{(W_o \times u) - W}{I \times C} \dots\dots\dots 2.4)$$

Dimana :

L : Anode Life Time (Y)

W_o : Berat Awal Anoda (kg)

W : Berat Akhir Anoda (kg)

u : Utilization Factor : 0.8 – 0.9

I : Arus yang mengalir pada anoda (A)

C : *Anode Consumption Rate* (kg/A.Y)

Anode Consumption Rate adalah berat anoda yang hilang akibat adanya aliran arus listrik dalam setahun. Laju konsumsi anoda tergantung dari jenis anoda yang digunakan.

Tabel 2.1 Konsumsi Anoda Rata-rata

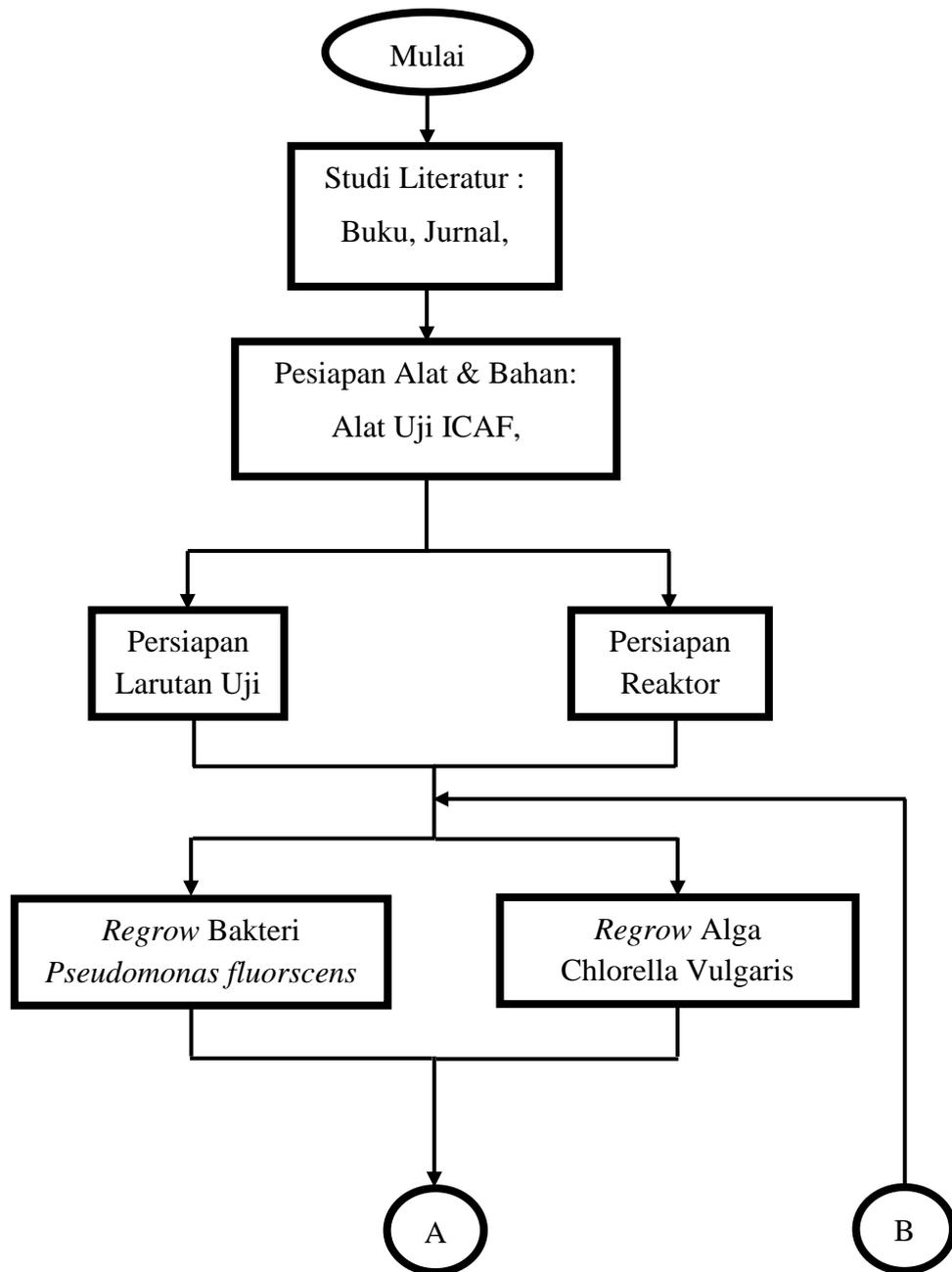
Platiniz Metals	6 - 8,6 x 10⁻⁶
Mild Steel	9 - 10
Ferrosilicon	0.25
Copper	11 - 12
Alumunium	11 – 11.5
Zinc	3.6

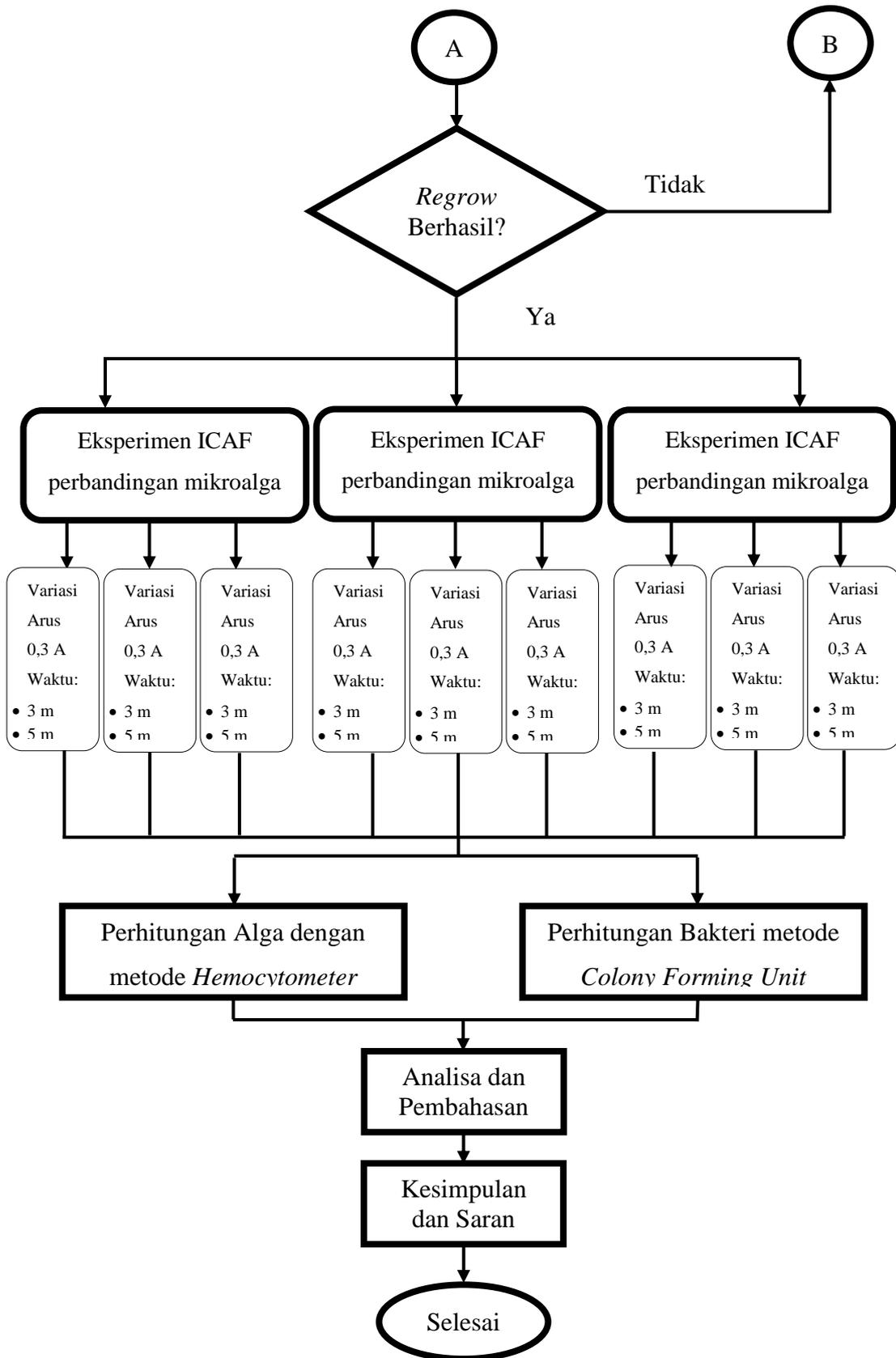
(Gurrappa, I [2004], *Chatodic Protection of Cooling Water System and Selection of Appopriate Material. Material Processing Technology 166 (2005) 255 – 267*)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis mengikuti langkah-langkah sesuai dengan flowchart pada gambar di bawah ini:





Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Dari diagram diatas, maka dapat diuraikan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir sebagai berikut:

3.2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari referensi berupa paper, jurnal, tesis, codes dan literatur lain yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diteliti pada Tugas Akhir ini.

3.2.2. Persiapan Alat dan Bahan Eksperimen

Untuk melakukan suatu penelitian, diperlukan peralatan untuk membantu prosedur penelitian yang tersedia dan bahan sebagai objek atau subjek.

- ❖ Alkohol 70%
- ❖ *Label Name*
- ❖ *Lampu Artificial*
- ❖ Mesin Aerator
- ❖ Gelas Ukur
- ❖ *Erlenmeyer tube 1000 ml*
- ❖ *Micro Pipet*
- ❖ Tisu
- ❖ Gunting
- ❖ *Auto clave device*
- ❖ Alat centrifuge
- ❖ Tabung centrifuge
- ❖ Mikroskop
- ❖ Korek api
- ❖ Bunsen
- ❖ Kertas coklat
- ❖ Kapas lemak
- ❖ Spektrofometer
- ❖ *Breaker glass 2000 ml*
- ❖ *Hemocytometer*
- ❖ Cawan Petri
- ❖ *Incubator*
- ❖ *Spatula*
- ❖ Alat ICAF Sederhana

Setelah mempersiapkan peralatannya, selanjutnya bahan-bahan yang harus disiapkan juga antara lain:

- ❖ Pelat tembaga ukuran 15 cm x 15 cm x 1 cm
- ❖ Air Laut 35 ppt
- ❖ Baja HSLA Grade AH 36 ukuran 15 cm x 15 cm x 1 cm
- ❖ Mikroalga *Chlorella vulgaris*
- ❖ Bakteri *Pseudomonas Fluorescens*
- ❖ NA (Natrium Agar)
- ❖ NB (Natrium Broth)

Dalam eksperimen ini, material yang dipakai sebagai contoh dari plat kapal adalah baja HSLA AH -36 dengan ukuran tertentu sesuai kebutuhan. Pemotongan baja jenis ini harus dalam perlakuan dingin atau 30 jika baja ini dalam proses pemotongan terkena panas yang berlebih maka akan mengalami kerusakan.

3.2.3. Persiapan Larutan Uji

Larutan uji yang digunakan adalah larutan yang memiliki karakteristik yang sama dengan air laut pada umumnya dengan salinitas 3,5%, karena pada *cooling system* kapal pada umumnya terletak pada lambung kapal yang berada pada kedalaman yang termasuk dangkal.



Gambar 3.2 Larutan air laut 35 ppt

Sumber : Dokumen Penulis

3.2.4. Persiapan Reaktor

Reaktor yang digunakan akan disesuaikan dengan ukuran anoda dan katoda agar keduanya cukup untuk dimasukkan kedalam wadah reaktor tersebut.



Gambar 3.3 Reaktor Uji ICAF

Sumber : Dokumen Penulis

3.2.5. Pengembangbiakan Alga

Mikroalga yang digunakan dalam studi ini adalah *Chlorella Vulgaris*. Tahap pertama dalam persiapan mikroalga kali ini ialah menumbuhkan mikroalga tersebut dalam skala laboratorium. Pertama-tama peralatan yang diperlukan antara lain:

1. Tabung *Erlenmeyer* yang sudah diberi kapas lemak dan dibalut dengan kapas steril dimasukkan kedalam *autoclave* dengan suhu 141°C dengan tekanan 1.1 atm selama 2 jam untuk proses pensterilan wadah
2. Setelah steril itu mikroalga dicampur dengan media air laut dengan perbandingan 40:60 untuk *Chlorella vulgaris* dengan tujuan untuk mencari perbandingan yang paling baik dengan perbandingan 40 mikroalga dan 60 media. Pencampuran keduanya juga dilakukan pada alat Laminar air flow yang menjaga kesterilan media pada proses inokulasi keduanya juga membutuhkan vitamin guna mempercepat pertumbuhan mikroalga (masing-masing 1 mL walne dan 1 mL vitamin B12)



Gambar 3.4 Vitamin pengembangbiakan Alga

3. Setelah ditambahkan vitamin lalu dimasukkan selang aerator untuk mengaduk vitamin dan aerator untuk sumber udara yang dikeluarkan. Setelah itu ditutup lagi dengan kapas lemak, kasa steril dan aluminium foil supaya tidak ada mikroorganisme lain yang masuk kedalam wadah uji dan juga memberikan udara kedalam tabung *Erlenmeyer*. Masa pertumbuhan mikroalga biasanya berbeda-beda tergantung dengan tempat tumbuhnya, vitamin yang digunakan, kondisi pencahayaan nya yang baik jika ditumbuhkan dalam skala lab antara lain 6000-7000 lux diukur menggunakan lux meter, pH, dan juga suhu ruangan. Pada inokulasi *chlorella vulgaris* penulis menumbuhkan dengan perbandingan antara media dengan mikroalga yaitu 60:40.



Gambar 3.5 Pertumbuhan mikroalga *Chlorella Vulgaris*

Sumber : Dokumen Penulis

3.2.6. Pengembangbiakan Bakteri

Mikroalga yang digunakan pada penelitian kali ini ialah mikroalga *Chlorella vulgaris*. Pada mikroalga sendiri mempunyai fase dari mulai tumbuh hingga mati yang berbeda-beda. Biasanya sekitar 7 hari hingga 1 bulan

- 1) Tahap awal adalah menyiapkan bakteri induk dari *P. fluorescens*, NA Powder dan NB Powder. Lalu NA dan NB Powder ditempatkan pada wadah yang berbeda dan campurkan dengan aquades hingga merata. Setelah itu masukkan NA dan NB yang sudah menjadi larutan atau media ke dalam auto clave device untuk disterilkan agar bebas kontaminan selama 15 menit.

