

DESAIN OTOMATISASI TEKNOLOGI FILTRASI DINAMIS PADA SISTEM RESIRKULASI AIR LAUT UNTUK PEMELIHARAAN DAN BUDIDAYA KARANG

DESIGN OF DYNAMIC FILTRATION TECHNOLOGY AUTOMATICATION IN SEA WATER RECIRCULATION SYSTEM FOR CORAL MANAGEMENT AND CULTURE

Salasi Wasis Widyanto^{*1)}, Ma'muri²⁾, Ari Kuncoro³⁾, Susilo Wisnugroho⁴⁾, Nanda Radhitia Prasetiawan⁵⁾

Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan,
Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia

Jl. Pasir Putih II Lantai 4-5, Ancol Timur, Jakarta Utara 14430 – DKI Jakarta

Alamat korespondensi : abuyumna26@gmail.com

Abstrak

Kerusakan terumbu karang yang berimbas buruk bagi ekosistem laut membutuhkan upaya pemulihan yang serius mengingat pertumbuhan karang bisa berlangsung sangat lama. Salah satu upaya yang dilakukan bisa dengan pemeliharaan dan budidaya terumbu karang. Selain bermanfaat untuk kepentingan konservasi, upaya ini juga memiliki orientasi berbasis profit. Guna pemanfaatan yang luas agar bisa diimplementasikan pada berbagai lahan, upaya pemeliharaan dan budidaya ini memerlukan teknologi yang mendukung minimnya frekuensi penggantian air secara manual melalui sistem resirkulasi air laut dengan memaksimalkan sistem filtrasi terbaik yang diintegrasikan dengan otomatisasi sistem secara menyeluruh. Desain dari rumusan tersebut merupakan tujuan dari kegiatan ini. Metode kegiatan mengacu pada petunjuk teknis perkerjasama Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang meliputi desain konseptual, eksplorasi, observasi, pengukuran, perhitungan, desain awal, dan desain rinci. Hasil yang dicapai berupa desain otomatisasi teknologi filtrasi dinamis pada sistem resirkulasi air laut untuk pemeliharaan dan budidaya karang yang terdiri dari *Recirculation Aquaculture System (RAS)* menggunakan filter dinamis berupa filter biologis dan kimia untuk mengoptimalkan siklus biogeo kimiawi nitrogen dengan suplai karbon organik dan CO₂. *Monitoring* dan kontrol otomatis dilakukan oleh mikro kontroler yang mengendalikan perangkat mekanis dan elektronik lainnya. Kesimpulan yang dapat diambil adalah desain otomatisasi teknologi filtrasi dinamis pada sistem resirkulasi air laut untuk pemeliharaan dan budidaya karang telah berhasil dibuat dengan menggunakan sistem *skimerless* dan terotomatisasi.

Kata kunci: karbon organik, *RAS*, siklus biogeokimiawi, *skimerless*

Abstract

Damage to coral reefs that have a bad impact on marine ecosystems requires serious recovery efforts considering that coral growth can take a very long time. One of the efforts that can be done can be the maintenance and cultivation of coral reefs. Besides being useful for conservation purposes, this effort also has a profit-based orientation. In order to be widely used so that it can be implemented on various lands, this maintenance and cultivation effort requires technology that supports the minimum frequency of manual water changes through a seawater recirculation system by maximizing the best filtration system integrated with overall system automation. The design of the formulation is the goal of this activity. The activity method refers to the technical guidelines for engineering the Agency for

the Assessment and Application of Technology (BPPT) which includes conceptual design, exploration, observation, measurement, calculation, preliminary design, and detailed design. The results achieved are in the form of an automated design of dynamic filtration technology on a seawater recirculation system for coral maintenance and cultivation, which consists of a Recirculation Aquaculture System (RAS) using dynamic filters in the form of biological and chemical filters to optimize the biogeochemical cycle of nitrogen with organic carbon and CO₂ supply. Automatic monitoring and control is carried out by a micro controller that controls other mechanical and electronic devices. The conclusion that can be drawn is that the automatic design of dynamic filtration technology on a seawater recirculation system for coral maintenance and cultivation has been successfully made using a skimerless and automated system.

