



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENGGUNAAN SISTEM AKUAPONIK DAN
PENAMBAHAN *CLARIFIER* DALAM MENGONTROL
STABILITAS KONSENTRASI NITROGEN ANORGANIK DAN
TSS (*TOTAL SUSPENDED SOLID*) PADA SISTEM
AKUAKULTUR IKAN NILA**

SKRIPSI

DEWI SEPTANTY WIDYANINGRUM

1106000395

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2015**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFFECT OF USING AQUAPONIC SYSTEM AND
ADDITIONAL CLARIFIER IN CONTROLLING STABILITY OF
INORGANIC NITROGEN AND TSS (TOTAL SUSPENDED
SOLID) CONCENTRATION ON TILAPIA FISH
AQUACULTURE**

FINAL REPORT

DEWI SEPTANTY WIDYANINGRUM

1106000395

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JUNE 2015**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENGGUNAAN SISTEM AKUAPONIK DAN
PENAMBAHAN *CLARIFIER* DALAM MENGONTROL
STABILITAS KONSENTRASI NITROGEN ANORGANIK DAN
TSS (*TOTAL SUSPENDED SOLID*) PADA SISTEM
AKUAKULTUR IKAN NILA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

DEWI SEPTANTY WIDYANINGRUM

1106000395

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2015**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFFECT OF USING AQUAPONIC SYSTEM AND
ADDITIONAL CLARIFIER IN CONTROLLING STABILITY OF
INORGANIC NITROGEN AND TSS (TOTAL SUSPENDED
SOLID) CONCENTRATION ON TILAPIA FISH
AQUACULTURE**

FINAL REPORT

**Proposed as one of the requirement to obtain the Environmental Engineering
Bachelor's Degree**

DEWI SEPTANTY WIDYANINGRUM

1106000395

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JUNE 2015**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Dewi Septanty Widyaningrum

NPM : 1106000395

Tanda Tangan : *Dewi Septanty*

Tanggal : 22 Juni 2015

STATEMENT OF AUTHENTICITY

I declare that this final report of one of my own research,
and all of the references either quoted or cited here
have been mentioned properly

Name : Dewi Septanty Widyaningrum

Student ID : 1106000395

Signature : 

Date : June 22nd, 2015

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Dewi Septanty Widyaningrum
NPM : 1106000395
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Sistem Akuaponik dan Penambahan *Clarifier* dalam Mengontrol Stabilitas Konsentrasi Nitrogen Anorganik dan TSS (*Total Suspended Solid*) pada Sistem Akuakultur Ikan Nila

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Cindy R. Priadi, S.T., M.Sc. ()

Penguji 1 : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA. ()

Penguji 2 : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr. ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 22 Juni 2015

STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report submitted by

Name : Dewi Septanty Widyaningrum
Student Id : 1106000395
Study Program : Environmental Engineering
Thesis Title : Effect of Using Aquaponic System and Additional Clarifier in Controlling Stability of Inorganic Nitrogen and TSS (Total Suspended Solid) Concentration on Tilapia Fish Aquaculture.

Has been successfully defended before the council examiners and was accepted as part of the requirements necessary to obtain a Bachelor of Engineering Degree in Environmental Engineering Program, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia.

BOARD OF EXAMINERS

Advisor : Dr. Cindy R. Priadi, S.T., M.Sc. ()

Examiner 1 : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA. ()

Examiner 2 : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr. ()

Defined in : Depok
Date : June 22nd, 2015

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. “*So verily, with the hardship, there is relief. Verily, with the hardship, there is relief*” Surah Al Insyirah, 94: 5-6.

Skripsi ini memberikan penjabaran mengenai penelitian yang penulis lakukan terkait dengan sistem akuaponik yang menggabungkan antara budidaya ikan nila dan juga sistem hidroponik dengan adanya penambahan unit *clarifier* untuk mengetahui kualitas nitrogen anorganik dan *total suspended solid* (TSS) yang dapat dihasilkan dari penerapan sistem tersebut. Dengan tersusunnya skripsi ini diharapkan dapat memberikan tambahan wawasan baik bagi penulis maupun pembaca yang juga tertarik dengan topik ini.

Skripsi ini dapat tersusun dengan baik karena adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih antara lain kepada:

1. Mama dan Papa, yang selalu mengingatkan, mendukung, menemani, dan selalu berusaha memberikan yang terbaik yang bisa diberikan untuk kesuksesan anak-anaknya. Terima kasih ya Mah, Pah.
2. A Putra, A Keynna, A Ezra, kaka-kaka yang selalu membuat masa-masa pembuatan skripsi ini jadi lebih seru setiap kali berkumpul bersama kalian. Dena, *my little sister*, kesayangan penulis yang kaget pas liat tetehnya nangis ketika sedang berada pada *low point*, yang selalu bikin kangen tapi juga suka nyebelin. Enin yang selalu mendoakan dan membantu berkeburu demi kelancaran penelitian, dan juga kepada seluruh keluarga penulis yang memberikan dukungan dan doa demi kelancaran penulisan skripsi ini.
3. Dr. Cindy R. Priadi, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan penulis masukan, tambahan wawasan, dan *deadline* sehingga penulis menjadi lebih bersemangat untuk menyelesaikan dan membuat

penulis merasa sangat bersyukur dengan adanya ibu sebagai pembimbing skripsi ini.

4. Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA. dan Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr. selaku dosen penguji yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan masukan dan perbaikan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Para dosen dan karyawan Departemen Teknik Sipil yang telah membantu baik secara akademis maupun administratif untuk menyelesaikan skripsi ini, Mbak Fitri yang sudah membantu meyakinkan penulis pada waktu pengajuan sidang seminar bahwa skripsi ini dapat selesai pada waktunya dan tidak perlu diundur.
6. Mbak Licka, selaku laboran di laboratorium teknik lingkungan UI yang membantu penulis selama proses pengecekan kualitas air sehingga penulis dapat memperoleh data-data yang diperlukan.
7. Pak Edi dan Bang Oo yang sudah membantu membuat struktur akuaponik selama beberapa hari hingga akhirnya sistem akuaponik tersebut dapat berjalan dengan baik.
8. Rima Nadhira (TL'11), Diza Rahmania Z (TL'11), Indah Alfira Chairunnisa (TL'11), Mitria Widianingtias (TL'11), Wahyu Kusuma Hidayati (TL'11), Gilang Panatama Aziz (TL'11), Afrizal Citra P (TL'11), yang telah membantu baik secara lahir maupun batin, yang telah memberikan semangat maupun doa, dan membuat masa-masa perkuliahan ini menjadi menyenangkan ketika bersama-sama dengan kalian.
9. BPH IMS FTUI 2013, yang terlalu banyak untuk disebutkan disini, tapi selalu teringat oleh penulis, yang telah berjuang bersama selama masa periodisasi untuk memberikan yang terbaik untuk Teknik Sipil UI, selalu menyenangkan ketika berkumpul bersama kalian. Elzavira Felaza (TL'11) Kabid humas penulis, yang sudah mempercayakan penulis untuk menjadi Wakabidnya dan merasakan masa-masa menyenangkan sebagai keluarga IMS FTUI. Budiasti Wulansari (Ola) (TL'11), teman yang selalu asik untuk diajak berbincang terkait urusan pribadi maupun terkait dengan kehidupan di dunia luar yang lebih menantang. Martha Destri Arsari (TS'11), yang mengizinkan penulis

untuk nebang pulang setiap kali rapat malam dan selalu membawa keceriaan di keluarga IMS FTUI, dan masih banyak lagi teman-teman BPH dengan segala keunikannya masing-masing yang terlalu banyak untuk diceritakan satu persatu.

10. BPH CARTALA FTUI 2014, yang sudah membantu menyebarkan dan memberikan semangat keilmiah di Teknik Sipil UI. Willy Hanugrah Gusti (TS'11), selaku ketua Cartala dengan semangat motivasinya yang tinggi. Zafrazad Adiba (TL'12), selaku Wakabid humas Cartala yang sudah sangat membantu selama masa periodisasi.
11. Keluarga Besar Departemen Teknik Sipil angkatan 2011, yang sudah sangat menginspirasi, menceriakan, memberikan doa, kenyamanan, dan semangat yang akan selalu penulis kenang segala momen-momen kebersamaannya selama perkuliahan. Ratih Dwi Anggraeni (TL'11), teman berpetualang di Clermont-Ferrand, Prancis yang selalu menceriakan dan memberikan semangat sampai akhirnya berhasil terbang bersama kesana. Abdul Aziz N (TS'11), ketua angkatan DTS 2011 yang selalu ingin memberikan yang terbaik untuk angkatan.

Masih banyak lagi ucapan terima kasih kepada pihak-pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, dan tanpa mengurangi rasa terima kasih penulis kepada pihak tersebut. Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini, oleh karena itu kritik dan saran dari pihak-pihak terkait sangat penulis harapkan sebagai sarana evaluasi untuk perkembangan yang lebih baik.

Depok, 2015

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dewi Septanty Widyaningrum
NPM : 1106000395
Program Studi : Teknik Lingkungan
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

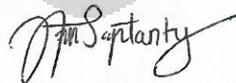
Pengaruh Penggunaan Sistem Akuaponik dan Penambahan *Clarifier* dalam Mengontrol Stabilitas Konsentrasi Nitrogen Anorganik dan TSS (*Total Suspended Solid*) pada Sistem Akuakultur Ikan Nila

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 22 Juni 2015

Yang Menyatakan,



(Dewi Septanty Widyaningrum)

**STATEMENT OF AGREEMENT
OF FINAL REPORT PUBLICATION FOR ACADEMIC PURPOSES**

As a civitas academica of Universitas Indonesia, I, the undersigned:

Name : Dewi Septanty Widyaningrum
Student ID : 1106000395
Study Program : Environmental Engineering
Department : Civil Engineering
Faculty : Engineering
Type of Work : Final Report

for the sake of science development, hereby agree to provide Universitas Indonesia Non-exclusive Royalty Free Right for my scientific work entitled:

**Effect of Using Aquaponic System and Additional Clarifier in Controlling
Stability of Inorganic Nitrogen and TSS (Total Suspended Solid)
Concentration on Tilapia Fish Aquaculture**

together with the entire documents (if necessary). With the **Non-exclusive Royalty Free Right**, Universitas Indonesia has rights to store, convert, manage in the form of database, keep and publish my final report as long as list my name as the author and copyright owner.

I certify that the above statement is true.

Signed at : Depok
Date this : June 22nd, 2015

The Declarer



(Dewi Septanty Widyaningrum)

ABSTRAK

Nama : Dewi Septanty Widyaningrum
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Sistem Akuaponik dan Penambahan *Clarifier* dalam Mengontrol Stabilitas Konsentrasi Nitrogen Anorganik dan TSS (*Total Suspended Solid*) pada Sistem Akuakultur Ikan Nila

Sistem pengolahan air merupakan salah satu faktor yang dibutuhkan untuk meningkatkan produktivitas dalam budidaya perikanan. Penelitian yang dilakukan menunjukkan karakteristik nitrogen anorganik dan TSS dari air limbah budidaya ikan nila dan bagaimana pengaruh penggunaan sistem akuaponik dengan penambahan *clarifier* sebagai sistem pengolahan air. Sistem akuaponik *media based grow bed* dengan tanaman tomat dapat menekan rata-rata amonia, nitrit, nitrat, dan TSS di dalam air menjadi 0,45 mg/L; 2,64 mg/L; 27,5 mg/L; dan 16,4 mg/L. Penambahan unit *clarifier* juga mampu menekan amonia, nitrit, nitrat, dan TSS dengan rata-rata 0,36 mg/L; 3,07 mg/L; 21,0 mg/L dan 11,5 mg/L pada *conical baffle clarifier* serta 0,36 mg/L; 2,93 mg/L; 19,2 mg/L; dan 10,7 mg/L pada *radial flow filter*. Sistem akuaponik dengan *clarifier* jenis *conical baffle* dan *radial flow filter* memiliki kemampuan yang sama dengan sistem akuaponik tanpa *clarifier* (*T-test*, 95%) dalam menjaga stabilitas nitrogen anorganik dan TSS pada kadar yang aman untuk budidaya ikan nila hingga 38 hari. Kualitas air tersebut lebih baik jika dibandingkan dengan budidaya ikan yang tidak menggunakan pengolahan sama sekali yang dapat menghasilkan amonia, nitrit, nitrat, dan TSS di dalam air dengan rata-rata 6,57 mg/L; 56,1 mg/L; 45,2 mg/L; dan 224 mg/L.

Kata Kunci: *Akuaponik, Budidaya Ikan Nila, Conical Baffle Clarifier, Media Based Grow Bed, Radial Flow Filter.*

ABSTRACT

Name : Dewi Septanty Widyaningrum
Study Program : Environmental Engineering
Thesis Title : Effect of Using Aquaponic System and Additional Clarifier in Controlling Stability of Inorganic Nitrogen and TSS (Total Suspended Solid) Concentration on Tilapia Fish Aquaculture.

Water treatment system is one of the factor needed to increase aquaculture productivity. The research shows the characteristic of inorganic nitrogen and TSS from tilapia fish wastewater and how the use of aquaponic system with addition of clarifier as water treatment matters. Aquaponic system media based grow bed with tomato plants can maintain ammonia, nitrite, nitrate, and TSS in water at 0,45 mg/L; 2,64 mg/L; 27,5 mg/L; dan 16,4 mg/L in averages. The addition of clarifier can also maintain ammonia, nitrite, nitrate, and TSS at 0,36 mg/L; 3,07 mg/L; 21,0 mg/L; and 11,5 mg/L in averages by using the conical baffle clarifier and also 0,36 mg/L; 2,93 mg/L; 19,2 mg/L; and 10,7 mg/L in averages by using the radial flow filter. Aquaponic system with conical baffle clarifier and radial flow filter have the same ability with the aquaponic system without a clarifier (T-test, 95%) in maintaining the stability of inorganic nitrogen and TSS in tilapia fish aquaculture for 38 days. This quality of water is better than the aquaculture system without any treatment system that can produce ammonia, nitrite, nitrate, and TSS in water at 6,57 mg/L; 56,1 mg/L; 45,2 mg/L; and 224 mg/L in averages.

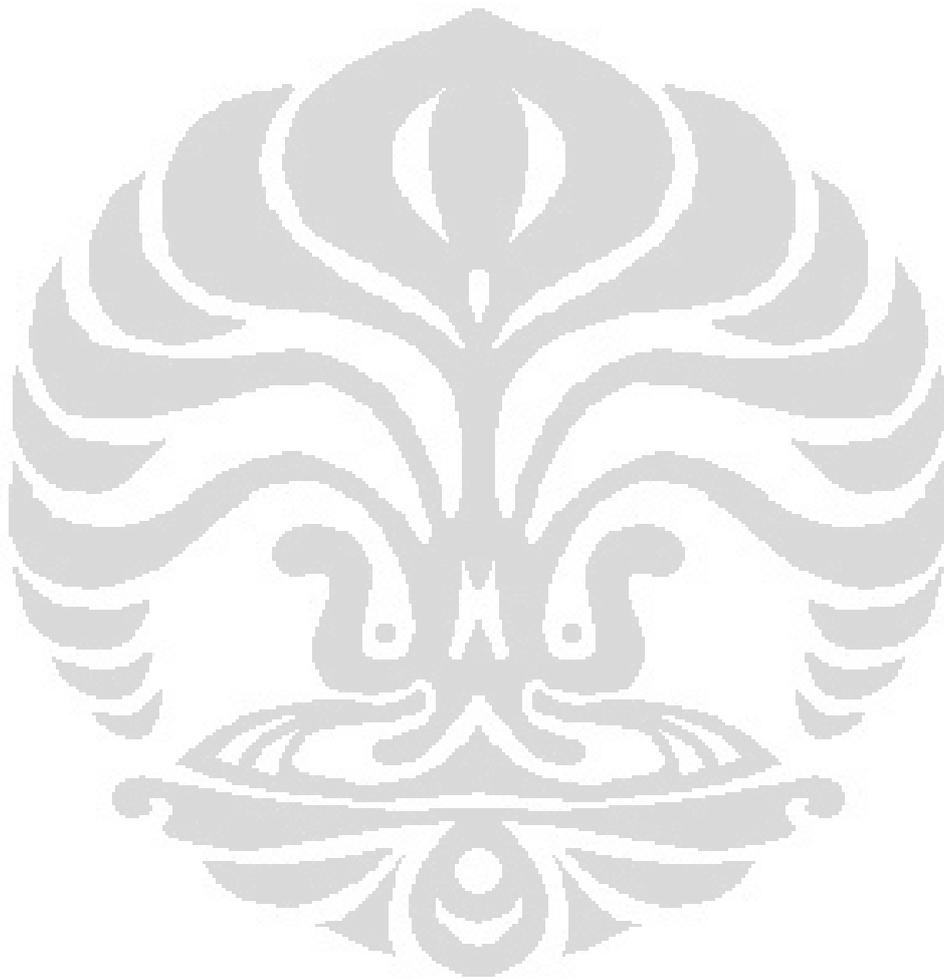
Keyword: Aquaponic, Conical Baffle Clarifier, Media Based Grow, Radial Flow Filter, Tilapia Fish Aquaculture.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	I
STATEMENT OF AUTHENTICITY	II
HALAMAN PENGESAHAN	III
STATEMENT OF LEGITIMATION	IV
KATA PENGANTAR	V
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	VIII
STATEMENT OF AGREEMENT.....	IX
ABSTRAK	X
ABSTRACT	XI
DAFTAR ISI.....	XII
DAFTAR GAMBAR.....	XV
DAFTAR TABEL	XVII
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 MANFAAT PENELITIAN	4
1.5 RUANG LINGKUP	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB 2 STUDI PUSTAKA	7
2.1 KONDISI PERIKANAN DI INDONESIA	7
2.1.1 Budidaya Ikan Air Tawar	10
2.2 KUALITAS AIR PERIKANAN	19
2.2.1 Parameter Kualitas Air Budidaya Perikanan	21
2.2.2 Karakteristik Air Limbah Perikanan.....	23
2.2.3 Standar Baku Mutu Air Perikanan.....	24
2.2.4 Nitrogen pada Kolam Budidaya Ikan Air Tawar.....	25
2.3 AKUAPONIK.....	29
2.3.1 Implementasi dan Penelitian Terdahulu Tentang Sistem Akuaponik	32
2.3.2 Sistem Resirkulasi Akuakultur (<i>Recirculated Aquaculture System</i>)	46

2.3.3	Sistem Hidroponik	48
2.3.4	Pembentukan Biofilter	58
2.3.5	Sistem Pemompaan, Perpipaian, dan <i>Flood and Drain</i> dengan <i>Auto-Siphon</i>	58
2.3.6	Sistem <i>Clarifier</i>	60
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		66
3.1	FOKUSAN PENELITIAN DAN PERCOBAAN	66
3.2	WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN	66
3.3	PERSIAPAN PERCOBAAN	68
3.4	DESAIN/PERANCANGAN SISTEM AKUAPONIK.....	69
3.4.1	Desain Sistem Akuakultur	69
3.4.2	Desain Unit Clarifier.....	71
3.4.3	Desain Auto-Siphon.....	74
3.4.4	Desain Sistem Hidroponik	76
3.4.5	Desain Keseluruhan Sistem Akuaponik	78
3.5	KERANGKA KERJA	80
3.6	VARIABEL PENELITIAN.....	82
3.7	PENGAMBILAN DAN PENGECEKAN SAMPEL.....	82
3.8	ANALISIS DATA.....	84
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS		87
4.1	HASIL PENGUJIAN PARAMETER KUALITAS AIR	87
4.1.1	Perbandingan Nitrogen Anorganik (Amonia, Nitrit, Nitrat) dan TSS pada Kontrol 1 dengan Kontrol 2.....	88
4.1.2	Perbandingan Nitrogen Anorganik (Amonia, Nitrit, Nitrat) dan TSS pada Kontrol 2 dengan Sistem 1 dan Sistem 2.....	96
4.1.3	Nilai pH, Suhu, dan Oksigen Terlarut	100
4.2	PERKEMBANGAN PERCOBAAN.....	105
4.2.1	Pertumbuhan tanaman.....	105
4.2.2	Perkembangan Ikan.....	108
4.3	EVALUASI SISTEM PERCOBAAN.....	111
4.3.1	Sistem Akuaponik Media Grow Bed vs Penambahan Clarifier	111
4.3.2	Waktu Tinggal Clarifier.....	112
4.3.3	Pengaturan DO sebagai Limiting Factor	112
4.3.4	Perhitungan Bobot Ikan	113
4.3.5	<i>Feed Ratio</i>	114
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		115
5.1	KESIMPULAN	115
5.2	SARAN.....	116
DAFTAR PUSTAKA		118

DAFTAR LAMPIRAN.....	122
LAMPIRAN 1. DATA AMONIA, NITRAT, NITRIT, DAN TSS KESELURUHAN.....	122
LAMPIRAN 2. DATA PH, SUHU, DAN DO KESELURUHAN.....	126
LAMPIRAN 3. TABEL PERHITUNGAN STATISTIK <i>INDEPENDENT T-TEST</i>	135
LAMPIRAN 4. DATA PERTAMBAHAN KETINGGIAN TANAMAN TOMAT.....	141



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Model Kolam Ikan Biasa Tipe Bendungan.....	12
Gambar 2-2. Model Kolam Pelimpasan Tipe Seri Tanpa Saluran Pemasukan dan dengan Saluran Pemasukan	13
Gambar 2-3. Model Model Kolam Pelimpasan Tipe Paralel dengan Satu Kolam dan dengan Dua Seri Kolam.....	13
Gambar 2-4. Model Kolam Air Deras Bentuk Segi Empat dan Bentuk Segitiga	14
Gambar 2-5. Model Budidaya Ikan Terpadu, Mina-Padi dan Longyam	15
Gambar 2-6. Budidaya Ikan Karamba	16
Gambar 2-7. Metabolisme Produk Akhir yang Dilepas dalam Pertumbuhan Ikan..	20
Gambar 2-8. Grafik Hubungan Amonia	26
Gambar 2-9. Siklus Nitrogen pada Kolam Akuakultur.....	27
Gambar 2-10. Siklus Nitrifikasi Bakteri	28
Gambar 2-11. Cara Kerja Sistem Akuaponik	30
Gambar 2-12. Zona dalam <i>Grow Bed</i> Akuaponik	31
Gambar 2-13. Bentuk Sistem Hidroponik Reymann Research.....	32
Gambar 2-14. Layout Sistem Akuaponik Universitas Virgin Island	34
Gambar 2-15. Penelitian dengan Membandingkan Metode Akuaponik, Hidroponik, dan Metode Penanaman Tradisional	40
Gambar 2-16. Desain Penelitian Optimal Hydraulic Loading Rate and Plant Ratio .	41
Gambar 2-17. Skema Sistem Akuaponik dalam Penelitian Rafiee and Saad	44
Gambar 2-18. Contoh NFT System dalam New Zealand Research.....	49
Gambar 2-19. Sistem Nutrient Film Technique	50
Gambar 2-20. <i>Polystyrene Raft</i> dengan Pembenuhan dan Pot.....	51
Gambar 2-21. Contoh Floating Raft.....	51
Gambar 2-22. Sistem Floating Raft	51
Gambar 2-23. Contoh Media <i>Grow Bed</i>	52
Gambar 2-24. Sistem <i>Grow Bed</i>	53
Gambar 2-25. Skema Aliran Air dalam Auto Siphon	59
Gambar 2-26. Komponen Auto Siphon.	60
Gambar 2-27. Conical Clarifier with Baffle	61
Gambar 2-28. <i>Swirl Separator Clarifier</i>	63
Gambar 2-29. Radial Flow Settler Diagram	64
Gambar 2-30. Berbagai Bentuk Penampang pada Tube Settlers	65
Gambar 3-1. Pembibitan Benih Tomat, Kangkung, dan Caisim	68
Gambar 3-2. Pembuatan Struktur untuk Perancangan Sistem Akuaponik	69
Gambar 3-3. Kontainer Volume 63,8 L untuk Reaktor Wadah Ikan	70
Gambar 3-4. Desain <i>Clarifier Conical Baffle</i> dan <i>Clarifier Radial Flow Filter</i>	74
Gambar 3-5. Desain <i>Auto-Siphon</i>	75
Gambar 3-6. Desain Sistem Hidroponik	77