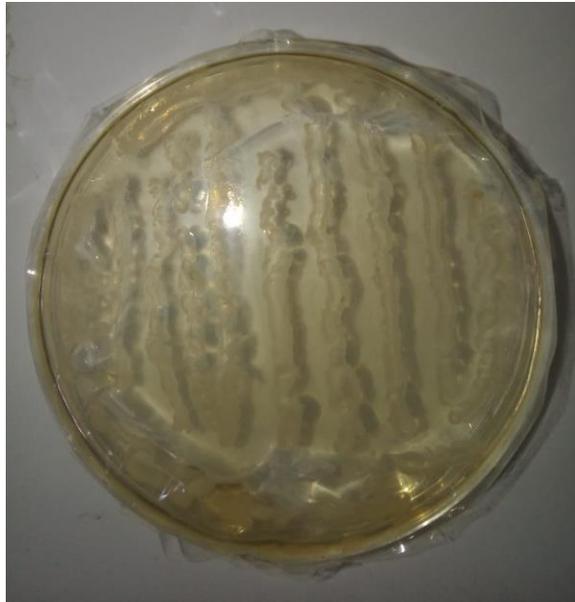


Gambar 3.6 *Nutrient Broth* cair

Sumber : Dokumen Penulis

- 2) Ambil media NA dan NB setelah 15 menit dan matikan auto clave device. Lalu panaskan jarum ose menggunakan bunsen sampai membara kemudian di angin anginkan 1 – 3 detik
- 3) Buka penutup pada tabung berisi bakteri induk lalu mulut dari tabung dilewatkan pada api sedikit.
- 4) Ambil ose bakteri induk dengan menggosok jarum pada bakteri induk secara lurus dan tidak ditekan karena akan merusak agar.
- 5) Setelah usai, dekatkan sesaat mulut tabung pada api lalu ditutup kembali dengan kapas lemak

- 6) Penutup pada media NA dibuka lalu dilewatkan api sesaat. Kemudian jarum ose yang mengandung bakteri digoreskan pada media NA dengan cara memasukan jarumnya sampai ujung tabung lalu keluarkan dengan cara zig – zag. Seusainya media NA dilewatkan pada api lalu ditutup kembali
- 7) Kemudian bakteri pada NA diinkubasi pada incubator selama 24 jam dengan suhu rata – rata 37o
- 8) Setelah 24 jam bakteri siap untuk dimasukkan kedalam media eksperimen tugas akhir



Gambar 3.7 Hasil pengembangbiakan Bakteri *Pseudomonas Fluorescens*

Sumber : Dokumen Penulis

3.2.7. Pengujian ICAF

Pengujian dilakukan dengan bakteri dan alga yang sudah aktif kedalam rektor yang sudah disiapkan dengan larutan air laut buatan sebagai elektrolitnya.

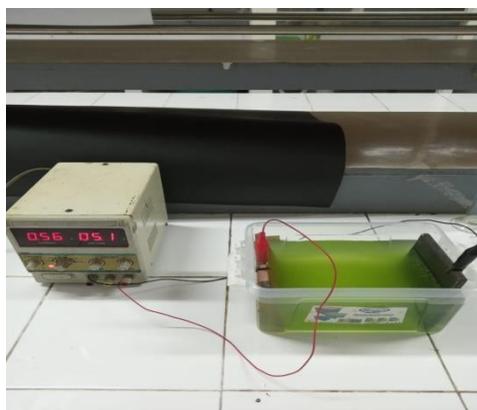
1. Siapkan alat ICAF sederhana beserta katoda dan juga anodanya dan dimasukan larutan uji (air salinitas)



Gambar 3.8 Alat ICAF Sederhana

Sumber : Dokumen Penulis

2. Siapkan gelas ukur steril untuk tempat mikroalga dan bakterinya sesuai konsentrasi yang diperlukan lalu masukan kedalam wadah tersebut.
3. Masukkan baja HSLA AH 36 sebagai katoda dengan tembaga sebagai anoda nya yang sudah terhubung dengan rangkaian listrik dari alat ICAF kedalam glass uji hingga tercelup air salinitas tapi tidak sampai full



Gambar 3.9 Sistem ICAF Sederhana

Sumber : Dokumen Penulis

4. Nyalakan arus listriknya dengan arus dimulai dari arus yang paling terkecil dahulu
5. Ulangi langkah 1 sampai 4 dengan memvariasikan arus listrik dan juga waktunya serta perbandingan konsentrasi kedua biofouling
6. Ambil sampling disetiap variasi waktu sekitar 30 ml masukan kedalam botol sampling.

7. Matikan arus listrik pada alat ICAF, jika sudah hitung konsentrasi mikroalga dan bakterinya.

3.2.8. Perhitungan Mikroalga dengan *Hemocytometer*

Perhitungan mikroalga nantinya akan dilakukan setelah mensaring bakteri yang telah tercampur pasca pengujian. Dan selanjutnya akan dilihat menggunakan Hemocytometer jumlah atau sisa dari mikroalga yang aktif

1. Siapkan sample hasil uji sekitar 10 ml dari botol sampling dengan mikroalga aktif yang sudah melalui variasi waktu dan arus listrik.
2. Siapkan peralatan-peralatan seperti hemocytometer *neubauer improved*, mikroskop, alkohol 70%, *cover glass* atau kaca preparat, *micropipette*, tip pipet, dan tisu.
3. Bersihkan *hemocytometer* dan juga kaca preparat dengan alkohol 70% untuk memastikan *hemocytometer* terbebas dari bakteri lain sebelum digunakan
4. Setelah itu, sample diambil dengan pipet lalu diteteskan ke kotak neubauer improved dan di tutup dengan kaca preparat agar lebih terlihat maksimal saat dimikroskop
5. Lalu setel mikroskop dengan perbesaran 100 kali (lensa objektif x lensa okuler) agar kamar hitung nya dapat terlihat dengan jelas



Gambar 3.10 Mikroskop Binokuler

Sumber : Dokumen Penulis

6. Hitung jumlah alga yang terlihat pada kamar hitung *Neubauer Improved* dengan catatan jika yang terlihat sel alga nya berwarna putih dan tidak bulat (pecah) tandanya alganya sudah tidak aktif atau mati, tetapi jika alganya masih berwarna hijau sel alganya masih hidup
7. Jumlah sel mikroalga yang sudah dihitung tadi dimasukan kedalam persamaan

3.2.9. Perhitungan Bakteri dengan metode *Colony Forming Unit*

Bakteri yang telah tersaring dari mikroalga selanjutnya akan dihitung jumlahnya dengan menghitung jumlah koloni bakteri tersebut setelah dimasukkan kedalam medium Nutrient Agar.

1. Disiapkan sampel hasil dari eksperimen pada variasi waktu dan arus tertentu sebanyak kurang lebih 30 ml
2. Disiapkan 2 cawan petri, micro pipet, media NA, bunsen, dan air steril pada 6 tabung reaksi yang berbeda, jika duplo maka siapkan 8 cawan
3. Lalu Masukkan sampel sebanyak 1 ml kedalam tabung reaksi dari pangkat terbesar, serta kocok hingga sampel tersebar merata. Kemudian masukkan 1 ml dari tabung reaksi tersebut ke tabung reaksi selanjutnya berpangkat pengenceran lebih kecil. (Setiap sebelum memasukkan pipet ke suatu tabung, pastikan dekati api terlebih dahulu tabung yang akan dimasukkan pipet agar steril)
4. Jika sudah sampai ke tabung terakhir, masukkan masing - masing 0,1 ml dari tabung reaksi berpangkat 10^{-6} kedalam 1 cawan petri. Lakukan hal yang sama terhadap tabung reaksi berpangkat 10^{-7} dan 10^{-5} (dengan tujuan mendapatkan masing - masing 2 hasil pengenceran 10^{-4} sampai 10^{-7} . Sebaiknya waktu antara dimulainya pengenceran sampai menuangkan ke dalam cawan petri tidak boleh lebih dari 30 menit
5. Kemudian, masukkan media NA ke dalam masing – masing cawan petri secara perlahan. Selama penuangan medium, tutup cawan tidak boleh dibuka terlalu lebar untuk menghindari terjadi kontaminasi dari luar. Setelah penuangan cawan petri segera digerakkan secara hati-hati agar sel-sel mikroba menyebar secara merata. Hal ini dilakukan dengan

gerakan melingkar atau gerakan seperti angka delapan, setelah agar memadat, cawan-cawan tersebut dapat diinkubasikan di dalam inkubator dengan posisi terbalik

6. Setelah padat, balikkan cawan petri tersebut agar larutan yang telah memadat tersebut menggantung, kemudian bungkus dengan kertas coklat dan dimasukkan kedalam incubator selama 24 jam untuk dilihat besoknya dengan *colony counter*
7. Sesudah 24 jam yaitu saatnya untuk melihat pertumbuhan bakteri dengan dihitung CFU atau jumlah koloni nya dengan colony counter. Cawan petri yang ingin dihitung banyak titik bakterinya diletakkan diatas wadah pada alat colony counter, kemudian dihitung dengan cara menekan secara perlahan cawan petri tersebut memakai ballpen yang jelas agar bisa menandai mana saja titik yang sudah ditanda dan yang belum. Setelah semua titik ditandai, colony counter akan menunjukkan berapa jumlah titik yang sudah ditanda.
8. Setelah itu bakteri dihitung dengan cara *Pour Plate Count*. Jumlah koloni pada tiap variabel yang sudah dihitung, diinput kedalam rumus pada persamaan (2.2). Lalu didapatkan perkiraan jumlah organisme yang memiliki satuan CFU/ml atau CFU/gr.

3.2.10. Analisa Data Eksperimen

Setelah eksperimen diatas telah dilakukan dan diketahui data hasil eksperimen, maka data-data tersebut dianalisa untuk menjawab rumusan masalah yang ada sebagai tujuan untuk memenuhi penelitian kali ini.

3.2.11. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap akhir dari penelitian Tugas Akhir ini dibutuhkan kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan diatas. Dengan adanya kesimpulan tersebut maka dapat disusun saran-saran yang baik dan membantu guna peningkatan kinerja dan sebagai referensi pada penelitian dan juga eksperimen yang akan dilakukan di masa datang.

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Penelitian pendahuluan

Uji Anti Fouling ini dilakukan dalam skala laboratorium yang mana bertempat di Laboratorium Remediasi Teknik Lingkungan ITS. Laboratorium Remediasi memfasilitasi penelitian untuk mengidentifikasi penyebab adanya pencemaran badan air dan mendesain sistem pengendaliannya serta upaya pemulihannya.. Studi literatur dan informasi dipersiapkan terutama dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Situbondo selaku penyedia mikroalga *Chlorella Vulgaris* dan bakteri *Pseudomonas Fluorescens* untuk awal penelitian.

4.2 Persiapan Alat dan Bahan

Tahap persiapan dalam uji dimulai dengan pensterilan wadah uji utama yaitu tabung *Erlenmeyer* untuk wadah media larutan air laut dan pembiakan bakteri, lalu untuk pembiakan mikroalga menggunakan wadah *Breaker Glass*. Wadah tersebut selanjutnya dibersihkan pakai tisu dengan menggunakan alcohol 70%. Selain itu alat-alat lain yang akan digunakan untuk bersentuhan langsung dengan mikroalga atau bakteri juga disterilkan dengan cara yang sama.

4.3 Persiapan Larutan Uji

Larutan uji yang digunakan adalah Air laut dengan Salinitias 35 ppt yang artinya dalam 1 [liter](#) (1000 mL) air laut terdapat 35 gram garam. Tabung Erlenmeyer ukuran 1000 ml dimasukkan 35 gram garam dan 1000 ml air suling ditutup dengan kapas lemak yang dibalut dengan kapas dan ditutup lagi dengan aluminium foil dan juga kertas minyak yang bertujuan untuk memastikan agar kandungan didalam wadah tersebut benar-benar steril. Selanjutnya tabung *Erlenmeyer* tersebut dimasukan kedalam *Autoclave* yang bersuhu 121°C dengan tekanan 1.1 atm selama kurang lebih 2 jam. (Dapat dilihat tabel pembagian volume pada lampiran 1)

Pembagian volume diperhitungkan sesuai dengan jumlah variasi yaitu meliputi perbandingan volume (ml) antara mikroalga dan bakteri 50% : 50% ; 25% : 75% ; 75% : 25%, Arus Listrik (A) 0,3 ; 0,5 ; 1, dan Waktu Running alat ICAF setelah dimasukkan sampling (menit) 3, 5, dan 10.

4.4 Pengembangbiakan Mikroalga *Chlorella Vulgaris*

Setelah steril mikroalga ditambahkan pada media yang mana pada penelitian kali ini peneliti memvariasikan perbandingan *Chlorella Vulgaris* antara inokulum dan media air laut tumbuh sebesar 40:60. Lalu ditambahkan juga pupuk pada media untuk merangsang pertumbuhan dari mikroalga tersebut berupa pupuk cairan Walne dan juga vitamin B1, B12 dan biotin sebanyak masing-masing 1 mL/L media kultur. Selama proses penambahan mikroalga dan pupuk tadi dilakukan harus secara steril yang mana dilakukan pada *Laminar Air Flow*. Kultur dikultivasi dengan penambahan aerasi menggunakan aerator selama 24 jam dan diberi pencahayaan menggunakan sinar artificial dengan rasio gelap : terang 12/12 (Maligan, dkk, 2015). Pengambilan sampel sebanyak 3 mL dilakukan setiap 24 jam sekali mengikuti pertumbuhan mikroalga sendiri.

Tabel 4.1 Tabel pengamatan uji laju pertumbuhan *Chlorella Vulgaris*

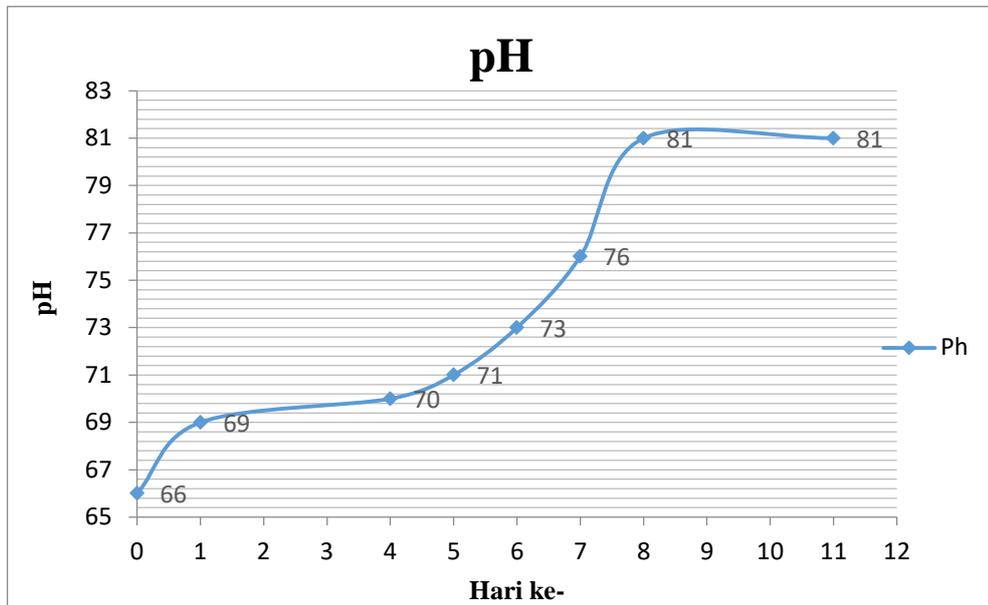
Hari ke-							
0	1	4	5	6	7	8	11
							

4.4.1. Uji parameter pertumbuhan *Chlorella Vulgaris*

Uji laju pertumbuhan pada penelitian kali ini berlangsung selama 11 hari dan parameter yang diuji antara lain pH, Suhu, Salinitas, nilai *Optical Density* dan jumlah sel. Uji laju pertumbuhan ini penting dilakukan mengingat

mikroalga harus mendapat penyesuaian diri dengan lingkungan barunya. Dibawah ini akan dijelaskan parameter-parameter tersebut.