Keywords : organic carbon, RAS, biogeochemical cycle, skimerless

PENDAHULUAN

Terumbu karang adalah sekumpulan hewan karang yang bersimbiosis dengan sejenis tumbuhan alga yang disebut *Zooxanthellae*. Terumbu karang termasuk dalam jenis filum *Cnidaria* kelas *Anthozoa* yang memiliki tentakel. Terumbu karang secara umum dapat dinisbatkan kepada struktur fisik kapur beserta ekosistem yang menyertainya yang secara aktif membentuk sedimen kalsium karbonat akibat aktivitas biologi (biogenik) yang berlangsung di bawah permukaan laut. Ekosistem terumbu karang merupakan ekosistem krusial di perairan laut dangkal yang memerlukan kualitas perairan alami dan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan hidupnya terutama suhu, salinitas, sedimentasi, dan eutrofikasi. Kerusakan terumbu karang umumnya disebabkan oleh kegiatan perikanan yang bersifat destruktif dan sedimentasi. Sedimen akan menyulitkan *algae Zooxanthellae* untuk melakukan fotosintesis dan akhirnya mati atau meninggalkan karang. Dalam kondisi seperti itulah bisa terjadi kerusakan ekosistem terumbu karang yang disebut sebagai pemutihan karang atau *coral bleaching* (Salam, Sahputra, dan Arman, 2013).

Ekosistem karang mempunyai daya pulih yang rendah terhadap kerusakan-kerusakan yang terjadi di dalamnya. Kerusakan karang yang berimbas buruk bagi ekosistem laut membutuhkan upaya pemulihan yang serius mengingat pertumbuhan karang bisa berlangsung sangat lama. Salah satu upaya yang dilakukan bisa dengan budidaya terumbu

karang. Guna pemanfaatan yang luas agar bisa diimplementasikan pada berbagai lahan, upaya budidaya ini memerlukan teknologi yang mendukung minimnya frekuensi penggantian air secara manual melalui sistem resirkulasi air laut dengan memaksimalkan sistem filtrasi terbaik yang diintegrasikan dengan otomatisasi sistem secara menyeluruh.

Sebagai salah satu teknologi budidaya, sistem resirkulasi terus berkembang dan telah banyak digunakan. Sistem ini pada dasarnya adalah penggunaan kembali air yang telah diolah pada mekanisme filtrasi sehingga dapat digunakan untuk berbagai biota akuatik (Bregnballe, 2015). Di Indonesia, sistem resirkulasi lebih banyak digunakan pada sektor budidaya ikan air tawar seperti Lele (Jubaedah *et al.*, 2020), Nila (Fauzia dan Suseno, 2020), Patin (Hanifah dan Setiawan), Gurami (Verawati *et al.*, 2015), Nilem (Setyaningrum, 2019), Jelawat (Darmayanti *et al.*, 2018), Koi (Utami *et al.*, 2019), Pelangi Irian (Lukman, 2005), Sidat (Samsundari dan Wirawan, 2013). Sistem ini juga diterapkan untuk budidaya udang vaname (Mas'ud dan Wahyudi, 2018). Berbeda dengan sistem resirkulasi air tawar, penggunaan sistem resirkulasi air laut lebih banyak ditujukan untuk keperluan hobi ikan hias daripada budidaya komoditas ikan konsumsi. Beberapa biota laut yang dipelihara dalam sistem resirkulasi ini adalah Nemo, Capungan Banggai, dan Blue Tang (Renitasari dan Ihwan, 2021), lobster Pasir (Thesiana dan Pamungkas, 2015). Implementasi sistem resirkulasi air laut untuk karang banyak digeluti penghobi

akuarium. Sistem ini dianggap kompleks karena membutuhkan penanganan dan perhatian khusus mengingat karang membutuhkan persyaratan-persyaratan tertentu untuk dapat hidup dan tumbuh di luar habitat aslinya. Akuarium untuk karang didesain dengan sistem yang sedemikian rupa sehingga memenuhi berbagai kriteria lingkungan dan parameter kualitas air ideal.

Aktivitas hobi akuarium air laut untuk karang menerapkan resirkulasi sebagai bagian dari sistem penopang kehidupan bagi biota yang dipelihara dengan beberapa bentuk atau teknik filtrasi didalamnya. Filtrasi diperlukan untuk mengolah air dari tangki pemeliharaan sehingga dapat digunakan lagi untuk pemeliharaan. Kombinasi filter fisik, kimia, dan biologi adalah yang paling umum digunakan. Filter mekanis berupa protein *skimmer* menjadi komponen yang vital. Mikro organisme mengolah *Ammonia* dan *Nitrat* pada filter biologis. Reaktor digunakan untuk mereduksi *Fosfat* dan menyuplai kebutuhan *Kalsium*. Penambahan berbagai senyawa yang diperlukan untuk pertumbuhan karang seperti *Potassium*, *Strontium*, *Magnesium*, *Cadmium*, *Carbon*, dan *Selenium* (Balling *et al.*, 2008) sebagai media hidup bagi biota dapat dilakukan dengan memasukkannya secara langsung kedalam air atau dengan bantuan *dosing pump*. Pengaturan kerja peralatan dan komponen-komponen pendukung dalam sistem untuk berbagai keperluan tersebut dapat dilakukan secara manual ataupun otomatis.

