



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISIS KETAHANAN *MICROALGA* PADA MATERIAL BAJA
AH 36 DENGAN MENGGUNAKAN METODE *IMPRESSED
CURRENT ANTI FOULING (ICAF)***

GILANG REZHA MAHARDIKA

NRP 04311440000037

DOSEN PEMBIMBING:

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

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

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

**ANALISIS KETAHANAN *MICROALGA* PADA MATERIAL BAJA AH 36 DENGAN
MENGUNAKAN METODE *IMPRESSED CURRENT ANTI FOULING* (ICAF)**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Gilang Rezha Mahardika

NRP: 04311440000037

Disetujui Oleh:

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc (Penguji 1)

4. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

5. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T. (Penguji 3)

Surabaya, Juli 2018

**ANALISIS KETAHANAN *MICROALGA* PADA MATERIAL BAJA AH 36 DENGAN
MENGUNAKAN METODE *IMPRESSED CURRENT ANTI FOULING (ICAF)***

Nama : Gilang Rezha Mahardika
NRP : 04311440000037
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRAK

Biofouling merupakan salah satu penyebab korosi yang tidak dapat dihindarkan lagi khususnya pada daerah yang terkena lingkungan (air dan udara) secara langsung. Penyebab dari fouling ini juga bermacam-macam dan dibedakan menjadi 2 jenis yaitu *macrofouling* dan *microfouling*. *Macrofouling* contohnya kerang, jamur dan sebagainya. Sedangkan *microfouling* contohnya bakteri, alga, dan sebagainya yang mana keduanya sama-sama menjadi penyebab utama korosi. Maka pada penelitian kali ini akan diuji ketahanan fouling yang diakibatkan oleh mikroalga pada umumnya terjadi pada sistem pendingin kapal dan sistem ballasting menggunakan metode *Impressed Current Anti Fouling (ICAF)*. Objek yang digunakan pada penelitian kali ini adalah 2 mikroalga jenis *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* yang pada kasus di lapangannya kedua mikroalga ini sering menjadi penghambat masuknya air laut kedalam sistem pendingin kapal dan menyebabkan korosi pada logam didalamnya. Penelitian kali ini menggunakan air laut komersil yang sudah di filter yang memiliki salinitas sebesar 35 ppt dan menumbuhkan kedua mikroalga tersebut selama 10 hari. Pada penelitian kali ini digunakan variasi arus listrik dan waktu yaitu 0.3, 0.5 dan 1 A untuk arus listrik nya dan 5, 7 dan 10 menit untuk waktu nya yang mana setelah reaktor ICAF diaktifkan katoda yang berupa baja HSLA 36 dan anoda yang berupa tembaga dimasukan kedalam wadah yang sudah terisi oleh mikroalga aktif. Hasil eksperimen ICAF dengan mikroalga menunjukkan bahwa reaktor sederhana yang menggunakan sistem ICAF ini berhasil membunuh mikroalga *chlorella vulgaris* dengan persentase tertinggi sebesar 99.98% untuk arus 1 A waktu 10 menit terkecil 97.57% untuk arus 0.3 A waktu 5 menit, sedangkan untuk *spirulina platensis* persentase tertinggi sebesar 99.17% untuk arus 1 A waktu 10 menit terkecil 77.50% untuk arus 0.3 A waktu 5 menit. Maka dari itu semakin besar arus dan lama waktunya maka semakin efektif pula pemakaian dari sistem ICAF tersebut.

Kata kunci : ICAF, mikroalga, korosi, *biofouling*.

ANALYSIS OF MICROALGA RESISTANCE ON AH36 STEEL MATERIAL USING METHOD IMPRESSED CURRENT ANTI FOULING (ICAF)

Student Name : **Gilang Rezha Mahardika**
Student ID : **04311440000037**
Department : **Ocean Engineering**
Supervisors : **Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.**
Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRACT

Biofouling is one of the most inevitable causes of corrosion especially in the environmentally affected areas (water and air) directly. The cause of this fouling also vary and differentiated into 2 types of macrofouling and microfouling. Macrofouling for example shell, mushroom and so on. While microfouling for example bacteria, algae, and so on which are both the main cause of corrosion. So in this research will be tested fouling resistance caused by microalga generally occur in ship cooling system and ballasting system using Impressed Current Anti Fouling (ICAF) method. Objects used in this study are 2 types of microalgae *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* which in the case in the field both microalgae is often a barrier to the entry of sea water into the ship's cooling system and cause corrosion of the metal inside. The present study used commercial seawater that had been filtered with a salinity of 35 ppt and grew both microalgae for 10 days. In this research used variation of electric current and time of 0.3, 0.5 and 1 A for its electric current and 5, 7 and 10 minutes for its time which after the reactor ICAF activated cathode in the form of steel HSLA 36 and anode in the form of copper inserted into containers already filled by active microalgae. ICAF experiments with microalgae showed that the simple reactor using ICAF system successfully killed *Chlorella vulgaris* microalgae with the highest percentage of 99.98% for 1 A current of 10 minutes smallest 97.57% for current 0.3 A time 5 minutes, while for *Spirulina platensis* the highest percentage 99.17% for currents 1 A time 10 minutes smallest 77.50% for current 0.3 A time 5 minutes. Therefore, the greater the flow and the length of time the more effective the usage of the ICAF system.

Keywords : ICAF, microalga, corrosion, biofouling.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan bagi Allah SWT, karena atas rahmat dan juga hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Ketahanan Mikroalga Pada Material Baja AH 36 Dengan Menggunakan Metode *Impressed Current Anti Fouling (ICAF)*

Laporan Tugas Akhir ini dibuat guna memenuhi mata kuliah Tugas Akhir sebagai salah satu syarat kelulusan studi sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Laporan Tugas Akhir ini tentang ketahanan mikroalga laut penyebab korosi pada bangunan dan kapal terhadap ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*) yang berupa rangkaian listrik sederhana dan melakukan eksperimen tersebut terhadap *chlorella vulgaris* dan *spirulina platensis* sebagai mikroalga umum penyebab korosi dilingkungan laut. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk mencari data efektifitas dari alat ICAF untuk dapat membunuh mikroalga laut penyebab korosi laut dengan menggunakan variasi waktu dan paparan arus listrik, baja sebagai katoda dan tembaga sebagai anodanya terhadap mikroalga laut tersebut.

Meskipun laporan Tugas Akhir ini telah selesai dan penulis telah memberikan yang terbaik, tetap saja dirasa masih banyak kekurangan disana-sini. Maka dari itu besar harapannya bagi para pembaca untuk dapat memberikan saran dan kritik yang membangun untuk dapat membantu kesempurnaan Tugas Akhir ini. Harapannya keseluruhan laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi khususnya bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca secara umum.

Surabaya, Juli 2018

Gilang Rezha Mahardika

UCAPAN TERIMA KASIH

Rasa syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan juga nikmat kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Ketahanan *Microalga* pada material baja AH 36 dengan menggunakan *Impressed Current Anti Fouling (ICAF)*” tepat pada waktunya. Berbagai pihak juga yang tidak bisa penulis sebutkan semuanya telah banyak memberikan bantuan, dukungan dan juga arahnya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini mulai dari awal hingga selesai dengan baik dan benar. Oleh karena itu pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
2. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T, M.Sc selaku dosen wali selama kurang lebih 4 tahun ini yang telah memberikan banyak nasehat dan juga bimbingan kepada penulis
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D selaku dosen pertama serta sebagai koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu. Nasehat dan juga bimbingannya kepada penulis
4. Ibu Harmin Sulistyning Titah, S.T., M.T., Ph. D selaku dosen kedua yang telah memberikan banyak sekali ilmu baru dan juga bimbingan sehingga proses pengerjaan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik
5. Para dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan saran serta evaluasi yang sangat membangun bagi penulis
6. Ibu Iin selaku teknisi Laboratorium Remediasi Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan ITS
7. Ibu Merry selaku teknisi Laboratorium Pengolahan Limbah B3 Departemen Teknik Lingkungan ITS

8. Ibu Wiwy dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau Situbondo selaku penyedia bibit mikroalga dan juga atas arahan-arahan dari beliau
9. Fairus Sarah Maitsa yang telah memberikan dukungan secara penuh ketika penulis sedang menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini
10. Malik Berlianto, Patricia Agnes, Khonsa Rofifah, Devita Yulisa S dan Adriana Obenu yang telah banyak membantu dan mengarahkan untuk kelancaran penulis di Lab. Teknik Lingkungan ITS.
11. Seluruh keluarga besar angkatan 2014 “MAELSTROM” yang telah memberikan banyak dukungan dan bantuannya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini
12. Serta seluruh pihak terkait yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu.

Bapak Didik Purwanto dan Ibu Elis Purwaningsih selaku kedua orang tua saya yang saya sayangi dan cintai yang terus mendoakan saya dan memberi dukungan tanpa henti. Tidak lupa kakak saya Elfanda Ajeng Novita yang selalu memberikan dukungan saya hingga akhir.

Kedepannya, penulis berharap bahwa Tugas Akhir ini bukan merupakan sebuah akhir dari penelitian melainkan awal dari penelitian-penelitian selanjutnya yang lebih baik lagi dan juga Tugas Akhir ini dapat membantu sebagai referensi bagi para pembaca dalam topik yang sesuai dengan judul Tugas Akhir kali ini.

Surabaya, Juli 2017

Gilang Rezha Mahardika

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Hipotesa Awal.....	5
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Baja	7
2.2.1 Baja HSLA Grade AH 36	8
2.3 Korosi.....	9
2.3.1 Jenis-jenis Korosi.....	9
2.1.2 MIC (<i>Microbiologically Influenced Corrosion</i>)	14

2.4	Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Spirulina platensis</i>	15
2.5	Metode Penghambatan Korosi akibat <i>Biofouling</i>	17
2.6	<i>Hemocytometer Nebauer Improved</i>	20
2.6.1	Kamar hitung <i>Improve Neubauer</i>	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Diagram Alir Penelitian	25
3.2	Prosedur Penelitian	26
3.2.1	Studi Literatur	26
3.2.2	Persiapan Bahan dan Peralatan Uji	26
3.2.3	Persiapan Material Uji	27
3.2.4	Persiapan Mikroalga Uji	28
3.2.5	Persiapan Larutan Uji.....	30
3.2.6	Pengujian Menggunakan Alat ICAF Sederhana	30
3.2.7	Perhitungan Mikroalga dengan Menggunakan Metode <i>Hemocytometer</i>	31
3.2.8	Analisa Data Eksperimen.....	33
3.2.9	Kesimpulan dan Saran	33
BAB IV HASIL DAN ANALISIS		35
4.1	Penelitian Pendahuluan.....	35
4.1.1	Uji Laju Pertumbuhan <i>Chlorella Vulgaris</i> dan <i>Spirulina Platensis</i>	35
4.1.2	Uji Parameter Pertumbuhan <i>Chlorella Vulgaris</i> dan <i>Spirulina Platensis</i>	36
4.2	Penelitian Utama.....	42
4.2.1	Hasil uji ketahanan <i>chlorella vulgaris</i> dengan variasi arus dan waktu.....	42
4.2.2	Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit arus listrik 0.3 A.....	44

4.2.3 Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit arus listrik 0.5 A.....	45
4.2.4 Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit arus listrik 1.0 A.....	46
4.2.5 Grafik jumlah <i>chlorella vulgaris</i> hasil eksperimen.....	47
4.2.6 Hasil uji ketahanan <i>spirulina platensis</i> dengan variasi arus dan waktu.....	48
4.2.7 Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit arus listrik 0.3 A.....	49
4.2.8 Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit arus listrik 0.5 A.....	50
4.2.9 Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit arus listrik 1.0 A.....	51
4.2.10 Grafik jumlah <i>chlorella vulgaris</i> hasil eksperimen	52
4.3 Uji AAS (Atomic Absorption Spectrophotometers).....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	59
Lampiran A Proses persiapan pengujian	59
Lampiran B Proses eksperimen	67
Lampiran C Perhitungan jumlah mikroalga	72
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Korosi Tegangan	10
Gambar 2.2 Korosi Sumuran	10
Gambar 2.3 Korosi Seragam.....	11
Gambar 2.4 Korosi Galvanis.....	11
Gambar 2.5 Korosi Kelelahan.....	12
Gambar 2.6 Korosi Erosi	12
Gambar 2.7 Korosi Celah	13
Gambar 2.8 Korosi Biologi.....	13
Gambar 2.9 Beberapa Tempat yang Dijadikan Tumbuhnya MIC.....	15
Gambar 2.10 Chlorella vulgaris	16
Gambar 2.11 Spirulina platensis	17
Gambar 2.12 Proses Sacrificial Anodes.....	18
Gambar 2.13 Proses ICCP	18
Gambar 2.14 Skema ICAF Pada Sea Chest Kapal	20
Gambar 2.15 Elektroda Tembaga	20
Gambar 2.16 Hemocytometer Neubauer Improved.....	21
Gambar 2.17 Kamar Hitung Neubauer Improved.....	22
Gambar 3 1 Baja AH-36 sebagai katoda.....	28
Gambar 3 2 Tembaga sebagai anoda	28
Gambar 3 3 alat Autoclave	29
Gambar 3 4 inokulasi mikroalga chlorella vulgaris dan spirulina platensis	30
Gambar 3 5 alat ICAF sederhana.....	30
Gambar 3 6 proses ICAF	31
Gambar 3 7 mikroskop yang digunakan untuk melihat mikroalga.....	32
Gambar 3 8 tabung reaksi untuk pengenceran	32
Gambar 4. 1 hasil uji salinitas air laut komersil pada salinometer dan proses inokulasi pada laminar air flow.....	36
Gambar 4. 2 pH chlorella vulgaris.....	37
Gambar 4. 3 pH spirulina platensis.....	37

Gambar 4. 4 Suhu <i>Chlorella vulgaris</i>	38
Gambar 4. 5 Suhu <i>Spirulina platensis</i>	38
Gambar 4. 6 Salinitas <i>Chlorella Vulgaris</i>	39
Gambar 4. 7 Salinitas <i>Spirulina platensis</i>	39
Gambar 4. 8 Nilai OD pada <i>Chlorella vulgaris</i>	40
Gambar 4. 9 Nilai OD pada <i>Spirulina platensis</i>	40
Gambar 4. 10 Jumlah sel <i>Chlorella vulgaris</i>	41
Gambar 4. 11 Jumlah sel <i>Spirulina platensis</i>	41
Gambar 4. 12 Perbedaan jumlah sel <i>Chlorella vulgaris</i> yang hidup dengan yang mati.....	43
Gambar 4. 13 uji ketahanan <i>Chlorella vulgaris</i> dengan variasi waktu dan arus listrik 0.3 A...44	44
Gambar 4. 14 Hasil pengamatan fisik arus listrik 0.3 ampere dengan variasi waktu.....44	44
Gambar 4. 15 uji ketahanan <i>Chlorella vulgaris</i> dengan variasi waktu dan arus listrik 0.5 A...45	45
Gambar 4. 16 Hasil pengamatan fisik arus listrik 0.5 ampere dengan variasi waktu.....45	45
Gambar 4. 17 uji ketahanan <i>Chlorella vulgaris</i> dengan variasi waktu dan arus listrik 1 A.....46	46
Gambar 4. 18 Hasil pengamatan fisik arus listrik 1 ampere dengan variasi waktu.....47	47
Gambar 4. 19 hasil perhitungan jumlah sel dalam variasi arus dan waktu.....47	47
Gambar 4. 20 Persentase <i>Chlorella vulgaris</i> yang sudah mati dalam variasi waktu dan arus.....48	48
Gambar 4. 21 Perbedaan jumlah sel <i>Spirulina platensis</i> yang hidup dengan yang mati.....49	49
Gambar 4. 22 uji ketahanan <i>Spirulina platensis</i> dengan variasi waktu dan arus listrik 0.3 A....49	49
Gambar 4. 23 uji ketahanan <i>Spirulina platensis</i> dengan variasi waktu dan arus listrik 0.5 A....50	50
Gambar 4. 24 uji ketahanan <i>Spirulina platensis</i> dengan variasi waktu dan arus listrik 1 A.....51	51
Gambar 4. 25 hasil perhitungan jumlah sel dalam variasi arus dan waktu.....52	52
Gambar 4. 26 Persentase <i>Spirulina platensis</i> yang sudah mati dalam variasi waktu dan arus...52	52

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tabel pengamatan uji laju pertumbuhan chlorella vulgaris.....	38
Tabel 4. 2 Tabel pengamatan uji laju pertumbuhan spirulina platensis.....	38
Tabel 4. 3 tabel hasil eksperimen arus listrik 0.3 ampere dengan variasi waktu.....	40
Tabel 4. 4 tabel hasil eksperimen arus listrik 0.5 ampere dengan variasi waktu.....	41
Tabel 4. 5 tabel hasil eksperimen arus listrik 1 ampere dengan variasi waktu.....	42
Tabel 4. 6 tabel hasil eksperimen arus listrik 0.3 ampere dengan variasi waktu.....	45
Tabel 4. 7 tabel hasil eksperimen arus listrik 0.5 ampere dengan variasi waktu.....	46
Tabel 4. 8 tabel hasil eksperimen arus listrik 1 ampere dengan variasi waktu.....	46
Tabel 4. 9 tabel hasil uji AAS <i>Chlorella vulgaris</i>	48
Tabel 4. 10 tabel hasil uji AAS <i>Spirulina platensis</i>	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dewasa ini, perkembangan teknologi khususnya dalam bidang kemaritiman baik *onshore* maupun *offshore* terus dikembangkan dengan pesat. Peralannya, adanya pengembangan teknologi tersebut sejalan dengan tingginya kebutuhan pemenuhan ketersediaan energi yang tentunya diperlukan bagi keberlangsungan hidup umat manusia. Meningkatnya kebutuhan ketersediaan energi membuat permintaan akan sumber daya alam maritim yang salah satunya berupa minyak bumi dan gas alam juga kian meningkat. Dengan meningkatnya permintaan tersebut, adanya teknologi *supply* pada kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam maritim masih terus dikembangkan hingga saat ini. Salah satu teknologi *supply* yang dianggap paling baik sampai saat ini adalah dengan menggunakan kapal. Namun sayangnya, penggunaan kapal pada teknologi *supply* juga memiliki beberapa kekurangan. Salah satu kekurangan yang hingga saat ini masih menjadi polemik pada kegiatan kemaritiman adalah timbulnya kerusakan bagian-bagian kapal yang disebabkan oleh faktor korosi air laut.