Gambar 3-7. Tampak Samping Rancangan Penelitian Sistem 4.....	79
Gambar 3-8. Desain Sistem Akuaponik pada Kontrol 1, Kontrol 2, Sistem 1 dan Sistem 2	79
Gambar 3-9. Skema Kerja Perancangan Penelitian dengan Variabel Jenis Clarifier Tipe Conical Baffle dan Radial Flow Filter.....	81
Gambar 3-10. Alat-Alat Pengukur Kualitas Air	83
Gambar 4-1. Grafik Kadar Amonia, Nitrit, dan Nitrat.....	90
Gambar 4-2. Grafik Stabilitas Nitrogen Anorganik dan TSS dengan Penggunaan Sistem Akuaponik pada Wadah Ikan Sistem Akuakultur	91
Gambar 4-3. Perbandingan Sampel Air secara Kasat Mata.....	95
Gambar 4-4. Grafik Kondisi pH, Suhu, dan DO (<i>Dissolved Oxygen</i>).....	102
Gambar 4-5. Grafik dan Dokumentasi Pertumbuhan Tanaman Tomat dengan Sistem Akuaponik	106
Gambar 4-6. Perkembangan Produktivitas Ikan	109



DAFTAR TABEL

Tabel 2-1. Volume Produksi Budidaya Perikanan pada Tahun 2008 – 2013	8
Tabel 2-2. Produksi dan Sasaran Perikanan Budidaya Menurut Komoditas Utama pada Tahun 2013	8
Tabel 2-3. Potensi Lahan Budidaya dan Tingkat Pemanfaatannya di Indonesia pada Tahun 2012	9
Tabel 2-4. Konsumsi Ikan Indonesia pada Tahun 2008 – 2013.....	9
Tabel 2-5. Produksi Limbah dari Jenis Ikan yang Berbeda	23
Tabel 2-6. Parameter Air, Sedimen, dan Lokasi dari Kolam Ikan Dangkal di Wilayah Dombes, France	24
Tabel 2-7. Standar Kualitas Air untuk Budidaya Ikan	24
Tabel 2-8. Eksperimen Awal Reymann Aquaponic Research	32
Tabel 2-9. Sistem Desain dalam Penelitian Universitas Virgin Island	34
Tabel 2-10. Kisaran Dinamika Parameter Kualitas Air pada Kolam dan Filter Akuaponik Dataran Tinggi, Sedang, Rendah.....	37
Tabel 2-11. NPK Removal Rates pada Tanaman Tomat, Terong, dan Ketimun.....	38
Tabel 2-12. Nilai Parameter Kualitas Air dalam RAS dengan Variabel HLR.....	42
Tabel 2-13. Persentase Removal Parameter Kualitas Air dan Produksi Tanaman pada RAS dengan Hidroponik Kangkung pada Tujuh Rasio <i>Fish to Plant</i>	43
Tabel 2-14. Perbandingan Metode Hidroponik pada Penelitian Universitas RMIT ..	45
Tabel 2-15. Jenis dan Karakteristik Ikan dalam Akuaponik	47
Tabel 2-16. Jenis Tanaman dalam Sistem Hidroponik	54
Tabel 2-17. Jenis dan Karakteristik Tanaman dalam Sistem Hidroponik.....	54
Tabel 2-18. Jenis dan Karakteristik Media Hidroponik	56
Tabel 3-1. Timeline Kerja Penelitian dan Perancangan.....	67
Tabel 3-2. Standar Kualitas Air Ikan Nila	70
Tabel 3-3. Kebutuhan Wadah Ikan dalam Perancangan	71
Tabel 3-4. Tabel Dimensi Ukuran Clarifier Rancangan	72
Tabel 3-5. Efisiensi Removal Tanaman Uji Berdasarkan Literatur	77
Tabel 3-6. Variabel Penelitian.....	82
Tabel 3-7. Metode Pengecekan Parameter Kualitas Air	83
Tabel 4-1. Debit dan Waktu Tinggal pada Masing-Masing Sistem.....	87
Tabel 4-2. Standar Parameter pH, Suhu, dan Oksigen Terlarut dalam Akuaponik	101

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara maritim memiliki potensi yang sangat besar dalam sektor perikanan yang ditunjang dengan berbagai keanekaragaman spesiesnya. Saat ini diketahui bahwa permintaan terhadap produk perikanan juga meningkat hingga dua kali lipat selama 30 tahun terakhir dan diproyeksikan akan terus meningkat dengan rata-rata 1,5% per tahun sampai dengan tahun 2020 (Fauzi, 2005). Sejalan dengan adanya peningkatan konsumsi ikan per kapita nasional yang kemudian dibuktikan dalam waktu 5 tahun terakhir kemarin menunjukkan peningkatan hingga 4,87% yang lebih besar dari rata-rata maka pemerintah dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) menghendaki Indonesia menjadi produsen produk perikanan terbesar pada tahun 2015 dan mencangkakan peningkatan produksi dari 4,7 juta Ton pada tahun 2009 menjadi 16,8 juta Ton pada tahun 2014 atau meningkat sebesar 353% selama lima tahun (KKP, 2014).

Namun, saat ini diketahui juga bahwa potensi yang dimanfaatkan dalam perikanan (*allowable catch*) hanya mencapai sekitar 80% dari potensi lestari (*Maximum Sustainable Yield/MSY*) yang ada (Adisanjaya, 2011). Pembudidayaan ikan berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Indonesia nomor 02 tahun 2007 adalah kegiatan untuk memelihara, membesarkan, dan atau membiakkan ikan serta memanen hasilnya dalam lingkungan yang terkontrol. Namun, dikarenakan hasil tangkapan dari perairan umum saat ini semakin lama semakin berkurang, sedangkan permintaan yang ada di pasar semakin hari semakin meningkat, maka pembangunan perikanan saat ini lebih mengarahkan pengembangan usaha yang berbasis pada budidaya.

Seiring dengan adanya peningkatan usaha dalam budidaya tersebut maka dibutuhkan integrasi sistem pengolahan yang baik untuk memaksimalkan nilai produksi yang ingin dicapai. Untuk dapat meningkatkan produksi perikanan, faktor-faktor yang perlu mendapat perhatian diantaranya adalah pengelolaan air, saprodi, cara budidaya dan penggunaan pakan (Rahmawati & Hartono, 2013).

Pengelolaan air merupakan salah satu faktor yang paling penting dalam usaha budidaya ikan karena kualitas air yang ada dapat mempengaruhi keberlangsungan produktivitas dan berdampak pula pada lingkungan sekitar. Selain itu dengan regulasi yang semakin berkembang dan mengarah kepada pengurangan dampak pada lingkungan dari proses akuakultur, maka semua produsen akan diminta untuk menggunakan metode budidaya yang intensif untuk dapat mengurangi penggunaan air yang berlebih (Boyd & Tucker, 1998).

Untuk dapat meningkatkan pengelolaan terhadap kualitas air maka dibutuhkan suatu sistem yang dapat secara kontinu memaksimalkan kualitas air pada tingkatan yang baik untuk budidaya ikan dan keberlangsungan produktivitasnya. Dalam penilaian terhadap kualitas air, beberapa karakteristik dalam limbah cair dari budidaya ikan umumnya mengandung polutan berupa *total suspended solids*, amonia, nitrit, nitrat. Selain itu terdapat pula parameter lain yang mempengaruhi keberlangsungan hidup ikan yaitu pH, suhu, dan jumlah oksigen terlarut yang ada pada air tersebut. Parameter-parameter ini harus dijaga agar ikan dapat tetap bertahan hidup pada kondisi dengan kualitas air yang baik.

Akuaponik adalah salah satu sistem yang dapat digunakan untuk menjawab cara untuk meningkatkan pengelolaan terhadap kualitas air budidaya ikan yang menggabungkan sistem resirkulasi akuakultur dengan suatu tanaman hidroponik yang memiliki kemampuan untuk memfilter dan mengurangi kandungan polutan-polutan yang ada dalam limbah cair dari budidaya ikan. Dengan adanya sistem resirkulasi akuakultur, maka penggunaan air yang berlebih dapat diminimalisir karena effluen dari budidaya ikan tersebut akan dikembalikan lagi kedalam sistem dan mengurangi pembuangan air. Selain itu dengan adanya bantuan dari sistem hidroponik yang dapat memfilter kontaminan, air yang diresirkulasikan kembali dapat tetap terjaga kualitasnya untuk keberlangsungan hidup dan produktivitas dalam budidaya ikan. Salah satu sistem hidroponik yang dapat digunakan adalah *media based grow bed* yang menggunakan bantuan media untuk menopang pertumbuhan tanaman dan disaat yang bersamaan mampu menyaring air limbah ikan yang dialirkan kedalamnya (Bernstein, 2011). Tanaman yang digunakan dalam sistem hidroponik dapat bermacam-macam, seperti tanaman buah-buahan maupun sayur-sayuran. Salah satu jenis tanaman

yang sering digunakan adalah tanaman tomat yang membutuhkan nutrisi dalam jumlah yang banyak sehingga diharapkan memiliki kemampuan yang besar dalam menyerap nutrisi dalam effluen limbah cair yang kemudian dimanfaatkan sebagai nutrisi ataupun pupuk bagi tanaman tersebut.

Apabila sistem akuaponik ini digunakan dengan implementasi yang baik maka dapat membantu meningkatkan produktivitas budidaya akuakultur maupun usaha pertanian karena keduanya saling terintegrasi satu sama lain. Berdasarkan hal tersebut maka dibutuhkan suatu penelitian dan perancangan percobaan untuk mensimulasikan sistem akuaponik yang dinilai dapat meningkatkan pengelolaan kualitas air dalam budidaya ikan terlebih untuk menurunkan kandungan polutan seperti *total suspended solids*, amonia, nitrit, dan nitrat dalam kualitas air yang dalam penelitian ini diujicobakan pada budidaya ikan nila. Selain itu untuk dapat mengurangi beban padatan yang dihasilkan dari suatu budidaya ikan, maka digunakan beberapa jenis unit *clarifier* untuk melihat pengaruhnya dalam mereduksi beban *suspended solid* dalam suatu sistem akuaponik. Dengan mengoptimalkan kualitas air dalam sistem akuaponik, maka produktivitas yang dihasilkan juga dapat dimaksimalkan, dan salah satu cara untuk mengoptimalkan kualitas air pada sistem akuaponik yang kecil adalah dengan menghilangkan padatannya (Gary, 2009).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang ada pada latar belakang sebelumnya, maka dapat dihasilkan suatu rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik nitrogen anorganik (amonia, nitrit, nitrat) dan TSS yang dihasilkan dari air limbah budidaya ikan nila dan pengaruh penggunaan sistem akuaponik *media based grow* dengan penambahan *clarifier* terhadap karakteristik tersebut?
2. Bagaimana perbandingan antara *clarifier* jenis *conical baffle* dan *radial flow filter* dalam menurunkan kadar TSS, dan nitrogen anorganik (amonia, nitrit, nitrat)? Bagaimana perbandingannya dengan sistem akuaponik biasa yang tidak menggunakan *clarifier*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian dan perancangan ini antara lain adalah:

1. Mengetahui karakteristik nitrogen anorganik (amonia, nitrit, nitrat) dan TSS yang dihasilkan dari air limbah budidaya ikan nila dan pengaruh penggunaan sistem akuaponik *media based grow* dengan penambahan *clarifier* terhadap karakteristik tersebut..
2. Mengetahui perbandingan antara *clarifier* jenis *conical baffle* dan *radial flow filter* dalam menurunkan kadar TSS dan nitrogen anorganik (amonia, nitrit, nitrat) dan juga perbandingannya dengan sistem akuaponik biasa yang tidak menggunakan *clarifier*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang ingin dihasilkan dari penelitian ini antara lain adalah:

1. Manfaat Akademis

Penelitian dan perancangan ini juga dilakukan untuk menambah pengetahuan dan kemampuan penulis mengenai sistem akuaponik yang saat ini banyak digunakan di negara-negara maju. Selain itu penulis diharapkan dapat mengerti dan menggambarkan dengan baik konsep “*sustainability*” yang ditawarkan dari sistem akuaponik tersebut

2. Manfaat Bagi Pihak yang Terkait

Pihak yang berhubungan dengan sistem budidaya akuakultur dan hidroponik diharapkan dapat menjadikan penelitian ini sebagai referensi dan inovasi untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas budidaya ikan air tawar dan tanaman hidroponik.

3. Manfaat Bagi Masyarakat

Penelitian ini juga diharapkan dapat menambah ketertarikan masyarakat yang gemar melakukan usaha budidaya ikan air tawar

untuk meningkatkan produktivitas dengan menggabungkannya dengan produksi tanaman hidroponik dalam bentuk sistem akuaponik.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi dengan ruang lingkup antara lain yaitu:

1. Air limbah yang akan diteliti adalah air limbah budidaya ikan nila.
2. Waktu penelitian yang digunakan untuk menguji sistem akuaponik ini adalah 1 bulan untuk masa perancangan desain, 1 bulan untuk masa aklimatisasi siklus nitrogen dan 1 minggu untuk pengambilan sampel efisiensi removal yang dapat dilakukan setelah berada pada tahapan stabilisasi siklus nitrogen.
3. Parameter yang diuji pada percobaan ini adalah kandungan TSS, amonia, nitrit, dan nitrat yang dihasilkan dari effluen masing-masing unit yang ada pada sistem akuaponik. Parameter lain yang akan ditinjau dalam percobaan ini sebagai parameter pendukung antara lain adalah suhu, oksigen terlarut dan pH.
4. Sistem akuakultur yang digunakan adalah *Recirculated Aquaculture System* (RAS) untuk ikan nila yang menggunakan bantuan sistem pemompaan untuk meresirkulasikan air dari wadah ikan.
5. Jenis sistem hidroponik yang digunakan adalah *media based grow bed* dan menggunakan media kerikil.
6. Tanaman yang digunakan pada sistem hidroponik akuaponik ini adalah tanaman tomat dengan tanaman cadangan yaitu kangkung dan caisim (sawi hijau) yang berumur 1 bulan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada skripsi ini antara lain tersusun atas:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup dan juga sistematika penulisan yang ada pada skripsi ini.

BAB II STUDI PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai dasar-dasar dalam budidaya ikan air tawar, kualitas atau standar baku mutu air yang diperlukan dalam sistem akuakultur, serta penjelasan mengenai sistem akuaponik dan contoh-contoh implementasi yang sudah dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai lokasi penelitian dan percobaan, kerangka berpikir, alur penelitian, desain sistem akuaponik, parameter uji yang digunakan, dan metode pengukuran dalam penelitian yang akan dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan mengenai hasil dari penelitian yang dilakukan dan juga analisa yang didapatkan terkait dengan hasil yang diperoleh, yaitu analisa kandungan TSS, nitrat, nitrit, dan amonia dari sistem akuaponik dan juga kondisi pH, suhu, dan oksigen terlarut selama penelitian berlangsung. Selain itu dilakukan juga penjabaran terkait dengan perkembangan kondisi tanaman uji dan juga ikan nila.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan mengenai kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2 STUDI PUSTAKA

2.1 Kondisi Perikanan di Indonesia

Perikanan berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Indonesia nomor 02 tahun 2007 adalah semua kegiatan yang berhubungan dengan pemanfaatan sumber daya ikan dan lingkungannya mulai dari praproduksi, produksi, pengolahan sampai dengan pemasaran, yang dilaksanakan dalam suatu sistem bisnis perikanan.

Indonesia sebagai negara maritim memiliki potensi yang baik dalam sektor perikanan yang ditunjang dengan berbagai kekayaan lautnya dan juga keberagaman spesiesnya. Potensi lestari (*maximum sustainable yield / MSY*) sumber daya perikanan tangkap diperkirakan sebesar 6,4 juta ton per tahun, sementara potensi yang dimanfaatkan (*allowable catch*) yaitu sebesar 80% dari MSY yaitu sekitar 5,12 juta ton per tahun (Adisanjaya, 2011). Total produksi perikanan di Indonesia pada tahun 2013 berdasarkan data pada Kelautan dan Perikanan dalam Angka mencapai sebesar 11,08 juta ton (angka sementara 2013) dengan total nilai sebesar Rp 126 triliun (KKP, 2014).

Selain itu data pada Kelautan dan Perikanan dalam Angka tahun 2013 menunjukkan bahwa besaran PDB sub sektor perikanan mengalami peningkatan dari triwulan I sampai dengan III, dengan kenaikan rata-rata mencapai sekitar 6,23% yang menunjukkan adanya kenaikan pendapatan di sektor perikanan dan kelautan secara rata-rata. Pertumbuhan produksi budidaya berdasarkan Kelautan dan Perikanan dalam Angka tahun 2013 meningkat cukup signifikan dalam kurun 5 tahun terakhir yaitu sebesar 8,83%, dimana pertumbuhan jenis budidaya tertinggi terjadi pada budidaya kolam yaitu sebesar 17,39%. Berikut ini merupakan data mengenai volume produksi perikanan budidaya pada tahun 2011-2013 berdasarkan data Kelautan dan Perikanan dalam Angka, 2013:

Tabel 2-1. Volume Produksi Budidaya Perikanan pada Tahun 2008 – 2013

Rincian	Produksi Setiap Tahun (Ton)						Kenaikan Rata-rata (%) 2008-2012
	2008	2009	2010	2011	2012	2013*	
Jumlah	3.855.200	4.708.563	6.277.924	7.928.963	9.675.553	5.198.900	11,50
Budidaya Laut	1.966.022	2.820.083	3.514.702	4.605.827	5.769.737	3.041.912	15,42
Tambak	959.509	907.123	1.416.038	1.602.748	1.756.799	896.886	4,9
Kolam	479.167	554.067	819.809	1.127.127	1.433.820	840.737	17,39
Karamba	75.769	101.771	121.271	131.383	178.367	104.588	11,24
Jaring Apung	263.169	238.606	309.399	375.430	455.012	266.801	4,3
Sawah	111.584	86.913	96.605	86.448	81.818	47.975	-13,64

*) Angka Sementara

Sumber: Kelautan dan Perikanan dalam Angka, 2013

Berdasarkan jumlah produksi yang diperoleh dari tahun ke tahun, pemerintah telah menetapkan sasaran produksi yang harus dicapai dalam perikanan budidaya. Berikut ini merupakan berbagai nilai produksi berdasarkan jenis ikan/spesies dan capaiannya yang dibandingkan dengan sasaran yang telah ditetapkan

Tabel 2-2. Produksi dan Sasaran Perikanan Budidaya Menurut Komoditas Utama pada Tahun 2013

Jenis Ikan	2013*		
	Semester 1 (Ton)	Sasaran (Ton)	Capaian (%)
Jumlah	5.663.641	13.021.800	43
Rumput Laut	3.384.133	7.500.000	45
Udang	320.000	608.000	53
Kerapu	7.357	16.000	46
Kakap	3.425	7.500	46
Bandeng	273.332	604.000	45
Ikan Mas	162.278	325.000	50
Nila	481.949	1.105.000	44
Lele	280.513	670.000	42
Patin	481.453	1.107.000	43
Gurame	39.746	46.600	85
Lainnya	229.456	1.032.700	22

*) Angka Sementara

Sumber: Kelautan dan Perikanan dalam Angka, 2013

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa masih banyak produksi dari berbagai jenis perikanan tersebut yang jauh dari target atau sasaran. Nilai produksi

paling tinggi dicapai pada jenis ikan gurame dengan pencapaian sasaran sebesar 85%. Selain masih belum tercapainya sasaran produksi budidaya ikan, diketahui pula bahwa pemanfaatan lahan budidaya yang ada masih belum maksimal, padahal potensi lahan budidaya yang tersedia masih sangat besar, seperti yang dipaparkan dalam tabel berikut ini

Tabel 2-3. Potensi Lahan Budidaya dan Tingkat Pemanfaatannya di Indonesia pada Tahun 2012

Jenis Budidaya	Potensi ¹⁾	Pemanfaatan ²⁾	Peluang Pengembangan
Tambak	2.963.717	657.346	2.306.371
Kolam	541.100	131.776	409.324
Perairan Umum	158.125	1.798	156.327
Mina Padi	1.536.289	156.193	1.380.096
Laut	12.545.072	178.435	12.366.637

1) Data berdasarkan buku saku statistik perikanan budidaya tahun 2009

2) Data berdasarkan buku statistik perikanan budidaya Indonesia tahun 2012

Sumber: Kelautan dan Perikanan dalam Angka 2013

Permintaan terhadap produk perikanan saat ini juga diketahui meningkat dua kali lipat selama 30 tahun terakhir dan diproyeksikan akan terus meningkat dengan rata-rata 1,5% per tahun sampai tahun 2020 yang akan datang (Fauzi, 2005). Berdasarkan rencana strategis KKP pada tahun 2010-2014, pada tahun 2013 ditargetkan pencapaian rata-rata konsumsi ikan per kapita nasional sebesar 35,14 kg/kapita, dan konsumsi ikan per kapita nasional mengalami peningkatan dari tahun ke tahun yang dalam kurun waktu 5 tahun terakhir diketahui bahwa peningkatan yang terjadi yaitu sebesar 4,87% (KKP, 2014). Berikut ini merupakan data konsumsi ikan di Indonesia pada tahun 2008 – 2013

Tabel 2-4. Konsumsi Ikan Indonesia pada Tahun 2008 – 2013

Tahun	Konsumsi Ikan per Kapita (Kg/Kap/Th)
2008	28
2009	29,08
2010	30,48
2011	32,25
2012	33,89
2013*	35,14

*) Angka Sementara

Sumber: Kelautan dan Perikanan dalam Angka 2013 dan Fitria, 2014

Sejalan dengan kebijakan Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) yang menghendaki Indonesia menjadi produsen produk perikanan terbesar pada tahun 2015, maka Direktorat Jenderal Perikanan budidaya mencanangkan program peningkatan produksi dari 4,7 juta Ton pada tahun 2009 menjadi 16,8 juta Ton pada taun 2014 atau meningkat 353% selama lima tahun (KKP, 2014).

Dari data peningkatan konsumsi dan produksi tersebut dapat dilihat bahwa ikan merupakan salah satu sumber pangan yang penting dan memiliki nilai jual yang tinggi. Seiring dengan peningkatan tersebut maka dibutuhkan integrasi sistem pengolahan yang baik untuk memaksimalkan nilai produksi yang ingin dicapai. Untuk meningkatkan produksi perikanan, faktor-faktor yang perlu mendapat perhatian diantaranya adalah pengelolaan air, saprodi, cara budidaya dan penggunaan pakan (Rahmawati & Hartono, 2013).

2.1.1 Budidaya Ikan Air Tawar

Pembudidayaan ikan berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Indonesia nomor 02 tahun 2007 adalah kegiatan untuk memelihara, membesarkan, dan/atau membiakkan ikan serta memanen hasilnya dalam lingkungan yang terkontrol, termasuk kegiatan yang menggunakan kapal untuk memuat, mengangkut, menyimpan, mendinginkan, menangani, mengolah dan/atau mengawetkannya. Pembangunan perikanan saat ini mengarahkan pengembangan usaha yang berbasis pada budidaya, hal ini dilakukan karena hasil tangkapan dari perairan umum semakin lama semakin berkurang, sedangkan permintaan pasar semakin hari semakin meningkat (Rahmawati & Hartono, 2013).

Sistem budidaya ikan yang diterapkan di Indonesia terdiri atas dua sistem, yaitu budidaya monokultur yang berarti pemeliharaan ikan dari jenis yang sama dan juga polikultur yang berarti pemeliharaan ikan dari jenis yang berbeda terdiri dari dua jenis atau lebih dalam wadah yang sama (Sutandi, 2010). Keuntungan dari monokultur adalah pada sistem ini lebih mudah untuk memberikan makanan tertentu pada ikan karena hanya terdapat satu spesies yang harus dipikirkan dengan asupan makanan yang disesuaikan. Sementara pada sistem polikultur dengan adanya kombinasi dari berbagai jenis ikan yang berbeda dapat

meningkatkan tingkat produksi ikan karena jenis ikan yang berbeda umumnya tidak terlalu rentan terhadap penyakit yang dialami oleh ikan lain yang berbeda (Eer et al, 2004).