4.4.1.1. Nilai pH

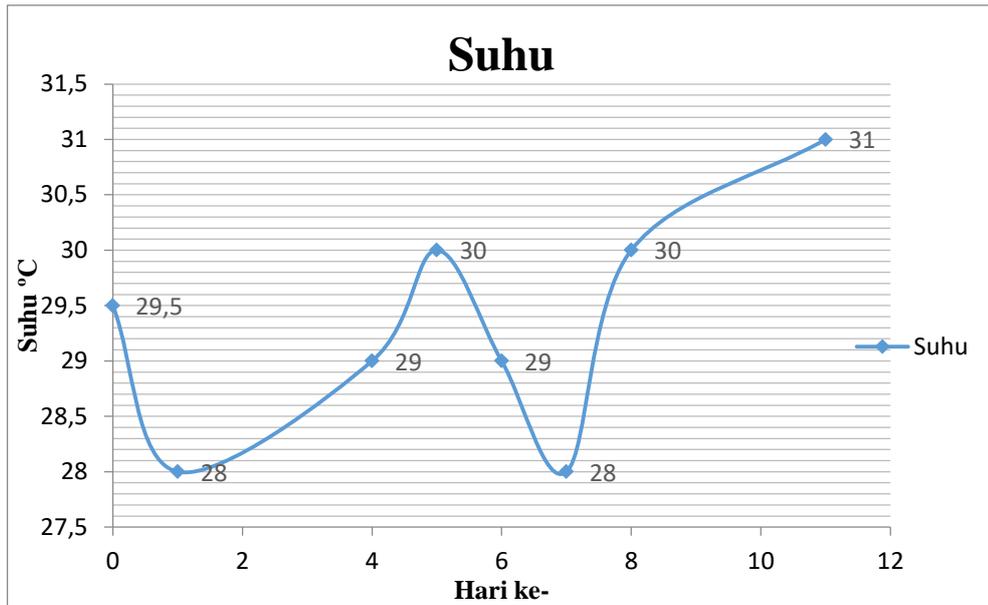


Gambar 4.1 Grafik pH *Chlorella Vulgaris*

4.4.1.2. Suhu

Disini suhu juga merupakan salah satu parameter yang harus dipenuhi jika ingin membiakan mikroalga dalam skala laboratorium. Dikarenakan pada suhu yang optimal mikroalga dapat berkembang biak secara baik dan metabolisme selnya baik fisik, kimia maupun biologinya dapat terpengaruh juga.

Peningkatan dan penurunan suhu hingga batas tertentu akan merangsang adanya aktifitas molekuler, meningkat dan menurunnya laju difusi dan juga laju fotosintesis (Sachlan 1982). Pada *chlorella vulgaris* suhu optimumnya berkisar antara 25-34°C dan atau 25-35°C (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995). Hasil pengukuran suhu yang dilakukan oleh peneliti didapatkan perubahan nilainya tidak terlalu signifikan. Dari hari 0 hingga hari ke 11 berkisar antara 31.2-32.5o C untuk *chlorella vulgaris*.



Gambar 4.2 Grafik Suhu *Chlorella Vulgaris*

4.4.1.3. Salinitas

Disini salinitas juga merupakan salah satu factor yang mendukung pertumbuhan mikroalga dalam skala laboratorium. Nilai salinitas yang optimal sendiri dibutuhkan untuk menjaga ketahanan membrane sel agar tidak mudah lisis (Prabowo, 2009). Pada *chlorella vulgaris* nilai salinitas yang optimal berkisar antara 25-35 ppt. Pada hasil penelitian selama 11 hari pada skala laboratorium menunjukkan bahwa setiap hari nilai salinitas *Chlorella Vulgaris* mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak signifikan.

Rata-rata nilai salinitas dari *chlorella vulgaris* sendiri adalah berkisar antara 37.3 – 39.5 psu. Disini didapatkan nilai salinitas yang cukup tinggi. Ini disebabkan karena gelembung pengaerasian pada wadah yang menyebabkan penguapan air laut yang digunakan.

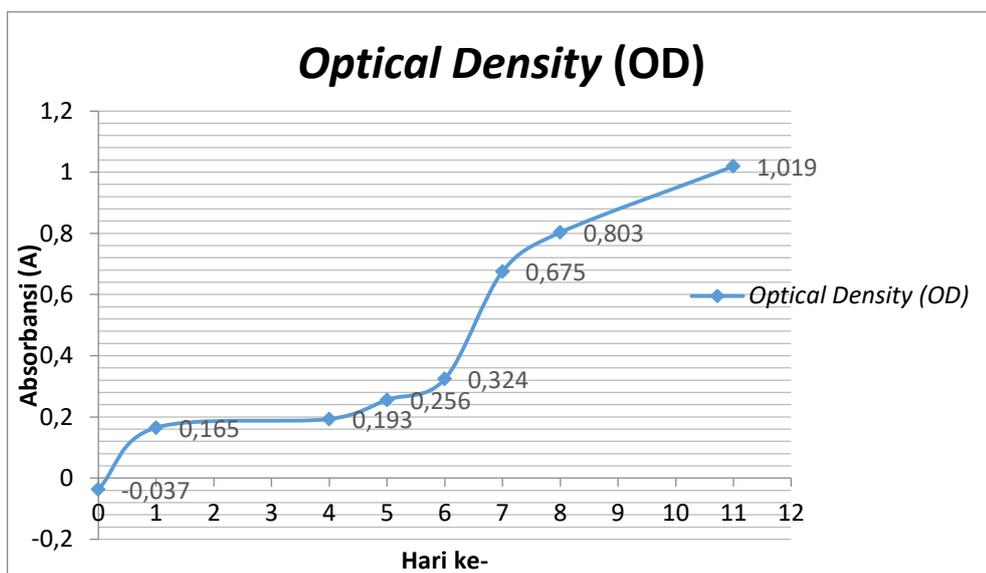
Namun disisi lain, kenaikan salinitas juga membawa dampak baik bagi proses kultur karena menurut penelitian-penelitian terdahulu salinitas yang lebih tinggi dapat meningkatkan kondisi stress pada mikroalga sehingga mampu menghasilkan zat-zat tertentu dalam kuantitas yang lebih besar serta lebih cepat (Takagi, et.al, 2006 ; Bosma dan Wijffels, 2003).

4.4.1.4. OD (Optical Density)

Pada uji laju pertumbuhan mikroalga juga diukur nilai *Optical density* nya. Tujuan mencari nilai OD pada mikroalga ini adalah untuk menunjukkan

nilai total dari jumlah mikroalga baik yang masih hidup dan juga yang mati. Tanpa menggunakan mikroskop, sel yang hidup maupun yang mati tidak dapat dibedakan dengan nilai OD ini. Hanya bisa mencari jumlah total dari sel mikroalga.

Pengukuran nilai OD dilakukan menggunakan *spectrophotometer* UV-VIS dengan panjang gelombang 600 nm (Kusuma dan Zulaika, 2014). Pada hasil penelitian penulis, nilai OD dari hari 0 hingga hari 11 mengalami peningkatan dikarenakan jumlah biomassa *Chlorella vulgaris* semakin banyak yang terbentuk (Widayat dan Hadiyanto, 2015).

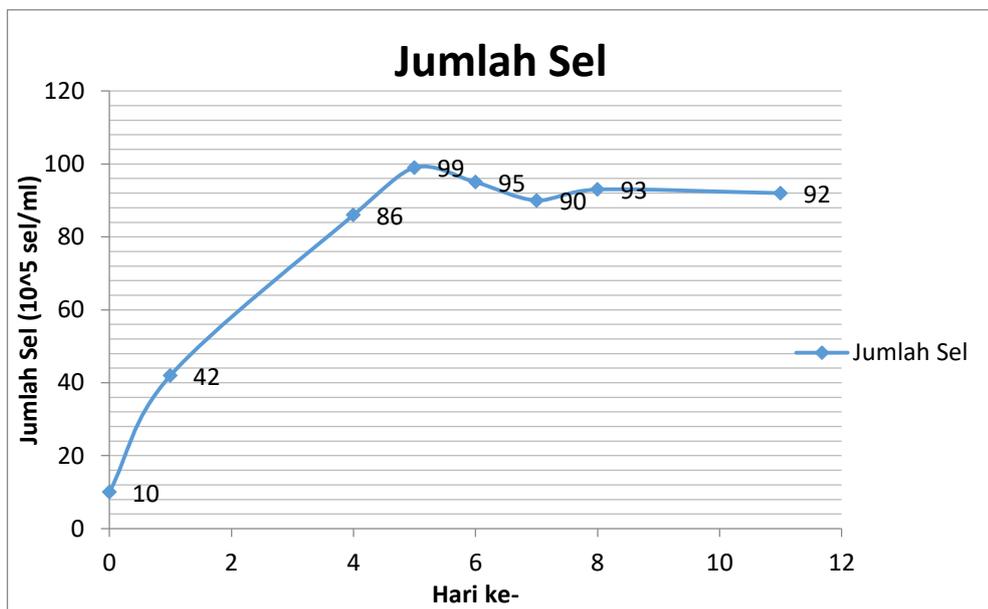


Gambar 4.3 Grafik *Optical Density Chlorella Vulgaris*

4.4.1.5. Jumlah Sel

Tujuan dari penghitungan jumlah sel mikroalga sendiri adalah untuk mengetahui jumlah sel yang masih bertahan pada media. Pada penelitian kali ini untuk membantu proses perhitungan jumlah sel hidup mikroalga menggunakan alat *Haemocytometer Neubauer Improved* dan juga mikroskop dengan perbesaran 100x (10x lensa objektif x 10x lensa okuler) dan atau 400x (40x lensa objektif x 10x lensa okuler) di Laboratorium Pengelolaan Sampah dan Limbah B3 Departemen Teknik Lingkungan ITS.

Setiap 24 jam sekali diambil sample untuk mengetahui perkembangan pertumbuhan sel. Pertama, bersihkan *Hemocytometer* menggunakan alcohol 70% kemudian diinjeksikan 1 mL mikroalga *Chlorella vulgaris* diatas *Hemocytometer* lalu tutup dengan kaca preparat untuk memperjelas. Pada penelitian kali ini, didapatkan jumlah sel dari 0 hingga hari ke 11 mengalami peningkatan. Pada grafik dibawah ini menunjukkan juga bahwa perubahan sel tidak mengalami perubahan secara signifikan sebelum fase stasioner. Pada penelitian kali ini juga diketahui *Chlorella vulgaris* telah memasuki puncak fase eksponensial pada hari ke 11.



Gambar 4.4 Grafik Jumlah Sel *Chlorella Vulgaris*

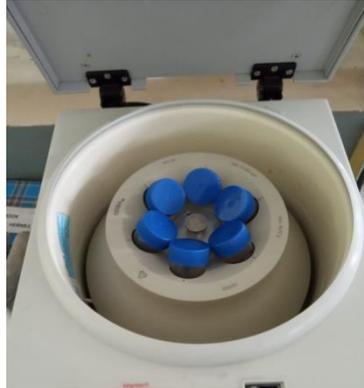
4.4.2. Pengembangbiakan Bakteri *Pseudomonas Fluorescens*

Tabel 4.2 Tabel Parameter Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas Fluorescens*

Parameters	pH	Suhu °C	OD (10 ⁵ sel/ml)
Nilai	71	35,7°C	1,12

Kisaran suhu pertumbuhan optimal 25-30°C dengan suhu pertumbuhan minimum 4°C dan maksimum 41°C. Ciri-ciri ini juga disesuaikan dengan

pustaka acuan (Krieg dan Holt, 1984). Uji pertumbuhan bakteri ini dengan melakukan pengocokan selama 5 jam pada mesin *Shaker*. Selama uji pertumbuhan bakteri, dilakukan pengamatan Optical Density (OD).



Gambar 4.5 Alat Centrifuge

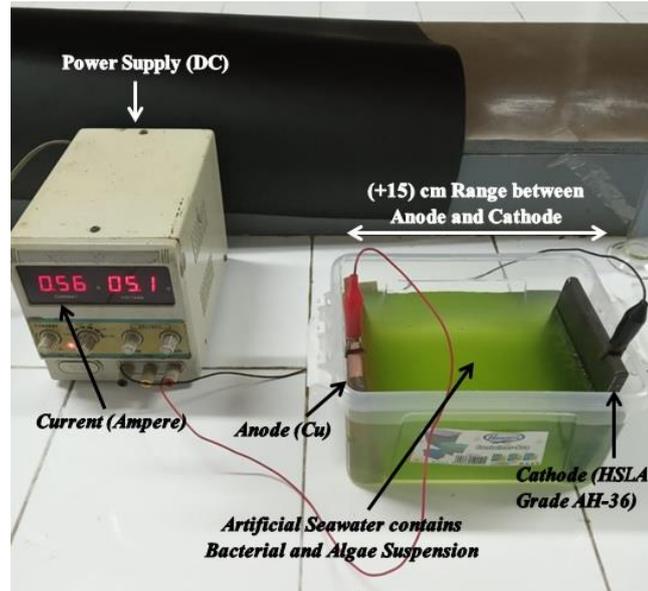
Sumber : Dokumen Penulis

Pengambilan sampel analisis pengamatan dilakukan setelah selesai *Shaker* dengan panjang gelombang 600 nm menggunakan spektrofotometer. Tahapan uji pertumbuhan *Pseudomonas Fluorescens* mengacu pada Deepali (2011) yang telah disesuaikan. Tahapan tersebut dapat dilihat pada Bab 3 Metodologi Penelitian.

4.5. Penelitian Utama

4.5.1. Hasil uji ketahanan *Chlorella Vulgaris* dan *Pseudomonas Fluorescens* dengan variasi arus dan waktu

Pada penelitian utama kali ini, peneliti melakukan percobaan pada Laboratorium Remediasi Departemen Teknik Lingkungan ITS. Peneliti menggunakan alat ICAF sederhana yang maksimal arusnya hanya sampai 1 Ampere saja. Katoda yang digunakan pada penelitian kali ini adalah baja AH 36 sebagai objek terlindung dan anodanya adalah tembaga (Cu) sebagai objek pelindungnya dengan ukuran masing-masing 15 cm x 15 cm x 1 cm. Pada uji yang pertama menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* bakteri *Pseudomonas Fluorescens* disiapkan masing-masing 675 ml inokulum pada *baker glass*.



