



SKRIPSI – ME141501

***SCALLING UP* PROTOTIPE SISTEM PENGOLAHAN AIR BALAS
MENGUNAKAN FILTRASI KARET REMAH DAN RADIASI SINAR
UV**

Halimah Puspitasari
NRP 0421144000099

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.
Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri. M.Sc

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



SKRIPSI - ME 141501

SCALLING UP PROTOTIPE SISTEM PENGOLAHAN AIR BALAS
MENGUNAKAN FILTRASI KARET REMAH DAN RADIASI SINAR
UV

Halimah Puspitasari
NRP 0421144000099

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.
Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri. M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



SKRIPSI - ME 141501

SCALLING UP BALLAST WATER TREATMENT PROTOTYPE USING FILTRATION OF CRUMB RUBBER AND UV RADIATION

Halimah Puspitasari
NRP 0421144000099

Supervisors
Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.
Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri. M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

***SCALLING UP* PROTOTIPE SISTEM PENGOLAHAN AIR BALAS
MENGUNAKAN FILTRASI KARET REMAH DAN RADIASI SINAR UV**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Halimah Puspitasari
NRP. 0421144000099

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Eng. Trika Pitana., ST., M.Sc

Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri., M.Sc

()
()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**SCALLING UP PROTOTYPE SISTEM PENGOLAHAN AIR BALAS
MENGUNAKAN FILTRASI KARET REMAH DAN RADIASI SINAR UV**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Halimah Puspitasari
NRP. 0421144000099

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

***Scalling Up* Prototipe Sistem Pengolahan Air Balas Menggunakan Filtrasi Karet Remah dan Radiasi Sinar UV**

Nama Mahasiswa : Halimah Puspitasari

NRP : 0421144000099

Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng Trika Pitana., ST., M.Sc

Dosen Pembimbing 2 : Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri., M.Sc

Abstrak

Kapal merupakan alat transportasi yang banyak digunakan terutama pada wilayah yang memiliki perairan yang sangat luas. Untuk menjaga keseimbangan pada kapal apabila terjadi *trim* atau *rolling* pada saat melakukan bongkar muat maka diperlukan pengisian dan pembuangan air laut pada tangki-tangki air balas, sehingga dapat menjaga titik berat kapal serendah mungkin dan mempertahankan posisi kapal selalu dalam kondisi *even keel*. Air balas yang digunakan inilah perlu dilakukan suatu proses pengolahan apabila akan dibuang kembali ke laut dan jumlah kandungan mikroba yang akan dibuang ke laut harus sesuai dengan standarisasi IMO. Pada penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan dimana penelitian sebelumnya menghasilkan sebuah desain sistem pengolahan air balas menggunakan filtrasi karet remah dan radiasi sinar UV. Berdasarkan penelitian sebelumnya dikatakan bahwa pada hasil pengujian 99% mikroba mengalami inaktivasi menggunakan prototipe tersebut. Untuk memvalidasi hal tersebut, maka dilakukan sebuah pengembangan yang dapat menguji hasil konsistensi prototipe tersebut yaitu dengan cara *scalling up* prototipe sebesar dua kali dibandingkan dengan prototipe tahap pertama. Pada penelitian ini dilakukan penambahan dosis UV sebesar dua kali dari sebelumnya, melakukan dua kali filtrasi dan penambahan variasi laju aliran. Penggunaan eksperimen pada air balas ini menggunakan air laut dari Laut Kenjeran dimana mikroba yang terkandung dalam air laut tersebut lebih banyak dibandingkan dengan mikroba yang berada di Pelabuhan Tanjung Perak. Analisa kandungan mikroba pada pengujian ini menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dengan media spesifik penumbuh bakteri *Escherichia coli* yaitu *Eosin Methylene Blue* (EMB) dan menggunakan aquades bersalinitas sebagai pengencer. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan, filter karet remah lebih efektif dalam menyaring kandungan mikroba. Serta, laju aliran dan dosis UV yang paling efektif serta efisien dalam menginaktivasi jumlah kandungan mikroba adalah 10 Lpm dan sebesar 120 watt. Hasil pengujian ini memiliki konsistensi yang sama terhadap penelitian sebelumnya dan terbukti dapat mereduksi jumlah kandungan mikroba. Diharapkan dengan penelitian ini dapat menjadi salah satu cara untuk bisa mereduksi hasil kandungan mikroba yang terkandung di dalam air balas yang sesuai dengan standarisasi IMO.

Kata kunci : *Scalling up* prototipe, Sistem Pengolah Air Balas, Filtrasi karet remah, Radiasi sinar UV

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Scaling Up Ballast Water Treatment Prototype Using Filtration of Crumb Rubber and UV Radiation

Name of Student : Halimah Puspitasri
NRP : 0421144000099
Department : Marine Engineering
Supervisor 1 : Dr. Eng Trika Pitana., ST., M.Sc
Supervisor 2 : Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri., M.Sc

Abstract

The ship is a widely used to transportation, especially in areas that have very large waters. As a means of shared transportation. To maintain the balance of the ship in the event of trim or rolling, especially when loading and unloading, it is necessary to fill and discharge of sea water to the ballast tanks or from ballast tank to overboard. So, to keep the center of the ship as low as possible and maintain the position of the ship is always in the event of a event keel. Water ballast is needed a processing process if it will be thrown back to the sea accordance to IMO standarization. This research is a development from the previous research that has been done, where the resulted of the previous research is a design of ballast water treatment using crumb rubber filtration and UV radiation. Based on previous research it is said that in the experiment results 99% of microbes inactivated using that prototype. To validate the previous result, a development that can use to check the consistency of the prototype is by scaling up the prototype twice from the first prototype. In this study, the addition of UV dose twice as before, twice filtration and higher variation of flow rate. The use of this experiment on water ballast is using sea water from Kenjeran Beach where the microbes contained in the seawater are more than the microbes located in the Port of Tanjung Perak. Analysis of microbial content in this experiment is *Total Plate Count* (TPC) method with specific media of *Escherichia coli* growth that is *Eosin Methylene Blue* (EMB) and using salinity aquades as diluent. Based on the experiments tests that have been done, crumb rubber filters are more effective in filtering microbial content. Also, the most effective and efficient flow rate and dose of UV in inactivating microbial content is 10 Lpm and the UV dose is 120 watts. The results of this research have the same consistency from the previous one and prove that scaling up prototype can reduce the amount of microbial content. It is hoped that this research can be one way to reduce the results of microbial content in the ballast water in accordance with IMO standardization.

Keywords : Scaling up prototype, Ballast water treatment, Filtration of crumb rubber, UV radiation

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat, anugrah serta tuntunannya-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Scaling Up Prototipe Sistem Pengolahan Air Balas Menggunakan Filtrasi Karet Remah dan Radiasi Sinar UV”** dengan baik dan tepat waktu. Dimana tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan program studi sarjana di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.

Penulis menyadari, terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terimakasih yang mendalam kepada pihak-pihak di bawah ini :

1. Kedua orang tua penulis, Ibu Yunida Ratnawati dan Bapak Kurnia Putranta yang terus memberikan dukungan dan menjadi penyemangat dalam penulis melakukan aktifitas selama perkuliahan dan penulisan tugas akhir ini.
2. Para saudara penulis, Helmi Fakhruddin dan Muhammad Ihsan yang memberikan pencerahan dan warna baru serta semangat dalam kehidupan penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Badrus Zaman, ST., MT selaku kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang sudah memberikan ilmu baik materi kuliah maupun diluar perkuliahan yang dapat menjadi pembelajaran bagi penulis.
4. Bapak Dr. Eng Trika Pitana ST., M.Sc selaku dosen pembimbing pertama penulis sekaligus dosen wali yang senantiasa memberikan bimbingan pada saat proses penelitian dan pembelajaran baik di perkuliahan maupun diluar perkuliahan yang berkaitan dengan sikap, pengembangan diri serta paska kampus bagi penulis.
5. Ibu Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri., M.Sc selaku dosen pembimbing kedua penulis yang turut membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian, yang juga senantiasa memberikan motivasi, arahan serta pengawalan layaknya orang tua selama penulis berada di kampus.
6. Seluruh dosen, tenaga kependidikan serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
7. Seluruh team ITS Marine Solar Boat sebagai tempat mengembangkan diri bagi penulis pertama kalinya di Departemen Teknik Sistem Perkapalan serta atas pengalaman dan warna warni kehidupan selama di kampus.
8. Seluruh kawan-kawan pejuang akhir bidang RAMS seperti Pandhu Hayu Amarta, Dimas Darmawan, Mas Ario, Mbak Ika yang sudah memberikan dukungan secara mental dan fisik untuk bisa bersama-sama menguatkan penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
9. Kawan seperjuangan angkatan MERCUSUAR '14 seperti Hutrizain, Barok, Jangka, Raihan, Rivaldi yang turut berjuang bersama untuk bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Kawan-kawan dalam kebaikan : Safira Chika Nurul Imania, Monnika Indra Cahyanti, Nabilah Amirah, Nur Azizah, Abyan Faris Putranto, Sekar Adhaninggar, Desy Agung Rachmawaty, Fatiya Indriana Sarasvati yang selalu mewarnai hari-hari penulis dengan keceriaan dan memberikan semangat tiada hentinya serta selalu mau direpotkan oleh penulis.

11. Superwoman angkatan 2014 Shanty Window, Yuniar Nurrensa, Puteri Ladikha, Dinar Puspita Sari, Kirana yang selalu menghibur penulis dikala sedih maupun senang dan selalu menjadi empat curhat penulis.
12. M. Ikbar Abdul Baqi sebagai kawan yang selalu membantu dalam kesulitan dan membantu jalannya penelitian ini dari pembuatan hingga diselesaikannya penelitian ini dan semoga kedepannya bisa meneruskan untuk penelitian ini.
13. Seluruh keluarga MERCUSUAR '14 yang selalu mendukung dan membantu selama perkuliahan di tahun pertama hingga tahun terakhir di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
14. Seluruh kakak tingkat BISMARCK '12 yang sudah membukakan mata dan pikiran serta sudah memberikan pengalaman yang tidak akan terlupakan selama perkuliahan maupun paska perkuliahan. Selain itu juga kepada kakak tingkat BARAKUDA '13 sebagai kaka tingkat terdekat yang sudah memberikan pengalaman berorganisasi dan memberikan ilmu yang bermanfaat selama ini.
15. Kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk membangun dan kebaikan bersama kedepannya.

Akhir kata, penulis berharap semoga apa yang tertulis dalam tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya maupun pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Air Balas Pada Kapal.....	5
2.2 Kandungan Mikroba Air Patogen Pada Air Balas	6
2.3 Metode <i>Total Plate Count</i> (TPC) pada Pengujian Mikroba	8
2.4 Peraturan Mengenai Sistem Air Balas Pada Kapal.....	9
2.5 Sistem Pengolahan Air Balas pada Kapal	11
2.6 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya.....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah Kinerja <i>Prototipe</i> Tahap Pertama	24
3.2 Merancang <i>Prototipe</i> Sistem Pengolahan Air Balas Menggunakan Metode <i>Scalling Up</i> Sebesar Dua Kali	24
3.3 Eksperimen Pengolahan Air Balas Menggunakan <i>Prototipe</i> yang Sudah Diperbesar Sebesar Dua Kali.....	26
3.4 Analisa Kandungan Mikroba Air Patogen Jenis <i>Escherichia Coli</i> dan <i>Vibrio Cholerae</i> pada Sampel Air Balas Sebelum dan Sesudah Diolah pada <i>Prototipe</i> yang Sudah di <i>Scalling Up</i>	27
3.5 Studi Performa dan Studi Komparasi <i>Prototipe</i> yang Sudah di <i>Scalling Up</i> Dengan <i>Prototipe</i> Tahap Pertama.....	28
3.6 Kesimpulan.....	29
BAB IV RANCANG BANGUN PROTOTIPE	31
4.1 Umum.....	31
4.2 Desain <i>Prototipe</i> Sistem Pengolah Air Balas pada Kapal.....	31
4.3 Perhitungan Head Pompa	34
4.4 Pemilihan Pompa.....	39
BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	41
5.1 Umum.....	41
5.2 Pengukuran Salinitas Air Laut Kenjeran	41
5.3 Pengambilan Sampel Air Pengolahan Air Balas	42
5.4 Pengenceran Menggunakan Air Bersalinasi.....	43
5.5 Kandungan Mikroba dalam Air Laut Pada Kondisi Eksisting	44
5.6 Pengaruh Filtrasi dan Penyinaran UV Terhadap Kandungan Mikroba	44
5.7 Komparasi Hasil Pengujian Sebelumnya dengan Pengujian <i>Scalling Up</i>	52
5.8 Implementasi Penggunaan Sistem Pengolah Air Balas pada Kapal	54

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
6.1 Kesimpulan.....	55
6.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN 1	
LAMPIRAN 2	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Sistem Air Balas	5
Gambar 2.2	Bentuk Mikroskopis Bakteri <i>Vibrio Cholerae</i>	6
Gambar 2.3	Bentuk Mikroskopis Bakteri <i>Escherichia Coli</i>	7
Gambar 2.4	Pengujian TPC	8
Gambar 2.5	Bagan <i>Ballast Water Management</i>	12
Gambar 2.6	Kurva Laju Inaktivasi <i>S. Aureus</i>	15
Gambar 2.7	Proses Kerja Pengolahan Air Balas	16
Gambar 2.8	Bentuk dari Karet Remah / <i>Crumb Rubber</i>	17
Gambar 2.9	Filter Cartridge	18
Gambar 3.1	Teknik Pengenceran Sampel	28
Gambar 4.1	Diagram Kerja Prototipe Pengolah Air Balas	31
Gambar 4.2	Desain Reaktor UV	32
Gambar 4.3	Penempatan <i>House Filter</i>	32
Gambar 4.4	<i>Assembly</i> Peralatan Prototipe	33
Gambar 4.5	Diagram Kerja Prototipe	33
Gambar 4.6	Prototipe <i>Ballast Water Treatment</i>	34
Gambar 4.7	Pompa yang Digunakan	39
Gambar 5.1	Lokasi Pengambilan Air Laut Pantai Kenjeran Surabaya	42
Gambar 5.2	Jumlah Mikroba Air Laut Sebelum Dilakukan Pengolahan Sebesar 1.02×10^6	44
Gambar 5.3	Grafik Hasil TPC Menggunakan Filter Karet Remah	45
Gambar 5.4	Grafik Hasil TPC Menggunakan Filter Carbon	48
Gambar 5.5	Grafik Perbandingan Filter Karet Remah dan Carbon Pengenceran Tahap 10^5 Pada Laju Aliran 10 Lpm	50
Gambar 5.6	Grafik Perbandingan Filter Karet Remah dan Carbon Pengenceran Tahap 10^6 Pada Laju Aliran 10 Lpm	51
Gambar 5.7	Grafik Perbandingan Performa Prototipe Sebelum (Fauzi, 2017) dan <i>Scaling up</i> Filter Karet Remah	52
Gambar 5.8	Grafik Perbandingan Performa Prototipe Sebelum (Fauzi, 2017) dan <i>Scaling up</i> Filter Carbon	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Pada IMO <i>Ballast Water Management Convention</i>	11
Tabel 2.2 Jumlah Kandungan Mikroba dalam Air Balas	11
Tabel 2.3 Hubungan Variasi Debit Air Balas dengan Efektifitas Penyaringan	13
Tabel 2.4 Hubungan Variasi Debit Air Balas dengan Efektifitas Penyaringan	14
Tabel 2.5 Persentase Pengurangan Jumlah Bakteri dan Mikroba Hasil Radiasi UV	15
Tabel 2.6 Pengolahan Air Laut dengan Filtrasi Karbon	19
Tabel 2.7 Pengolahan Air Laut dengan Filtrasi Karet Karbon	19
Tabel 2.8 Pengolahan Air Laut dengan Filtrasi Karbon	20
Tabel 2.9 Pengolahan Air Laut dengan Filtrasi Karet Remah	20
Tabel 5.1 Hasil Pengukuran Salinitas	42
Tabel 5.2 Kandungan Mikroba Menggunakan Filter Karet Remah (CFU)	45
Tabel 5.3 Kandungan Mikroba Menggunakan Filter Carbon (CFU)	48
Tabel 5.4 Pengaruh Filter dengan Hasil TPC Tahap Pengenceran 10^5 (CFU)	50
Tabel 5.5 Pengaruh Filter dengan Hasil TPC Tahap Pengenceran 10^6 (CFU)	51

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal merupakan alat transportasi yang banyak digunakan terutama pada wilayah yang memiliki perairan yang sangat luas. Sebagai alat transportasi bersama, fungsi kapal harus didukung dengan jaminan keselamatan yang tinggi bagi awak kapal maupun muatan yang diangkut pada kapal tersebut. Salah satu yang perlu diperhatikan dalam keselamatan kapal adalah sistem air balas yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan (stabilitas) kapal apabila terjadi *trim* atau *rolling* terutama pada saat keadaan kapal akan melakukan bongkar muat. Sistem air balas ini bekerja dengan cara melakukan pengisian dan pembuangan air laut pada tangki-tangki air balas yang sudah tersedia pada kapal sehingga akan menurunkan titik berat pada kapal dan menjaga kondisi kapal pada posisi *even keel*. Selain dampak positif dari penggunaan air balas, sistem ini memiliki dampak negatif yang dapat disebabkan karena pengisian air balas yang diambil dari sumber air laut yang banyak mengandung organisme mikroskopis dan sedimen sehingga organisme tersebut akan hidup di dalam tangki dan berkembang biak. Apabila air balas ini dikeluarkan pada lingkungan sekitar dimana air balas ini mendukung kehidupan organisme untuk hidup, maka akan menyebabkan kepunahan spesies asli, menimbulkan dampak terhadap keanekaragaman hayati lokal ataupun regional serta berdampak pada kesehatan dan kehidupan ekonomi yang berbasis perikanan.

Untuk menanggulangi pencemaran akibat pembuangan air balas tersebut, maka pada tahun 2004 IMO mengeluarkan peraturan mengenai manajemen pengolahan air balas yang tertulis dalam IMO *Ballast Water Management Convention*. Menurut peraturan ini air balas yang hendak dibuang ke laut harus diolah terlebih dahulu hingga memenuhi standar IMO. Indonesia sebagai negara yang terpilih kembali menjadi dewan IMO kategori C yang disahkan pada *Assembly ke-29 International Maritime Organization* (IMO) di London pada tanggal 27 November 2015 memiliki tanggung jawab yang besar untuk menjaga kelestarian laut dan mencegah terjadinya pencemaran akibat operasional kapal. Komitmen Indonesia dalam menjaga kelestarian laut ini ditunjukkan dengan pada kebijakan Indonesia yang akan meratifikasi IMO *Ballast Water Management Convention* pada tahun 2017. Dengan adanya ratifikasi ini akan membawa kepastian hukum yang akan melindungi laut Indonesia dari *Invasive Alien Species* (IAS) dan *Harmful Aquatic Organism and Pathogens* (HAOP) (Fauzi, 2017).

Untuk memenuhi persyaratan dalam IMO *Ballast Water Management Convention*, maka dikembangkanlah metode-metode pengolahan air balas pada kapal seperti menggunakan panas dari gas buang mesin kapal untuk mematikan mikroorganisme yang terkandung di dalam air balas tersebut. Selain itu juga metode lainnya yaitu menggunakan filtrasi dan penyinaran sinar UV. Aplikasi karet remah sebagai media penyaring mikroba-mikroba yang terkandung pada air balas. Didalam penelitiannya, mereka dapat membuktikan bahwa dengan menggunakan filtrasi karet remah dapat mengurangi masalah clogging yang biasanya terjadi pada filter konvensional. Penggunaan filtrasi karet remah masih belum maksimal untuk menginaktivasi mikroba air patogen air balas sesuai standar yang sudah ditetapkan oleh IMO sehingga dibutuhkan penggabungan dengan zat kimia untuk mematikan mikroba air patogen tersebut (Tang et al, 2006).

Pengembangan lainnya mengenai sistem pengolahan air balas menggunakan filtrasi karet remah dan radiasi sinar UV ini sebelumnya sudah dilakukan oleh Haris Nur Fauzi pada tahun 2017 dimana menghasilkan sebuah desain *Ballast Water Treatment* yang efektif dan efisien untuk menghilangkan mikroba air patogen yang terdapat pada air balas. Hasil dari penelitian ini yaitu 99% mikroba pada sampel air laut kenjeran inaktivasi ketika prototipe dijalankan menggunakan filtrasi karbon atau karet remah dengan debit air maksimal sebesar 20 lpm dan penyinaran UV dengan dosis minimal sebesar 7.10 mW/cm^2 . Pada pengujian ini dikatakan bahwa ukuran luas permukaan filter karet remah yang digunakan adalah 10 cm x 10 cm. Namun filter karbon memiliki kinerja yang lebih baik dalam penyaringan air balas dibandingkan dengan filter karet remah. Selain itu juga tidak ada pengaruh yang ditimbulkan oleh penambahan laju aliran air balas di dalam reaktor UV terhadap dosis UV yang diperlukan untuk inaktivasi mikroba air patogen. Pada hasil penelitian ini yang menghasilkan 99% mikroba inaktivasi, dimana seharusnya laju aliran juga berpengaruh pada hasil air pengolahan air balas di dalam reaktor UV. Dengan kejadian ini, dapat dianalisis bahwa terdapat indikasi terjadinya *over capacity* pada alat yang digunakan. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memvalidasi hasil pengujian tersebut.

Untuk menindak lanjuti penelitian yang sudah dikembangkan, maka pada pengembangan ini dilakukan metode eksperimen untuk membuat sistem pengolahan air balas menggunakan filtrasi karet remah dan radiasi sinar UV dengan ukuran yang diperbesar sebesar dua kali dari prototipe tahap pertama. Pada pengujian ini dilakukan penambahan laju aliran pada prototipe sistem pengolahan air balas dan memperkecil luas permukaan pada filter karet remah menjadi 0.5 cm x 0.5 cm untuk mengetahui perbandingan performa filter karet remah dalam menyaring kandungan mikroba terhadap luas permukaan yang digunakan. Dari hasil eksperimen ini akan dianalisis performa dari inaktivasi mikroba yang terkandung di dalam air balas tersebut apakah laju aliran yang ditambahkan akan berpengaruh pada hasil pengolahan air balas di dalam reaktor UV dan melakukan komprasi dengan prototipe yang telah ada apakah terdapat perbedaan atau tidak. Jika hasil dari pengembangan ini memiliki performa yang konsisten seperti prototipe tahap pertama, maka dapat dikatakan bahwa desain prototipe yang dibuat bekerja secara efektif dan efisien dalam menghasilkan air olahan yang terstandarisasi oleh IMO *Ballast Water Management Convention*.

1.2 Perumusan Masalah

Agar proses penelitian dapat berjalan dengan lancar, maka perlu diketahui masalah-masalah yang timbul saat proses pengerjaan penelitian, yaitu :

1. Bagaimana variasi laju aliran yang efektif dan efisien pada prototipe sistem pengolahan air balas pada saat dilakukan *scaling up* ?
2. Bagaimana analisa kandungan mikroba air olahan hasil eksperimen pada prototipe yang sudah dilakukan *scaling up* ?
3. Bagaimana kinerja prototipe pada saat *scaling up* dibandingkan dengan prototipe tahap pertama ?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berjalan dengan efektif dan tujuan tercapai maka diperlukan adanya pembatasan permasalahan, diantaranya adalah :

1. Lokasi pengambilan air balas dilakukan di Laut Kenjeran
2. Pengembangan prototipe ini berfokus pada *scalling up* sebesar dua kali dari prototipe tahap pertama

1.4 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah diatas maka dapat ditentukan tujuan dari Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Membuat prototipe sistem pengolahan air balas yang diperbesar dua kali pada *prototipe* tahap pertama
2. Mengetahui laju aliran yang efektif dan efisien untuk menginaktivasi mikroorganisme yang terkandung di dalam air balas
3. Memvalidasi kandungan mikroba pada prototipe sistem pengolahan air balas tahap pertama dan pada tahap *scalling up*
4. Menganalisis kinerja *scalling up* prototipe dengan prototipe yang sudah ada sebelumnya

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Menghasilkan prototipe metode *scalling up* pada filter dan reaktor UV sistem pengolahan air balas yang dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran pengembangan alat pengolah air balas
2. Memvalidasi informasi mengenai hasil dari prototipe pada tahap pertama dengan pengujian prototipe yang sudah dilakukan *scalling up*
3. Mengetahui perbedaan kinerja prototipe yang dibuat dengan prototipe yang sudah ada

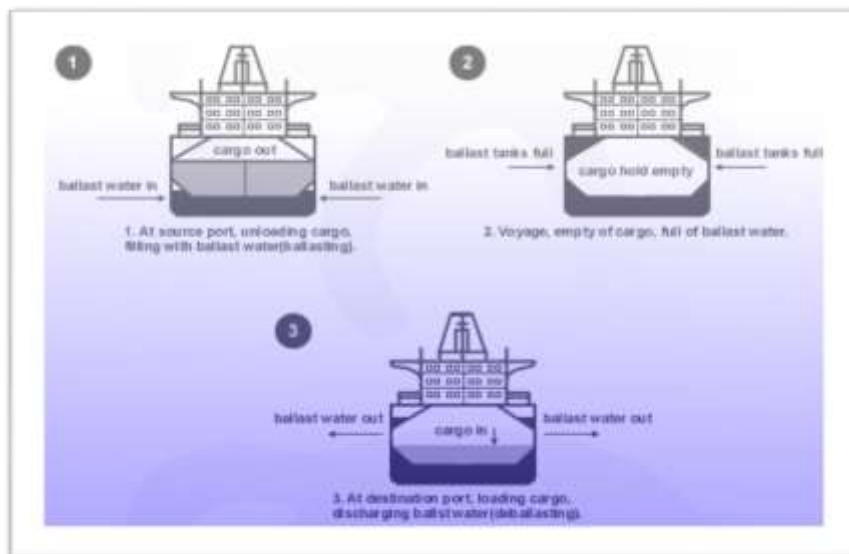
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Air Balas Pada Kapal

Air balas merupakan air yang disimpan di dalam tangki balas pada kapal yang digunakan untuk meningkatkan stabilitas, keseimbangan dan *trim* pada kapal. Pengisian dan pembuangan air balas pada kapal dilakukan pada saat kapal melakukan proses bongkar muat atau pada saat kapal membutuhkan stabilitas ekstra pada saat cuaca buruk. Sistem balas ini berfungsi untuk menjaga stabilitas pada kapal yaitu menjaga tinggi sarat dan posisi kapal agar tetap aman untuk berlayar. Selain memberikan dampak positif pada kapal, sistem air balas ini juga memiliki dampak negatif bagi lingkungan, kesehatan dan ekonomi (*European Maritime Safety Agency*, 2013). Air balas saat ini menjadi perhatian penting di samping perihal kotornya air namun juga di duga menjadi sumber penyebaran mikroorganisme secara global. Hal ini juga dibuktikan karena air balas yang dikeluarkan oleh kapal-kapal asing banyak mengandung *Invasive Alien Species* (IAS) ataupun *Harmful Aquatic Organism and Pathogens* (HAOP). Apabila IAS dan HAOP ini dikeluarkan pada lingkungan dimana mikroba ini dapat berkembang biak, maka dapat menyebabkan kepunahan spesies asli hingga menyebabkan kerugian ekonomi dan kesehatan pada lingkungan sekitar tersebut.