Menurut Trethewey KR (1991), korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam di sekitarnya. Supriyanto (2007) menyatakan korosi juga dapat diartikan sebagai peristiwa alamiah yang terjadi pada bahan dan merupakan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam. Korosi sendiri sebenarnya merupakan suatu peristiwa yang pasti akan terjadi pada suatu material dan akan lebih cepat prosesnya apabila bereaksi dengan air dan udara. Akan tetapi peristiwa korosi pada suatu material ini dapat diminimalisir dengan berbagai cara.

Laju korosi yang terjadi pada lingkungan laut relatif sangat cepat. Hal ini disebabkan oleh berbagai macam zat yang terlarut dalam air laut yang mampu melarutkan zat lainnya antara lain seperti gas-gas terlarut, senyawa-senyawa organik dari organisme hidup, serta garam-garam anorganik yang memiliki konsentrasi lebih besar daripada zat cair lainnya (Sidiq, 2013). Interaksi antara material dengan lingkungannya yang terjadi secara terus-menerus dapat menyebabkan terjadinya penurunan nilai dari material tersebut baik yang berlangsung secara perlahan maupun signifikan. Hal tersebut juga bergantung pada kondisi lingkungan serta material yang digunakan. Menurut Hamilton pada tahun 1985 menyatakan bahwa konstruksi

baja yang ditempatkan di laut sebagai tiang pancang juga dapat mengalami korosi yang disebabkan oleh adanya mikroba yang dapat meningkatkan konsentrasi oksigen. Oleh karena itu, perlindungan material dan atau struktur kapal (dalam hal ini penggunaan kapal sebagai teknologi *supply*) yang memiliki kontak langsung dengan air laut terhadap terjadinya korosi sangat dibutuhkan. Hal ini mengingat penggunaan material besi dan baja yang hingga saat ini masih dijadikan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan struktur kapal dan material-material bangunan laut lainnya.

Penyebab utama terjadinya korosi pada beberapa bagian kapal adalah akibat adanya *biofouling*. *Biofouling* atau yang juga disebut sebagai *Biological Fouling* merupakan akumulasi materi biologis yang tidak diinginkan dan terjadi pada permukaan suatu material. Hal ini diakibatkan baik oleh makroorganisme (*macrofouling*) maupun akibat dari adanya produksi biofilm yang mana biasanya disebabkan oleh beberapa mikroorganisme seperti bakteri pereduksi sulfat, bakteri pengoksidasi sulfur-sulfida, bakteri besi mangan oksida, jamur, mikroalga, dan protozoa (Qian, *et.al*, 2007 ; Bixler dan Bushnan, 2012). Dari beberapa mikroorganisme tersebut, salah satu yang paling sering dijumpai adalah *biofouling* yang disebabkan oleh mikroalga laut (Hanssen, *et.al*, 2014). Adanya *biofouling* khususnya pada bagian lambung kapal sangatlah merugikan karena dapat meningkatkan tahanan kapal yang berujung pada tingginya penggunaan bahan bakar, biaya pemeliharaan, dan proses interferensi parameter (Yebra, *et.al*, 2004 ; Fittridge, *et.al*, 2012 ; Panjaitan, 2012).

Salah satu metode yang paling sering digunakan dalam meminimalisir terciptanya korosi pada material terutama yang disebabkan oleh *biofouling* diantaranya adalah *Sacrificial Anode* (Pathak, *et.al*, 2012 ; Sidiq, 2013), *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* (Sidiq, 2013 ; Briggs dan Eseonu, 2014) dan *Impressed Current Anti Fouling (ICAF)* (Panjaitan, 2012 ; Sidiq, 2013) yang merupakan teknologi perlindungan yang baik bagi struktur atau material yang berada di lautan. Adapun teknologi perlindungan terhadap korosi secara umum seperti *sacrificial anodes* atau anoda yang dikorbankan sudah banyak digunakan pada struktur bangunan laut, pipa bawah laut maupun sistem tambatnya. Namun teknologi tersebut masih belum efisien untuk diterapkan pada beberapa tempat seperti lambung maupun pendingin kapal tempat *biofouling* biasa terjadi. Penggunaan *sacrificial anodes* sebagai teknologi anti korosi dirasa masih memiliki sejumlah kendala diantaranya pada aspek inspeksi,

maintenance, penggantian anoda secara berkala yang membutuhkan biaya tidak sedikit, serta proses instalasinya. Selain itu, penggunaan cat *antifouling* komersil (AF) yang menggunakan *tributyltin* (TBT), *biocide* spektrum luas yang diformulasikan dalam cat kopolimer dengan oksida tembaga selama hampir 50 tahun telah dilarang sejak tahun 2008 oleh *International Maritime Organization*. Hal ini disebabkan oleh kandungan TBT yang terbukti sangat beracun bagi banyak organisme dan ekosistem air laut (Norcy, *et.al*, 2017). Maka dari itu ICCP dan ICAF pun menjadi solusi dari beberapa kekurangan *sacrificial anodes* dan cat *antifouling*. ICCP dan ICAF dalam segi ekonomi lebih hemat biaya dibandingkan dengan SACP (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*) (Wiludin dan Soepomo, 2013). Fungsinya untuk mencegah atau menghambat tumbuhnya *biofouling*, tetapi teknologi ICAF ini masih jarang dilakukan khususnya pada kapal-kapal Indonesia.

Berangkat dari pemikiran tersebut maka pada penelitian ini akan digunakan metode ICAF untuk mengetahui keefektifan metode tersebut dalam mengatasi adanya fouling terutama yang disebabkan oleh mikroalga. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini berupa logam tembaga (Cu) sebagai kutub negatif (anoda) dan logam baja sebagai kutub positif (katoda). Tembaga dipilih karena diketahui dapat menjadi *inhibit* bagi pertumbuhan *biofouling* (Panjaitan, 2012 ; Norcy, *et.al*, 2017). . Kuat arus listrik dan waktu pemaparan menjadi perlakuan utama dalam penelitian ini. Serta jenis mikroalga yang digunakan berasal dari spesies *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* yang mana merupakan mikroalga hijau dan atau fitoplankton dominan yang terdapat pada air laut terutama di wilayah beriklim tropis hingga sedang (Fritsch, 1907 ; John, 1988 ; Rindi, *et.al*, 2009 ; Singh dan Saxena, 2015).

1.2 Rumusan Masalah

Dalam Tugas Akhir kali ini terdapat beberapa rumusan masalah, diantaranya:

1. Berapakah arus listrik dan waktu optimal yang dibutuhkan oleh metode ICAF untuk dapat membunuh mikroalga air laut penyebab *biofouling* ?
2. Berapakah persentase perbandingan jumlah alga yang dapat bertahan maupun yang tidak dengan menggunakan metode ICAF ?
3. Diantara *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*, Jenis mikroalga manakah yang paling tidak dapat bertahan dengan menggunakan metode ICAF ?

1.3 Tujuan

Dari rumusan masalah yang sudah dijelaskan, maka tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Mendapatkan besar arus listrik dan waktu optimal yang dibutuhkan oleh metode ICAF untuk dapat membunuh mikroalga air laut penyebab *biofouling*.
2. Mendapatkan persentase perbandingan jumlah alga yang dapat bertahan maupun yang tidak dengan menggunakan metode ICAF.
3. Mendapatkan jenis mikroalga yang paling tidak dapat bertahan dengan menggunakan metode ICAF

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui nilai arus listrik dan waktu optimal yang dibutuhkan oleh metode ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*) dalam mengatasi permasalahan korosi yang disebabkan oleh mikroalga. Sehingga dapat diaplikasikan pada skala lapangan terutama pada bagian sistem pendingin yang terdapat dalam *sea chest* kapal. Selain itu, nilai arus listrik dan waktu optimal yang diperoleh pada penelitian ini juga dapat dijadikan acuan dalam melakukan penghematan biaya pemakaian listrik dan penggunaan bahan bakar kapal. Di samping itu diharapkan pula hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai pelengkap penelitian-penelitian sebelumnya yang juga menggunakan metode ICAF dalam mengatasi permasalahan *biofouling* penyebab korosi pada *sea chest* kapal.

1.5 Batasan Masalah

Berikut merupakan batasan masalah yang diangkat dalam Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Mikroalga yang digunakan dalam penelitian ini adalah Chlorophyta atau mikroalga hijau khususnya berasal dari spesies *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* hasil kultivasi biakan primer yang dibeli dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) di Kabupaten Situbondo, Jawa Timur.
2. Mikroalga yang digunakan pada penelitian ini dikultur pada air laut komersil dengan salinitas 35 ppt.

3. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah waktu (menit) serta kuat arus listrik (Ampere) pada pengoperasian ICAF terhadap mikroalga yaitu sebesar 5, 7, dan 10 menit serta 0,3 ; 0,5 ; dan 1 Ampere.
4. Pengoperasian ICAF pada penelitian ini menggunakan rangkaian listrik sederhana dengan arus searah (DC atau *direct current*).
5. Katoda dan anoda yang digunakan pada metode ICAF dalam penelitian ini yaitu plat logam baja HSLA Grade AH 36 sebagai katoda dan plat logam tembaga (Cu) sebagai anoda.
6. Metode Perhitungan jumlah sel mikroalga menggunakan *Hemocytometer Neubauer Improved*
7. Parameter yang akan diuji pada penelitian ini terdiri dari total jumlah sel mikroalga yang hidup dan mati serta analisis total tembaga yang dilakukan dengan metode *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) (Hitachi Z-2000) di Laboratorium Energi dan Lingkungan – LPPM ITS, Surabaya Jawa Timur
8. Penelitian ini dilakukan di dua laboratorium yaitu Laboratorium Remediasi Lingkungan dan Laboratorium Limbah Padat dan B3 Departemen Teknik Lingkungan, FTSLK, ITS.

1.6 Hipotesa Awal

Pada penelitian Tugas Akhir ini dapat dirumuskan hipotesa awal sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan metode ICAF, tingkat kematian sel mikroalga paling tinggi terdapat pada perlakuan waktu dan arus terbesar yaitu 10 menit dan 1 ampere
2. Mikroalga yang paling tidak dapat bertahan hidup ketika metode ICAF dioperasikan adalah *Chlorella vulgaris*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

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. Fokus utama pada penelitian kali ini adalah mengetahui waktu dan juga arus listrik yang diperlukan untuk dapat mematikan *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* pada alat ICAF sederhana yang pada aplikasinya untuk *sea chest* pada sistem pendingin kapal.

Wiludin dan Soepomo (2013) mengungkapkan dalam artikelnya bahwa sistem ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) lebih ekonomis dibandingkan dengan SACP (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*). Panjaitan (2012) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pemakaian ICAF sebagai pencegah *biofouling* pada sistem pendingin kapal dengan menganalisa data yang tersedia. Penulis menyebutkan bahwa arus listrik yang dibutuhkan untuk mengalir *seachest* dengan luas penampang sebesar 13,1 m² adalah 1,04 Ampere. Rizky (2017) telah meneliti dengan metode ICAF sederhana dengan menggunakan objek bakteri *Pseudomonas fluorescens* dengan variasi waktu dan didapatkan bahwa semakin lama waktu yang digunakan dalam pengoperasian, maka efektivitas ICAF dalam mengurangi jumlah bakteri akan semakin baik (jumlah bakteri *Pseudomonas fluorscens* menurun hingga 99% sedangkan yang hidup diperkirakan hanya dibawah 1%).

2.2 Baja

Pada dasarnya baja adalah logam paduan besi, karbon dan juga unsur lainnya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2 % hingga 2,1 % berat sesuai grade-nya. Fungsi dari unsur karbon disini sendiri adalah sebagai penguat dan materi pengisi celah-celah yang ada di dalam baja agar semakin kuat. Baja merupakan material yang sudah umum dipakai dalam berbagai tipe seperti pipa, plat, lembaran, dan sebagainya pada struktur maupun bangunan baik itu *onshore* atau *offshore*. Untuk dapat menghasilkan berbagai jenis kualitas baja bisa di variasikan dengan menggunakan berbagai kandungan unsur paduan lainnya seperti

nikel, titanium, krom, dan tungsten. Secara umum baja karbon dapat dibedakan menurut komposisi nya antara lain:

Tabel 2. 1 Kandungan Baja Karbon Berdasarkan Komposisinya

Kelas	Kandungan Karbon
Baja Karbon Rendah	0.05%-0.35%
Baja Karbon Menengah	0.35%-0.50%
Baja Karbon Tinggi	0.50%-1.70%

Di dalam penggunaannya baja karbon rendah memang sering digunakan dikarenakan semakin rendah kadar karbon dari baja, maka semakin lunak dan mudah untuk dibentuk. 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*).

2.2.1 Baja HSLA Grade AH 36

Baja HSLA (*High Steel Low Alloy*) adalah jenis baja paduan rendah yang memiliki kekuatan tinggi dan mudah untuk dibentuk. Baja jenis ini memiliki ketahanan terhadap korosi dan juga sifat mekanis yang lebih baik daripada baja karbon biasa. Baja HSLA ini juga memiliki unsur-unsur paduan yang konsentrasinya hanya sebesar 0.1%. dan tembaga, nikel, niobium, nitrogen, vanadium, kromium, molibdenum, titanium, kalsium, unsur tanah jarang, atau zirconium. Tembaga, titanium, vanadium, dan niobium yang biasanya ditambahkan kedalam paduan baja ini dengan perbandingan yang berbeda memiliki tujuan untuk memperkuat struktur baja HSLA. Secara umum, karakteristik dari baja HSLA ini adalah sebagai berikut:

- ❖ Mempunyai keuletan dan juga kekuatan yang tinggi daripada baja biasanya
- ❖ Mempunyai struktur mikro ferit (*ferrite*) sebagai fasa penyusun utamanya
- ❖ Mempunyai ketahanan terhadap patah getas
- ❖ Mempunyai kekuatan luluh sekitar >250 Mpa
- ❖ Mengandung kadar karbon yang rendah sekitar $<0.2\%$ yang mana baik untuk sifat mampu las dan juga mudah dibentuk

Baja HSLA AH 36 biasa digunakan pada kapal baik itu kapal konvensional, pengangkut barang dan bahan-bahan, kapal perang dan sejenisnya. Baja tipe ini baik digunakan pada kapal khususnya pada bagian lambung kapal dikarenakan mudah ditekuk sehingga dapat mengikuti pola lambung kapal yang *streamline* dan juga kuat. Jenis baja ini dapat digunakan dalam desain kapal laut dengan berat diatas 10.000 ton.

