

# MONOGRAF

## SISTEM SIRKULASI DAN BIOREMEDIASI PADA TEKNOLOGI AQUAPONIC BERBASIS LINGKUNGAN



**Penerbit LPPM**  
Universitas PGRI Semarang



MONOGRAF

SISTEM SIRKULASI DAN BIOREMEDIASI  
PADA TEKNOLOGI AQUAPONIC  
BERBASIS LINGKUNGAN

Ary Susatyo Nugroho  
Endah Rita Sulistya Dewi  
Maria Ulfah

**Penerbit LPPM**  
Universitas PGRI Semarang



## **MONOGRAF**

SISTEM SIRKULASI DAN BIOREMEDIASI PADA TEKNOLOGI AQUAPONIC BERBASIS LINGKUNGAN

Penulis:

**Ary Susatyo Nugroho**

**Endah Rita Sulistya Dewi**

**Maria Ulfah**

Dosen Magister Pendidikan IPA dan Program Studi Pendidikan Biologi,  
Universitas PGRI Semarang

Penyunting:

**Dian Priambudi, S.Pd.**

Penerbit:

LPPM UNIVERSITAS PGRI SEMARANG

Copyright© 2022 by **Ary Susatyo Nugroho, Endah Rita Sulistya Dewi, Maria Ulfah**

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku tanpa izin penulis.

**Penerbit LPPM**  
Universitas PGRI Semarang



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT karena hanya atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusunan monograf ini dapat terselesaikan dengan lancar. Monograf ini disusun berdasarkan hasil penelitian tentang “Pengembangan Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan di Wilayah dengan Sumber Air Terbatas” serta teori-teori dan konsep yang mendukungnya.

Teknologi Aquaponic berbasis lingkungan merupakan teknologi baru untuk menghasilkan ikan dan tanaman sayuran organik yang sehat. Teknologi ini lebih praktis dan hemat biaya dibandingkan dengan teknologi lainnya yang sudah ada. Oleh karena itu diperlukan diseminasi teknologi kepada masyarakat sehingga teknologi ini dapat diterapkan oleh masyarakat secara umum.

Atas selesainya penulisan monograf ini, tidak lupa Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung pelaksanaan penelitian untuk mengembangkan Teknologi Aquaponic berbasis lingkungan ini.

Pada akhirnya kami berharap semoga monograf ini dapat memberikan informasi berharga dan bermanfaat bagi pihak-pihak terkait serta dapat meningkatkan motivasi untuk melaksanakan penulisan berikutnya. Kritik dan saran yang membangun akan kami terima dengan lapang dada untuk perbaikan dan kesempurnaan monograf ini.

Semarang, November 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Teknologi Aquaponic Dalam Urban Farming .....	1
B. Sejarah dan Perkembangan Teknologi Aquaponic .....	2
<b>BAB II. TEKNOLOGI AQUAPONIC</b> .....	5
A. Prinsip Teknologi Aquaponic .....	5
B. Komponen-komponen Dalam Teknologi Aquaponic .....	6
C. Keunggulan Teknologi Aquaponic .....	8
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b> .....	11
A. Desain Pengembangan .....	11
B. Tempat dan Waktu Pengembangan .....	11
C. Prosedur Pengembangan .....	11
D. Jenis dan Sumber Data .....	14
E. Analisis Data .....	14
<b>BAB IV. RENCANA PENGEMBANGAN SISTEM SIRKULASI DAN BIOREMEDIASI</b> .....	15
A. Analisis Sistem Sirkulasi dan Bioremediasi .....	15
B. Rencana Pengembangan Sistem Sirkulasi Dan Sistem Bioremediasi .....	16
<b>BAB V. PENGEMBANGAN SISTEM SIRKULASI</b> .....	19
<b>BAB VI. PENGEMBANGAN SISTEM BIOREMEDIASI</b> .....	23
<b>BAB VII. DESAIN TEKNOLOGI AQUAPONIC BERBASIS LINGKUNGAN</b> ....	25
A. Desain Ke-1 Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan .....	25
B. Desain Ke-2 Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan .....	26
C. Instalasi Aquaponic .....	28
<b>BAB VIII. PENUTUP</b> .....	29
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	30

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Prinsip kerja aquaponic	6
Gambar 2. Tahapan Pengembangan Sistem Sirkulasi dan Bioremediasi pada Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan	11
Gambar 3. Tahapan Pengembangan Sistem Sirkulasi dan Bioremediasi pada Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan	14
Gambar 4. Kolam ikan yang banyak digunakan masyarakat berbentuk persegi panjang	15
Gambar 5. Bagan Sistem Sirkulasi pada Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan	20
Gambar 6. Pengembangan bentuk kolam akuakultur	21
Gambar 7. Bagan Pengembangan Sistem Bioremediasi	23
Gambar 8. Desain Ke-1 Teknologi Aquaponic tampak samping	25
Gambar 9. Desain Ke-1 Teknologi Aquaponic tampak atas	25
Gambar 10. Desain ke-2 Teknologi Aquaponic tampak samping	27
Gambar 11. Desain Ke-2 Teknologi Aquaponic tampak atas	27
Gambar 12. Instalasi Aquaponic berdasarkan Desain ke-2 hasil pengembangan	28



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Teknologi Aquaponic Dalam Urban Farming**

Urban Farming adalah suatu aktivitas pertanian yang dilakukan di dalam atau di sekitar perkotaan dengan memanfaatkan lahan sempit guna memenuhi kebutuhan sayuran dan buah segar sehari-hari bagi masyarakat di perkotaan. Hogson (2011) menyatakan bahwa urban farming adalah rantai industri yang memproduksi, memproses dan menjual makanan dan energi untuk memenuhi kebutuhan konsumen kota. Dalam US Environmental Protection Agency (2011) disebutkan bahwa urban farming merupakan bagian dari sistem pangan lokal di mana makanan dibudidayakan dan diproduksi di daerah perkotaan dan dipasarkan kepada konsumen di daerah perkotaan itu juga.

Haletky dan Taylor (2006) berpendapat bahwa pertanian kota adalah salah satu komponen kunci pembangunan sistem pangan masyarakat yang berkelanjutan dan jika dirancang secara tepat akan dapat meringankan permasalahan kerawanan pangan. Selanjutnya Kurniasih (2015) menyatakan bahwa urban farming dapat meningkatkan ketahanan pangan melalui perbaikan ketersediaan dan mengurangi pengeluaran pangan rumah tangga.

Salah satu model urban farming yang sering digunakan di berbagai kota antara lain adalah aquaponik. Aquaponic merupakan teknologi yang mengintegrasikan budidaya ikan secara akuakultur dan budidaya tanaman secara hidroponik dalam satu sistem yang saling menguntungkan. Aquaponic mendasarkan diri pada konsep ekologi, di mana pada ekosistem alami terdapat hubungan timbal balik yang saling menguntungkan antara ikan dan tanaman (Sastro, 2006). Budidaya ikan dan tanaman secara terintegrasi ini dapat menghasilkan panen yang jauh lebih tinggi dibanding budidaya ikan dan tanaman secara terpisah (Limbu *et al*, 2016; Babatunde *et al.*, 2019).

Teknologi Aquaponic merupakan teknologi yang sangat ramah lingkungan karena dapat memanfaatkan air dan nutrisi tanaman secara efektif. Hal ini disebabkan karena dalam teknologi aquaponic, air digunakan secara bersama antara subsistem akuakultur dan subsistem hidroponik. Penggunaan air secara bersama ini akan memungkinkan tanaman untuk memanfaatkan komponen nutrisi yang berasal dari



kotoran ikan untuk kebutuhan pertumbuhannya sekaligus mengembalikan mutu air menjadi baik kembali sehingga tidak berbahaya bagi ikan (Wongkiew *et al.*, 2017). Dengan demikian, ikan dan tanaman dapat dibudidayakan di daerah dengan kondisi air terbatas.

## **B. Sejarah dan Perkembangan Teknologi Aquaponic**

Konsep pemanfaatan feses ikan sebagai pupuk untuk tanaman telah ada ribuan tahun yang lalu, di mana hal ini mulai berkembang di peradaban awal di Asia dan Amerika Selatan. Sejarah mencatat bahwa sistem ini telah dikembangkan sejak zaman Aztec yang dinamakan Chinampas. Saat itu berkembang aquaponic sederhana dengan cara menumbuhkan tanaman di atas pulau buatan di danau dangkal dan material organik dan limbah perkotaan dijadikan media tanam.