Gambar 2.1 menunjukkan proses sistem air balas dimana sistem tersebut terbagi menjadi dua yaitu sistem *ballasting* dimana dilakukan pengisian air balas pada tangki-tangki yang berada di kapal, sedangkan yang kedua adalah sistem *deballasting* dimana dilakukan pembuangan air balas. Selain itu juga pada sistem air balas ini terdapat sistem dimana air balas dipindahkan dari tangki 1 ke tangki lainnya untuk menjaga stabilitas pada kapal.



Gambar 2.1 Proses Sistem Air Balas
Sumber : IMO, 2004

2.2 Kandungan Mikroba Air Patogen Pada Air Balas

Mikroorganisme patogen adalah suatu mikroorganismenya yang dapat menyebabkan penyakit pada inang mikroorganismenya tersebut. Air laut merupakan salah satu perantara yang dapat menyebarkan mikroorganismenya patogen tersebut. Mikroorganismenya ini dapat menyebabkan bahaya secara langsung maupun tidak langsung bagi lingkungan yang tercemar olehnya. Bahaya yang dapat dirasakan secara langsung bagi manusia yaitu apabila berkontak langsung dengan mikroorganismenya tersebut maka manusia akan berpeluang terjangkit sehingga dapat mengganggu kesehatan yaitu makanan yang telah dikonsumsi tersebut akan menyebabkan gangguan pencernaan pada tubuh manusia. Bahaya secara tidak langsung dapat disebabkan ketika manusia mengkonsumsi makanan laut yang telah tercemar atau terinfeksi oleh mikroba air patogen. Mikroba yang terdapat di dalam makanan tersebut akan berpindah ke dalam tubuh manusia dan akan bereproduksi secara berkala sehingga akan menyebabkan gangguan kesehatan pada tubuh manusia yang terjangkit olehnya. Beberapa mikroba air patogen yang sering ditemukan di dalam air adalah bakteri-bakteri penyebab infeksi saluran pencernaan seperti kelompok *Enterobacter*, *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia Coli*, *Proteus*, *Providencia*.

Vibrio Cholerae

Vibrio Cholerae merupakan bakteri gram negatif dimana ukuran pada bakteri ini yaitu $1-3 \times 0.4 - 0.6 \mu\text{m}$ dan memiliki satu buah flagel. Selain itu juga bakteri ini tidak memiliki spora dan tidak memiliki selubung. Bakteri ini bersifat halofilik dimana tidak tahan asam sehingga vibrio dapat tumbuh pada pH 4-9 dan tumbuh optimal pada pH 6.5 – 8.5. selain itu juga bakteri ini dapat tumbuh pada salinitas 20-40%. *Vibrio* ini tidak bersifat invasif, yaitu tidak pernah masuk ke dalam sirkulasi darah tetapi menetap di usus sehingga dapat menyebabkan gastritis pada manusia. Bentuk dari bakteri ini dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



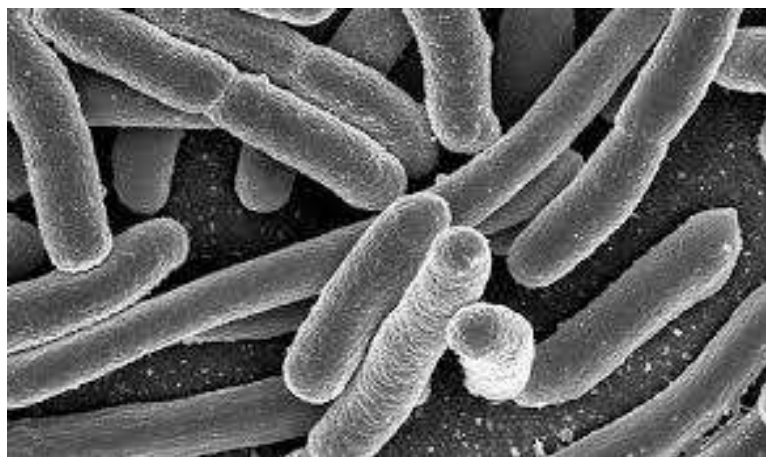
Gambar 2.2 Bentuk Mikroskopis Bakteri *Vibrio Cholerae*
Sumber : Gerardi, 2003

Enterobacter

Enterobacter merupakan bakteri gram negatif yang berbentuk basil, dengan ukuran $0.6 - 1.0 \mu\text{m} \times 1.2 - 3.0 \mu\text{m}$, tidak membentuk spora, berkapsul dan memiliki flagel. Bakteri ini sering ditemukan bersama *Escherichia coli* yang hidup bebas di alam seperti di air, tanah dan juga saluran pencernaan manusia dan hewan (Wulandari, 2013). Karakteristik lainnya yaitu tumbuh secara aerobik dan anaerobik, lebih sering memfermentasi daripada mengoksidasi glukosa yang terkadang juga memproduksi gas, menunjukkan katalase positif, oksidasi negatif dan mereduksi nitrat menjadi nitrit.

Escherichia Coli

Escherichia Coli merupakan bakteri yang dapat bersifat patogen, bertindak sebagai penyebab utama morbiditas dan mortalitas di seluruh dunia (Tenailon et al, 2010). Bakteri ini merupakan bakteri gram negatif berbentuk batang pendek yang memiliki panjang sekitar $2 \mu\text{m}$ diameter $0.7 \mu\text{m}$, lebar $0.4 - 0.7 \mu\text{m}$ dan bersifat anaerob fakultatif. Pada umumnya, bakteri memerlukan kelembaban yang cukup tinggi sekitar 85% (Madigan dan Martinko, 2005). Bakteri ini merupakan golongan bakteri mesofilik yaitu bakteri yang memiliki suhu pertumbuhan optimumnya adalah $15-45^{\circ}\text{C}$ dan dapat hidup pada pH antara $5.5 - 8$. Bakteri *Escherichia coli* akan tumbuh secara optimal di suhu 27°C namun menurut penelitian, bakteri ini akan mengalami inaktivasi pada suhu maksimum pertumbuhan diatas $40-45^{\circ}\text{C}$. Bentuk mikroskopis dari bakteri ini dapat dilihat pada **Gambar 2.3**



Gambar 2.3 Bentuk Mikroskopis Bakteri *Escherichia Coli*
Sumber : Gerardi, 2003

Bakteri Escherichia Coli dan Enterobacter Dalam Perairan Air Laut

Enterobacter yang berada pada perairan laut sudah banyak diteliti oleh ilmuwan selama beberapa dekade. Didorong oleh masalah kesehatan masyarakat yang jelas serta dengan upaya yang lebih luas untuk memahami tanggapan bakteri terhadap aspek lingkungan, banyak penelitian yang telah mengeksplorasi bakteri *Escherichia coli* dan bakteri entrik lainnya dalam eksposur mereka di dalam kandungan air laut.

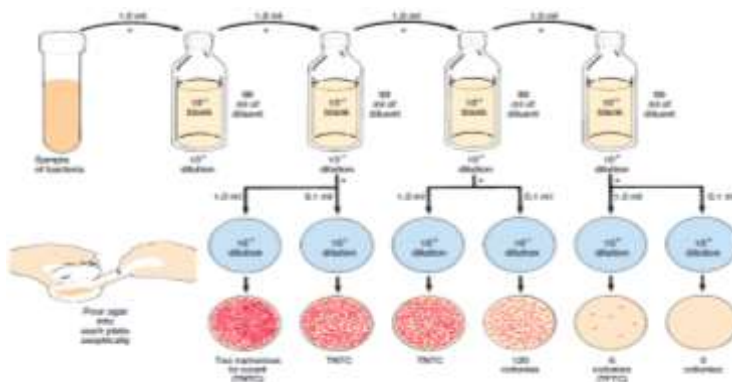
Banyak dari upaya ini yang termotivasi untuk mengevaluasi risiko yang ditimbulkan oleh mikroorganisme seperti ketika akan dilepaskan ke laut baik untuk kesehatan perairan ataupun untuk keselamatan perikanan laut. Ketika bakteri entrik

terkena air laut maka mereka secara bersamaan ditantang oleh kombinasi faktor lingkungan termasuk pH, suhu, salinitas, ketersediaan hara dan radiasi cahaya. Salinitas sendiri tampaknya kurang signifikan ketika dibandingkan dengan nutrisi organik yang cukup.

2.3 Metode *Total Plate Count (TPC)* pada Pengujian Mikroba

Prinsip dari metode hitungan cawan atau *Total Plate Count (TPC)* adalah menumbuhkan sel mikroorganisme yang masih hidup pada media agar, sehingga mikroorganisme akan berkembang biak dan membentuk koloni yang dapat dilihat langsung dan dihitung dengan mata tanpa menggunakan mikroskop. Pada metode ini, teknik pengenceran harus benar-benar diperhatikan. Tujuan dari pengenceran ini adalah mengurangi jumlah kandungan mikroba dalam sampel sehingga nantinya dapat diamati dan diketahui jumlah mikroorganisme secara spesifik sehingga didapatkan perhitungan yang tepat.

Pada **Gambar 2.4** menunjukkan tahapan pengenceran yang dimulai dari membuat larutan sampel sebanyak 10 ml (campuran 1 ml/1gr sampel dengan 9 ml larutan pengencer. Dari larutan tersebut diambil sebanyak 1 ml dan masukkan kedalam 9 ml larutan pengencer sehingga didapatkan pengenceran 10^{-2} . Dari pengenceran 10^{-2} diambil lagi 1 ml dan dimasukkan kedalam tabung reaksi berisi 9 ml larutan fisiologis sehingga didapatkan pengenceran 10^{-3} , begitu seterusnya sampai mencapai pengenceran yang kita harapkan. Setelah dilakukan pengenceran, kemudian dilakukan penanaman pada media lempeng agar. Setelah diinkubasi, jumlah koloni masing-masing cawan diamati dan dihitung. Koloni merupakan sekumpulan mikroorganisme yang memiliki kesamaan sifat seperti bentuk, susunan, permukaan, dan sebagainya.



Gambar 2.4 Pengujian TPC
Sumber : Harley dan Prescott, 2002

Pada metode yang digunakan ini, menggunakan media pengenceran yaitu menggunakan media aquades steril bersalinasi dengan nilai salinasi yang sama dengan air laut Kenjeran. Air aquades ini akan dijadikan pengencer yang akan dicampurkan dengan media agar pada pengujian yang akan dilakukan. Sebelum akan melakukan pengujian, maka kadar salinitas air kenjeran pun perlu untuk diukur agar dapat menghitung kadar garam yang akan digunakan untuk pembuatan air bersalinasi yang

sama dengan air laut Kenjeran tersebut. Adapun alat yang digunakan untuk mengukur kadar salinitas adalah *Salinometer* atau *Refraktometer*.

2.4 Peraturan Mengenai Sistem Air Balas Pada Kapal

Data IMO menunjukkan bahwa lebih dari 10 milyar ton air balas selalu dipertukarkan atau di transfer antar negara setiap tahunnya (IMO,2001). Ketika kapal akan mengisi ruang muatnya, maka mereka akan membuang air balas di perairan setempat sehingga mikroorganisme yang ada di dalam tangki tersebut akan ikut terbuang dan menjadi spesies asing di perairan tersebut. Didalam ekosistem yang baru, spesies asing ini sering tidak menemukan predator alaminya sehingga berkembang biak sangat pesat, bahkan pada banyak kasus mereka menjadi predator atau invader untuk bisa bertahan dan mendominasi lingkungannya yang baru. Dengan semakin seriusnya ancaman tersebut, IMO mengeluarkan peraturan mengenai hal tersebut.

Peraturan yang mengatur mengenai *ballast water treatment* pada kapal yaitu *International Maritime Organization* (IMO) yang bergerak dalam bidang keselamatan, keamanan dan kinerja lingkungan pelayaran internasional dan telah menaruh perhatian mengenai masalah pencemaran yang diakibatkan oleh perpindahan mikroorganisme melalui air balas. Pada tanggal 13 Februari 2004, IMO mengadakan “*International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediment*” dimana tujuan dari konvensi ini adalah untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan laut yang disebabkan oleh mikroorganisme yang terbawa oleh air balas pada kapal, yang dilakukan dengan cara mengharuskan semua kapal untuk mengaplikasikan *Ballast Water and Sediments Management Plan*. Negara-negara yang sudah meratifikasi mengenai konvensi ini antara lain : Albania, Antigua dan Barbuda, Barbados, Brazil, Canada, Congo, Cook Island, Croatia, Denmark, Egypt, France, Germany, Iran, Jordan, Kenya, Kiribati, Lebanon, Liberia, Malaysia, Maldives, Marshall Islands, Micronesia, Mongolia, Montenegro, Netherlands, Nigeria, Niue, Norway, Palau, Republic of Korea, Russian Federation, Saint Kitts dan Nevis, Sierra Leone, South Africa, Spain, Sweden, Switzerland, Syrian Arab Republic, Tonga, Trinidad dan Tobago, Tuvalu.

Dari konvensi ini lahirlah berbagai peraturan mengenai pengolahan air balas pada kapal. Ketentuan ini kemudian dikenal dengan nama ANNEX, yang terdiri dari lima bagian yaitu ANNEX A hingga ANNEX E. Untuk mengetahui mengenai ketentuan tersebut, dapat dilihat pada Error! Reference source not found.

ANNEX bagian A membahas mengenai ketentuan umum.

ANNEX bagian B membahas mengenai syarat manajemen dan kontrol air balas pada kapal. Peraturan – peraturan yang harus ditaati di dalam ANNEX ini diantaranya sebagai berikut :

- ❖ Kapal harus memiliki sistem penanganan air balas yang telah disetujui oleh pihak yang berwenang.
- ❖ Kapal harus memiliki log book untuk mencatat waktu pengambilan, penanganan, dan pembuangan air balas
- ❖ Kapal yang dibangun sebelum tahun 2009 dengan kapasitas tangki air balas setara 1500 dan 5000 m³ harus memenuhi standar penanganan air balas dengan menggunakan metode pertukaran air atau standar performa air balas hingga tahun 2014. Kapal yang dibangun sebelum tahun 2009 dengan kapasitas tangki air balas kurang dari 1500 atau lebih dari 500 m³ harus

memenuhi standar penanganan air balas dengan menggunakan metode pertukaran air balas atau standar performa air balas hingga tahun 2016.

- ❖ Kapal yang dibangun pada tahun 2009 atau setelahnya dengan kapasitas tangki air balas kurang dari 5000 m³ harus memenuhi aturan standar performa dari air balas.
- ❖ Kapal yang dibangun antara tahun 2009 – 2012, dengan kapasitas tangki air balas lebih dari 5000 m³ atau lebih harus memenuhi aturan standar performa dari air balas.
- ❖ Kapal yang dibangun pada tahun 2012 atau setelahnya dengan kapasitas tangki air balas kurang dari 5000 m³ harus memenuhi aturan standar performa dari air balas.
- ❖ Kapal yang menggunakan sistem pertukaran air balas harus melakukan pertukaran air balas setidaknya 200 mil laut dari pulau terdekat dan pada kedalaman air laut setidaknya 200 m.
- ❖ Dalam kasus ketika kapal tidak bisa melakukan pertukaran air balas seperti aturan di atas, maka pertukaran harus dilakukan sejauh mungkin dari pulau terdekat, yaitu setidaknya 50 mil laut dari pulau terdekat dan setidaknya dalam kedalaman 200 m.

ANNEX bagian C membahas mengenai undang – undang tambahan. Pada ANNEX ini disebutkan bahwa “Negara atau gabungan dari beberapa Negara yang saling bekerjasama, dimungkinkan untuk memberikan pemaksaan aturan tambahan untuk mencapai tujuan mengurangi mikroorganisme yang berbahaya akibat air balas dan endapannya. Dalam kasus ini, Negara atau gabungan dari beberapa Negara yang bekerjasama harus berkoordinasi dengan negara tetangga terdekat yang mungkin terkena imbas pelaksanaan pemaksaan aturan tambahan tersebut dan harus berkomunikasi dengan IMO untuk mendapatkan persetujuan dari pemaksaan aturan tambahan setidaknya enam bulan”.

Sedangkan untuk ANNEX bagian D membahas mengenai standar untuk sistem pengolahan air balas. Ketentuan pada ANNEX ini adalah sebagai berikut :

- ❖ Pada regulasi D-1, menyebutkan bahwa standar dari metode pertukaran air balas adalah, kapal yang menggunakan metode ini harus melakukannya dengan efisiensi 95% volume pertukaran air balas. Untuk kapal yang melakukan pertukaran air balas dengan menggunakan metode pumping-through. Pumping-through sebesar tiga kali volume tiap tangki air balas harus dipertimbangkan untuk memenuhi standar yang telah ditetapkan, untuk pumping-through kurang dari tiga kali yang diperbolehkan asalkan memenuhi standar.
- ❖ Pada regulasi D-2, menyebutkan bahwa kapal yang menggunakan sistem penanganan air balas hanya diperbolehkan membuang kurang dari 10 organisme hidup dengan ukuran lebih dari atau sama dengan 50 mikrometer setiap 1 m³. Dan untuk mikroorganisme yang berukuran antara 10 hingga 50 mikrometer hanya boleh dibuang 10 mikroorganisme tiap 1 milimeter. Sedangkan untuk jenis mikrojanya, tidak boleh melebihi konsentrasi yang telah ditetapkan. Untuk vibrio cholerae kurang dari 1 cfu per 100 ml. Untuk Escherichia coli kurang dari 250 cfu per 100 ml. untuk intestinalenterococci

kurang dari 100 cfu per 100 ml yang dapat dilihat pada Error! Reference source not found..

Tabel 2.1 Ketentuan Pada IMO *Ballast Water Management Convention*

Ballast Capacity (m ³)	Construction Date	First Intermediate or Renewal Survey, which ever occurs first after anniversary date in the year indicated below								
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<1500	<2009	D1 or D2								D2
	>2009	D2								
>1500	<2009	D1 or D2						D2		
<5000	>2009	D2								
>5000	<2012	D1 or D2								D2
	>2012	D2								

Sumber : Lloyd Registers

Tabel 2.2 Jumlah Kandungan Mikroba dalam Air Balas

Organism Category	Regulation
Plankton, >10-50 µm In minimum dimention	<10 cells / m ³
Plankton, 10-50 µm	<10 cells / ml
<i>Toxicogenic Vibrio Cholera (O1 and O139)</i>	<1 CFU / 100 ml or less than 1 CFU / gr
<i>Escherichia coli</i>	<250 CFU / 100 ml
<i>Intestinal Enterococci</i>	<100 CFU / 100 ml

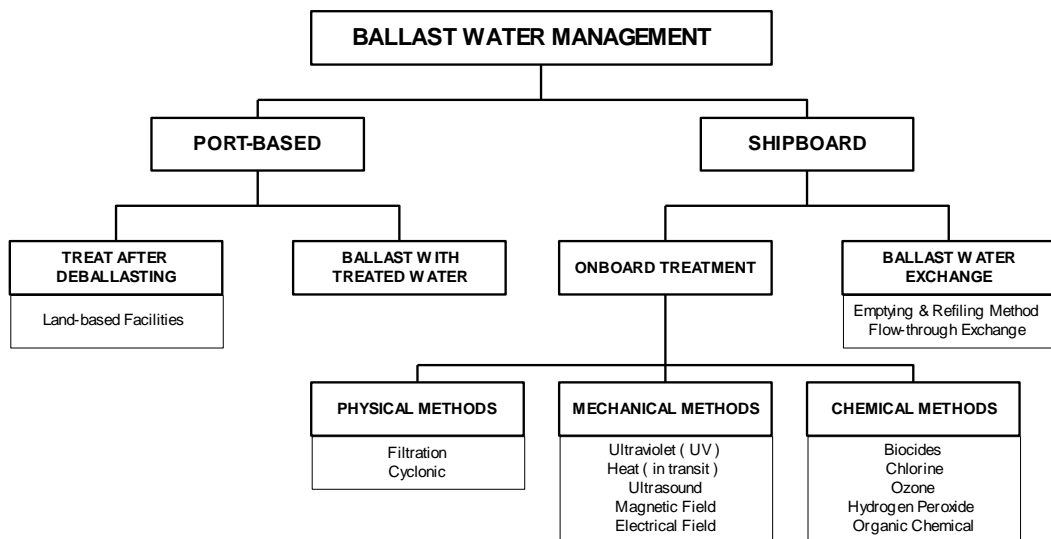
Sumber: Lloyd Registers

ANNEX bagian E adalah mengenai syarat survey dan sertifikasi untuk sistem pengolahan air balas. Pada ANNEX ini mengatur tentang pemberian syarat untuk berbagai macam survey dan sertifikasi. Sebagai tambahan, juga memberikan formulir untuk sertivikat manajemen pengolahan air balas, dan formulir buku catatan air balas.

2.5 Sistem Pengolahan Air Balas pada Kapal

Dengan adanya peraturan pada IMO *International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments*, maka diperlukan sebuah pengolahan air balas agar bisa terstandarisasi pada peraturan tersebut. Menurut Suroso (2006), secara garis besar terdapat dua metode pengolahan air balas yaitu pengolahan pengolahan di pelabuhan dan pengolahan pada kapal. Sedangkan pengolahan pada kapal terbagi menjadi 3 jenis yaitu metode fisika, metode mekanik dan metode kimia. Untuk metode fisika menggunakan metode filtrasi dan siklonik, untuk metode mekanik menggunakan Sinar UV, pemanasan, Ultrasonik, medan magnet dan medan listrik. Sedangkan untuk

metode kimia menggunakan zat kimia seperti klorin, hidrogen peroksida, kimia organik dan lainnya seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Bagan *Ballast Water Management*

Pada tanggal 28 – 30 Maret 2001 yang berjudul “*International Ballast Water Treatment Standards Workshop-IMO*” IMO menetapkan kriteria dari pengolahan air yang dilaksanakan di London sebagai berikut :

- ❖ **Safety** yaitu keselamatan kapal dan ABK tetap pada prioritas utama, sehingga standar keselamatan yang ada mungkin harus dikembangkan untuk mencakup masalah *ballast water treatment*.
- ❖ **Environmental Acceptability** yaitu sistem pengolahan baru yang tidak akan menimbulkan masalah lingkungan yang lebih besar dibandingkan dengan sebelumnya
- ❖ **Practicability** yaitu sistem pengolahan baru harus bisa kompatibel dengan rancangan kapal dan batas-batas operasionalnya agar praktis untuk kapal yang sudah ada ataupun bangunan baru
- ❖ **Cost Effectiveness** yaitu sistem pengolahan baru tidak membutuhkan biaya yang sangat tinggi
- ❖ **Effectiveness** yaitu efektifitas teknologi yang dapat mematikan atau membuang mikroorganisme merupakan hal penting.