Sementara itu, berdasarkan pada produksi per unit volumenya, sistem akuakultur atau budidaya ikan dibagi menjadi tiga jenis umum (Lekang, 2013), yaitu:

1. **Ekstensif akuakultur**, yaitu suatu sistem produksi dengan produksi yang rendah per unit volumenya. Jenis yang dibudidayakan dijaga pada densitas yang rendah dan terdapat input yang minimal dari zat-zat yang penting untuk pertumbuhan ikan serta campur tangan dari manusia. Selain itu teknologi yang rendah dan juga investasi yang rendah per unit volumenya juga merupakan karakteristik dari sistem ini. Budidaya kolam tanpa adanya pemberian pakan secara teratur seperti pada budidaya ikan mas atau ikan hias dan juga ikan yang dibiarkan hidup di danau merupakan salah satu contoh dari tipe budidaya dengan sistem ini.
2. **Intensif akuakultur**, yaitu suatu sistem produksi yang lebih besar dan lebih berkembang penggunaan teknologinya serta pemberian komponen-komponen yang sangat berpengaruh pada pertumbuhan ikan dengan lebih teratur merupakan karakteristik dari sistem ini. Pemberian makanan tambahan, metode pengontrolan penyakit, dan sistem pembenihan yang efektif juga digunakan dalam sistem ini. Namun, umumnya resiko penyakit lebih tinggi pada sistem ini jika dibandingkan pada sistem ekstensif akuakultur, karena ikan dipaksa untuk memberikan kinerja yang maksimal. Budidaya ikan salmon merupakan salah satu contoh dari sistem intensif akuakultur.
3. **Semi-intensif akuakultur**, yaitu merupakan sistem gabungan dari sistem ekstensif dan intensif.

Selain itu, budidaya ikan juga dapat diklasifikasikan dengan bagaimana air disuplai kedalam suatu sistem budidaya. Apabila air digunakan hanya sekali dan mengalir melewati suatu budidaya dan kemudian dibuang atau dialirkan ke area lain, maka sistem tersebut dinamakan *flow-through system*. Sementara apabila air

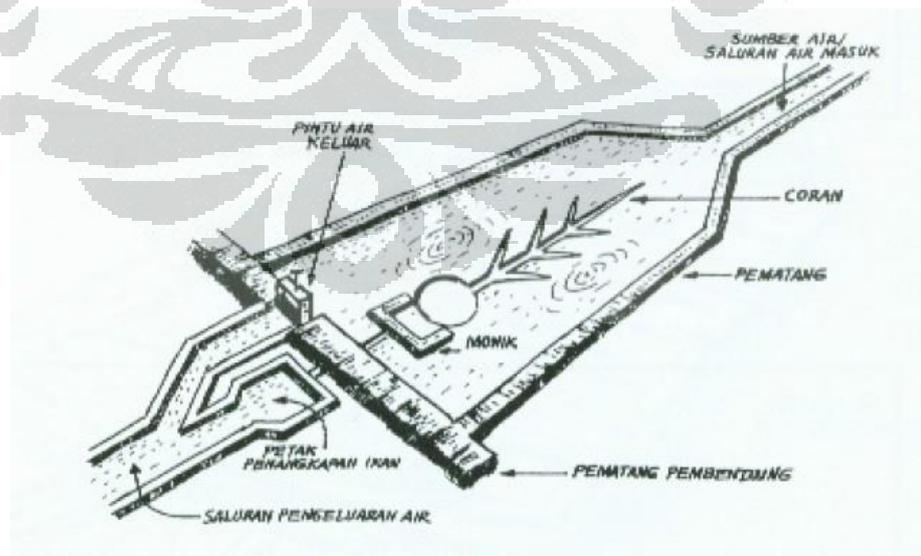
digunakan berulang kali, dengan *outlet* dari air didaur ulang dan air digunakan kembali maka disebut dengan sistem resirkulasi akuakultur atau *recirculating aquaculture system* (RAS) (Lekang, 2013).

Usaha perikanan air tawar pada kolam banyak dilakukan oleh masyarakat terutama di Indonesia yang seringkali diusahakan di pekarangan rumah atau lahan-lahan yang kosong yang kemudian tempat pemeliharaan ikan ini dinamakan bermacam-macam seperti tambak, siwakan, kolam, keramba, dan lainnya (Rasyid, 2010). Berdasarkan jenis kolam air tawarnya, ada beberapa tipe teknik budidaya yang banyak dilakukan petani ikan di Indonesia seperti yang dijelaskan dalam modul tentang Budidaya Ikan Air Tawar yang dibuat oleh Kementerian PU dan Dirjen Sumber Daya Air yang bekerja sama dengan JICA tahun 2006, antara lain yaitu:

1. Budidaya Ikan di Kolam Biasa

Berdasarkan teknik pemanfaatan sumber air, budidaya ikan pada kolam biasa dibedakan menjadi dua jenis kolam ikan, yaitu:

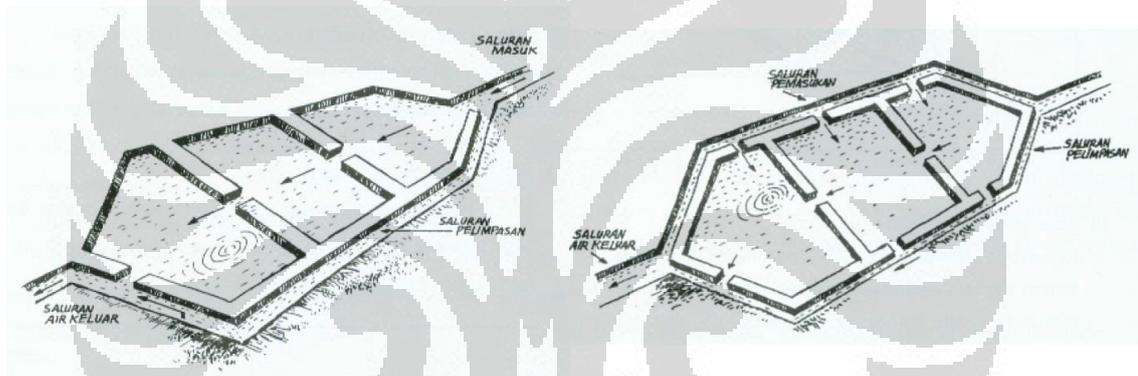
- a. Kolam jenis bendungan, yaitu jenis kolam yang melakukan pembendungan secara total terhadap jalan airnya untuk memberikan air kedalam budidaya ikan. Jenis kolam seperti ini mempunyai resiko kesulitan untuk mengatur air.



Gambar 2-1. Model Kolam Ikan Biasa Tipe Bendungan

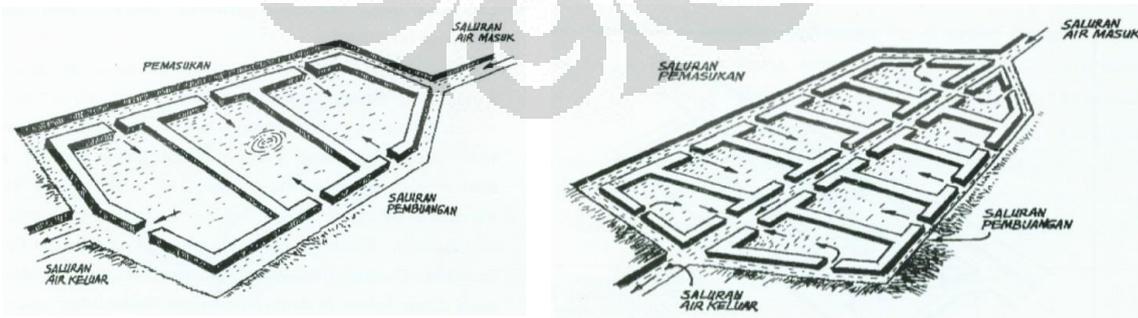
Sumber: Modul Budidaya Ikan Air Tawar, Departemen PU Direktorat Sumber Daya Air dan JICA, 2006

- b. Kolam jenis pelimpasan, jenis kolam ini dibedakan lagi menjadi dua yaitu kolam pelimpasan secara seri, yaitu pengaliran air dari kolam yang satu masuk ke kolam berikutnya yang seringkali dilakukan untuk sumber air yang terbatas dengan model tanpa saluran pemasukan dan dengan saluran pemasukan (Gambar 2.2). Selain itu ada pula kolam pelimpasan secara paralel, yaitu setiap kolam mendapatkan air langsung dari saluran pemasukan dan kelebihan air dibuang melalui saluran pembuangan, sistem ini lebih cocok untuk digunakan pada sumber daya air yang mencukupi. Jenis ini dapat digunakan dengan satu seri kolam untuk satu saluran pemasukan dan satu saluran pembuang, serta dua seri kolam untuk dua saluran pemasukan dan satu saluran pembuangan (Gambar 2.3)



Gambar 2-2. Model Kolam Pelimpasan Tipe Seri Tanpa Saluran Pemasukan (Kiri) dan dengan Saluran Pemasukan (Kanan)

Sumber: Modul Budidaya Ikan Air Tawar, Departemen PU Direktorat Sumber Daya Air dan JICA, 2006

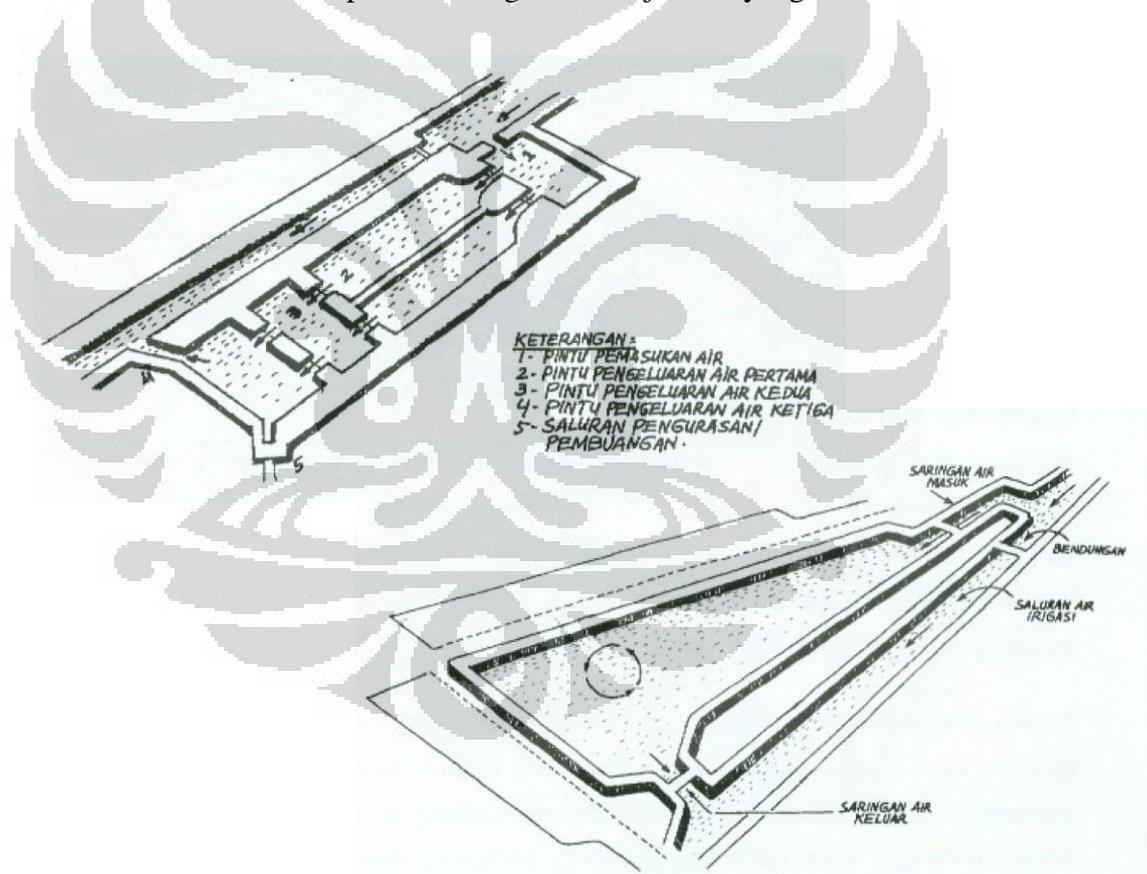


Gambar 2-3. Model Model Kolam Pelimpasan Tipe Paralel dengan Satu Kolam (Kiri) dan dengan Dua Seri Kolam (Kanan)

Sumber: Modul Budidaya Ikan Air Tawar, Departemen PU Direktorat Sumber Daya Air dan JICA, 2006

2. Budidaya Ikan di Kolam Air Deras

Budidaya dengan sistem ini memiliki bentuk kolam segi empat atau segitiga (Gambar 2.4). Pada kolam segi empat, biasanya kolam dibangun secara paralel dengan ukuran sekitar 50 m². Sementara pada kolam segi tiga umumnya memiliki ukuran 50-100 m², dan karena bentuknya tersebut dapat memacu terjadinya perputaran arus yang dapat menguntungkan bagi ikan untuk memakan pakannya. Lokasi kolam jenis ini umumnya dibuat kurang dari 800 m di atas permukaan laut karena umumnya kolam ini digunakan untuk memelihara jenis ikan mas unggul. Budidaya pada kolam air deras dapat membantu mempercepat pertumbuhan ikan, khususnya ikan mas, nila, mujair, dan gurame. Hal ini dapat terjadi karena dalam sistem ini ikan memperoleh oksigen dalam jumlah yang lebih besar.

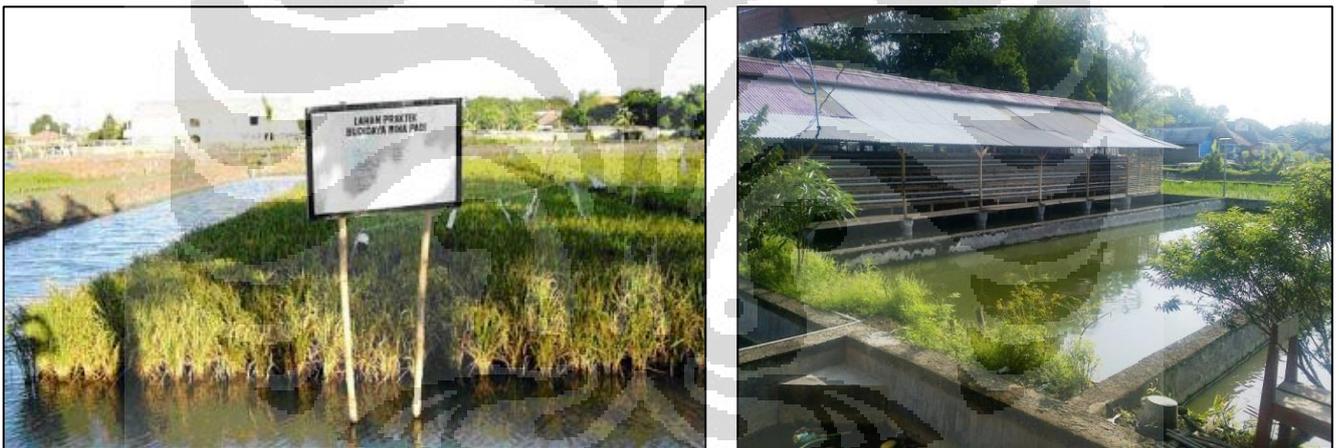


Gambar 2-4. Model Kolam Air Deras Bentuk Segi Empat (Atas) dan Bentuk Segitiga (Bawah)

Sumber: Modul Budidaya Ikan Air Tawar, Departemen PU Direktorat Sumber Daya Air dan JICA, 2006

3. Budidaya Ikan Secara Terpadu

Budidaya ikan secara terpadu adalah sistem budidaya yang menggabungkan dua atau lebih kegiatan usaha tani. Kegiatan usaha tani yang sering dipadukan adalah padi dengan ikan atau sering disebut dengan “mina-padi” (Gambar 2.5). Selain itu contoh budidaya ikan secara terpadu lainnya adalah dengan memelihara ikan dan juga ayam secara bersamaan atau lebih dikenal dengan sistem longyam (balong-ayam). Sistem ini memungkinkan pemeliharaan ayam dalam kandang yang dibuat di atas kolam sehingga sisa pakan ayam yang terbuang dari kandang dapat dimanfaatkan untuk pakan ikan, selain itu kotoran ayam juga dapat digunakan untuk pupuk organik yang dapat digunakan untuk menumbuhkan mikroorganisme yang merupakan pakan alami bagi ikan (Gambar 2.5).

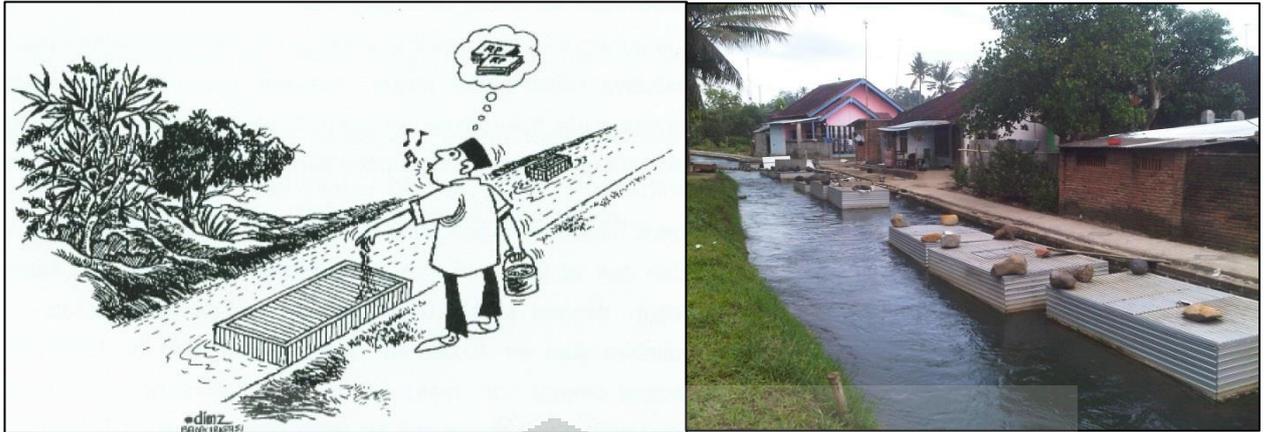


Gambar 2-5. Model Budidaya Ikan Terpadu, Mina-Padi (Kiri) dan Longyam (Kanan)

Sumber: <http://www.panoramio.com/photo/89444711> dan <http://mina-padi.blogspot.com/>

4. Budiaya Ikan di Karamba

Budidaya ikan dengan sistem karamba akan lebih baik dilakuka secara berkelompok untuk memudahkan pengawasan. Selain itu, budidaya ini dapat berpotensi untuk mengganggu aliran air, sehingga apabila sistem ini akan dilakukan di saluran irigasi sebaiknya dilakukan konsultasi terlebih dahulu dengan dinas pengairan.



Gambar 2-6. Budidaya Ikan Karamba

Sumber: Modul Budidaya Ikan Air Tawar, Departemen PU Direktorat Sumber Daya Air dan JICA, 2006 dan <http://dumannis.blogspot.com/2012/07/tak-ada-kolam-sungai-pun-jadi.html>

5. Budidaya Ikan di Kolam Khusus

Budidaya ikan ini umumnya dilakukan di lahan yang sangat terbatas dan sumber airnya diperoleh dari air sumur. Kolam ini umumnya terbuat dari pasangan batu bata maupun semen dengan ukuran yang tidak terlalu besar ataupun dapat juga menggunakan drum-drum bekas dan diletakkan di sekitar rumah.

Beberapa keuntungan yang diperoleh dari budi daya ikan (Cahyono, 2000) adalah sebagai berikut:

- a. Ikan mampu menghasilkan benih ikan yang sangat tinggi (banyak), misalnya ikan nilai merah dewasa dapat menghasilkan benih 1000-1500 ekor, ikan gurami dapat menghasilkan benih ikan 4000-7000 ekor, dan ikan mas dapat menghasilkan benih ikan sebanyak 50.000-70.000 dalam setiap pemijahan.
- b. Luas lahan yang sempit dapat menghasilkan ikan yang cukup banyak.
- c. Pembudidayaan ikan tidak memerlukan perawatan yang rumit, selama airnya cukup dan berada dalam kualitas yang baik.
- d. Ikan merupakan penghasil protein yang tinggi sehingga sangat baik untuk mendukung pemenuhan gizi masyarakat.

Adapun jenis-jenis ikan yang dapat dipelihara pada air tawar antara lain adalah sebagai berikut (Rasyid, 2010):

- Ikan Mujaer (*Tilapia mosambica*)
- Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)
- Ikan Tawes (*Puntius javanicus*)
- Ikan Mas (*Cyprinus carpio*)
- Ikan Tambakan (*Helostoma temmincki*)
- Ikan Nilam (*Osteochilus haseeltii*)
- Ikan Bandeng (*Chanos-chanos forsk*)
- Ikan Sepat Siam (*Trichogaster pectoralis*)
- Ikan Lele (*Clarias Bacrathus*)
- Ikan Gabus (*Ophiocephalus striatus*)
- Ikan Cancera (*Labeobarbus doronensis*)
- Ikan Sidat (*Anguilla sp*)
- Ikan Patin (*Pangasius pangasius*)
- Ikan Belut (*Apodes sp*)

Lama pemeliharaan ikan pada air tawar dengan hasil setinggi-tingginya cukup memakan waktu 3 hingga 4 bulan, sementara pemeliharaan ikan pada air tawar dengan waktu yang diperpanjang 5 hingga 6 bulan sebenarnya sangat tidak menguntungkan karena pada waktu tersebut tidak terjadi perkembangan yang besar pada tubuh ikan lagi dan makanan yang dimakan hanya dijadikan sebagai bahan energi untuk pergerakannya (Rasyid, 2010).

Dalam pembuatan kolam ikan dibutuhkan saluran pemasukan air dan saluran pengeluaran air. Biasanya saluran pengeluaran air dibuat dua buah, yaitu satu saluran yang dipasang sejajar dengan permukaan kolam yang disesuaikan dengan tinggi kolam untuk menghindari adanya air kolam yang meluap, dan satu saluran lagi yang dipasang sejajar dengan dasar kolam yang digunakan untuk menguras air kolam ketika air akan dikeringkan (Rasyid, 2010).

Berikut ini merupakan beberapa hal yang harus diperhatikan dalam usaha budidaya ikan berdasarkan pada KepMen Kelautan dan Perikanan no 02 tahun 2007:

1. Pemilihan lokasi budidaya harus memenuhi persyaratan:
 - a. Dibangun pada lokasi yang terhindar dari kemungkinan terjadinya pencemaran, jauh dari permukiman, industri, serta lahan pertanian dan peternakan;
 - b. Kualitas air sumber sesuai dengan peruntukannya, tidak mengandung residu logam berat, pestisida, organisme patogen, cemaran, dan bahan kimia berbahaya lainnya;
2. Penentuan tata letak dan konstruksi untuk budidaya ikan harus mencakup:
 - a. Saluran pasok dan saluran buang;
 - b. Tandon pasok pada budidaya udang intensif dan semi intensif;
 - c. Tempat penyimpanan pakan, pupuk, obat ikan, pestisida, bahan bakar minyak, dan peralatan budidaya;
 - d. Fasilitas mandi, cuci, kakus (MCK), toilet, dan *septic tank*;
3. Pemilihan wadah budidaya tidak terbuat dari bahan yang beracun dan berbahaya dan berpotensi mencemari produk serta tidak mudah korosif
4. Proses produksi pada usaha pembesaran meliputi persiapan lahan/wadah budidaya, penumbuhan pakan alami, pemilihan benih, pengelolaan air, penggunaan pakan, obat ikan, pupuk, probiotik, desinfektan, dan bahan kimia lain serta pengelolaan kesehatan ikan dan lingkungan.
5. Pengelolaan air dilakukan sebelum, selama, dan setelah proses produksi dengan tidak menggunakan probiotik terlarang serta bila diperlukan dilakukan filterisasi dan upaya pengendapan dalam wadah tandon tersendiri.
6. Pengelolaan kesehatan ikan dan lingkungan dengan menerapkan pengamanan biologi (biosecurity), pemulihan kualitas air dengan tidak menggunakan probiotik dan bahan kimia terlarang.