Selanjutnya aquaponic mulai berkembang beberapa negara dengan model dan pendekatan yang disesuaikan dengan tujuan dan sumberdaya yang ada di masing-masing wilayah atau negara. Model-model tersebut antara lain North Carolina University System, Spareneo System, Freshwater Institute System, Cabbage Hill System, Miscellaneous System dan beberapa sistem lainnya. Model-model sistem aquaponic yang telah dikembangkan di luar negeri pada umumnya dikembangkan secara massal di suatu lahan atau rumah kaca dalam suatu kegiatan bisnis budidaya tanaman (khususnya sayuran) dan ikan skala ekonomi. Tercatat beberapa negara yang telah menggunakan system aquaponic, seperti Thailand, Malaysia, China Selatan, Amerika Serikat, Kanada dan Australia. Negara-negara ini mempopularkan sistem Aquaponic dalam skala besar dan juga skala kecil dengan berbagai variasi jenis hewan akuatik dan tanaman yang sesuai dengan sistem yang digunakan.

Perkembangan teknologi aquaponic modern dimulai pada tahun 1970-an, dimana aquaponic mulai digunakan sebagai proses penyedia pangan yang modern. Tahun 1980an dan 1990an terjadi kemajuan dalam perancangan sistem, biofiltrasi dan identifikasi rasio ikan-tanaman yang optimal dan pengembangan sistem tertutup yang memungkinkan daur ulang akumulasi air dan nutrisi untuk pertumbuhan tanaman. Selanjutnya James Rakocy telah memprakarsai penelitian dan pengembangan aquaponic melalui karyanya di University of the Virgin Islands (Amerika Serikat). Rakocy telah mengembangkan rasio dan perhitungan vital

untuk memaksimalkan produksi ikan dan sayuran dalam kondisi ekosistem yang seimbang. Penelitian peningkatan produksi aquaponic juga dilakukan oleh Wilson Lennard di Australia, Nick Savidov di Kanada dan Mohammad Abdus Salam dari Universitas Pertanian Bangladesh.

Penelitian tentang aquaponic dimulai oleh Universitas Virgin Island sejak tahun 1971, penelitian berawal dari sulitnya memelihara ikan air tawar dan sayuran di pulau Semiarid, Australia. Hasil penelitian tersebut kemudian digunakan sebagai dasar pada sistem aquaponic untuk tujuan komersil, namun upaya pengembangan sistem ini masih mengalami banyak kendala, baru pada tahun 1980-an sistem aquaponic mulai berkembang luas (Rakocy, 1997). Sampai tahun 1980-an, seluruh usaha dalam menggabungkan akuakultur dan hidroponik tidak semuanya berhasil, namun beragam inovasi yang dilakukan telah mengubah teknologi aquaponic menjadi salah satu sistem untuk memproduksi bahan makanan (Diver 2006). Karena aquaponic hemat energi, mencegah keluarnya limbah ke lingkungan, menghasilkan pupuk organik untuk tanaman (lebih baik dari bahan kimia), menggunakan kembali air limbah melalui biofiltrasi dan menjamin produksi bahan makanan melalui multi-kultur, membuat aquaponic pantas dikatakan salah satu model *green technology* (Wahap *et al.* 2010).

Pada beberapa tahun terakhir, aquaponic mulai dikembangkan secara pesat di luar negeri. Model dan pendekatan yang digunakan umumnya disesuaikan dengan tujuan dan sumberdaya yang ada di masing-masing wilayah atau negara. Model-model tersebut antara lain *North Carolina University System*, *Spareneo System*, *Freshwater Institute System*, *Cabbage Hill System*, dan *Miscellaneous System*.

Di Amerika pengembangan sistem aquaponic dapat dibagi menjadi dua golongan. Pertama adalah golongan pengembangan secara massal di suatu lahan atau rumah kaca dalam suatu kegiatan bisnis budidaya tanaman khususnya sayuran dan ikan skala ekonomi. Kedua adalah pengembangan skala pekarangan di rumah tangga dalam ukuran dan luasan yang terbatas atau kecil (Mini Aquaponic) yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan sayuran dan ikan di tingkat rumah tangga dan atau hanya sekedar menyalurkan hobi bernuansa estetika sebagaimana peran tanaman hias di pekarangan.

Berbeda dengan di luar negeri, pengembangan aquaponic di Indonesia masih sangat terbatas. Belum banyak model, sistem atau teknologi yang tersedia dan atau

diterapkan di Indonesia. Demikian juga dengan pelakunya, baik swasta, petani, masyarakat atau komunitas pencinta pertanian yang menerapkan teknologi budidaya demikian masih terbilang terbatas.

## **BAB II**

### **TEKNOLOGI AQUAPONIC**

#### **A. Prinsip Teknologi Aquaponic**

Prinsip teknologi aquaponic adalah penggabungan antara teknik budidaya perikanan tradisional dalam kolam atau akuakultur dengan teknik budidaya tanaman secara hidroponik menjadi satu kesatuan dalam sistem yang saling menguntungkan (Rakocy *et al.*, 2006). Diver (2006), juga menyatakan bahwa aquaponic adalah kombinasi budidaya dengan teknik akuakultur dan hidroponik untuk memelihara ikan dan tanaman dalam satu sistem yang saling berkaitan.

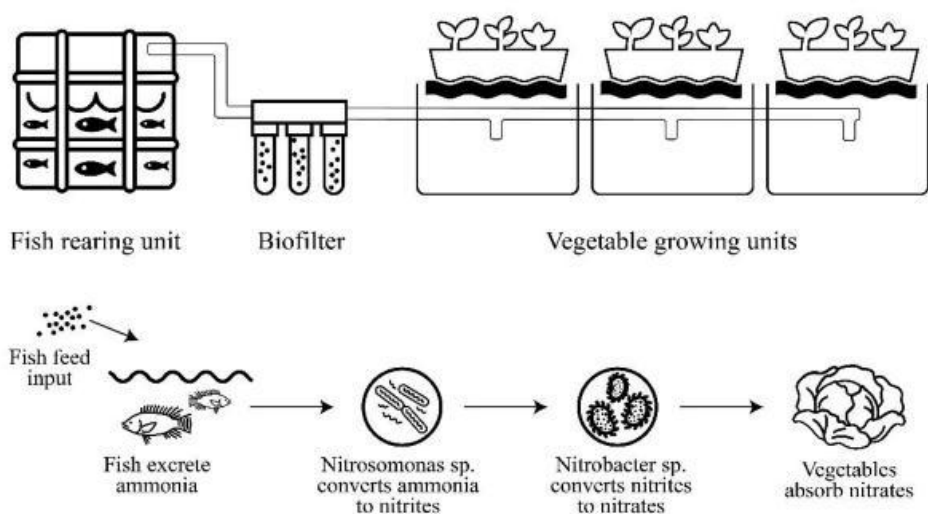
Sistem aquaponik terdiri atas dua subsistem utama, yaitu subsistem akuakultur (budidaya ikan) dan subsistem hidroponik (budidaya sayuran). Kedua subsistem tersebut saling berhubungan dan saling mempengaruhi. Pertumbuhan tanaman dalam subsistem hidroponik sangat tergantung pada kandungan nutrisi yang berasal dari subsistem akuakultur. Demikian juga sebaliknya, pertumbuhan ikan yang dibesarkan pada subsistem akuakultur sangat tergantung dengan kemampuan filtrasi atau penyaringan kotoran dan sisa pakan pada subsistem hidroponik. Interaksi antara ikan dan tanaman menghasilkan lingkungan yang ideal untuk tumbuh sehingga lebih produktif dari metode tradisional (Rakocy *et al.*, 2006). Integrasi budidaya ikan dan tanaman dalam sistem aquaponic ini juga akan meningkatkan hasil dan keberagaman produk sehingga akan menyediakan akses pada makanan yang sehat dan meningkatkan ketahanan pangan lokal (Diver, 2006).

Secara garis besar, sistem kerja aquaponic sangat sederhana. Limbah dari subsistem budidaya ikan menyediakan nutrisi bagi subsistem budidaya tanaman. Air beserta kotoran yang berasal dari budidaya ikan disalurkan kepada tanaman karena mengandung banyak nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Tanaman akan menyerap nutrisi yang berasal dari air dan kotoran ikan tadi. Sebagai gantinya, tanaman akan memberikan air bersih kepada ikan melalui air yang sudah tersaring oleh tanaman.

Dalam budidaya ikan, limbah kotoran berupa feses dan sisa pakan akan tertumpuk di dalam kolam. Limbah kotoran dan sisa pakan ini bersifat toksik bagi ikan, sehingga akan menghambat laju pertumbuhan bahkan dapat mematikan ikan budidaya. Namun demikian, limbah ini sangat bermanfaat bagi tanaman karena mengandung banyak unsur hara. Limbah yang toksik bagi ikan, tetapi kaya unsur hara

bagi tanaman tersebut selanjutnya disirkulasi menuju subsistem hidroponik yang ditanami berbagai jenis tanaman. Tanaman budidaya akan menyerap hara yang terkandung dalam air limbah, sehingga air menjadi bersih kembali. Selanjutnya, air yang telah menjadi bersih diresirkulasi kembali ke dalam kolam (Rakocy *et al.*, 2006; Diver, 2006).