Otomatisasi kerja peralatan pendukung merupakan alternatif cara untuk optimasi dan efisiensi pada sistem resirkulasi. Hal itu juga menjadi tuntutan dari konsumen yang membutuhkan kepraktisan sekaligus menjadi tantangan dalam pengembangan suatu paket teknologi sistem resirkulasi yang mudah, minim perawatan, dan dapat diandalkan. Oleh karena itu, peralatan sistem resirkulasi untuk akuarium menjadi bisnis yang menjanjikan sehingga berbagai vendor berlomba-lomba memberikan alternatif produk dengan berbagai variasi teknologi. Salah satu teknologi terbaru untuk

akuarium karang adalah *DyMiCo* (*Dynamic Mineral Control*) yang merupakan mekanisme filtrasi yang secara dinamis merespon kondisi akuarium serta menjaga keseimbangan senyawa-senyawa mineral dalam air.

Makalah ini mendeskripsikan alternatif desain otomatisasi terhadap komponen dan peralatan filtrasi pada sistem resirkulasi air laut untuk budidaya karang.

METODE PENELITIAN

Metode kegiatan mengacu pada Petunjuk Teknis Jabatan Fungsional Perekayasa dan Angka Kreditnya dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang meliputi desain konseptual, eksplorasi, observasi, pengukuran, perhitungan, desain awal, dan desain rinci. Desain konseptual mencakup beberapa langkah yaitu menetapkan tujuan dan kebutuhan desain (*Design Requirement and Objective/ DRO*), menyusun filosofi rancang bangun, dan menetapkan metoda yang digunakan. Eksplorasi merupakan tindakan mencari atau melakukan penjelajahan dengan tujuan menemukan sesuatu. Eksplorasi dapat dilakukan melalui eksplorasi kepustakaan, wawancara dengan narasumber dan/atau menggunakan instrumen kuesioner. Observasi merupakan teknik pengumpulan data dengan melakukan pengamatan secara langsung keobjek penelitian untuk melihat dari dekat kegiatan yang dilakukan. Observasi dapat dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap suatu objek. Pengukuran merupakan penentuan besaran, dimensi, atau kapasitas, biasanya terhadap suatu standar atau satuan pengukuran atau kegiatan membandingkan nilai besaran yang diukur dengan alat ukur yang ditetapkan sebagai satuan. Eksplorasi, observasi, dan pengukuran mencakup beberapa aspek yakni menetapkan instrumentasi, menetapkan sasaran, melaksanakan eksplorasi/observasi/pengukuran, menganalisis data, dan menginterpretasi hasilnya. Perhitungan adalah melakukan tahapan kerja berdasarkan model matematik untuk mengetahui berbagai sifat-sifat/data yang