2.3 Korosi

Korosi atau umumnya dikenal dengan “perkaratan” merupakan proses yang sering kita jumpai pada material² yang ada di sekitar kita seperti tembaga, besi, zinc, dan sebagainya. Menurut pengertiannya disini korosi adalah peristiwa perusakan logam oleh karena terjadinya reaksi kimia antara logam dengan zat-zat di lingkungannya membentuk senyawa yang tak dikehendaki. Supardi (1997) mengemukakan bahwa korosi adalah proses pengrusakan bahan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekelilingnya. Korosi juga merupakan proses elektrokimia, maksudnya adalah proses reaksi kimia yang melibatkan aliran listrik menuju kesetimbangan termodinamika suatu sistem. Perbedaan potensial antara dua kutub yaitu katoda sebagai yang berpotensi lebih tinggi (elektroda positif) dan anoda yang berpotensi rendah (elektroda negatif). Elektron mengalir dari anoda (lebih rendah) ke katoda (lebih tinggi) dan anodanya akan teroksidasi sehingga terjadi proses korosi.

Pada umumnya ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya korosi pada suatu material. Faktor lingkungan dan juga dari material itu sendiri merupakan penyebab terjadinya korosi tersebut. faktor lingkungan sendiri dibagi menjadi 2 yaitu kimia dan fisika. Untuk kimia penyebabnya seperti garam terlarut, pH, gas terlarut, *oxidizer*, mikroorganisme. Sedangkan untuk factor fisika nya antara lain kecepatan aliran, suhu, luas permukaan bidang material, *galvanic coupling* (2 metal yang mempunyai potensial berbeda bertemu).

2.3.1 Jenis-jenis korosi

Menurut Utomo (2009) terdapat beberapa jenis korosi yang dibedakan menurut penyebabnya yakni sebagai berikut:

1. Korosi tegangan (*stress corrosion*)

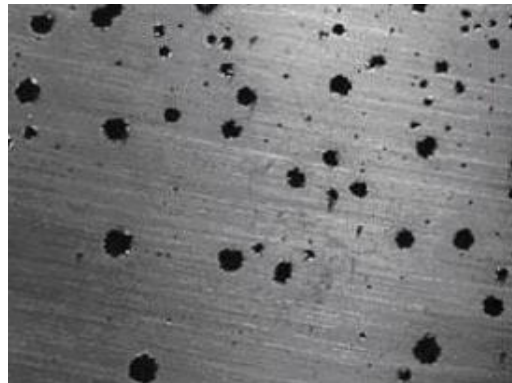


Gambar 2.1 Korosi Tegangan

Sumber : Utomo, 2009

Korosi tegangan (*stress corrosion*) ini terjadi karena proses tegangan dan regangan dari suatu material yang rentan terhadap korosi bekerja secara terus-menerus yang juga bereaksi dengan lingkungan.

2. Korosi sumuran (*pitting corrosion*)



Gambar 2.2 Korosi Sumuran

Sumber : Utomo, 2009

Korosi sumuran (*pitting corrosion*) adalah proses dimana korosi terjadi akibat komposisi dari suatu material tersebut tidak homogen dimana nantinya korosi tersebut timbul pada daerah batas dan beberapa tempat yang membentuk seperti sebuah rongga atau sumur.

3. Korosi seragam (*uniform corrosion*)



Gambar 2.3 Korosi Seragam

Sumber : Utomo, 2009

Korosi seragam (*uniform corrosion*) ini terjadi akibat adanya reaksi kimia karena pH air yang rendah dan lembab dengan material yang homogen sehingga mengakibatkan materialnya makin lama makin menipis

4. Korosi galvanis (*bimetal corrosion*)



Gambar 2.4 Korosi Galvanis

Sumber : Utomo, 2009

Korosi galvanis ini terjadi apabila 2 buah material yang memiliki beda potensial bertemu didalam satu media elektrolit secara langsung sehingga logam yang lebih anodik akan terkorosi. Proses tersebut mengakibatkan ion-ion positif dari logam anodik keluar karena kehilangan elektron.

5. Korosi kelelahan (*fatigue corrosion*)



Gambar 2.5 Korosi Kelelahan

Sumber : Utomo, 2009

Korosi kelelahan (*fatigue corrosion*) merupakan jenis korosi yang disebabkan oleh beban siklik pada suatu benda secara terus-menerus dan juga lingkungan yang mana akan mengakibatkan korosi hingga patah pada bagian yang terkena pembebanan tersebut.

6. Korosi erosi (*erosion corrosion*)



Gambar 2.6 Korosi Erosi

Sumber : Utomo, 2009

Korosi erosi (*erosion corrosion*) ini terjadi karena gerakan aliran fluida yang korosif terhadap suatu material yang dapat mengikis film pelindung pada logam. Korosi ini biasanya terjadi pada pipa dan propeller.

7. Korosi celah (*Crevice corrosion*)



Gambar 2.7 Korosi Celah

Sumber : Utomo, 2009

Korosi celah (*Crevice corrosion*) ini terjadi ketika logam yang berdekatan dengan logam lain atau non logam dan diantaranya terdapat celah-celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga kandungan oksigen pada bagian luar lebih besar daripada bagian dalam yang mana bagian dalam lebih anodic dan bagian mulut jadi katodik sehingga terjadi korosi.

8. Korosi biologi (*biological corrosion*)



Gambar 2.8 Korosi Biologi

Sumber : Utomo, 2009

Korosi Biologi (*biological corrosion*) adalah proses korosi dimana penyebabnya ialah mikroorganisme dan makroorganisme antara lain bakteri, jamur, alga dan protozoa. Korosi biologi termasuk salah satu jenis korosi yang sering ditemui pada kaki dermaga, tiang pancang bangunan laut, kapal dan penyebarannya juga sudah

termasuk masif. Korosi jenis ini menjadi satu-satunya korosi yang disebabkan oleh makhluk hidup. Korosi biologi dibagi menjadi 2, antara lain:

❖ Korosi *microbiological*

Pada jenis fouling ini yang menjadi penyebab terbentuknya korosi adalah organisme yang berukuran kecil baik itu aerob maupun anaerob seperti bakteri, alga, dan lainnya.

❖ Korosi *macrobiological*

Dalam jenis *fouling* ini, penyebabnya adalah organisme yang ukurannya cukup besar seperti kerang, jamur dan lainnya.

2.3.2 MIC (*Microbiologically Influenced Corrosion*)

Korosi ini disebabkan oleh aktifitas metabolisme mikroorganisme seperti mikroalga, bakteri dan juga jamur yang mana menyebabkan berkurangnya daya tahan suatu material logam. Bakteri maupun mikroalga ini dapat diklasifikasikan secara luas sebagai aerobik (memerlukan oksigen untuk menjadi aktif) atau anaerob (oksigen beracun bagi bakteri dan mikroalga). Pada kasus-kasus di dunia maritim, aktifitas mikroorganisme tersebut sering menjadi penyebab struktur bangunan laut maupun kapal menjadi terkorosi atau menambah beban pada struktur dan atau pada bagian bawah kapal. Korosi ini termasuk korosi yang cukup berbahaya, dikarenakan dapat terjadi pada kondisi range pH antara 4 hingga 9 dengan suhu lingkungan rata-rata 10° sampai 50° C. Mikroorganisme termasuk mikroalga yang akan dibahas pada penelitian ini juga dapat menyerang sistem pendingin kapal.

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 systems	<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 2.9 Beberapa Tempat yang Dijadikan Tumbuhnya MIC

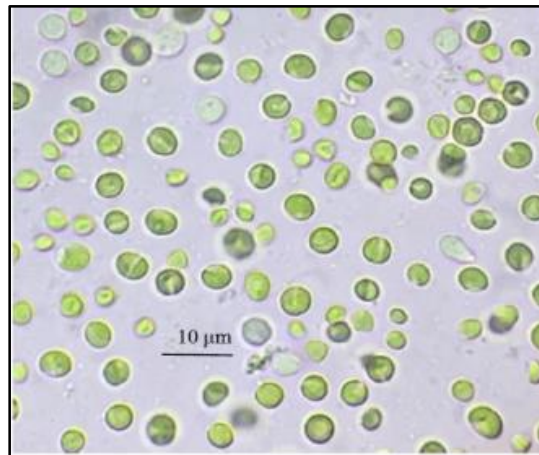
(Sumber : Lane, 2005)

2.4 Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan 2 jenis mikroalga pada divisi yang sama namun berasal dari spesies yang berbeda. Mikroalga yang digunakan berasal dari divisi Chlorophyta atau yang biasa disebut dengan mikroalga hijau, diantaranya yaitu:

1. *Chlorella vulgaris*

Chlorella vulgaris adalah jenis mikroorganisme yang masuk kedalam filum Chlorophyta atau yang sering kita kenal sebagai mikroalga hijau (Kawaroe, *et.al*, 2010). *Chlorella vulgaris* merupakan mikroalga yang kosmopolit, terdapat di air payau, air laut, dan air tawar (Wiguna, 2009). Sel pada mikroalga ini berbentuk bola berukuran sedang dengan diameter 2-10 μm , bergantung pada jenis spesiesnya. Selain tersusun atas selulosa, beberapa spesies *chlorella* mempunyai dinding sel yang juga tersusun atas sporopollenin. poropollenin juga terdapat pada spora dan serbuk sari yang merupakan suatu biopolimer dari karotenoid yang mempunyai kemampuan resisten yang luar biasa terhadap degradasi oleh enzim atau reagen-reagen kimia yang kuat (Zagarese, *et.al*, 2003).

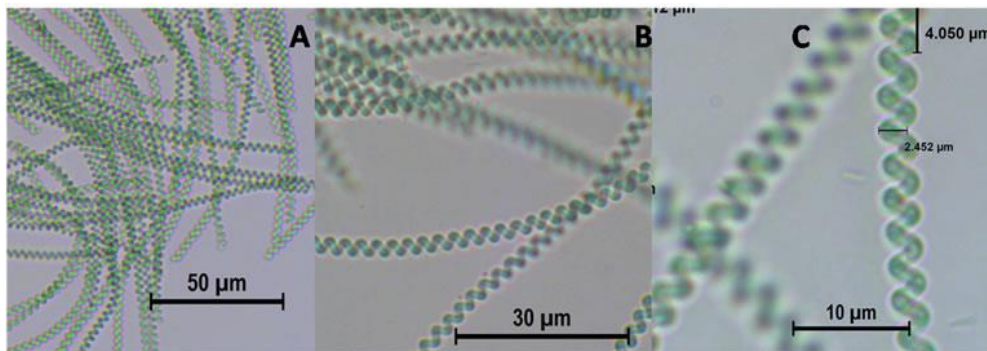


Gambar 2.10 *Chlorella vulgaris*

Sumber : Ramaraj, *et.al*, 2014

2. *Spirulina platensis*

Spirulina platensis merupakan mikroalga spiral yang menyebar secara luas, dapat ditemukan di berbagai tipe lingkungan, baik di perairan payau, laut dan tawar (Ciferri, 1983). Bentuk dari *Spirulina platensis* ini seperti benang yang berbentuk silindris dan mempunyai dinding-dinding yang tipis berdiameter 1-12 μm . *Spirulina platensis* merupakan makhluk hidup autotrof berwarna kehijauan, kebiruan, dengan sel berkolom membentuk filamen terpilin menyerupai spiral (*helix*) sehingga disebut juga mikroalga biru hijau berfilamen (cyanobacterium) (Rahayu, 2014). *Spirulina platensis* ini hidup subur pada kondisi air yang cenderung diambang batas normal yaitu kondisi air yang ber pH antara 7-13 dan suhu optimumnya berkisar antara 32-35°C. Kondisi ini cocok dengan aplikasi di lapangannya yang mana pertumbuhan dari mikroorganismenya ini terbilang sangat cepat karena mengandung banyak nitrat (NO_3). Nitrat adalah bentuk nitrogen utama di perairan alami dan merupakan nutrisi utama dalam pertumbuhan mikroalga (Effendi, 2003).



Gambar 2.11 *Spirulina platensis*

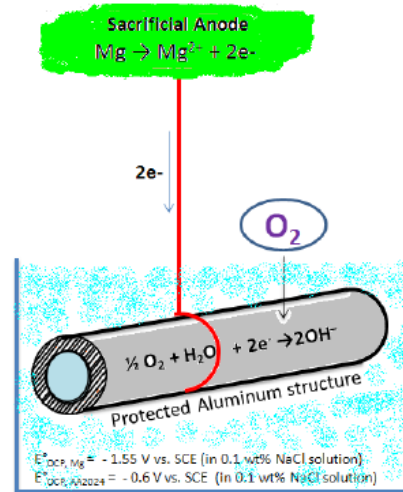
Sumber : Prasad, *et.al*, 2013

2.5 Metode Penghambatan Korosi akibat *Biofouling*

Dalam perkembangannya, metode untuk mencegah korosi terutama yang disebabkan oleh mikroorganisme terbilang cukup maju. Peristiwa didasarkan pada kasus *biofouling* yang terjadi pada bangunan laut, maupun pada kapal pada bagian yang terendam oleh air. Hal ini akan membuat proses dari *biofouling* tersebut akan lebih cepat jika tidak segera dicegah atau dihambat. Berikut adalah metode-metode yang dapat digunakan untuk mencegah proses terjadinya korosi oleh makro maupun mikroorganisme, antara lain:

1. *Sacrificial anodes*

Salah satu metode untuk menghambat laju korosi yang pertama adalah *Sacrificial anodes*. Metode ini dilakukan dengan cara mengorbankan logam yang lebih reaktif (anode) untuk melindungi logam utama (katode). Prinsip dari metode ini adalah dengan cara menciptakan sel elektrokimia dimana dua logam yang berbeda secara materialnya dihubungkan secara elektrik yang ditanam dalam elektrolit alam, seperti: tanah atau air. Pemilihan anode sebagai korbannya juga melihat daripada katodanya, dimana anoda tumbalnya diharuskan memiliki tingkat korosi yang lebih tinggi dibandingkan katodanya. Biasanya material yang dipakai untuk anoda korbannya adalah Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Zinc (Zn).

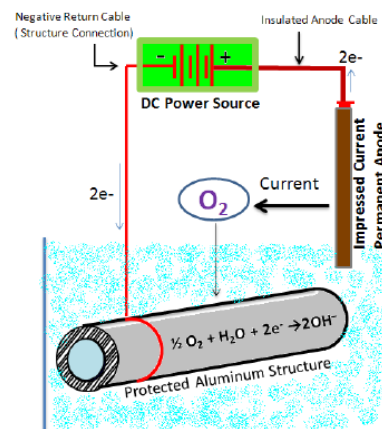


Gambar 2.12 Proses *Sacrificial Anodes*

Sumber : Pathak, *et.al*, 2012

2. ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*)

Secara umum metode ini juga cukup sering digunakan di dalam dunia maritim dan berbeda dengan metode diatas. Dikarenakan metode ini menggunakan sumber arus yang berasal dari luar, biasanya dari sumber arus DC (*Direct Current*) yang dihubungkan dengan logam anode dengan logam katode (logam yang dilindungi). Sistem anode 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 memproteksi fasilitas-fasilitas yang besar.



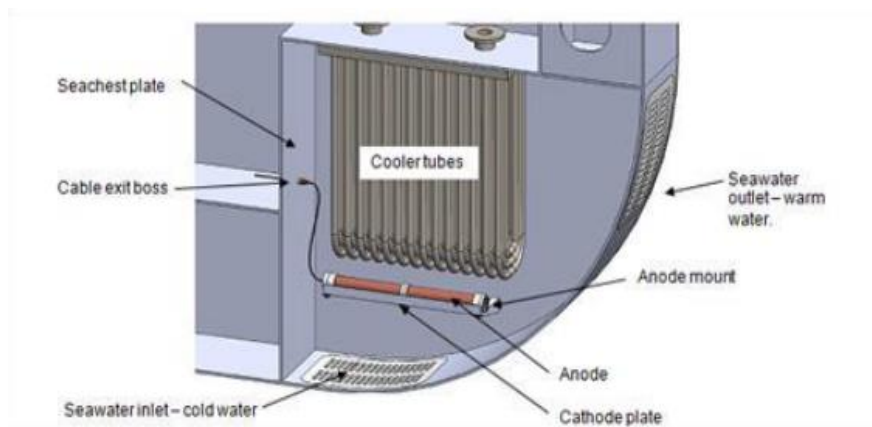
Gambar 2.13 Proses ICCP

Sumber : Pathak, *et.al*, 2012

3. ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*)

Pada prinsipnya metode ini tidak jauh berbeda dengan metode ICCP diatas. Point pembedanya terletak pada penyebab korosi dan juga penggunaan metode ini. ICAF biasanya digunakan untuk melindungi beberapa komponen pada kapal dan bangunan lepas pantai seperti sistem pendingin kapal pada *seachest* serta jaringan pipa yang menjadi tempat potensial tumbuhnya korosi akibat mikroorganisme seperti jamur, mikroalga, bakteri dan sejenisnya. Karena apabila komponen-komponen tersebut tidak terlindungi maka akan sangat membahayakan dan mempengaruhi kinerja dari kapal maupun bangunan lepas pantai itu sendiri.