Jenis-jenis ikan air tawar yang dapat tumbuh dengan baik pada sistem aquaponic adalah jenis ikan air tawar yang tahan terhadap padat tebar tinggi (Rackocy *et al.* 2006). Beberapa jenis ikan yang telah berhasil dibudidayakan menggunakan sistem aquaponic adalah lele (*Catfish*), rainbow trout, mas (*Common carp*), koi, mas koki dan barramundi (*Asian sea bass*). Adapun tanaman yang digunakan dalam sistem aquaponic berupa tanaman sayur (bayam, kemangi, kangkung) dan tanaman buah (tomat, mentimun, paprika). Media tanam yang digunakan dalam sistem aquaponic sama dengan cara bertanam hidroponik, yaitu dengan menggunakan batu apung, pasir, sabut kelapa, batu kerikil dan *nutrient film* (Ecolife, 2011).



Gambar 1. Prinsip kerja aquaponic

## B. Komponen-komponen dalam Aquaponic

Komponen utama dari sistem aquaponic adalah subsistem akuakultur dan subsistem hidroponik. Namun demikian, secara lengkap sistem aquaponic terdiri atas beberapa komponen yang melengkapi dua subsistem utama (Rakocy *et al.*, 2006). Komponen tersebut adalah:

### 1. Subsistem akuakultur

Subsistem akuakultur adalah subsistem di mana budidaya ikan dilakukan.

Budidaya ikan ini dilakukan di dalam kolam pemeliharaan. Dalam sistem aquaponic, kolam sebagai tempat budidaya ikan dapat berupa kolam/bak semen ataupun kolam terpal, baik berbentuk persegi empat ataupun bundar. Masing-masing jenis kolam memiliki kelebihan dan kekurangan. Sedangkan ukuran kolam sangat fleksibel, disesuaikan dengan lahan yang tersedia.

## 2. Filter mekanik

Filter mekanik merupakan filter yang berfungsi sebagai penangkap dan pemisah limbah padat sisa pakan dan feses ikan budidaya. Filter mekanik dapat terbuat dari tong plastik yang diisi dengan media filter. Media filter dapat berupa zeolit, pasir, dacron, atau kombinasi dari beberapa media.

## 3. Filter biologik atau Biofilter

Biofilter merupakan filter yang berfungsi sebagai tempat bakteri nitrifikasi tumbuh dan mengkonversi amonia menjadi nitrat. Biofilter juga dapat dibuat dari tong plastik yang diisi dengan media tempat bakteri nitrifikasi tumbuh. Media tempat bakteri tumbuh dapat berupa bioball, kaldness K-1, crystal bio, atau pecahan batu karang. Bakteri nitrifikasi dapat diintroduksi ke dalam biofilter agar tumbuh dan berkembang dalam jumlah mencukupi.

## 4. Subsistem hidroponik

Subsistem hidroponik merupakan subsistem di mana budidaya tanaman dilakukan yaitu bagian di mana tanaman tumbuh dengan menyerap kelebihan hara dari air limbah. Subsistem hidroponik dapat menggunakan berbagai macam teknik seperti NFT, DFT, Floating Raf, ataupun growbed yang menggunakan media tanam tertentu.

## 5. Sump tank.

Sump merupakan titik terendah dalam sistem aquaponic di mana aliran air berakumulasi. Adapun sump tank adalah wadah untuk menampung air yang mengalir mengikuti arah sirkulasi dalam sistem aquaponic. Sump tank dapat terbuat dari tong plastik dengan volume yang disesuaikan dengan sistem aquaponic secara keseluruhan.

## 6. Pompa air dan perpipaan

Pompa air dan perpipaan merupakan komponen yang berfungsi untuk menghubungkan subsistem akuakultur dan subsistem hidroponik. Pompa air berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan air dari sump tank menuju subsistem hidroponik atau subsistem

akuakultur. Air dari sump tank yang dipompa akan mengalir melalui instalasi perpipaan menuju subsistem akuakultur dan subsistem hidroponik sesuai dengan arah sirkulasi yang sudah ditentukan, dan selanjutnya kembali lagi ke sump tank akibat gaya gravitasi.

Keenam komponen di atas disatukan menjadi satu kesatuan oleh perpipaan hingga menjadi satu sistem, sehingga aliran air dapat terjadi secara kontinyu dari subsistem akuakultur ke subsistem hidroponik, dan selanjutnya dikembalikan lagi ke subsistem akuakultur, demikian seterusnya.

### **C. Keunggulan Teknologi Aquaponic**

Teknologi aquaponic sangat cocok diterapkan dalam praktik pertanian kota atau urban farming karena lebih praktis, hemat air, dan ramah lingkungan. Beberapa keunggulan sistem budidaya dengan teknologi aquaponic menurut Zidni *et al* (2013) dan Pattillo (2017) diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Hemat air, tidak ada air yang dibuang, karena air yang digunakan selalu diresirkulasikan kembali. Kehilangan air hanya sebatas air yang diserap tanaman, serta air yang menguap melalui tanaman dan permukaan kolam. Sehingga dapat diterapkan pada daerah dengan ketersediaan air terbatas.
2. Kualitas air lebih terjaga. Air kotor dari subsistem kolam akan dibersihkan kembali oleh tanaman yang ada dalam subsistem hidroponik, sehingga tidak diperlukan penggantian air dalam jangka waktu yang panjang. Hal ini sesuai dengan prinsip keberlanjutan.
3. Perawatan lebih mudah, hemat tenaga dan waktu. Tidak diperlukan penyirangan maupun penyiraman. Penyiraman tidak diperlukan karena air diresirkulasi terus dari kolam ikan ke sistem tanaman dan kembali ke kolam. Hanya perlu menyalakan listriknya saja untuk menyalakan pompa, tidak perlu memikirkan penyiraman ataupun pemupukan. Tanaman juga terbebas dari hama yang berasal dari tanah.
4. Menghasilkan dua produk sekaligus dari satu unit produksi, yaitu ikan dan sayuran segar yang bersifat organik.
5. Hemat biaya pupuk tanaman. Tanaman yang ditanam tidak memerlukan pupuk kimia. Kebutuhan pupuk dicukupi dari sisa pakan dan kotoran ikan yang telah mengalami dekomposisi.

6. Hemat media tanam. Tanaman tidak memerlukan media tanah. Media tanam dapat berupa batu zeolit, cocopeat, kerikil, pecahan batu bata, arang sekam, dan lain sebagainya.
7. Kondisi ikan dan tanaman budidaya lebih sehat, sehingga angka kematian lebih rendah dan pertumbuhannya menjadi lebih cepat.
8. Produksi sayur dan ikan lebih tinggi. Pada satuan luasan lahan yang sama, dapat menghasilkan sayuran beserta ikan sekaligus dalam jumlah yang banyak. Populasi ikan dan sayur dapat mencapai 300% dari populasi normal pada pertanian dan pemeliharaan ikan secara biasa pada satuan luasan lahan yang sama.
9. Dapat diterapkan di pekarangan sempit skala keluarga. Ukuran aquaponic bisa dibuat cukup kecil, yaitu panjang 140 cm, lebar 100 cm, dan tinggi 90 cm.
10. Memiliki nilai estetika yang sangat baik. Tampilan aquaponic sangat menarik, dapat memperindah pekarangan, dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran baik bagi siswa maupun masyarakat secara umum.

Adapun menurut Ecolife (2011), kelebihan sistem aquaponic dari sistem lainnya adalah sebagai berikut.

1. Sistem aquaponic berjalan dengan prinsip *zero enviromental impact*. Aquaponic dapat menghasilkan ikan berkualitas baik dan tanaman organik yang tidak tercemar oleh pupuk buatan, pestisida maupun herbisida.
2. Sistem aquaponic memanfaatkan air dengan lebih bijak. Sistem ini menggunakan 90% lebih sedikit air daripada menanam tanaman dengan cara konvensional dan menggunakan air 97% lebih sedikit dari sistem akuakultur biasa.
3. Sistem aquaponic bersifat serbaguna dan mudah beradaptasi. Sistem ini dapat dibangun dengan segala ukuran dan cocok untuk berbagai tempat.

Dengan keunggulan di atas, maka aquaponic sangat prospektif untuk dikembangkan di tempat dimana air dan tanahnya terbatas serta mahal, seperti di wilayah perkotaan.