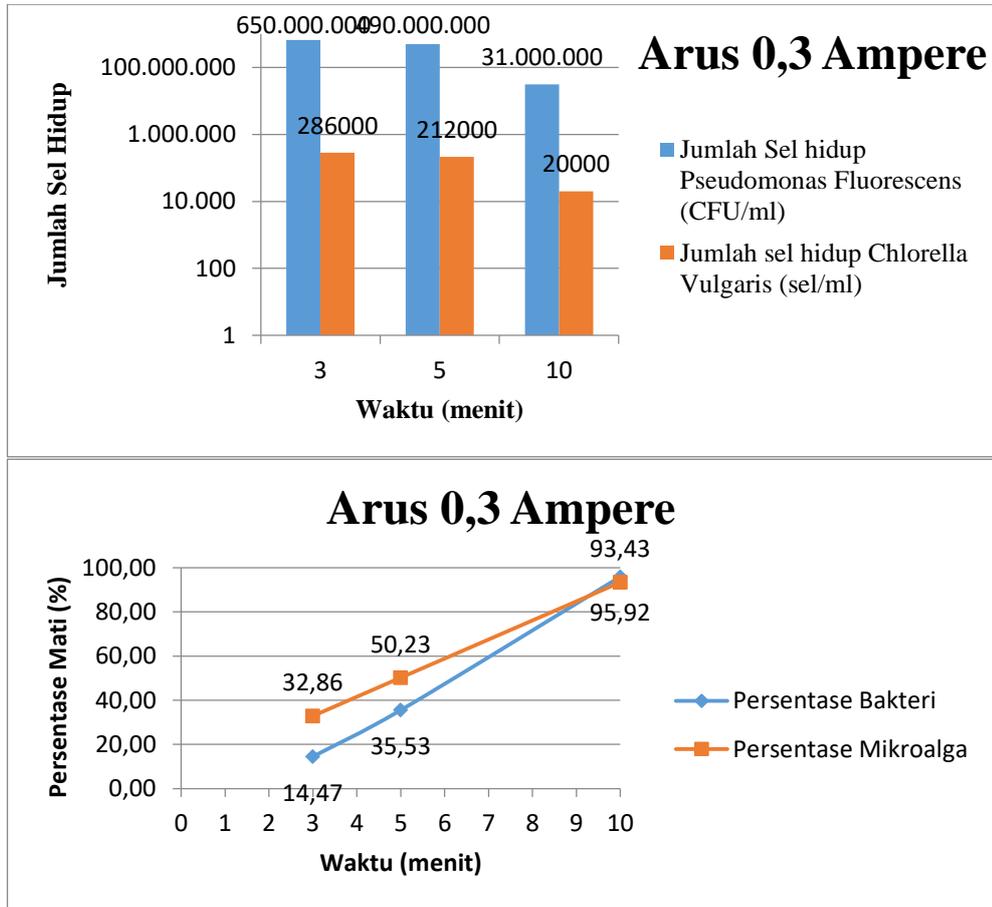
Gambar 4.6 Sistem ICAF Sederhana

Sebelum baja dan juga tembaga dimasukan terlebih dahulu diambil sample sebanyak 30 mL untuk nantinya dihitung jumlah sel awal dari *Chlorella vulgaris* sebelum terkena arus listriknya. Lalu setelah itu dimasukan baja dan juga tembaga sebagai katoda dan anodanya hingga setengah tercelup. Atur arus dan voltase dimulai dari yang paling kecil dahulu dan penelitian siap dijalankan.

4.5.2. Hasil Uji *Chlorella Vulgaris* 75% : 25% *Pseudomonas Fluorescens*

Perbandingan pertama dengan media air laut 1500 ml dengan penggabungan mikroalga 112,5 ml dan bakteri 37,5 ml. Jumlah sel awal mikroalga dihitung menggunakan *Hemocytometer* dan didapatkan jumlah sel nya sekitar 426×10^3 sel/ mL. Dan untuk bakteri dihitung menggunakan CFU didapatkan jumlah sel nya 76×10^7 CFU/ml.

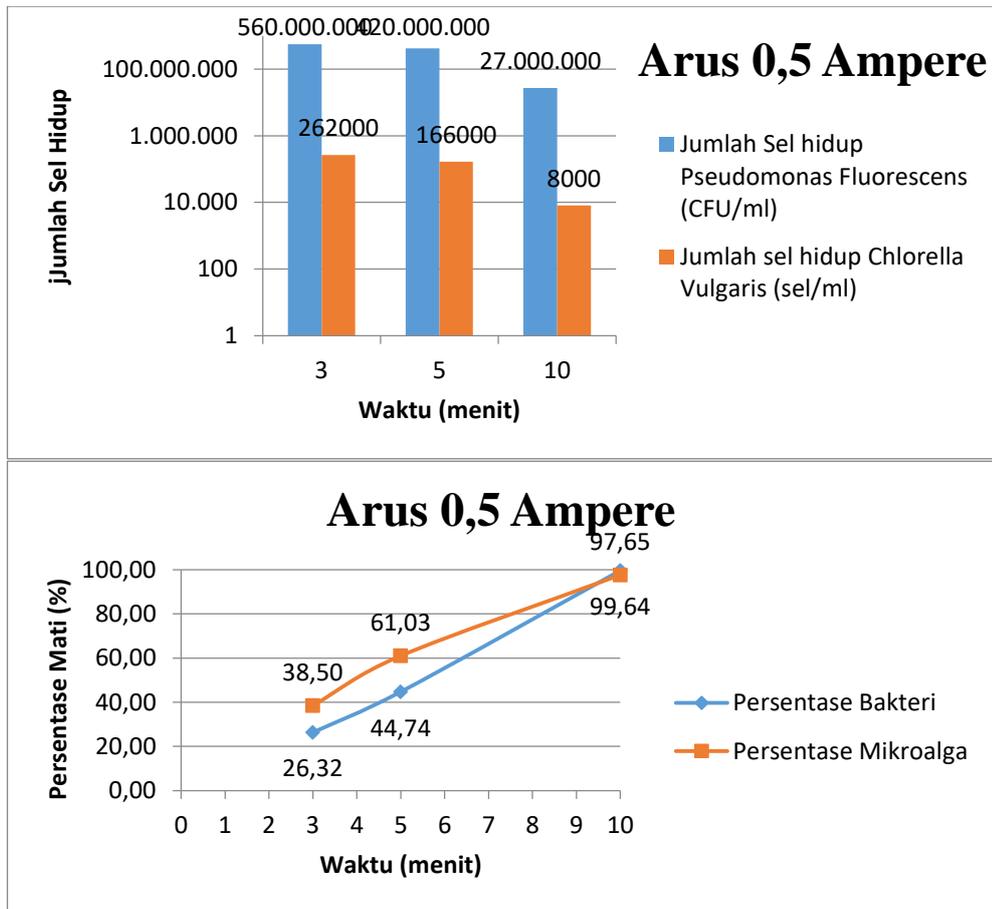
4.5.2.1. Hasil variasi arus 0,3 Ampere



Gambar 4.7 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,3 A

Dari pengujian yang telah dilakukan dengan variasi tersebut, sample diambil masing-masing sekitar 30 mL untuk setelah itu dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan untuk mikroalga adalah jumlah sel hidup terendah sebanyak 28×10^3 sel/ mL dalam waktu 10 menit dengan persentase 95,92 % mikroalga sudah mati. Dengan kematian meningkat drastis pada menit ke 5 sampai ke 10 hingga 43 % jumlah mikroalga diawal. Lalu untuk bakteri dari variasi arus listrik tersebut pengenceran berpangkat 10^{-6} dan 10^{-7} adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus diatas 30 dan dibawah 250. Jumlah koloni terbanyak ditunjukkan pada menit ke 3 dengan pengenceran 10^{-7} menunjukkan 65 titik koloni, sedangkan jumlah koloni terendah ditunjukkan pada menit ke 10 dengan pengenceran 10^{-6} sebanyak 31 titik koloni. Dengan kematian meningkat drastis pada menit ke 5 sampai ke 10 hingga 60 % jumlah bakteri diawal.

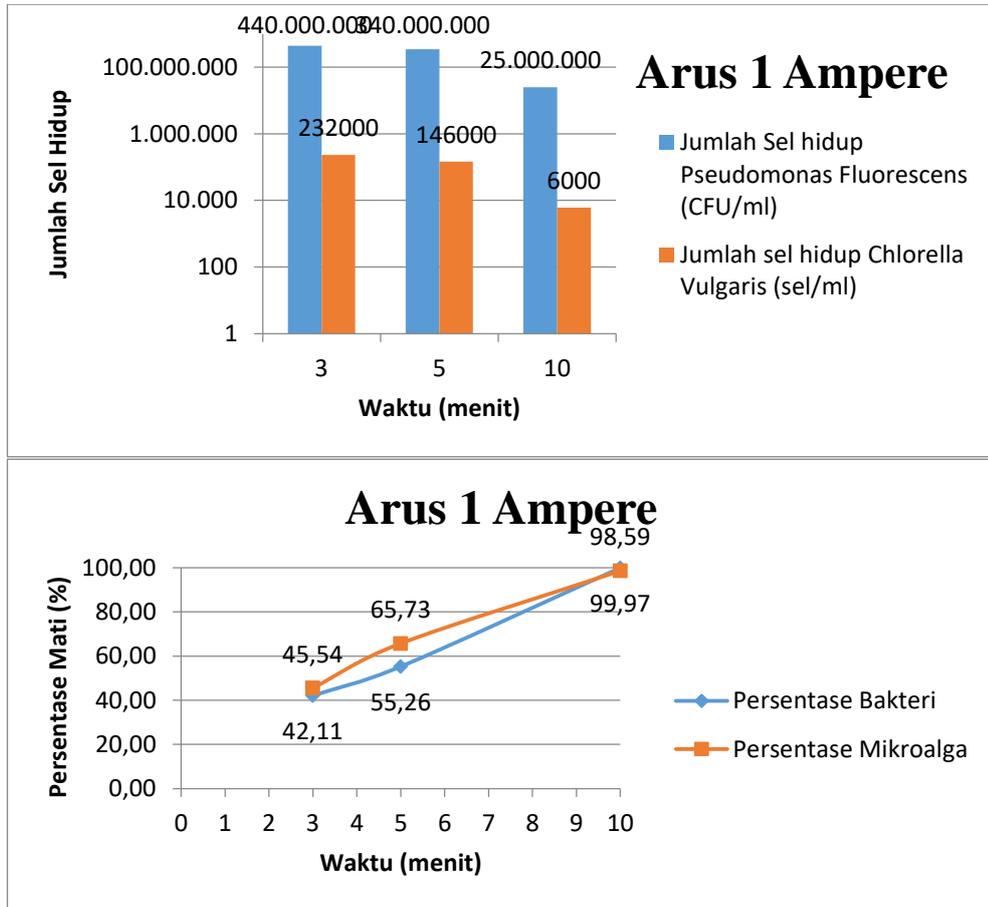
4.5.2.2. Hasil variasi arus 0,5 Ampere



Gambar 4.8 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,5 A

Dari pengujian yang telah dilakukan dengan variasi tersebut, sample diambil masing-masing sekitar 30 mL untuk setelah itu dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan untuk mikroalga adalah jumlah sel hidup terendah sebanyak 10×10^3 sel/ mL dalam waktu 10 menit dengan persentase 97,65 % mikroalga sudah mati. Dengan kematian meningkat drastis pada menit ke 0 sampai ke 3 hingga 32 % jumlah mikroalga diawal. Lalu untuk bakteri dari variasi arus listrik tersebut pengenceran berpangkat 10^{-5} dan 10^{-7} adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus diatas 30 dan dibawah 250. Jumlah koloni terbanyak ditunjukkan pada menit ke 3 dengan pengenceran 10^{-7} menunjukkan 56 titik koloni, sedangkan jumlah koloni terendah ditunjukkan pada menit ke 10 dengan pengenceran 10^{-5} sebanyak 27 titik koloni. Dengan kematian meningkat drastis pada menit ke 5 sampai ke 10 hingga 55 % jumlah bakteri diawal.

4.5.2.3. Hasil variasi arus 1 Ampere



Gambar 4.9 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 1 A

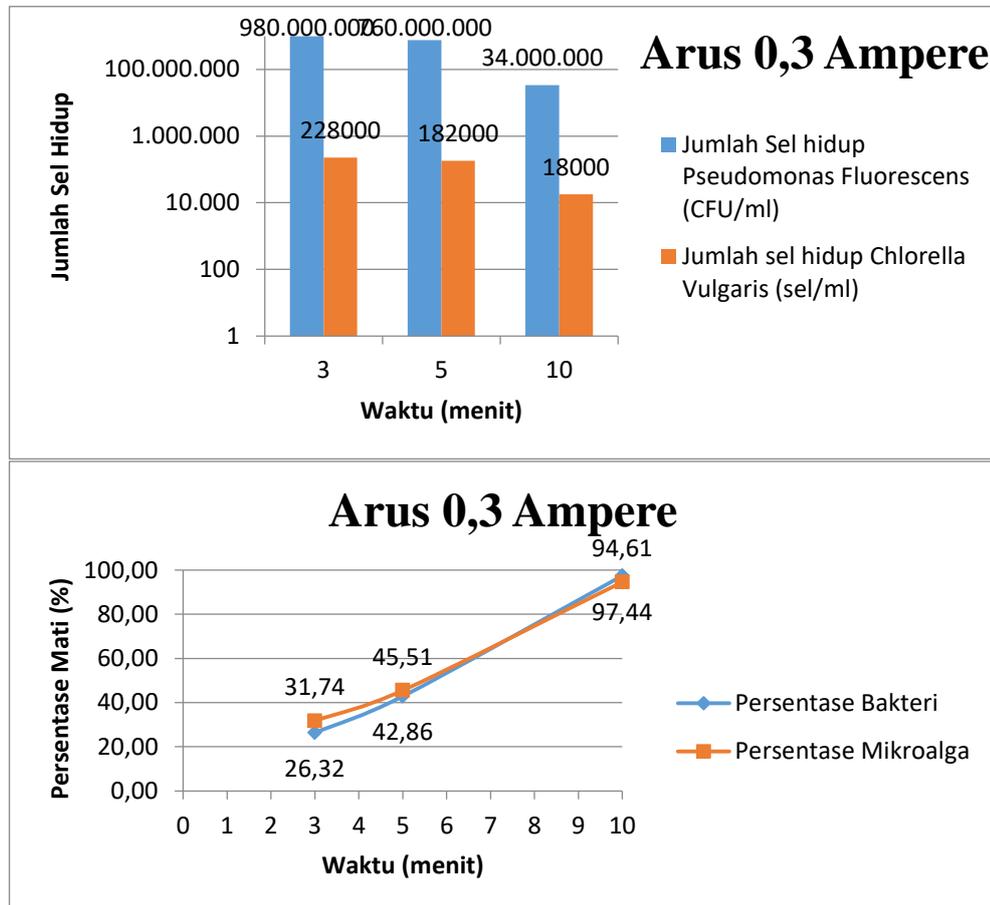
Hasil yang didapatkan untuk mikroalga adalah jumlah sel hidup terendah sebanyak 6×10^3 sel/ mL dalam waktu 10 menit dengan persentase 98,59 % mikroalga sudah mati. Dengan kematian meningkat drastis pada menit ke 0 sampai ke 3 hingga 45 % jumlah mikroalga diawal. Lalu untuk bakteri jumlah koloni terbanyak ditunjukkan pada menit ke 3 dengan pengenceran 10^{-7} menunjukkan 44 titik koloni, sedangkan jumlah koloni terendah ditunjukkan pada menit ke 10 dengan pengenceran 10^{-4} sebanyak 25 titik koloni. Dengan kematian meningkat drastis pada menit ke 5 sampai ke 10 hingga 44 % jumlah bakteri diawal.