2.6 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

(Tang et al, 2008) telah melakukan penelitian mengenai hasil kinerja karet remah bisa sebagai penyaring air balas. Dalam penelitian ini dibuatkan penyaring yang memiliki lebar 5 cm dan kedalaman 90 cm. Karet remah yang digunakan sebagai filter memiliki ukuran 1.2 – 2 mm. Ukuran ini dipilih berdasarkan *American Society for Testing and Materials (ASTM) standard test C136-92*, dan *Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (ASTM, 1993)*. Dalam penelitian ini terdapat dua eksperimen yang telah

dilakukan, yaitu eksperimen mengenai pengaruh variasi debit air balas terhadap performa filtrasi karet remah, dan eksperimen filtrasi dual media.

Pada hasil pengujian ini, debit air air balas mempunyai pengaruh terhadap performa filtrasi karet remah tersebut dan memberikan debit air balas dengan variasi 147.195 dan 220 m³/jam dan *head* pompa sebesar 14.1 m. Pada pengujian ini dilakukan pengamatan terhadap efektifitas penyaringan mikroba jenis *zooplankton*, *phytoplankton*, serta pengamatan terhadap pengurangan kekeruhan air dengan hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Hubungan Variasi Debit Air Balas dengan Efektifitas Penyaringan

Filtration rate (m ³ h ⁻¹ m ⁻²)	Removal efficiencies (%)		
	Turbidity	Phytoplankton	Zooplankton
24	19 ± 6	58 ± 4	58 ± 9
147	16 ± 3	60 ± 6	92 ± 3
195	16 ± 1	60 ± 4	90 ± 2
220	17 ± 2	57 ± 10	92 ± 6

Sumber : EPRI, 1999

Berdasarkan data dari tabel di atas didapatkan hasil eksperimen yang menunjukkan pengurangan kekeruhan hingga 16%, pengurangan jumlah phytoplankton hingga 60% dan pengurangan jumlah zooplankton hingga 92% pada tingkatan debit yang berbeda. Sedangkan tingkat efektifitas yang paling besar dalam penyaringan diperoleh pada debit 147 dengan tingkat pengurangan kekeruhan sebesar 16%, pengurangan jumlah phytoplankton sebesar 60% dan pengurangan jumlah zooplankton sebesar 92%. Berdasarkan hasil data yang diperoleh dari pengujian ini dapat disimpulkan bahwa terdapat peningkatan substansial dalam efektifitas pengurangan jumlah *zooplankton*. Peningkatan penghilangan *zooplankton* ini diprediksi disebabkan oleh kompresi karet remah dimana sistem ini mengurangi ruang kosong yang berada di filter (terutama karena laju aliran yang tinggi).

Pada eksperimen filtrasi dual media dilakukan pengamatan terhadap efektifitas penyaringan yang dihasilkan oleh pasir, karet remah dan perpaduan antara pasir dengan karet remah. Pengujian ini dilakukan pengaturan media terhadap kedalaman penyaringan dan jumlah pasir yang ditambahkan. Pada pengujian ini memerlukan keakuratan dalam mengukur kedalaman dari penyaringan menggunakan media pasir. Sehingga dari hasil pengujian ini didapatkan pengurangan jumlah *zooplankton* dan *phytoplankton* dan

menghasilkan kekeruhan paling besar dihasilkan oleh *filter dual media*. Untuk mengetahui hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

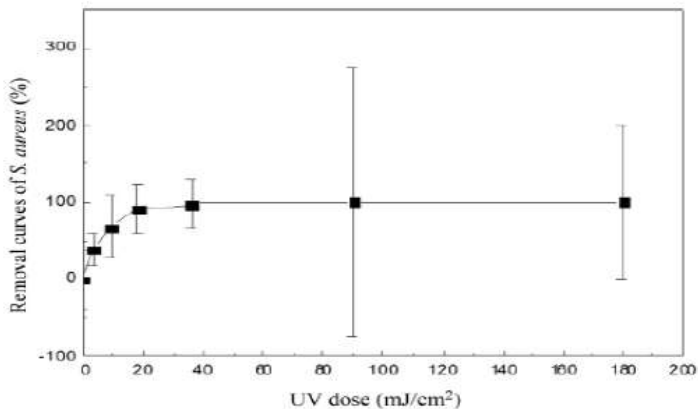
Tabel 2.4 Hubungan Variasi Debit Air Balas dengan Efektifitas Penyaringan

Layer Composition Crumb rubber +sand	Removal efficiencies (%)		
	Turbidity	Phytoplankton	Zooplankton
90 cm crumb rubber only	19 ± 6	58 ± 4	58 ± 9
85 cm crumb rubber + 5 cm sand	28 ± 6	71 ± 2	93 ± 2
75 cm crumb rubber + 15 cm sand	36 ± 3	72 ± 7	92 ± 6
60 cm sand only	27 ± 1	71 ± 1	96 ± 4

Sumber : Zhijian Tang, et al, 2016

(Ren, Z.J, 2016) telah melakukan penelitian untuk memahami potensi teknologi iradiasi UV untuk mematikan mikroorganisme yang terkandung dalam air balas. Didalam penelitiannya ini menggunakan eksperimen statis dan dinamis. Untuk pengujian statis digunakan untuk mengetahui efek dosis UV terhadap inaktivasi mikroorganisme, sedangkan pengujian dinamis digunakan untuk mempelajari efek debit air balas terhadap inaktivasi mikroorganisme. Pada peksperimen ini air balas akan diatur kondisinya berdasarkan indikator biologi yang ditetapkan oleh *International Ships Ballast Water and Sediments Management and Control of the Convention* sehingga air balas yang diuji memiliki pH 7.5 – 8 dengan suhu yang dijaga antara 16 - 26°C dan untuk salinitas yaitu 35 psu. Pengaturan radiasi sinar UV yaitu 10 – 600 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ sedangkan untuk objek penelitiannya adalah *chlorella* dan *S. Aureus*.

Dari hasil pengujian ini disimpulkan bahwa semakin besar dosis yang diberikan maka laju inaktivasi mikroorganisme akan semakin besar. Pada **Gambar 2.6** menunjukkan kurva hubungan dosis UV terhadap inaktivasi mikroorganisme. Pada kurva tersebut dibagi menjadi 3 bagian yaitu daerah lag, daerah orde pertama dan daerah ekor. Dosis UV pada stagnasi kritis disebut *Itlag*, sedangkan dosis UV pada daerah ekor disebut *ITtail*. Ketika dosis UV (IT) lebih rendah daripada *Itlag* maka laju inaktivasi mikroorganisme rendah. Ketika dosis UV (IT) nilainya diantara *Itlag* dan *ITtail* dan terus naik, maka laju inaktivasi mikroorganisme akan naik secara signifikan secara bertahap. Pada akhirnya saat nilai IT lebih dari *ITtail* maka laju inaktivasi mikroorganisme akan menjadi tetap. Pada **Gambar 2.6** juga digambarkan bahwa pada grafik laju inaktivasi *S. aureus* terdapat daerah urutan utama dan daerah ekor. Nilai dari *ITtail* pada daerah ekor 18 mJ/cm^2 , sedangkan pada daerah urutan utama laju inaktivasinya naik secara signifikan hingga menunjukkan nilai inaktivasi yang mencapai 91.6 % .



Gambar 2.6 Kurva Laju Inaktivasi *S. Aureus*

Sumber : Z. J. Ren et al., 2016

(SWRCB, 2002) memuat penelitian dengan judul “*Evaluation of Ballast Water Treatment Technology for Control of Nonindigenous Aquatic Organisms*”. Pada penelitian tersebut telah dilakukan pengolahan air laut dengan menggunakan radiasi sinar UV dengan dosis 20 mW/cm²/sec dan menghasilkan prosentrase inaktivasi mikroba seperti pada **Tabel 2.5**. Berdasarkan tabel tersebut, dengan menggunakan penyinaran ultraviolet mampu menghasilkan performa inaktivasi mulai dari 97,8456% hingga 99,9999%. Dari hasil yang didapat menandakan bahwa radiasi sinar UV efektif dalam membunuh mikroba air patogen.

Tabel 2.5 Persentase Pengurangan Jumlah Bakteri dan Mikroba Hasil Radiasi UV

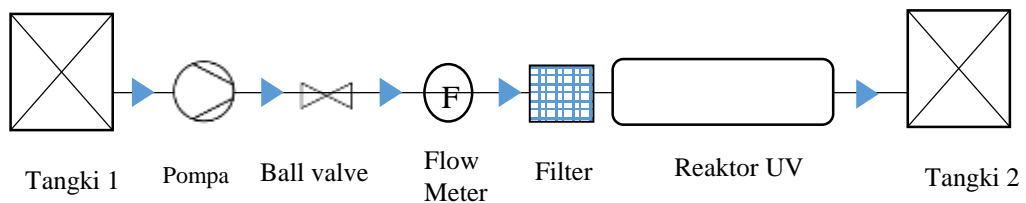
Organisme	Inaktivasi (%)	Organisme	Inaktivasi (%)
Bacillus anthracis	99,9964	Shigella dysenteriae	99,9999
Clostridium tetani	97,8456	Streptococcus faecalis	99,9972
Corynebacterium diphthera	99,9999	Vibrio cholerae	99,9162
Echerichia coli	99,9999	Influenza virus	99,9997
Legionela pneumophila	99,9999	Poliovirus	99,7846
Mycobacterium tuberculosis	99,9536	Rotavirus	98,3014
Pseudomonas aeruginosa	99,9769	Saccharomyces cerevisiae	99,8179
Salmonella paratyphi	99,9999		

Sumber : SWRCB, 2002

Okik (2010) dalam penelitiannya yang berjudul “Kajian Percobaan Penanganan Air Balas Dengan Kombinasi Metode Perlakuan Panas dan Penyinaran UV” telah melakukan penelitian mengenai pengaruh intensitas sinar ultraviolet dan pengadukan

terhadap lama waktu yang diperlukan untuk mematikan bakteri *E. coli* yang terdapat di dalam air. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan sampel air yang ditampung dalam gelas baker ukuran 100 ml dan menggunakan lampu ultraviolet 15 watt sebagai sumber penerangannya. Lampu UV diatur penempatannya pada jarak 10, 20, 30 cm dari dasar gelas baker untuk mendapatkan variasi intensitas penyinaran. Pada masing – masing jarak tersebut dilakukan pemaparan sinar ultraviolet dengan durasi 1, 2, 3, 4 dan 5 menit. Pada eksperimen ini dilakukan pula pengadukan pada beberapa sampel air untuk mendapatkan analisa mengenai pengaruh turbulensi terhadap waktu untuk mematikan bakteri. Pada penelitian ini didapatkan hasil jumlah bakteri *E. coli* paling banyak mati sebesar 85% ketika mendapatkan jarak lampu dari gelas baker sejauh 10 cm, dan sampel air mengalami pengadukan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar intensitas penerangan dan dengan adanya turbulensi pada air akan membuat bakteri semakin cepat mati

Fauzi, Nur Haris (2016) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengembangan Prototipe Sistem Pengolahan Air Balas Dengan Menggunakan Aplikasi Filtrasi Karet Remah dan Radiasi Sinar UV” telah melakukan pengembangan sistem pengolahan air balas menggunakan filtrasi karet remah dan radiasi sinar UV. Dalam penelitian ini menghasilkan sebuah alat dengan skala lab dimana komponen utama dari sistem ini adalah tangki 1, pompa, ball valve, flow meter, filter, reaktor UV dan tangki 2. Dimana proses kerja prototipe pengolah air balas tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Proses Kerja Pengolahan Air Balas
Sumber : Fauzi, 2017

Pada gambar diatas, prototipe pengolah air balas yang sudah dibangun terdiri dari tangki nomor 1 yang berfungsi sebagai penampung air laut pada kondisi eksisting. Air dalam tangki ini akan dipompa menuju filter dengan debit yang bervariasi. Variasi debit di dalam sistem ini didapatkan dari pengaturan laju aliran air dengan menggunakan *ball valve* yang terletak pada discharge pompa. Ketika mengatur debit air balas dengan *ball valve*, dilakukan pula pemantauan pada *flow meter* yang terletak diantara *ball valve* dan filter. Setelah keluar dari filter, maka air balas akan masuk ke dalam filter guna menjalani proses inaktivasi mikroba. Didalam reaktor UV terdapat dua buah lampu UV dengan kapasitas 30 watt. Dosis penyinaran lampu UV pada reaktor ini akan divariasikan.

Pengembangan ini mengutamakan pada penggunaan filtrasi karet remah, filtrasi cartridge dan radiasi sinar UV. Perbandingan menggunakan filtrasi karet remah dan filter cartridge adalah untuk mengetahui seberapa efektif dan efisienkah filtrasi karet remah dalam memfilter mikroba yang terkandung didalam air laut. Selain itu, dari segi ekonomi pun karet remah lebih murah dibandingkan dengan filter cartridge, dimana fungsi dari setiap komponen utama tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

Filtrasi Karet Remah

Karet remah merupakan suatu jenis karet hasil penyiapan dari pohon karet yang sudah di proses menjadi bahan setengah baku. Jenis bahan baku ini berupa bongkahan-bongkahan karet yang dibuat dari karet mentah yang dipres menjadi lembaran lalu dipotong menjadi kecil-kecil. Selain itu juga *karet remah* juga dapat dibuat dari limbah yang dipotong dan digiling sampai pada ukuran yang diinginkan lalu dibersihkan dan dihilangkan setiap partikel logam yang terkandung di dalamnya. Proses pengolahannya melalui tahap peremahan. Bahan baku yang paling dominan adalah lump karena pengolahan karet remah ini bertujuan untuk mengangkat derajat bahan baku mutu rendah menjadi produk yang lebih bermutu. Sedangkan penentuan kelas mutu berdasarkan warna atau penilaian visual. Bentuk dari karet remah itu sendiri dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.

Tahap pengolahan karet remah meliputi :

1. Peremahan
Komposisi yang telah mengalami penuntasan selama 10-15 hari diremahkan dalam granulator. Peremahan bertujuan untuk mendapatkan remahan yang siap untuk dikeringkan.
2. Pengeringan
Komposisi yang telah mengalami peremahan selanjutnya dikeringkan dalam *dryer* selama 3 jam. Pemasukan kotak pengering kedalam *dryer* 12 menit sekali dan suhu pengering adalah 122°C untuk bahan baku kompo dan 110°C untuk proses WF. Suhu produk yang keluar dari *dryer* dibawah 40°C. Pengeringan bertujuan untuk menurunkan kadar air sampai batas aman apabila disimpan dan terhindar dari serangga maupun mikrobiologis lainnya.
3. Pengepresan
Pengepresan merupakan pembentukan bongkahan-bongkahan dari karet remah kering.
4. Pembungkusan dan Pengepakan
Pembungkusan dimaksudkan untuk menghindari penyerapan uap air dari lingkungan serta bebas dari kontaminan lainnya.



Gambar 2.8 Bentuk dari Karet Remah / *Crumb Rubber*

Sumber : XS Polymer International

Filtrasi Cartridge

Cartridge merupakan bahan dari karbon aktif berbentuk seperti butiran pasir dimana *cartridge* ini akan dimasukkan kedalam *house filter*. Karbon aktif ini merupakan sebuah material atau bahan yang memiliki pori-pori sangat luas. Pori-pori ini berfungsi untuk menyerap setiap kontaminan yang akan melaluinya. Dengan kata lain, jika air laut disaring menggunakan karbon aktif, maka kontaminan atau mikroba dalam air dapat masuk dalam pori-pori dan terjebak didalamnya. Karbon aktif bekerja dengan cara penyerapan atau absorpsi.



Gambar 2.9 Filter Cartridge

Sumber : Reverseosmosisrevolution.com

Sinar Ultraviolet

Sinar ultraviolet memiliki kemampuan untuk mempengaruhi fungsi sel makhluk hidup dengan mengubah material inti sel atau bisa disebut dengan DNA, sehingga makhluk hidup tersebut mati (Jay,1996). Sinar ultraviolet pada filter ini air dihasilkan dari lampu UV yang pada dasarnya hampir sama dengan lampu neon dimana di dalam tabung diisi dengan gas inert biasanya argon ataupun merkuri. Dosis UV yang digunakan pada proses pengolahan air balas ini harus diperhatikan pada saat melaksanakan proses pengolahan air balas.

Pada pengembangan ini, metode analisa kandungan mikroba yang terkandung dalam air balas menggunakan metode TPC yaitu dengan menggunakan medium penumbuh bakteri berupa *Natrium Agar* (Na). Dimana TPC ini akan dikopel dengan pelarut larutan aquades steril dan pelarut air laut steril. Selain itu juga analisa kandunganmikroba ini menggunakan metode turbiditas.

Untuk analisa kandungan mikroba air laut menggunakan metode TPC dengan pelarut air laut steril dimana air laut tersebut digunakan sebagai pelarut Na untuk memenuhi kadar salinitas yang diperlukan oleh bakteri laut agar dapat tumbuh dengan normal pada medium penumbuh bakteri. Pengamatan yang telah dilaksanakan dapat dilihat pada **Tabel 2.6** dan **Tabel 2.7** dan. Namun, pada hasil percobaan ini terdapat hasil inkonsistensi pada hasil uji sampel air laut tersebut sehingga dibutuhkan metode lain untuk melakukan pembenaran pada hasil uji tersebut. Ketika lampu UV diatur sedemikian rupa sehingga dapat memberikan dosis penyinaran maksimalnya, pada akhirnya dengan dosis maksimal tersebut lampu tidak dapat menginaktivasi mikroba

dengan lebih baik. **Tabel 2.6** merupakan hasil analisa kuantitatif mikroba air patogen pada sampel air laut yang telah diolah menggunakan filtrasi karbon dan radiasi sinar UV. Pada sampel nomor satu, dua dan tiga dalam **Tabel 2.6**, sampel air laut yang telah disaring menggunakan filter karet remah dan diradiasi menggunakan UV-C dengan dosis sebesar 7,10 mW/cm² menghasilkan inaktivasi yang lebih baik daripada inaktivasi dengan menggunakan filtrasi karbon dan UV dengan dosis yang sama.

Tabel 2.6 Pengolahan Air Laut dengan Filtrasi Karbon

No	Debit (lpm)	Daya Lampu (watt)	Dosis UV (mW/cm ²)	Jumlah Mikroba hidup (Cfu/ml)
1	5	30	7,10	9,6 x 10 ⁴
2	10	30	7,10	1,5 x 10 ⁵
3	20	30	7,10	8,3 x 10 ⁶
4	5	60	14,20	0
5	10	60	14,20	0
6	20	60	14,20	0
7	5	70	16,58	7,2 x 10 ⁴
8	10	70	16,58	2,6 x 10 ²
9	20	70	16,58	7,5 x 10 ⁶

Sumber : Fauzi, 2017

Tabel 2.7 Pengolahan Air Laut dengan Filtrasi Karet Karbon

No	Debit (lpm)	Daya Lampu (watt)	Dosis UV (mW/cm ²)	Jumlah Mikroba hidup (B) Cfu/ml
1	5	30	7,10	4,0 x 10 ⁴
2	10	30	7,10	1,3 x 10 ³
3	20	30	7,10	1,1 x 10 ³
4	5	60	14,20	6,0 x 10 ⁹
5	10	60	14,20	1,0 x 10 ⁷
6	20	60	14,20	2,0 x 10 ⁹
7	5	70	16,58	3,1 x 10 ²
8	10	70	16,58	8,1 x 10 ²
9	20	70	16,58	1,0 x 10 ⁵

Sumber : Fauzi, 2016

Langkah yang dilakukan yaitu menggunakan analisa kandungan mikroba air laut menggunakan TPC dengan pelarut larutan aquades steril. Pada analisa kandungan mikroba air laut yang menggunakan aquades steril dimana aquades steril ini digunakan sebagai pelarut Na untuk memenuhi protokol pembuatan medium penumbuh bakteri pada metode TPC dan untuk menghindari potensi kontaminasi bakteri pada pembuatan medium agar. Dari hasil pengujian ini, didapatkan hasil bahwa mikroba air laut tersebut sudah sesuai protokol dan berhasil untuk di inaktivasi. Namun dari hasil ini didapat

diduga terjadi pembiasan dalam perhitungan jumlah mikroba. Pembiasan perhitungan ini dapat terjadi karena penggunaan larutan aquades sebagai campuran dalam pembuatan medium agar. Larutan aquades yang memiliki salinitas lebih rendah dibandingkan dengan salinitas air laut diduga kurang cocok apabila digunakan sebagai pengencer media penumbuh mikroba. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada **Tabel 2.8** dan **Tabel 2.9**.

Tabel 2.8 Pengolahan Air Laut dengan Filtrasi Karbon

No	Debit (lpm)	Daya Lampu (watt)	Dosis UV (mW/cm ²)	Jumlah Mikroba hidup Cfu/ml
1	5	30	7,10	0
2	10	30	7,10	0
3	20	30	7,10	0
4	5	60	14,20	0
5	10	60	14,20	0
6	20	60	14,20	0
7	5	70	16,58	0
8	10	70	16,58	0
9	20	70	16,58	0

Sumber : Fauzi, 2016

Tabel 2.9 Pengolahan Air Laut dengan Filtrasi Karet Remah

No	Debit (lpm)	Daya Lampu (watt)	Dosis UV (mW/cm ²)	Jumlah Mikroba hidup (A) Cfu/ml
1	5	30	7,10	0
2	10	30	7,10	10
3	20	30	7,10	0
4	5	60	14,20	0
5	10	60	14,20	0
6	20	60	14,20	0
7	5	70	16,58	0
8	10	70	16,58	0
9	20	70	16,58	0

Sumber : Fauzi, 2016

Pada tabel tersebut didapatkan informasi bahwa pada sampel air laut 5 lpm, 10 lpm dan 20 lpm yang disinari oleh sinar UV dengan dosis 7,10 mW/cm², 14,20 mW/cm² dan 16,58 mW/cm² tidak mengandung mikroba air patogen. Dengan demikian maka inaktivasi mikroorganisme pada air laut mencapai 100% dan hasil inaktivasi ini telah sesuai dengan standar IMO *Ballast Water Convention* yang mensyaratkan jumlah mikroba jenis vibrio cholerae kurang dari 1 cfu per 100 ml, *Escherichia coli* kurang dari 250 cfu per 100 ml dan *intestinalentercocci* kurang dari 100 cfu per 100 ml. Berbeda dengan hasil analisa kuantitatif pada **Tabel 2.8**, dalam **Tabel 2.9** dimana air laut diolah

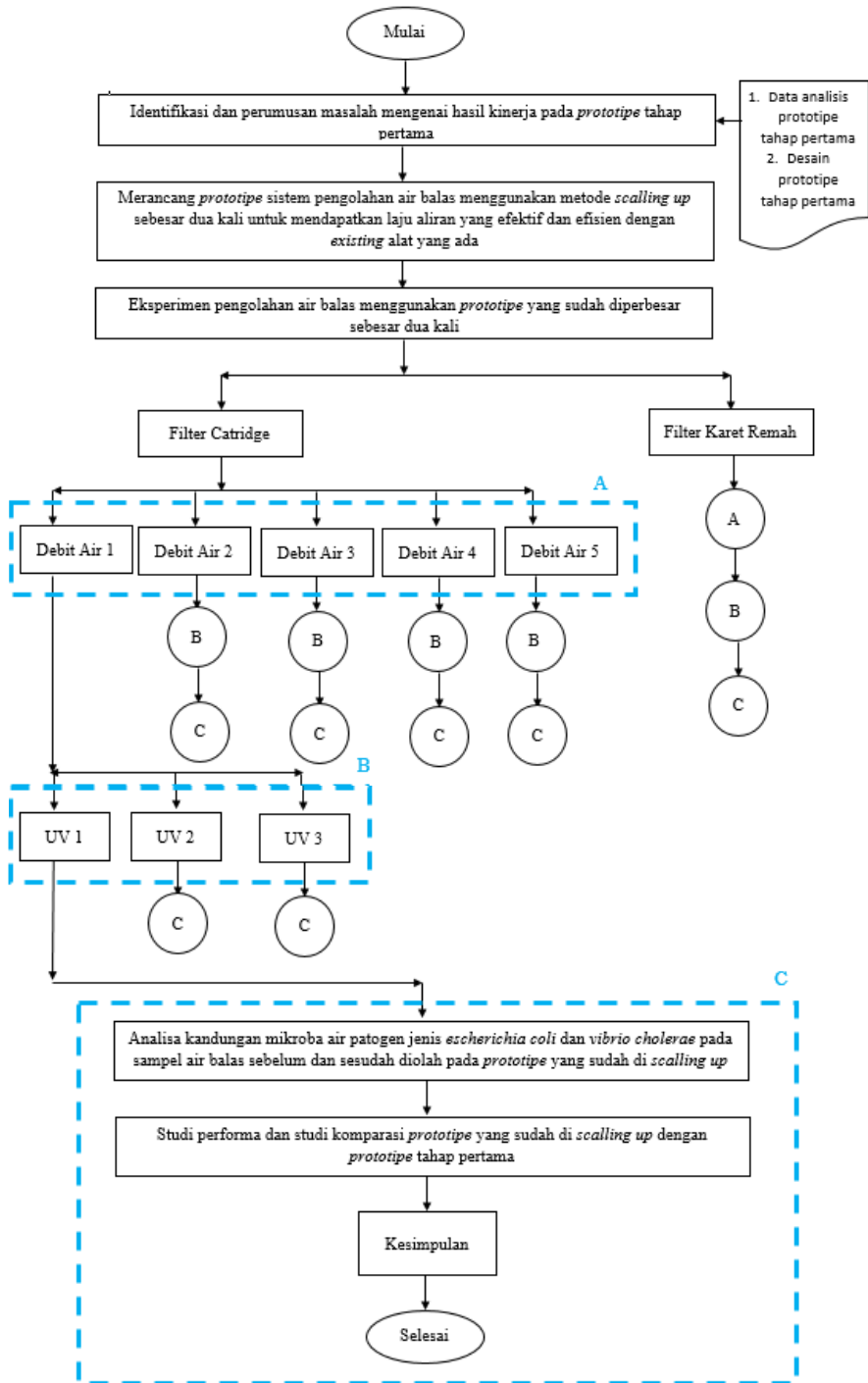
dengan menggunakan filtrasi karet remah dan radiasi sinar UV dengan dosis yang sama dengan **Tabel 2.9** menunjukkan hasil bahwa pada semua sampel air laut tidak mengandung mikroba air patogen kecuali pada sampel nomor dua masih terdapat 10 cfu mikroba air patogen yang masih.