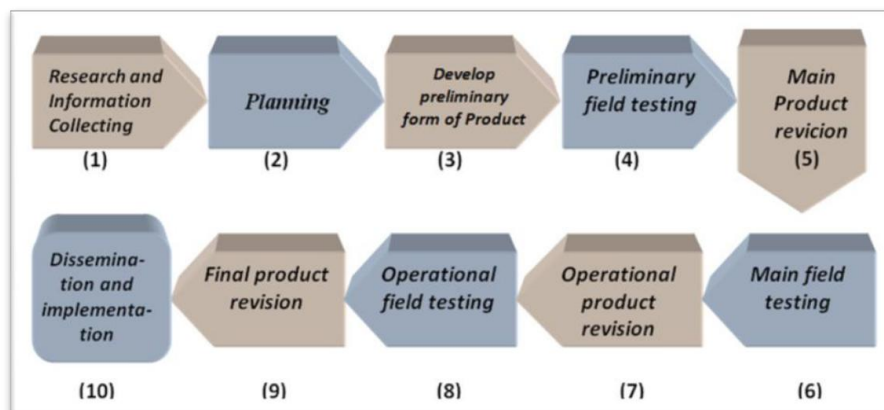




## BAB III METODE PENELITIAN

### A. Desain Pengembangan

Desain untuk mengembangkan teknologi aquaponic berbasis lingkungan di wilayah dengan sumber air terbatas menggunakan model yang dikembangkan Borg dan Gall. Tahapan pengembangan diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Pengembangan Sistem Sirkulasi dan Bioremediasi pada Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan

### B. Tempat dan Waktu Pengembangan

Pengembangan teknologi aquaponic berbasis lingkungan di wilayah dengan sumber air terbatas dilaksanakan di lahan pertanian Dusun Watusari Kelurahan Pakintelan Kecamatan Gunungpati Kota Semarang Jawa Tengah. Pengembangan ini dilaksanakan mulai tahun 2021 hingga tahun 2023.

### C. Prosedur Pengembangan

#### 1. Prosedur Pengembangan Tahun Pertama

##### a. Tahap 1 : *Research and information collecting*

Dalam tahap ini, kegiatan yang dilakukan adalah studi pustaka yang berkaitan dengan sistem sirkulasi, sistem bioremediasi, dan teknologi *aquaponic*.

Hasil dari kegiatan ini adalah diperolehnya profil sistem sirkulasi, sistem bioremediasi, dan teknologi *aquaponic* meliputi keunggulan dan kelemahannya, khususnya yang berkaitan dengan sistem yang hendak ditingkatkan mutunya.

##### b. Tahap 2 : *Planning*

Tahap kedua adalah merancang berbagai kegiatan dan langkah-langkah yang akan ditempuh yaitu merumuskan tujuan khusus yang ingin dicapai; memperkirakan

dana, tenaga, dan waktu yang diperlukan; prosedur kerja, dan bentuk-bentuk partisipasi yang diperlukan.

c. Tahap 3 : *Develop preliminary form of product*

Merupakan tahap rancang bangun desain “*aquaponic modified*” berbasis lingkungan. Tahap ini menghasilkan Desain ke-1 yang meliputi sub-sistem kolam ikan, sub-sistem hidroponik, saluran sirkulasi, dan sub-sistem bioremediasi.

d. Tahap 4 : *Preliminary field testing*

Dilakukan uji coba lapangan secara terbatas. Kegiatan yang dilakukan meliputi pembuatan instalasi “*Aquaponic modified*” berbasis lingkungan, uji coba operasional instalasi, dan uji coba budidaya ikan lele dan tanaman pakchoi secara terbatas.

e. Tahap 5 : *Main product revision*

Merupakan tahap memperbaiki kelemahan-kelemahan yang terdapat pada Desain ke-1 sehingga menghasilkan produk yang lebih baik dan disebut Desain ke-2.

## 2. Prosedur Pengembangan Tahun Kedua

a. Tahap 6 : *Main field testing*

Merupakan tahap uji coba lapangan Desain ke-2 secara lebih luas yaitu eksperimen budidaya ikan Lele, Nila, serta penanaman pakchoi dan selada.

b. Tahap 7 : *Operational product revision*

Merupakan perbaikan ke dua setelah dilakukan uji coba lapangan secara lebih luas. Hasil kegiatan ini adalah Desain ke-3 dari “*Aquaponic modified*” berbasis lingkungan.

## 3. Prosedur Pengembangan Tahun Ketiga

a. Tahap 8 : *Operational field testing*

Dilakukan uji coba lapangan dengan skala besar dari Desain ke-3 yang bertujuan untuk melakukan uji efektivitas “*Aquaponic modified*” berbasis lingkungan pada beberapa jenis ikan serta jenis sayuran.

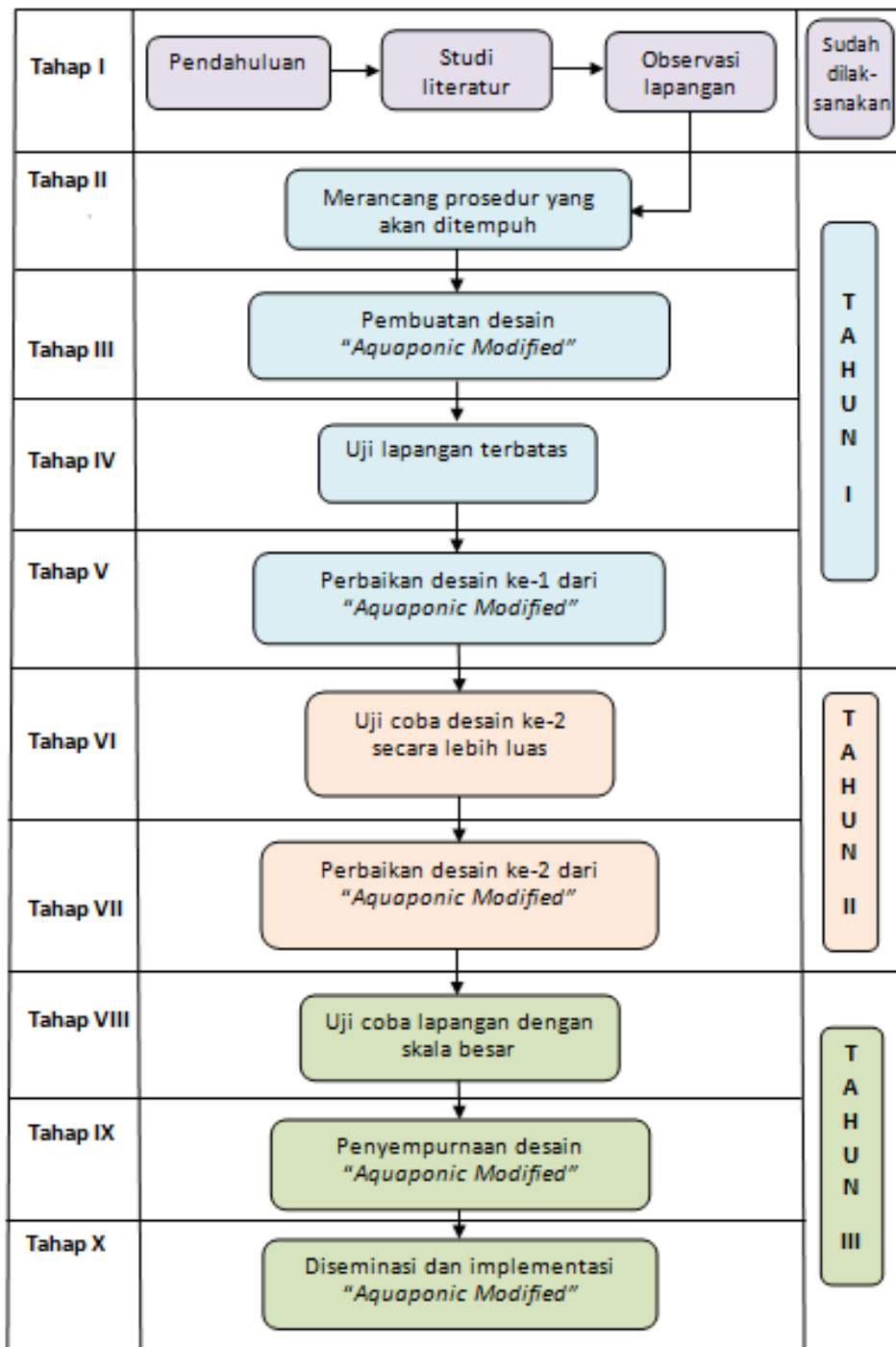
b. Tahap 9 : *Final product revision*

Dilakukan untuk lebih menyempurnakan “*Aquaponic modified*” yang sedang dikembangkan. Pada akhir tahap ini diperoleh desain “*Aquaponic modified*” berbasis lingkungan yang tingkat efektivitasnya dapat dipertanggungjawabkan.

c. Tahap 10 : *Dissemination and implementation*

Dilakukan diseminasi “*Aquaponic modified*” berbasis lingkungan melalui seminar ilmiah dan jurnal ilmiah, agar dapat dikenal, dipahami dan dapat diimplementasikan oleh masyarakat.

Secara garis besar, tahap-tahap penelitian selama tiga tahun disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Pengembangan Sistem Sirkulasi dan Bioremediasi pada Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan

#### **D. Jenis dan Sumber Data**

Jenis data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan eksperimen. Adapun data sekunder diperoleh melalui studi pustaka. Studi pustaka dilakukan melalui penelusuran artikel-artikel ilmiah yang berkaitan dengan teknologi aquaponic.