4.5.3. Hasil uji *Chlorella Vulgaris* 50% : 50% *Pseudomonas Fluorescens*

Perbandingan kedua dengan media air laut 1500 ml dengan penggabungan mikroalga 75 ml dan bakteri 75 ml. Jumlah sel awal mikroalga

dihitung menggunakan *Hemocytometer* dan didapatkan jumlah sel nya sekitar 334×10^3 sel/ mL. Dan untuk bakteri dihitung menggunakan CFU didapatkan jumlah sel nya 133×10^7 CFU/ml

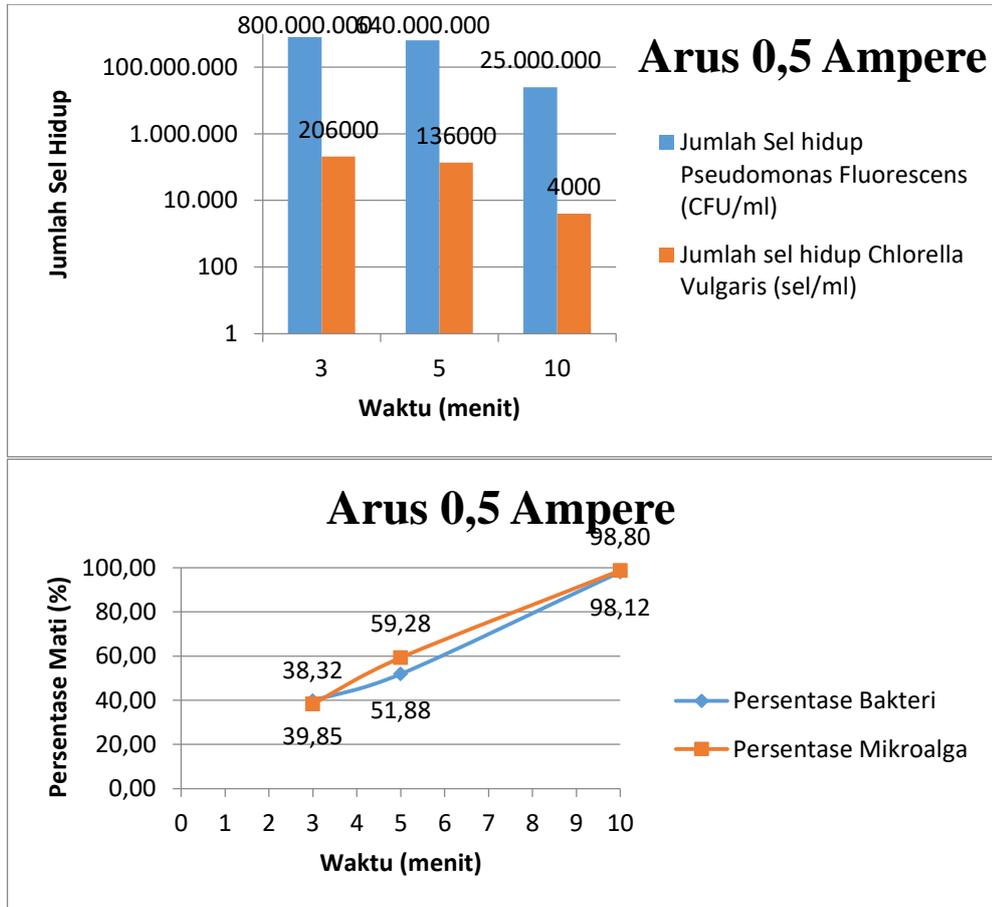
4.5.3.1. Hasil variasi arus 0,3 Ampere



Gambar 4.10 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,3 A

Dari pengujian yang telah dilakukan dengan variasi tersebut, hasil yang didapatkan untuk mikroalga adalah jumlah sel hidup terendah sebanyak 18×10^3 sel/ mL dalam waktu 10 menit dengan persentase 94,61 % mikroalga sudah mati. Dengan kematian meningkat drastis pada menit ke 5 sampai ke 10 hingga 49% jumlah mikroalga diawal. Lalu bakteri jumlah koloni terbanyak ditunjukkan pada menit ke 3 dengan pengenceran 10^{-7} menunjukkan 98 titik koloni, sedangkan jumlah koloni terendah ditunjukkan pada menit ke 10 dengan pengenceran 10^{-6} sebanyak 34 titik koloni. Dengan kematian meningkat drastis pada menit ke 5 sampai ke 10 hingga 55 % jumlah bakteri diawal.

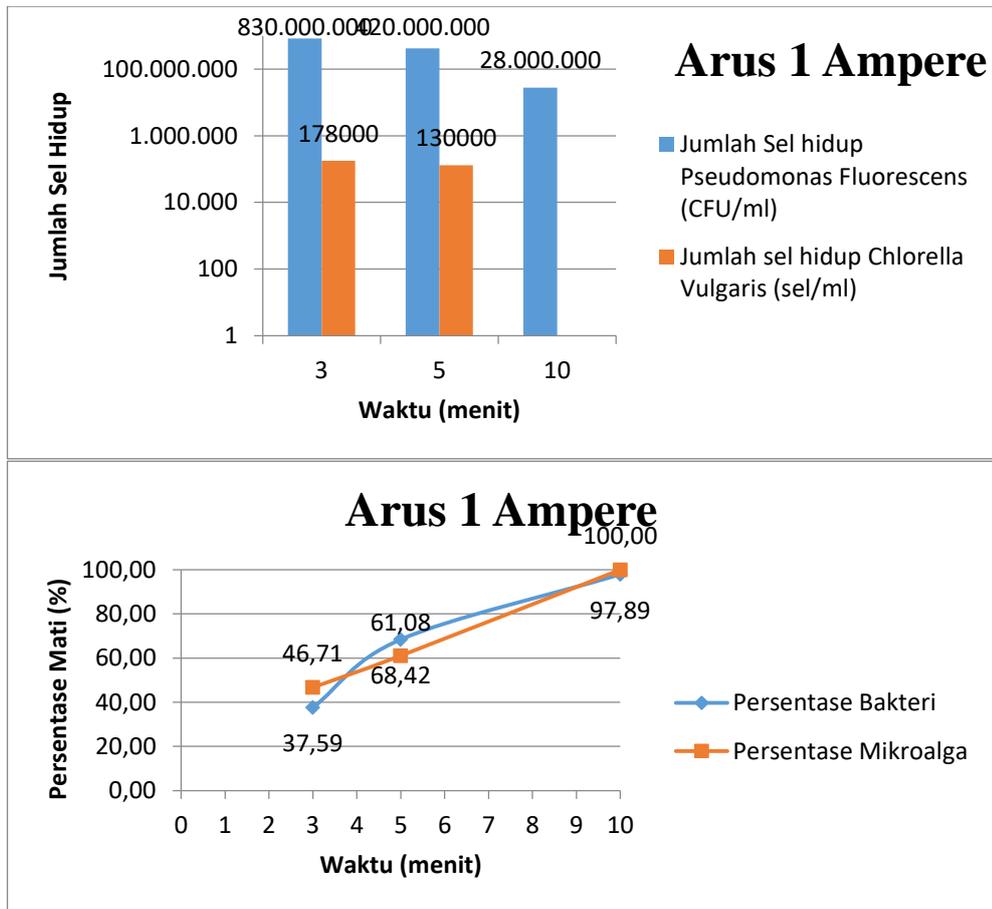
4.5.3.2. Hasil variasi arus 0,5 Ampere



Gambar 4.11 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,5 A

Dari pengujian yang telah dilakukan dengan variasi tersebut, sample diambil masing-masing sekitar 30 mL untuk setelah itu dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan untuk mikroalga adalah jumlah sel hidup terendah sebanyak 4×10^3 sel/ mL dalam waktu 10 menit dengan persentase 98,12 % mikroalga sudah mati. Dengan kematian meningkat drastis pada menit ke 0 sampai ke 3 hingga 47 % jumlah mikroalga diawal. Lalu untuk bakteri dari variasi arus listrik tersebut pengenceran berpangkat 10^{-6} dan 10^{-7} adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus diatas 30 dan dibawah 250. Jumlah koloni terbanyak ditunjukkan pada menit ke 3 dengan pengenceran 10^{-7} menunjukkan 80 titik koloni, sedangkan jumlah koloni terendah ditunjukkan pada menit ke 10 dengan pengenceran 10^{-6} sebanyak 25 titik koloni.

4.5.3.3. Hasil variasi arus 1 Ampere



Gambar 4.12 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 1 A

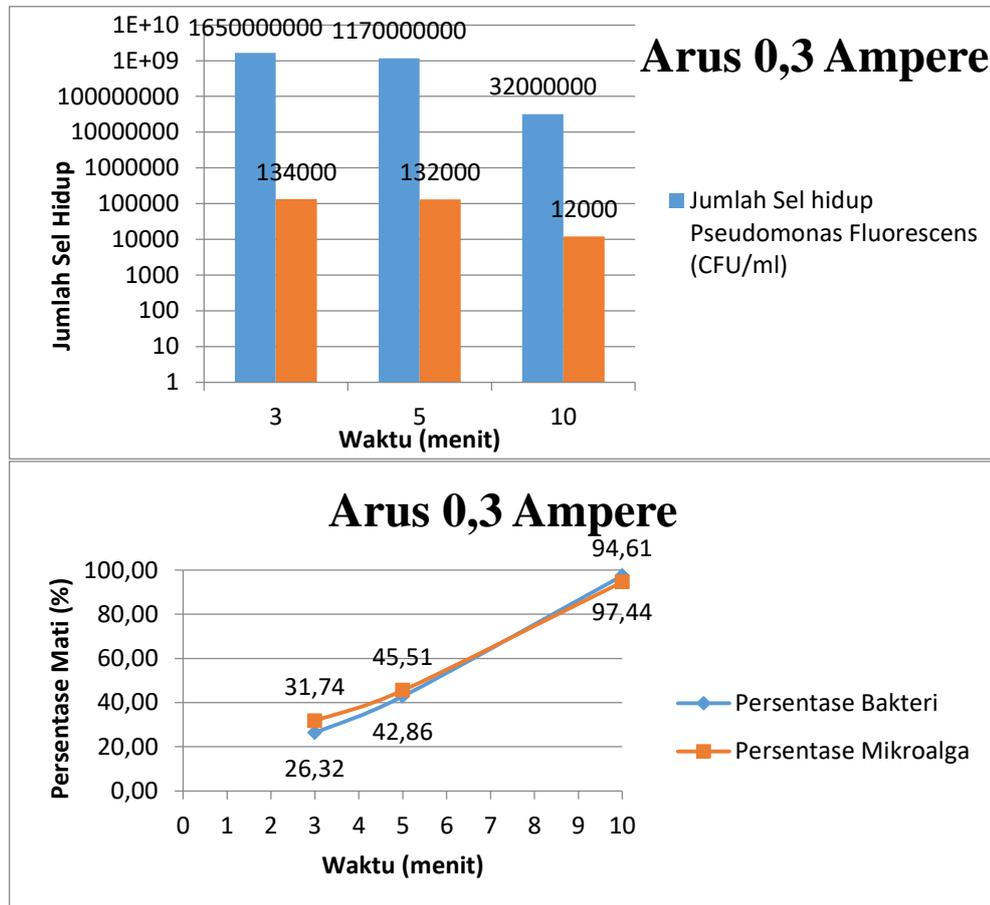
Dari pengujian yang telah dilakukan dengan variasi tersebut, sample diambil masing-masing sekitar 30 mL untuk setelah itu dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan untuk mikroalga adalah jumlah sel hidup terendah sebanyak 0 sel/ mL dalam waktu 10 menit dengan persentase 100 % mikroalga sudah mati. Lalu untuk bakteri jumlah koloni terbanyak ditunjukkan pada menit ke 3 dengan pengenceran 10^{-7} menunjukkan 83 titik koloni, sedangkan jumlah koloni terendah ditunjukkan pada menit ke 10 dengan pengenceran 10^{-6} sebanyak 28 titik koloni, dengan kematian meningkat secara linear pada setiap menitnya.

4.5.4. Hasil uji *Chlorella Vulgaris* 25% : 75% *Pseudomonas Fluorescens*

Perbandingan ketiga dengan media air laut 1500 ml dengan penggabungan mikroalga 37,5 ml dan bakteri 112,5 ml. Jumlah sel awal

mikroalga dihitung menggunakan *Hemocytometer* dan didapatkan jumlah sel nya sekitar 214×10^3 sel/ mL. Dan untuk bakteri dihitung menggunakan CFU didapatkan jumlah sel nya $20,9 \times 10^8$ CFU/ml.