2.2 Kualitas Air Perikanan

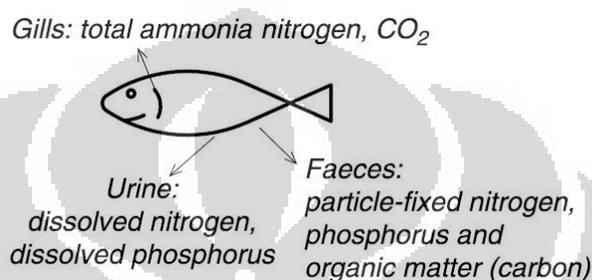
Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 20 tahun 1990 tentang pengendalian pencemaran air, pencemaran air diartikan sebagai masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak lagi berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

Kualitas air merupakan gabungan dari semua karakteristik fisika, kimia, biologi dan estetika dari air yang dapat mempengaruhi manfaat penggunaannya, dan dalam hal ini kualitas air yang akan dibahas secara umum merupakan kualitas air yang ada dalam perikanan serta pengaruhnya. Berbagai karakteristik air pada sistem produksi yang berdampak pada keberlangsungan, reproduksi, pertumbuhan, dan produksi dari spesies akuakultur yang mempengaruhi manajemen pengambilan keputusan, memberikan dampak pada lingkungan, atau mengurangi kualitas dan keamanan produk dapat dipertimbangkan sebagai variabel kualitas air (Boyd & Tucker, 1998).

Komposisi bahan kimia di dalam air perikanan bergantung pada beberapa faktor seperti (1) jumlah dan komposisi air masukan (*inlet water*), (2) laju pertumbuhan ikan, (3) densitas ikan, (4) adanya sistem resirkulasi air secara daur ulang (*re-used system*) atau tidak, dan (5) jenis ikan yang dibudidayakan (Lekang, 2013).

Masalah yang umum ditemui dalam kualitas air perikanan ada pada sumber nutrien yang berasal dari pakan ikan, obat pertumbuhan ikan, dan nutrisi lainnya yang diberikan untuk meningkatkan produksi yang kemudian dapat berdampak pada adanya peningkatan pertumbuhan fitoplankton, pengurangan oksigen terlarut dalam air, dan peningkatan konsentrasi dari kandungan-kandungan yang beracun (Boyd & Tucker, 1998). Selain itu, pakan ikan yang tidak dimakan oleh ikan lama kelamaan juga dapat melapuk dan menjadi material organik terlarut yang semakin menumpuk dan menjadi lumpur atau padatan di kolam ikan. Ketika tumbuh, ikan juga akan melepaskan produk ekskresi dari insang dan juga dalam urin dan kotoran mereka yang kemudian dapat bersifat terlarut maupun mengendap (*suspended*) dan dalam bentuk anorganik maupun organik (Lekang, 2013).

Protein merupakan senyawa utama dari otot ikan dan sumber dari ekskresi nitrogen. Protein dalam pakan ikan dicerna didalam tubuh dan diserap dalam usus sebagai asam amino dan peptida yang kemudian digunakan untuk pertumbuhan otot dan produksi energi dan ketika protein tersebut dipecah menghasilkan nitrogen anorganik dalam bentuk ammonia, CO₂, dan air (Lekang, 2013). 50% limbah yang berasal dari akuakultur berada dalam bentuk amonia yang berasal dari urin, feses ikan (*fecal matter*), dan juga insang ikan (Sawyer, 2010).



Gambar 2-7. Metabolisme Produk Akhir yang Dilepas dalam Pertumbuhan Ikan

Sumber: Odd-Ivar Lekang. Aquaculture Engineering, 2013

Hampir semua air buangan dari fasilitas akuakultur dapat menimbulkan masalah lingkungan yang dapat menciptakan ketidakseimbangan ekosistem pada badan air penerima. Effluen buangan dari budidaya ikan dapat mengandung tiga kelas polutan, antara lain yaitu:

- a. Nutrien dan Material Organik
- b. Mikroorganisme
- c. Ikan yang mati

Di masa mendatang, kualitas air akan menjadi salah satu hal yang penting untuk dipertimbangkan dan dengan regulasi yang semakin berkembang dan mengarah kepada pengurangan dampak pada lingkungan dari proses akuakultur, maka semua produsen akan diminta untuk menggunakan metode budidaya yang intensif untuk mengurangi penggunaan air yang berlebih (Boyd & Tucker, 1998).

2.2.1 Parameter Kualitas Air Budidaya Perikanan

Berikut ini adalah beberapa parameter kualitas air yang penting untuk suatu perikanan (Klinger-Bowen et al, 2011):

- **Temperatur air**

Temperatur dalam air biasa diukur dalam Fahrenheit atau Celcius. Spesies ikan sangat bergantung pada suhu yang ada dalam lingkungannya. Ikan nila pada perikanan air tawar umumnya membutuhkan suhu air sekitar 81-84°F (27-29°C) untuk pertumbuhan yang maksimum, sementara pertumbuhan akan turun secara drastis pada suhu dibawah 70°F (21°C) dan ikan nila akan mati pada suhu dibawah 50°F (10°) (Shultz, 2012).

- **pH**

Merupakan pengukuran mengenai kadar asam atau basa dari air yang memiliki rentang dari 1-14. pH netral pada nilai 7, dan dikatakan asam apabila kurang dari nilai tersebut dan basa apabila lebih dari nilai tersebut. pH seringkali disebut sebagai kunci parameter karena pengaruhnya terhadap kualitas parameter yang lain seperti pada proses nitrifikasi.

- **Dissolved Oxygen (DO)**

Merupakan jumlah oksigen yang terlarut di dalam air dan umumnya diukur dalam unit persen saturasi atau parts per million (ppm). DO untuk perikanan umumnya harus dijaga pada tingkat 5 mg/L atau lebih. Oksigen terlarut penting bagi pertumbuhan ikan, tanaman, dan juga untuk bakteri yang menguntungkan dalam penguraian ammonia dan nitrit menjadi nitrat (*nitrobacter bacteria*). Pada temperatur yang lebih tinggi umumnya oksigen terlarut dalam air akan berkurang dan begitu pula sebaliknya.

- **Buffering capacity atau alkalinitas**

Merujuk pada kemampuan air untuk mempertahankan stabilitas pH dan bergantung pada jumlah mineral yang terlarut di dalam air. Konsentrasinya dijabarkan sebagai konsentrasi yang setara pada kalsium karbonat (CaCO_3) dan harus dijaga pada kadar alkalinitas yang lebih dari 100 mg/L dalam bentuk CaCO_3 (Shultz, 2012).

- **Ammonia**

Merupakan produk pertama dalam siklus nitrogen. Di dalam air, ammonia muncul dalam dua bentuk dan seringkali dalam bentuk kesatuan atau gabungan dari bentuk gas dan ion yang disebut juga dengan Total Ammonia Nitrogen (TAN) dengan unit pengukuran mg/l atau ppm. Dua bentuk dari ammonia adalah ammonia yang tidak terionisasi (NH_3 atau UIA) dan juga ammonia yang terionisasi (NH_4^+). Ammonia yang tidak terionisasi umumnya lebih beracun dan berbahaya bagi ikan. Bentuk ammonia mana yang ada di dalam air umumnya tergantung pada baik temperatur maupun pH dalam air. Semakin besar temperaturnya maka reaksi akan merubah ammonia yang terionisasi menjadi bentuk ammonia yang tidak terionisasi yang bersifat toxic. Ammonia dikatakan bersifat toxic pada ikan nila untuk perikanan air tawar pada 1 mg/L dalam bentuk NH_3 dan dalam perikanan nilai TAN pada air harus dijaga agar kurang dari 3 mg/L atau apabila nilai TAN berada pada konsentrasi yang tinggi maka pH dalam airnya harus dijaga agar kurang dari 7 (Shultz, 2012).

- **Nitrit**

Merupakan produk kedua dalam siklus nitrogen. Nitrit merupakan zat yang beracun yang diproduksi dari oksidasi ammonia oleh bakteri. Nitrit kemudian dikonversikan ke bentuk yang tidak beracun yaitu nitrat dengan filtrasi biologis dan diukur sebagai total nitrit atau nitrit-nitrogen dengan unit pengukuran mg/l atau ppm. Nitrit dihilangkan oleh bakteri nitrobacter yang mengoksidasi nitrit menjadi nitrat (NO_3) yang dapat mengurangi kadar alkalinitas dan menghasilkan asam yang menurunkan pH. Nitrit dapat dikatakan beracun atau toxic pada nilai 5 mg/L.

- **Nitrat**

Merupakan produk akhir dari siklus nitrogen, umumnya tidak diukur didalam akuakultur karena tidak beracun dan tidak berbahaya dalam air ikan. Namun nitrat dapat dijadikan sebagai parameter terbentuknya biofilter didalam proses, yaitu ketika nilai nitrit mengalami penurunan dan

ketika nilai nitrat mengalami peningkatan. Selain itu nitrat juga dapat menjadi sumber utama nutrisi bagi tanaman.

- **TSS (*Total Suspended Solids*)**

Tipe dan jumlah dari material atau partikel organik maupun anorganik yang terlarut maupun mengendap dideterminasikan dengan interaksi yang terjadi antara air dengan baru, tanah, dan keseluruhan kondisi lingkungan secara lokal. *Total suspended solids* (TSS) didefinisikan sebagai jumlah partikel yang tersaring oleh saringan *fibreglass* yang khusus dengan ukuran lubang sebesar 0,45 μm . *Total solids* (TS) menggambarkan jumlah partikel yang adadi dalam air, kuantitas ini dapat juga digambarkan sebagai *total dry matter* (DM) (Lekang, 2013).

2.2.2 Karakteristik Air Limbah Perikanan

Dalam budidaya perikanan, air merupakan salah satu unsur penting yang seringkali tercemar akibat aktivitas ikan air tawar yang hidup dalam budidaya perikanan tersebut. Pada tabel 2.5. dijabarkan mengenai produksi limbah cair yang dihasilkan dari berbagai jenis ikan yang berbeda.

Tabel 2-5. Produksi Limbah dari Jenis Ikan yang Berbeda

Jenis Ikan	Total Solids	Total N	Total P
	(Kg per ton produksi ikan)		
Rainbow Trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	148-338	41-71	7,5-15,2
Brown Trout (<i>Salmo trutta</i>)	438 (589)	49,2 (45,8)	6,2 (10,5)
Tilapia (<i>Oreochromis spp.</i>)	520–650	72,4	23–29
Tilapia (<i>O. niloticus</i>)	192–268,8	48–72,7	0,6–8,9

*Angka dalam kurung menggambarkan nilai yang diambil langsung secara kuantitatif dari limbah pada air budidaya ikan

Sumber: Jaap van Rijn, Waste Treatment in Recirculating Aquaculture Systems, 2013

Tabel 2-6. Parameter Air, Sedimen, dan Lokasi dari Kolam Ikan Dangkal di Wilayah Dombes, France

Parameter	Rata-rata	Minimum	Maksimum
Parameter Lokasi			
Luas Kolam (Ha)	13,4	2,3	79,6
Kedalaman Median Kolam (m)	0,68	0,28	1,10
Volume Kolam (m ³)	85.152	14.622	444.830
Jumlah tahun sejak kolam dibiarkan mengering dan dibudidayakan selama 1 tahun (tahun)	2,6	1	6
Parameter Air			
Total P median ^a (mg/m ³)	274	29	609
Total N median ^a (g/m ³)	2,85	1,32	6,68
NO ₃ ⁻ - N maksimum ^b (g/m ³)	2,74	0,98	9,00
NH ₄ ⁺ - N maksimum ^b (g/m ³)	0,84	0,08	5,90
PO ₄ ³⁻ - P maksimum ^b (mg/m ³)	386	49	1632
Parameter Sedimen			
P yang tersedia (mg/kg)	209	43	664
Material Organik (g/kg)	37,54	13,30	85,91
N total (g/kg)	2,20	0,60	4,17
Kasium (g/kg)	2,17	0,65	10,52

^a Nilai Median: median dari parameter respektif terhadap setiap kolam ikan untuk tanggal sampling diantara akhir April hingga pertengahan Oktober

^b Nilai Maksimum: maksimum dari parameter yang respektif terhadap setiap kolam ikan untuk sampling diantara akhir April hingga pertengahan Oktober

Sumber: Alexander Wezel, et al, Management effects on water quality, sediments and fish production in extensive fish ponds in the Dombes region, France, 2013

Pada tabel 2.6. dijabarkan mengenai kualitas air limbah yang dihasilkan dari penelitian pada kolam ikan dangkal yang membudidayakan ikan nila dengan hasil penelitian berdasarkan pada parameter lokasi, air, dan sedimen.

2.2.3 Standar Baku Mutu Air Perikanan

Berikut ini pada tabel 2.7. merupakan standar kualitas air yang diperuntukkan pada budidaya ikan (Meade, 1989):

Tabel 2-7. Standar Kualitas Air untuk Budidaya Ikan

Parameter	Kadar	Parameter	Kadar
Alkalinitas (CaCO ₃)	10–400	Timbal (Pb)	< 0,02
Aluminium (Al)	< 0,01	Magnesium (Mg)	< 15
Ammonia (NH ₃)	< 0,02	Mangan (Mn)	< 0,01
Arsenik (As)	< 0,05	Merkuri (Hg)	< 0,2

(Lanjutan)

Parameter	Kadar	Parameter	Kadar
Barium (Ba)	5	Nitrogen (N) gas	< 103%
Cadmium		Nitrogen (total tekanan gas)	< 110%
Alkalinitas < 100 ppm	0,0005	Nitrat (NO₃)	0–3,0
Alkalinitas > 100 ppm	0,005	Nitrit (NO₂)	0,1
Kalsium (Ca)	4–160	Nikel (Ni)	< 0,1
Karbon dioksida (CO ₂)	0–10	PCB	0,002
Klorin (Cl)	< 0,003	pH	6,5–8,0
Kromium (Cr)	0,03	Potassium (K)	< 5
Tembaga		Salinitas	< 5%
Alkalinitas < 100 ppm	0,006	Selenium (Se)	< 0,01
Alkalinitas > 100 ppm	0,03	Perak (Ag)	< 0,003
Oksigen Terlarut (DO)	5 mg/L	Natrium (Na)	75
Kesadahan, Total	10–400	Sulfat (SO ₄)	< 50
Asam sianida (HCN)	< 0,005	Sulfur (S)	< 1.0
Asam sulfida (H ₂ S)	< 0,003	TDS	< 400
Besi (Fe)	< 0,1	TSS	< 80
Vanadium (V)	< 0,1	Uranium (U)	< 0,1
Zirconium (Z)	< 0,01	Zinc (Zn)	< 0,005

Catatan: Nilai berada dalam satuan mg/L kecuali apabila ditulis dalam tabel

Sumber: James W. Meade, Aquaculture Management-Springer US, 1989

2.2.4 Nitrogen pada Kolam Budidaya Ikan Air Tawar

Nitrogen merupakan nutrisi utama yang dapat mempengaruhi produktivitas dari ekosistem akuatik karena komponen esensial yang dimilikinya yaitu berupa protein dan zat lain dari protoplasma seluler (Boyd & Tucker, 1998). Nitrogen umumnya dibuang dalam bentuk nitrat, nitrit, ammonia, dan nitrogen organik.

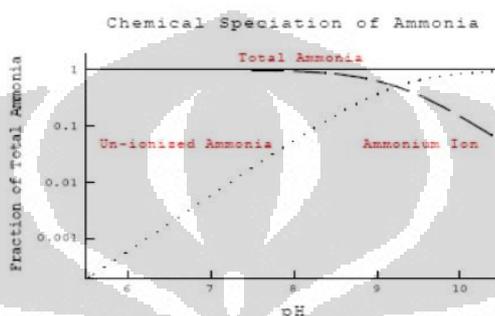
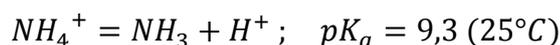
Ammonia seringkali dapat menjadi racun bagi binatang dan ketika berada di dalam air, ammonia memiliki dua bentuk yaitu ammonia yang tidak terionisasi (NH₃) dan ammonia yang terionisasi (NH₄⁺), namun seringkali untuk menggambarkan dengan lebih mudah, kedua bentuk tersebut sering disebut dengan “total amonia” atau hanya “amonia” (Boyd & Tucker, 1998).

Namun, dalam kondisi tertentu, penting untuk membedakan kedua bentuk dari ammonia tersebut, karena umumnya ammonia akan memiliki kadar toksisitas yang lebih tinggi ketika berada dalam bentuk tidak terionisasi (NH₃) dibandingkan dengan bentuk satunya lagi (Boyd & Tucker, 1998). Karena ammonia yang tidak terionisasi lebih dominan dalam pengaruhnya terhadap air,

seringkali orang-orang menyebut ammonia yang tidak terionisasi sebagai ammonia yang beracun. Berikut ini merupakan persamaan reaksi dalam ammonia:



$\xrightarrow{\hspace{10em}}$
 peningkatan pada pH dan suhu



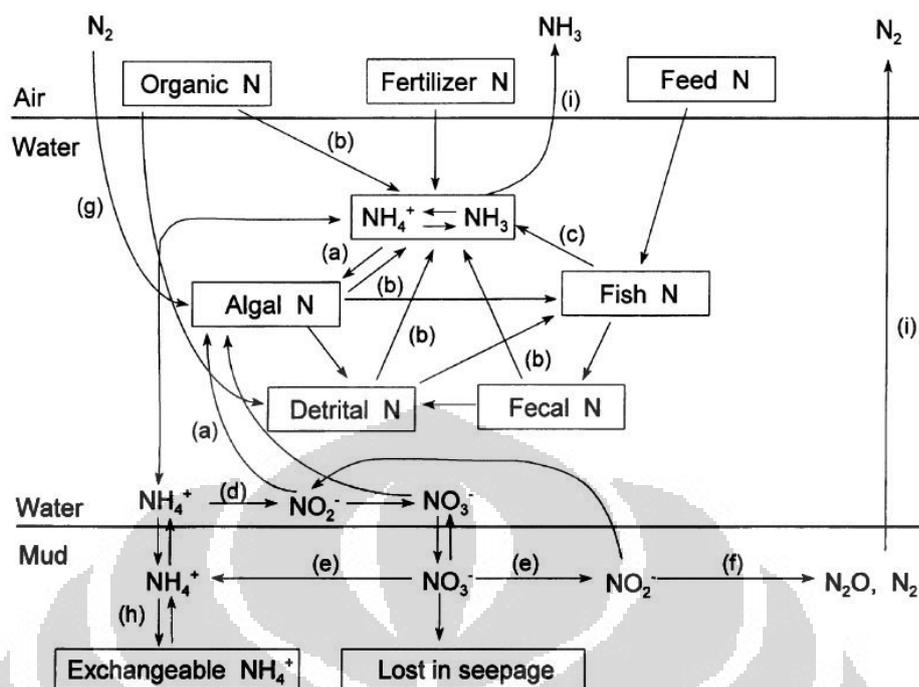
Gambar 2-8. Grafik Hubungan Amonia

Sumber: US EPA, Freshwater Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria For Ammonia, 2013

Konsentrasi dari ammonia yang tidak terionisasi akan meningkat ketika pH dan suhu meningkat dan ketika salinitas menurun. Gambar 2.8. menunjukkan spesiasi kimia dari ammonia terhadap rentang pH pada air ambient 25°C yang menunjukkan peningkatan ammonia yang tidak terionisasi yang sejalan dengan peningkatan pH.

Hubungan antara berbagai bentuk nitrogen seperti yang ada pada gambar 2.9. akan menghasilkan suatu siklus nitrogen yang perubahannya sebagian besar terjadi karena adanya reaksi oksidasi-reduksi (angka valensi dari nitrogen memiliki rentang dari -3 untuk ammonia hingga +5 untuk nitrat) dan juga aktivitas biologis (Boyd & Tucker, 1998).

Pada kolam yang dikembangkan dengan pemberian pakan tanpa adanya fertiliser, hampir semua nitrogen berasal dari pakan ikan yang berprotein dan hampir sekitar 25% dari nitrogen di dalam pakan dipakai dalam pertumbuhan atau energi bagi ikan, dan sekitar 75% dari pakan nitrogen hilang ke air sebagai kotoran ikan (Boyd & Tucker, 1998).



Gambar 2-9. Siklus Nitrogen pada Kolam Akuakultur

Ilustrasi tersebut disederhanakan dengan menghilangkan rantai makanan diantara alga dan ikan. Proses utama yang digambarkan antara lain adalah (a) asimilasi, (b) mineralisasi, (c) ekskresi, (d) nitrifikasi, (e) reduksi nitrat, (f) denitrifikasi, (g) fiksasi nitrogen biologis, (h) adsorpsi ammonia pada reaksi perpindahan kation lumpur, dan (i) volatilisasi ammonia.

Sumber: Boyd & Tucker, Pond Aquaculture Water Quality Management, 1998

Nitrifikasi merupakan tahapan oksidasi dari ammonia menjadi nitrat yang dibawa oleh dua grup bakteri kemoautotropik aerobik yang memperoleh energi metabolis dari oksidasi senyawa nitrogen anorganik dan mendapatkan karbon untuk komponen sel sintesis dari karbon dioksida, hal ini kemudian menjadi salah satu contoh dari fiksasi karbon nonfotosintesis (Boyd & Tucker, 1998). Reaksi katabolis dari ammonia yang tidak terionisasi menjadi nitrit dilakukan dengan bantuan dari bakteri *Nitrosomonas*, dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



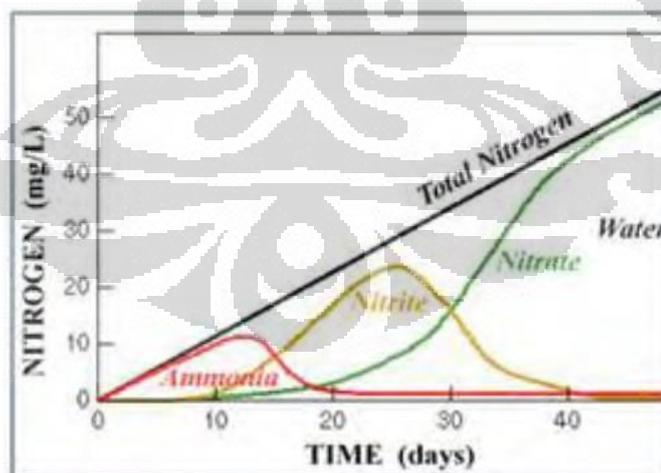
Sementara reaksi oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan dengan bantuan dari bakteri *Nitrobacter* dengan persamaan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Nitrifikasi terjadi pada rentang temperatur yang luas, namun dikatakan optimum pada rentang 25–35°C dan bakteri akan tumbuh dengan baik pada rentang pH 7–8,5 dan pada tahap ini bakteri berada pada kondisi yang sangat aerobik sehingga ketika oksigen terlarut menurun dan berada pada kadar 1–2 mg/L, maka laju nitrifikasi juga akan menurun (Boyd & Tucker, 1998).

Amonia tergolong beracun dan seringkali mengikatkan diri pada sedimen sementara nitrat bersifat terlarut didalam air dan tidak terikat pada partikel sehingga seringkali adanya nitrat dalam air sebagai sumber energi bagi tumbuhan dapat menyebabkan peningkatan pada pertumbuhan tanaman maupun alga (US EPA, 2013).