#### **E. Analisis Data**

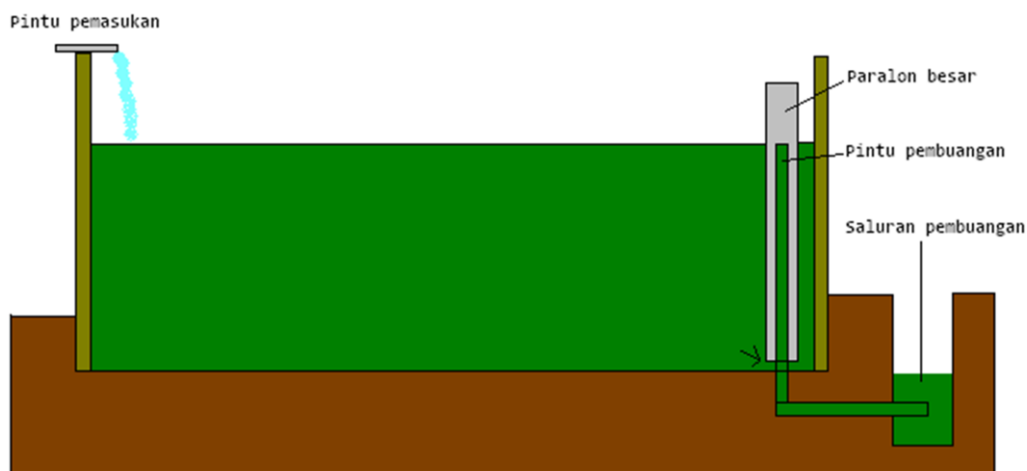
Analisis data dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif ditujukan untuk perbaikan dan pengembangan desain "*Aquaponic modified*" berbasis lingkungan. Analisis kuantitatif ditujukan untuk mengetahui tingkat efektivitas desain "*Aquaponic modified*" berbasis lingkungan dalam memproduksi ikan dan sayuran.

## BAB IV

### RENCANA PENGEMBANGAN SISTEM SIRKULASI DAN BIOREMEDIASI

#### A. Analisis Sistem Sirkulasi dan Bioremediasi

Dari studi pendahuluan yang telah dilakukan diperoleh data bahwa secara umum masyarakat mempergunakan kolam akuakultur berbentuk persegi panjang. Kolam ini ada yang berupa kolam terpal, kolam tanah, maupun kolam semen. Gambaran kolam ini disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kolam ikan yang banyak digunakan masyarakat berbentuk persegi panjang

Berdasarkan analisis prinsip dan komponen-komponen teknologi aquaponik yang secara umum dibuat dan digunakan oleh masyarakat, maka dapat diidentifikasi beberapa kelemahan sebagai berikut.

1. Kolam akuakultur berbentuk persegi panjang, sehingga terdapat sudut-sudut kolam yang akan memerangkap kotoran.
2. Dasar kolam akuakultur berbentuk datar, sehingga kotoran akan tersebar ke semua bagian dasar kolam.
3. Lobang output kolam akuakultur ditempatkan pada salah satu tepi kolam sehingga kotoran tidak bisa keluar bersama aliran air.
4. Air mengalami sirkulasi secara keseluruhan (100%) tanpa ada filter mekanik sehingga limbah padat yang ada ikut tersirkulasi terus menerus.
5. Air mengalami sirkulasi secara keseluruhan (100%), sudah ada filter mekanik, tetapi instalasi menjadi lebih rumit dan perlu perawatan filter.

6. Tidak ada sistem bioremediasi secara khusus, atau jika ada kinerjanya kurang memadai.

## B. Rencana Pengembangan Sistem Sirkulasi Dan Sistem Bioremediasi

Kelemahan-kelemahan di atas harus diperbaiki untuk meningkatkan kinerja instalasi aquaponic, sehingga diperlukan pengembangan teknologi aquaponic pada sistem sirkulasi dan sistem bioremediasi. Rencana pengembangan tersebut dijelaskan pada Tabel 01.

Tabel 01. Kelemahan, Rencana Pengembangan, dan Tujuan Pengembangan Teknologi Aquaponic

No.	Kelemahan Sistem Akuaponik secara umum	Rencana Pengembangan yang akan dilakukan	Tujuan Pengembangan
1.	Kolam akuakultur berbentuk persegi panjang, sehingga terdapat sudut-sudut kolam yang akan memerangkap kotoran.	Dikembangkan kolam akuakultur berbentuk bundar, sehingga tidak ada sudut-sudut kolam yang dapat memerangkap kotoran.	Mencegah terkumpulnya kotoran pada sudut-sudut kolam.
2.	Dasar kolam akuakultur berbentuk datar, sehingga kotoran akan tersebar ke semua bagian dasar kolam.	Dikembangkan kolam akuakultur berbentuk bundar dengan dasar berbentuk corong, sehingga kotoran akan terkumpul pada bagian tengah dasar kolam.	Mempermudah pengumpulan kotoran pada bagian tengah dasar kolam.
3.	Lobang output kolam akuakultur ditempatkan pada salah satu tepi kolam sehingga kotoran tidak bisa keluar bersama aliran air.	Dikembangkan output kolam akuakultur pada bagian tengah dasar kolam yang berbentuk corong.	Mempermudah pembuangan kotoran melalui aliran singkat output kolam.
4.	Air mengalami sirkulasi secara keseluruhan (100%) tanpa ada filter mekanik sehingga limbah padat yang ada ikut tersirkulasi terus menerus.	Dikembangkan sistem sirkulasi yang dapat menjebak kotoran sehingga limbah padat tidak ikut tersirkulasi. Selanjutnya limbah padat dibuang melalui mekanisme pembuangan sedikit air secara periodik.	Menjebak dan membuang limbah padat dari dalam air sehingga kualitas air lebih terjaga.
5.	Air mengalami sirkulasi secara keseluruhan (100%), sudah ada filter mekanik, tetapi instalasi menjadi lebih rumit dan perlu	Dikembangkan sistem sirkulasi yang tidak menggunakan filter mekanik, tetapi kualitas air tetap terjaga.	Menyederhanakan sistem akuaponik. Sistem akuaponik menjadi tidak rumit karena tidak menggunakan filter

	perawatan filter.		mekanik.
6.	Tidak ada sistem bioremediasi secara khusus, atau jika ada kinerjanya kurang memadai.	Dikembangkan sistem bioremediasi secara khusus, dipasang dalam jumlah memadai dengan media bioball dan penambahan mikroorganisme dekomposer.	Proses bioremediasi air menjadi lebih efisien dan efektif, sehingga mampu menyediakan hara bagi tanaman budidaya, dan mampu menjaga kualitas air.

Berdasarkan kelemahan, rencana pengembangan dan tujuan pengembangan sistem aquaponic, maka dilakukan pengembangan pada sistem sirkulasi dan sistem bioremediasi. Hasil dari pengembangan tersebut berupa desain teknologi aquaponic baru yang efektif digunakan di wilayah dengan sumber air terbatas. Pengembangan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Kolam akuakultur meliputi bentuk kolam, bentuk dasar kolam, input air, dan output air.
2. Ruang penjematan dan pembuangan kotoran padat.
3. Tabung bioreaktor meliputi bentuk, susunan, dan isi tabung.