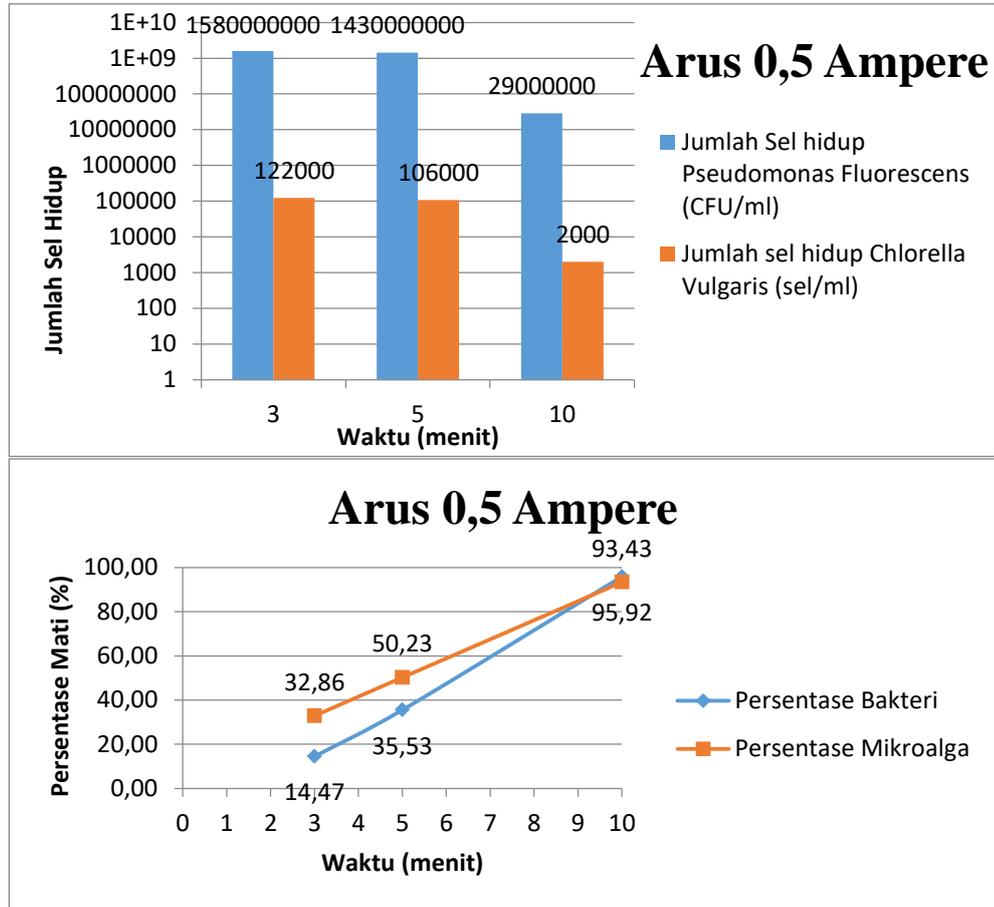
4.5.4.1. Hasil variasi arus 0,3 Ampere



Gambar 4.13 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,3 A

Dari pengujian yang telah dilakukan dengan variasi tersebut, sample diambil masing-masing sekitar 30 mL untuk setelah itu dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan untuk mikroalga adalah jumlah sel hidup terendah sebanyak 12×10^3 sel/ mL dalam waktu 10 menit dengan persentase 94,61 % mikroalga sudah mati. Lalu untuk bakteri jumlah koloni terbanyak ditunjukkan pada menit ke 3 dengan pengenceran 10^{-7} menunjukkan 165 titik koloni, sedangkan jumlah koloni terendah ditunjukkan pada menit ke 10 dengan pengenceran 10^{-6} sebanyak 32 titik koloni.

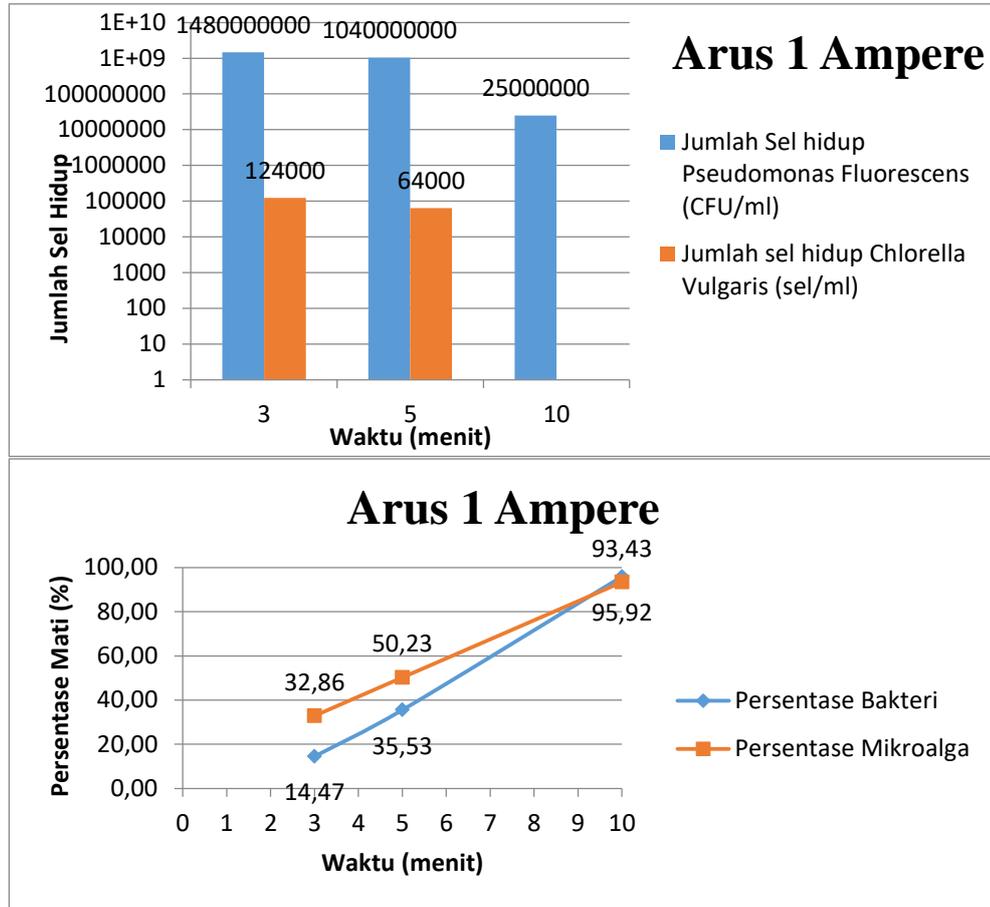
4.5.4.2. Hasil Variasi Arus 0,5 Ampere



Gambar 4.14 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,3 A

Dari pengujian yang telah dilakukan dengan variasi tersebut, sample diambil masing-masing sekitar 30 mL untuk setelah itu dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan untuk mikroalga adalah jumlah sel hidup terendah sebanyak 2×10^3 sel/ mL dalam waktu 10 menit dengan persentase 93,43 % mikroalga sudah mati. Lalu untuk bakteri dari variasi arus listrik tersebut pengenceran berpangkat 10^{-6} dan 10^{-7} adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus diatas 30 dan dibawah 250. Jumlah koloni terbanyak ditunjukkan pada menit ke 3 dengan pengenceran 10^{-7} menunjukkan 158 titik koloni, sedangkan jumlah koloni terendah ditunjukkan pada menit ke 10 dengan pengenceran 10^{-6} sebanyak 29 titik koloni. Dengan kematian meningkat drastis pada menit ke 5 sampai ke 10 hingga 60 % jumlah bakteri diawal.

4.5.4.3. Hasil Variasi Arus 1 Ampere



Gambar 4.15 Grafik Jumlah Sel dan Persentase Mati 0,3 A

Dari pengujian yang telah dilakukan dengan variasi tersebut, sample diambil masing-masing sekitar 30 mL untuk setelah itu dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan untuk mikroalga adalah jumlah sel hidup terendah sebanyak 0 sel/ mL dalam waktu 10 menit dengan persentase 100 % mikroalga sudah mati. Lalu untuk bakteri dari variasi arus listrik tersebut pengenceran berpangkat 10^{-6} dan 10^{-7} adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus diatas 30 dan dibawah 250. Jumlah koloni terbanyak ditunjukkan pada menit ke 3 dengan pengenceran 10^{-7} menunjukkan 148 titik koloni, sedangkan jumlah koloni terendah ditunjukkan pada menit ke 10 dengan pengenceran 10^{-6} sebanyak 25 titik koloni.

4.6. Uji AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometers*)

Pengujian Atomic Absorption Spectrophotometers (AAS) ini dilakukan pada Laboratorium Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surabaya Jawa Timur menggunakan alat AAS merk Hitazhi seri Z-2000. Tujuan dari uji AAS ini adalah untuk mengukur kandungan total dari tembaga (Cu) dari hasil paparan tembaga sebagai anoda dari penelitian ini. Berikut hasil uji AAS dengan sample *Chlorella Vulgaris* dan *Pseudomonas Fluorescens* (semua hasil uji dibawah menggunakan satuan mg/L Cu).

Tabel 4.3 Uji AAS – PDAM Surabaya

75 : 25	Waktu (m)		
	3	5	10
0,3 A	1,56	1,7	2,14
0,5 A	1,8	2,23	2,12
1 A	1,53	1,79	2,88
50 : 50	Waktu (m)		
	3 menit	5 menit	10 menit
0,3 A	1,36	1,51	2,29
0,5 A	1,83	2,2	1,48
1 A	1,32	1,43	1,1
25 : 75	Waktu (m)		
	3 menit	5 menit	10 menit
0,3 A	1,55	2,01	2,46
0,5 A	1,65	1,85	2,28
1 A	1,67	1,44	3,22

Dapat dilihat pada *sampling* rata-rata tertinggi nya terjadi pada arus 1 A yaitu sebesar 3,22 mg/L dipengaruhi oleh besar arus yang ditimbulkan dan juga mengakibatkan habisnya anoda pada tembaga serta menimbulkan endapan-endapan di dasar media uji.

4.7. Hasil Kebutuhan Anoda Cu pada Kondisi Sebenarnya

Pemilihan anoda proteksi menurut spesifikasi anoda yang diproduksi oleh *Sunrui Corrosion and Fouling Control Company* (www.sunrui.net) adalah

Tabel 4.4 Tipe Anoda Proteksi

Jenis Proteksi	Tipe Anoda Cu	Volume of Processing Sea Water (m ³ /h)	Length (mm)	Diameter (mm)	Weight (Kg)	Jumlah Anoda Cu yang dibutuhkan
<i>Cooling System</i>	DCA-4	400	400	95	24	2

Hasil perhitungan massa awal anoda laju konsumsi anoda tiap tahunnya disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.5 Tahun Habis Anoda

Jenis	Anoda Awal (Kg)	Tahun 1 (Kg)	Tahun 2 (Kg)	Tahun 3 (Kg)	Habis (Tahun)
Cu	48	26,4	14,4	2,4	3,2

Dari tabel didapatkan untuk Arus 1 Ampere pemakaian anoda Cu sesuai dengan pemilihan Anoda awal 48 Kg. Waktu pemakaian anoda dalam 3 tahun 73 hari akan habis dan segera dilakukan *maintenance* untuk mengganti pemakaian anoda yang baru.

4.8. Biaya Listrik Kebutuhan Daya Transformator *Rectifier*

Dalam pemakaian 1 tahun (365 hari) dengan arus yang dikeluarkan Transformator *Rectifier* sebesar 1 Ampere, besaran tarif pengeluaran listrik adalah Rp. 1.895.098 per tahun menurut golongan Industri Besar yang diberlakukan Kementerian ESDM Republik Indonesia.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis eksperimen ICAF sederhana yang dilaksanakan sesuai dengan metodologi, disertai dengan dasar teori yang saling berkaitan dan jurnal – jurnal sebagai referensi esensial sebagai acuan dari laporan tugas akhir ini, berikut adalah kesimpulan – kesimpulan yang dapat diambil :

1. Waktu yang paling efektif dalam membunuh mikro Alga *Chlorella Vulgaris* adalah 10 menit dengan presentase mikroorganisme terbunuh 100 % pada konsentrasi perbandingan 50 % dan 25 % mikroalga. Dan waktu yang paling efektif dalam membunuh bakteri *Pseudomonas fluorescens* adalah 10 menit dengan presentase mikroorganisme terbunuh 99,97 % pada konsentrasi perbandingan terkecil 25 % bakteri. Dari hasil pengujian ICAF dapat disimpulkan bahwa semakin lamanya waktu pemaparan tembaga yang terlarut, maka semakin baik juga dalam hal membunuh biofouling.
2. Persentase jumlah sel yang mati dari tiap mikroalga juga didapatkan setelah pengujian ICAF untuk *Chlorella vulgaris* persentase sel mati dengan arus 1 A adalah sebesar 100% pada perbandingan 50 : 50 waktu 5 menit sebesar 97.57% sedangkan untuk *Pseudomonas Fluorescens* didapatkan persentase sel mati terbesar dengan arus 1 A sebesar 99.17% dan terkecil pada arus 0.3 A dengan waktu 5 menit sebesar 77.50%.
3. Berdasarkan hasil pengujian ICAF diatas didapatkan jenis biofouling yang tidak dapat bertahan adalah mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan persentase kematian jumlah sel rata-rata sebesar 97,72%. Sedangkan bakteri *Pseudomonas Fluorescens* mampu bertahan dengan persentase kematian rata-rata sebesar 96,7%.
4. Pada kondisi sebenarnya untuk arus 1 ampere dengan pemilihan 2 Anoda Cu tipe DCA-4 akan habis dalam 3 tahun 73 hari sampai penggantian anoda yang baru. Dan untuk kebutuhan biaya listriknya dalam setiap tahun akan mengeluarkan biaya sebesar Rp. 1.895.098.

5.2 Saran

Mulai dari awal proses pengerjaan laporan Tugas Akhir sampai penyelesaian hal tersebut, tentunya saran sangat dibutuhkan agar kesalahan – kesalahan, maupun beberapa koreksi untuk penelitian kedepannya dapat berjalan dengan lebih mulus. Oleh karena itu, berikut merupakan saran – saran dari penulis untuk penelitian kedepannya :

1. Variasi waktu uji eksperimen dan besar arus listrik jika bisa lebih diganti range dengan rentang variasi yang sama. Jenis bakteri yang diuji juga dapat diganti atau ditambah sesuai dengan alasan yang jelas mengapa suatu bakteri tersebut perlu untuk diuji (Bisa dari resistansi, laju tumbuh atau sifat bakteri lainnya).
2. Katoda dan anoda dapat divariasikan lagi, atau dengan tambahan anoda menjadi dua dengan jenis berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Appanna, V.D., Gazso, L.G., dan St. Pierre M. 1996. Multiple-metal Tolerance in *Pseudomonas fluorescens* and Biotechnological Significance. *Journal of Biotechnology*, **52** (1), 75-80.
- ASM Handbook Vol.13 A,. 2003. *Corrosion: Fundamental, Testing, and Protection*. USA
- Ciferri, O. 1983. **Spirulina The Edible Microorganism**. *Microbial Review*. American Society.
- Court, FH. Vries, HJ. 1973. **Advances in Fouling Prevention**. Progress in Organic Coatings
- ET ISO 6611:2012 Milk and Milk Product – **Enumeration of Colony forming Units of Yeast and/or Molds** – Colony Count Technique at 25°C.
- Evelyn, J. R. dan Ravisankar, V. 2014. **Bioremediation of Chromium Contamination– A Review**. *Journal of Research in Earth & Environmental Science*, 1(6), 20-26.
- Eyres, DJ. 2007. **Corrosion Control and Anti-fouling Systems**. Ship Construction (Sixth Edition)
- Gaudy, A.F. dan Gaudy, E.T. 1980. **Microbiology for Environmental Scientists and Engineers**. McGraw-Hill, USA
- Gurrappa, I. 2005. **Cathodic Protection of Cooling Water Systems and Selection of Appropriate Materials**. *Journal of Materials Processing Technology*.
- Ishak, Isa dan Retnowati Y.2014. **Pemanfaatan Berbagai Jenis Bakteri Dalam Proses Biobleaching Limbah Logam Berat** Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo
- Kumar, A., Bisht, B.S., dan Joshi, V.D. 2010. Biosorption of Heavy Metals by Four Microbial Species, *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus*

spp., and *Aspergillus niger*. *Journal of Biology Environmental Science*, 4 (12), 97-108.