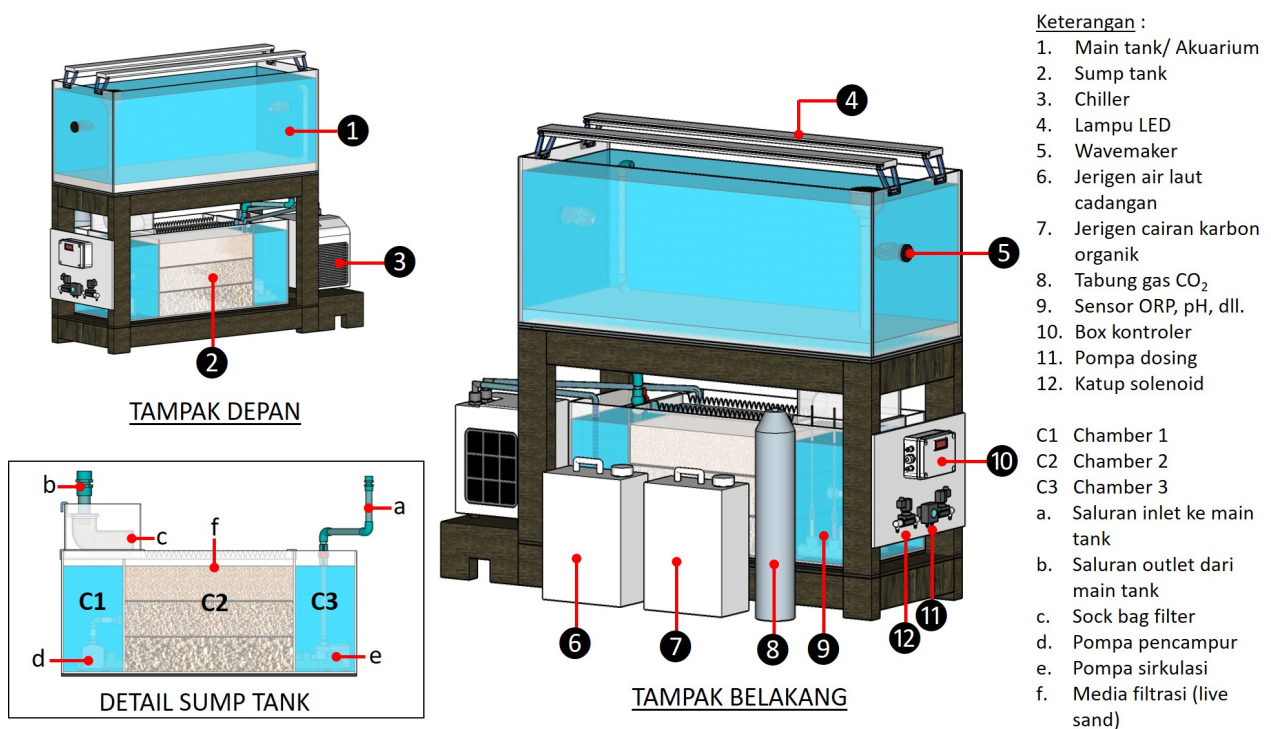
dibutuhkan daribagian/komponen produk rancang bangun yang akan dibuat Perhitungan yang dilakukan meliputi beberapa fase yaitu melaksanakan perhitungan pendekatan awal, melaksanakan perhitungan analitik rinci, dan melaksanakan komputasi numerik. Desain awal mencakup beberapa kegiatan yaitu merekayasa bentuk konfigurasi, mengkalkulasi kinerja awal, dan membuat gambar teknis (*Engineering Drawing*) awal. Sedangkan desain rinci meliputi beberapa aktivitas yakni melaksanakan iterasi hasil desain awal, mengoptimasi hasil desain

awal, melaksanakan dan menetapkan konfigurasi desain rinci

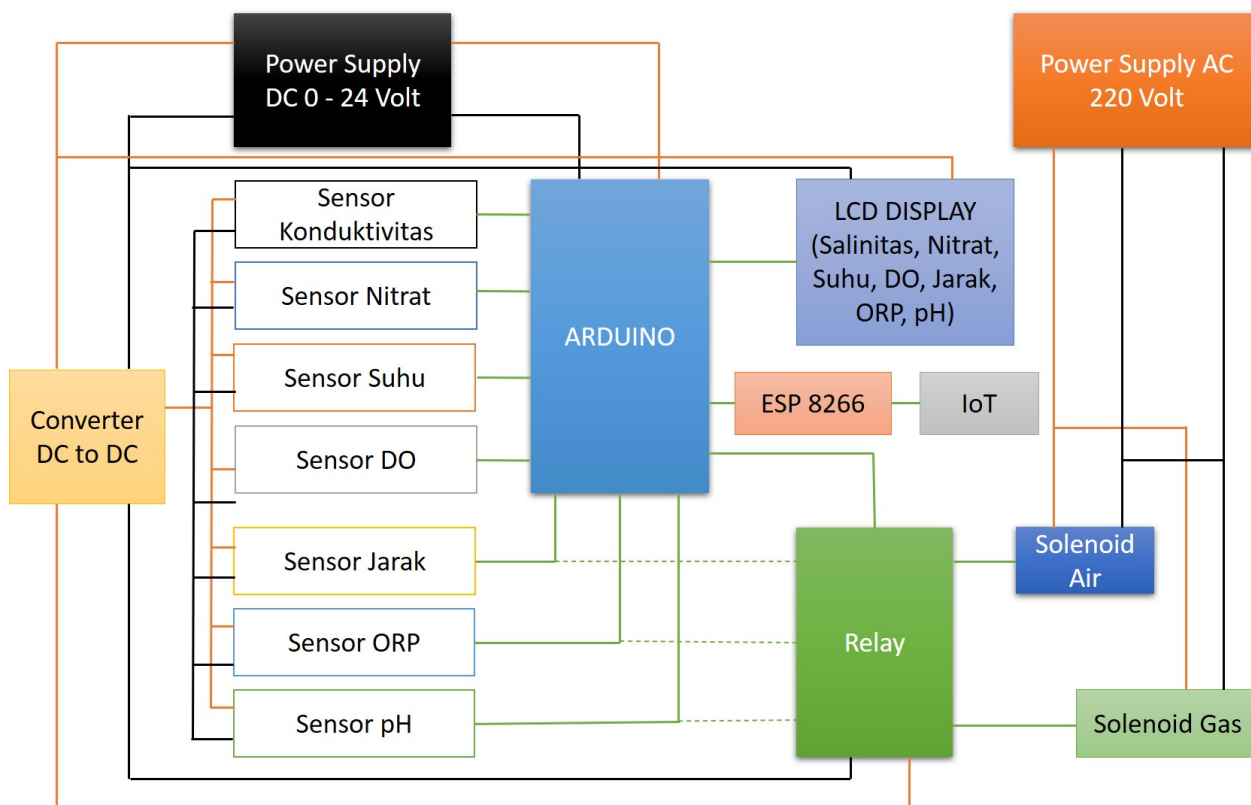
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil desain kegiatan ini meliputi desain akuarium uji coba dan desain otomatisasinya yang ditunjukkan oleh Gambar 1 dan Gambar 2 berikut ini:



Gambar 1. Desain sistem filtrasi dinamis



Gambar 2. Desain otomatisasi elektronik

Tabel 1. Fungsi komponen penyusun sistem filtrasi dinamis

Nama komponen	Kode	Fungsi
<i>Main tank</i> (akuarium)	1	Tempat pemeliharaan/budidaya karang
<i>Sump tank</i>	2	Tempat proses sistem filtrasi dinamis
<i>Chiller</i>	3	Menurunkan suhu air
<i>LED (Light Emitting Dioda)</i>	4	Memberi pencahayaan duplikasi matahari dan bulan
<i>Wavemaker</i>	5	Membuat gelombang buatan
Jerigen air laut cadangan	6	Tempat menampung air laut
Jerigen cairan karbon organik	7	Tempat menampung cairan karbon organik
Tabung gas CO ₂	8	Tempat menampung gas CO ₂
Sensor ORP, pH, dll	9	Memantau dan mengontrol parameter kualitas air laut
Box kontroler	10	Tempat pusat pengendalian sistem elektronik
<i>Dosing pump</i>	11	Menyuplai cairan karbon organik
Katup solenoid gas	12	Menyuplai gas CO ₂
Katup solenoid cairan	13	Menyuplai air laut cadangan
Saluran inlet ke <i>main tank</i>	a	Menghubungkan aliran air buangan ke sump tank
Saluran outlet dari <i>main tank</i>	b	Menghubungkan aliran air hasil filtrasi dari sump tank
<i>Sock bag filter</i>	c	Menyaring partikel kotoran
<i>Mixing pump</i>	d	Mencampur cairan karbon organik dan gas CO ₂ dengan air laut hasil filtrasi tahap pertama
<i>Head pump</i>	e	Menyuplai air laut hasil filtrasi bertingkat dari sump tank ke <i>main tank</i>
Media filtrasi (<i>live sand</i>)	f	Menyaring partikel kotoran, menghilangkan zat kimia beracun dan mengoptimalkan siklus nitrogen

<i>Chamber 1</i>	C1	Ruang pencampuran air hasil filtrasi dengan gas CO ₂ dan cairan karbon organik dan penempatan sensor-sensor
<i>Chamber 2</i>	C2	Ruang proses filtrasi dinamis yang dirancang
<i>Chamber 3</i>	C3	Ruang penyeimbang dan pengontrolan suhu oleh <i>chiller</i>

Pembahasan

Faktor yang sangat penting untuk keberhasilan budidaya karang adalah dengan memberikan perlakuan yang tepat pada proses pemeliharaan karang. Karang yang terawat dengan baik di media eksitu dimana kondisi lingkungan dan parameter sesuai, suhu air dan pencahayaan memadai, serta suplai mineral dan senyawa yang dibutuhkan ideal, bisa tumbuh subur dan berkembang secara alami melalui proses reproduksi aseksual. Bentuk reproduksi aseksual yang paling umum ditunjukkan oleh karang adalah “*budding*” (pertunasan), dimana cabang terbentuk dari karang induk. Pertunasan terbagi menjadi dua yaitu intratentakular dan ekstratentakular. Pertunasan intratentakular adalah pembentukan individu baru di dalam individu lama. Reproduksi semacam ini biasanya terjadi pada marga *Favia* atau *Favites*. Pertunasan ekstra tentakular adalah pembentukan individu baru di luar individu lama, misalnya terjadi pada *Montastrea*. Hasil reproduksi secara pertunasan, tidak terpisah dari induknya dan akan terlihat sebagai pertumbuhan suatu koloni yang terbentuk dengan kedua cara itu dimana keduanya memiliki kemampuan beradaptasi yang berbeda (Suharsono, 1984). Selama proses pertunasan, umumnya karang baru (kuncup) dihasilkan di tepi karang induk yang sedang tumbuh. Saat cabang tumbuh dan proses pertumbuhan berlanjut, koloni kecil karang baru mulai berkembang dan tumbuh dari karang induk. Proses alami ini bisa berlangsung lama dan bersifat agak takterduga. Oleh karena itu, dibutuhkan intervensi manusia untuk membelah karang yang ada melalui proses pemotongan pada bagian dasar kuncup karang yang menempel pada karang induk pada saat kuncup matang atau perbedaan antara kuncup dan induk sudah terlihat jelas.