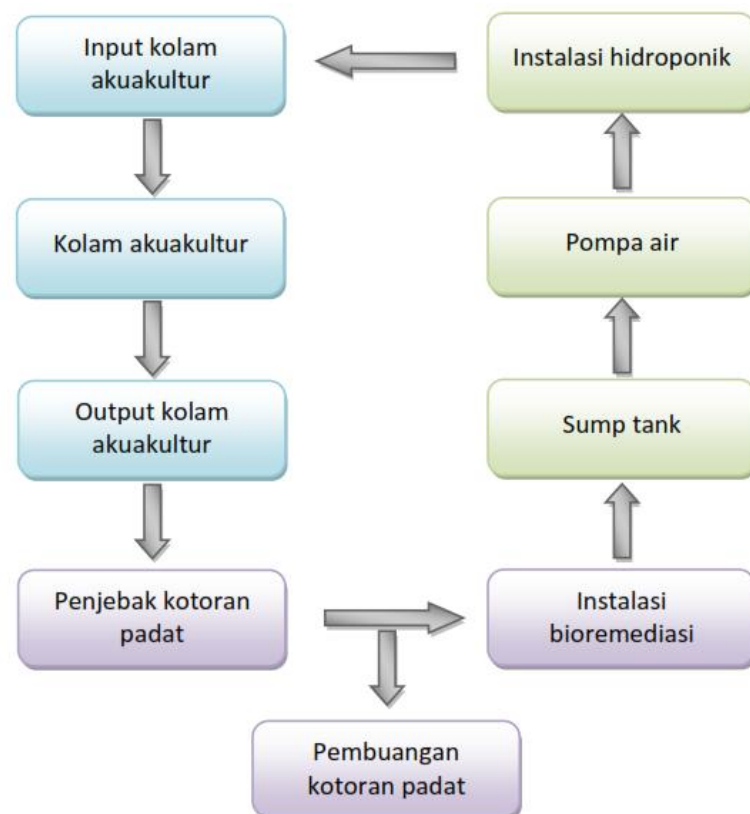




## BAB V PENGEMBANGAN SISTEM SIRKULASI

### A. Pengembangan Sistem Sirkulasi Aquaponic

Pengembangan sistem sirkulasi aquaponic meliputi bentuk kolam, bentuk dasar kolam, arah aliran input kolam, ruang penjebak kotoran padat, dan kran pembuangan kotoran padat. Adapun pengembangan sistem sirkulasi tersebut adalah sebagai berikut. Air masuk ke dalam kolam akuakultur melalui pipa input kolam. Setelah beberapa waktu, air dari dalam kolam akan keluar melalui output kolam. Air yang keluar dari output kolam selanjutnya masuk ke dalam ruang penjebak kotoran padat. Dari ruang penjebak kotoran, air akan mengalir secara vertikal menuju instalasi bioremediasi dengan meninggalkan kotoran padat dalam ruang penjebak. Setelah terjadi nitrifikasi dalam instalasi bioremediasi, air selanjutnya masuk ke dalam sump tank. Sirkulasi air dari input kolam hingga sampai sump tank semuanya mengandalkan gaya gravitasi. Selanjutnya dari sump tank air akan dipompa menuju instalasi hidroponik. Dari instalasi hidroponik air akan kembali ke kolam melalui input kolam dengan bantuan gaya gravitasi. Bagan sistem sirkulasi ini secara jelas disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagan Sistem Sirkulasi pada Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan

Penjelasan dari tiap-tiap komponen dalam sistem sirkulasi aquaponic di atas adalah sebagai berikut.

#### 1. Input Kolam Akuakultur.

Sistem sirkulasi dimulai dari input kolam akuakultur. Input kolam berasal dari instalasi hidroponik yang mengalir masuk ke dalam kolam akibat gravitasi bumi. Air dari instalasi hidroponik dialirkan ke arah kanan dari permukaan air kolam akuakultur. Akibatnya terjadi gaya dorong yang mendorong air kolam ke arah kanan. Dorongan aliran ini mengakibatkan air kolam berputar dari kanan ke arah kiri berlawanan dengan arah jarum jam. Perputaran air yang terus menerus akan menimbulkan gaya sentrifugal sehingga kotoran padat yang ada dalam kolam akan terkumpul pada bagian tengah dasar kolam.

#### 2. Kolam Akuakultur.

Kolam akuakultur berbentuk bundar sehingga tidak ada sudut-sudut yang dapat memerangkap kotoran padat. Di dalam kolam bundar ini, air akan berputar terus berlawanan dengan arah jarum jam. Akibatnya kotoran padat akan mudah terpengaruh gaya sentrifugal dan mengumpul pada bagian tengah dasar kolam.

Dasar kolam bundar dibuat berbentuk corong sehingga kotoran padat tidak tersebar ke seluruh dasar kolam. Bentuk corong ini akan mempermudah kotoran padat terkumpul pada dasar kolam bagian tengah akibat gaya sentrifugal dan gaya gravitasi.

#### 3. Output Kolam Akuakultur.

Output kolam ditempatkan tepat pada bagian tengah dasar kolam paling bawah yang berbentuk corong. Posisi ini akan mempermudah keluarnya kotoran padat mengikuti aliran air sirkulasi.

#### 4. Penjebak Kotoran Padat.

Penjebak kotoran padat berupa pipa horizontal yang menghubungkan output dengan kran pembuangan. Penjebak ini berfungsi untuk menjebak kotoran padat yang berasal dari kolam akuakultur. Kotoran padat dari kolam akuakultur tidak dapat mengikuti aliran sirkulasi vertikal karena melawan gaya gravitasi. Akibatnya kotoran padat akan masuk ke ruang penjebak. Kotoran padat dalam penjebak selanjutnya dibuang dengan cara membuka kran pembuangan dengan periode waktu tertentu.

#### 5. Instalasi Bioremediasi

Setelah keluar dari kolam, air selanjutnya mengikuti sirkulasi menuju instalasi bioremediasi. Instalasi bioremediasi ini berfungsi sebagai tempat untuk mengubah amoniak yang banyak terkandung dalam air menjadi nitrat yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman.

#### 6. Sump Tank

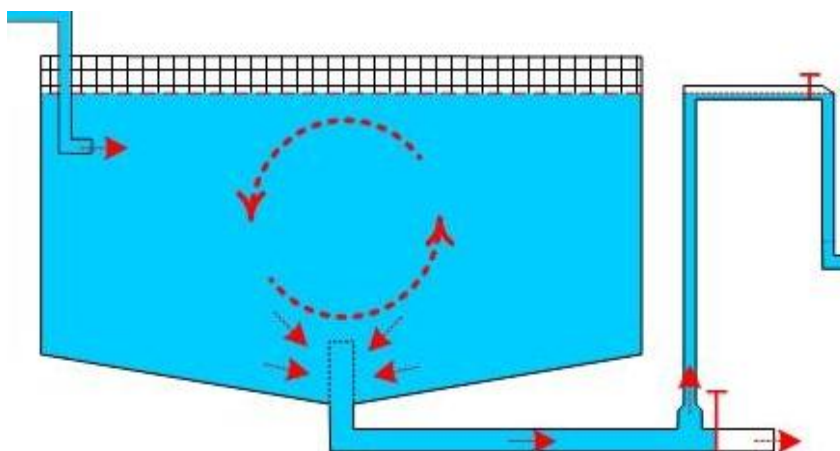
Sump tank merupakan tempat terendah dari sistem sirkulasi aquaponic. Sump tank berupa bak air yang berfungsi untuk menampung air sirkulasi setelah melewati instalasi bioremediasi.

#### 7. Pompa Air

Pompa air diletakkan di dalam sump tank. Pompa ini berfungsi untuk memompa air dari sump tank menuju instalasi hidroponik, sehingga air tidak berhenti pada sump tank melainkan terus bersirkulasi.

#### 8. Instalasi Hidroponik

Instalasi hidroponik merupakan tempat untuk menanam tanaman budidaya. Instalasi hidroponik dapat berupa pipa paralon atau talang paralon untuk hidroponik sistem NFT dan DFT. Instalasi hidroponik juga dapat berupa bak air untuk sistem rakit apung atau sistem pasang surut. Air dari sump tank akan dipompa menuju instalasi hidroponik dan menjadi sumber air dan nutrisi bagi tanaman budidaya. Selanjutnya air dari instalasi hidroponik akan mengalir masuk ke input kolam akuakultur akibat gaya gravitasi.



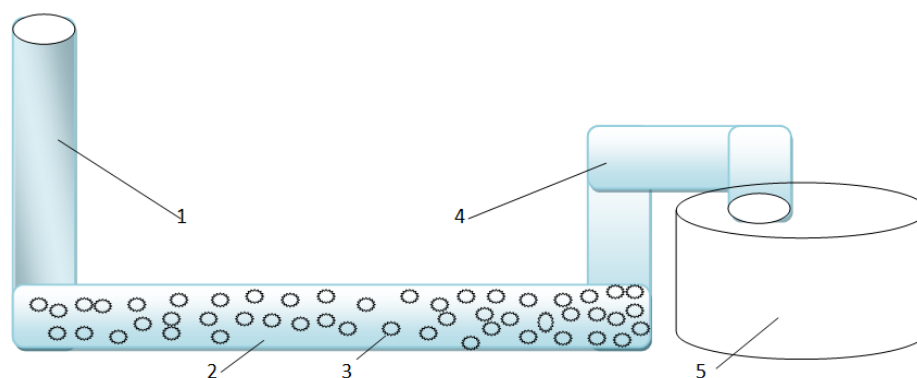
Gambar 6. Pengembangan bentuk kolam akuakultur



## BAB VI PENGEMBANGAN SISTEM BIOREMEDIASI

### A. Pengembangan Sistem Bioremediasi Aquaponic

Pengembangan sistem bioremediasi kolam meliputi bahan dan komponen penyusun sistem bioremediasi. Bahan utama sistem bioremediasi berupa pipa PVC dengan diameter 5 inchi dan bioball sebagai isi dari bioreaktor. Sistem bioremediasi ini terdiri atas tabung input, tabung bioreaktor, dan tabung output. Tabung bioreaktor dapat disusun secara seri, atau disusun secara paralel. Tabung bioreaktor diisi dengan bioball hingga penuh. Bagan sistem sirkulasi ini secara jelas disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Bagan Pengembangan Sistem Bioremediasi

Keterangan :

- 1 : Tabung input
- 2 : Tabung bioreaktor
- 3 : Bioball
- 4 : Tabung output
- 5 : Sump tank

Penjelasan dari tiap-tiap komponen dalam sistem bioremediasi aquaponic di atas adalah sebagai berikut.