Untuk menguji pengaruh kadar salinitas terhadap pertumbuhan bakteri maka perlu dilakukan pengujian lebih lanjut. Yaitu pengujian lanjutan yang dilakukan untuk menganalisa pengaruh salinitas terhadap pertumbuhan mikroba dalam medium agar yaitu menggunakan metode turbiditas yaitu pengujian kadar keruh sampel air yang disebabkan oleh kandungan mikroba dengan menggunakan *spektrofotometer* dengan satuan *Optical Density* (OD). Pada uji kekeruhan ini digunakan dua buah blanko berupa larutan aquades steril dan air laut steril. Hasil dari pengujian ini memiliki nilai inaktivasi yang relatif sama dengan pengujian yang dilakukan sebelumnya.

Agar pengujian ini lebih tervalidasi, maka dibutuhkan penelitian berkelanjutan yaitu dengan metode *scalling up* pada prototipe untuk mengetahui apakah hasil dari percobaan ini konsisten ataukah tidak.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN



3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah Kinerja *Prototipe* Tahap Pertama

Pada tahap ini dilakukan perumusan masalah mengenai hasil kinerja *prototipe* pada tahap pertama. Dikarenakan hasil pengujian pengolahan air balas menghasilkan 99% inaktivasi mikroba air patogen, diperlukan validasi lebih lanjut pada pengembangan ini.

3.2 Merancang *Prototipe* Sistem Pengolahan Air Balas Menggunakan Metode *Scaling Up* Sebesar Dua Kali

Pada tahap ini dilakukan pembangunan *prototipe* sistem pengolahan air balas yang diperbesar sebesar dua kali dibandingkan *prototipe* tahap pertama. Pada metode *scaling up* ini, akan dilakukan penambahan laju aliran pada *prototipe* tersebut untuk mengetahui apakah hasil pengujian yang dilakukan memiliki konsistensi yang sama dengan *prototipe* tahap pertama. Pada perancangan ini beberapa tahapan yang harus dilalui yaitu perancangan *prototipe* dimana menggunakan *software*, pemilihan material, perakitan instalasi dan uji coba alat.

Dikarenakan menggunakan metode *scaling up*, maka dibutuhkan perhitungan pompa yang meliputi debit air balas yang akan semakin besar dalam sistem, *head loss* serta dosis UV guna mempertimbangkan dalam pemilihan spesifikasi pompa air dan lampu UV yang akan digunakan. Adapun beberapa formula yang digunakan dalam perhitungan *head* pompa, debit air balas dan dosis UV sebagai berikut :

Perhitungan Debit Air Balas

$$Q = \frac{v}{t} \quad (3.1)$$

Dimana :

- Q = Debit Air (ml/s²)
 v = Kecepatan laju aliran fluida (ml)
 t = Waktu tempuh fluida (detik)

Kecepatan Laju Aliran Fluida

$$v = \frac{Q (cm^2 dt^{-1})}{A (cm^2)} \quad (3.2)$$

Dimana :

- Q = Debit air (ml/s²)
 A = Luas alas pipa bagian dalam (cm²)

Lama Penyinaran Sinar UV

$$\theta = \frac{L (cm)}{v (cm dt^{-1})} \quad (3.3)$$

Dimana :

- θ = Lama penyinaran sinar UV (cm³dr⁻¹)
 L = Panjang reaktor UV (cm)
 v = Kecepatan laju aliran fluida (cm/s)

Dosis UV

$$D_{uv} = I_{uv} \times t \quad (3.4)$$

Dimana :

I_{uv} = Intensitas penyinaran UV (Watt)

t = Lama penyinaran (detik)

Head Pompa

$$H = H_s + H_p + H_v + H_l \quad (3.5)$$

Dimana :

H = *Head* total pompa

H_s = *Head* statis

H_p = *Head* pressure

H_v = *Head* velocity

H_l = *Head* loss

$$H_p = H_p \text{ discharge} - H_p \text{ suction} \quad (3.6)$$

$$H_v = \frac{(v \text{ discharge} - v \text{ suction})^2}{2g} \quad (3.7)$$

$$H_l = H_l \text{ mayor} + H_l \text{ minor} \quad (3.8)$$

$$H_l \text{ mayor} = f \frac{Lv^2}{2gD} \quad (3.9)$$

Dimana :

f = Faktor gesekan

L = Panjang pipa (m)

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

D = Diameter dalam pipa (m)

Untuk mendapatkan nilai faktor gesekan, maka didapatkan dari persinggungan antara nilai *relative pipe roughness* dengan *reynold number* (Re) pada moody diagram.

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (3.10)$$

Dimana :

- Re = Reynold number
 ρ = Massa jenis fluida (Kg/m^3)
 v = Kecepatan laju aliran fluida (m/s)
 D = Diameter dalam pipa (m)
 π = Viskositas kinematik fluida

$$\text{Relative pipe roughness} = \varepsilon / D \quad (3.11)$$

Dimana :

- ε = Kekasaran permukaan pipa bagian dalam
 D = Diameter dalam pipa (m)

$$H_l \text{ minor} = K \frac{v^2}{2g} \quad (3.12)$$

Dimana :

- K = Koefisien resistansi
 v = Kecepatan laju aliran fluida dalam pipa (m/s)
 g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

3.3 Eksperimen Pengolahan Air Balas Menggunakan *Prototipe* yang Sudah Diperbesar Sebesar Dua Kali

Pada tahap ini dilakukan eksperimen pengolahan air balas menggunakan prototipe yang sudah di *scaling up* sebesar dua kali dibandingkan dengan prototipe tahap pertama. Pada tahap awal eksperimen ini, air balas akan disaring dalam sistem filtrasi dimana menggunakan aplikasi filtrasi karet remah sebagai alternatif yang akan dibandingkan dengan *filter cartridge* (karbon). Air balas yang terdapat di dalam tangki awal akan dimasukkan ke sistem filtrasi dengan variasi debit yang berbeda. Setelah itu air balas akan masuk ke dalam reaktor UV. Didalam reaktor UV ini air balas akan diberi dosis penyinaran UV yang bervariasi juga. Variasi dosis penyinaran ini dimaksudkan untuk mengetahui hubungan antara variasi debit air balas dengan dosis penyinaran UV untuk menginaktivasi mikroba air patogen. Pasca pengolahan dari reaktor UV, maka air balas akan di tampung pada tangki 2. Dari tangki ini air balas akan diambil sampelnya untuk dianalisa kandungan mikroba air patogen yang terkandung di dalamnya.

Sebelum melakukan pengujian pada sistem pengolahan air balas ini, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menghitung kadar salinitas air laut yang terdapat pada air laut Kenjeran. Dikarenakan pengujian ini menggunakan metode TPC dimana dibutuhkan media pengencer dalam pengujian tersebut, maka media pengencer pada pengujian ini menggunakan aquades steril yang bersalinitas. Untuk pengukuran salinitas pada air laut Kenjeran menggunakan *refractrometer* yang sudah menyatakan satuan per mil. Sedangkan untuk menghitung kandungan garam yang akan diberikan pada air tawar untuk menciptakan air bersalinitas menggunakan rumus :

Salinitas Air Laut

$$S (\text{‰}) = 0.03 + 1.805 \text{ Cl} (\text{‰}) \quad (3.13)$$

Dimana :

S = Salinitas (‰)

Cl = Kandungan garam pada air laut (‰)

Molaritas (M)

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{Mol zat terlarut}}{\text{Volume larutan}} \quad (3.14)$$

Dimana :

M = Jumlah mol zat terlarut dalam 1 Liter larutan

Molalitas (m)

$$m = \frac{gr}{Mr} \times \frac{1000}{P} \quad (3.15)$$

Dimana :

Mr = Massa molar

P = Berat Pelarut

3.4 Analisa Kandungan Mikroba Air Patogen Jenis *Escherichia Coli* dan *Vibrio Cholerae* pada Sampel Air Balas Sebelum dan Sesudah Diolah pada Prototipe yang Sudah di *Scalling Up*

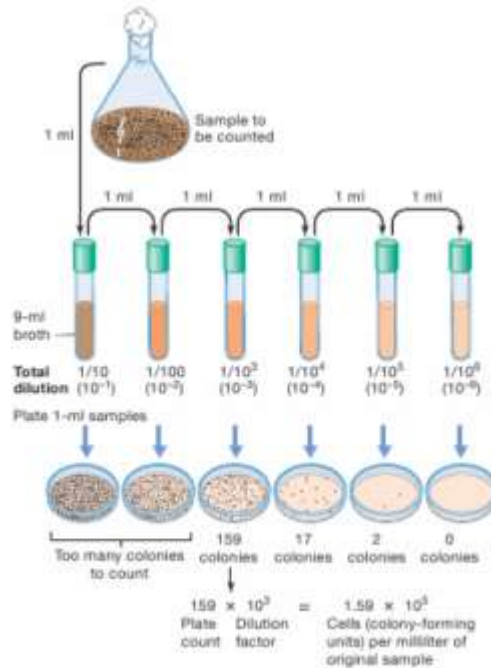
Pada tahap ini dilakukan analisa jumlah kandungan mikroba air patogen pada air balas sebelum diolah dalam prototipe dan air balas yang telah diolah dalam prototipe untuk mengetahui bagaimana kinerja dari metode *scalling up* prototipe pada tahap pertama. Apakah data yang dihasilkan dari pengujian ini memiliki konsistensi seperti yang dihasilkan pada pengujian yang telah dilakukan sebelumnya. Metode untuk menganalisa kandungan mikroba air patogen ini menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dimana media penumbuh sel mikroorganisme adalah menggunakan *Natrium Agar* (Na) sehingga mikroba yang masih hidup akan berkembang biak dan membentuk koloni yang dapat dihitung langsung tanpa bantuan mikroskop (Haris,2017).

Prinsip dari metode TPC adalah menumbuhkan sel mikroorganisme yang masih hidup pada media agar sehingga mikroorganisme akan berkembang biak dan membentuk koloni yang dapat dilihat langsung dan dihitung dengan mata tanpa menggunakan mikroskop. Dalam penelitian ini pula menggunakan media air aquades bersalinasi sebagai media pengencer. Tujuan dari pengenceran sampel yaitu untuk mengurangi jumlah kandungan mikroba dalam sampel sehingga nantinya akan diamati dan diketahui jumlah mikroorganisme yang hidup didalam sampel.

Berdasarkan **Gambar 3.1** menjelaskan tahapan pengenceran yang dimulai dari membuat larutan sampel sebanyak 10 ml (campuran 1 ml sampel air dengan 9 ml larutan air laut steril). Dari larutan tersebut akan dicampur dan akan diambil kembali sebanyak 1 ml dan dimasukkan kedalam 9 ml larutan air laut steril pada tabung kedua sehingga didapatkan pengenceran 10^{-2} . Dari pengenceran 10^{-2} tersebut akan diambil kembali sebanyak 1 ml dan dimasukkan kedalam tabung reaksi ketiga yang berisi 9 ml larutan air laut steril dan didapatkan pengenceran 10^{-3} .

Setelah dilakukan pengenceran, akan dilakukan penanaman pada media lempeng agar dan setelah itu akan di inkubasi. Jumlah dari koloni setiap cawan akan diamati dan dihitung. Koloni merupakan sekumpulan mikroorganisme yang memiliki kesamaan sifat

bentuk, susunan, permukaan dan sebagainya. Keuntungan dari metode TPC ini yaitu dapat mengetahui jumlah mikroba yang dominan pada kandungan air sampel tersebut dan dapat mengetahui adanya mikroba jenis lain yang terdapat didalam air sampel.



Gambar 3.1 Teknik Pengenceran Sampel
Sumber : Pearson, 2006

Ketika akan menghitung jumlah koloni yang terdapat pada cawan, maka terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menghitung, antara lain :

1. Cawan yang dipilih dan dihitung adalah yang mengandung jumlah koloni antara 25 sampai 250.
2. Beberapa koloni yang bergabung menjadi satu merupakan suatu kumpulan koloni yang besar dimana jumlah koloninya diragukan, dapat dihitung sebagai satu koloni.
3. Suatu deretan atau rantai koloni yang terlihat seperti suatu garis tebal dihitung sebagai satu koloni.
4. Dipilih cawan petri dari satu pengenceran yang menunjukkan jumlah koloni antara 25 - 250 koloni.

3.5 Studi Performa dan Studi Komparasi *Prototipe* yang Sudah di *Scaling Up* Dengan *Prototipe* Tahap Pertama

Pada tahap ini dilakukan analisis kinerja dari *prototipe* yang sudah diperbesar sebesar dua kali dengan *prototipe* yang sudah dibuat sebelumnya. Selain itu juga dilakukan komparasi antara hasil yang sudah dilakukan sebelumnya dengan hasil pengujian alat yang dilakukan *scaling up*. Jika dari hasil pengujian yang dilakukan memiliki hasil yang konsistensi dengan hasil pengujian pada tahap pertama, maka dapat

dinyatakan bahwa sistem pengolahan air balas menggunakan filtrasi dan penyinaran UV ini dapat bekerja efektif dan efisien dalam mengolah air balas yang terstandarisasi IMO *Ballast Water Management Convention*.

3.6 Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan kesimpulan dari pengembangan pengolahan air balas menggunakan metode scalling up pada prototipe tahap pertama. Tujuan akhir dari pengembangan ini yaitu untuk memvalidasi pengujian sebelumnya.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

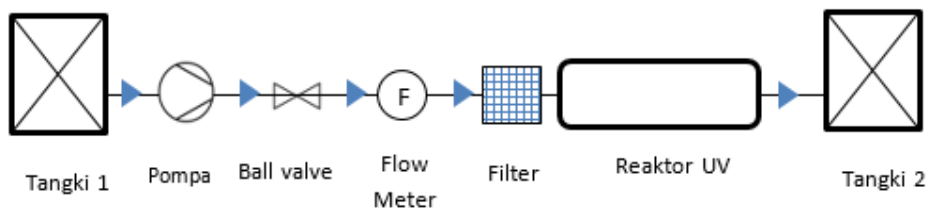
BAB IV RANCANG BANGUN PROTOTYPE

4.1 Umum

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan memperbesar prototipe tahap pertama sebesar dua kali, oleh karena itu pada bab ini dijelaskan bagaimana langkah-langkah dari perencanaan dan pembuatan prototipe dari alat pengolah air balas pada kapal yang meliputi perhitungan kapasitas dan head pompa. Dikarenakannya menggunakan metode *scaling up*, maka semua kapasitas yang terdapat pada prototipe sebelumnya akan dikalikan dua untuk memvalidasi hasil dari pengujian sebelumnya.

4.2 Desain Prototipe Sistem Pengolah Air Balas pada Kapal

Tahap desain prototipe ini dimulai dari mengamati prototipe tahap pertama yang sudah ada dan menganalisis bagaimana sistem dari prototipe tersebut dapat bekerja. Berdasarkan hasil penelitian tahap pertama, diagram kerja dari prototipe alat pengolah air balas kapal yang dibuat adalah sebagai berikut :

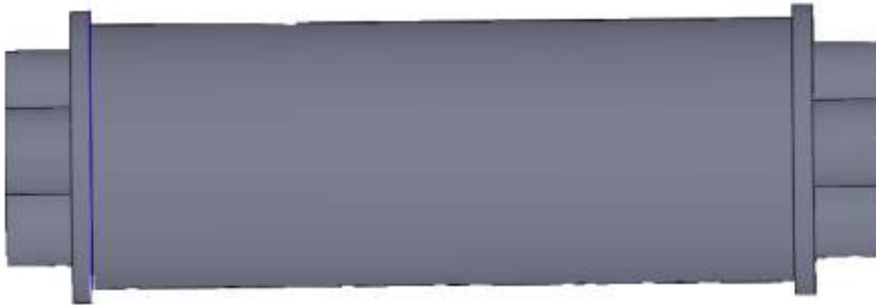


Gambar 4.1 Diagram Kerja Prototipe Pengolah Air Balas
Sumber : Fauzi, 2016

Dari diagram kerja *prototype* pengolah air balas yang sudah dibangun terdiri dari tangki nomor 1 yang berfungsi sebagai penampung air laut pada kondisi eksisting. Air yang berada di dalam tangki ini akan dipompa menuju filter dengan debit yang akan divariasikan. Variasi debit di dalam sistem ini didapatkan dari pengaturan laju aliran air dengan menggunakan *ball valve* yang terletak pada discharge pompa. Ketika mengatur debit air balas dengan *ball valve*, dilakukan pula pemantauan pada flow meter yang terletak diantara *ball valve* dan filter. Setelah keluar dari filter, maka air balas akan masuk ke dalam filter guna menjalani proses inaktivasi mikroba. Didalam reaktor UV terdapat dua buah lampu UV dengan kapasitas 30 watt. Dosis penyinaran lampu UV pada reaktor ini akan divariasikan.

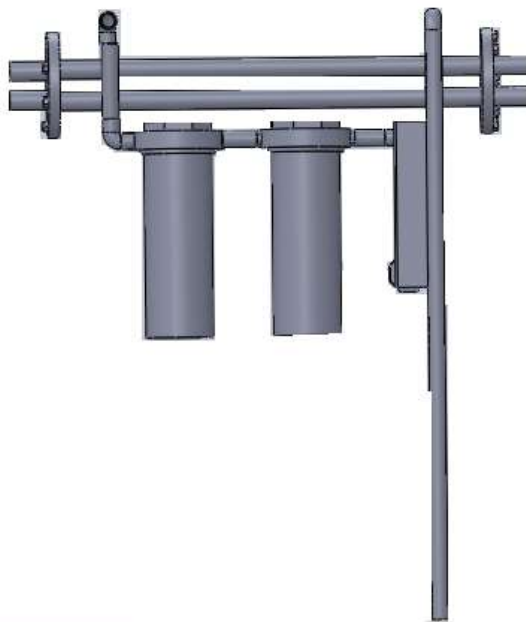
Dikarenakan menggunakan metode *scaling up* pada penelitian ini, maka jumlah lampu UV di dalam reaktor akan dikalikan dua, lalu akan dilakukan dua kali penyaringan menggunakan filtrasi karet remah dan filtrasi cartridge atau biasa dikenal filtrasi karbon. Selain itu juga akan ditambah variasi laju aliran yang lebih besar untuk memastikan laju aliran berpengaruh pada inaktivasi terhadap mikroorganisme yang terkandung di dalam air balas. Pada pengujian ini menggunakan 4 buah lampu UV dengan kapasitas 30 watt dan menggunakan motor pompa dengan kapasitas debit maksimal mencapai 100 lpm. Oleh karena itu dibutuhkan pembuatan desain reaktor UV dan penataan kembali dari alat

yang sudah ada dengan peralatan yang baru. Pembuatan desain yang dibuat yakni reaktor UV yang memiliki diameter sebesar 22 cm dikarenakan diameter yang dimiliki oleh lampu UV sebesar 7 cm. Pada **Gambar 4.2** menunjukkan bentuk dari desain reaktor UV yang di desain menggunakan aplikasi solid work. Rincian dari desain reaktor UV tersebut memiliki panjang tabung 53 cm dan memiliki ketebalan flange 0.5 cm sedangkan untuk panjang dari lampu UV adalah 70 cm.



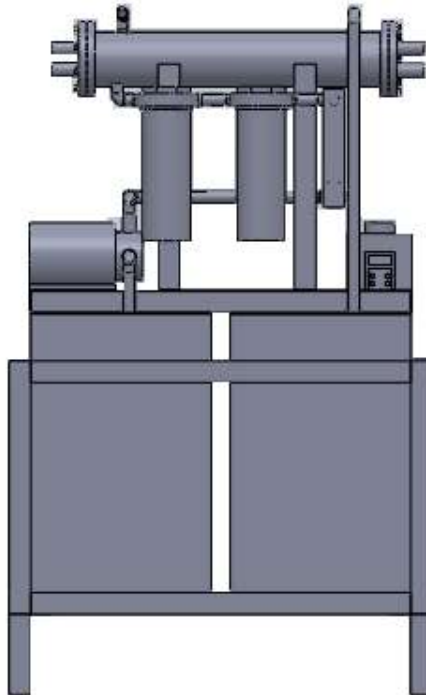
Gambar 4.2 Desain Reaktor UV

Setelah dilakukan pembuatan desain reaktor UV, maka diperlukan kembali penggambaran *house filter* yang akan ditambah sehingga menghasilkan dua kali penyaringan pada sistem pengolahan air balas ini. Filter yang akan diuji menggunakan filtrasi karet remah dan menggunakan filter carbon. Pada **Gambar 4.3** menunjukkan penempatan house filter pada ptototipe sistem pengolah air balas.