Guna mendapatkan kondisi lingkungan dan parameter sesuai, suhu air dan pencahayaan memadai, serta suplai mineral dan senyawa yang ideal pada sebuah sistem resirkulasi, khususnya resirkulasi air laut, dibutuhkan sebuah sistem filtrasi dinamis yang handal dilengkapi dengan kontrol perlakuan tertentu secara otomatis. Desain yang dirancang untuk mencapai tujuan tersebut meliputi desain akuarium dan *sump tank*, desain perpipaan, desain media filter, desain suplai karbon organik dan gas CO₂, serta desain penempatan sensor dan kontrol sistem. Desain ini dibuat dalam rangka menduplikasi proses resirkulasi air laut secara riil, sehingga hanya dengan memanfaatkan filter fisik, sistem filter biologi untuk pertumbuhan bakteri yang menguntungkan, dibantu dengan suplai karbon organik dan CO₂ dengan kadar tertentu, sistem resirkulasi berjalan dengan baik tanpa filter mekanik (*skimmer*) dan reaktor penyuplai kalsium dan semisalnya.

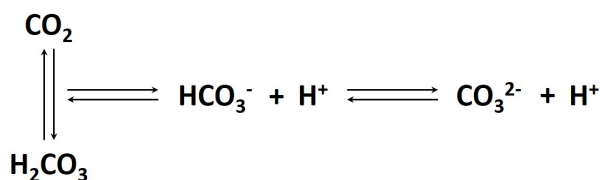
Akuarium yang dibuat berukuran panjang 150 cm, lebar 60 cm, dan tinggi 60 cm dengan bahan berupa kaca bening/transparan (ketebalan 1 cm). Akuarium ini dilengkapi dengan *sump tank* berukuran panjang 120 cm, lebar 50 cm, dan tinggi 50 cm dengan bahan berupa kaca bening/transparan (ketebalan 0,8 cm). *Sump tank* berfungsi untuk menampung air laut yang keluar dari akuarium dan merupakan wahana untuk menempatkan media-media filter yang digunakan, sehingga diharapkan air laut yang keluar dari *sump tank* menuju akuarium adalah air laut yang memenuhi kualitas berdasarkan nilai parameter-parameter yang terukur. *Sump tank* yang dirancang dibagi menjadi tiga bagian yang disebut *chamber*. *Chamber* yang terletak di bagian tengah merupakan *chamber* utama dimana sistem filtrasi dinamis ini dirancang.

Chamber ini terdiri dari tiga lapisan yang dibuat secara vertikal. Lapisan atas diisi dengan *live sand* berukuran halus, lapisan tengah diisi dengan *live sand* berukuran sedang, dan lapisan terbawah diisi dengan *live sand* berukuran kasar. Diantara lapisan-lapisan tersebut ditempatkan sekat agar tidak terjadi pencampuran jenis *live sand*. Dua *chamber* yang mengapit *chamber* utama adalah penyeimbang dimana air yang tertampung di dalamnya merupakan air laut hasil filtrasi. Air ini dicampur dengan cairan karbon organik dan gas CO₂ dalam jumlah tertentu melalui mekanisme titrasi *dosing pump*. Hasil pencampuran disemprotkan oleh *mixing pompa* menuju lapisan kedua *chamber* utama guna mendapatkan perlakuan filtrasi kembali pada lapisan tengah dan bawah *chamber* utama. Setelah melalui tahapan filtrasi ini, air disirkulasikan kembali menuju akuarium.