Amonia meningkat umumnya pada hari ke 10 dan kemudian dilanjutkan dengan adanya peningkatan kadar nitrit dan penurunan kadar ammonia seperti yang digambarkan pada gambar 2.10 (Sawyer, 2010). Setelah melewati 10 hari lagi yaitu pada hari ke 20, kadar nitrat akan meningkat sementara kadar nitrit akan menurun, sehingga secara keseluruhan dibutuhkan waktu sekitar 20-30 hari untuk menstabilisasikan siklus nitrifikasi dari bakteri. Tahapan ini disebut juga dengan tahap aklimatisasi dimana biofilter pada media hidroponik akan mulai terbentuk.



Gambar 2-10. Siklus Nitrifikasi Bakteri

Sumber: Sawyer, Aquaponics Growing Fish and Plants Together, 2011

2.3 Akuaponik

Dengan meningkatnya tingkat produksi dalam budidaya perikanan dan adanya penurunan dalam kualitas air yang merupakan salah satu faktor yang penting dalam budidaya perikanan, maka dibutuhkan metode pengolahan air yang dapat digunakan untuk menjaga kondisi budidaya ikan agar tetap optimal.

Akuaponik adalah gabungan dari sistem akuakultur dengan sistem hidroponik yang dirangkai menjadi satu sistem yang saling menguntungkan dan berguna untuk meresirkulasikan air dari air limbah yang kotor yang berasal dari kolam perikanan menjadi air yang sudah terfilter setelah melewati sistem hidroponik tanaman.

Konsep yang ada di balik sistem ini adalah bahwa tanaman menggunakan kotoran yang berasal dari akuakultur sebagai nutrisi, dan air yang ada dikembalikan lagi ke ikan (gambar 2.11). Tanaman menjamin tidak adanya akumulasi dari kandungan yang beracun di dalam sistem akuakultur. Komponen yang utama adalah amonia yang secara tipikal didekomposisi menjadi nitrat yang secara mudah tersedia pada sistem perakaran dan kemudian diambil oleh tanaman. Air dapat dijernihkan dan digunakan kembali secara keseluruhan dengan menggunakan sistem *biological purification*. Akuaponik termasuk juga ke dalam sistem biologis *re-use* yang kemudian dapat digunakan untuk menghilangkan, atau mencegah akumulasi dari amonia nitrogen, yang secara tipikal menggambarkan masalah dalam akuakultur ketika pencampuran dengan inlet air tambahan terjadi (Lekang, 2013).

Akuaponik pertama kali ditemukan di Cina dan Asia Tenggara sejak ratusan hingga ribuan tahun yang lalu. Sementara di Barat ketertarikan pada akuaponik baru dimulai pada tahun 1960 (Hambrey Consulting, 2013).

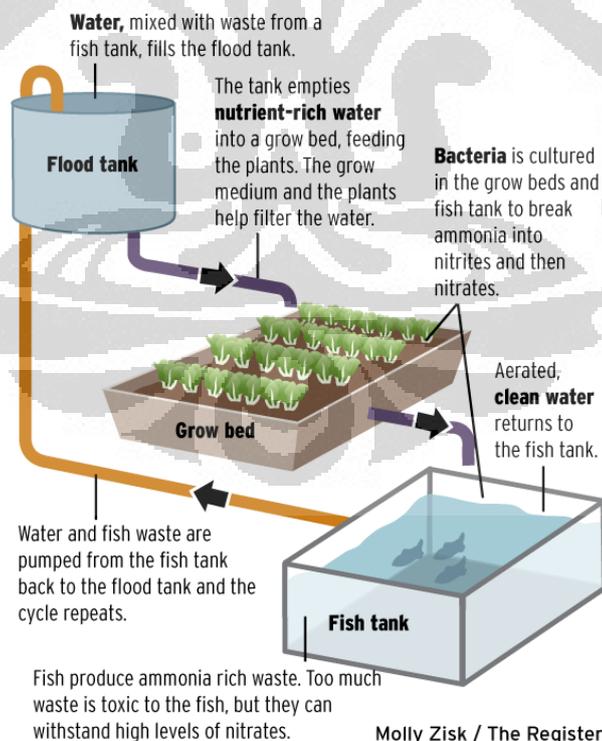
Sejak saat itu terdapat banyak proyek dan program penelitian yang ditujukan untuk mengembangkan sistem tersebut dan meningkatkan kepedulian untuk mengurangi dampak limbah nutrisi yang dibuang pada lingkungan yang pada saat yang sama juga meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi dalam produksi makanan (Hambrey Consulting, 2013).

Dalam sistem akuaponik, sumber utama dari makro dan mikronutrien berasal dari pakan ikan. Makanan yang dikonsumsi menyediakan energi bagi ikan

dan meningkatkan pertumbuhan yang penting bagi ikan. Akuaponik sendiri dapat dirangkai menjadi sistem yang disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing. Secara umum akuaponik merupakan sistem produksi makanan yang menggabungkan metode intensif akuakultur (mengembangbiakkan hewan akuatik dalam tanki) dengan hidroponik (menanam tanaman dalam larutan yang mengandung nutrisi). Kandungan nutrisi yang tinggi merupakan effluen yang berasal dari komponen akuakultur yang kemudian disirkulasikan melalui komponen hidroponik dimana sebagian besar nutrisi ini diambil oleh tanaman sebelum airnya dikembalikan lagi ke tanki ikan (Hambrey Consulting, 2013).

Cara kerja akuaponik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11 dapat terdiri dari 3 unit yaitu unit kolam ikan, unit bak pertumbuhan, dan unit penampungan. Selain itu dalam beberapa penelitian lain (yang akan dibahas lebih lanjut dalam sub-bab selanjutnya) akuaponik juga dapat dilengkapi dengan unit clarifier atau filter tank yang dapat membantu untuk mengurangi beban padatan dan juga membantu dalam proses denitrifikasi.

How aquaponics works



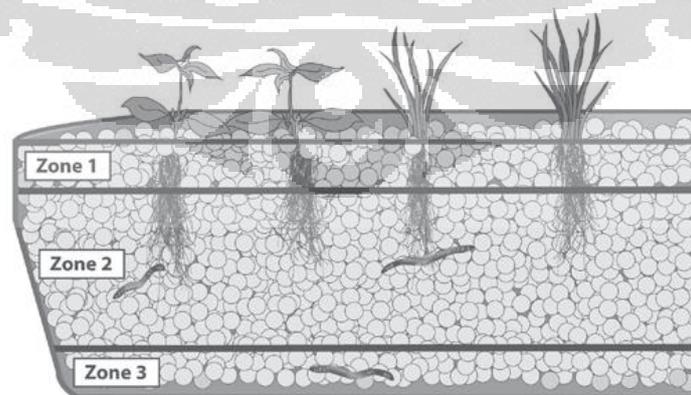
Gambar 2-11. Cara Kerja Sistem Akuaponik

Sumber: www.opensourceaquaponics.com

Gambar 2.11 menggambarkan cara kerja sistem akuaponik dimana dalam kolam ikan akan dihasilkan limbah yang mengandung amonia yang apabila berada dalam jumlah yang banyak dapat menjadi racun bagi ikan. Air yang berisi kotoran ikan tersebut kemudian dipompa menuju ke tanki penampung yang kemudian dialirkan ke grow bed yang kemudian air limbah tersebut berfungsi sebagai penyedia nutrisi (karena kandungan amonia yang berubah menjadi nitrat) bagi tanaman. Adanya penyerapan nutrisi pada grow bed ini secara langsung juga membantu penyaringan air menjadi jernih kembali untuk kemudian dialirkan lagi ke kolam ikan.

Gambar 2.12 menggambarkan zona yang ada dalam *grow bed* akuaponik. Zona pertama adalah zona permukaan atau zona kering dengan ketebalan sekitar 50 mm. Zona ini merupakan daerah penetrasi cahaya dan dikondisikan kering. Zona kedua menggambarkan zona perakaran dengan ketebalan sekitar 150 mm – 200 mm dan sebagian besar akar dan tanaman tumbuh di daerah ini. Selama masa pasang dan surut daerah ini dibanjiri oleh air dan dikeringkan secara menyeluruh dan adanya kondisi tersebut menyebabkan proses yang sangat sempurna dan efisien untuk mengirimkan oksigen ke akar tanaman, bakteri, mikroba tanah dan juga cacing tanah.

Zona ketiga menggambarkan area pengumpulan padatan dan zona mineralisasi dengan ketebalan sekitar 50 mm. Daerah ini merupakan tempat dimana limbah ikan dan limbah cacing terkumpul.



Gambar 2-12. Zona dalam *Grow Bed* Akuaponik

Sumber: Bernstein, *Aquaponics Gardening: A Step by Step Guide to Raising Vegetables and Fish Together*, 2011

2.3.1 Implementasi dan Penelitian Terdahulu Tentang Sistem Akuaponik

2.3.1.1 Aquaponic Research at The Reymann Memorial Farm, Wardensville, WV, Karen Buzby, 2010.

Percobaan ini dilakukan untuk mengevaluasi produksi biomass dan juga kemampuan removal nutrien dari perspektif tanaman siap panen yang dihasilkan dan juga untuk mengidentifikasi kondisi operasi yang dapat memaksimalkan keduanya.



Gambar 2-13. Bentuk Sistem Hidroponik Reymann Research

Sumber: Karen Buzby, 2010, Aquaponic Research at The Reymann Memorial Farm, Wardensville, WV

Gambar 2.13 menggambarkan sistem hidroponik yang digunakan dalam percobaan tersebut dengan masing-masing box yang terbuat dari triplek plywood dan memiliki jumlah 3 saluran per box nya (3 kolom per box). Setiap kolom yang akan diberikan media hidroponik (*media based grow*) memiliki lebar 15 inch dan panjang 8 inch dengan kedalaman 6 inch. Influen dari setiap kolom akan dikontrol dengan menggunakan *ball valve*.

Tabel 2-8. Eksperimen Awal Reymann Aquaponic Research

Water Velocity	Plant Density	Support Media
High ~ Raceway velocity	High (60 plants/ft ²)	Oasis cubes
Low 1/10 Raceway velocity	Low (15 Plants/ft ²)	Rock wool
		Paper towel

(Lanjutan)

Results		
Better growth at high velocity	Density had no effect on plant growth or nutrient removal	Germination and growth was best on the paper towel
Better nutrient removal at low velocity		

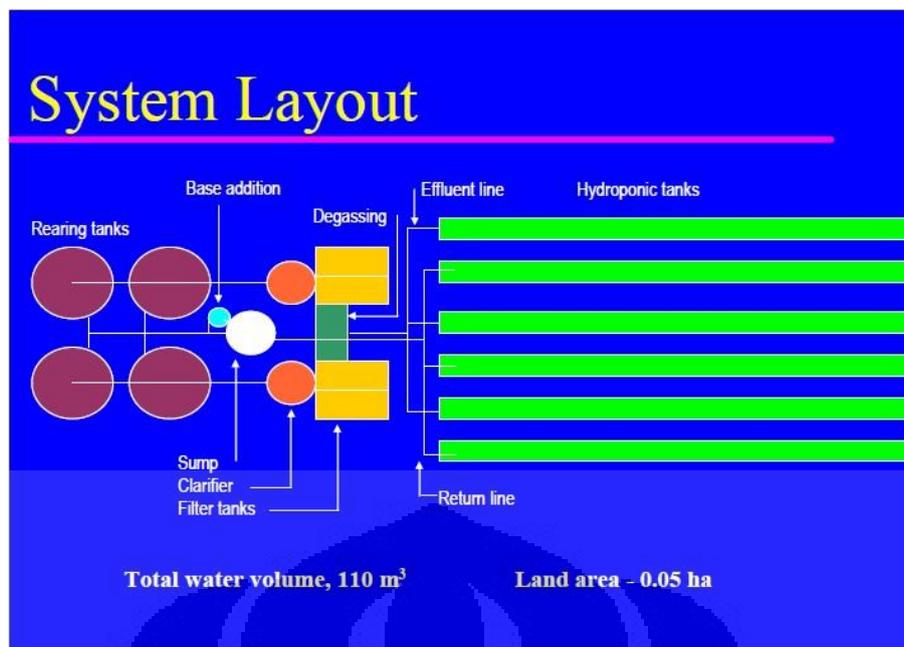
Sumber: Karen Buzby, 2010, Aquaponic Research at The Reymann Memorial Farm, Wardensville, WV

Dalam percobaan ini peneliti mencoba menginvestigasi cara untuk meningkatkan penghilangan nutrisi yang kemudian hasilnya dirangkum kedalam point-point. Beberapa cara untuk meningkatkan penghilangan nutrisi diantaranya yaitu:

- Meningkatkan waktu kontak dengan akar tanaman melalui reduksi pada kedalaman air atau memperbesar panjang media grow bed
- Meningkatkan suhu air
- Meningkatkan konsentrasi nutrisi

2.3.1.2 Design and Operation of The UVI (University of Virgin Island) Aquaponic System, James E. Rakocy, Donald Bailey, Charlie Shultz and Jason Danaher, 2007.

Laporan ini menjabarkan mengenai desain dan sistem operasi akuaponik yang digunakan di Universitas Virgin Island. Desain layout sistem yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.14 dan keterangan mengenai desain sistem, proses pengolahan, karakteristik pengolahan, dan beberapa info penting lainnya terangkum dalam tabel 2.9. Metode hidroponik yang digunakan dalam rancangannya adalah raft hidroponik. Layout sistem pada desain dan operasi di UVI menggunakan tambahan *clarifier* dalam rancangannya.



Gambar 2-14. Layout Sistem Akuaponik Universitas Virgin Island

Sumber: James E. Rakocy et al, The UVI (University of Virgin Island) Aquaponic System, 2007

Tabel 2-9. Sistem Desain dalam Penelitian Universitas Virgin Island

System Design	
Four fish rearing tanks	7.8 m ³ each
Two cylindro-conical clarifiers	3.8 m ³ each
Four filter tanks	0,7 m ³ each
One degassing tank	0.7 m ³
Six hydroponic tanks	11.3
Total plant growing area	214 m ²
One sump	0.6
Base addition tank	0.1
Total water volume	110
Land area	0.05 ha
Hydroponic system	Raft hydroponics
Treatment Process	
Solids removal	Three times daily from clarifier, filter tank cleaning one or two times weekly
Denitrification	In filter tanks
Direct uptake of ammonia and other nutrient	By plants
Nitrification	In hydroponic tank
Retention time	
Rearing tank	1.37 hours
Clarifier	20 minutes
Hydroponic tanks	3 hours
Treatment Characteristics (Removal rates using romaine lettuce (gr/m²/day):	
Amonia (NH ₃ -N)	0.56

(Lanjutan)

Nitrit (NO ₂ -N)	0.62
COD	30.3
Total Nitrogen	0.83
Total Phosphorous	0.17
Important Principles	
Optimum feeding rate	60-100 gr/m ² plant area/day prevents nutrient accumulation or deficiency
Slow removal of solids	Increase mineralization
Treatment capacity of hydroponic tanks	Equivalent to 180 gr of feed/day/m ² of plant area
Monitor pH daily	Maintain pH 7.0
Production	
Tilapia Fish	5 mt annually, 580 kg every 6 weeks, 160 kg/m ³ /year
Stocking rate	
Niles	77 fish/m ³
Reds	154 fish/m ³
Leaf lettuce	1404 cases annually, 24-30 heads/case, 27 cases/week
Basil	5 mt annually
Okra	2.9 mt annually

Sumber: James E. Rakocy et al, The UVI (University of Virgin Island) Aquaponic System, 2007

2.3.1.3 Laporan Hasil Penelitian Uji Multi Lokasi Pada Budidaya Ikan Nila dengan Sistem Akuaponik, Imam Taufik, 2010.

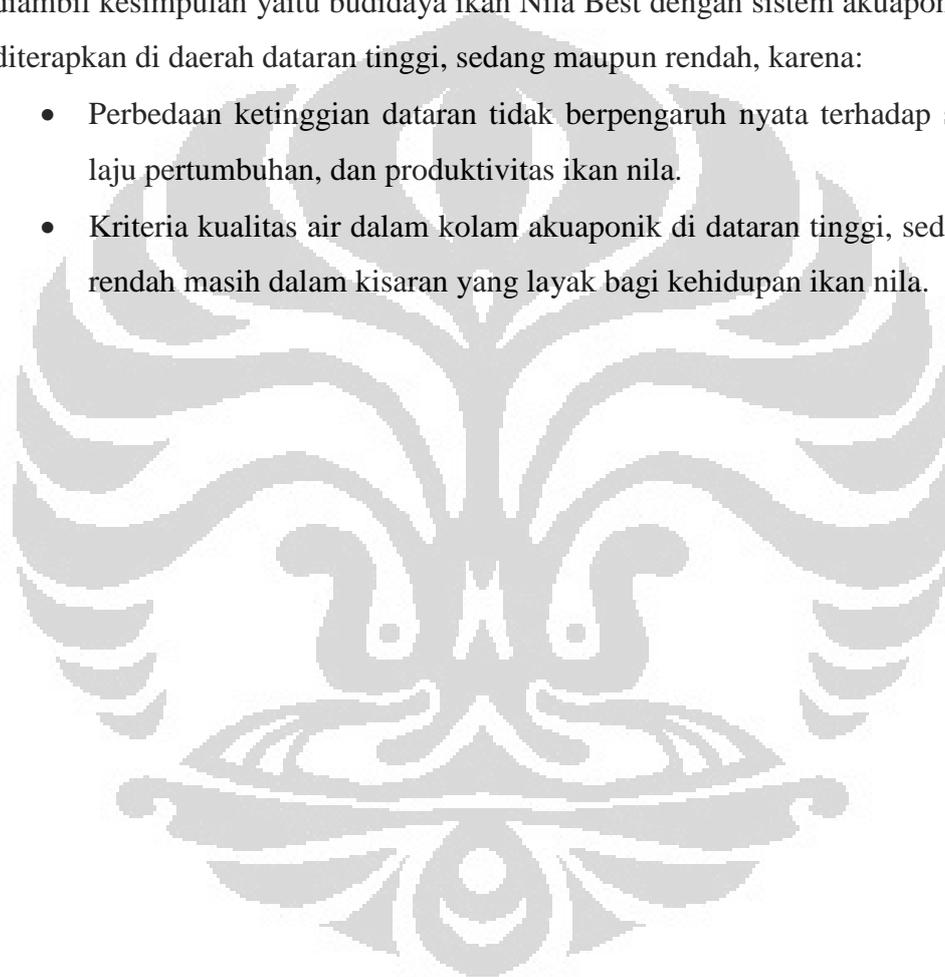
Dalam penelitian ini digunakan bak media tanam sayuran yang berisi arang kayu dan ditempatkan di luar kolam. Luas bak media tanam sayuran sebesar 25% dari luas kolam ikan dan untuk kebutuhan resirkulasi air digunakan pompa celup dengan kapasitas aliran 70 L/menit yang mendistribusikan air ke setiap rumpun tanaman sayuran. Pembuatan kolam akuaponik tersebut sebanyak 9 unit, dimana setiap 3 unit ditempatkan pada tiga lokasi yang berbeda sebagai perlakuan.

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) digunakan sebagai hewan uji berbobot rata-rata 1 gr/ekor yang ditebar dengan kepadatan 100 ekor/m². Selama penelitian ikan uji diberi pakan berupa pelet sebanyak 5% dari berat biomass per hari dengan frekuensi pemberian pakan 2 kali sehari. Penyesuaian dosis pakan dilakukan berdasarkan data berat rata-rata sampel ikan yang diukur tiap 2 minggu.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan variabel perlakuan untuk parameter kualitas air dari kolam akuaponik di dataran tinggi, sedang, dan rendah maka diperoleh hasil pengukuran seperti yang dijabarkan pada tabel 2.10.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi tidak berpengaruh nyata terhadap budidaya dengan sistem akuaponik. Kualitas air kolam akuaponik pada semua lokasi masih dalam kisaran yang dapat ditolerir oleh ikan nila. Dari berbagai data hasil penelitian serta pembahasan dalam laporan tersebut, dapat diambil kesimpulan yaitu budidaya ikan Nila Best dengan sistem akuaponik dapat diterapkan di daerah dataran tinggi, sedang maupun rendah, karena:

- Perbedaan ketinggian dataran tidak berpengaruh nyata terhadap sintasan, laju pertumbuhan, dan produktivitas ikan nila.
- Kriteria kualitas air dalam kolam akuaponik di dataran tinggi, sedang, dan rendah masih dalam kisaran yang layak bagi kehidupan ikan nila.



Tabel 2-10. Kisaran Dinamika Parameter Kualitas Air pada Kolam dan Filter Akuaponik Dataran Tinggi, Sedang, Rendah

Parameter	Tinggi			Sedang			Rendah		
	Awal	Kolam	Filter	Awal	Kolam	Filter	Awal	Kolam	Filter
Suhu (°C)	27,2	25,2-28,5	26-26,9	27	26,2-28,4	28,5-28,7	30,1	28,3-30,6	28,0-30,5
TSS (mg/L)	< 1	<1-21,8	<1-16,2	<1	<1-42,1	<1-34,5	<1	<1-29,2	<1-21,3
pH	8,1	7,9-7,94	7,84-7,87	7,46-7,62	7,2-9,67	7,64-9,84	7,34	7,41	9,41
DO (mg/L)	4,47	3,63-4,27	3,01-3,9	2,94-5,12	1,78-6,47	1,2-2,72	5,19	3,12	1,2
Alkalinitas (mg/L)	114,84	1,2-198,76	194-203,2	92,82-101,7	128,1-212	119,3-212	114,84	1,198-198,8	194,35-203,2
T.Phosphat	0,294-0,641	1,056-1,12	1,02-1,12	1,29-1,448	1,81-3,32	1,062-3,68	1,717	1,925-2,313	2,295-2,331
N-NH ₃ (mg/L)	0,082-0,125	0,191-0,21	0,187-0,31	0,257-0,86	0,024-2,25	0,15-2,62	0,193	0,71-0,746	0,743-0,852
N-NO ₂ (mg/L)	0,15-0,512	0,017-0,06	0,056-0,07	0,002-0,084	0,003-0,11	0,011-0,16	0,157	0,309-0,087	0,103-0,325
N-NO ₃ (mg/L)	2,976-3,8	0,52-0,642	0,5-0,738	0,493-0,778	0,5-0,702	0,5-0,75	1,241	0,57-0,754	0,62-0,743
T.Nitrogen	3,495-3,953	1,462-1,63	1,37-2,24	1,643-1,929	1,05-5,9	1,45-6,51	3,74	2,632-2,922	5,944-2,972
COD	19,81-20,55	5-63,57	3,57-5,14	6,42-8,57	2,86-51,31	3,14-54,2	0	2—5,3	9,3-17,3
BOD	3,17-3,3	0,58-10,17	5,14-0,57	1,03-1,37	0,46-8,21	1,03-7,67	0	0,32-8,85	1,8-2,78

Sumber: Imam Taufik, Laporan Hasil Penelitian Uji Multi Lokasi Pada Budidaya Ikan Nila dengan Sistem Akuaponik, 2010

2.3.1.4 Aquaponic Systems: Nutrient Recycling from Fish Wastewater by Vegetable Production, Andreas Graber dan Ranka Junge, 2008.

Penelitian ini dilakukan di Waedenswil, Zurich dengan menggunakan tiga tanaman yaitu terong, tomat, dan ketimun yang akan dicari tahu kemampuannya untuk recycle nutrient yang berasal dari limbah ikan selama 42-105 hari. Dalam desainnya digunakan trickling filter untuk menyediakan nitrifikasi pada limbah ikan. Peneliti menggunakan Light-expanded clay aggregate (LECA) yang diisi pada grow bed setinggi 30 cm. Pada sistem akuaponik ini, 69% nitrogen removal yang dilakukan oleh keseluruhan sistem kemudian dikonversikan dalam bentuk buah yang dapat dimakan. Eksperimen ini menggunakan 3 box yang diisi dengan grow media dengan ukuran masing-masing yaitu sebesar 0,4 x 0,6 x 0,4 m dan kolam ikan dengan ukuran 2 x 2 x 0,65 m dalam satu sistem konfigurasi akuaponiknya. Ikan yang digunakan dalam budidaya tersebut adalah ikan nila untuk tanaman terong dan *eurasian perch* untuk tanaman tomat dan ketimun.