Prinsip kerja yang terjadi adalah perbedaan tegangan yang dipicu secara artifisial antara anoda dengan katoda yang sesuai sehingga menyebabkan arus listrik kecil mengalir dari anoda sehingga terbagi pada tingkatan tertentu. Komponen ini biasanya ditempatkan pada lambung kapal (*seachest*) dan berfungsi untuk men-*supply* air laut yang dibutuhkan sebagai pendingin mesin, sistem *ballast* dan juga untuk sistem pemadam kebakaran. Pada penelitian kali ini digunakan anoda jenis tembaga yang mana dari segi material cocok untuk melindungi pipa atau material yang terbuat dari baja. Pada alat sederhana ICAF yang akan dipakai nantinya juga tidak mengeluarkan arus listrik yang besar, hanya sekitar 1-5 Ampere dan daya dibawah 100 Volt, hal ini sesuai dengan regulasi dari DSB (*Norwegian Directorate for Civil Protection*) yang mengatur tentang batas maksimal voltase yang boleh digunakan pada bangunan laut maupun kapal. Hal tersebut mengisyaratkan bahwa sistem yang dipakai oleh ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*) ini memang terbilang ramah terutama kepada ekosistem laut di sekitar kapal.



Gambar 2.14 Skema ICAF Pada *Sea Chest* Kapal

Sumber : Rizky, 2017



Gambar 2.15 Elektroda Tembaga

Sumber : Triwibisono, *et.al*, 2012

2.6 *Hemocytometer Nebauer Improved*

Hemocytometer merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk dapat melakukan perhitungan jumlah sel secara cepat dan akurat (Rouge, 2002). *Hemocytometer* sendiri mempunyai bagian-bagian yang terdiri dari 2 *counting chamber*, tiap ruang hitung terdiri dari 9 kotak besar dengan luas 1 mm² tiap kotaknya. Satu kotak besar ditengah , dibagi menjadi 25 kotak sedang dengan luas 0.05 mm. Dan dalam satu kotak sedang dibagi kembali menjadi 16 kotak kecil, sehingga satu kotak besar berisi 400 kotak kecil. Ketebalan dari ruang hitung sendiri adalah sebesar 0.1 mm.

Nantinya sel-sel mikroorganisme yang dimasukan akan memenuhi volume kamar hitung tersebut sehingga jumlah sel mikroorganisme dapat diketahui (Mikapin, 2012).



Gambar 2.16 Hemocytometer Neubauer Improved

Sumber : Dokumen Pribadi Penulis

Ada beberapa macam jenis kamar hitung atau cara untuk menghitung jumlah sel di dalam *hemocytometer* ini antara lain yaitu:

- A. Kamar hitung *Improve Neubauer*
- B. Kamar hitung *Original Neubauer*
- C. Kamar hitung *Burkeer*
- D. Kamar hitung *Turk*
- E. Kamar hitung *Thoma*
- F. Kamar hitung *Fucsh – Roshental*
- G. Kamar hitung *Tatai*
- H. Kamar hitung *Speirs - Levy*

Pada penelitian kali ini digunakan metode kamar hitung *Improve Neubauer* dengan penjelasan dibawah ini.

2.6.1 Kamar hitung *Improve Neubauer*

Kamar hitung *improve neubauer* sendiri merupakan metode kamar hitung yang paling banyak digunakan dikarenakan penggunaannya untuk menghitung jumlah sel yang relative mudah dan cepat. Adapun pembeda kamar hitung *improve neubauer* dengan *original nebauerer* ialah garis bagi yang terletak di tengah-tengah berlainan dan juga perhitungan dengan menggunakan metode kamar hitung *original neubauer* lebih sulit daripada metode *improve neubauer*. Kamar hitung *improve neubauer* ini mempunyai luas 9 mm^2 yang terdiri dari 9 kotak besar masing-masing luasnya sebesar 1 mm^2 .

Kemudian kotak besar tersebut dibagi lagi menjadi 16 kotak sedang yang luasnya masing-masing $0.25 \times 0.25 \text{ mm}^2$. Sedangkan 1 kotak besar yang berada di tengah dibagi menjadi 25 kotak sedang dan kemudian 1 kotak sedang dibagi kembali menjadi 16 bidang kecil. Sehingga, total kotak kecil pada bidang tengah berjumlah 400 buah yang memiliki luas

0.05x0.05 mm². Perhitungan jumlah sel pada kamar hitung *neubauer improved* ini juga sedikit berbeda dengan metode kamar hitung lainnya. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.17 Kamar Hitung Neubauer Improved

(images.google.com, diakses pada tanggal 21 April 2018)

Perlengkapan yang dibutuhkan untuk menghitung jumlah sel menggunakan kamar hitung *Improve Nebaurer* antara lain:

- A. *Deck glass* atau kaca preparat
- B. *Micropipet*
- C. *Tip pipet*
- D. Alkohol 70% untuk membersihkan permukaan kamar hitung
- E. Mikroskop dengan perbesaran (lensa objektif x lensa okuler) 100 kali

Berikut ini merupakan rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah sel yang diawali dengan menghitung jumlah sel pada kamar yang telah ditentukan. Setelah menemukan berapa persen sel yang bisa dilihat menggunakan mikroskop, lalu menghitung rata-rata jumlah sel yang ada di tiap kotak, antara lain sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata sel: } \frac{\text{sel terlihat}}{5 \text{ kotak}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Setelah menemukan rata-rata sel di tiap kotaknya, lalu dihitung faktor pengenceran yang dilakukan apabila sebelumnya dilakukan pengenceran terhadap inokulum awal sebagai berikut:

$$\text{Faktor Pengenceran: } \frac{\text{Volume akhir setelah ditambah pengencer}}{\text{Volume inokulum yang diencerkan}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Setelah semuanya didapatkan, maka dicari kepadatan sel akhir nya pada rumus dibawah ini:

$$\text{Kepadatan sel (sel/mL) : Rata-rata sel x Faktor pengenceran x } 10^4 \dots\dots\dots (2.3)$$

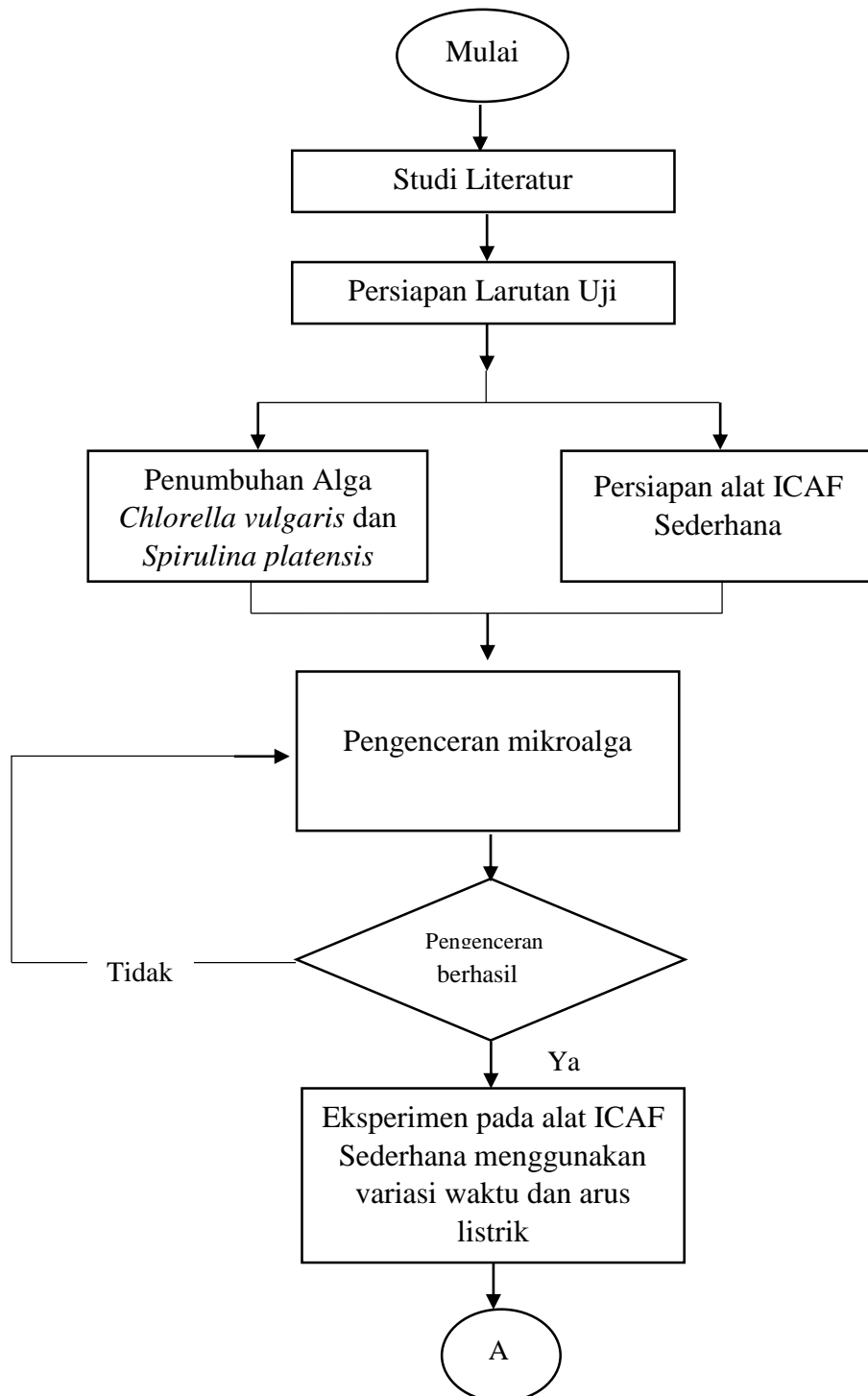
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

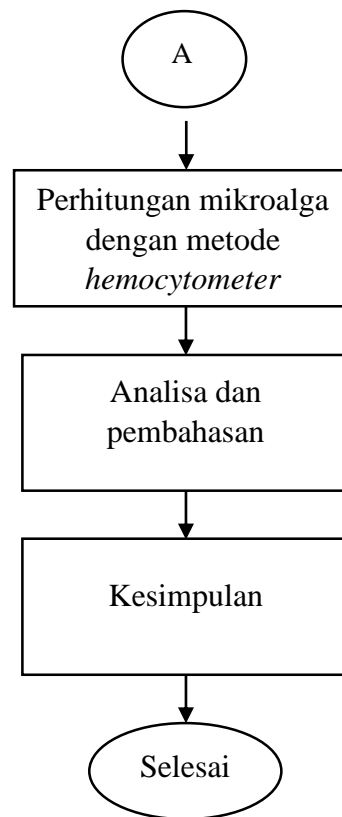
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram alir penelitian

Pada penelitian kali ini dijelaskan langkah-langkah dalam pengerjaan Tugas Akhir yang digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:





3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Sebelum melangkah lebih jauh, penulis terlebih dahulu melakukan studi literature dan pemahaman yang berkaitan dengan penelitian Tugas Akhir ini. Sumber-sumber yang penulis ambil berasal dari Buku, *paper*, jurnal, serta laporan Tugas Akhir alumni. Hal ini harus dilakukan agar nantinya penelitian ini sesuai dengan prosedur dan memperkecil resiko kegagalan dalam penelitian yang dilakukan.

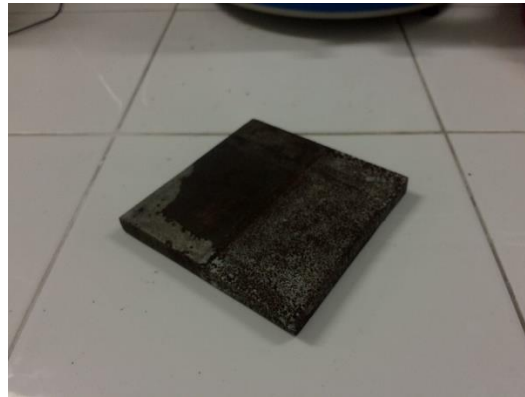
3.2.2 Persiapan Bahan dan Peralatan Uji

Sebelum dilakukan pengujian mikroalga pada alat ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*) sederhana ini, langkah pertama yang harus dilakukan untuk penelitian kali ini adalah mempersiapkan bahan untuk larutan ujinya, peralatan dari alat ICAF nya serta bahan-bahan lainnya guna sesuai prosedur. Peralatan yang perlu dipersiapkan terlebih dahulu adalah:

- ❖ Gelas Ukur
- ❖ Erlenmeyer tube
- ❖ *Micro Pipet*
- ❖ Tisu
- ❖ Gunting
- ❖ *Auto clave device*
- ❖ Alat centrifuge
- ❖ Tabung centrifuge
- ❖ Mikroskop
- ❖ Korek api
- ❖ Bunsen
- ❖ Kertas coklat
- ❖ Kapas lemak
- ❖ Spektrofometer
- ❖ *Breaker glass*
- ❖ *Micro pipet*
- ❖ *Hemocytometer*
 - Setelah mempersiapkan peralatannya, selanjutnya bahan-bahan yang harus disiapkan juga antara lain:
 - ❖ Alat ICAF Sederhana
 - ❖ Pelat tembaga ukuran 15 cm x 15 cm x 1 cm
 - ❖ Air Laut
 - ❖ Baja HSLA Grade AH 36 ukuran 15 cm x 15 cm x 1 cm
 - ❖ Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*

3.2.3 Persiapan material uji

Pada penelitian kali ini, digunakan material uji yang berbahan baja HSLA AH 36 dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 1 cm yang mana pada pengaplikasiannya dalam bidang bangunan laut ataupun kapal. Baja kali ini bertindak sebagai katoda dari alat ICAF sederhana.



Gambar 3 1 Baja AH-36 sebagai katoda

Selain katoda, Anoda juga memiliki peran yang mendukung terjadinya proses *impressed current*. Disini plat tembaga dipilih sebagai anoda dikarenakan katoda yang dipakai pada penelitian kali ini adalah menggunakan baja HSLA AH 36 sebagai contoh pelat kapal yang digunakan pada praktek di lapangannya. Pelat tembaga ini berukuran 15 cm x 15 cm x 1 cm yang mana ukuran dari anoda tembaga ini mengikuti ukuran dari baja HSLA AH 36 sebagai katodanya.



Gambar 3 2 Tembaga sebagai anoda

3.2.4 Persiapan mikroalga uji

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



Gambar 3 3 alat *Autoclave*

2. Setelah steril itu mikroalga dicampur dengan media air laut dengan perbandingan 10:90 20:80 dan 30:70 untuk *Chlorella vulgaris* dengan tujuan untuk mencari perbandingan yang paling baik sedangkan *Spirulina platensis* dengan perbandingan 30 mikroalga :70 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)
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 3 variasi perbandingan antara media dengan mikroalga yaitu 10:90, 20:80, 30:70 sedangkan *spirulina platensis* menggunakan perbandingan 30:70.



Gambar 3 4 inokulasi mikroalga *chlorella vulgaris* dan *spirulina platensis*

3.2.5 Persiapan larutan uji

Pada prinsipnya larutan uji yang digunakan pada penelitian ini adalah air salinitas dengan kadar 35 ppt pada kedalaman yang dangkal dikarenakan pada prakteknya nantinya sistem pendingin letaknya di bawah yang cukup dangkal. Pada penelitian kali ini menggunakan air laut yang sudah di filtrasi dan di sterilisasi.

3.2.6 Pengujian menggunakan alat ICAF sederhana

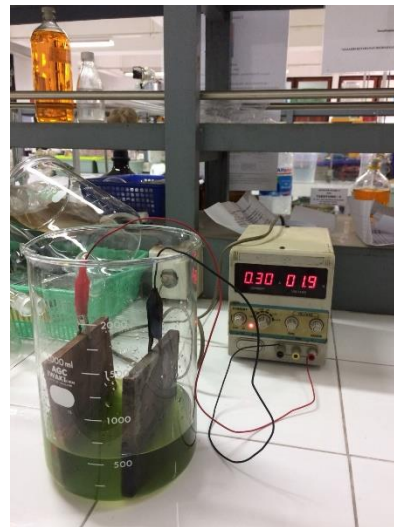
Penelitian menggunakan ICAF ini memiliki tahapan-tahapan dibawah ini, yaitu:

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



Gambar 3 5 alat ICAF sederhana

2. Siapkan wadah uji yang sudah steril untuk tempat mikroalga lalu masukan mikroalga yang sudah aktif kedalam wadah tersebut tersebut
3. Masukan Baja HSLA AH 36 sebagai katoda dengan tembaga sebagai anoda nya yang sudah terhubung dengan rangkaian listrik dari alat ICAF kedalam *beaker glass* uji hingga tercelup air salinitas tapi tidak sampai full



Gambar 3 6 proses ICAF

4. Nyalakan arus listrik nya dengan arus dimulai dengan arus yang paling kecil terlebih dahulu
5. Ulangi point 1 sampai 4 dengan memvariasikan variable arus listrik dan juga waktunya
6. Stop arus listrik pada alat ICAF, jika sudah hitung konsentrasi mikroalganya.