Sistem filtrasi dinamis yang dirancang ini merupakan optimalisasi sistem filter biologi melalui optimalisasi kinerja bakteri perombak yang memicu proses nitrifikasi dan denitrifikasi pada air laut. Nitrifikasi merupakan proses oksidasi amoniak (beracun) menjadi *Nitrit* (kurang beracun) oleh bakteri *Nitrosomonas*. Denitrifikasi adalah proses terurainya *Nitrat* (NO₃) menjadi gas *Nitrogen* (N₂) dan gas *Oksigen* (O₂) yang keduanya dapat menguap. Proses ini pun tentunya akan berpengaruh pada naik turunnya *pH*. Saat berlangsung proses nitrifikasi akan terjadi penurunan *pH*, sedangkan saat berlangsung proses denitrifikasi akan terjadi kenaikan *pH* (Priyono dan Satyani, 2012). Kelimpahan nitrat yang merupakan hasil dari proses lanjut nitrifikasi dapat mendukung terjadinya eutrofikasi. Kondisi eutrofik tersebut sangat memungkinkan *Cyanobacteria* (blue-green algae), khususnya *Microcystis spp* untuk

tumbuh berkembang biak dengan pesat (*blooming*). Hal ini menyebabkan kualitas air dan konsentrasi oksigen terlarut menurun. Rendahnya konsentrasi oksigen ini menyebabkan proses pertumbuhan organisme aerobik terhambat. Oleh karena itu, dibutuhkan pemicu agar proses denitrifikasi dapat terjadi melalui suplai karbon organik yang diperlukan oleh bakteri heterotrofik (Novita, 2010).

Selain suplai cairan karbon organik, sistem filtrasi dinamis disuplai pula dengan gas CO₂. Selain dibutuhkan untuk proses fotosintesis *Zooxanthella* yang merupakan alga yang bersimbiosis dengan karang, sehingga memicu terjadinya proses kalsifikasi (reaksi ion kalsium dan magnesium dengan karbondioksida yang berdifusi ke dalam air laut membentuk kalsium karbonat dan magnesium karbonat) yang menjadikan hewan karang dapat membuat terumbu (Sunarto, 2008), karbondioksida dalam bentuk ion maupun molekul (CO₂, H₂CO₃, HCO₃⁻, dan CO₃²⁻) diperlukan untuk menjaga reaksi kesetimbangan air laut ketika terjadi kenaikan maupun penurunan *pH*. Berdasarkan Gambar 3, jika *pH*-nya lebih rendah dari 7, maka reaksi keseimbangan akan bergeser kearah kiri. Ini berarti bahwa senyawa karbondioksida bebas (CO₂) lebih banyak terdapat dalam air laut dibandingkan dengan senyawa bikarbonat (HCO₃⁻) atau karbonat (CO₃²⁻). Sedangkan jika *pH*-nya lebih tinggi dari 7 seperti normalnya kondisi air laut, maka senyawa karbon dioksida umumnya tidak terdapat dalam bentuk bebas, tetapi terikat dalam bentuk bikarbonat (HCO₃⁻) dan karbonat (CO₃²⁻), sehingga suplai gas karbondioksida berperan dalam hal ini agar kadar karbondioksida total dalam air laut dipertahankan antara 1,5 - 2,5 µg A C/l atau 18 ppm - 30 ppm (Susana, 1988).



Gambar 3. Reaksi kesetimbangan karbondioksida

Desain otomatisasi elektronik yang dirancang difokuskan pada pembacaan sensor Suhu, Konduktivitas, DO, pH, ORP, Nitrat, dan Jarak yang dikontrol oleh Arduino. Sensor suhu digunakan untuk memantau temperatur air laut dan memantau kinerja *chiller*, sensor Konduktivitas menjadi acuan untuk menampilkan nilai salinitas air laut, sensor DO dimanfaatkan untuk memantau oksigen terlarut dalam air laut, sedangkan sensor pH, ORP, dan Nitrat dijadikan acuan untuk pengaturan dan pengontrolan suplai gas CO₂ dengan mengatur *relay* yang diprogram menggunakan software *Arduino IDE*. Adapun sensor jarak digunakan untuk memantau ketinggian air dalam *main tank*. Jika volume air laut mengalami penyusutan akibat penguapan yang ditandai oleh turunnya level air dalam *main tank*, *relay* yang telah diprogram *Arduino IDE* memicu katup solenoid air untuk membuka, sehingga mengalirkan air laut cadangan atau air RO dari jerigen ke akuarium. Jika level air dalam akuarium telah mencapai batas atas maksimal, *relay* kembali memicu katup solenoid air untuk menutup, sehingga aliran air menuju akuarium terhenti. Nilai hasil pembacaan sensor-sensor yang dikontrol oleh Arduino ditampilkan secara *real time* pada *LCD display* yang dipasang pada box kontroler dan ditayangkan pula pada aplikasi *Blink* android sebagai platform *Internet of Things (IoT)* yang didedikasikan untuk pemantauan secara telemetri.