Dalam penelitian ini diketahui bahwa ikan nila mengkonsumsi 330-436 gram pakan ikan dan nutrien yang dihasilkan ke air dengan mengeluarkan 1 kg pakan ikan terdiri atas 42 – 50 gram N; 5,2 – 6,8 gram P dan 0,6 – 1,4 gram K. Pada tabel 2.11 dijabarkan mengenai removal rates NPK dari produksi tomat, terong, dan juga ketimun dengan menggunakan sistem akuaponik pada penelitian ini.

Tabel 2-11. NPK Removal Rates pada Tanaman Tomat, Terong, dan Ketimun

Jenis Tanaman	Durasi (Hari)	Luas Area Tanam (m ²)	Fish Feeding Load (kg/hari)	Total System Removal (g/m ² .d)			Nutrient Recycling (%)		
				N	P	K	N	P	K
Terong	105	5,0	1,58	3,3	0,41	-	9	5	-
Tomat	67	4,9	0,89	0,6	neg	-	69	neg	-
Ketimun	42	14,4	0,26	0,4	0,07	-	17	27	-

Neg = nilai negatif karena data yang tidak jelas (data uncertainties)

Sumber: Andreas Graber dan Ranka Junge, Aquaponic Systems: Nutrient Recycling from Fish Wastewater by Vegetable Production, 2008.

Berdasarkan data tersebut dapat dilihat bahwa tomat memiliki kapabilitas daur ulang nutrien yang lebih besar jika dibandingkan dengan terong dan ketimun.

Selain itu dalam penelitian ini juga disebutkan bahwa semakin kecil kedalaman dari *grow bed* hidroponik yang digunakan maka akan semakin besar kemampuan efisiensi removal nutrien yang akan dilakukannya.

2.3.1.5 A Comparison of The Effectiveness of Aquaponic Gardening to Traditional Gardening Growth Method, Jason Yamamoto dan Austin Brock, 2013.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan dan menunjukkan perbedaan yang kontras pada pertumbuhan tanaman tomat, kacang, dan kacang polong pada medium akuakultur dengan ikan dan tanpa ikan dengan memantau perubahan pada amonia, pH, nitrat, fosfat, suhu dan salinitas air sepanjang waktu. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan pertumbuhan yang signifikan dari segi ketinggian pada ketika tanaman tersebut ketika ditanam dengan cara akuaponik dan dengan metode tanam biasa menggunakan tanah. Namun, terdapat perbedaan yang signifikan pada data mengenai kualitas air dari kedua metode tersebut. Data pada hari ketujuh menunjukkan bahwa nitrat berada pada puncaknya dan saat amonia turun menyebabkan tanaman pada sistem akuaponik tumbuh dengan sangat cepat. Dari hal tersebut dikonfirmasi mengenai hubungan antara nitrat dan juga pertumbuhan tanaman. Namun penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk mengetahui apakah akuaponik dan nitrat memiliki korelasi yang langsung dan juga perkembangan yang langsung untuk pertumbuhan tanaman.

Pada gambar 2.15 disebelah kiri merupakan gambar dimana penelitian dimulai dengan tray bagian atas diisi untuk metode penanaman tradisional sementara bak di sebelah kiri bawah pada gambar tersebut adalah sistem akuaponik dan sebelahnya adalah sistem hidroponik. Gambar di sebelah kanan atas dan bawah merupakan gambar penelitian hari ke 13 yang menunjukkan bahwa pertumbuhan dengan menggunakan metode tradisional lebih sukses dalam hal ketinggian pertumbuhan. Namun dalam penelitian itu disebutkan bahwa akuaponik memiliki keseluruhan tanaman yang lebih sehat secara penampilan, memiliki warna yang lebih terang dan lebih efektif dalam pertumbuhannya jika dibandingkan dengan media hidroponik saja.



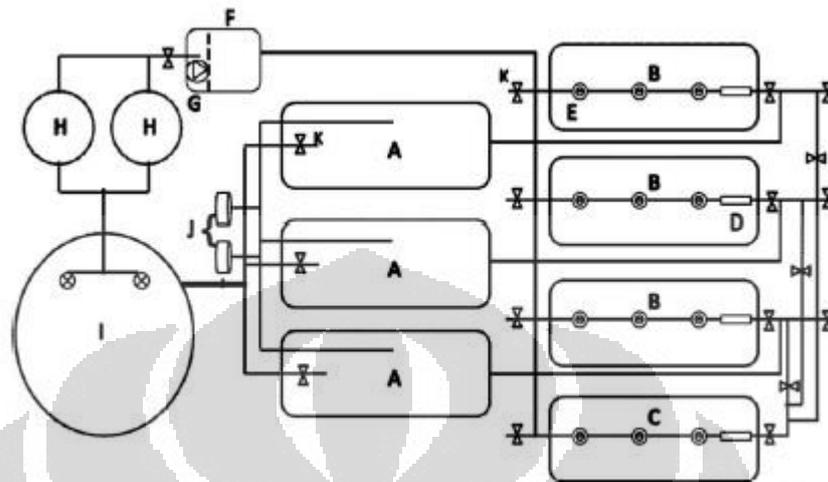
Gambar 2-15. Penelitian dengan Membandingkan Metode Akuaponik, Hidroponik, dan Metode Penanaman Tradisional

Sumber: Jason Yamamoto dan Austin Brock, A Comparison of The Effectiveness of Aquaponic Gardening to Traditional Gardening Growth Method, 2013.

2.3.1.6 A Study On The Optimal Hydraulic Loading Rate and Plant Ratios in Recirculation Aquaponic System, Azizah et al, 2009.

Penelitian ini adalah mengenai evaluasi pertumbuhan ikan *African Catfish* dan juga kangkung (*Ipomoea aquatica*) dalam sistem resirkulasi akuaponik. Penelitian ini mengukur kinerja produksi ikan, pertumbuhan tanaman, dan nutrisi removal dan juga tingkat ketergantungannya pada *hydraulic loading rate* (HLR). Dari penelitian tersebut diketahui bahwa produksi ikan tidak mengalami perubahan yang signifikan akibat HLR, namun hasil produksi bayam air secara signifikan lebih besar pada HLR yang lebih rendah. Secara keseluruhan tujuan dari studi penelitian ini adalah (1) untuk mengetahui HLR optimum dan kaitannya dengan produksi ikan, produksi tanaman, dan nutrisi removal, (2) mengevaluasi rasio tanaman yang optimum dan kaitannya dengan input pakan ikan sehari-hari dengan luas area pertumbuhan tanaman, (3) mempelajari *mass*

balance dari oksigen dalam upaya mencapai *sustainable balance* diantara ikan dan tanaman.



Gambar 2-16. Desain Penelitian Optimal Hydraulic Loading Rate and Plant Ratio

Sumber: Azizah et al, A Study On The Optimal Hydraulic Loading Rate and Plant Ratios in Recirculation Aquaponic System, 2009.

Ket: A: Culture tank, B: hydroponic trough (planted bed), C: hydroponic trough (control bed), D: filter, E: sprinkler, F: sump, G: pump, H: rapid sand filter, I: water storage tank, J: air blower, dan K: valves.

Gambar 2.16 menggambarkan desain unit yang dirancang dalam penelitian tersebut. Pada penelitian pertama dilakukan lima kali percobaan dengan menggunakan hydraulic loading rate yang berbeda yang dioperasikan selama 35 hari dan dibandingkan dengan desain kontrol yang tidak menggunakan tanaman. Penelitian ini dijalankan selama satu minggu dengan sudah memasukkan ikan sebagai inisiasi untuk mencapai aklimatisasi biofilter untuk meminimalisasi penyerapan nutrisi oleh bakteri pada awal setiap percobaan. Pada grow bed kangkung ditanam langsung kedalam substrat kerikil dengan jarak antar tanaman sebesar 10 cm x 10 cm. Ukuran dari saluran hidroponik dan volume sistem disamakan untuk semua rasio, namun laju pemberian makanan setiap harinya semakin meningkat yang disesuaikan dengan proporsi dengan biomassa dari ikan. Tabel 2.12 merupakan hasil dari penelitian pertama yang menggunakan variabel hydraulic loading rate dan menjabarkan mengenai nilai dari parameter kualitas air berdasarkan variabel tersebut.

Tabel 2-12. Nilai Parameter Kualitas Air dalam RAS dengan Variabel HLR

HLR (m/hari)		Water Quality Parameter					
		BOD5	TSS	TAN	NO2-N	NO3-N	TP
0,64	Influent (mg/L)	6,7	74,6	12,02	0,58	19,8	17,0
	Effluent (mg/L)	1,7	23	2,68	0,19	5,8	6,7
	Percent Removal (%)	47,3	67	64,1	67,2	62,4	50,0
1,28	Influent (mg/L)	6,7	74,4	12,04	0,56	20	17,1
	Effluent (mg/L)	1,3	21,1	2,23	0,14	5,4	6,3
	Percent Removal (%)	54,5	69,5	68,4	75	64,9	52,8
1,92	Influent (mg/L)	6,8	74,8	12,01	0,56	19,9	16,9
	Effluent (mg/L)	1,3	19,2	1,94	0,11	6,2	7,0
	Percent Removal (%)	55,4	72,3	71	80,4	60,4	47,8
2,56	Influent (mg/L)	6,9	74,4	11,99	0,57	20	17,0
	Effluent (mg/L)	1,0	14,2	1,68	0,09	6,6	7,1
	Percent Removal (%)	61,4	79	73,3	84,2	58,5	47,5
3,20	Influent (mg/L)	6,7	73,9	11,98	0,57	20,1	17,1
	Effluent (mg/L)	0,7	11,2	1,14	0,06	9,7	7,9
	Percent Removal (%)	65,5	82,9	78,3	89,5	42,3	42,8

Sumber: Azizah et al, A Study On The Optimal Hydraulic Loading Rate and Plant Ratios in Recirculation Aquaponic System, 2009.

Pada penelitian tersebut dikatakan bahwa peningkatan pada HLR mungkin mengurangi waktu kontak untuk nitrat dan bakteri denitrifikasi yang kemudian mengurangi kemampuan hidroponik untuk denitrifikasi. Mineral utama yang membatasi pertumbuhan biasanya adalah nitrogen dan laju pertumbuhan dan hasil yang tinggi biasanya dapat dilihat ketika nitrogen disuplai sebagai kombinasi dari amonia dan nitrat. Berdasarkan tabel 2.12 dapat dilihat bahwa persentase removal BOD5, TSS, TAN, dan Nitrit-N meningkat dengan adanya peningkatan HLR. Namun persentase removal nitrat-N dan TP mengalami peningkatan dan juga penurunan. Hal ini diasumsikan bahwa ketika terjadi peningkatan removal pada TAN, aktivitas nitrifikasi meningkat dan kemudian terjadi akumulasi pada nitrat dalam sistem yang terjadi yang juga dikarena oleh proses denitrifikasi yang terbatas. Faktor lain yang memungkinkan terjadinya hal ini adalah tidak mencukupinya waktu tinggal pada sump untuk mendenitrifikasi nitrat, ada atau tidaknya DO atau kurangnya karbon yang tersedia dalam sistem. Berbagai mekanisme dapat dilakukan untuk menghilangkan nitrat dalam air limbah, salah satunya adalah dengan adanya uptake oleh tumbuhan yang melalui sistem perakaran yang ada pada media pertumbuhan. Keseluruhan pengolahan,

RAS secara dasar menunjukkan penghilangan nutrisi yang efektif dengan rata-rata efisiensi penghilangan yang memiliki rentang dari 47%-89,5%.

Pada penelitian kedua, efek dari 7 perbandingan rasio tanaman dengan ikan (2, 4, 6,7, 8, 9, dan 10) dievaluasi dengan memanipulasi *stocking rate* dari tanaman bayam. Tabel 2.13 merupakan hasil dari penelitian kedua dengan menggunakan variabel densitas tanaman.

Tabel 2-13. Persentase Removal Parameter Kualitas Air dan Produksi Tanaman pada RAS dengan Hidroponik Kangkung pada Tujuh Rasio *Fish to Plant*

Fish to Plants Ratio (1:x) X	Percentage Removal (%)				Water Spinach Production (gr WW/m ²)
	TAN	NO ₂ ⁻ - N	NO ₃ ⁻ - N	TP	
2	67,26	69,00	39,00	27,45	360
4	69,93	76,60	43,32	33,48	700
6	72,96	82,74	44,58	41,55	1000
7	79,32	90,57	51,57	48,25	1120
8	81,67	95,79	59,02	48,99	1160
9	85,86	96,53	60,20	49,01	1100
10	86,22	96,84	60,55	49,74	1000

Sumber: Azizah et al, A Study On The Optimal Hydraulic Loading Rate and Plant Ratios in Recirculation Aquaponic System, 2009.

Persentase removal dari parameter kualitas air dan produksi tanaman meningkat dengan adanya peningkatan rasio perbandingan antara tanaman dan ikan hingga mencapai produksi maksimum pada rasio 8 yang setara dengan pemberian pakan yang mencapai 15-42 gram/m² dari area pertumbuhan tanaman. Peningkatan rasio pada tanaman yang lebih lanjut kemudian mengakibatkan penurunan pada produksi bayam air dan hal ini menyimpulkan bahwa nitrogen yang tidak sesuai pada influen hidroponik dapat menjadi faktor pembatas untuk peningkatan produksi tanaman.

2.3.1.7 Nutrient Cycle and Sludge Production During Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis sp*) Growth in A Recirculating Aquaculture System, Gholamreza Rafiee and Che Roos Saad, 2004.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi siklus nutrisi dari input pakan yang diberikan dan juga produksi lumpur yang dihasilkan dengan variabel yang digunakan adalah lima tahapan yang berbeda pada pertumbuhan ikan nila yang didasarkan pada berat dari ikan nila tersebut. Hasil dari penelitian ini memprediksikan nutrisi pakan yang seharusnya diberikan pada ikan dalam sistem resirkulasi sistem dan juga mendemonstrasikan bahwa efluen akuakultur memiliki nutrisi dalam jumlah yang besar yang termasuk didalamnya padatan yang diakumulasikan didalam unit hidroponik.

Sistem hidroponik yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem raft dengan susunan desain seperti yang ada pada gambar 2.17. Dalam penelitian ini dikatakan bahwa konsentrasi total amonia dalam air mengalami fluktuasi selama periode eksperimen. Konsentrasi amonia total berada pada rentang 4,73 - 14,87 mg/L sementara konsentrasi nitrit juga meningkat selama penelitian yaitu dengan rentang antara 3,75 - 9,77 mg/L.



Gambar 2-17. Skema Sistem Akuaponik dalam Penelitian Rafiee and Saad

Sumber: Gholamreza Rafiee and Che Roos Saad, Nutrient Cycle and Sludge Production During Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis sp*) Growth in A Recirculating Aquaculture System, 2004.

Dalam sistem resirkulasi akuaponik, untuk penghilangan padatan dan pengolahan air, efluen dari kolam ikan dialirkan menuju ke clarifier yang kemudian dialirkan ke unit hidroponik yang kemudian menyebabkan penghilangan padatan menjadi perhatian yang besar karena dalam sistem

akuaponik, konsentrasi nutrien harus diatur dengan baik untuk menyediakan larutan nutrien yang sesuai untuk pertumbuhan ikan dan tanaman. Diestimasi bahwa penghilangan padatan menggunakan clarifier mencapai rata-rata sekitar 21% dari berat kering pakan yang diberikan selama siklus produksi.

2.3.1.8 Aquaponics Research RMIT University, Melbourne Australia, Wilson Andrew Lennard, 2004.

Dalam penelitian ini digunakan komponen *gravel bed hydroponic* yang diketahui dapat bekerja baik untuk sistem kecil yang mampu berperan sebagai filter padatan maupun filter biologis. Penelitian ini mencoba membandingkan kemampuan removal yang dapat dilakukan dari ketiga jenis metode hidroponik yaitu metode *gravel bed*, *floating*, dan *Nutrient film technique*. Dari penelitian yang menggunakan tanaman selada dan ikan *murray cod* tersebut kemudian diperoleh data seperti yang ada pada tabel 2.14.

Tabel 2-14. Perbandingan Metode Hidroponik pada Penelitian Universitas RMIT

Parameter	Control	Gravel	Floating	NFT
Fish				
Wet Weight (gr/rep)	220,0 ± 16,1	206,7 ± 13,3	266,7 ± 29,6	250,0 ± 25,2
Specific growth rate (% /rep./day)	0,90 ± 0,05	0,89 ± 0,06	1,13 ± 0,13	1,09 ± 0,10
Food conversion ratio	1,01 ± 0,08	1,07 ± 0,07	0,85 ± 0,10	0,90 ± 0,08
Feed Fed (gr.rep)	220,0	220,0	220,0	220,0
Lettuce				
Biomass Gain (gr/rep)		2639,4 ± 28,9	2338,1 ± 14,5	2159,0 ± 9,8
Yield (gr/plant)		131,97 ± 6,46	116,91 ± 3,24	107,95 ± 2,20
Yield (kg/m ²)		5,05 ± 0,25	4,47 ± 0,12	4,13 ± 0,08
Nutrients				
Phosphate (mg/L)	7,15 ± 1,03	3,42 ± 0,11	3,47 ± 0,94	3,91 ± 0,37
Nitrate (mg/L)	51,23 ± 1,58	4,63 ± 2,85	2,60 ± 1,84	15,7 ± 2,57
Phosphate (gr/rep)	0,80	0,38	0,51	0,40
Nitrate (gr/rep)	5,74	0,52	0,39	1,62
Phosphate removal (%)		52,5	36,3	50,3
Nitrate removal (%)		90,9	93,2	71,8

Sumber: Lennard, Wilson A. 2004. Aquaponics Research RMIT University, Melbourne Australia

Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa *gravel bed* dan *floating raft* hampir sama dalam hal hasil tumbuhan yang diberikan dan nutrien yang

diserap oleh tanaman. Sementara NFT ternyata 20% kurang efisien jika dibandingkan dengan *gravel bed* dan *floating raft* dalam penyerapan nutrisi dan pertumbuhan tanaman. Hal ini mungkin terjadi karena pada *gravel bed* dan *raft system*, akar tanaman mengalami kontak 100% dengan air sementara dalam sistem NFT hanya 50% area akar yang mengalami kontak.

2.3.2 Sistem Resirkulasi Akuakultur (*Recirculated Aquaculture System*)

Sistem resirkulasi akuakultur adalah sistem yang secara terus menerus meresirkulasikan limbah cair yang berasal dari perikanan kembali lagi untuk diaerasikan ke dalam kolam. *Outlet* dari air yang disirkulasikan terlebih dahulu dibersihkan dan kemudian digunakan kembali, dan hal ini berarti bahwa jumlah air baru yang ditambahkan (penggunaan air bersih) dapat dikurangi (Odd-Ivar, 2013). Sistem penggunaan kembali air meliputi penggunaan tanki ikan atau unit untuk spesies akuakultur, sistem pengolahan air yang diadaptasi, dan sebuah pompa untuk memindahkan air dalam sistem. Pompa dan sistem pengolahan air merupakan hal yang membedakan sistem ini dari *flow-through traditional system*. Sistem pengolahan air yang merupakan jantung dari *re-use system* ini meliputi proses fisika, kimia, dan biologis yang digunakan untuk meningkatkan kualitas air pada tingkatan yang dapat diterima.

Pengolahan air yang terjadi selama proses resirkulasi air untuk perikanan termasuk diantaranya (Hambrey Consulting, 2013):

- Removal limbah secara mekanis (pakan ikan yang tidak dimakan, kotoran ikan, dan ikan yang mati)
- Bio-filtrasi aerobik dimana bakteri aerobik mengkonversikan ammonia menjadi nitrat yang tidak beracun pada proses nitrifikasi
- Bio-filtrasi anaerobik dimana bakteri anaerobik mengkonversi nitrat di dalam air menjadi nitrogen bebas dalam bentuk gas (de-nitrifikasi) yang kemudian dilepaskan ke atmosfer.

RAS menggunakan air dalam jumlah yang sangat sedikit, dan beberapa porsi limbah bernutrisi yang penting dikonversi menjadi gas nitrogen pada proses denitrifikasi. Namun, sistem ini mampu menghasilkan jumlah nutrisi padatan

yang signifikan yang diperoleh dari kotoran dan sisa pakan ikan yang kemudian dapat dikumpulkan pada settling tank, seperti pada lumpur bakteri/organik yang secara periodik dihilangkan dari biofilter.

2.3.2.1 Jenis-Jenis Ikan dalam Akuaponik

Jenis ikan dapat mempengaruhi baik ukuran maupun penempatan dari sistem akuaponik karena setiap jenis ikan memiliki kebutuhan yang berbeda-beda dalam hal kualitas air untuk hidup. Salah satu aturan yang dalam pemilihan ikan dalam sistem akuaponik adalah sebisa mungkin ikan tersebut termasuk ke dalam jenis ikan air tawar karena hampir kebanyakan tanaman tidak dapat menerima kelebihan pemaparan yang diberikan dari sodium yang ada pada air yang asin (air laut). Tabel 2.15 menggambarkan berbagai jenis ikan untuk sistem akuaponik serta berbagai macam karakteristik dari ikan tersebut yang harus diketahui untuk dipelihara (Sawyer, 2010), (Bernstein, 2011).

Tabel 2-15. Jenis dan Karakteristik Ikan dalam Akuaponik

Jenis Ikan	Keterangan
Nila (<i>Tilapia</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sangat sering digunakan dalam sistem akuaponik 2. Dapat hidup pada rentang temperatur (60 – 95°F) dan akan optimal pada suhu (74 - 80°F) 3. Tahan terhadap pergantian pH, temperatur, kadar amonia yang tinggi, dan oksigen terlarut yang rendah*) 4. Omnivora – pakan pelet ikan, <i>duckweed</i>, maupun sayuran dari sistem 5. Tumbuh hingga mencapai ukuran sedang (sekitar 1,5 lb) dalam 9 – 12 bulan (kondisi ideal) 6. Dapat dikonsumsi
Ikan Perch Kuning (<i>Yellow Perch</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cocok dengan sistem resirkulasi 2. Lebih menyukai air yang dingin (68 - 74°F) 3. Dapat mentolerasi oksigen terlarut yang lebih rendah dan dapat menyesuaikan diri pada saat pH berubah 4. Memakan pakan pelet ikan dan juga sayuran 5. Tumbuh hingga mencapai ukuran sedang dalam 9 bulan
Ikan <i>Trout</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lebih menantang untuk dirawat 2. Lebih menyukai air yang dingin dan dapat bertahan pada rentang suhu 35 – 68°F dan akan optimal pada suhu 55 – 65°F. 3. Dapat menjadi karnivora dan memakan ikan yang lebih kecil 4. Membutuhkan kadar oksigen terlarut yang lebih tinggi

(Lanjutan)

Jenis Ikan	Keterangan
	5. Sensitif terhadap perubahan pH dan kualitas air 6. Memakan pakan pelet ikan 7. Tumbuh hingga mencapai ukuran yang sedang (0,8 lb) dalam 12 – 16 bulan
Ikan <i>Bass</i> , <i>Bluegill</i> , dan Lele	1. Seringkali di budidayakan dalam kolam, dan dapat ditenakkan dalam sistem resirkulasi 2. Menyukai temperatur yang berkisar antara 80°F 3. Memakan pakan pelet dan makanan sisa yang jatuh di bawah 4. Dapat hidup pada kadar oksigen terlarut yang rendah 5. Lebih sensitif terhadap suhu, pH dan kualitas air 6. Ikan <i>Bass</i> dapat dipanen dengan ukuran sedang (1 – 3 lb) dalam 15 – 18 bulan 7. Ikan <i>Bluegill</i> dapat dipanen dalam 12 – 16 bulan 8. Ikan Lele dapat dipanen dengan ukuran sedang (1,25 lb) dalam 12 - 18 bulan
Ikan Koi, Mas, dan <i>Carp</i>	1. Ikan yang sangat cocok untuk tinggal di kolam 2. Sangat populer sebagai ikan hias 3. Dapat hidup pada temperatur dengan rentang 35 - 90°F namun optimal pada suhu 65 – 75°F 4. Omnivora – pakan pelet, serangga, dan akar tanaman 5. Umumnya dapat dijual sebagai peliharaan atau untuk pertunjukkan berdasarkan warna, bentuk, dan pola sisik yang dimiliki 6. Umumnya memiliki periode hidup yang lebih lama dari ikan yang lainnya yaitu sekitar 3 tahun ketika sudah mencapai dewasa.