3.2.7 Perhitungan mikroalga dengan menggunakan metode *Hemocytometer*

Tahapan ini merupakan tahapan selanjutnya setelah melakukan variasi arus listrik dan juga waktu pada alat ICAF sederhana diatas. Tahapan kali ini adalah mulai perhitungan mikroalga dengan *Hemocytometer* dengan tujuan untuk menghitung mikroalga yang masih aktif dan hidup di dalam larutan uji. Tahapan-tahapan nya adalah sebagai berikut:

1. Siapkan *sample* hasil uji sekitar 30 ml dari wadah inokulasi dengan mikroalga aktif yang sudah melalui variasi waktu dan arus listrik.

2. Siapkan peralatan-peralatan seperti *hemocytometer* neubauer improved, mikroskop, alcohol 70%, *cover glass* atau kaca preparat, *micropipette*, *tip pipet*, media pengencer dan tissue



Gambar 3 7 mikroskop yang digunakan untuk melihat mikroalga

3. Setelah itu, *sample* tadi dimasukan kedalam tabung reaksi untuk dilakukan pengenceran dengan media yang sama dengan media tumbuh dari mikroalga tersebut.



Gambar 3 8 tabung reaksi untuk pengenceran

4. Masukan *sample* tadi sekitar 1 ml lalu ditambahkan 9 ml air laut sehingga didapatkan nilai pengenceran sebesar 10^2 .
5. Bersihkan *hemocytometer* dan juga kaca preparat dengan alcohol 70% untuk memastikan *hemocytometer* terbebas dari bakteri lain sebelum digunakan
6. Injeksikan 1 ml *sample* menggunakan *micropipette* kemudian tuang ke atas *hemocytometer*
7. Kemudian tutup dengan kaca preparat agar mikroalga dapat dilihat lebih jelas.
8. Lalu setel mikroskop dengan perbesaran 100 kali (lensa objektif x lensa okuler) agar kamar hitung nya dapat terlihat dengan jelas

9. 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
10. Jumlah sel mikroalga yang sudah dihitung tadi dimasukkan kedalam persamaan (2.4)

3.2.8 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.

3.2.9 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.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1. Penelitian pendahuluan

4.1.1. Uji laju pertumbuhan *Chlorella Vulgaris* dan *Spirulina Platensis*

Uji laju pertumbuhan *Chlorella Vulgaris* dan *Spirulina Platensis* ini dilakukan dalam skala laboratorium yang mana bertempat di laboratorium remediasi Teknik Lingkungan ITS. Uji laju pertumbuhan ini penting dilakukan mengingat mikroalga harus mendapat penyesuaian diri dengan lingkungan barunya menurut hasil studi literatur dan informasi dari BPBAP Situbondo selaku penyedia mikroalga awal.

Dalam uji laju pertumbuhan *Chlorella Vulgaris* dan *Spirulina Platensis* dimulai dengan pensterilan wadah uji untuk pembiakan mikroalga menggunakan wadah tabung *Erlenmeyer* yang sudah diisi oleh air laut komersil dengan salinitas awal sebesar 35.2 ppt yang telah di cek pada alat salinometer. Wadah tersebut selanjutnya 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. 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 10:90, 20:80, 30:70 sedangkan pada *spirulina platensis* peneliti mengambil perbandingan sebesar 30:70 untuk mendapatkan hasil laju pertumbuhan yang paling baik pada masing-masing mikroalga tersebut. lalu ditambahkan juga pupuk pada media untuk merangsang pertumbuhan dari mikroalga tersebut berupa pupuk 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 30 mL dilakukan setiap 24 jam sekali mengikuti pertumbuhan mikroalga sendiri.



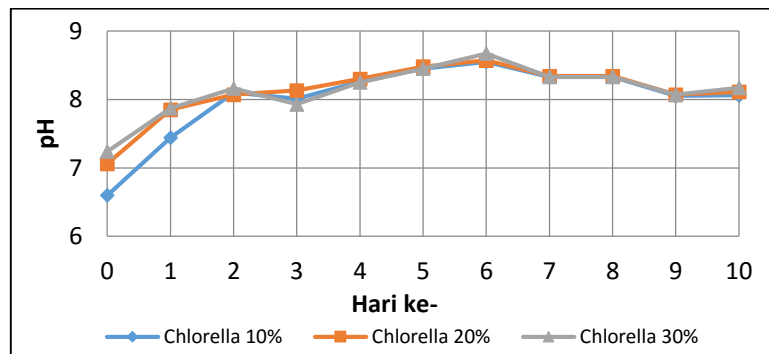
Gambar 4. 1 hasil uji salinitas air laut komersil pada salinometer dan proses inokulasi pada laminar air flow

4.1.2. Uji parameter pertumbuhan *Chlorella Vulgaris* dan *Spirulina Platensis*

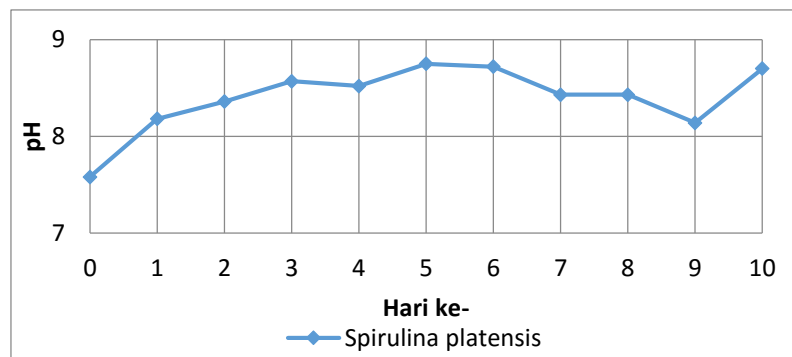
Uji laju pertumbuhan pada penelitian kali ini berlangsung selama 10 hari dan parameter yang diuji antara lain pH, Suhu, Salinitas, nilai *Optical Density* dan jumlah sel. Dibawah ini akan dijelaskan parameter-parameter tersebut.

a. pH

Nilai Ph sendiri merupakan salah satu dari kriteria yang harus dipenuhi oleh mikroalga agar tumbuh nya dapat berjalan dengan optimal. Secara umum kisaran Ph yang optimum untuk perkembang biakan *Chlorella* adalah antara pH 7-9. Menurut Nielsen (1955) dalam Prihantini, et.al. (2005) menyatakan bahwa pH yang sesuai untuk perkembangbiakan *Chlorella* berkisar antara 4,5-9,3 sedangkan kisaran optimum untuk *Chlorella* laut (*Chlorella vulgaris*) berkisar antara 7,8-8,5. Menurut Pandey, et.al. (2010) menyatakan bahwa Ph optimal untuk *spirulina platensis* ini adalah berkisar antara 7-9. Pada uji pH pada *chlorella vulgaris* dengan variasi perbandingan media dengan kultur nya berkisar antara 8.05-8.50 yang mana nilai pH dari hari 0 sampai hari 10 mengalami tren peningkatan. Sedangkan pada *spirulina platensis* dari hari 0 hingga hari 10 pengujian mengalami tren naik turun berkisar antara 7.6-8.80. Menurut Prihantini, et.al. (2005) hal tersebut kemungkinan terjadi karena adanya aktivitas fotosintesis mikroalga yang mana pada saat terjadi fotosintesis, mikroalga akan memanfaatkan senyawa CO₂ bebas dan terlarut sebagai sumber karbon anorganik utama yang digunakan.



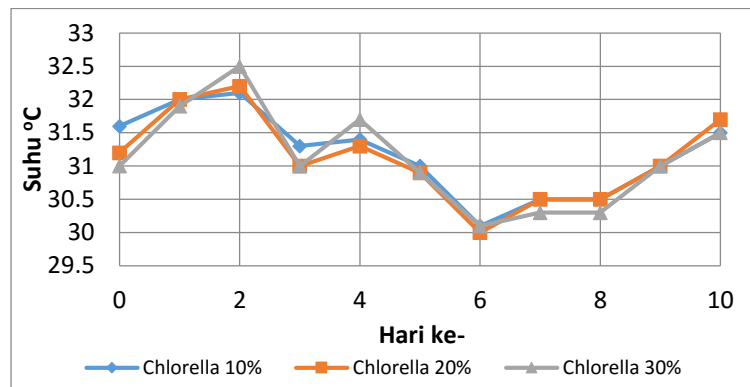
Gambar 4. 2 pH *chlorella vulgaris*



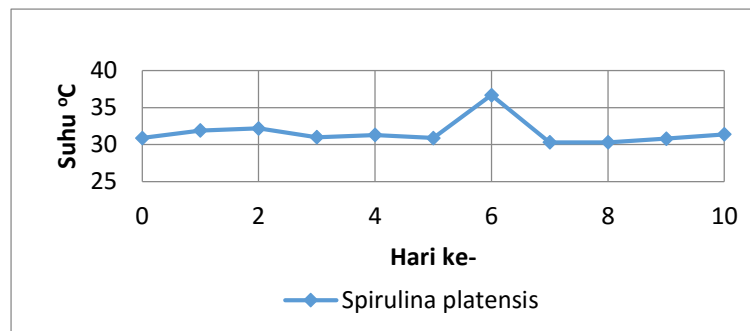
Gambar 4. 3 pH *spirulina platensis*

b. 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 molekul, 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). sedangkan pada *spirulina platensis* suhu optimumnya berkisar antara 35-38°C. hasil pengukuran suhu yang dilakukan oleh peneliti didapatkan perubahan nilainya tidak terlalu signifikan. Dari hari 0 hingga hari ke 10 berkisar antara 31.2-32.5°C untuk *chlorella vulgaris*, sedangkan untuk *spirulina platensis* didapatkan sekitar 31.6-36.7°C. grafik suhunya bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 4 Suhu *Chlorella vulgaris*

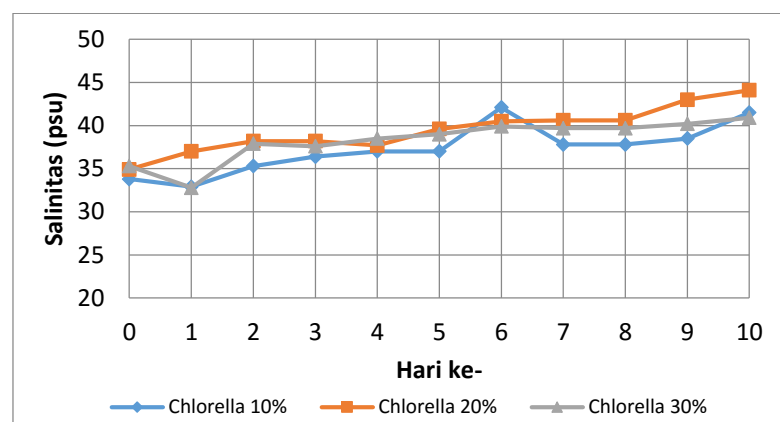


Gambar 4. 5 Suhu *Spirulina platensis*

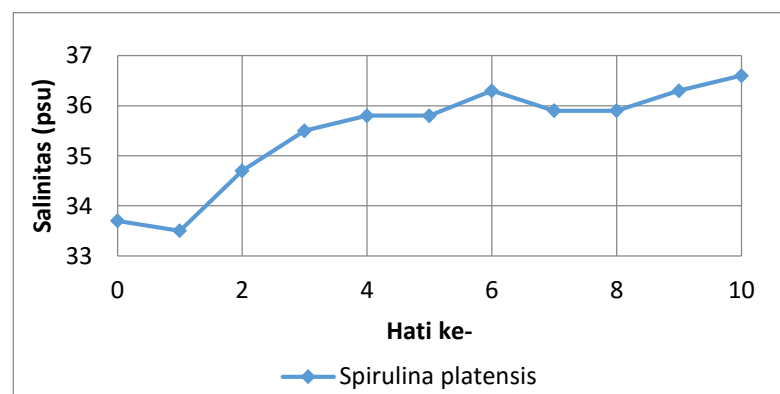
c. Salinitas

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. sedangkan menurut (Hariyati, 2008) nilai salinitas optimum pada *spirulina platensis* berkisar antara 15-20%. Pada hasil penelitian selama 10 hari pada skala laboratorium menunjukkan bahwa setiap hari nilai salinitas kedua mikroalga mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak signifikan khusus untuk *spirulina platensis*. Rata-rata nilai salinitas dari *chlorella vulgaris* sendiri adalah berkisar antara 37.3 – 39.5 psu sedangkan untuk *spirulina platensis* berkisar antara 33.5 – 36.8 psu. Disini didapatkan nilai salinitas yang cukup tinggi. Ini disebabkan karena gelembung penguasaan pada wadah yang menyebabkan penguapan air laut yang digunakan. Rostini (2005) mengatakan

bahwa kenaikan salinitas pada media kultur dapat diakibatkan oleh adanya garam-garam metabolit hasil metabolisme sel ataupun pengendapan garam dan nutrient di dalam media kultur. 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).



Gambar 4. 6 Salinitas *Clorella Vulgaris*

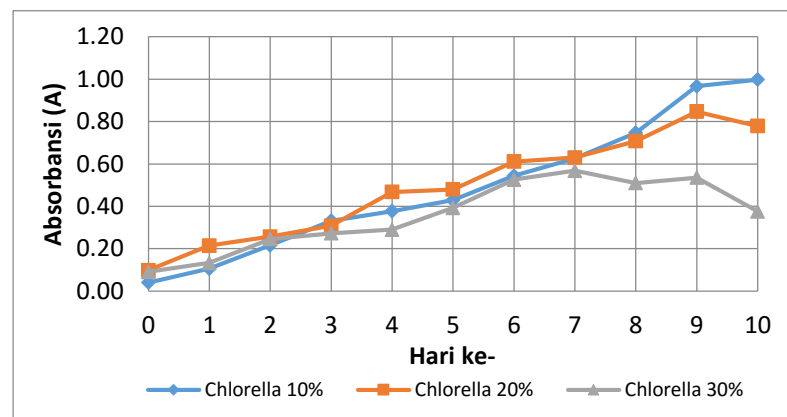


Gambar 4. 7 Salinitas *Spirulina platensis*

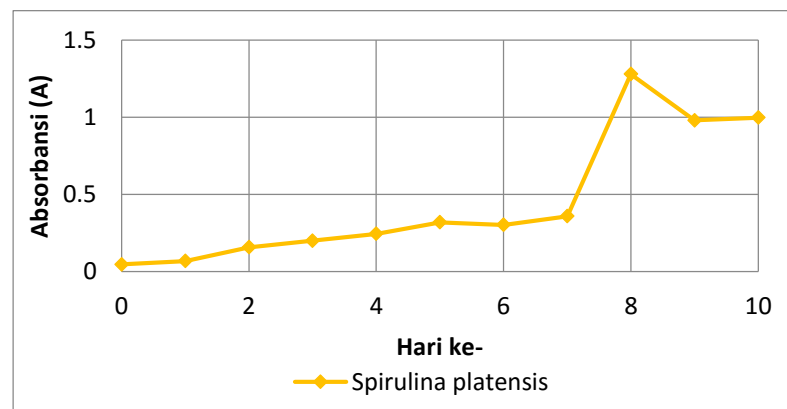
d. OD (*Optical Density*)

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 10 mengalami peningkatan dikarenakan jumlah biomassa *Chlorella vulgaris* semakin banyak yang terbentuk (Widayat dan Hadiyanto, 2015) begitu juga dengan *Spirulina platensis*.