Kumar, V., Singh, S., Manhas, A., Negi, P., Singla, S., Kaur, P., Bhadreacha, P., Datta, S., Kalia, A., Joshi, R., Singh, J., Sharma, S., dan Upadhyay, N. 2014. Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon by Using *Pseudomonas* Species Isolated from Petroleum Contaminated Soil. **Oriental Journal of Chemistry**, 30 (4), 1771-1776.

Lemire, J., Auger, C., Bignucolo, A., Appanna, V.P., dan Appanna, V.D. 2010. **Metabolic Strategies Deployed by *Pseudomonas fluorescens* to Combat Metal Pollutants: Biotechnological Prospects. Research, Technology, and education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology.**

Mahardika, G Rezha. 2018. *Analisis Ketahanan Microalga Pada Material Baja AH 36 dengan Menggunakan Metode Impressed Current Anti Fouling (ICAF)*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

McKellar, R.C. 2007. Role of Nutrient Limitation in the Competition between *Pseudomonas fluorescens* and *Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Food Protection*, 70(7), 1739-1743.

Mulyono, P Rizky. 2017. *Perancangan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal pada Pipa Baja API 5L Grade B dengan Variasi Jumlah Coating yang Dipasang di dalam Tanah*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Noori, MT. Ghangrekar, CK. 2019. **Biofouling effects on the performance of microbial fuel cells and recent advances in biotechnological and chemical strategies for mitigation.** *Biotechnology Advances*

Pratikno, H. dan Titah, H.S. 2017. “*Bio-corrosion on Aluminium 6063 by Escherichia coli in Marine Environment*”. *The Journal for Technology and Science*.

Rizky, M Danesto. 2017. *Studi Aplikasi Impressed Current Anti Fouling Pada Cooling System Kapal Terhadap Bakteri Fouling*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Prasetyo, C Egy. 2019. *Analisis Ketahanan Biokorosi Mikroalga pada Material Baja ASTM A53 Terhadap Variasi Heat Treatment di Lingkungan Laut*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

- Singh, J., Saxena R. C., 2015. **An Introduction to Microalgae: Diversity and Significance**. Indian Institue of Petroleum. India.
- Supriyanto, 2007, **Pengaruh konsentrasi larutan NaCl terhadap laju korosi baja karbon rendah**, Universitas Muhamadiyah Surakarta, Surakarta
- Terry, LA. Edyvean, GJ. 1986 ; pages 211-229. Chapter 15 : Recent Investigations into the Effects of Algae on Corrosion. **Studies in Environmental Science**.
- Tri Sudrajat, Achmad. 1990. **Peningkatan kekuatan dan ketangguhan baja HSLA Grade AH36 untuk aplikasi lambung kapal perang melalui proses perlakuan panas = Improvement of strength and toughness of AH36 Grade HSLA steel by heat treatment process for warship hull**. Universitas Diponegoro
- Virender Singh et al.2010. **Isolation and Characterization of Pseudomonas Resistant to Heavy Metals Contaminants**. Head, Dept. of Life Sciences, Himachal Institute of Life Sciences, Paonta Sahib (H.P.), India
- Wei, C. Wang, G. 2018 ; pages 533-557. **Chapter 25: Corrosion Protection of Ships. Handbook of Environmental Degradation of Materials** (Third Edition)
- Wiludin A, Soepomo H.2013. **Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan ICCP (Impressed Current Cathodic Protection) Dibandingkan dengan Sacrificial Anode dalam Proses Pencegahan Korosi**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Wang, Liyan., Wang Mian., Peng, Changsheng., Pan, Jinfen. 2013. **Toxic Effects of Nano- CuO, Micro-CuO and Cu²⁺ on Chlorella sp.** Journal of Enviromental Protection.
- Zagarese, HE.; Helbling, EW. 2003, **UV Effects in Aquatic Organism and Ecosystems**, Britain: Royal Society of Chemistry

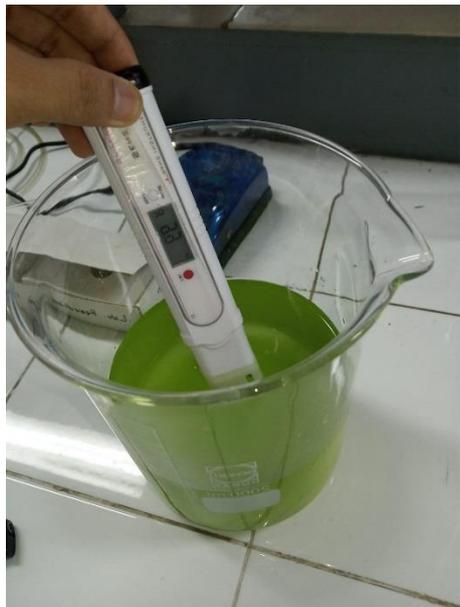
LAMPIRAN A
DOKUMENTASI EKSPERIMEN



Autoclave Steril



Digital Mass Calculator



pH meter



Termometer



Bakteri Induk



Alat Centrifuge

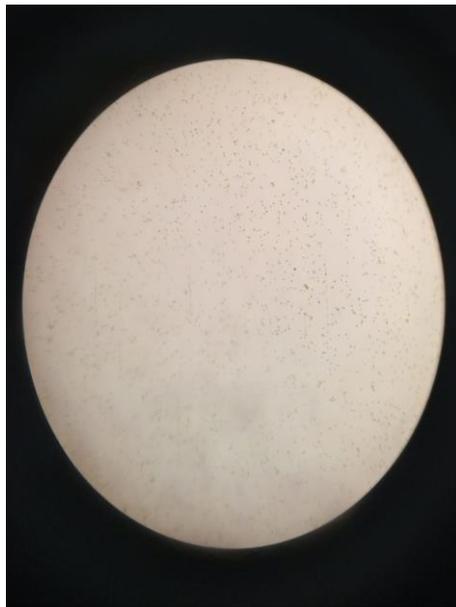
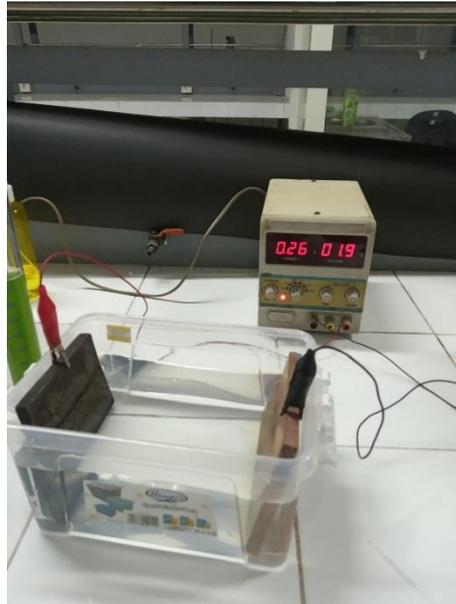


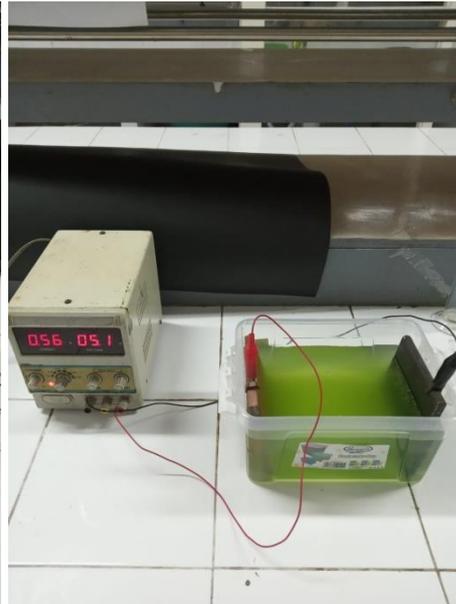
Foto Mikro Sel Mikroalga



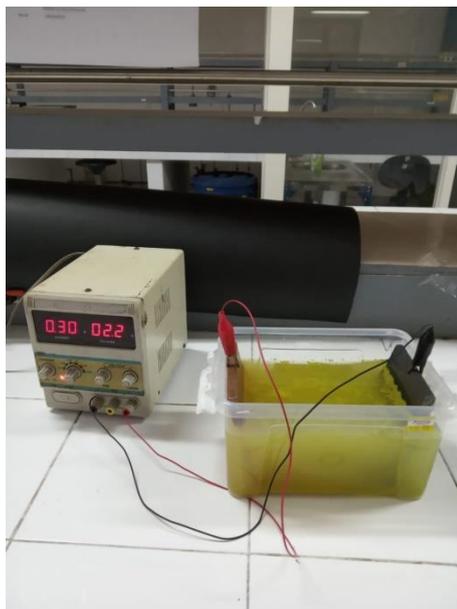
Alat ICAF Sederhana



Pemasangan Katoda dan Anoda



Kondisi media pada menit ke 0



Kondisi media pada menit ke 10



Pencampuran kedua mikro fouling
bersamaan



Botol Sampling



Mikroskop Binokuler



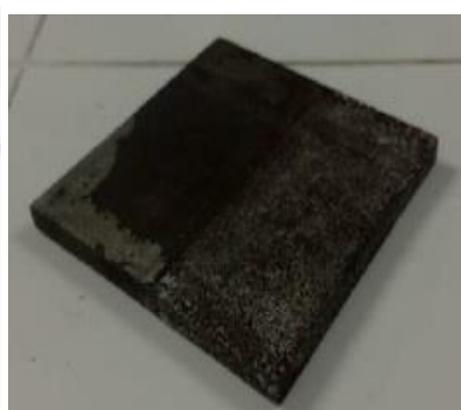
Jumlah koloni berpangkat 10^{-6}



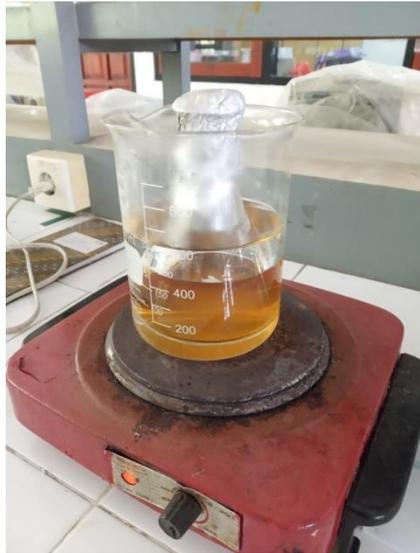
Jumlah koloni berpangkat 10^{-7}



Plat Tembaga Anoda



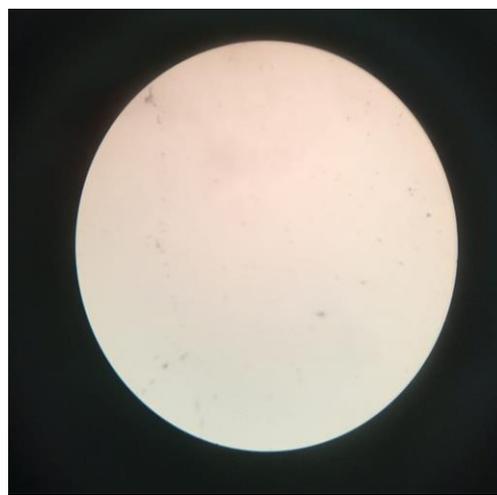
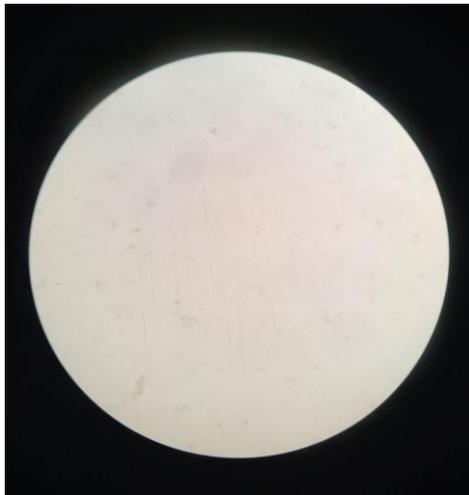
Plat Baja A36 Katoda



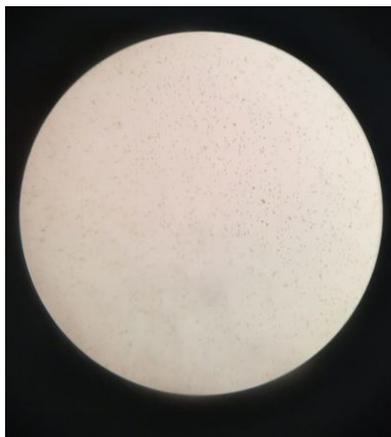
Alat Pemanas Cairan



Tabung Reaksi Pengenceran



Jumlah Sel Mikroalga pada menit ke 10



Jumlah Mikroalga pada menit ke 0

LAMPIRAN B
TABEL PEMBAGIAN VOLUME

No	Perbandingan Alga & Bakteri (%)	Arus (A)	Waktu (m)	Media Air Laut (ml)	Perbandingan Media Air Laut dengan Alga dan Bakteri (%)	Alga (ml)	Bakteri (ml)
1	75 : 25	0,3	3	1500	100 : 7,5 : 2,5	112,5	37,5
2			5				
3			10				
4		0,5	3	1500	100 : 7,5 : 2,5	112,5	37,5
5			5				
6			10				
7		1	3	1500	100 : 7,5 : 2,5	112,5	37,5
8			5				
9			10				
10	50 : 50	0,3	3	1500	100 : 5 : 5	75,0	75,0
11			5				
12			10				
13		0,5	3	1500	100 : 5 : 5	75,0	75,0
14			5				
15			10				
16		1	3	1500	100 : 5 : 5	75,0	75,0
17			5				
18			10				
19	25 : 75	0,3	3	1500	100 : 2,5 : 7,5	37,5	112,5
20			5				
21			10				
22		0,5	3	1500	100 : 2,5 : 7,5	37,5	112,5
23			5				
24			10				
25		1	3	1500	100 : 2,5 : 7,5	37,5	112,5
26			5				
27			10				
				13500	Total	675	675

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN MIKROALGA
METODE *HEMOCYTOMETER*