*Keterangan angka yang dimiliki belum terlalu rinci

Sumber: Sawyer, *Aquaponics Growing Fish and Plants Together*, 2010. Bernstein, *Aquaponic Gardening: A Step by Step Guide to Raising Vegetables and Fish Together*, 2011.

Berdasarkan jenis dan karakteristik ikan untuk sistem akuaponik tersebut, ikan nila (*tilapia*) merupakan ikan yang umum digunakan dalam sistem karena sangat mudah perawatannya dan juga sangat baik untuk dibudidayakan dan dikonsumsi.

2.3.3 Sistem Hidroponik

Hidroponik berasal dari bahasa Yunani *hydro* (air) dan *ponos* (kerja) yang berarti suatu mekanika kerja air yang melibatkan pertumbuhan tanaman didalam media cair atau padat (organik atau anorganik) yang menggunakan makro atau mikronutrien terlarut yang disediakan didalam bentuk larutan (Hambrey

Consulting, 2013). Dalam sistem akuaponik, hidroponik berfungsi sebagai biofilter yang menyaring dan juga mengurangi beban kontaminan yang ada dalam effluen akuakultur yang dalam hal ini menjadi sumber nutrisi bagi tanaman tersebut.

Tumbuhan umumnya lebih menyukai nitrat daripada amonia, karena nitrat membutuhkan energi yang lebih sedikit untuk diambil oleh tumbuhan dan lebih mudah untuk mengkonversikan nitrat menjadi protein didalam internal tumbuhan (Bernstein, 2011).

2.3.3.1 Metode Hidroponik

Dalam sistem akuaponik, terdapat tiga jenis sistem hidroponik yang dapat diaplikasikan (Hambrey Consulting, 2013), diantaranya yaitu:

- **Nutrient film technique (NFT)**, merupakan lapisan tipis yang kaya akan nutrisi dari air yang mengalir disepanjang pipa atau saluran tertutup dimana terdapat lubang untuk menempatkan tanaman, dan umumnya bagian atas dari akar berada di udara sementara bagian bawah tumbuh dengan baik saat berkontak pada air yang diaerasikan.

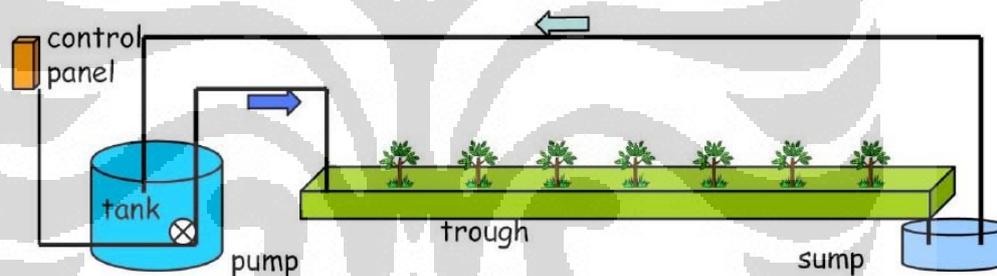


Gambar 2-18. Contoh NFT System dalam New Zealand Research

Sumber: Aquaponic Research Report, New Zealand, Hambrey, 2013

Umumnya saluran pada NFT system bervariasi, namun secara umum memiliki lebar sekitar 10-15 cm dan kedalaman 5-6 cm, slope 1%, dan memiliki panjang tidak lebih dari 20-30 m karena apabila berada dalam rentang yang terlalu panjang dapat mengakibatkan terjadinya penurunan oksigen yang berlebihan, kecuali jika dalam sistem disediakan suatu aerasi untuk menambah jumlah oksigennya. Selain itu air dengan kandungan

nutrisi yang tinggi umumnya dipompa dalam siklus 20-30 menit dengan jeda atau *intermittent time* sekitar 4-5 menit setiap harinya, dan setiap malam hari pengaliran dihentikan. Hal ini dilakukan untuk menyediakan kebutuhan oksigen bagi akar baik dalam bentuk cair (ketika air dari kolam ikan dialirkan) dan juga dalam bentuk gas dari udara (ketika pengaliran dihentikan). Namun, saat ini penggunaan sistem NFT sudah jarang digunakan dalam budidaya dengan menggunakan sistem akuaponik, hal ini dikarenakan ruangan untuk menanam tanaman dengan cara hidroponik yang tersedia sangat terbatas yang berdampak pada hasil produksi yang terbatas sehingga menurunkan nilai ekonomi. Selain itu juga terdapat permasalahan dalam pembentukan lendir bakteri dan adanya material organik pada saluran dan akar dalam sistem NFT yang menghambat aliran air dan efisiensi aliran.



Gambar 2-19. Sistem Nutrient Film Technique

Sumber: Aquaponic Research Report, New Zealand, Hambrey, 2013

- **Deep water or floating raft method**, yaitu sistem hidroponik dimana air dengan kandungan nutrisi yang tinggi ditempatkan pada tanki atau bak petumbuhan (reaktor) yang dapat mencapai kedalaman sekitar 20-30 cm. Raft atau rakit atau pengapung umumnya terbuat dari bahan polystyrene dengan lubang-lubang yang dibuat untuk pembenihan yang diberi jarak sekitar 13 cm antara lubang. Pengapung ini dipasang diatas air yang mengalir melalui saluran atau bak pertumbuhan yang memiliki kedalaman umum sekitar 8-10 cm dan lebar 0,6-1,5 m (gambar 2.20). tanki atau bak ini dapat dibuat dari plastik yang tidak beracun atau liner seperti LDPE (*low density polyethylene*). Air pada bak pertumbuhan dijaga agar tetap

teroksidasi dengan udara yang dapat meningkatkan penarikan nutrisi oleh akar dan juga menyediakan oksigen untuk bakteri nitrifikasi yang dapat mengubah ammonia menjadi nitrit dan nitrat dalam sistem akuaponik.



Gambar 2-20. *Polystyrene Raft* dengan Pembenihan dan Pot

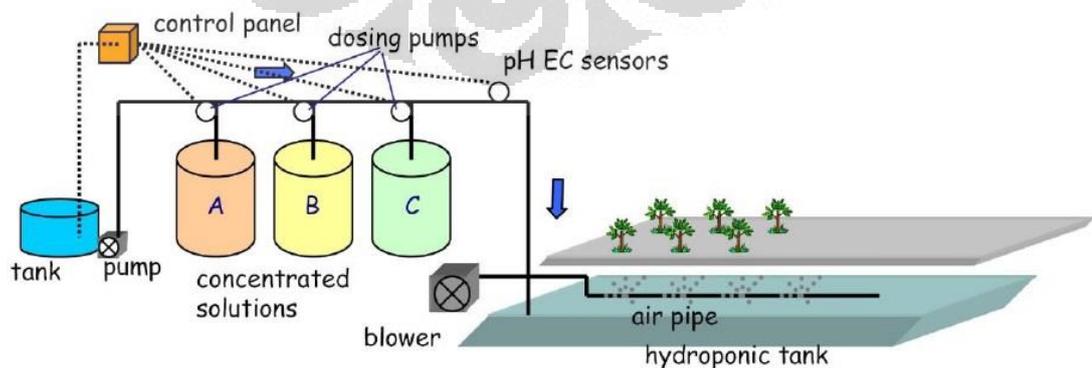
Sumber: Aquaponic Research Report, New Zealand, Hambrey, 2013 (Courtesy Larry Yonashiro)

Sistem ini seringkali digunakan untuk tanaman sayuran berdaun, tanaman dapur dan lain sebagainya yang tidak terlalu berat.



Gambar 2-21. Contoh Floating Raft

Sumber: Design and Operation of the UVI Aquaponic System, Bailey, 2007



Gambar 2-22. Sistem Floating Raft

Sumber: Aquaponic Research Report, New Zealand, Hambrey, 2013

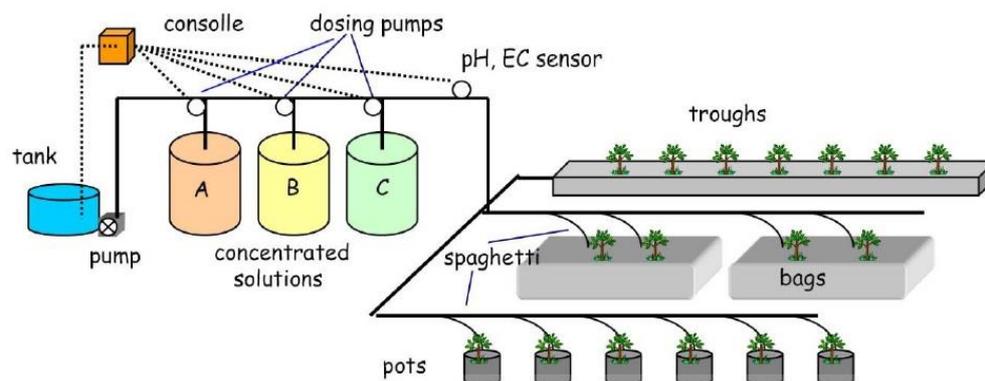
- **Media based growth**, merupakan metode penanaman tanaman pada bak yang berisikan medium seperti kerikil, bola-bola tanah liat, *vermiculite*, arang, dan lainnya. Bak ini dapat digunakan untuk menyerap maupun menampung larutan bernutrisi (*trickle fed*) ataupun dapat dijadikan juga sebagai media dengan periode *flood and drain* (“*ebb and flow*”) yaitu suatu sistem pengaliran dan juga pembuangan air yang memiliki *intermittent time* untuk memaksimalkan paparan akar tanaman terhadap udara dan juga nutrisi dari air. Bak bermedia ini juga berfungsi sebagai biofilter.



Gambar 2-23. Contoh Media Grow Bed

Sumber: <http://wolfenhawke.blogspot.com/2012/10/aquaponics-grow-beds-and-media-stackup.html> Mark Wright, 2012

Berbagai jenis media untuk bak pertumbuhan dapat tersedia baik dalam bentuk organik (jerami, kulit pohon, rumput laut, serbuk gergaji, dan gambut), mineral (pasir, kerikil, perlite, bola keramik, sisa arang merah/hitam, dan *rock wool*), dan sintetis (bola tanah liat yang dipadatkan, polystyrene, polyurethane). Pada sistem ini umumnya digunakan flood and drain system yang memungkinkan akar tanaman untuk beraerasi dan mendukung pengambilan nutrisi secara cepat, dan juga membantu bakteri nitrifikasi untuk mengkonversi ammonia dari tanki ikan menjadi nitrat atau pupuk untuk tanaman ketika digunakan dalam sistem akuaponik. *Flood and drain system* atau dikenal juga dengan *ebb and flow* dapat dikontrol dengan menggunakan *siphon valve* atau *timer*.



Gambar 2-24. Sistem Grow Bed

Sumber: Aquaponic Research Report, New Zealand, Hambrey, 2013

Sistem *media-based growing* memiliki beberapa hal yang menguntungkan dalam sistem tersebut, diantaranya yaitu (Bernstein, 2011):

- *Media bed* memberikan tiga fungsi penyaringan, yaitu mekanis (penghilangan padatan), mineralisasi (pemecahan padatan dan pengembalian kedalam air), dan biofiltrasi.
- *Media bed* berfungsi juga sebagai tempat tumbuh tanaman yang sangat mudah untuk dioperasikan, dapat menyokong tumbuhan dan lebih menyerupai penanaman dengan tanah secara tradisional karena terdapat medium untuk ditanam.

2.3.3.2 Jenis-Jenis Tanaman Hidroponik

Sangat banyak tanaman yang dapat digunakan dalam sistem hidroponik. Beberapa jenis tanaman yang tidak dapat tumbuh dengan baik dalam sistem akuaponik hidroponik adalah jenis-jenis tanaman yang membutuhkan pH lingkungan diatas atau dibawah pH netral 7,0 contohnya yaitu *blubberies* dan *azaleas* yang lebih cocok ditanam pada tanah yang lebih asam dan *chrysanthemums*, *calendula*, dan *zinnias* yang lebih cocok pada kondisi tanah yang basa (Bernstein, 2011).

Sejauh ini jenis tanaman yang seringkali ditanam dalam sistem akuaponik adalah tanaman sayur-sayur daunan dan *herbs* terutama selada air dan juga *basil* atau kemangi. Namun, berbagai jenis tanaman sebenarnya dapat

ditanam pada sistem hidroponik, terutama dalam sistem yang menggunakan media. Beberapa jenis tanaman yang sering ditanam antara lain adalah (Hambrey Consulting, 2013) seperti yang ada pada tabel 2.16 yaitu:

Tabel 2-16. Jenis Tanaman dalam Sistem Hidroponik

Sayuran	Herbs	Buah-Buahan
Selada	<i>Basil</i> (Kemangi)	Strawberry
Kacang-kacangan	<i>Thyme</i>	Semangka
<i>Squash</i>	<i>Cilantro</i>	<i>Cantaloupe</i>
<i>Zucchini</i>	<i>Sage</i>	Tomat
Brokoli	<i>Lemongrass</i>	
Cabai	<i>Wheatgrass</i>	
Ketimun	<i>Oregano</i>	Bunga-Bunga
Kacang Panjang	<i>Parsley</i>	Hampir semua jenis
Bayam		

Sumber: Sawyer, Aquaponics Growing Fish and Plants Together, 2010.

Tanaman-tanaman ini berbeda dalam hal kebutuhan nutrisi dan pengambilan nutrisi ke dalam sistem pertumbuhannya. Sayuran buah umumnya memiliki kebutuhan nutrisi yang lebih besar dan mungkin membutuhkan tingkat nutrisi yang berbeda pada tahapan pertumbuhan yang berbeda sehingga cenderung lebih sulit untuk tumbuh dalam sistem akuaponik (Hambrey Consulting, 2013). Selain itu Basil atau daun kemangi dan Pak Choy memiliki kandungan nitrogen yang lebih besar jika dibandingkan dengan selada dan ketumbar, dan keseimbangan diantara pemberian pakan ikan dan densitas tanaman harus diatur. Pada tabel 2.17 akan dijabarkan mengenai karakteristik dari masing-masing jenis tanaman yang biasa digunakan dalam sistem akuaponik.

Tabel 2-17. Jenis dan Karakteristik Tanaman dalam Sistem Hidroponik

Jenis	Keterangan
Selada, Bayam, Kangkung, Kemangi, Peterseli, dan Jenis Sayuran Dedaunan Lainnya	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memiliki banyak varietas yang berbeda 2. Sangat mudah untuk tumbuh 3. Siap untuk dipanen dalam waktu 30 hari 4. Memiliki sistem perakaran yang pendek 5. Dapat tumbuh dalam sistem media ataupun <i>raft</i> 6. Temperatur ideal ada pada suhu 60 – 80°F dan dapat mentolerasikan suhu yang lebih rendah hingga 45°F 7. Berdasarkan penelitian terdahulu diketahui bahwa tanaman selada (lettuce) memiliki kemampuan removal nitrat sekitar 71,8 – 93,2% dan removal fosfat sebesar 36,3 –

Jenis	Keterangan
	<p>52,5%.</p> <p>8. Berdasarkan penelitian terdahulu diketahui bahwa tanaman kangkung (water spinach) memiliki kemampuan removal amonia sekitar 64 – 86%, removal nitrit sekitar 67 – 96%, removal nitrat sekitar 39 – 65%.</p>
Tomat	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada 6 bulan pertama sangat mudah untuk dirawat 2. Akan berbunga ketika akan berbuah, dan membutuhkan nutrien dalam jumlah yang lebih banyak 3. Sangat sering digunakan dalam varietas hidroponik 4. Membutuhkan kondisi yang lembab untuk pertumbuhan 5. Senang terkena cahaya matahari ketika sedang berbuah. 6. Temperatur ideal ada pada suhu 78°F 7. pH ideal ada pada 5,8 – 6,8 dan dapat bertahan pada pH 7,2 8. Harus dibiarkan tumbuh dalam persemaian selama 2-6 minggu sebelum dipindahkan ke <i>grow bed</i>. 9. Berdasarkan penelitian terdahulu diketahui bahwa <i>nutrient recycling</i> dari tomat mencapai sekitar 69% untuk nitrogen.
Ketimun, Zucchini, Squash	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dapat tumbuh dengan cepat 2. Memiliki batang merambat yang tumbuh hampir ke semua area dan seringkali membutuhkan teralis untuk merambat 3. Menyukai tingkat kelembapan yang melebihi 75%. 4. Temperatur ideal ada pada suhu 75 – 78°F pada siang hari dan 68°F pada malam hari 5. Dapat dipanen dalam waktu 1,5 – 2 bulan. 6. Berdasarkan penelitian terdahulu diketahui bahwa tanaman ketimun memiliki kemampuan <i>nutrient recycling</i> hingga 17% untuk nitrogen dan 27% untuk fosfat.
Strawberry	<ol style="list-style-type: none"> 1. Merupakan tanaman yang cocok untuk ditanam secara vertikal 2. Lebih mudah untuk ditanam dan dipanen jika dibandingkan dengan tanaman lainnya 3. Tumbuh dengan baik pada cahaya yang khusus 4. Dapat sangat sensitif pada suhu yang berdampak pada saat berbunga dan menghasilkan buah yang manis 5. Tidak membutuhkan pestisida ataupun pupuk 6. Memiliki pH ideal yaitu 5,8 – 6,2
Kembang kol, Brokoli, Kubis, Lobak, dan Kale (Sejenis Daun Kol)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membutuhkan waktu 5 – 7 hari untuk penyemaian biji dan 45-55 hari untuk tumbuh hingga siap panen. 2. Temperatur harus dijaga diantara 60 – 70°F 3. Pada hari kesepuluh atau lebih setelah selesai penyemaian, bibit tanaman dapat mulai dipindahkan ke dalam <i>grow bed</i>.

Sumber: Sawyer, Aquaponics Growing Fish and Plants Together, 2010 dan

www.aquaponicsusa.com

2.3.3.3 Standar Influen Hidroponik

Dalam sistem dengan menggunakan media atau dimana filtrasi air secara fisik digunakan, kondisi anaerobik mungkin terjadi, dan hal ini memiliki efek samping yaitu terjadinya peningkatan pada pH, yang mungkin tidak cocok untuk tanaman, dan juga meningkatkan jumlah dari amonia toksik (yang tidak terionisasi). pH optimum yang dibutuhkan untuk kesehatan dan pengambilan nutrisi dalam tumbuhan umumnya berada dalam rentang 5,5 – 6,0, sementara bakteri nitrifikasi akan memiliki kinerja yang baik (untuk mereduksi amonia) pada rentang pH 7 hingga 8,5 (Hambrey Consulting, 2013). Parameter lain yang harus dijaga untuk kualitas air yang akan masuk ke dalam sistem hidroponik tanaman adalah oksigen terlarut yang harus berada diatas 5 atau 6 mg/l untuk tanaman yang sama untuk ikan dan pertumbuhan bakteri.

2.3.3.4 Media Tumbuh Hidroponik

Media dalam sistem hidroponik memiliki fungsi struktural yang dengan kedalaman 30 cm dapat menjadi pondasi dan struktur untuk sistem perakaran dari tanaman dan untuk mendekap serta menyediakan kesetimbangan bagi tanaman ketika diterpa angin ataupun karena faktor gravitasi (Bernstein, 2011).

Tabel 2-18. Jenis dan Karakteristik Media Hidroponik

	<i>Expanded Shale</i>	<i>Expanded Clay (hydroton)</i>	<i>River Stone</i>	<i>Crushed Stone (kerikil)</i>	Sintetis
Berat	Sepertiga dari berat batu	Setengah dari berat batu	Berat	Berat	Sangat ringan
pH Netral	Ya	Ya	Apabila mengandung limestone maka akan menaikkan pH	Sama dengan batu kali	Ya
Mudah ditangani	Ya	Ya	Ya	Sangat runcing dan sulit untuk menggali dengan tangan kosong	Ya
Biaya (1 = murah – 5 = mahal)	3	4	2	1	5

Sumber: Bernstein, Aquaponic Gardening: A step by Step Guide to Raising Vegetables and Fish Together, 2011

Media tumbuh hidroponik dalam sistem akuaponik sebaiknya tidak dapat merubah pH dari kualitas air, tidak mudah terdekomposisi, memiliki ukuran yang sesuai, memiliki porositas yang baik untuk menahan air dan udara, dan mudah untuk dikendalikan. Pada tabel 2.18 akan dijelaskan lebih lanjut mengenai karakteristik dari berbagai media tumbuh untuk sistem hidroponik.

2.3.3.5 Perhitungan Kebutuhan Dimensi Grow Bed

Kedalaman media grow bed sendiri terdiri atas dua jenis yaitu deep media grow bed yang umumnya memiliki kedalaman 12 inci atau sekitar 30 cm dan shallow media grow bed yang memiliki kedalaman sekitar 7 inci atau sekitar 17,5 cm (Aquaponics USA). Namun, seringkali jenis kedalaman yang digunakan adalah jenis deep media grow bed dengan asumsi bahwa media yang disediakan untuk mengkultivasi bakteri yang dapat mengubah amonia menjadi nitrat untuk pertumbuhan tanaman yang lebih optimum akan lebih besar.

Salah satu kunci untuk menciptakan sistem akuaponik yang baik adalah untuk menciptakan keseimbangan antara jumlah kotoran ikan dan juga kemampuan dari biofilter dan tanaman untuk mengkonversikan kotoran tersebut menjadi nutrisi untuk diserap tanaman (Bernstein, 2011). Apabila terlalu banyak kotoran maka biofilter akan kesulitan dan kemudian menciptakan kondisi anaerobik dimana ikan-ikan akan mati dan begitu pula sebaliknya, terlalu sedikit kotoran maka nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman akan menjadi tidak cukup.

Total volume dari keseluruhan *grow beds* yang akan dihubungkan dengan tanki ikan tunggal paling tidak harus setara dengan volume dari tanki ikan tersebut, untuk menyediakan proses filtrasi yang memadai untuk tanki ikan yang kemudian dapat disederhanakan dalam bentuk rasio 1:1 (Bernstein, 2011). Namun rasio ini sangat fleksibel untuk disesuaikan dengan keadaan dan terkadang memungkinkan adanya rasio 2:1 untuk *grow bed* : tanki ikan dan seterusnya yang kemudian akan mampu menyediakan proses filtrasi yang lebih banyak dalam sistem dan lebih baik untuk keberlangsungan hidup ikan.

Untuk perhitungan kebutuhan lahan grow bed kita dapat juga menggunakan asumsi rasio 5 kg ikan untuk setiap 1 m² luas tanaman dengan asumsi kedalaman media tanam adalah 30 cm.

2.3.4 Pembentukan Biofilter

Biofilter adalah koloni dari bakteri yang tinggal pada setiap rongga ataupun lapisan dari sistem akuaponik yang umumnya ada pada media tumbuh (Bernstein, 2011). Dalam hal ini *grow bed* dalam sistem hidroponik akuaponik berperan sebagai biofilter. Beberapa hal yang harus diketahui untuk membuat biofilter pada *media-based growing* antara lain yaitu (Shultz, 2012):

- Biofilter membutuhkan waktu sekitar 4-6 minggu untuk populasi bakteri yang mencukupi untuk berkembang
- Ikan harus diberikan pakan pada laju yang sangat rendah
- Pengukuran amonia, nitrit, dan nitrat harus dilakukan setiap hari
- Kadar amonia akan meningkat dan menurun yang disertai dengan peningkatan dan penurunan kadar nitrat
- Kadar dari TAN atau NO₂-N tidak boleh melebihi 5 mg/L
- Biofilter terbentuk ketika TAN dan kadar nitrit menurun dan saat kandungan nitrat meningkat

2.3.5 Sistem Pemompaan, Perpipaan, dan *Flood and Drain* dengan *Auto-Siphon*

Pada kebanyakan sistem akuaponik digunakan pompa *submersible pond pump* untuk mengangkat air menuju ke *grow bed* atau dari sump tank kembali ke kolam ikan. Pompa jenis ini dibuat untuk dapat dioperasikan pada lingkungan air dengan kotoran ikan dan serpihan sisa dari tanaman. Pompa secara umum dapat dijabarkan dengan dua parameter, yaitu laju aliran dan tekanan (Bernstein, 2011).