Gambar 4. 8 Nilai OD pada *Chlorella vulgaris*

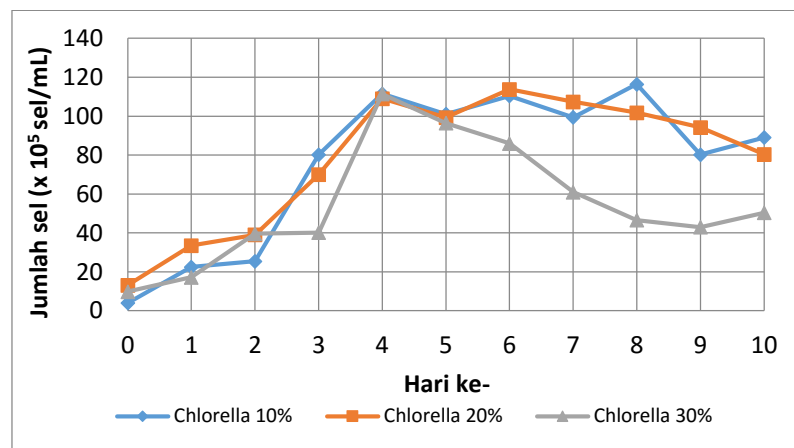


Gambar 4. 9 Nilai OD pada *Spirulina platensis*

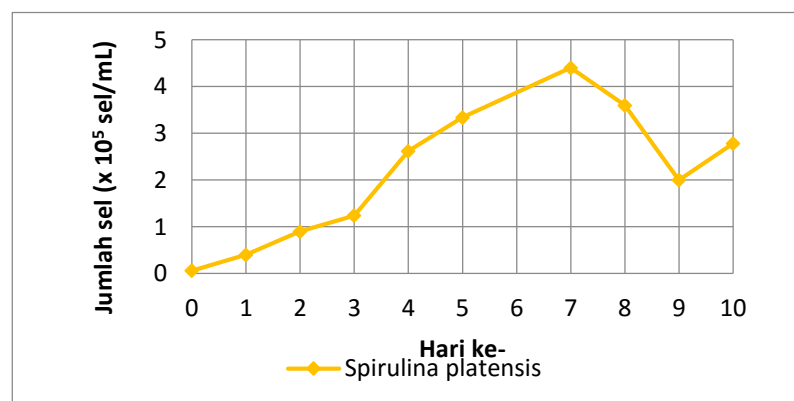
e. Jumlah sel

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* setelah selesai dihitung barulah *Spirulina platensis*) diatas *Hemocytometer* lalu tutup dengan kaca preparat untuk memperjelas. Pada penelitian kali ini, didapatkan jumlah sel dari 0 hingga hari ke 10 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 4, sedangkan untuk *Spirulina platensis* mengalami puncak fase eksponensial pada hari ke 7.
















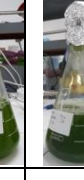
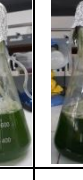

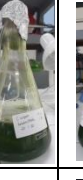







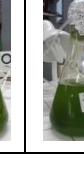
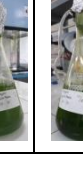
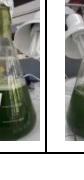
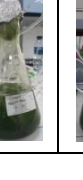





Gambar 4. 10 Jumlah sel *Chlorella vulgaris*














Gambar 4. 11 Jumlah sel *Spirulina platensis*

Tabel 4. 1 Tabel pengamatan uji laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

Perbandingan Inokulum : Media	Hari ke-										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10 : 90											
20 : 80											
30 : 70											

Tabel 4. 2 Tabel pengamatan uji laju pertumbuhan *Spirulina platensis*

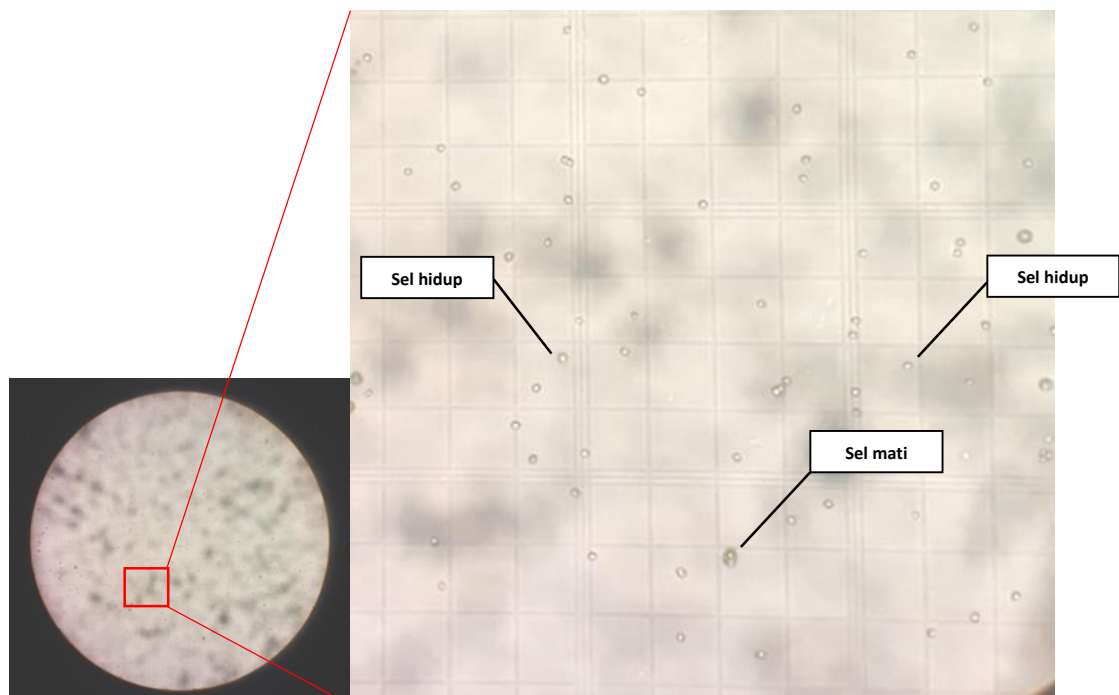
Perbandingan Inokulum : Media	Hari ke-										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30 : 70											

4.2 Penelitian Utama

4.2.1. Hasil uji ketahanan *chlorella vulgaris* dengan variasi arus dan waktu

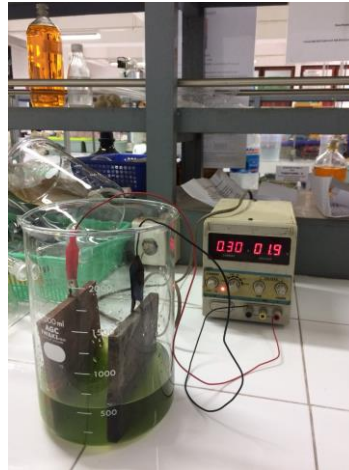
Pada penelitian utama kali ini, peneliti melakukan percobaan pada Laboratorium Remediasi Departemen Teknik Lingkungan ITS. Peneliti menggunakan alat ICAF sederhana yang maksimal arusnya hanya sampai 2 Ampere saja. Katoda yang digunakan pada penelitian kali ini adalah baja AH 36 sebagai objek terlindung 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* disiapkan 500 mL inokulum pada *baker glass*. Sebelum baja dan juga tembaganya 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. Jumlah sel awal dihitung menggunakan *Hemocytometer* dan didapatkan jumlah sel nya sekitar 8550×10^3 sel/ mL. Perbedaan sel *Chlorella vulgaris* yang hidup dengan yang mati adalah sel yang masih hidup berwarna hijau terang dan bentuknya bulat utuh, sedangkan sel *Chlorella vulgaris* yang sudah mati berwarna kecoklatan dan bentuknya sudah pecah atau tidak bulat lagi.



Gambar 4. 12 Perbedaan jumlah sel *Chlorella vulgaris* yang hidup dengan yang mati

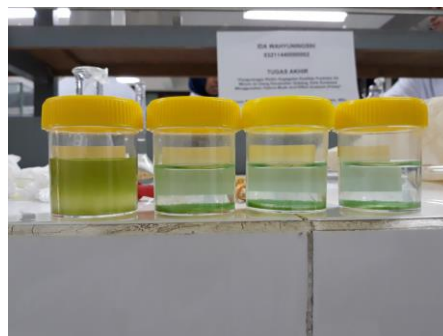
4.2.2 Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit dengan arus listrik 0.3 A



Gambar 4. 13 uji ketahanan *Chlorella vulgaris* dengan variasi waktu dan arus listrik 0.3 A. Setelah pengujian dengan variasi waktu tersebut, sample diambil masing-masing 30 mL untuk setelah itu dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan adalah dengan waktu 5 menit didapatkan jumlah sel hidup sebanyak 208×10^3 sel/ mL, untuk 7 menit didapatkan jumlah sel hidup sebanyak 24×10^3 sel/ mL, dan untuk waktu 10 menit didapatkan jumlah sel hidup sebanyak 10×10^3 sel/ mL. lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

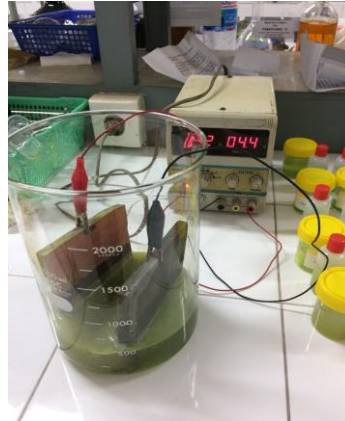
Tabel 4. 3 tabel hasil eksperimen arus listrik 0.3 ampere dengan variasi waktu

Arus 0.3 A	Jumlah sel hidup ($\times 10^3$)
5 menit	208
7 menit	24
10 menit	10



Gambar 4. 14 Hasil pengamatan fisik arus listrik 0.3 ampere dengan variasi waktu

4.2.3. Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit dengan arus listrik 0.5 A



Gambar 4. 15 uji ketahanan *Chlorella vulgaris* dengan variasi waktu dan arus listrik 0.5 A. Setelah pengujian dengan variasi waktu tersebut, sample diambil masing-masing 30 mL untuk setelah itu dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan adalah dengan waktu 5 menit didapatkan jumlah sel hidup sebanyak 168×10^3 sel/ mL, untuk 7 menit didapatkan jumlah sel hidup sebanyak 20×10^3 sel/ mL, dan untuk waktu 10 menit didapatkan jumlah sel hidup sebanyak 8×10^3 sel/ mL. lebih jelasnya dapat dilihat dalam tabel dibawah ini

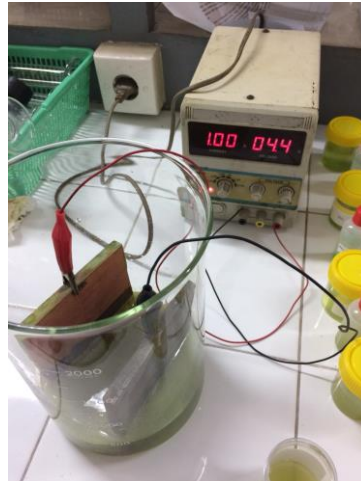
Tabel 4. 4 tabel hasil eksperimen arus listrik 0.5 ampere dengan variasi waktu

Arus 0.5 A	Jumlah sel hidup ($\times 10^3$)
5 menit	168
7 menit	20
10 menit	8



Gambar 4. 16 Hasil pengamatan fisik arus listrik 0.5 ampere dengan variasi waktu

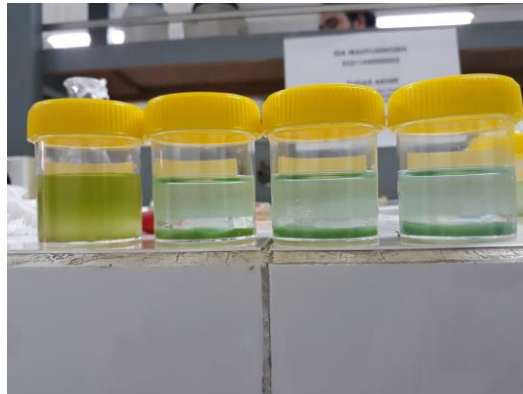
4.2.4. Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit dengan arus listrik 1 A



Gambar 4. 17 uji ketahanan *Chlorella vulgaris* dengan variasi waktu dan arus listrik 1 A. Setelah pengujian dengan variasi waktu tersebut, sample diambil masing-masing 30 mL untuk setelah itu dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan adalah dengan waktu 5 menit didapatkan jumlah sel hidup sebanyak 14×10^3 sel/ mL, untuk 7 menit didapatkan jumlah sel hidup sebanyak 6×10^3 sel/ mL, dan untuk waktu 10 menit didapatkan jumlah sel hidup sebanyak 2×10^3 sel/ mL. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam tabel dibawah ini

Tabel 4. 5 tabel hasil eksperimen arus listrik 1 ampere dengan variasi waktu

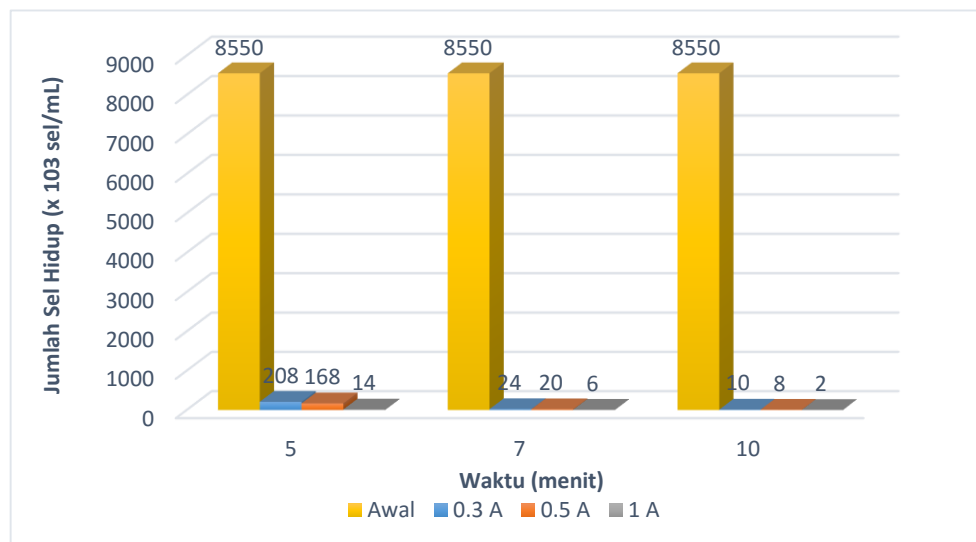
Arus 1 A	Jumlah sel hidup ($\times 10^3$)
5 menit	14
7 menit	6
10 menit	2



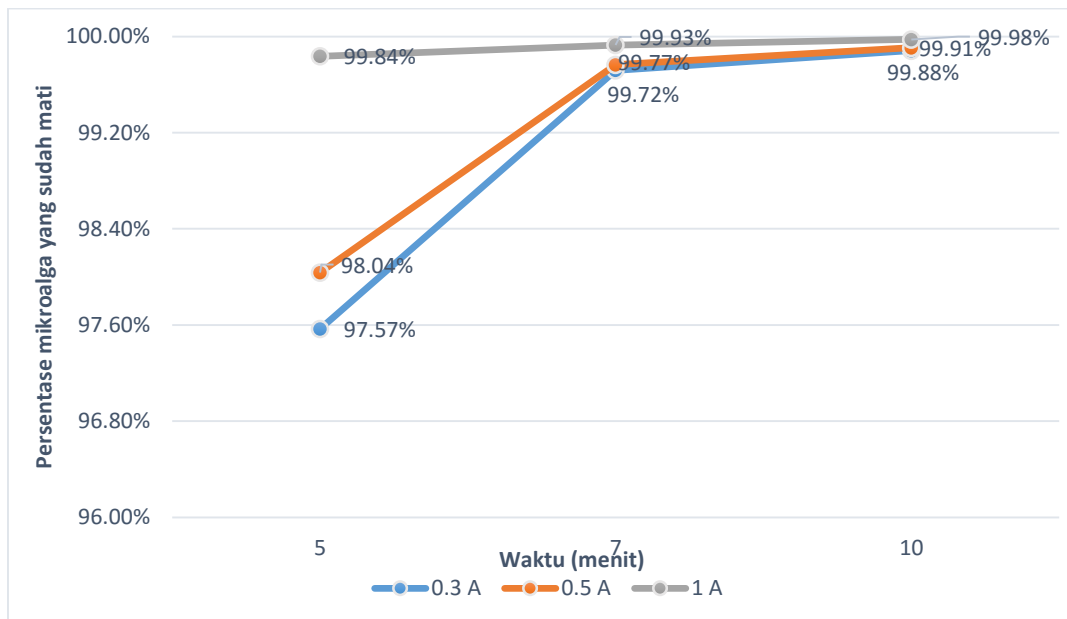
Gambar 4. 18 Hasil pengamatan fisik arus listrik 1 ampere dengan variasi waktu

4.2.5 Grafik jumlah *Chlorella vulgaris* hasil eksperimen

Setelah didapatkan hasil perhitungan, maka hasil-hasil tersebut dimasukkan kedalam grafik yang bertujuan untuk mempermudah dan juga mencari manakah variasi arus dan waktu yang paling efektif dalam penelitian kali ini.