#### 1. Tabung Input Bioreaktor.

Sistem bioremediasi dimulai dari tabung input air yang berasal dari kolam akuakultur. Air kolam ini mengandung banyak kotoran ikan terutama amoniak. Tabung input bioreaktor terbuat dari pipa PVC 5 diameter inchi. Tabung input berdiri vertikal dengan tinggi 70 cm. Tabung input berfungsi sebagai tempat masuknya air dari kolam akuakultur dan sebagai tempat penampungan air kolam sebelum masuk ke tabung bioreaktor.

## 2. Tabung Bioreaktor.

Tabung input akan bersambungan dengan tabung bioreaktor. Tabung bioreaktor juga terbuat dari pipa PVC 5 diameter inchi, diletakkan di permukaan tanah secara horizontal dengan panjang tabung 200 cm. Tabung bioreaktor diisi bioball hingga penuh. Bioball ini berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme dekomposer yang akan melakukan proses dekomposisi limbah organik yang berasal dari kolam akuakultur.

## 3. Tabung Output Bioreaktor.

Tabung bioreaktor akan menyambung ke tabung output bioreaktor. Tabung output bioreaktor juga terbuat dari pipa PVC 5 diameter inchi, diletakkan secara vertikal dengan tinggi tabung 45 cm. Tabung output bioreaktor berfungsi untuk mengalirkan air kolam yang telah mengalami dekomposisi masuk ke sump tank.

### **B. Cara Kerja Sistem Bioremediasi**

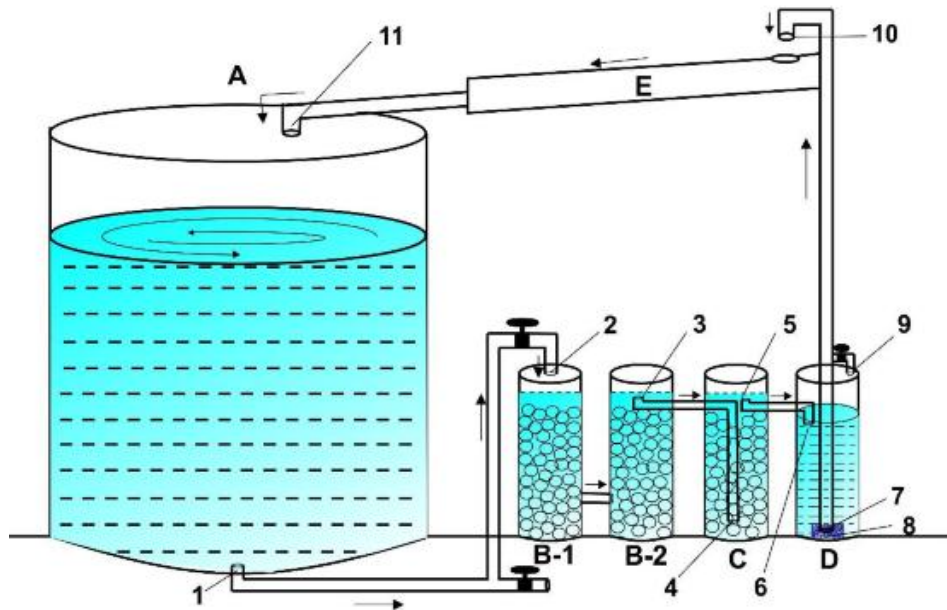
Cara kerja sistem bioremediasi tersebut adalah sebagai berikut. Air dari kolam akuakultur yang banyak mengandung limbah organik terlarut berupa sisa pakan dan kotoran ikan, akan diterima tabung input. Selanjutnya air akan diteruskan ke tabung bioreaktor yang berisi bioball. Di dalam bioball ini terdapat jutaan mikroorganisme dekomposer, terutama mikroorganisme yang berperan dalam proses Nitrifikasi. Limbah organik yang terlarut dalam air kolam akan mengalir di sepanjang tabung bioreaktor dan melewati bioball yang penuh dengan mikroorganisme dekomposer. Ketika air mengalir melewati bioball inilah mikroorganisme dekomposer bekerja untuk merombak limbah organik yang larut dalam air menjadi bahan anorganik sederhana, sehingga air menjadi bersih kembali.

Proses utama yang terjadi adalah proses nitrifikasi yaitu perombakan amoniak menjadi nitrit, dan selanjutnya nitrit diubah menjadi nitrat. Proses ini dimana air yang mengandung limbah organik beracun dibersihkan menjadi tidak beracun kembali disebut proses bioremediasi. Setelah air mengalami bioremediasi dan menjadi bersih, selanjutnya air akan dialirkan ke tabung output dan selanjutnya akan diteruskan ke sump tank.

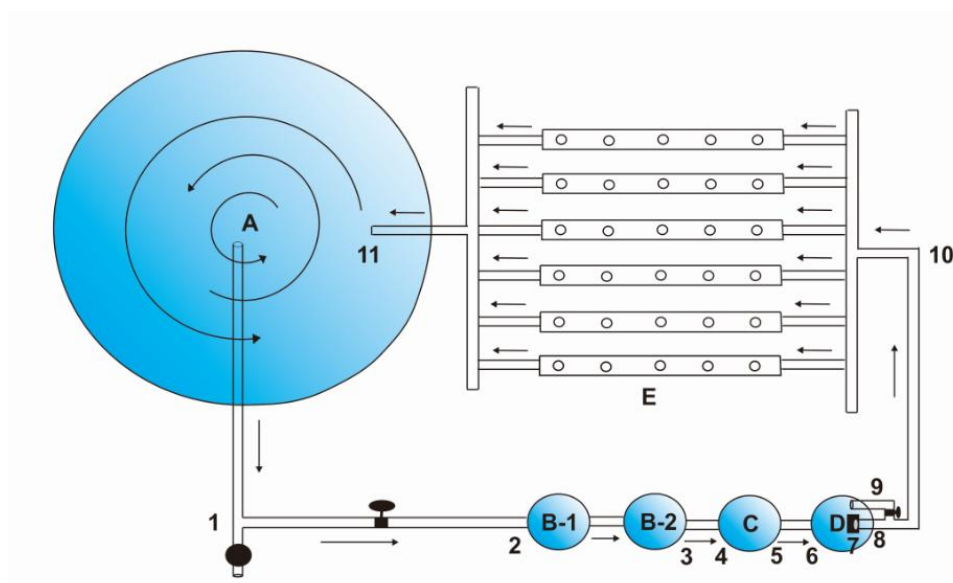
## BAB VII DESAIN TEKNOLOGI AQUAPONIC BERBASIS LINGKUNGAN

### A. Desain Ke-1 Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan

Berdasarkan perencanaan yang sudah ditetapkan, maka disusunlah desain Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan seperti pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Desain Ke-1 Teknologi Aquaponic tampak samping



Gambar 9. Desain Ke-1 Teknologi Aquaponic tampak atas



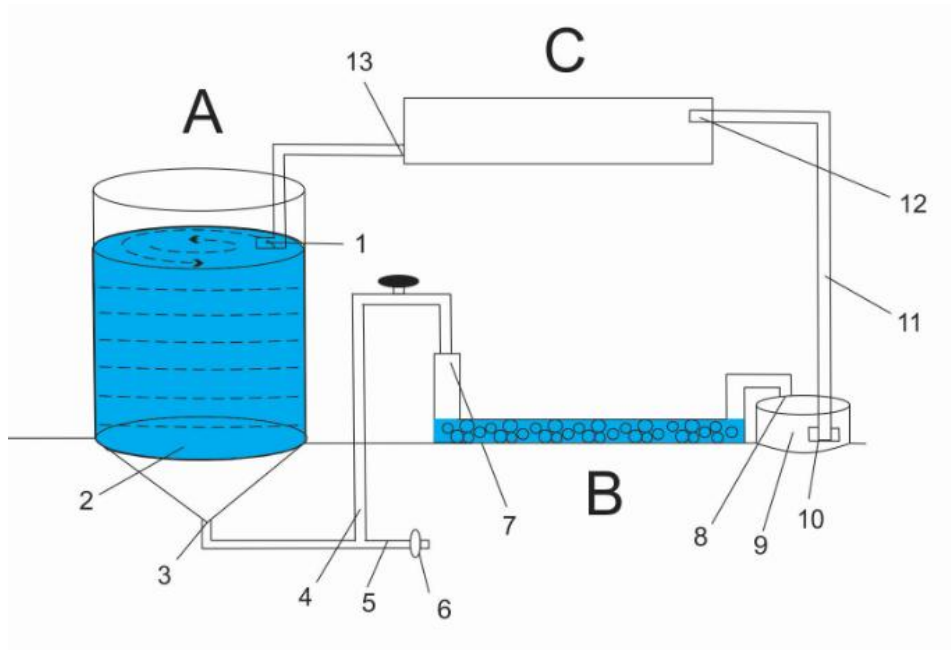
Keterangan :