Perhitungan Mikroalga *Chlorella Vulgaris*

1. Perbandingan 75 : 25

$$\begin{aligned}\text{Jumlah sel awal mikroalga} &= (213) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4 \\ &= \mathbf{426 \times 10^3 \text{ sel/mL}}\end{aligned}$$

1. Arus listrik 0.3 A waktu 3 menit $= (143) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
 $= 286 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
2. Arus listrik 0.3 A waktu 5 menit $= (106) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
 $= 212 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
3. Arus listrik 0.3 A waktu 10 menit $= 10 \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
 $= 2 \times 10^4 \text{ sel/mL}$
4. Arus listrik 0.5 A waktu 3 menit $= (131) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
 $= 262 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
5. Arus listrik 0.5 A waktu 5 menit $= (83) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
 $= 166 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
6. Arus listrik 0.5 A waktu 10 menit $= (4) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
 $= 8 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
7. Arus listrik 1 A waktu 3 menit $= (116) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
 $= 232 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
8. Arus listrik 1 A waktu 5 menit $= (73) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
 $= 146 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
9. Arus listrik 1 A waktu 10 menit $= (3) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
 $= 6 \times 10^3 \text{ sel/mL}$

2. Perbandingan 50 : 50

$$\begin{aligned}\text{Jumlah sel awal mikroalga} &= (167) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4 \\ &= \mathbf{334 \times 10^3 \text{ sel/mL}}\end{aligned}$$

10. Arus listrik 0.3 A waktu 3 menit $= (114) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$

11. Arus listrik 0.3 A waktu 5 menit = 228×10^3 sel/mL
= $(91) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 182×10^3 sel/mL
12. Arus listrik 0.3 A waktu 10 menit = $(8) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 16×10^3 sel/mL
13. Arus listrik 0.5 A waktu 3 menit = $(103) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 206×10^3 sel/mL
14. Arus listrik 0.5 A waktu 5 menit = $(68) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 136×10^3 sel/mL
15. Arus listrik 0.5 A waktu 10 menit = $(2) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 4×10^3 sel/mL
16. Arus listrik 1 A waktu 3 menit = $(89) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 178×10^3 sel/mL
17. Arus listrik 1 A waktu 5 menit = $(65) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 13×10^4 sel/mL
18. Arus listrik 1 A waktu 10 menit = $(0) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 0 sel/mL

3. Perbandingan 25 : 75

- Jumlah sel awal mikroalga = $(107) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= **8550 x 103 sel/mL**
19. Arus listrik 0.3 A waktu 3 menit = $(67) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 134×10^3 sel/mL
20. Arus listrik 0.3 A waktu 5 menit = $(66) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 132×10^3 sel/mL
21. Arus listrik 0.3 A waktu 10 menit = $(6) \div 5$ kotak neubauer improved $\times 10^4$
= 12×10^3 sel/mL

22. Arus listrik 0.5 A waktu 3 menit = $(61) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
= $122 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
23. Arus listrik 0.5 A waktu 5 menit = $(53) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
= $106 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
24. Arus listrik 0.5 A waktu 10 menit = $(1) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
= $2 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
25. Arus listrik 1 A waktu 3 menit = $(62) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
= $124 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
26. Arus listrik 1 A waktu 5 menit = $(32) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
= $64 \times 10^3 \text{ sel/mL}$
27. Arus listrik 1 A waktu 10 menit = $(0) \div 5 \text{ kotak neubauer improved} \times 10^4$
= 0 sel/mL

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN BAKTERI
METODE *COLONY FORMING UNIT*

Perbandingan 75 : 25

1. **(T = 3 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)**
Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 65 titik
Faktor Pengenceran = 10^{-7}
Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
= $65 \times (1 / 10^{-7})$
= 65×10^7 CFU/ml
2. **(T = 5 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)**
Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 49 titik
Faktor Pengenceran = 10^{-7}
Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
= $67 \times (1 / 10^{-7})$
= 67×10^7 CFU/ml
3. **(T = 10 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)**
Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 31 titik
Faktor Pengenceran = 10^{-7}
Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
= $31 \times (1 / 10^{-6})$
= 31×10^6 CFU/ml
4. **(T = 3 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)**
Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 56 titik
Faktor Pengenceran = 10^{-7}
Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
= $56 \times (1 / 10^{-7})$
= 56×10^7 CFU/ml
5. **(T = 5 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)**
Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 42 titik
Faktor Pengenceran = 10^{-7}
Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
= $42 \times (1 / 10^{-7})$
= 42×10^7 CFU/ml
6. **(T = 10 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)**
Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 27 titik
Faktor Pengenceran = 10^{-7}
Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
= $27 \times (1 / 10^{-7})$
= 27×10^7 CFU/ml
7. **(T = 3 menit, Arus Listrik = 1 Ampere)**
Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 44 titik
Faktor Pengenceran = 10^{-7}
Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
= $44 \times (1 / 10^{-7})$

$$= 44 \times 10^7 \text{ CFU/ml}$$

8. (T = 5 menit, Arus Listrik = 1 Ampere)

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 34 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $34 \times (1 / 10^{-7})$
 = **$34 \times 10^7 \text{ CFU/ml}$**

9. (T = 10 menit, Arus Listrik = 1 Ampere)

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 25 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-6}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $25 \times (1 / 10^{-6})$
 = **$25 \times 10^6 \text{ CFU/ml}$**

Perbandingan 50 : 50

10. (T = 3 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 98 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $98 \times (1 / 10^{-7})$
 = **$98 \times 10^7 \text{ CFU/ml}$**

11. (T = 5 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 76 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $76 \times (1 / 10^{-7})$
 = **$76 \times 10^7 \text{ CFU/ml}$**

12. (T = 10 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 34 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $34 \times (1 / 10^{-6})$
 = **$34 \times 10^6 \text{ CFU/ml}$**

13. (T = 3 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 80 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $80 \times (1 / 10^{-7})$
 = **$8 \times 10^8 \text{ CFU/ml}$**

14. (T = 5 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 64 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $64 \times (1 / 10^{-7})$

$$= 64 \times 10^7 \text{ CFU/ml}$$

15. (T = 10 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)

Jumlah koloni (CFU) pada cawan = 25 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-6}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $25 \times (1 / 10^{-6})$
 = **$25 \times 10^6 \text{ CFU/ml}$**

16. (T = 3 menit, Arus Listrik = 1 Ampere)

Jumlah koloni (CFU) pada cawan = 83 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $83 \times (1 / 10^{-7})$
 = **$83 \times 10^7 \text{ CFU/ml}$**

17. (T = 5 menit, Arus Listrik = 1 Ampere)

Jumlah koloni (CFU) pada cawan = 42 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $42 \times (1 / 10^{-7})$
 = **$42 \times 10^7 \text{ CFU/ml}$**

18. (T = 10 menit, Arus Listrik = 1 Ampere)

Jumlah koloni (CFU) pada cawan = 28 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $28 \times (1 / 10^{-6})$
 = **$28 \times 10^6 \text{ CFU/ml}$**

Perbandingan 25 : 75

19. (T = 3 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)

Jumlah koloni (CFU) pada cawan = 165 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $165 \times (1 / 10^{-7})$
 = **$165 \times 10^7 \text{ CFU/ml}$**

20. (T = 5 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)

Jumlah koloni (CFU) pada cawan = 117 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $117 \times (1 / 10^{-7})$
 = **$117 \times 10^7 \text{ CFU/ml}$**

21. (T = 10 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)

Jumlah koloni (CFU) pada cawan = 32 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-6}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $32 \times (1 / 10^{-7})$
 = **$32 \times 10^7 \text{ CFU/ml}$**

- 22. (T = 3 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)**
 Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan = 158 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $158 \times (1 / 10^{-7})$
 = **158×10^7 CFU/ml**
- 23. (T = 5 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)**
 Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 143 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $143 \times (1 / 10^{-7})$
 = **143×10^7 CFU/ml**
- 24. (T = 10 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)**
 Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 29 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-6}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $29 \times (1 / 10^{-6})$
 = **29×10^6 CFU/ml**
- 25. (T = 3 menit, Arus Listrik = 1 Ampere)**
 Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 148 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $148 \times (1 / 10^{-7})$
 = **148×10^7 CFU/ml**
- 26. (T = 5 menit, Arus Listrik = 1 Ampere)**
 Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 104 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-7}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $104 \times (1 / 10^{-7})$
 = **104×10^7 CFU/ml**
- 27. (T = 10 menit, Arus Listrik = 1 Ampere)**
 Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 25 titik
 Faktor Pengenceran = 10^{-6}
 Jumlah Bakteri = Jumlah Titik x (1 / f. pengenceran)
 = $25 \times (1 / 10^{-6})$
 = **25×10^6 CFU/ml**

LAMPIRAN D
SURAT LABORATORIUM
REMEDIASI FTLSK ITS



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS, Gedung WA, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5928105, 5994251-4 PABX: 1104, 1105, 1107, Fax: 031-5928105
E-mail : tu_kelautan@its.ac.id



30 SEP 2019

Nomor : 20745 /IT2.VI.6.3/PP.05.02/2019
Perihal : Permohonan Data Tugas Akhir

Yth. Kepala Departemen Teknik Lingkungan - ITS
Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya

Dalam rangka pencarian data dan materi untuk Tugas Akhir mata kuliah (MO 141326) yang merupakan salah satu persyaratan kurikulum pada Departemen kami, mohon bantuan bagi mahasiswa Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember berikut ini:

No.	Data Mahasiswa	
1.	Nama	Novaldy Senaputra
2.	NRP	04311440000100
3.	Judul Tugas Akhir	Studi Eksperimen Sistem Impressed Current Anti Fouling (ICAF) dalam Mereduksi fouling bakteri dan alga secara bersamaan
4.	Pembimbing	Herman Pratikno, ST.,MT.,Ph.D dan Harmin Sulistyaningtiah, ST.,MT.,Ph.D

Dengan ini memohon berupa: Eksperimen Tugas Akhir uji ICAF pada bakteri ALga untuk keperluan penyelesaian Penelitian Tugas Akhir tersebut.

Demikian surat permohonan ini, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Kepala Departemen,

Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T.
NIP. 19710508 199703 1 001

Tembusan

1. Lab. Remediasi Lingkungan
(Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoediharjo, MscEs)
2. Arsip

**PERMOHONAN IJIN KERJA DI LABORATORIUM TEKNIK LINGKUNGAN II
UNTUK MAHASISWA DARI LUAR TEKNIK LINGKUNGAN ITS**



Kepada Yth,
Kepala Laboratorium Remediasi Lingkungann
Departemen Teknik Lingkungan FTSP-ITS

Dengan hormat,

Bersama ini saya mahasiswa Departemen Teknik Kelautan FTK-ITS,

Nama : NOVALDY SENAPUTRA
NRP / No. Telp : 0431144000100 / 082111570150
Judul Penelitian : Kemampuan Sistem ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*) dalam Mereduksi
Fouling Bakteri dan Alga Secara Bersamaan Terhadap Bangunan Laut
Pseudomonas Flavescens & Alga Chlorrella
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T / Harmin Sulistiyaning Titah ST.,MT.,Ph.D..
Laboratorium : Laboratorium Remediasi Lingkungan
E-mail : novaldysena@gmail.com

Memohon untuk diberikan ijin penggunaan sarana dan prasarana laboratorium pada pk07.30 - 16.00 WIB selama 40 hari, tanggal 2 Oktober s/d 13 November., tidak termasuk hari Sabtu dan Minggu. Mahasiswa bertanggung jawab penuh untuk menjaga dan mengembalikan peralatan laboratorium sebagaimana kondisi awal. Jika terjadi kerusakan/hilang/pecah, maka mahasiswa wajib bertanggung jawab untuk menggantinya. Demikian surat permohonan ijin ini dibuat untuk dijadikan syarat proses pelaksanaan TA/Tesis/Disertasi. Atas perhatiannya, Kami mengucapkan terima kasih.

Surabaya, 30 September 2019

Mahasiswa yang bersangkutan,

Dosen Pembimbing

Dosen Co-Pembimbing

Novaldy Senaputra

NRP. 0431144000100

Herman Pratikno, S.T., M.T.

NIP. 19730415 200003 1 001

Harmin Sulistiyaning Titah
ST.,MT.,Ph.D.

NIP. 19750523 200212 2 001



LABORATORIUM PDAM SURYA SEMBADA KOTA SURABAYA

Jl. Penjernihan No. 1, Surabaya;
Jl. Mastrip 56A, Karangpilang, Surabaya
Jl. Prof. Dr. Moestopo No. 2, Surabaya 60131
telp. (031) 5039373 - 5039392, 5039676 Fax. 5030100
Website : www.pdam-sby.go.id



Laporan Pengujian

Nomor : 1080 /LAB-PK/ XII / 2019

Pengujian Air Laut 0,3 A - 0m - 50 : 50 (13)

Nama Pelanggan : Novaldy Senaputra
Alamat Pelanggan : ITS Surabaya
Kode Contoh Uji : D/ 2019/ Ext/ 00550
Metode Pengambilan Contoh Uji : Grab ****)
Tanggal Pengambilan Sample/Jam : 11 Desember 2019
Tempat Analisa : Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya
Tanggal Analisa : 11 Desember 2019 - 16 Desember 2019

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
1	Tembaga (Cu)	mg/L Cu	2,86	APHA 3120 B- 2012	*)

Kesimpulan : -

Keterangan :

*) Parameter Ruang Lingkup SNI ISO/IEC 17025:2017

****) Disampling oleh pelanggan

Hasil analisa hanya berlaku untuk Contoh Uji di atas

Surabaya, 16 Desember 2019

Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi
PDAM Surya Sembada Kota Surabaya



Achmad Agus Salim, ST

Manajer Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi



Novaldy Senaputra dilahirkan di Jakarta pada tanggal 19 November 1996. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan oleh pasangan Edward Senaputra dan Helinawati. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dari menyelesaikan pendidikan dasar di SDS Trisula PERwari I Jakarta, kemudian dilanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 76 Jakarta. Menginjak pendidikan menengah akhir penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 30 Jakarta. Pada tahun 2014 setelah lulus dari SMA,

Penulis melanjutkan studinya di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) Surabaya. Selama masa perkuliahan, penulis juga aktif mengikuti berbagai kegiatan diantaranya LKMM Pra-DTD, LKMM TD, Ketua Divisi Event UKM Sepakbola ITS 2015/2016, Wakil Ketua UKM Sepakbola ITS 2016/2017. Pada tahun 2017 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan PERTAMINA *Refinery Unit IV* selama 2 bulan. Di akhir masa perkuliahan, penulis memfokuskan diri pada bidang korosi dan juga *anti-fouling* mengenai ketahanan *microalga* pada baja AH 36 dengan menggunakan metode *Impressed Current Anti Fouling* (ICAF). Jika pembaca ingin mengetahui lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini silahkan menghubungi penulis via email.

Kontak Penulis :

Email : Novaldysena@gmail.com

Telepon : 082111570150