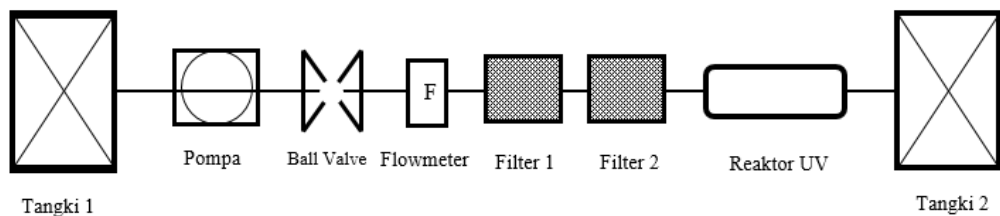


Gambar 4.3 Penempatan *House Filter*

Untuk hasil penggambaran secara keseluruhan akan ditunjukkan pada **Gambar 4.4** dimana sudah terpasang semua peralatan yang dibutuhkan pada sistem pengolah air balas ini. Sehingga sistem kerja pada sistem pengolah air balas ini dapat dijelaskan pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.4 Assembly Peralatan Prototipe



Gambar 4.5 Diagram Kerja Prototipe

Pada **Gambar 4.5** menunjukkan diagram proses dari prototipe sistem pengolah air balas dimana air laut yang berasal dari kenjeran dan masih mengandung banyak mikroorganisme akan ditampung didalam tangki 1 dan akan dipompa dengan laju variasi yang berbeda-beda. Pengaturan air laut tersebut akan diatur oleh katup dan akan dipantau mengenai laju aliran tersebut menggunakan flowmeter. Setelah air laut tersebut dipompa, maka air laut akan masuk ke dalam filter 1 untuk disaring kandungan mikroba tersebut. Setelah itu air laut akan masuk kembali ke dalam filter 2 untuk dilakukan penyaringan kembali kandungan mikroba tersebut. Pada sistem pengujian ini akan menggunakan 2 filter yaitu menggunakan karet remah dan menggunakan filter carbon. Selanjutnya dari hasil penyaringan tersebut air laut akan masuk ke dalam reaktor UV untuk

dilakukan inaktivasi mikroba tersebut. Didalam reaktor UV juga akan diatur dosis penyinaran lampu UV. Dikarenakan pada prototipe ini menggunakan 4 buah lampu UV dengan daya 30 watt, maka maksimal dari dosis penyinaran lampu UV adalah 120 watt. Setelah kandungan mikroorganisme inaktivasi, maka air air laut hasil pengolahan akan masuk ke dalam tangki 2 untuk dilakukan pengujian mengenai kandungan mikroorganisme yang terkandung didalam air laut yang sudah dilakukan pengolahan tersebut. Untuk mengetahui hasil dari pembuatan prototipe, maka dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Prototipe *Ballast Water Treatment*

4.3 Perhitungan Head Pompa

Pada langkah ini akan dilakukan perhitungan kembali terhadap head pompa pada sistem pengolahan air balas dikarenakan adanya pembesaran pada reaktor UV dan menambahkan laju aliran pada sistem ini. Setelah sudah melakukan perhitungan kembali terhadap head pompa, maka akan dilakukan pemilihan pompa yang sesuai dengan kebutuhan head dan kapasitas yang dibutuhkan pada sistem pengolah air balas ini. Selain melakukan pembesaran pada reaktor UV, akan dilakukan pula dua kali filtrasi terhadap sistem pengolahan air balas ini dan dengan menggunakan dua tipe filtrasi yaitu filtrasi karet remah dan filtrasi karbon. Berikut ini perhitungan head pompa pada sistem pengolah air balas yang berlaku pada prototipe yang sudah dibuat :

A. Perhitungan kecepatan aliran air pada suction pompa

$$\begin{aligned}
 Q \text{ lampu } 30 \text{ watt @4 buah} &= 100 \text{ lpm} \\
 \text{Diameter pipa} &= 2.5 \text{ cm} \\
 &= 0.25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{100}{3.14 \times (1.25^2)} \\
 &= \frac{100000}{4.90625} \\
 &= 20382.166 \quad \text{cm/min} \\
 &= 3.397 \quad \text{m/s}
 \end{aligned}$$

B. Perhitungan kecepatan aliran air pada pipa penghubung

$$\begin{aligned}
 Q \text{ lampu } 30 \text{ watt @ 4 buah} &= 100 \text{ lpm} \\
 \text{Diameter pipa} &= 1.905 \text{ cm} \\
 &= 0.9525 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{100}{3.14 \times (0.9525^2)} \\
 &= \frac{100000}{2.848784625} \\
 &= 35102.689 \quad \text{cm/min} \\
 &= 5.8504 \quad \text{m/s}
 \end{aligned}$$

C. Head Statis

$$\begin{aligned}
 H_s &= 0.8 \\
 &= \text{jarak antara suction sampai dengan pompa}
 \end{aligned}$$

D. Pressure Head

$$\begin{aligned}
 H_p &= 0 \\
 &= \text{Dikarenakan tidak adanya perbedaan tekanan antara tangki suction} \\
 &\quad \text{dengan tangki discharge}
 \end{aligned}$$

E. Velocity Head

$$\begin{aligned}
 H_v &= (v_d^2 - v_s^2) / 2g \\
 &= (5.8504^2 - 3.397^2) / 2 \times 9.8 \\
 &= 1.1575291 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

F. Perhitungan head loss pada suction line

- Perhitungan Reynold Number

$$Rn = (\rho \times v \times d) / \mu$$

Dimana :

$$\rho = \text{Massa jenis fluida (Kg/m}^3\text{)}$$

$$\mu = \text{Viskositas kinematik fluida}$$

$$v = \text{Kecepatan fluida (m/s)}$$

$$\begin{aligned} Rn &= (\rho \times v \times d) / \mu \\ &= \frac{1025.87 \times 3.397 \times 0.25}{0.8847 \times 10^{-6}} \\ &= 984763307 \\ &= 9.8476 \times 10^7 \end{aligned}$$

Ketentuan untuk angka Reynold antara lain:

Jika, $Re < 2000$ Aliran Laminar

$2000 < Re < 4000$ Aliran Transisi

$Re > 4000$ Aliran Turbulen

- Perhitungan Koefisien Gesek
Dikarenakan dalam hasil perhitungan reynold number nilai yang dihasilkan diatas 4000, maka dapat dikategorikan bahwa karakteristik aliran yang terjadi didalam sistem ini adalah turbulen. Rumus untuk mendapatkan koefisien dengan karakteristik turbulen yaitu :

$$\begin{aligned} \lambda &= 0.02 + 0.0005 / d \\ &= 0.02 + 0.0005 / 0.25 \\ &= 0.022 \end{aligned}$$

- Head Loss Mayor

$$Hf1 = \lambda \times L \times v^2 / (d \times 2g)$$

Dimana :

$$\lambda = 0.022$$

$$L = 0.8 \quad \text{m}$$

$$v = 3.397 \quad \text{m/s}$$

$$d = 0.25 \quad \text{m}$$

$$g = 9.8 \quad \text{m/s}^2$$

$$\begin{aligned} Hf1 &= \lambda \times L \times v^2 / (d \times 2g) \\ &= 0.022 \times 0.8 \times (3.397^2) / (0.25 \times 2 \times 9.8) \\ &= 0.0414484 \quad \text{m} \end{aligned}$$

- Head Loss Minor

Perhitungan head loss minor merupakan perhitungan yang dikarenakan adanya fitting pada sistem pengolah air balas tersebut. Fitting yang digunakan antara lain :

$$H_{l1} = K_{total} \times v^2 / 2g$$

No	Type	n	k	n x k
1	Elbow 90°	1	1.27	1.265
2	Filter	1	1.91	1.91
			TOTAL	3.175

$$\begin{aligned} H_{l1} &= K_{total} \times v^2 / 2g \\ &= 3.175 \times 3.397^2 / (2 \times 9.8) \\ &= 0.5502793 \end{aligned}$$

Total losses pada suction line adalah :

$$\begin{aligned} H_{f1} + H_{l1} &= 0.0414484 + 0.5502793 \\ &= 0.59 \text{ m} \end{aligned}$$

G. Perhitungan head loss pada discharge line

- Perhitungan Reynold Number

$$R_n = (\rho \times v \times d) / \mu$$

Dimana :

ρ = Massa jenis fluida (Kg/m^3)

μ = Viskositas kinematik fluida

v = Kecepatan fluida (m/s)

$$\begin{aligned} R_n &= (\rho \times v \times d) / \mu \\ &= \frac{1025.87 \times 5.8504 \times 0.01905}{0.8847 \times 10^{-6}} \\ &= 129234017 \\ &= 12.9234 \times 10^7 \end{aligned}$$

Ketentuan untuk angka Reynold antara lain:

Jika, $Re < 2000$ Aliran Laminar

$2000 < Re < 4000$ Aliran Transisi

$Re > 4000$ Aliran Turbulen

- Perhitungan Koefisien Gesek

Dikarenakan dalam hasil perhitungan reynold number nilai yang dihasilkan diatas 4000, maka dapat dikategorikan bahwa karakteristik aliran yang terjadi didalam sistem ini adalah turbulen. Rumus untuk mendapatkan koefisien dengan karakteristik turbulen yaitu :

$$\begin{aligned} \lambda &= 0.02 + 0.0005 / d \\ &= 0.02 + 0.0005 / 0.01905 \\ &= 0.0462467 \end{aligned}$$

- Head Loss Mayor

$$Hf2 = \lambda \times L \times v^2 / (d \times 2g)$$

Dimana :

$$\lambda = 0.0462467$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$v = 5.8504 \text{ m/s}$$

$$d = 0.01905 \text{ m}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$Hf2 = \lambda \times L \times v^2 / (d \times 2g)$$

$$= 0.0462467 \times 3 \times (5.8504)^2 / (0.01905 \times 2 \times 9.8)$$

$$= 12.718101 \text{ m}$$

- Head Loss Minor

Perhitungan head loss minor merupakan perhitungan yang dikarenakan adanya fitting pada sistem pengolah air balas tersebut. Fitting yang digunakan antara lain :

$$HI2 = K_{total} \times v^2 / 2g$$

No	Type	n	k	n x k
1	Elbow 90°	8	1.27	10.12
2	Filter	2	2.5	5
3	Ball Valve	1	0.9	0.9
4	Union	2	0.04	0.08
TOTAL				10.2

$$HI2 = K_{total} \times v^2 / 2g$$

$$= 10.2 \times 5.8504^2 / (2 \times 9.8)$$

$$= 3.0445959$$

Total losses pada discharge line adalah :

$$Hf2 + HI2 = 12.718101 + 3.0445959$$

$$= 15.8 \text{ m}$$

H. Total Head Loss

Total Head Loss = $H_s + H_p + H_v + \text{Total head loss suction line} + \text{Total head loss discharge line}$

$$= 0.8 + 0 + 1.1575291 + 0.59 + 15.8$$

$$= 18.311952 \text{ m}$$

4.4 Pemilihan Pompa

Setelah menghitung untuk head loss yang dibutuhkan pada sistem pengolahan air balas ini, maka dipilihlah pompa centrifugal yang dapat dilihat pada **Gambar 4.7** dengan spesifikasi sebagai berikut :

Merk	= Shimizu
Type	= CM – 100 BIT
Head	= 10 – 25 m
Kapasitas	= 36 – 100 l/min
Diameter pipa	= 25 mm



Gambar 4.7 Pompa yang Digunakan

“Halaman Ini sengaja dikosongkan”

BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisa data dan pembahasan hasil eksperimen pengolahan air laut dengan menggunakan *scalling up* prototipe alat pengolah air balas yang sudah ada sebelumnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memvalidasi hasil pengujian sebelumnya. Analisa data ini didapatkan dari hasil pengamatan lab mengenai jumlah mikroba yang terkandung di dalam air laut dengan keadaan air yang telah diolah dalam prototipe pengolah air balas serta air laut yang belum diolah. Pengamatan mikroba dalam penelitian ini menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dengan menggunakan media spesifik penumbuh bakteri *Escherichia coli* berupa *Eosin Methylene Blue* (EMB) dan aquades bersalinitas dimana salinitas aquades sama dengan sampel air laut. Dari hasil pengamatan ini akan diketahui apakah prototipe alat pengolah air balas kapal yang telah dibuat dapat bekerja dengan efektif dalam membunuh mikroba air patogen yang terkandung dalam air laut.

5.2 Pengukuran Salinitas Air Laut Kenjeran

Air laut adalah larutan yang memiliki kandungan berbagai garam-garaman. Unsur kimia yang terdapat dalam larutan air laut adalah Klor (Cl) 55%, Natrium (Na) 31%, kemudian Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Belerang (S), dan Kalium (K). Selain itu, dalam jumlah kecil terdapat juga Bromium (Br), Karbon (C), Strontium (Sr), Barium (Ba), Silikon (Si), dan Fluorin (F), kandungan air laut juga terdiri dari berbagai gas seperti Oksigen (O₂), dan gas asam arang (CO₂) yang merupakan kebutuhan vital bagi kehidupan vegetasi dan hewan laut. Pada dasarnya salinitas merupakan jumlah dari seluruh garam-garaman dalam gram pada setiap kilogram air laut. Harga salinitas dilakukan dengan meninjau komponen yang terpenting saja yaitu klorida (Cl).

Secara ideal, salinitas merupakan jumlah dari seluruh garam-garaman dengan satuan gram pada setiap kilogram air laut. Oleh karena itu penentuan harga salinitas dilakukan dengan meninjau komponen yang terpenting yaitu klorida (Cl). Faktor-faktor yang mempengaruhi salinitas antara lain :

1. Penguapan, semakin besar tingkat penguapan air laut di suatu wilayah, maka salinitasnya tinggi dan sebaliknya pada daerah yang rendah tingkat penguapan air lautnya, maka daerah tersebut memiliki kadar garam yang rendah.
2. Curah hujan, makin besar curah hujan disuatu wilayah laut maka salinitas air laut itu akan rendah dan sebaliknya semakin kecil curah hujan yang turun maka salinitas akan semakin tinggi.

Untuk mengukur salinitas air laut Kenjeran, maka diperlukan pengujian kadar salinitas air laut Kenjeran dengan menggunakan alat ukur yaitu *refractometer*. Pengujian ini dilaksanakan pada :

Hari/tanggal = Sabtu, 04 November 2017
Tempat = Laut Kenjeran
Pukul = 10.00
Suhu = 26°C



Gambar 5.1 Lokasi Pengambilan Air Laut Pantai Kenjeran Surabaya

Cara kerja dari pengambilan data salinitas yaitu air sampel diambil dari laut Kenjeran menggunakan alat ukur *refractometer* dengan ketelitian 0.001 dan dikalibrasi hingga menunjukkan angka 0. Setelah itu air sampel diteteskan pada alat ukur tersebut kemudian dibaca skala penunjuk salinitas melalui *eyepiece*. Hasil yang sudah diketahui lalu dicatat dan kaca *refractometer* dicuci kembali dengan air bersih dan dikeringkan menggunakan tissue.

Berdasarkan pengukuran yang sudah dilaksanakan, maka hasil dari pengukuran salinitas tersebut adalah :

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran Salinitas

No	Lokasi Pengambilan Sample	Nilai Salinitas
1	Permukaan Perairan	25 ‰
2	Dasar Perairan	25 ‰

Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan pada pengambilan data salinitas pada permukaan perairan dan dasar perairan menunjukkan salinitas sebesar 25 ‰. Romimohtarto dan Thayib mengemukakan bahwa untuk daerah pesisir salinitas berkisar antara 32 - 34 ‰, pada laut terbuka salinitas berkisar 33-37 ‰ dengan rata-rata 35 ‰. Dari hasil pengukuran salinitas tersebut dapat dilihat perbedaan nilai salinitas pada umumnya yaitu masih < 32‰, maka perairan masih dipengaruhi oleh pantai. Hal tersebut diduga adanya pengaruh dari daratan seperti campuran dengan air tawar yang terbawa oleh aliran sungai. Kadar salinitas ini masih berada dalam batas-batas salinitas yang normal air pantai dan air campuran.

5.3 Pengambilan Sampel Air Pengolahan Air Balas

Setelah mengetahui kadar salinitas yang sudah ditetapkan, maka langkah selanjutnya untuk dilakukan yaitu pengambilan air sampel pengolahan menggunakan prototipe air balas yang sudah dibuat. Dari pengolahan yang sudah dilakukan terdapat 32 sampel air dimana menggunakan 4 variasi kecepatan aliran yaitu 10 lpm, 30 lpm, 50 lpm dan 70 lpm. Pada penelitian ini juga menggunakan 4 buah lampu UV dan menggunakan perbandingan antara dua filter yaitu filtrasi karet remah dan filtrasi carbon.

Prosedur yang dilakukan pada saat pengambilan air sampel antara lain :

1. Persiapkan sejumlah air laut dari Pantai Kenjeran secukupnya.
2. Perhatikan bahwa seluruh komponen (lampu UV, motor pompa) dalam keadaan mati / *off* semua.
3. Persiapkan kembali botol sampel yang akan digunakan untuk menampung air pengujian dan botol sampel sudah diberikan label terlebih dahulu agar tidak lupa atau tertukar dengan sampel lainnya.
4. Hidupkan motor pompa dan hidupkan lampu UV buah dengan cara menekan saklar yang sudah tersedia untuk memulai pengujian. Pengujian pertama menggunakan laju aliran 10 lpm dengan cara membuka katup yang sudah ada dan disesuaikan dengan *flowmeter*. Setelah aliran sudah sesuai, maka hidupkan lampu UV sebanyak satu buah.
5. Setelah air pengolahan sudah keluar melalui pipa keluaran dari reaktor UV, maka pengambilan sampel segera dilakukan. Sebelum dan sesudah pengambilan air sampel pada botol yang digunakan, mulut botol harus dipanaskan terlebih dahulu agar tetap steril.
6. Setelah itu matikan motor pompa dan matikan lampu UV.
7. Lakukan hal yang sama dengan variasi laju aliran yang berbeda dan penambahan lampu UV.

Setelah pengambilan air sampel sudah dilakukan, maka sampel yang sudah diambil akan diuji terhadap kandungan mikroba yang terkandung didalam air sampel tersebut. Selanjutnya, pengujian kandungan terhadap bakteri *Escherichia coli* menggunakan media penumbuh spesifik EMB. Jika pada hasil pengujian menandakan warna hijau metalik, maka pada air sampel tersebut positif mengandung bakteri *Escherichia coli*.

5.4 Pengenceran Menggunakan Air Bersalinasi

Dikarenakan media pengencer pada pengujian ini air aquades steril bersalinasi, maka pada tahap ini yaitu membuat media pengencer yaitu air aquades steri bersalinasi dengan salinitas sebesar 25 ‰. Untuk membuat air bersalinasi ini diperlukan alat dan bahan seperti :

Aquades = 1 Liter
NaCl

A. Perhitungan Salinitas Air Laut

Salinitas = 25 ‰
= 2.5 %
S (‰) = 0.03 + 1.805 Cl (‰)
25 = 0.03 + 1.805 Cl (‰)
Cl (‰) = (25 - 0.03) / 25
= 13.8338 ‰
= 1.3 gr garam dalam 1 Kg air laut

B. Perhitungan Jumlah Garam yang akan ditambahkan pada 1 L Air Tawar Diketahui :

Air tawar	= 1 Liter
Mr NaCl	= 58.5
ρ Air Laut	= 1.05 gr / ml

Maka untuk mengetahui massa garam yang diperlukan adalah :

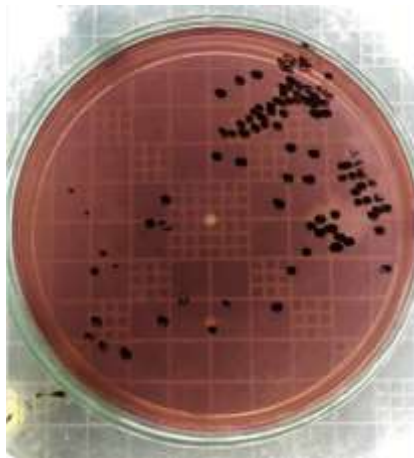
$$\begin{aligned} \text{Massa larutan} &= 1000 \text{ mL} \times \text{massa jenis} \\ &= 1000 \text{ mL} \times 1.05 \text{ gr / mL} \\ &= 1050 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NaCl yang terlarut dalam 1 liter larutan} & \\ &= \frac{2.5}{100} \times 1050 \\ &= 26.25 \text{ gr} \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan pada larutan tersebut, maka dapat disimpulkan jika ingin melakukan pengujian menggunakan larutan sebanyak 1 Liter, maka membutuhkan NaCl sebanyak 26.25 gr agar air yang dibuat bersalinasi sebesar 25 ‰.

5.5 Kandungan Mikroba dalam Air Laut Pada Kondisi Eksisting

Analisa kandungan mikroba dalam sampel air laut pada kondisi eksisting ini dilakukan dengan menggunakan metode TPC dengan menggunakan medium spesifik penumbuh bakteri *Escherichia coli* berupa EMB dan menggunakan media pengencer aquades bersalinitas. Setelah diamati dengan metode TPC, sampel air laut pada saat sebelum dilakukan pengolahan menggunakan prototipe sebanyak $10^2 \times 10^4$ yang dapat dilihat pada **Gambar 5.2**.



Gambar 5.2 Jumlah Mikroba Air Laut Sebelum Dilakukan Pengolahan Sebesar 1.02×10^6

5.6 Pengaruh Filtrasi dan Penyinaran UV Terhadap Kandungan Mikroba

Analisa pengaruh filtrasi dan penyinaran UV terhadap kandungan mikroba dalam air laut dilaksanakan setelah dilakukan penyaringan air laut dengan variasi laju aliran 10 lpm, 30 lpm, 50 lpm dan 70 lpm dimana menggunakan filter carbon dan filter karet remah serta menggunakan penyinaran UV dengan dosis 30 Watt, 60 Watt, 90 Watt dan 120 Watt. Hasil filtrasi dan penyinaran UV kemudian dianalisa dengan menggunakan metode

TPC dengan media spesifik EMB penumbuh bakteri *Enterobacteriaceae* dan aquades bersalinitas sebesar 25‰ sebagai pengencer. *E. coli* merupakan salah satu indikator lingkungan, dimana bakteri *E. coli* termasuk kedalam kategori bakteri *coliform Enterobacteriaceae*. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan pada jumlah bakteri *coliform Enterobacteriaceae* yang terdapat pada air sampel.

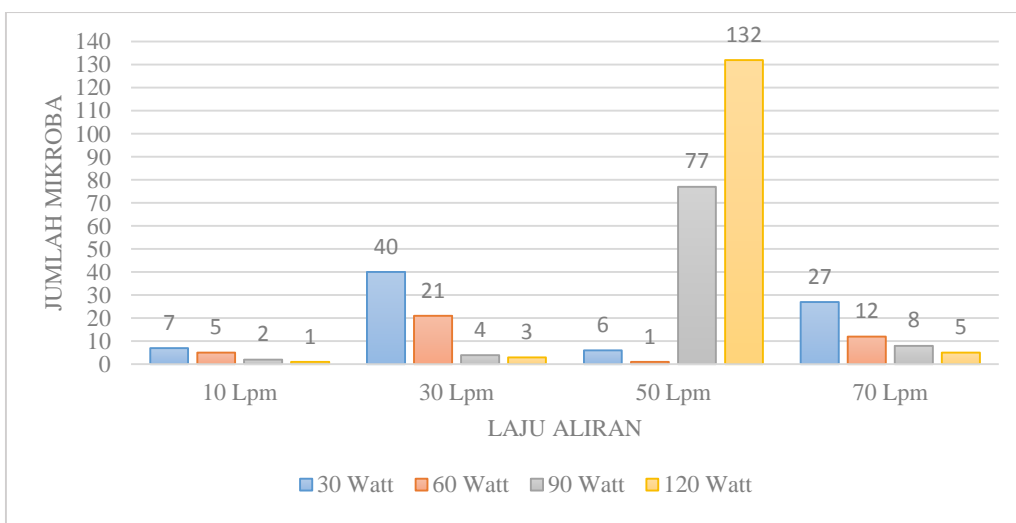
Selanjutnya, pada penulisan analisa jumlah kandungan bakteri *Enterobacteriaceae* akan didefinisikan menjadi jumlah kandungan mikroba. Pengujian ini menggunakan 3 tahap pengenceran yaitu pada 10^{-4} , 10^{-5} dan 10^{-6} . Data yang digunakan pada analisa kandungan mikroba ini menggunakan data pengenceran terendah yaitu 10^4 .

Analisa Kandungan Mikroba Menggunakan Filter Karet Remah

Dari pengamatan yang telah dilaksanakan dengan menggunakan metode TPC, didapatkan hasil seperti **Tabel 5.2** dan **Gambar 5.3**. **Tabel 5.2** menunjukkan data kuantitatif kandungan mikroba yang terkandung pada setiap sampel pengujian, sedangkan pada **Gambar 5.3** menunjukkan pengamatan hasil TPC yang sudah dilakukan.

Tabel 5.2 Kandungan Mikroba Menggunakan Filter Karet Remah (CFU)

Dosis UV (Watt)	Laju Aliran (Lpm)			
	10	30	50	70
30 Watt	7	40	6	27
60 Watt	5	21	1	12
90 Watt	2	4	77	8
120 Watt	1	3	132	5



Gambar 5.3 Grafik Hasil TPC Menggunakan Filter Karet Remah

Pembahasan diawali dengan mengamati perbedaan laju aliran terhadap jumlah kandungan mikroba yang terkandung didalam air sampel. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi awal dengan dosis UV 30 watt dan laju aliran sebesar 10 Lpm, jumlah kandungan mikroba adalah 7×10^4 CFU, lalu pada laju aliran 30 Lpm jumlah kandungan mikroba meningkat menjadi 40×10^4 CFU. Namun pada saat laju aliran sebesar 50 Lpm, jumlah kandungan mikroba menurun menjadi 6×10^4 CFU dan pada laju aliran 70 Lpm, jumlah kandungan mikroba meningkat kembali menjadi 27×10^4 CFU.

Selanjutnya, pada saat pengujian menggunakan dosis UV sebesar 60 watt dan laju aliran sebesar 10 Lpm, jumlah kandungan mikroba yang terkandung didalam air sampel adalah 5×10^4 CFU, lalu pada laju aliran sebesar 30 Lpm jumlah kandungan mikroba meningkat menjadi 21×10^4 CFU. Selanjutnya pada saat laju aliran sebesar 50 Lpm, jumlah kandungan mikroba menurun menjadi 10^4 CFU dan pada saat laju aliran 70 Lpm, jumlah kandungan mikroba kembali meningkat menjadi 12×10^4 CFU.

Berdasarkan data diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar laju aliran yang digunakan dengan jumlah dosis UV yang sama (30 watt atau 60 watt) dapat mempengaruhi jumlah kandungan mikroba yang terkandung dalam air sampel. Semakin tinggi laju aliran, maka akan semakin tinggi jumlah kandungan mikroba yang didapatkan. Ini disebabkan oleh semakin cepat laju aliran yang diberikan, maka kesempatan bakteri dalam menyerap sinar UV akan semakin kecil. Semakin cepat laju aliran, maka lama penyinaran yang diberikan akan semakin sedikit sehingga bakteri yang melewati reaktor UV akan tetap hidup sebelum bakteri tersebut inaktivasi karena pengaruh radiasi sinar UV.

Pengaruh laju aliran pada pengujian dosis UV sebesar 90 watt dan 120 watt memiliki pola yang sama dengan pengujian sebelumnya yaitu dengan bertambahnya laju aliran yang diberikan akan mempengaruhi jumlah kandungan mikroba. Reduksi jumlah bakteri *E. coli* dapat dipengaruhi oleh faktor intensitas radiasi sinar UV dan lamanya waktu pemaparan pada bakteri. Sebanyak 85% bakteri *E. coli* inaktivasi pada saat waktu pemaparan radiasi sinar UV selama 5 menit (Cahyonugroho, 2014).

Namun dapat dilihat pada **Gambar 5.3** bahwa pada laju aliran 50 Lpm dengan dosis UV sebesar 90 watt dan 120 watt mengalami kenaikan yang cukup signifikan yaitu sebesar 77×10^4 CFU dan 132×10^4 CFU. Terjadinya kenaikan jumlah kandungan mikroba ini mungkin disebabkan oleh adanya kontaminasi yang terjadi pada saat pengambilan air, pengolahan maupun pada saat pengujian yang dilaksanakan di laboratorium.