Gambar 4. 19 hasil perhitungan jumlah sel dalam variasi arus dan waktu



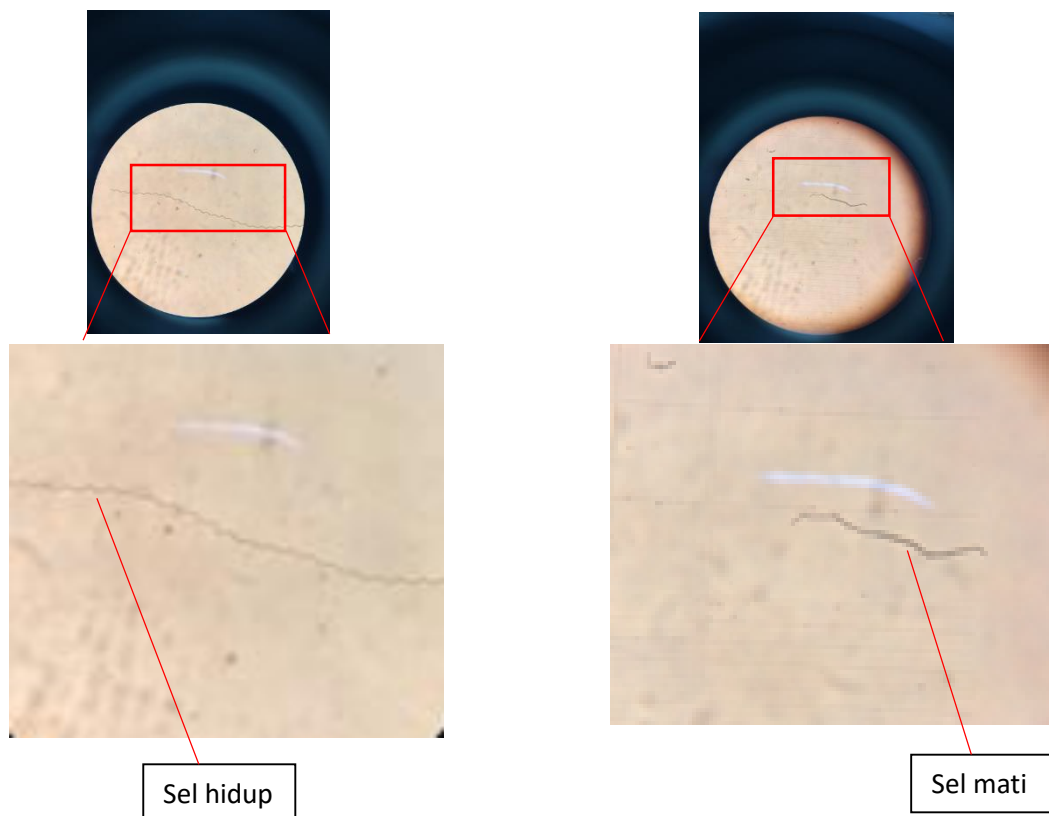
Gambar 4. 20 Persentase *Chlorella vulgaris* yang sudah mati dalam variasi waktu dan arus

Berdasarkan 2 grafik diatas dapat dijelaskan bahwa pada grafik jumlah sel, tren nya mengalami penurunan hal ini dapat dijelaskan karena semakin ke kanan menunjukkan waktu paparan dari tembaga nya lebih lama daripada sebelah kirinya. Sedangkan pada grafik persentase *Chlorella vulgaris* yang sudah mati trennya mengalami kenaikan hal ini dapat dijelaskan karena waktu paparan dari tembaga juga semakin lama dan dapat dilihat juga dengan variasi arus 1 Ampere dan waktu selama 15 menit berhasil membunuh sel sebanyak 99.98% yang mana artinya eksperimen dengan menggunakan metode ICAF ini berjalan dengan baik.

4.2.6 Hasil uji ketahanan *Spirulina platensis* dengan variasi arus dan waktu

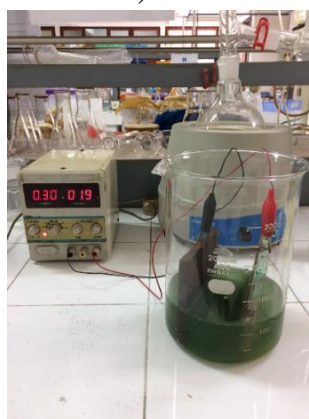
Selanjutnya pada penelitian utama dengan menggunakan mikroalga *Spirulina platensis*, peneliti tetap melakukan percobaan pada Laboratorium Remediasi Departemen Teknik Lingkungan ITS. Seperti halnya *Chlorella vulgaris* peneliti menggunakan alat ICAF sederhana yang maksimal arusnya hanya sampai 2 Ampere saja. Katoda yang digunakan 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. Seperti halnya juga penelitian pertama menggunakan *Chlorella vulgaris*, pada uji mikroalga *Spirulina platensis* disiapkan juga inokulum awal sebanyak 500 mL juga pada baker glass berukuran 2 L. Sebelum diuji

menggunakan alat ICAF peneliti mengambil sample awal sebanyak 30 mL dan dihitung jumlah awal sel nya menggunakan *hemocytometer* dan didapatkan jumlah sel *Spirulina platensis* awal sebanyak 240×10^3 sel/ mL. Perbedaan sel *Spirulina platensis* yang hidup dengan yang sudah mati adalah sel *Spirulina platensis* yang masih hidup berbentuk spiral panjang sedangkan sel *Spirulina platensis* yang sudah mati bentuknya sudah tidak lagi spiral dan pendek/terputus.



Gambar 4. 21 Perbedaan jumlah sel *Spirulina platensis* yang hidup dengan yang mati

4.2.7 Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit dengan arus listrik 0.3 A



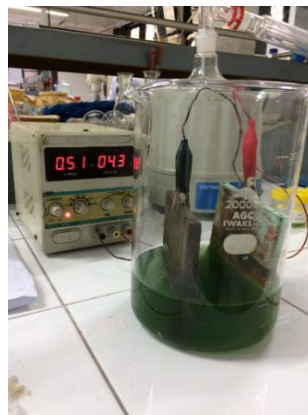
Gambar 4. 22 uji ketahanan *Spirulina platensis* dengan variasi waktu dan arus listrik 0.3 A

Setelah dilakukan pengujian terhadap mikroalga, diambil sample sebanyak 30 mL untuk mengetahui jumlah sel tiap waktu yang dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan pada waktu 5 menit sebanyak 54×10^3 sel/ mL, pada waktu 7 menit 24×10^3 sel/ mL dan pada waktu 10 menit sebanyak 8×10^3 sel/ mL. Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 6 tabel hasil eksperimen arus listrik 0.3 ampere dengan variasi waktu

Arus 0.3	Jumlah sel hidup ($\times 10^3$)
5 menit	54
7 menit	24
10 menit	8

4.2.8 Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit dengan arus listrik 0.5 A



Gambar 4. 23 uji ketahanan *Spirulina platensis* dengan variasi waktu dan arus listrik 0.5 A

Setelah dilakukan pengujian terhadap mikroalga, diambil sample sebanyak 30 mL untuk mengetahui jumlah sel tiap waktu yang dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan pada waktu 5 menit sebanyak 14×10^3 sel/ mL, pada waktu 7 menit 8×10^3 sel/ mL dan pada waktu 10 menit sebanyak 6×10^3 sel/ mL. Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 7 tabel hasil eksperimen arus listrik 0.5 ampere dengan variasi waktu

Arus 0.5	Jumlah sel hidup ($\times 10^3$)
5 menit	14
7 menit	8
10 menit	6

4.2.9 Hasil eksperimen dengan durasi 5, 10 dan 15 menit dengan arus listrik 1 A



Gambar 4. 24 uji ketahanan *Spirulina platensis* dengan variasi waktu dan arus listrik 1 A

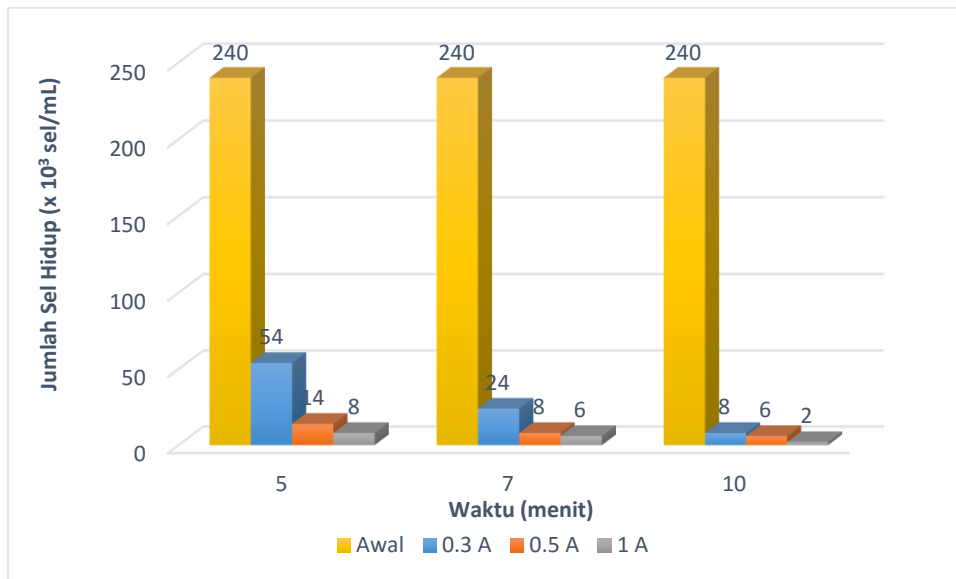
Setelah dilakukan pengujian terhadap mikroalga, diambil sample sebanyak 30 mL untuk mengetahui jumlah sel tiap waktu yang dihitung menggunakan *Hemocytometer*. Hasil yang didapatkan pada waktu 5 menit sebanyak 8×10^3 sel/ mL, pada waktu 6 menit 8×10^3 sel/ mL dan pada waktu 10 menit sebanyak 2×10^3 sel/ mL. Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 8 tabel hasil eksperimen arus listrik 1 ampere dengan variasi waktu

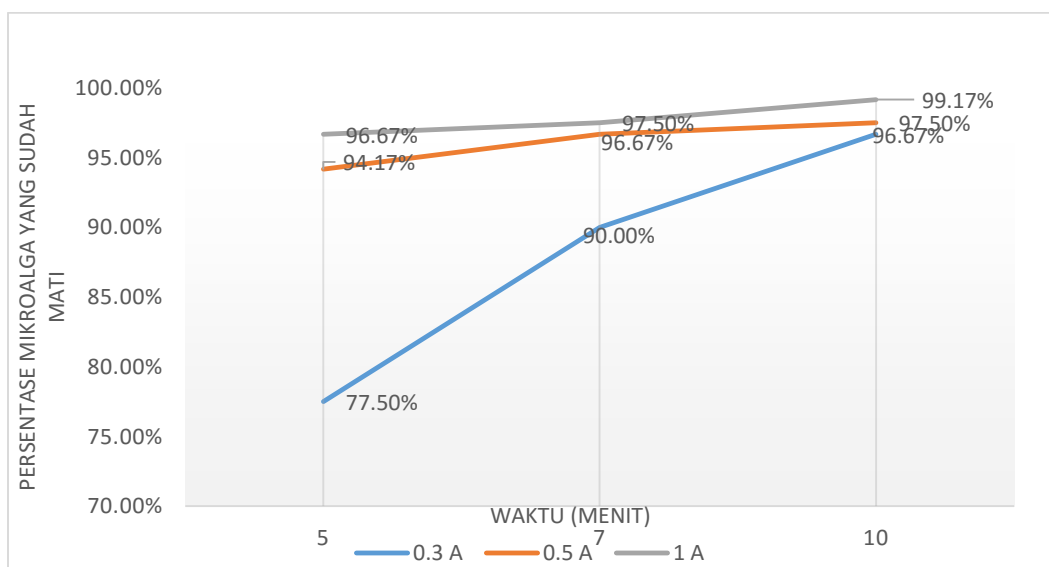
Arus 1	Jumlah sel hidup ($\times 10^3$)
5 menit	8
7 menit	6
10 menit	2

4.2.10 Grafik jumlah *Spirulina platensis* hasil eksperimen

Setelah didapatkan hasil perhitungan jumlah sel dengan menggunakan *hemocytometer*, maka hasil-hasil tersebut dimasukkan kedalam grafik yang bertujuan untuk mempermudah dan juga mencari manakah variasi arus dan waktu yang paling efektif dalam penelitian kali ini.



Gambar 4. 25 hasil perhitungan jumlah sel dalam variasi arus dan waktu



Gambar 4. 26 Persentase *Spirulina platensis* yang sudah mati dalam variasi waktu dan arus
Berdasarkan 2 grafik diatas dapat dijelaskan bahwa pada grafik jumlah sel, tren nya mengalami penurunan hal ini dapat dijelaskan karena semakin ke kanan menunjukkan waktu

paparan dari tembaga nya lebih lama daripada sebelah kirinya. Sedangkan pada grafik persentase *Spirulina platensis* yang sudah mati tren grafiknya mengalami kenaikan hal ini dapat dijelaskan karena waktu paparan dari tembaga juga semakin lama dan dapat dilihat juga dengan variasi arus 1 Ampere dan waktu selama 15 menit berhasil membunuh sel sebanyak 99.17% yang mana artinya eksperimen dengan menggunakan metode ICAF ini berjalan dengan baik dan tepat.

4.3 Uji AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometers*)

Pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS) ini dilakukan pada Laboratorium Energi dan Lingkungan – LPPM ITS, 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 *spirulina platensis* (semua hasil uji dibawah menggunakan satuan ppm atau *part per million*).

Tabel 4. 9 Tabel hasil uji AAS *Chlorella vulgaris*

Arus	Waktu		
	5 menit	7 menit	10 menit
0.3 A	20.52	20.16	20.80
0.5 A	19.59	20.79	39.94
1.0 A	19	18.91	17.85

Tabel 4. 10 Tabel hasil uji AAS *Spirulina Platensis*

Arus	Waktu		
	5 menit	7 menit	10 menit
0.3 A	10.76	12.91	8.78
0.5 A	10.57	14.50	81.06
1.0 A	11.46	8.47	7.77

Dapat dilihat pada *Chlorella vulgaris* rata-rata tertinggi nya terjadi pada arus 1 A yaitu sebesar 18.58 ppm sedangkan untuk *Spirulina platensis* rata-rata tertinggi nya terjadi pada arus 0.5 A sebesar 128.07 ppm. Terlarutnya tembaga pada eksperimen ICAF sendiri dipengaruhi oleh besar arus yang ditimbulkan dan juga mengakibatkan habisnya anoda pada tembaga serta menimbulkan endapan-endapan di dasar media uji. pengaruh waktu elektrolisis ini tidak terlalu berpengaruh terhadap besarnya efisiensi yang ditimbulkan oleh alat sederhana ICAF.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan hasil pengujian ICAF yang dilakukan pada Laboratorium Remediasi Departemen Teknik Lingkungan ITS adalah sebagai berikut:

1. Variasi arus dan juga waktu pada uji ICAF ini berdampak pada kematian sel mikroalga. Dari ketiga variasi arus dan waktu setelah dilakukan pengujian didapatkan efektifitas tertinggi dari waktu dan arus dalam hal membunuh mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* adalah waktu selama 10 menit dan besar arus listrik sebesar 1 A. Dari hasil pengujian ICAF diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin lama waktu paparannya, semakin baik juga dalam hal membunuh mikroalga penyebab *fouling*.
2. Persentase jumlah sel yang mati dari tiap mikroalga juga didapatkan setelah pengujian ICAF untuk *Chlorella vulgaris* persentase sel mati terbesar pada waktu 10 menit dan arus 1 A adalah sebesar 99.98% yang terkecil pada arus 0.3 A waktu 5 menit sebesar 97.57% sedangkan untuk *Spirulina platensis* didapatkan pesentase sel mati terbesar pada waktu 10 menit dan 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 mikroalga yang tidak dapat bertahan adalah *Chlorella vulgaris* dengan pesentase kematian jumlah sel sebesar 99,98%

5.2 Saran

Pada penelitian kali ini juga belum bisa dikatakan sempurna, dibuthkan saran-saran untuk dapat kedepannya memperbaiki kesalahan-kesalahan dan mengkoreksi penelitian diatas harpannya agar dapat semakin lebih baik lagi kedepannya. Dibawah ini beberapa saran-saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya:

1. Jenis mikroalga dari penelitian ini dapat diganti pada penelitian lanjutan, hal ini dikarenakan masih ada jenis mikroalga lain yang dapat menyebabkan *biofouling* pada kasus dilapangannya.