A	: Kolam ikan	4	: Input Reaktor Bioremediasi III
B1	: Reaktor Bioremediasi I	5	: Output Reaktor Bioremediasi III
B2	: Reaktor Bioremediasi II	6	: Input penampung air bersih
C	: Reaktor Bioremediasi III	7	: Output penampung air bersih
D	: Penampung air bersih	8	: Pompa air
E	: Instalasi hidroponik	9	: Aliran balik
1	: Output air kolam	10	: Input instalasi hidroponik
2	: Input Reaktor Bioremediasi I	11	: Input kolam ikan
3	: Output Reaktor Bioremediasi II		

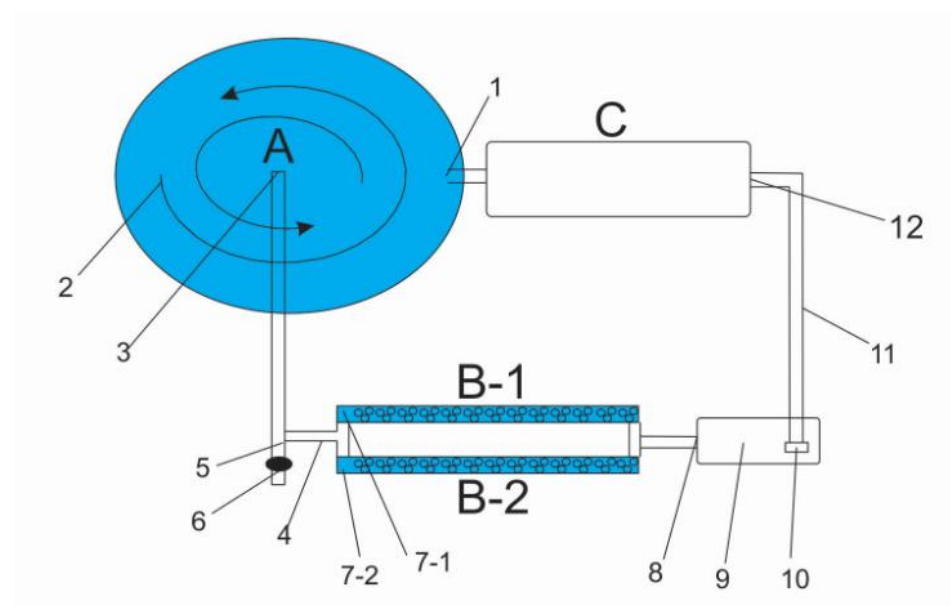
Desain di atas merupakan desain teknologi aquaponic dengan sistem bioremediasi berbentuk tabung yang disusun secara berseri. Dalam pembuatan instalasi aquaponic dengan tabung bioremediasi yang disusun berseri harus diperhatikan diameter pipa penghubung antara tabung bioremediasi satu dengan tabung bioremediasi berikutnya. Hal ini dilakukan agar aliran air dapat berjalan lancar, tidak terhambat pada pipa penghubung.

## **B. Desain Ke-2 Teknologi Aquaponic Berbasis Lingkungan**

Desain teknologi aquaponik ke dua adalah desain dengan tabung bioremediasi yang disusun secara paralel. Pada desain ini tidak ada pipa penghubung antar tabung, melainkan setiap tabung memiliki input dan output sendiri-sendiri. Dengan demikian tidak ada penghambat aliran air sehingga air dapat bersirkulasi dengan lancar. Desain teknologi aquaponic dengan tabung bioremediasi yang disusun secara paralel disajikan pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Desain ke-2 Teknologi Aquaponic tampak samping



Gambar 11. Desain Ke-2 Teknologi Aquaponic tampak atas

**Keterangan :**

- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| A : Kolam ikan                   | 6 : Kran pembuangan              |
| B : Reaktor Bioremediasi         | 7 : input Reaktor Bioremediasi   |
| C : Instalasi hidroponik         | 8 : Output Reaktor Bioremediasi  |
| 1 : Input kolam                  | 9 : Sump tank                    |
| 2 : Dasar kolam                  | 10 : Pompa air                   |
| 3 : Output kolam                 | 11 : Perpipaan                   |
| 4 : Aliran vertikal              | 12 : Input instalasi hidroponik  |
| 5 : Ruang penjebak kotoran padat | 13 : Output instalasi hidroponik |

### C. Instalasi Aquaponic

Desain aquaponic pada Gambar 10 dan 11, digunakan sebagai contoh acuan dalam merakit instalasi aquaponic berbasis lingkungan. Instalasi aquaponic berbasis lingkungan ini disajikan pada Gambar 12 di bawah.



Gambar 12. Instalasi Aquaponic berdasarkan Desain ke-2 hasil pengembangan

## **BAB VIII PENUTUP**

Teknologi aquaponic berbasis lingkungan di wilayah dengan sumber air terbatas merupakan teknologi tepat guna dengan karakteristik sederhana, tidak rumit, biaya rendah, dapat menggunakan bahan-bahan setempat yang mudah diperoleh, dan ramah lingkungan serta dapat diterima dan diterapkan oleh masyarakat untuk meningkatkan produksi ikan dan sayuran, baik secara kuantitatif maupun kualitatif.

Teknologi ini mampu menjawab permasalahan-permasalahan masyarakat yang ingin mempraktikkan urban farming namun terkendala dengan lahan yang semakin sempit dan ketersediaan air yang semakin sedikit. Melalui penerapan teknologi ini, diharapkan masyarakat mampu memproduksi ikan dan sayuran sehat, berkualitas, aman, tersedia sepanjang tahun, dan dalam jumlah memadai sesuai dengan kebutuhan yang semakin banyak. Dengan terpenuhinya ikan dan sayuran sehat, maka ketahanan pangan nasional secara umum juga meningkat. Teknologi ini juga diharapkan mampu meningkatkan taraf hidup masyarakat menuju masyarakat mandiri, cerdas dan sejahtera.

## DAFTAR PUSTAKA

- Babatunde TA., Ibrahim K., Abdulkarim B., Wagini NH and Usman SA. 2019. Co-production and biomass yield of amaranthus (*Amarathushybridus*) and tilapia (*Oreochromisniloticus*) in gravel-based substrate filter aquaponic. *International J. of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 8: 255-261.
- Diver S. 2006. Aquaponic-integration hydroponic with aquaculture. National Centre of Appropriate Technology. *Department of Agriculture's Rural Bussiness Cooperative Service*.
- Ecolife Foundation. 2011. *Introduction to Village Aquaponics*. Ecolife, 324 State Place, Escondido, C A 92029.
- Haletky, N. and O. Taylor. 2006. *Urban Agriculture as a Solution to Food Insecurity: West Oakland and People's Grocery*. Urban Agriculture in West Oakland.
- Hogson, K., Campbell, M.C., & Bailkey, M. (2011). *Investing in Healthy, Sustainable Places Through Urban Agriculture*. Funders' Network for Smart Growth and Livable Communities (pp.1-16).
- Kurniasih, M. 2015. Implementasi Program Urban Farming Sebagai Strategi Pembangunan Ketahanan Pangan Perkotaan (Studi Di Kelurahan Made, Kecamatan Sambikerep, Kota Surabaya). *Jurnal Administrasi Publik*, Vol.3. No.3.
- Limbu S., Amon S., Lamtane H and Kische MA. 2016. Fish polyculture system integrated with vegetable farming improves yield and economic benefits of small-scale farmers. *Aquaculture Research*. 48(7). 3631-3644. DOI:10.1111/are.13188.
- Pattillo, D. A. (2017) 'An Overview of Aquaponic Systems : Hydroponic Components', *Tevchnicval Bulletin*, pp. 1–10.
- Rakocy JE. 1997. *Tilapia Aquaculture in the Americas*, 258. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.
- Rakocy, J.E., M.P Masser, and T.M. Losordo. 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics-Integrating Fish And Plant Culture. *Southern Ragon Aquaculture Center. Publication*. No. 454
- Sastro, Y. 2016. *Teknologi Akuaponik Mendukung Pengembangan Urban Farming*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, pp. 26-27.
- US Environmental Protection Agency. (2011). *Urban Farm Business Plan Handbook*. Chicago: CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Wahap, N., Estim A., Kian A.Y.S., S. Senoodan S., Mustafa: *Producing Organik Fish and Mint in an Aquaponic System*. Borneo Marine Research Institue, Sabah, Malaysia. 2010.

- Wongkiew, S., Popp, B. N., Kim, H. Khanal, S. K. 2017. Fate of Nitrogen in Floating-Raft Aquaponic Systems Using Natural Abundance Nitrogen Isotopic Compositions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 125 : 24-32.
- Zidni I. *et al.* (2013) 'Pengaruh Padat Tebar Terhadap Pertumbuhan Benih Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*) dalam Sistem Akuaponik', *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 4(4), pp. 315-324.

**Penerbit LPPM**  
Universitas PGRI Semarang