Kontaminasi dapat terjadi pada semua jenis pengujian. Sumber-sumber terjadinya kontaminasi dapat disebabkan oleh berbagai macam hal, antara lain pada saat proses pengambilan sampel, penyimpanan sampel, wadah penampung sampel maupun pada saat melakukan analisis pengujian (Safrizal, 2012).

Pembahasan kedua yaitu dengan mengamati pengaruh dosis UV terhadap jumlah kandungan mikroba yang terkandung di dalam air sampel. Pengujian ini diawali dengan melakukan pengamatan pada laju aliran 10 Lpm pada dosis UV sebesar 30 watt. Terlihat bahwa jumlah kandungan mikroba adalah 7×10^4 CFU, lalu dengan penambahan dosis UV berturut-turut sebesar 60 watt, 90 watt dan 120 watt terlihat bahwa terjadi penurunan jumlah kandungan mikroba secara berurutan menjadi 5×10^4 , 2×10^4 dan 10^4 .

Ketika pengujian diamati pada laju aliran sebesar 30 Lpm, terlihat pula pola yang sama dengan pengujian sebelumnya, yaitu semakin besar dosis UV yang digunakan dengan laju aliran yang sama dapat mempengaruhi jumlah kandungan mikroba yang terkandung didalam air sampel. Semakin tinggi dosis UV yang diberikan maka akan semakin sedikit jumlah kandungan mikroba yang terkandung didalam air sampel.

Semakin besar semakin besar dosis yang diberikan pada sistem pengolah balas maka laju inaktivasi mikroorganisme akan semakin besar. Jumlah mikroba mengalami inaktivasi sebesar 97.6% pada saat penggunaan dosis UV sebesar 36 mJ/cm². Lalu dengan penambahan dosis UV sebesar 90mJ/cm², kenaikan inaktivasi kandungan mikroba juga bertambah menjadi 2% (Ren, Z, J et all, 2016).

Terlihat pada **Gambar 5.3** pada laju aliran 50 Lpm terdapat pengecualian. Pada dosis UV sebesar 90 watt dan 120 watt mengalami kenaikan jumlah kandungan mikroba sebesar 77×10^4 dan 132×10^4 . Terjadinya kenaikan ini mungkin disebabkan karena adanya kontaminasi pada saat pengambilan air sampel maupun pada saat pengujian di laboratorium.

Berdasarkan dari dua pembahasan diatas, dapat disimpulkan bahwa penambahan laju aliran dan penambahan dosis UV yang digunakan dapat mempengaruhi jumlah kandungan mikroba pada air sampel. Semakin tinggi laju aliran yang diberikan dengan dosis UV yang sama, maka akan semakin tinggi jumlah kandungan mikroba yang didapat. Namun sebaliknya apabila semakin besar dosis UV yang diberikan dengan laju aliran yang sama, maka akan semakin sedikit kandungan mikroba yang diperoleh pada air sampel.

Dapat dilihat pada **Tabel 5.2** bahwa laju aliran yang paling efektif dalam menginaktivasi jumlah kandungan mikroba adalah pada saat laju aliran sebesar 10 Lpm. Ini dikarenakan pada saat pengujian menggunakan laju aliran 10 Lpm dan dosis yang sama yaitu 120 watt jumlah kandungan mikroba adalah 10^4 CFU.

Hasil pengujian yang sudah dilakukan ini dapat menunjang teori bahwa salah satu metode dalam pengolahan air balas yaitu menggunakan metode filtrasi dan radiasi sinar UV. Dengan adanya penggabungan metode filtrasi dan radiasi sinar UV ini dapat menurunkan jumlah kandungan mikroba yang terkandung didalam air balas (Suroso, 2016).

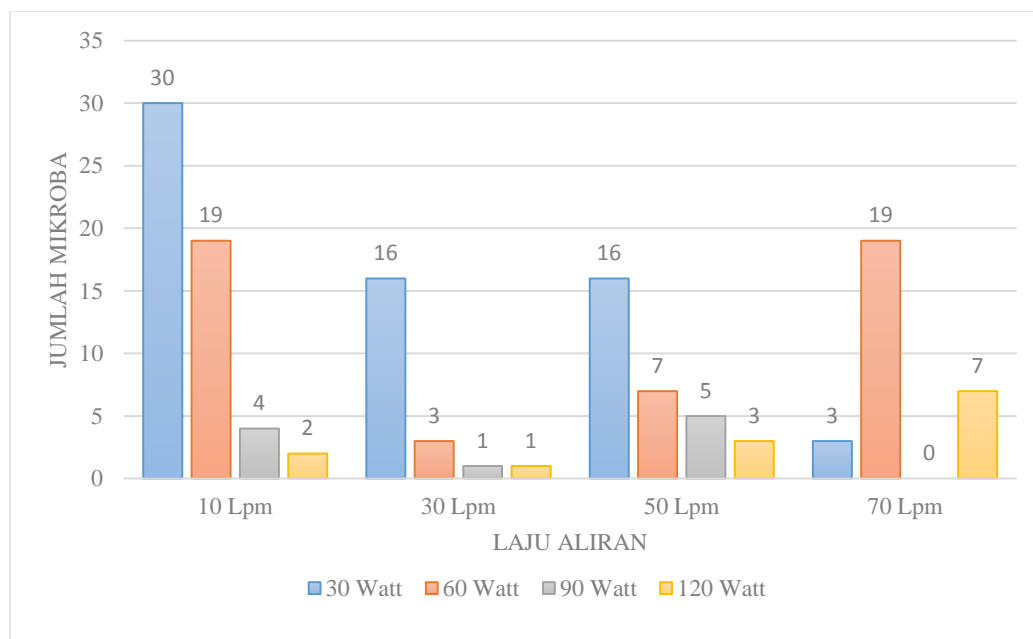
Analisa Kandungan Mikroba Menggunakan Filter Carbon

Filter carbon merupakan sebuah filter yang sudah banyak digunakan pada masyarakat Indonesia sebagai alat untuk filtrasi kandungan mikroba pada suatu zat. Filter ini menggunakan carbon aktif yang dapat berfungsi sebagai penyerap partikel ataupun mikroba yang terkandung. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan performa antara filter karet remah dengan filter carbon.

Hasil perhitungan jumlah mikroba menggunakan metode TPC dapat dilihat pada **Tabel 5.3** dan **Gambar 5.4**. Pada **Tabel 5.3** menunjukkan data kuantitatif kandungan mikroba yang terkandung pada setiap sampel pengujian pada penggunaan filter carbon, sedangkan pada **Gambar 5.4** menunjukkan pengamatan hasil TPC yang sudah dilakukan.

Tabel 5.3 Kandungan Mikroba Menggunakan Filter Carbon (CFU)

Dosis UV (Watt)	10 ⁴			
	Laju Aliran (Lpm)			
	10	30	50	70
30 Watt	30	16	14	3
60 Watt	19	3	7	19
90 Watt	4	1	5	0
120 Watt	2	1	3	7

**Gambar 5.4** Grafik Hasil TPC Menggunakan Filter Carbon

Pembahasan pada pengamatan ini juga diawali dengan mengamati perbedaan laju aliran terhadap jumlah kandungan mikroba yang terkandung pada air sampel. Seperti halnya filter karet remah, pada dosis UV 60 watt dan 120 watt, semakin tinggi laju aliran yang diberikan maka semakin besar jumlah kandungan mikroba yang terkandung. Dilihat pada **Tabel 5.3** pada penggunaan dosis UV 60 watt dan laju aliran secara berturut-turut yaitu 10 Lpm, 30 Lpm, 50 Lpm dan 70 Lpm memiliki jumlah kandungan mikroba secara berurut pula sebesar 19×10^4 CFU, 3×10^4 CFU, 7×10^4 CFU dan 19×10^4 CFU. Begitupun dengan pengujian pada penggunaan dosis UV 120 watt dengan laju aliran 10 Lpm, 30 Lpm, 50 Lpm dan 70 Lpm memiliki jumlah kandungan mikroba yang berurut yaitu 2×10^4 CFU, 10^4 CFU, 3×10^4 CFU dan 7×10^4 CFU.

Pada saat penggunaan dosis UV sebesar 30 watt dan 90 watt, jumlah mikroba mengalami penurunan. Pada pengujian menggunakan dosis UV sebesar 30 watt dan laju aliran 10 Lpm, jumlah kandungan mikroba sebanyak 30×10^4 CFU, lalu dengan penambahan laju aliran berturut-turut sebesar 30 Lpm, 50 Lpm dan 70 Lpm dapat terlihat bahwa terjadi penurunan pada jumlah kandungan mikroba secara berurutan menjadi 16

1×10^4 CFU, 14×10^4 CFU dan 3×10^4 CFU. Pada saat pengujian menggunakan dosis UV sebesar 90 watt dan laju aliran sebesar 10 Lpm, kandungan mikroba sebesar 2×10^4 CFU, selanjutnya pada laju aliran 30 Lpm, kandungan mikroba menurun menjadi 10^4 CFU, namun pada saat laju aliran 50 Lpm terjadi kenaikan jumlah kandungan mikroba sebesar 5×10^4 CFU dan pada laju aliran 70 Lpm, jumlah kandungan mikroba kembali menurun menjadi 0.

Dari data diatas, perbedaan aplikasi dosis UV terhadap laju aliran mempengaruhi jumlah kandungan mikroba. Perbedaan aplikasi ini dapat dipengaruhi oleh sifat dari carbon aktif. Sifat adsorpsi carbon aktif sangat dipengaruhi oleh berbagai macam faktor seperti struktur pori, metode aktivasi, bahan baku dan sifat kimia permukaan carbon. Sifat kimia suatu permukaan carbon aktif akan menentukan polar atau tidaknya carbon tersebut dan biasanya kimia permukaan ini dinyatakan dalam gugus fungsional atau gugus aktif (Saputro, 2014).

Gugus fungsional dapat terbentuk pada carbon aktif jika carbon aktif mengalami aktivasi yang disebabkan oleh terjadinya interaksi pada permukaan carbon. Gugus ini akan menyebabkan permukaan carbon aktif menjadi reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorpsinya. Salah satu aktivator yang dapat mempengaruhi daya adsorpsi carbon aktif adalah temperatur, waktu kontak dan aktivasi fisik. (Majdi, 2013).

Berdasarkan analisa diatas, dapat disimpulkan bahwa suatu komposisi carbon aktif akan mengalami modifikasi jika disisipkan ion atau senyawa lainnya kedalam struktur tersebut. Oleh karena itu, pada pengujian filter carbon menggunakan dosis UV sebesar 30 watt dan 90 watt dapat mengaktifkan carbon dalam melakukan adsorpsi lebih banyak. Dengan laju aliran yang semakin cepat, filter carbon ini akan tetap mengadsorpsi kandungan mikroba lebih banyak dibandingkan dengan dosis UV yang lainnya.

Pembahasan kedua yaitu dengan mengamati pengaruh dosis UV terhadap jumlah kandungan mikroba yang terkandung di dalam air sampel. Seperti halnya pada pengujian menggunakan filter karet remah, pada pengamatan ini terlihat bahwa semakin besar dosis UV yang diberikan maka akan semakin sedikit jumlah kandungan mikroba. Dapat dilihat pada **Gambar 5.4** pada pengujian menggunakan laju aliran 10 Lpm dengan dosis UV sebesar 30 watt, jumlah kandungan mikroba adalah 30×10^4 CFU, lalu dengan penambahan dosis UV berturut-turut sebesar 60 watt, 90 watt dan 120 watt terlihat bahwa terjadi penurunan pada jumlah kandungan mikroba secara berurutan adalah 19×10^4 CFU, 4×10^4 CFU dan 2×10^4 CFU.

Pada pengujian tersebut diamati menggunakan laju aliran 30 Lpm dan 50 Lpm, terlihat bahwa hasil pengujian ini memiliki pola yang sama dengan pengujian sebelumnya yaitu semakin besar dosis UV yang diberikan maka akan semakin kecil jumlah kandungan mikroba yang terdapat pada air sampel.

Namun, pada **Tabel 5.3** dengan laju aliran sebesar 70 Lpm menunjukkan pola yang tidak sama. Pada dosis UV sebesar 30 watt, jumlah kandungan mikroba adalah 3×10^4 CFU, lalu pada penggunaan dosis UV sebesar 60 watt jumlah kandungan mikroba meningkat menjadi 19×10^4 CFU, selanjutnya dengan penambahan dosis UV sebesar 90 watt, jumlah kandungan mikroba menurun sangat signifikan menjadi 0 dan pada penggunaan dosis UV sebesar 120 watt, jumlah kandungan mikroba kembali meningkat menjadi 7×10^4 CFU. Pola yang tidak sama ini dapat terjadi karena adanya kontaminasi pada saat pengambilan ambilan air sampel maupun pada saat pengujian.

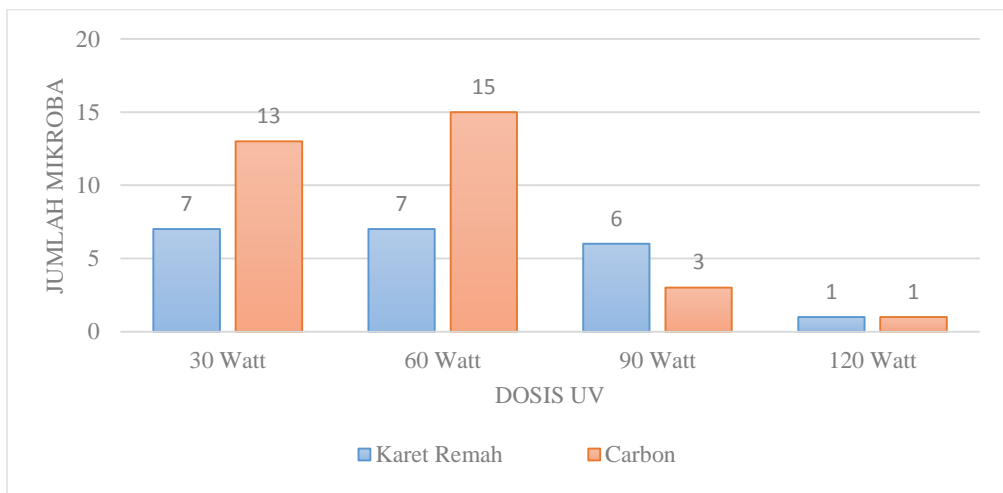
Berdasarkan hasil data diatas, dapat dilihat bahwa laju aliran yang paling efektif dan efisien dalam menyaring kandungan mikroba adalah pada laju aliran 10 Lpm dengan dosis UV sebesar 120 watt.

Perbandingan Penggunaan Filter Karet Remah dengan Filter Carbon

Dari hasil pembahasan sebelumnya, terlihat bahwa pada pengenceran 10^4 filter karet remah lebih efektif dan efisien dalam menyaring kandungan mikroba pada air balas. Selain itu, pada hasil analisa sebelumnya terlihat bahwa pada laju aliran 10 Lpm jumlah kandungan mikroba berkurang sangat signifikan. Untuk mengetahui konsistensi dari keefektifan dan efisiensi terhadap filter karet remah, maka perlu ditinjau kembali hasil filtrasi filter karet remah dan filter carbon pada pengenceran tahap 10^5 dan 10^6 . Hal ini dilakukan untuk menambah kevalidan dalam menentukan jenis filter yang paling efektif dan efisien dalam menyaring kandungan mikroba. **Tabel 5.4** dan **Tabel 5.5** menunjukkan data kuantitatif kandungan mikroba karena pengaruh filter karet remah dan filter carbon pada saat pengenceran tahap 10^5 dan 10^6 . Sedangkan untuk **Gambar 5.5** dan **Gambar 5.6** menunjukkan pengamatan perbandingan filter karet remah dan filter carbon terhadap jumlah kandungan mikroba pengenceran tahap 10^5 dan 10^6 .

Tabel 5.4 Pengaruh Filter dengan Hasil TPC Tahap Pengenceran 10^5 (CFU)

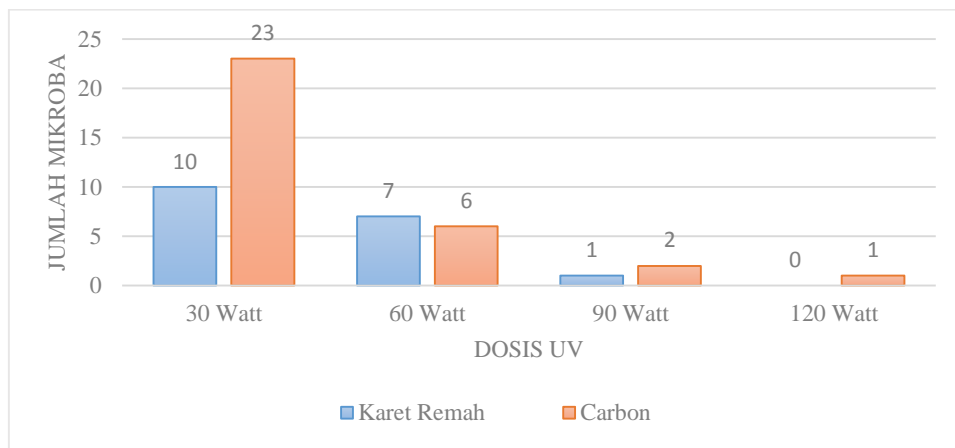
Dosis UV (Watt)	Laju Aliran (Lpm)							
	Karet Remah				Carbon			
	10	30	50	70	10	30	50	70
30 Watt	7	12	4	12	13	4	2	4
60 Watt	7	8	0	3	15	2	5	1
90 Watt	6	5	30	3	3	1	1	2
120 Watt	1	4	12	2	1	2	3	1



Gambar 5.5 Grafik Perbandingan Filter Karet Remah dan Carbon Pengenceran Tahap 10^5 Pada Laju Aliran 10 Lpm

Tabel 5.5 Pengaruh Filter dengan Hasil TPC Tahap Pengenceran 10^6 (CFU)

Dosis UV (Watt)	Laju Aliran (Lpm)							
	Karet Remah				Carbon			
	10	30	50	70	10	30	50	70
30 Watt	10	0	1	14	23	0	1	2
60 Watt	7	2	1	2	6	2	7	0
90 Watt	1	0	9	1	2	11	1	1
120 Watt	0	1	7	1	1	1	0	1



Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Filter Karet Remah dan Carbon Pengenceran Tahap 10^6 Pada Laju Aliran 10 Lpm

Secara keseluruhan, terlihat bahwa pada pengenceran 10^5 dan 10^6 filter karet remah lebih efektif dan efisien dalam menyaring kandungan mikroba yang dapat ditinjau berdasarkan laju aliran dan dosis UV yang diberikan.

Ditinjau dari segi ekonomis, filter karet remah memang lebih murah dibandingkan dengan filter carbon. Selain itu juga filter karet remah dapat dibuat dari limbah karet yang terlebih dahulu dipotong dan digiling sampai ukuran tertentu lalu dibersihkan dan dihilangkan dari setiap partikel yang terkandung didalamnya.

Karet remah adalah karet alam yang diperoleh dari pengolahan bahan olah karet yang berasal dari getah batang pohon *Hevea Brasiliensis* secara mekanis dengan atau tanpa kimia, serta mutunya ditentukan secara spesifikasi teknis (Yulita, 2012). Komposisi kimia lateks hevea secara garis besar terdiri dari 25 - 40% karet dan 60 - 75% bukan karet. Kandungan bukan karet selain air terdiri dari 1 - 1.5% protein (glubin dan havein), 1 - 2% karbohidrat (sukrosa, glukosa, galaktosa dan fruktosa), 1 - 1.5% lipida (gliserida, sterol dan fosfolipida) dan sekitar 0.5% ion-ion logam (K, Na, Mg, Fe, Cu, Mn). Komposisi ini bervariasi tergantung pada jenis tanaman, umur tanaman dan penggunaan stimulan pada tanaman yang digunakan (Ompusunggu, 1987).

Pada penggunaan pengujian ini, karet remah yang digunakan adalah ban dalam dari sepeda motor yang dipotong dengan ukuran 0.5 cm x 0.5 cm lalu dipres hingga padat.

Setelah itu, karet remah tersebut dibersihkan dari benda-benda atau kandungan yang menempel pada karet remah tersebut.

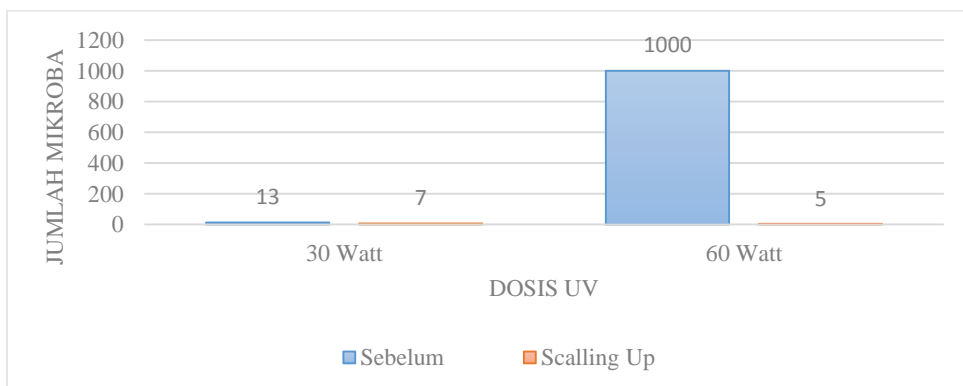
5.7 Komparasi Hasil Pengujian Sebelumnya dengan Pengujian *Scaling Up*

Beberapa aplikasi pengolah air balas untuk bisa menginaktivasi mikroba sudah banyak dilakukan yaitu salah satunya menggunakan radiasi sinar UV dan penggunaan filtrasi. Untuk memvalidasi hasil dari sebuah pengujian pada alat pengolah balas diperlukan sebuah cara yaitu dengan *scaling up* alat pengujian tersebut. Dengan menggunakan *scaling up*, diharapkan hasil yang didapatkan akan mendekati dengan hasil pengujian sebelumnya. Pada alat pengolah balas, yang perlu diperhatikan pada saat melakukan *scaling up* adalah skala pembesaran dari sistem filtrasi dan skala dosis UV yang digunakan (Cosman, 2014).

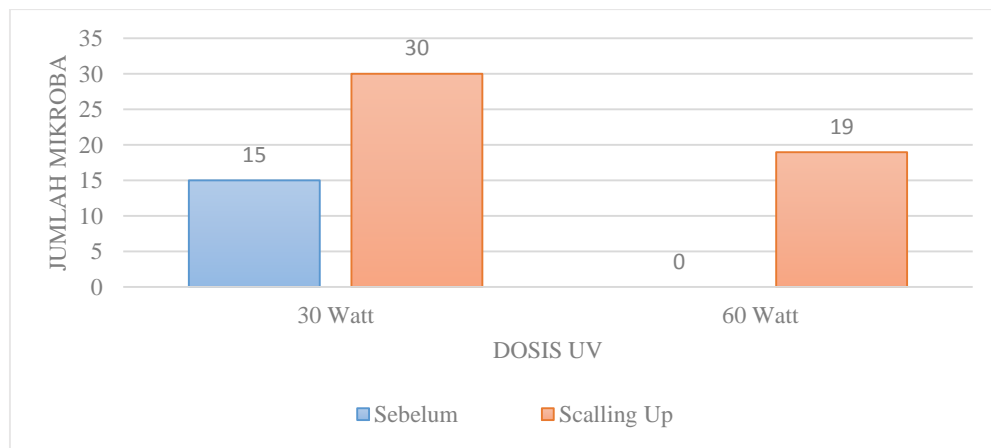
Salah satu cara untuk memvalidasi hasil pengujian pada alat pengolah balas menggunakan filter karet remah dan radiasi sinar UV sebelumnya yaitu menggunakan cara *scaling up*. Pada penelitian ini dilakukan *scaling up* sebesar 2 kali dibandingkan dengan prototipe sebelumnya (Fauzi, 2017). Dosis UV yang diberikan pada penelitian ini yaitu 30 watt, 60 watt, 90 watt dan 120 watt. Setelah itu untuk sistem filtrasi yang digunakan yaitu menggunakan dua kali penyaringan. Laju aliran yang digunakan yaitu 10 Lpm, 30 Lpm, 50 Lpm dan 70 Lpm. Selain itu juga, diameter yang digunakan pada penelitian ini diperbesar 2 kali dari sebelumnya.

Pembahasan diawali dengan membandingkan hasil pengujian prototipe pertama dengan prototipe pada saat dilakukan *scaling up*. Berdasarkan data pengujian sebelumnya (Fauzi, 2017), pada saat menggunakan media pengencer air laut steril dengan laju aliran yang sama yaitu 10 Lpm dan dosis UV sebesar 30 watt dan 60 watt dengan menggunakan filter carbon menghasilkan jumlah kandungan mikroba sebanyak 13×10^4 CFU dan 10^7 CFU. Lalu jumlah kandungan mikroba pada saat menggunakan filter carbon dengan laju aliran 10 Lpm dan dosis UV sebesar 30 watt dan 60 watt adalah 15×10^4 CFU dan 0 (Fauzi, 2017).