2. Jenis anoda yang digunakan pada ICAF dapat diganti dengan material dari jenis yang lain.
3. Variasi arus dan waktu yang digunakan dapat diganti sesuai dengan objek yang diteliti. Adapun variasi jenis objek juga dapat dilakukan seperti penggunaan konsorsium 2 jenis organisme.
4. Dalam proses penumbuhan mikroalga, dapat divariasikan lagi lama pertumbuhannya agar hasil inokulum yang didapatkan bisa beragam dan bisa juga dilakukan duplo maupun triplo untuk proses pengujiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bixler, Gregory D., dan Bhusnan, Barat. 2012. **Biofouling: Lessons From Nature**, Phil. Trans. R. Soc. A 370, 2381-2417.doi:10.1098/Rsta.2011.0502.
- Briggs, T., Eseonu, M. O. 2014 . **Efficiency of Corrosion Inhibitors on Cathodic Protection System**. IJETT: Volume 8 Number 3.
- Chamberlain J., Trethewey KR.. 1991, **KOROSI (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan)**, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ciferri, O. 1983. **Spirulina The Edible Microorganism**. Microbial Review. American Society.
- Effendi, H. 2003. **Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Cetakan Kelima**. Yogyakarta : Kanisius.
- Feriandi, Marison.2012. **Analisa Penggunaan Impressed Current Anti Fouling (ICAF) sebagai Pencegahan Fouling di Linier Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut.**Jurusan Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Hanssen, k., Cervin, G., Trepos, R., Petitbois, J., Haug, T., Hansen, E., Anderson, J.H., Pavin, H., Hellio, C., Svenson, J. 2014. **The Bromotyrosine Derivative Ianthelline Isolated From The Arctic Marine Sponge Stryphnus Fortis Inhibits Marine Micro and Macrobiofouling**. Springer Science. New York
- Irianto, K. 2007. **Mikrobiologi Umum**. CV Yrama Widya. Bandung.
- Kawaroe M, Prartono T, Sunuddin A, Sari DW, Augustine D. 2010. "**Mikroalga: potensi dan pemanfaatannya untuk produksi bio bahan bakar**". Bogor: PT Penerbit IPB Press.
- Maligan, J.M., Widayanti, V.T., dan Zubaidah, E. (2015). **Identifikasi Senyawa Antimikroba Ekstrak Mikroalga Laut Tetraselmis chunii (Kajian Metode Ekstraksi Maserasi, Jenis Pelarut, dan Waktu Ekstraksi**. Jurnal Teknologi Pertanian, 16(3): 195-206.
- Norcy Le, T., Niemann, Hendrik., Proksch, P., Linossier, Isabelle., Vallee-Rehel, K., Hellio, Claire., Fay, F. 2017. **Anti-Biofilm Effect of Biodegradable Coatings Based on**

Hemibastadin Derivative in Marine Environment. International Journal of Molecular Science.

Pelczar, Michael J. ECS. Chan. 2008. **Dasar-dasar mikrobiologi.** Jakarta. UI Press.

Pandey, Jai & Pathak, Neeraj & Tiwari, Amit. (2010). **Standardization of pH and Light Intensity for the Biomass Production of Spirulina platensis.** Journal of Algal Biomass Utilization 2229-6905. 1. 93-102.

Prihantini, N. B., Putri. B. dan Ratna. Y. 2005. **Pertumbuhan Chlorella sp dalam Medium Ekstrak Tauge (MET) dengan Variasi pH Awal.** Departemen Biologi. Fakultas MIPA. Universitas Indonesia. Depok.

Rachmat Supardi., 1997. **Korosi.** Penerbit "Tarsito", Bandung, hal.1-3

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

Singh, J., Saxena R. C., 2015. **An Introduction to Microalgae: Diversity and Significance.** Indian Instititue of Petroleum. India.

Supriyanto, 2007, **Pengaruh konsentrasi larutan NaCl terhadap laju korosi baja karbon rendah,** Universitas Muhamadiyah Surakarta, Surakarta

Utomo, Budi, 2009, **Jenis Korosi dan Penanggulangannya,** Universitas Diponegoro

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

PROSES PERSIAPAN PENGUJIAN



Penumbuhan mikroalga



pengukuran cahaya dengan lux meter



Pencahayaan media selama 10 hari (12 jam nyala 12 jam mati)



uji pH dan suhu menggunakan pH meter



Uji salinitas menggunakan salinometer (Ohaus starter 3000)

hasil parameter uji selama 10 hari

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
0	Chlorella 10%	6.6	31.6	33.8	0.015	9.5	400000
	Chlorella 20%	7.06	31.2	34.9	0.015	9.5	1314000
	Chlorella 30%	7.24	31	35.3	0.02	7.5	984000
	Spirulina platensis	7.58	30.9	33.7	0.015	9.5	6000

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
1	Chlorella 10%	7.44	32	32.9	0.015	9.5	2248000
	Chlorella 20%	7.85	32	37	0.015	9.5	3354000
	Chlorella 30%	7.87	31.9	32.8	0.01	9.5	1722000
	Spirulina platensis	8.18	31.9	32.9	0.01	9.5	40000

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
2	Chlorella 10%	8.1	32.1	35.3	0.01	9.5	2546000
	Chlorella 20%	8.07	32.2	38.2	0.005	8	3904000
	Chlorella 30%	8.16	32.5	37.9	0.01	9	3958000
	Spirulina platensis	8.36	32.2	34.7	0.01	9	90000

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
3	Chlorella 10%	8.01	31.3	36.4	0.015	9.5	8026000
	Chlorella 20%	8.13	31	38.2	0.005	8	7000000
	Chlorella 30%	7.93	31	37.6	0.01	9	4016000
	Spirulina platensis	8.57	31	35.5	0.01	9.5	124000

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
4	Chlorella 10%	8.26	31.4	37	0.01	9.5	11150000
	Chlorella 20%	8.3	31.3	37.7	0.01	9	10900000
	Chlorella 30%	8.25	31.7	38.5	0.01	9	11140000
	Spirulina platensis	8.52	31.3	35.8	0.01	7.5	262000

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
5	Chlorella 10%	8.45	31	37	0.01	9	10100000
	Chlorella 20%	8.48	30.9	39.6	0.01	9	9928800
	Chlorella 30%	8.45	30.9	39	0.01	9	9640000
	Spirulina platensis	8.75	30.9	35.8	0.01	9	334000

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
6	Chlorella 10%	8.55	30.1	42.1	0.01	9	11040000
	Chlorella 20%	8.57	30	40.5	0.01	9	11380000
	Chlorella 30%	8.67	30.1	39.9	0.01	9	8600000
	Spirulina platensis	8.72	30	36.7	0.01	8	260000

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
7	Chlorella 10%	8.33	30.5	37.8	0.015	8	9940000
	Chlorella 20%	8.34	30.5	40.6	0.015	9	10740000
	Chlorella 30%	8.33	30.3	39.7	0.015	7.5	6100000
	Spirulina platensis	8.43	30.3	35.9	0.015	8.5	440000

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
8	Chlorella 10%	8.33	30.5	37.8	0.015	8	11640000
	Chlorella 20%	8.34	30.5	40.6	0.015	8	10180000
	Chlorella 30%	8.33	30.3	39.7	0.015	8	4660000
	Spirulina platensis	8.43	30.3	35.9	0.015	8	360000

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
9	Chlorella 10%	8.05	31	38.5	0.015	8	8020000
	Chlorella 20%	8.07	31	43	0.015	8	9420000
	Chlorella 30%	8.07	31	40.2	0.015	8	4300000
	Spirulina platensis	8.14	30.8	36.3	0.015	5.5	200000

Hari ke	Jenis Mikroalga	pH	Suhu	Salinitas	V Sampel	V Ekstrak	Jumlah Sel Hidup
10	Chlorella 10%	8.06	31.5	41.5	0.015	8	8900000
	Chlorella 20%	8.11	31.7	44.1	0.015	8	8040000
	Chlorella 30%	8.17	31.5	40.9	0.015	8	5040000
	Spirulina platensis	8.7	31.4	39.5	0.015	8	278000

LAMPIRAN B

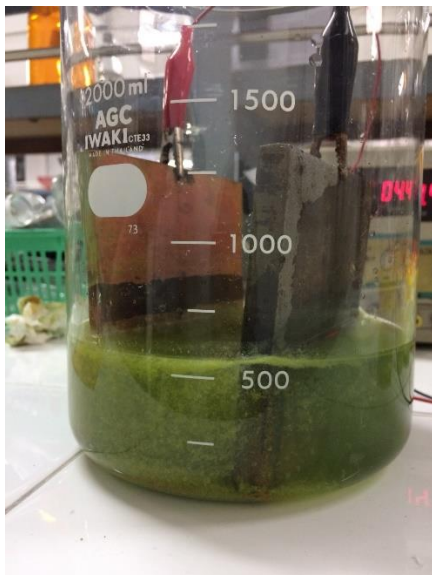
PROSES EKSPERIMEN



Media mikroalga yang sudah aktif



Micro pipet untuk mengambil sampel mikroalga



Pengujian ICAF



kondisi anoda tembaga setelah eksperimen

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Gilang Rezha Mahardika
Alamat Pemilik : Teknik Kelautan ITS
Nama Contoh : **Media Mikro Alga**
Deskripsi : Bentuk : ~~Padat~~/Cair/~~Gas~~
Contoh Volume : -
Kemasan : Botol
Kode Contoh : **EI-448**
Tanggal Terima : 31 Mei 2018
Tanggal Pengujian : 06 Juni 2018
Tanggal Selesai Pengujian : 07 Juni 2018
Jumlah Contoh : 20

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

TERLAMPIR

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Kepala Laboratorium
Energi dan Lingkungan

Koordinator Teknis

Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 19620820 198903 1 004

Vita Yuliana.S.Si
NIP. 1990201822404

Lampiran 1 dari hal 1

Lampiran No : **/IT2.VII /TU.00.08/2018**

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	A	Kandungan Tembaga (Cu)	20,52	ppm	AAS
2	B		20,16		
3	C		10,8		
4	D		14,59		
5	E		20,79		
6	F		19,94		
7	G		19		
8	H		18,91		
9	I		17,85		
10	1		0,173		
11	2		7,61		
12	A1		10,76		
13	B1		12,91		
14	C1		8,78		
15	D1		10,57		
16	E1		292,6		
17	F1		81,06		
18	G1		114,6		
19	H1		8,47		
20	I1		7,77		

Manajer Teknis

Vita Yuliana.S,Si
NIP. 1990201822404



Alat AAS merk Hitachi tipe Z-2000

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN JUMLAH MIKROALGA

Perhitungan jumlah mikroalga *chlorella vulgaris*

$$\begin{aligned} \text{Jumlah sel awal mikroalga} &= (171 \times 25 \text{ kali faktor pengenceran}) \times 10.000 / 5 \text{ kotak} \\ &\quad \text{neubauer improved} / 1000 \\ &= 8550 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 5 menit} &= (104 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 208 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 7 menit} &= (12 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 24 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 10 menit} &= (5 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 10 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.5 A waktu 5 menit} &= (84 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 168 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 7 menit} &= (10 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 20 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 10 menit} &= (4 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 8 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 1 A waktu 5 menit} &= (7 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 14 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 1 A waktu 7 menit} &= (3 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 6 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 1 A waktu 10 menit} &= (1 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 2 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

Persentase mikroalga *chlorella vulgaris* yang telah mati

Jumlah sel mati = Jumlah sel awal - jumlah sel hidup

Persentase kematian mikroalga = jumlah sel mati / jumlah sel awal

$$\text{Arus listrik 0.3 A waktu 5 menit} = (8550 - 208)$$

$$= 8342$$

$$\text{Persentase} = 8342 / 8550 = 97.57\%$$

$$\text{Arus listrik 0.3 A waktu 7 menit} = (8550 - 24)$$

$$= 8382$$

$$\text{Persentase} = 8382 / 8550 = 98.04\%$$

$$\text{Arus listrik 0.3 A waktu 10 menit} = (8550 - 10)$$

$$= 8536$$

$$\text{Persentase} = 8536 / 8550 = 99.84\%$$

$$\text{Arus listrik 0.5 A waktu 5 menit} = (8550 - 168)$$

$$= 8526$$

$$\text{Persentase} = 8526 / 8550 = 99.72\%$$

$$\text{Arus listrik 0.5 A waktu 7 menit} = (8550 - 20)$$

$$= 8530$$

$$\text{Persentase} = 8530 / 8550 = 99.77\%$$

$$\text{Arus listrik 0.5 A waktu 10 menit} = (8550 - 8)$$

$$= 8544$$

$$\text{Persentase} = 8544 / 8550 = 99.93\%$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 1 A waktu 5 menit} &= (8550 - 14) \\ &= 8540 \\ \text{Persentase} &= 8540 / 8550 = 99.88\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 1 A waktu 7 menit} &= (8550 - 6) \\ &= 8542 \\ \text{Persentase} &= 8542 / 8550 = 99.91\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 1 A waktu 10 menit} &= (8550 - 2) \\ &= 8548 \\ \text{Persentase} &= 8548 / 8550 = 99.98\% \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah mikroalga *Spirulina platensis*

$$\begin{aligned} \text{Jumlah sel awal mikroalga} &= (12 \times 10 \text{ kali faktor pengenceran}) \times 10.000 / 5 \text{ kotak} \\ &\quad \text{neubauer improved} / 1000 \\ &= 240 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 5 menit} &= (27 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 54 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 7 menit} &= (12 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 24 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 10 menit} &= (4 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 8 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.5 A waktu 5 menit} &= (7 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 14 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 7 menit} &= (4 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 8 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 10 menit} &= (3 \times 10.000) / 5 \text{ kotak neubauer improved} / 1000 \\ &= 6 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 1 A waktu 5 menit} &= (4 \times 10.000) / 5 \text{ kotak } neubauer \text{ improved} / 1000 \\ &= 8 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 1 A waktu 7 menit} &= (3 \times 10.000) / 5 \text{ kotak } neubauer \text{ improved} / 1000 \\ &= 6 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 1 A waktu 10 menit} &= (1 \times 10.000) / 5 \text{ kotak } neubauer \text{ improved} / 1000 \\ &= 2 \times 10^3 \text{ sel/mL} \end{aligned}$$

Persentase mikroalga *Spirulina platensis* yang telah mati

Jumlah sel mati = Jumlah sel awal - jumlah sel hidup

Persentase kematian mikroalga = jumlah sel mati / jumlah sel awal

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 5 menit} &= (240 - 54) \\ &= 186 \\ \text{Persentase} &= 186 / 240 = 77.50\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 7 menit} &= (240 - 24) \\ &= 226 \\ \text{Persentase} &= 226 / 240 = 94.17\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.3 A waktu 10 menit} &= (240 - 8) \\ &= 232 \\ \text{Persentase} &= 232 / 240 = 96.67\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik 0.5 A waktu 5 menit} &= (240 - 14) \\ &= 216 \\ \text{Persentase} &= 216 / 240 = 90.00\% \end{aligned}$$

$$\text{Arus listrik 0.5 A waktu 7 menit} = (240 - 8)$$

$$= 232$$

$$\text{Persentase} = 232 / 240 = 96.67\%$$

$$\text{Arus listrik 0.5 A waktu 10 menit} = (240 - 6)$$

$$= 234$$

$$\text{Persentase} = 234 / 240 = 97.50\%$$

$$\text{Arus listrik 1 A waktu 5 menit} = (240 - 8)$$

$$= 232$$

$$\text{Persentase} = 232 / 240 = 96.67\%$$

$$\text{Arus listrik 1 A waktu 7 menit} = (240 - 6)$$

$$= 234$$

$$\text{Persentase} = 234 / 240 = 97.50\%$$

$$\text{Arus listrik 1 A waktu 10 menit} = (240 - 2)$$

$$= 238$$

$$\text{Persentase} = 238 / 240 = 99.17\%$$

BIODATA PENULIS



Gilang Rezha Mahardika dilahirkan di Surabaya pada tanggal 15 Oktober 1995. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang dilahirkan oleh pasangan Didik Purwanto dan Elis Purwaningsih. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dari menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Kebraon II Surabaya, kemudian dilanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 16 Surabaya. Menginjak pendidikan menengah akhir penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Surabaya. 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, Staff RnD SPE ITS 2015/2016, Staff ahli di Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK-ITS 2016/2017, Ketua Eksternal OCEANO 2017. Pada tahun 2017 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan NOV-Profab Batam 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 : emailgilangrezha@gmail.com

Line ID : gilangrezha