KESIMPULAN

Desain otomatisasi teknologi filtrasi inamis pada sistem resirkulasi air laut untuk pemeliharaan dan budidaya karang telah berhasil dibuat dengan menggunakan sistem *skimmerless* dan terotomatisasi. Desain ini dijadikan acuan baku untuk merealisasikannya dalam bentuk prototipe melalui tahapan pengujian secara berjenjang hingga didapatkan sistem filtrasi dinamis handal yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Balling, H. M. Janse, and P.J. Sondervan. 2008. Trace Element, Functions, Sinks and Replenishment in Reef Aquaria. In Lewis, R.J. and M. Janse (eds). 2008. *Anvances in Coral Husbandry in Public Aquariums vol. 2*. Burgers' Zoo, Amhem, 143-156 pp.
- Bregnballe, J. 2015. *A Guide to Recirculation Aquaculture*. FAO & EUROFISH International Organisation, Budapest, 95 p.
- Darmayanti, E.I. Raharjo, dan Farida. 2018. Sistem Resirkulasi Menggunakan Kombinasi Filter yang Berbeda Terhadap Pertmbuhan Benih Ikan Jelawat (*Leptobarbus hoeveni*), *Jurnal Ruaya*, 6(2): 1-8.
- Fauzia, S.R. dan S.H. Suseno. 2020. Resirkulasi Air untuk Optimalisasi Kualitas Air Budidaya Ikan Nila Nirwana (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, 2(5): 887-892.
- Hanifah, U. dan B.I. Setiawan. 2007. Sistem Resirkulasi Air Terkendali pada Pembenihan Ikan Patin (*Pangasius hypophthalmus*). *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 21(2): 189-197.
- Jubaedah, D., Marsi, M. Wijanyanti, Yulisman, R.C. Mukti, D. Yonarta, dan E. B. Fitriana. 2020. Aplikasi Sistem Resirkulasi Menggunakan Filter Dalam Pengelolaan Kualitas Air Budidaya Ikan Lele. *Jurnal Akuakltura*, 4(1): 1-5.
- Mas'ud, F. dan T. Wahyudi. 2018. Analisa Usaha Budidaya Udang Vaname (*Litopenaus vannamei*) Air Tawar di Kolam Bundar dengan Sistem Resirkulasi. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 2(2): 103-108.

- Novita, L. 2010. Pengaruh Sumber Karbon dan Aerasi Terhadap Aktivitas Denitrifikasi Isolat Bakteri Aslt 2. *Widyariset*, 13(2): 57-62. <http://dx.doi.org/10.14203/widyariset.13.2.2010.57-62>
- Renitasari, P.R. dan Ihwan. 2021. Monitoring Pertumbuhan dan Kualitas Air pada Budidaya Ikan Klown, Capungan Banggai dan Blue Tang dengan Sistem Resirkulasi. *JVIP*, 1(2): 1-7.
- Salam, A., Sahputra, D., dan Arman, V. 2013. Kerusakan Karang di Perairan Pantai Molotabu Provinsi Gorontalo. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 1(1): 55-58.
- Samsundari, S. dan G.A. Wirawan. 2013. Analisis Penerapan Biofilter dalam Sistem Resirkulasi Terhadap Mutu Kualitas Air untuk Budidaya Ikan Sidat (*Anguila bicolor*). *Jurnal GAMMA*, 8(2): 86-97.
- Setyaningrum, N., M.H. Satranegara, Sugiharto, dan F.Isdianto. 2019. Kualitas Air dan Pertumbuhan Ikan Nilem (*Osteochilus vittatus Valenciennes*) pada Sistem Resirkulasi dengan Media Filtrasi Berbeda. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*, 36(3) 139-146.
- Suharsono. 1984. Reproduksi Karang Batu. *Oseana*, 9(4): 116 – 123.
- Sunarto. 2008. Penyediaan Energi Karbon Dalam Simbiosis Coral-Alga (Karya Ilmiah). Bandung: Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran.
- Susana, T. 1988. Karbondioksida. *Oseana*, 13(1) : 1 – 11.
- Thesiana, L. dan A. Pamungkas. 2015. Uji Performansi Teknologi Recirculating Aquaculture Sistem (RAS) Terhadap Kondisi Kualitas Air Pada Pendederan Lobster Pasir *Panulirus Homarus*. *Jurnal Kelautan Nasional*, 10(2): 65-73.
- Utami, T.S.B., Z. Hasan, M.L. Syamsuddin, dan H.H. Hamdani. 2019. Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Koi (*Cyprinus carpio*) dengan Beberapa Tanaman Sayuran dalam Sistem Resirkulasi Akuaponik. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 10(2): 81-88.
- Verawati, Y., Muarif, dan F.S. Mumpuni, F.S. 2015. Pengaruh Perbedaan Padat Penebaran Terhadap Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Benih Ikan Gurami (*Osphronemus gourami*) pada Sistem Resirkulasi. *Jurnal Mina Sains* 1(1): 6-12.