Berdasarkan hasil data tersebut, dapat dilakukan perbandingan dengan prototipe *scaling up* dimana data dapat dilihat pada pembahasan sebelumnya. Untuk pengamatan perbandingan ini dapat dilihat pada **Gambar 5.7** dan **Gambar 5.8**



Gambar 5.7 Grafik Perbandingan Performa Prototipe Sebelum (Fauzi, 2017) dan *Scaling up* Filter Karet Remah



Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Performa Prototipe Sebelum (Fauzi, 2017) dan *Scalling up* Filter Carbon

Dari data diatas, dapat dilihat pada saat penggunaan filter karet remah, jumlah kandungan mikroba mengalami penurunan pada saat dilakukan scalling up. Namun pada saat penggunaan filter carbon, jumlah kandungan yang yang diperoleh masih lebih besar dibandingkan pada saat menggunakan prototipe sebelumnya.

Pembahasan kedua yaitu dengan mengamati hasil pengujian prototipe sebelumnya dengan menggunakan media pengencer aquades steril. Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sebelumnya, jumlah kandungan mikroba yang terkandung didalam air sampel adalah 0 untuk laju aliran 10 Lpm dengan dosis UV 30 watt dan 60 watt pada saat penggunaan filter karet remah dan filter carbon. Namun pada saat pengujian pada laju aliran 10 lpm dan dosis UV 30 watt menggunakan filter karet remah, jumlah kandungan mikroba yang didapat adalah 10 CFU (Fauzi, 2017).

Hasil pengujian yang menghasilkan angka 0 ini dapat disebabkan karena terjadinya hemolisis pada mikroba sebelum dilakukan pengujian. Hemolisis ini dapat terjadi karena kadar salinitas yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel air laut, maka mikroba tidak akan bisa hidup dan sudah mati terlebih dahulu sehingga hasil dari pengujian ini tidak bisa dikatakan valid karena pada saat pengujian menggunakan prototipe scalling up dengan menggunakan media pengencer aquades bersalinitas yang sesuai dengan air sampel masih menghasilkan angka yang tinggi yaitu mencapai tahap pengenceran 10^6 .

Kondisi lingkungan dapat berpengaruh pada pertumbuhan bakteri. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan reproduksi bakteri adalah suhu, kelembaban, cahaya dan salinitas (Sulaiman, 2013). Kadar salinitas yang berbeda jauh dari kondisi optimum bakteri *E. coli* tumbuh dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri tersebut. Salinitas merupakan kadar garam yang terlarut didalam air. Semakin kecil nilai salinitas, maka kemungkinan bakteri tumbuh dalam kondisi tersebut akan semakin kecil.

Dari hasil komparasi data diatas, maka dapat disimpulkan bahwa pada saat dilakukan *scalling up* prototipe dapat menginaktivasi kandungan mikroba pada air balas. Berdasarkan pada hasil pengujian sebelumnya, didapat bahwa filter carbon bekerja lebih efektif dibandingkan dengan filter karet remah. Namun pada penelitian menggunakan scalling up ini, hasil yang didapat adalah filter karet remah lebih efektif dan efisien dalam menyaring kandung mikroba dibandingkan dengan filter carbon.

Perbedaan ini dapat terjadi karena perbedaan luas area karet remah yang lebih kecil dibandingkan pada pengujian sebelumnya. Dengan semakin kecilnya luasan area yang dibuat, maka akan semakin efektif karet remah dalam menyaring kandungan mikroba. Selain luasan area yang lebih kecil dibandingkan sebelumnya, karet remah yang digunakan pada pengujian ini dipres terlebih dahulu agar menjadi lebih pipih. Sehingga menyebabkan daya saring karet remah lebih efektif dibandingkan dengan filter carbon.

Struktur luasan pori merupakan faktor utama dalam proses adsorpsi. Distribusi ukuran pori menentukan distribusi molekul yang masuk dalam partikel untuk diadsorpsi. Molekul yang berukuran besar dapat menutup jalan masuk ke dalam pori-pori sehingga dapat mengurangi daya saring dari filter (Majdi.2013).

5.8 Implementasi Penggunaan Sistem Pengolah Air Balas pada Kapal

Berdasarkan hasil yang sudah didapat di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pada hasil menggunakan scaling up ini dapat mereduksi jumlah kandungan mikroba secara signifikan. Namun dari data yang didapatkan, air pengolahan menggunakan prototipe ini masih belum sesuai dengan standarisasi IMO mengenai *Ballast Water Management Convention*. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai hal ini. Pengembangan yang dapat dilakukan yaitu penambahan dosis UV serta lama pemaparan menggunakan radiasi sinar UV yang lebih lama dibandingkan dengan pengujian sebelumnya. Jumlah dosis UV yang diberikan serta lama pemaparan mempengaruhi jumlah kandungan mikroba. Semakin besar dosis UV yang diberikan serta lama pemaparan yang semakin lama, maka semakin sedikit jumlah kandungan mikroba yang didapat.

Implementasi penggunaan prototipe air pengolah balas pada kapal ini dapat dilakukan dengan cara menempatkan prototipe tersebut pada double bottom maupun platform. Pada saat melakukan *deballasting*, maka air balas yang akan dikeluarkan harus melewati sistem ini terlebih dahulu agar kandungan mikroba yang terdapat di dalam air balas inaktivasi sebelum air balas akan dikeluarkan ke laut atau pada saat *unloading* dilakukan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian *scalling up* prototipe sistem pengolah air balas menggunakan filter karet remah yang telah dibuat adalah sebagai berikut :

1. Prototipe pengolah air balas yang digunakan dapat melakukan inaktivasi mikroba paling efektif pada sampel air laut pada saat menggunakan laju aliran 10 Lpm dan dosis UV maksimal yaitu 120 watt pada saat aplikasi menggunakan filter karet remah. Didapat bahwa pada saat menggunakan laju aliran 10 Lpm dan dosis UV sebesar 120 watt menghasilkan jumlah kandungan mikroba sebesar 10^4 CFU.
2. Hasil pengujian menggunakan prototipe ini menghasilkan bahwa filter karet remah lebih efektif dan efisien dalam menyaring kandungan mikroba pada air balas. Selain itu juga, faktor laju aliran dan dosis UV yang diberikan dapat mempengaruhi jumlah kandungan mikroba. Semakin besar laju aliran yang diberikan, maka akan semakin besar pula jumlah kandungan mikroba yang didapat. Namun sebaliknya, semakin besar dosis UV yang diberikan maka akan semakin kecil jumlah kandungan mikroba yang terdapat di dalam air sampel.
3. Pada penelitian ini, didapatkan hasil bahwa pada jumlah kandungan mikroba yang terdapat di dalam air sampel memiliki hasil yang konsisten dengan penelitian sebelumnya. Dengan melakukan *scalling up* prototipe dapat mereduksi jumlah kandungan mikroba yang terkandung di dalam air balas. Pada penelitian sebelumnya didapatkan bahwa jumlah kandungan mikroba mencapai 10^9 , sedangkan pada hasil menggunakan *scalling up* ini dapat mereduksi mencapai 10^4 .
4. Pada penelitian ini memvalidasi penelitian sebelumnya bahwa pada saat pengujian sebelumnya menggunakan aquades steril dan kadar salinitas yang berbeda jauh dengan air laut akan menyebabkan hemolisis pada bakteri sehingga bakteri akan terlebih dahulu mati sebelum dilakukan pengujian. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada data kandungan mikroba menggunakan aquades steril tidak bisa digunakan atau tidak valid.

6.2 Saran

Untuk menyempurnakan penelitian ini maka terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Dikarenakan pada pengujian ini masih terdapat jumlah kandungan mikroba yang cukup banyak yaitu mencapai 10^4 , diperlukan metode tambahan ataupun menambah jumlah dari filter karet remah dalam hal penyaringan maupun dosis UV yang akan ditambah. Karena semakin besar dosis UV yang diberikan, maka jumlah kandungan mikroba yang terdapat di dalam air balas akan semakin sedikit.
2. Perlu dilakukan kajian teknis mengenai penempatan dan peletakan sistem pengolah balas pada kapal yang akan digunakan. Selain itu juga diperlukan

pengamatan lebih jauh mengenai pemilihan filter yang paling efektif dan efisien dalam mereduksi jumlah kandungan mikroba dan perlu dilakukan pengamatan mengenai penambahan metode pada protitpe tersebut. Penambahan yang dilakukan bisa saja menggunakan heater, plasma ataupun cara lainnya yang dapat mereduksi jumlah kandungan mikroba.

3. Perlu dilakukan pengamatan lebih jauh mengenai pengaruh turbulensi air balas pada reaktor UV terhadap inaktivasi jumlah kandungan mikroba.
4. Perlu dilakukan kajian mengenai penyebaran radiasi sinar UV untuk menjadi pertimbangan dalam pengembangan desain reaktor UV yang efektif dan efisien dalam menginaktivasi jumlah kandungan mikroba yang terdapat di dalam air balas.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyonugroho, Okik (2014). *Pengaruh Intensitas Sinar Ultraviolet Dan Pengadukan Terhadap Reduksi Jumlah Bakteri E.Coli*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.2 No. 1
- Cosman, Jin., et all. 2014. *A Validation Protocol for Performance and Scalling Ballast Water Treatment Systems Employing UV Disinfection and Filtration*. Trojan Technologies.
- Daidy. 2004. *Aplikasi Sistem Penanganan Air Balas dengan Metode Penyinaran UV dan Perlakuan Panas pada Kapal "STAR 50" Buatan PT. PAL*. Skripsi pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.
- Danang. 2006. *Kajian Percobaan Penanganan Air Balas Dengan Kombinasi Metode Perlakuan Panas dan Penyinaran UV*. Skripsi pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS
- European Maritime Safety Agency. "Ballast Water". 5 Februari 2017. <http://www.emsa.europa.eu/implementation-tasks/environment/ballast-water.html>
- Faisal, Sri, Bulqies., et all. 2014. *Penangan Mikroorganisme pada Sifat Anatomi dan Fisiologi*. Skripsi pada Akademi Farmasi Sandi Karsa. Makassar
- Li, H.Y., Osman, H., Kang, C.W. & Ba, T. 2016. Numerical and experimental investigation of UV disinfection for water treatment. *Applied Thermal Engineering*, 280-291.
- Mitchel, R., Morris J.C. 1969. The fate of interstitial bacteria in the sea. (In): *Advances in water pollution research* (Ed. Jenkins, S.H.). Pergamon Press, London.
- Mitchel, R., Morris J.C. 1969. The fate of interstitial bacteria in the sea. (In): *Advances in water pollution research* (Ed. Jenkins, S.H.). Pergamon Press, London.
- Niewolak S., Kopij H., Chomutowska H. 1996. Influence of some heavy metals on the survival of heterotrophic bacteria in bottom sediments of eutrophic lake. *Pol. J. Environ. Stud.* 5, 21.
- Pitana, T., Shovitri, M., & Fauzi, H.N. 2017. Preliminary Study of The Using Of Crumb Rubber Filtration and UV Radiation As Medium for Treating Ship's Ballast Water. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, V.
- Pitana, T., Shovitri, M., & Fauzi, H.N. 2017. Analysis of Microbial Inactivation Performance on Ballast Water Treatment System Prototipe Using Combination of Active Carbon and UV Radiation. *World Conference on Applied Science Engineering and Technology*, 17,10.
- Ren, Z.J., Zhang, L., Shi, Y., Shao, J. C., Leng, X. D. & Zhao, Y. 2016. Microorganism Removal from Ballast Water using UV Irradiation. *Journal of Residuals Science & Technology*, 13(1), 31-35.
- Sulaiman, Hasan. 2013. *Pengaruh Konsentrasi Asap Cair Kayu Karet Remah Terhadap Mutu Olahan Karet Remah*. Skripsi pada Departemen Kimia Universitas Sumatera Utara.
- Sultan, Tipu. 2016. Numerical study of the effects of lamp configuration and reactor wall roughness in an open channel water disinfection UV reactor. *Chemosphere*, 171-179.

- Tang, Z., Butkus, M.A., Xie, Y.F., 2006a. Crumb rubber filtration: a potential technology for ballast water treatment. *Mar. Environ. Res.* 61, 410–423.
- Tang, Z., Butkus, M.A., Xie, Y.F., 2006b. The effects of various factors on ballast water treatment using crumb rubber filtration: pilot study and statistic analysis. *Environ. Eng. Sci.* 23, 561–569.
- USEPA. Ultraviolet Disinfection Guidance Manual (UVDGM): Proposal draft. GroundWater and Drinking Water, Washington 2003.
- Wahyudi, Freddy. 2009. *Pengaruh Kombinasi Komposisi Bahan Olah Karet Terhadap Tingkat Konsistensi Plastisitas Retention Indeks (PRI) Karet Remah SIR 20 Di PT. Bridgestone Sumatera Rubber Estate Dolok Merangkir*. Skripsi pada Departemen Kimia Universitas Sumatera Utara.
- Wu, Donghai, You Hong, Zhang, Ran, Zhang, Chen, Chuan & Lee, Duu-Jong. 2011. Inactivation of *Amphidinium* sp. in ballast waters using UV/Ag-TiO₂ + O₃ advanced oxidation treatment. *Bioresource Technology*, 9838-9842
- Wu, Donghai, You Hong, Zhang, Ran, Zhang, Chen, Chuan & Lee, Duu-Jong. 2011. Inactivation of *Amphidinium* sp. in ballast waters using UV/Ag-TiO₂ + O₃ advanced oxidation treatment. *Bioresource Technology*, 9838-9842.

LAMPIRAN 1

PemData Hasil Pengujian Menggunakan Metode *Total Plate Count* (TPC)

1.1 Jumlah Kandungan Mikroba Sebelum Dilakukan Pengujian

Tabel 1.1 Kandungan Mikroba Sebelum Pengujian (CFU)

Sampel	Tahap Pengenceran								
	10 ⁴			10 ⁵			10 ⁶		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sebelum Pengujian	45	102	33	2	2	56	1	3	13

1.2 Jumlah Kandungan Mikroba Saat Pengujian Pada Filter Karet Remah

Tabel 1.2 Kandungan Mikroba Pada Laju Aliran 10 Lpm Filter Karet Remah (CFU)

Dosis UV (Watt)	Tahap Pengenceran								
	10 ⁴			10 ⁵			10 ⁶		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
30 Watt	3	5	12	22	0	0	0	20	10
60 Watt	6	5	4	5	3	12	7	6	7
90 Watt	3	0	3	8	7	4	2	1	1
120 Watt	2	0	0	0	1	1	0	1	0

Tabel 1.3 Kandungan Mikroba Pada Laju Aliran 30 Lpm Filter Karet Remah (CFU)

Dosis UV (Watt)	Tahap Pengenceran								
	10 ⁴			10 ⁵			10 ⁶		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
30 Watt	24	75	22	3	34	0	1	0	0
60 Watt	24	12	18	14	3	8	3	1	2
90 Watt	5	6	1	8	6	8	0	1	0
120 Watt	2	1	7	1	3	1	1	2	0

Tabel 1.4 Kandungan Mikroba Pada Laju Aliran 50 Lpm Filter Karet Remah (CFU)

Dosis UV (Watt)	Tahap Pengenceran								
	10 ⁴			10 ⁵			10 ⁶		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
30 Watt	0	1	18	2	8	3	4	0	0
60 Watt	0	1	3	2	0	0	4	0	0
90 Watt	87	28	116	31	19	41	7	9	12
120 Watt	25	134	236	15	14	7	5	5	11

Tabel 1.5 Kandungan Mikroba Pada Laju Aliran 70 Lpm Filter Karet Remah (CFU)

Dosis UV (Watt)	Tahap Pengenceran								
	10 ⁴			10 ⁵			10 ⁶		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
30 Watt	30	22	29	12	10	14	17	15	9

Dilanjutkan

Lanjutan Tabel 1.5

60 Watt	8	6	21	2	4	4	4	3	0
90 Watt	4	14	5	6	2	0	1	0	2
120 Watt	6	4	5	3	1	1	1	1	0

1.3 Jumlah Kandungan Mikroba Saat Pengujian Pada Filter Carbon

Tabel 1.6 Kandungan Mikroba Pada Laju Aliran 10 Lpm Filter Carbon (CFU)

Dosis UV (Watt)	Tahap Pengenceran								
	10^4			10^5			10^6		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
30 Watt	18	5	67	9	11	18	30	19	19
60 Watt	7	11	39	25	14	6	14	5	0
90 Watt	3	5	3	2	3	3	3	0	3
120 Watt	3	1	3	0	1	1	3	0	1

Tabel 1.7 Kandungan Mikroba Pada Laju Aliran 30 Lpm Filter Carbon (CFU)

Dosis UV (Watt)	Tahap Pengenceran								
	10^4			10^5			10^6		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
30 Watt	3	39	6	0	13	0	0	0	0
60 Watt	1	1	28	0	2	3	5	0	1
90 Watt	2	1	1	0	2	1	31	1	1
120 Watt	0	1	2	1	0	4	0	1	1

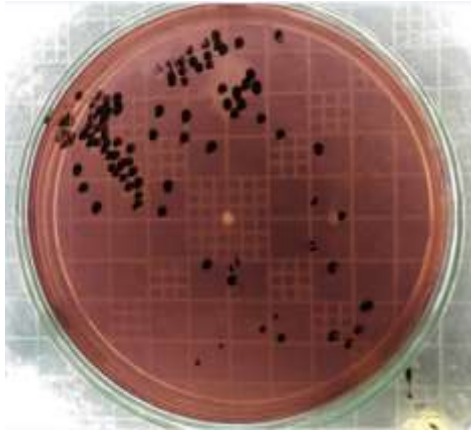
Tabel 1.8 Kandungan Mikroba Pada Laju Aliran 50 Lpm Filter Carbon (CFU)

Dosis UV (Watt)	Tahap Pengenceran								
	10^4			10^5			10^6		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
30 Watt	29	9	4	0	5	2	1	1	2
60 Watt	10	9	2	14	0	0	4	6	11
90 Watt	2	1	13	3	1	0	1	2	1
120 Watt	1	3	5	10	0	0	0	1	0

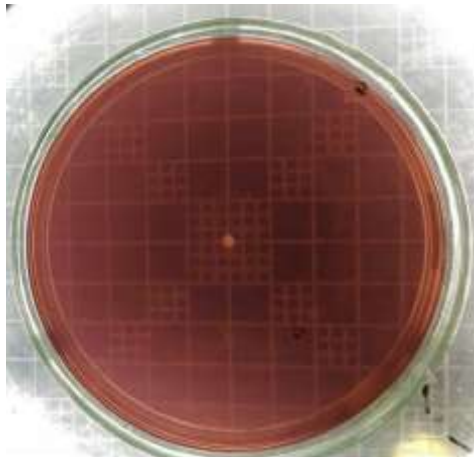
Tabel 1.9 Kandungan Mikroba Pada Laju Aliran 70 Lpm Filter Carbon (CFU)

Dosis UV (Watt)	Tahap Pengenceran								
	10^4			10^5			10^6		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
30 Watt	25	21	10	1	3	8	6	1	0
60 Watt	6	1	3	0	2	0	0	0	0
90 Watt	1	1	0	0	0	7	1	1	0
120 Watt	0	20	0	1	3	0	2	0	0

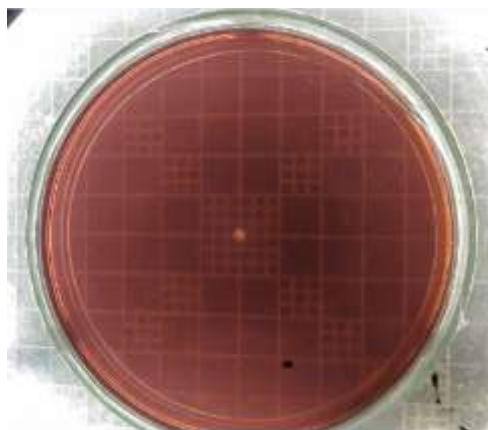
1.4 Penghitungan Jumlah Mikroba Menggunakan *Colony Counter*



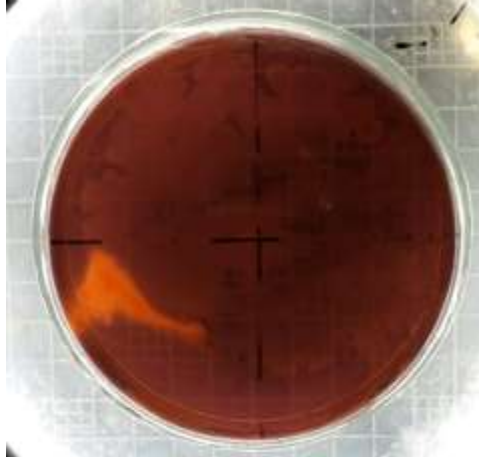
Gambar 1.1 Jumlah Mikroba Sebelum Pengujian Pengenceran Tahap 10^4



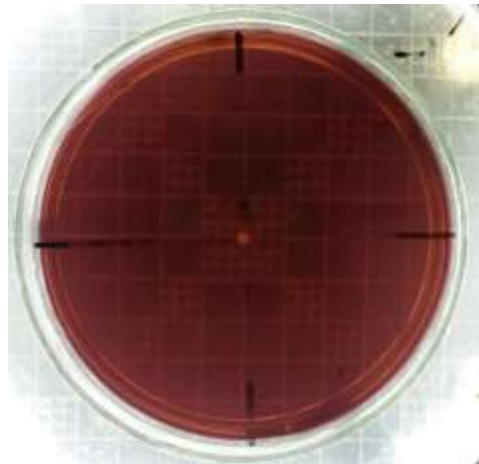
Gambar 1.2 Jumlah Mikroba Sebelum Pengujian Pengenceran Tahap 10^5



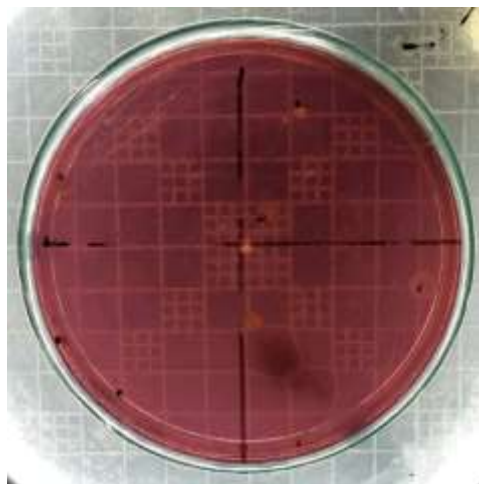
Gambar 1.3 Jumlah Mikroba Sebelum Pengujian Pengenceran Tahap 10^6



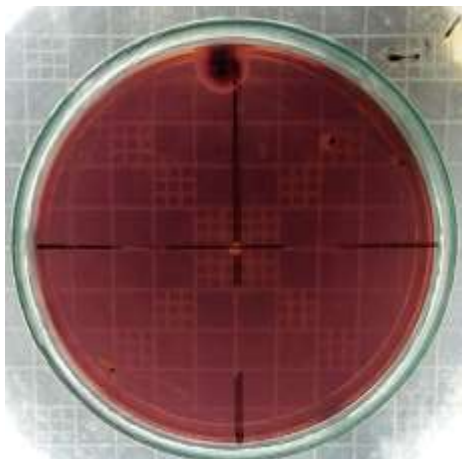
Gambar 1.4 Jumlah Mikroba Pada 10 Lpm dan 30 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



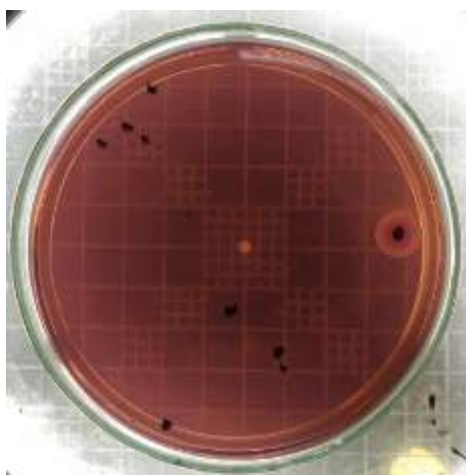
Gambar 1.5 Jumlah Mikroba Pada 10 Lpm dan 60 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



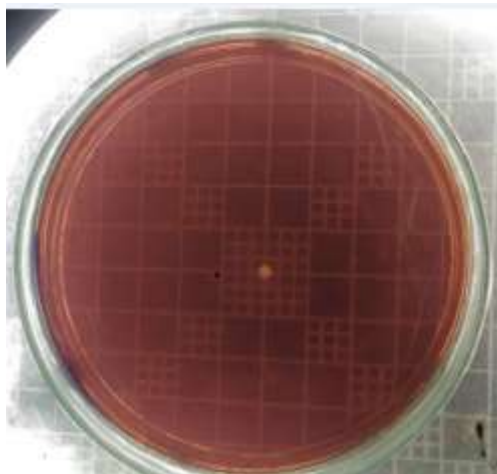
Gambar 1.6 Jumlah Mikroba Pada 10 Lpm dan 90 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



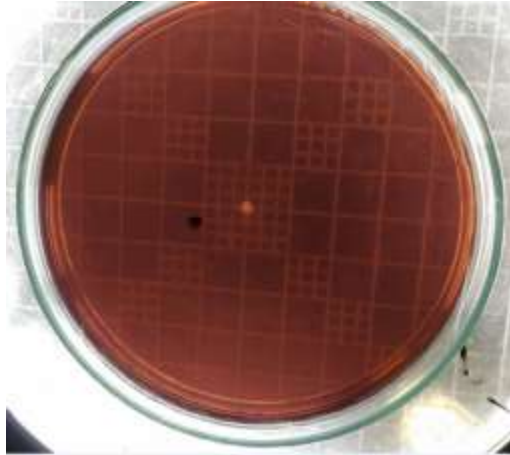
Gambar 1.7 Jumlah Mikroba Pada 10 Lpm dan 120 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



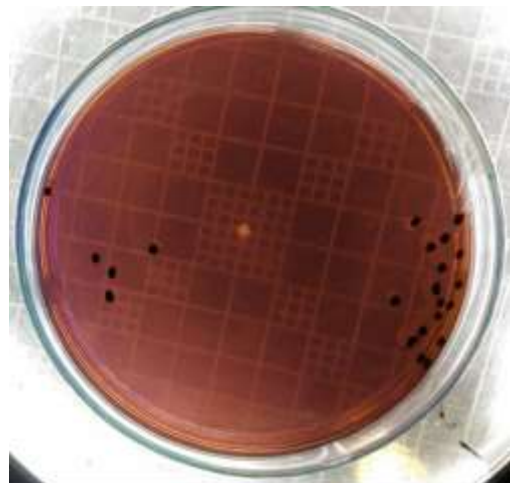
Gambar 1.8 Jumlah Mikroba Pada 30 Lpm dan 30 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



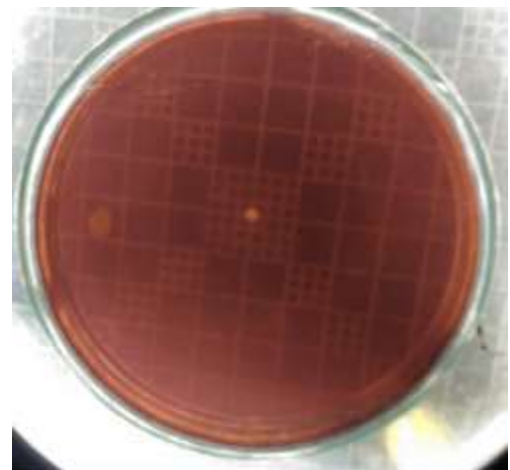
Gambar 1.9 Jumlah Mikroba Pada 30 Lpm dan 60 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



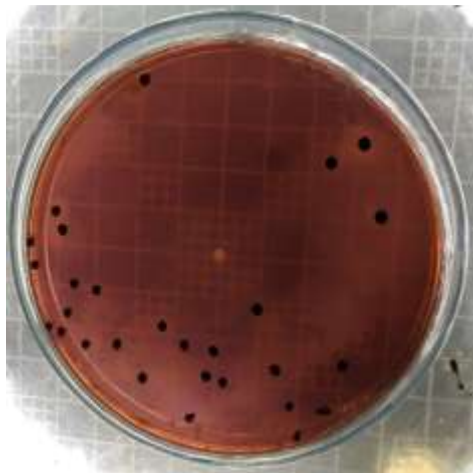
Gambar 1.10 Jumlah Mikroba Pada 30 Lpm dan 90 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



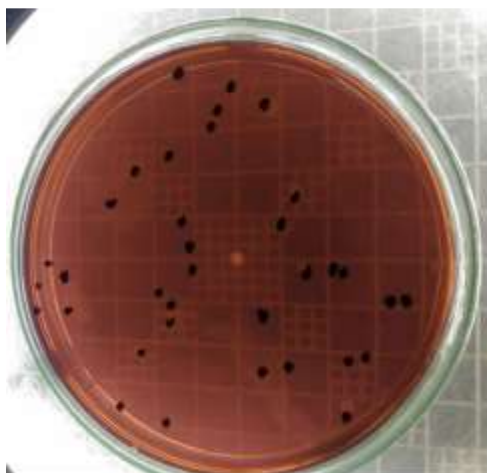
Gambar 1.11 Jumlah Mikroba 30 Lpm dan 120 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



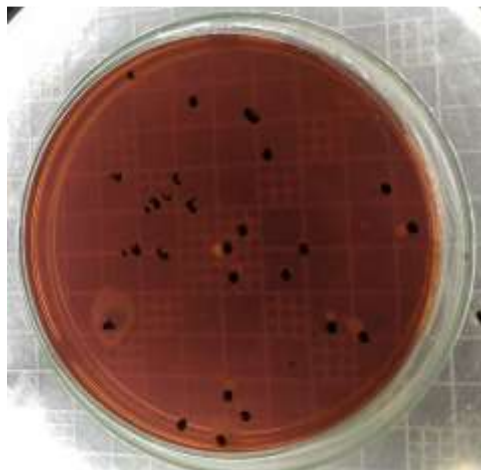
Gambar 1.12 Jumlah Mikroba Pada 50 Lpm dan 30 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



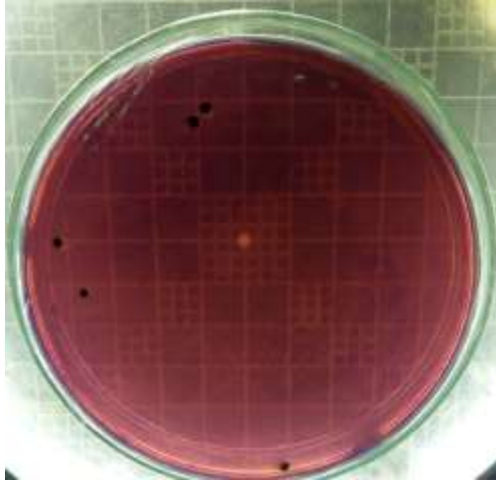
Gambar 1.13 Jumlah Mikroba Pada 50 Lpm dan 60 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



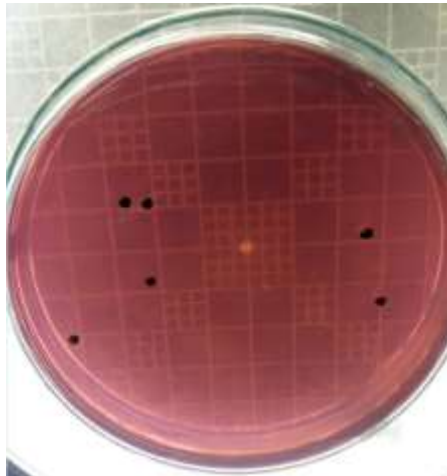
Gambar 1.14 Jumlah Mikroba Pada 50 Lpm dan 90 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



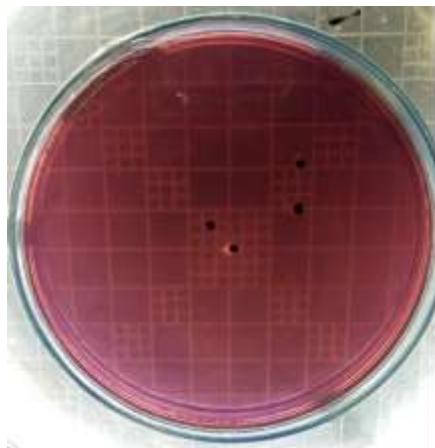
Gambar 1.15 Jumlah Mikroba 50 Lpm dan 120 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



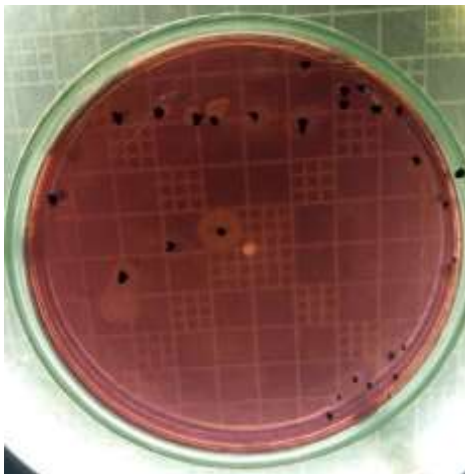
Gambar 1.16 Jumlah Mikroba Pada 70 Lpm dan 30 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



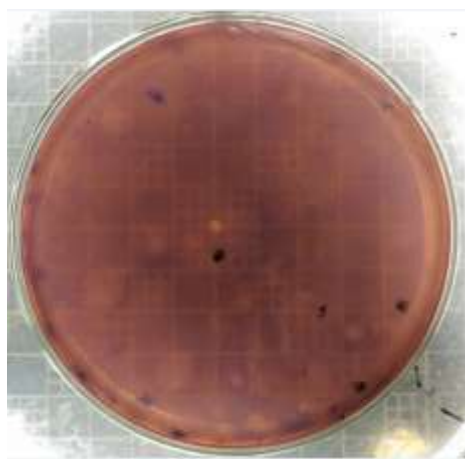
Gambar 1.17 Jumlah Mikroba Pada 70 Lpm dan 60 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



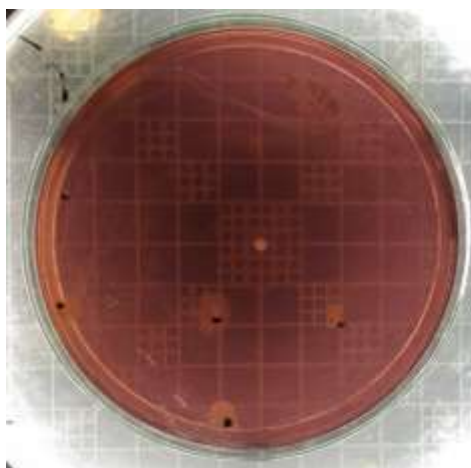
Gambar 1.18 Jumlah Mikroba Pada 70 Lpm dan 90 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



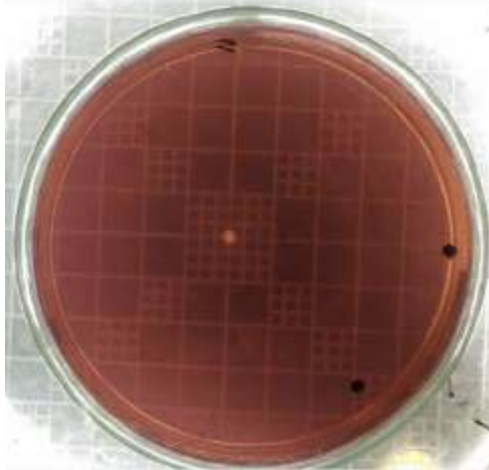
Gambar 1.19 Jumlah Mikroba 70 Lpm dan 120 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Karet Remah



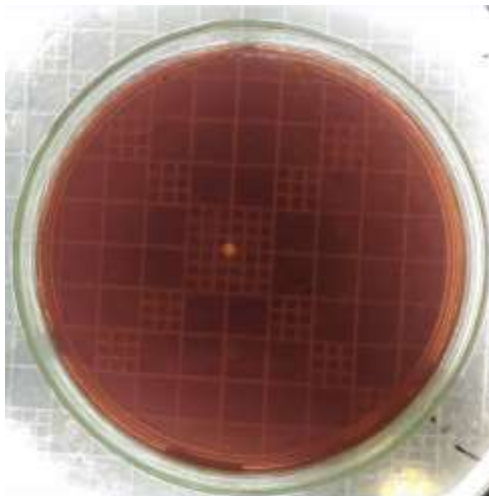
Gambar 1.20 Jumlah Mikroba Pada 10 Lpm dan 30 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



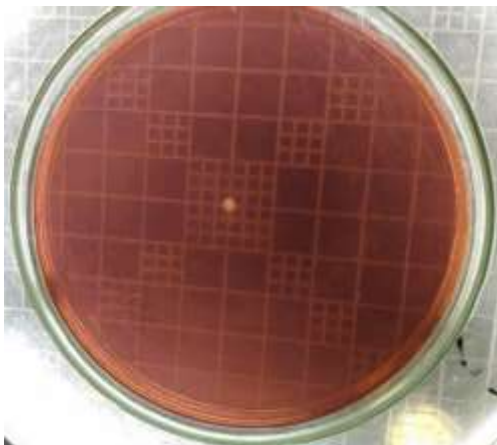
Gambar 1.21 Jumlah Mikroba Pada 10 Lpm dan 60 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



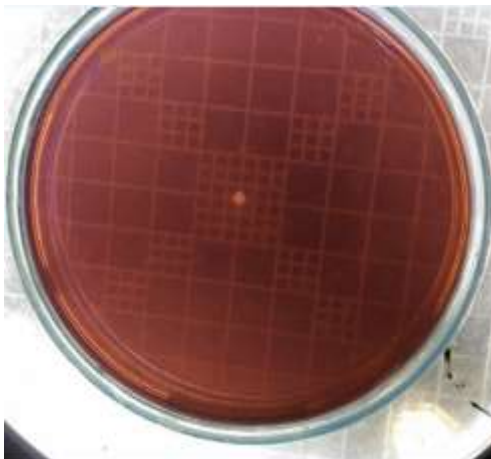
Gambar 1.22 Jumlah Mikroba Pada 10 Lpm dan 90 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



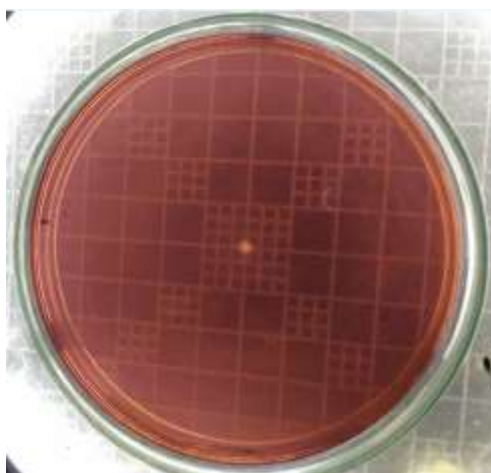
Gambar 1.23 Jumlah Mikroba Pada 10 Lpm dan 120 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



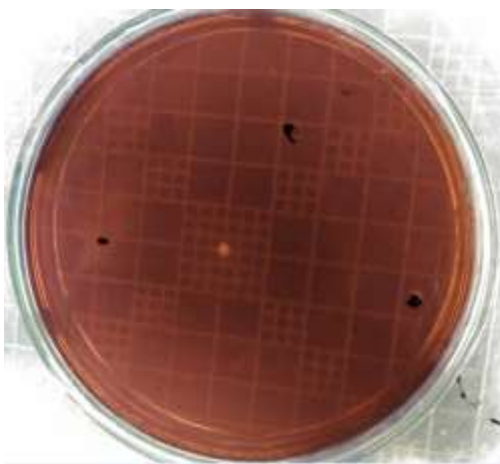
Gambar 1.24 Jumlah Mikroba Pada 30 Lpm dan 30 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



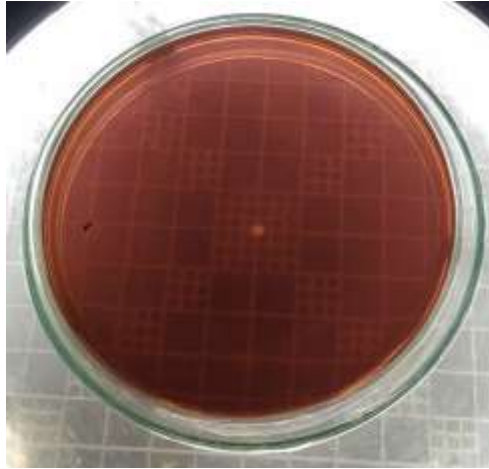
Gambar 1.25 Jumlah Mikroba Pada 30 Lpm dan 60 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



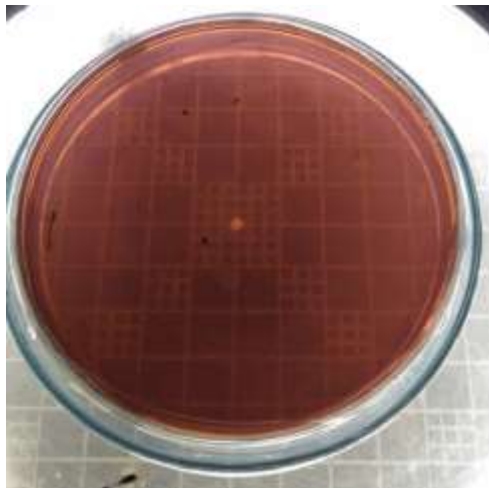
Gambar 1.26 Jumlah Mikroba Pada 30 Lpm dan 90 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



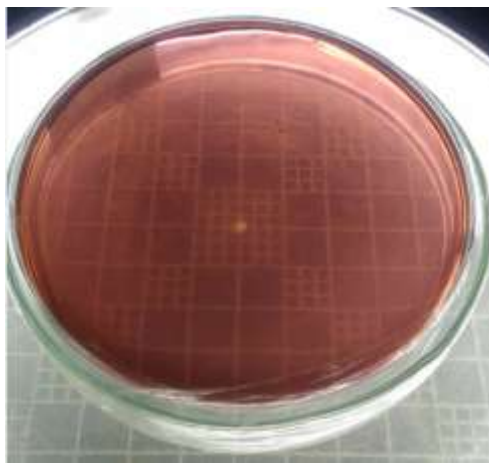
Gambar 1.27 Jumlah Mikroba Pada 30 Lpm dan 120 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



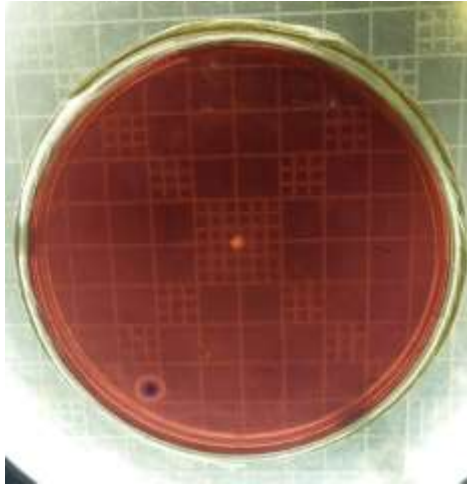
Gambar 1.28 Jumlah Mikroba Pada 50 Lpm dan 30 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



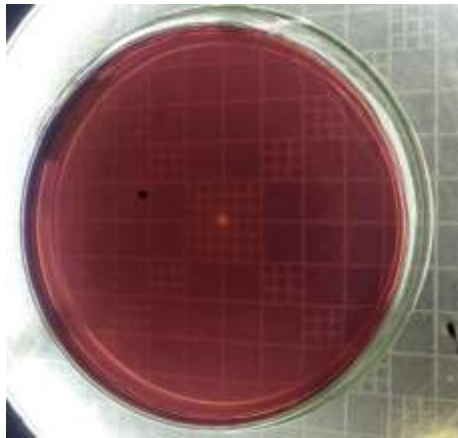
Gambar 1.29 Jumlah Mikroba Pada 50 Lpm dan 60 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



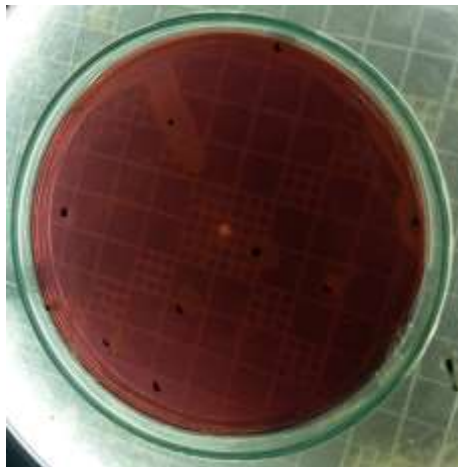
Gambar 1.30 Jumlah Mikroba Pada 50 Lpm dan 90 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



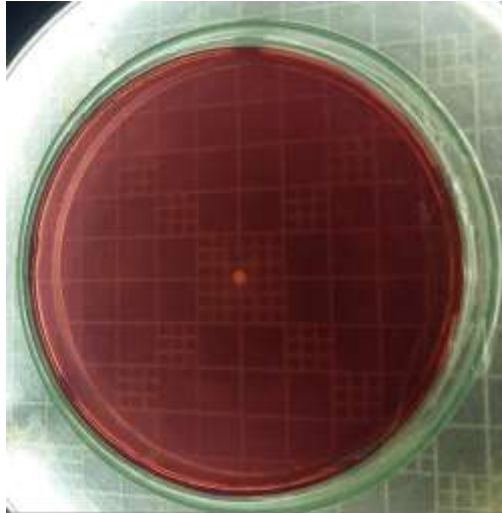
Gambar 1.31 Jumlah Mikroba Pada 50 Lpm dan 120 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



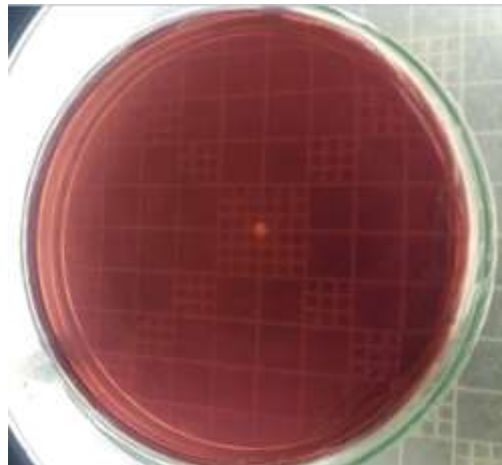
Gambar 1.32 Jumlah Mikroba Pada 70 Lpm dan 30 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



Gambar 1.33 Jumlah Mikroba Pada 70 Lpm dan 60 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



Gambar 1.34 Jumlah Mikroba Pada 70 Lpm dan 90 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon



Gambar 1.35 Jumlah Mikroba Pada 70 Lpm dan 120 Watt Pengenceran Tahap 10^4 Carbon

1.5 Lama Waktu Pengujian Tiap Laju Aliran

10 Lpm	= 4 menit
30 Lpm	= 3 menit
50 Lpm	= 2.5 menit
70 Lpm	= 1 menit

LAMPIRAN 2

Pembuatan Prototipe dan Spesifikasi Alat yang Digunakan

2.1 Pembuatan Prototipe



Gambar 2.1 Diameter Pipa untuk Reaktor UV



Gambar 2.2 Reaktor UV



Gambar 2.3 Pengelasan Pompa pada Alat



Gambar 2.4 Hasil *Scaling Up* Prototipe *Ballast Water Treatment* Tampak Samping dan Depan

1.1 Spesifikasi Alat yang Digunakan

1.1.1 Pompa

Merk	: Shimizu
Type	: CM-100 BIT
Head	: 10 – 25 m
Kapasitas	: 36 – 100 Lpm
Diameter Pipa	: 25 mm



Gambar 2.5 Pompa Shimizu CM-100 BIT

1.1.2 Adaptor UV

Merk : RoHS
Type : ESS –A39T5UV
Ampere : 0.37 -0.16 A
Voltage : 115 – 227 Volt
Frekuensi : 50 – 60 Hz



Gambar 2.6 Adaptor Lampu UV

1.1.3 Lampu UV

Merk : KSH
Panjang : 70 cm
Daya : 30 Watt

1.1.4 Ukuran Karet Remah

Panjang : 0.5 cm
Lebar : 0.5 cm



Gambar 2.7 Potongan Karet Remah

1.1.5 Rumah Filter

Merk : Eugen
Size : 10 Inch
Suhu Maks : 125°C
Tekanan : 100 psi



Gambar 2.8 Rumah Filter

2.2.6 Filter Carbon

Merk : AQUA GAC – 10”
Type : Powdered Activated Carbon Briquette
Max Temperature : 4.4 - 52°C
Pressure Rating : 1.5 – 8 bar



Gambar 2.8 Filter Carbon

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Tangerang, Jakarta Selatan pada tanggal 17 Agustus 1996 dengan nama Halimah Puspitasari dan merupakan anak kedua pasangan Kurnia Putranta dan Yunida Ratnawati. Penulis menempuh jenjang mulai dari SD Islam Al-Syukro, Tangerang (2002 – 2008), SMP Negeri 2 Bogor, Jawa Barat (2009 – 2011) dan SMA Negeri 3 Bogor, Jawa Barat (2012 – 2014). Setelah lulus dari bangku Sekolah Menengah Atas (SMA), penulis diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur Mandiri pada tahun 2014. Selama menempuh masa studi, penulis aktif di berbagai kegiatan dan organisasi. Diantaranya masuk kedalam ITS Marine Solar Boat Team, Pemandu Samudera VIII, panitia dari Marine Icon 2017 dan anggota dari Marine

Reliability Availability and Management Laboratory DTSP ITS. Selama masa perkuliahan, penulis juga pernah mengikuti perlombaan kapal cepat bertenaga surya di Amsterdam, Belanda pada tahun 2016, mengikuti PKM yang diselenggarakan oleh DIKTI dan lolos samapai tahap PKM yang didanai. Selain itu juga pada semester 5 penulis mendapatkan beasiswa dari American Bureau of Shipping (ABS) selama satu tahun. Selain itu, penulis juga pada masa perkuliahan melakukan kerja praktik di dua tempat yaitu di PT. Dumas Tanjung Perak Shipyards dan PT. Indonesia Power UPJP Priok.