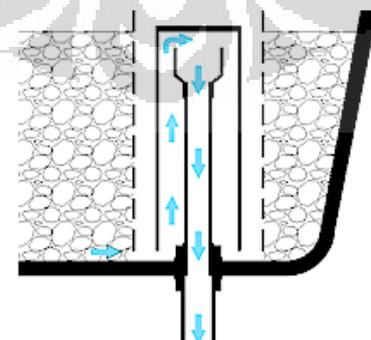
Pipa yang digunakan dalam sistem akuaponik umumnya berbahan dasar PVC (polyvinyl chloride) atau CPVC (chlorinated polyvinyl chloride) karena aman untuk makanan, dapat digunakan dalam jangka panjang, tahan krops, memiliki banyak ukuran yang tersedia, dapat dengan mudah dipoting dan tidak terlalu mahal. Umumnya dalam akuaponik digunakan pipa dengan standar diameter dalam sekitar 1,5 inci atau sebesar 12 mm karena diameter ini cukup besar untuk aliran air yang memadai tanpa adanya kemungkinan mampet akibat

padatan dan karena ukuran tersebut merupakan ukuran standar sehingga tidak sulit untuk didapatkan (Bernstein, 2011).

Pada sistem akuaponik dengan flood and drain, pemberian air atau “flooding” pada grow bed berarti memberikan nutrisi pada tumbuhan dan bakteri dan ketika air yang bersih dikembalikan lagi ke kolam ikan, pengurasan air dari grow bed memberikan kesempatan bagi oksigen untuk masuk ke dalam media hingga ke akar tanaman, bakteri dan cacing yang ada dalam grow bed.

Ada dua sistem pengurasan yang seringkali digunakan dalam sistem akuaponik media based yang tidak memiliki mekanisme waktu yang tetap namun tetap terdapat berjalan sesuai dengan kondisinya. Sistem ini disebut dengan *autosiphons and flush valve system* (Bernstein, 2011).

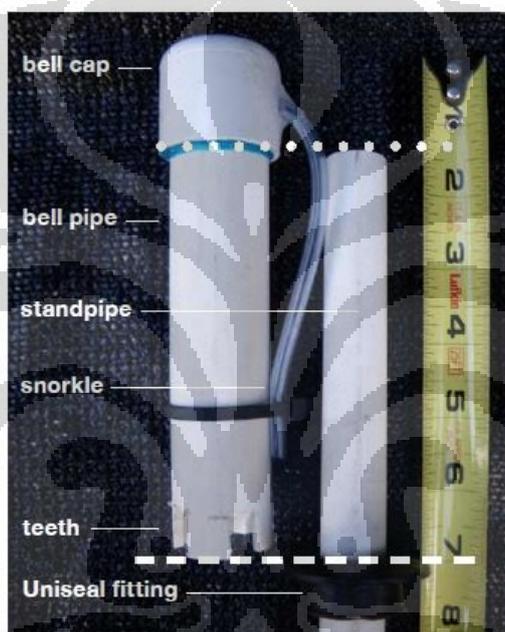
Dalam sistem autosiphon (atau dikenal juga dengan bell siphon), pompa air selalu dinyalakan dan air secara konstan dipompa dari kolam ikan menuju ke grow bed. Ketika ketinggian air meningkat, air akan mengisi bagian dalam siphon yang diletakkan di dalam grow bed. Ketika air mencapai ketinggian maksimum yang diinginkan, air akan mengalir masuk ke dalam pipa dan menciptakan area tekanan yang rendah di dalam siphon yang memicu terjadinya aksi penyedotan. Siphon akan dengan cepat menyerap air yang ada pada grow bed dan mengalirkannya ke kolam ikan hingga grow bed tersebut terkuras. Pada saat ini, udara akan masuk ke dalam siphon dan tekanan yang rendah di dalam siphon akan hilang dan aksi penyedotan akan berhenti. Karena pompa akan selalu menyala maka grow bed akan kembali terisi lagi dan siklus tersebut akan terulang lagi (Bernstein, 2011).



Gambar 2-25. Skema Aliran Air dalam Auto Siphon

Sumber: homeaquaponicsguide.blogspot.com

Ukuran yang sesuai dari auto siphon bergantung pada ukuran dari grow bed nya. Secara umum, semakin besar grow bed, maka semakin besar volume yang dapat ditampung, dan semakin besar standpipe dan auto siphon yang dibutuhkan untuk menguras airnya. Rasio yang direkomendasikan untuk ukuran auto siphon dengan kemampuan pengurasannya adalah 2:1, yaitu diameter dari pipa yang digunakan untuk membuat auto siphon harus dua kali lebih besar dari diameter standpipe (pipa pengaliran air yang dikuras) nya. Gambar 2.26 merupakan komponen-komponen yang biasa digunakan dalam pembuatan auto siphon.



Gambar 2-26. Komponen Auto Siphon.

Sumber: Tamaru. Construction of Automatic Bell Siphons for Backyard Aquaponic Systems. 2010

2.3.6 Sistem Clarifier

Clarifier secara sederhana merupakan unit yang memisahkan dan juga menghilangkan *settleable solids* yang berasal dari limbah ikan dan juga material partikulat lainnya yang ada dalam air (Nelson & Pade, 2007)

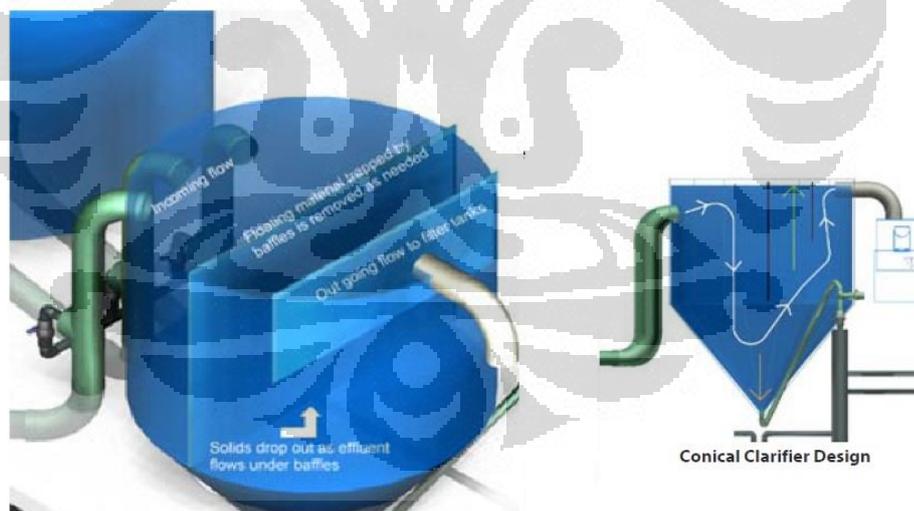
Solid waste di dalam air secara tipikal dikategorikan berdasarkan ukuran dan juga massa jenisnya (*specific gravity*). *Settleable solids* adalah padatan yang memiliki massa jenis yang relatif besar jika dibandingkan dengan massa jenis air dan dapat mengendap didasar. *Suspended solids* termasuk dalam kategori yang

memiliki massa jenis yang sama atau sedikit lebih besar daripada air. Suspended solids dapat terperangkap pada tahap pertama dalam biofiltrasi, dimana mereka kemudian akan diubah menjadi mineral yang tersedia untuk tumbuhan (Nelson & Pade, 2007).

Pada sistem akuaponik, air dibuang dari dasar kolam ikan menuju ke *clarifier*. Saat air mengalir melewati *clarifier*, *settleable solids* akan turun dan terkumpul di bagian bawah.

2.3.6.1 Conical Clarifier dengan Baffel

Pada *conical filter*, air buangan memasuki puncak filter dan kemudian mendapatkan gaya untuk turun ketika bertabrakan dengan *baffle* dan lama kelamaan padatan yang ada dalam air tersebut juga akan turun menuju ke dasar *cone* pada *clarifier* (Nelson & Pade, 2007). Untuk melengkapi penghilangan padatan, katup pada dasar filter dibuka dan filter dikosongkan secara cepat dan efisien untuk menghilangkan padatan dari limbah air ikan dan pakan ikan yang tidak dimakan.



Gambar 2-27. Conical Clarifier with Baffel

Sumber: Nelson and Pade, Aquaponic Equipment - The Clarifier, 2007.

Pada gambar 2.27 dapat dilihat pada gambar dikiri potongan unit *clarifier* yang menunjukkan air yang masuk dan keluar dan juga *baffle* yang ada pada unit

tersebut. Sementara pada gambar di kanan dapat dilihat aliran air yang ditandai dengan warna putih yang mengalir melewati *baffle* (yang berwarna hitam). Saat air bergerak melambat dan melewati *baffle* pertama, padatan yang berat turun menuju ke bagian dasar *cone*, sementara air yang bersih melanjutkan alirannya melewati *baffle* dan muncul ke pipa outlet.

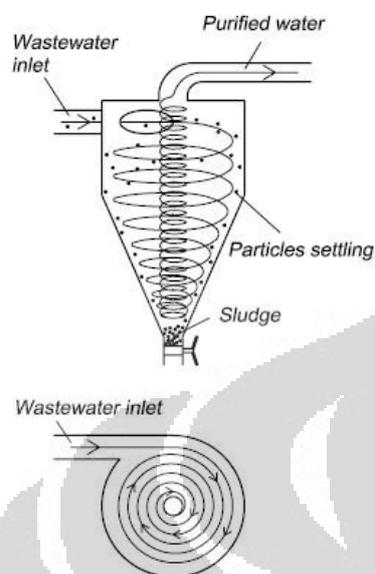
Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan conical baffle ini dilakukan di Universitas Virgin Island dan kemudian tipe clarifier ini lebih dikenal dengan UVI Clarifier. Diketahui bahwa jenis clarifier ini memiliki kemampuan removal padatan hingga 59% (Aquaponics and Filtration, 2012).

2.3.6.2 *Swirl Separation*

Pada swirl separator atau dapat disebut juga dengan *hydrocyclone* prinsip kerjanya yaitu bahwa partikel memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan air dan bahwa gaya sentrifugal dapat meningkatkan perbedaan tersebut (Lekang, 2013).

Untuk mengilustrasikan hal ini, kita dapat melakukan percobaan dengan menggunakan air didalam cangkir atau gelas yang memiliki ampas dari sisa teh yang kemudian diaduk atau diputar dengan gerakan melingkar menggunakan tangan dan dari hal tersebut dapat kita lihat bahwa partikel akan bergerak terlempar menuju ke pinggir dinding cangkir (Gambar 2.28). Pada swirl separator air masuk disekeliling tanki circular sehingga partikel mengikuti tepian dinding tersebut dan air yang lebih jernih (yang sudah terpisah dengan partikel yang lebih banyak berkumpul di dinding cangkir) akan terdorong menuju ke tengah putaran. Partikel tersebut kemudian akan tenggelam ke dasar tanki sementara air yang jernih akan di salurkan dari tengah tanki.

Karena gaya sentrifugal yang lebih besar daripada gaya gravitasinya, luas area yang dibutuhkan lebih sedikit jika dibandingkan dengan settling basin tradisional untuk menghilangkan partikel dalam jumlah yang sama. Namun, jika dibandingkan dengan settling basin, hydraulic load pada swirl separator harus lebih besar yaitu sekitar 20-25 m/hour (Lekang, 2013).



Gambar 2-28. *Swirl Separator Clarifier*

Sumber: Odd-Ivar Lekang, *Aquaculture Engineering*, 2013

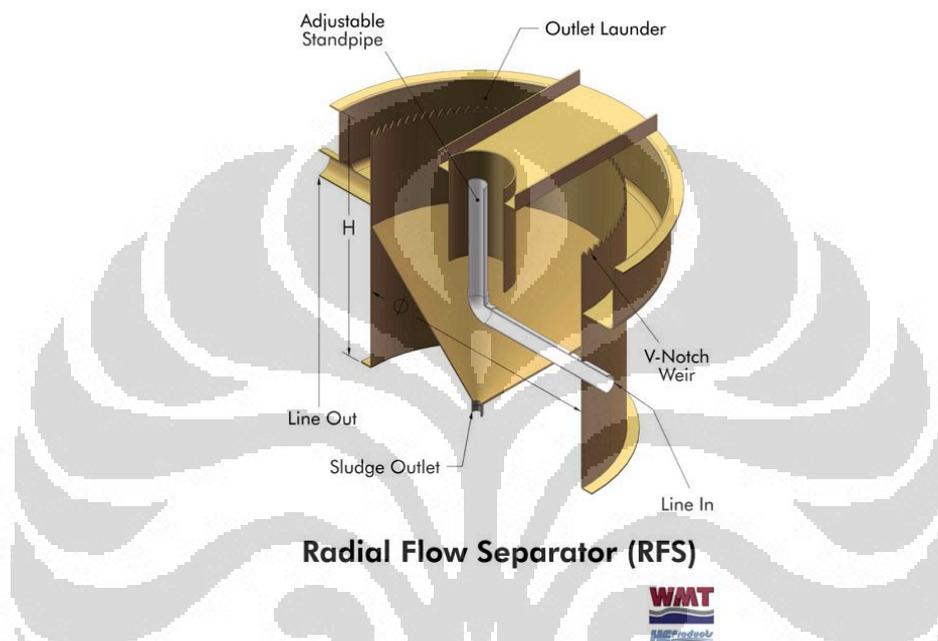
Keuntungan dari unit filter dengan tipe ini adalah bahwa jenis ini sangat mudah dalam konstruksinya dengan tidak ada bagian yang diharuskan untuk bergerak, selain itu juga murah dan tidak membutuhkan lahan yang besar. Namun kerugian dari jenis ini adalah dibutuhkan debit aliran air yang seragam untuk efisiensi yang optimal. Apabila debitnya lebih besar dari yang sudah didesain, maka dikhawatirkan partikel akan ikut terbawa keluar dengan outlet dari unit ini.

2.3.6.3 *Radial Flow Filter*

Unit *radial-flow settling* atau bisa disebut juga dengan *circular center-feed sedimentation basins*, merupakan desain settling tank yang paling umum digunakan dalam instalasi pengolahan air limbah domestik. *Radial-flow settler* memiliki kemiripan dengan *swirl separator* dalam hal bentuknya yang merupakan silinder dengan saluran effluen yang berada disekitar sekeliling bagian atas dari wadah dan terkadang juga memiliki bagian dasar yang berbentuk kerucut (Davidson & Summerfelt, 2005).

Namun, *radial-flow settler* memiliki perbedaan dalam hal aliran hidrolis jika dibandingkan dengan *swirl separator*. *Radial-flow settler* membawa air

menuju ke bagian tengah wadah, masuk ke dalam *'turbulence-dampening' cylinder*, dan air diinjeksikan menuju ke tengah wadah dan kemudian dialirkan keluar (didalam wadah dengan arah radial) menuju ke saluran pengumpul limpasan yang berada disekeliling bagian atas *settler* (Gambar 2.29). Aliran radial yang menjauh dari tengah tanki lingkaran menciptakan penurunan alju air secara progresif disepanjang alur pengendapan.



Gambar 2-29. Radial Flow Settler Diagram

Sumber: Water Management Technology Website. http://www.w-m-t.com/Products/Radial_Flow_Settinger.php

Desain dari titik injeksi aliran yang ada di dalam pusat radial-flow settler sangat penting untuk mengurangi turbulen yang diciptakan oleh aliran yang diinjeksikan ke tengah tanki, sehingga silinder pengurang turbulen (*turbulence-dampening cylinder*) yang diletakkan ditengah wadah circular harus didesain dengan diameter minimum sebesar 25% dari diameter tanki yang akan digunakan dan harus diloasikan pada ketinggian yang tidak menyentuh ketinggian maksimum area pengendapan sehingga tidak mengganggu penangkapan padatan (Metcalf and Edy Inc., 1991).

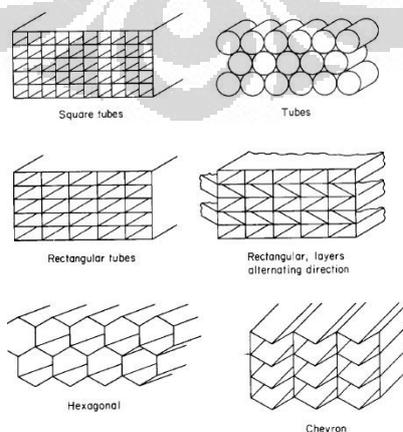
Dalam suatu penelitian diketahui bahwa radial-flow settler memiliki kemampuan removal TSS dua kali lipat lebih besar daripada swirl separator dengan ukuran yang sama dan surface-loading rate yang sama sistem radial flow

yaitu dengan efisiensi removal TSS pada unit radial flow filter mencapai hingga 48% dari keseluruhan TSS yang dihilangkan dalam sistem (Davidson & Summerfelt, 2005).

2.3.6.4 Tube Settler

Tube settler merupakan salah satu jenis unit yang digunakan dalam *high rate clarification*. *High rate clarification* adalah semua proses yang dapat menampung beban pada laju yang tinggi jika dibandingkan dengan yang digunakan pada clarifier biasa (Tugtas, 2014). Modul individual atau langsung jadi dari *inclined plate* atau *tube settler* dapat dibuat dari material yang dapat disesuaikan. Keuntungan dari penggunaan modul langsung jadi termasuk diantaranya efisiensi penggunaan material, akurasi dari jarak pemisahan, konstruksi yang ringan, dan struktur yang kaku. *Inclined settler* dapat diisi dengan bentuk tanki yang sesuai untuk *countercurrent*, *cocurrent*, atau *crossflow sedimentation* (Edzwarld, 2011).

Sudut kemiringan dari inklinasi tubes atau plate bergantung pada pengaplikasiannya, kecenderungan untuk self-cleaning dan karakteristik aliran dari lumpur pada permukaan inklinasi. Umumnya suatu tube diletakkan pada sudut kemiringan $50^\circ - 60^\circ$ untuk pengendapan yang efisien. Jarak pemisahan tipikal antara permukaan inklinasi adalah sebesar 50 mm, dengan panjang inklinasi dapat mencapai 1 – 2 m (Edzwarld, 2011). Gambar 2.30 merupakan contoh-contoh bentuk penampang dari tube yang dapat digunakan.



Gambar 2-30. Berbagai Bentuk Penampang pada Tube Settlers

Sumber: American Water Works Association, James Edzwarld. Water Quality and Treatment A Handbook on Drinking Water – Mc Graw Hill. 2010.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Fokus Penelitian dan Percobaan

Percobaan sistem akuaponik yang dilakukan lebih difokuskan pada pembuatan unit sedimentasi atau *pre-treatment* untuk mengurangi beban TSS yang akan diposisikan pada effluen sistem akuakultur dan sebelum masuk sebagai influen pada sistem hidroponik untuk proses filtrasi. Dari penambahan unit sedimentasi (*clarifier*) dapat dilihat pengaruhnya terhadap keseluruhan sistem dalam masing-masing unit lainnya, terkait dengan pengurangan beban TSS yang dapat dilakukan serta pengaruhnya pada kandungan lain seperti ammonia, nitrit, dan nitrat. Dalam percobaan ini dibuat dua *clarifier* dengan jenis yang berbeda yaitu *clarifier* tipe *conical baffle* dan *clarifier* tipe *radial flow filter* dan kemudian dilihat karakteristik effluen seperti apa yang dihasilkan sebagai perbandingan dari kedua unit tersebut terhadap keseluruhan sistem akuaponik. Kedua jenis tersebut dipilih karena konstruksinya yang tidak terlalu sulit dan efisiensi removalnya yang sejauh ini berdasarkan penelitian terdahulu dapat mencapai efisiensi 48 - 59%. Selain itu setiap harinya dilakukan pengecekan terhadap pH, DO, dan suhu untuk menjaga kualitas air yang sesuai untuk budidaya ikannya.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini mengambil sampel dari lokasi tempat perancangan akuaponik yang dilakukan di halaman rumah dengan metode pengambilan sampel in situ untuk parameter DO, pH dan suhu yang merupakan parameter kualitas dasar dan metode *grab sampel* untuk memeriksa kandungan TSS, amonia, nitrit, dan nitrat yang kemudian dicek di laboratorium Teknik Penyehatan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Penelitian dilaksanakan dari bulan Februari hingga Maret 2015. Secara umum tabel 3.1 menggambarkan timeline kerja penelitian dan perancangan yang akan dilakukan.

Tabel 3-1. Timeline Kerja Penelitian dan Perancangan

No	Kegiatan	Waktu																			
		Januari				Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Perancangan Reaktor Akuaponik																				
2	Penempatan ikan dan tanaman pada reaktor (Start running process)																				
3	Proses Aklimatisasi Siklus Nitrifikasi pada Biofilter (Pemantauan dan Pengujian Sampel TSS, Amonia, Nitrit, Nitrat, pH, DO, dan Suhu)																				
4	Proses Stabilisasi Siklus Nitrifikasi selama 7 hari (Pemantauan dan Pengujian Sampel TSS, Amonia, Nitrit, Nitrat, pH, DO, dan Suhu)																				
5	Pengukuran dan Analisa Data																				
6	Penyusunan Laporan																				

Sumber: Analisa Penulis

3.3 Persiapan Percobaan

Pada tahapan persiapan percobaan kegiatan yang dilakukan antara lain adalah kegiatan pembibitan tanaman dan pembuatan struktur untuk sistem akuaponik.



Gambar 3-1. Pembibitan Benih Tomat, Kangkung, dan Caisim

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

Pada gambar 3.1 disebelah kiri dilakukan tahapan persiapan yaitu pembibitan benih tomat, kangkung, dan juga caisim pada pot-pot. Namun, dalam proses pembibitan tersebut tanaman kangkung dan caisim sangat sulit untuk dibibitkan karena memiliki struktur batang yang sangat kecil dan mudah mengalami rebah ketika terkena air hujan maupun air siraman yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman setiap harinya. Sementara tanaman tomat lebih mudah untuk dibibitkan dan tumbuh dengan baik pada gambar 3.1 sebelah kanan di pot hitam bagian atas yang memperlihatkan daun-daun tanaman tomat yang sudah tumbuh pada umur 16 hari. Karena adanya kesulitan dalam pembibitan tanaman kangkung dan juga caisim, maka proses pembibitan difokuskan kepada tanaman tomat namun dengan tetap mencoba untuk menjadikan tanaman caisim dan kangkung sebagai tanaman cadangan.

Selain itu, dalam persiapan percobaan juga dilakukan pembuatan struktur untuk sistem akuaponik yang dibuat dari gabungan kayu-kayu yang berfungsi untuk meletakkan kontainer berisi tanaman hidroponik yang diposisikan untuk berada diatas kontainer berisi ikan. Struktur tersebut juga dilengkapi dengan atap dari *fiberglass* yang berfungsi untuk melindungi tanaman dan sistem akuaponik

dari air hujan namun dapat tetap menyediakan sinar matahari yang cukup untuk membantu pertumbuhan tanaman (Gambar 3.2).



Gambar 3-2. Pembuatan Struktur untuk Perancangan Sistem Akuaponik

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

Struktur pendukung untuk sistem akuaponik (Gambar 3.2) memiliki lebar 0,75 m dan panjang 3 m dengan ketinggian yang berbeda pada ujung kiri dan kanannya yaitu 3 m dan 3,2 m. Adanya perbedaan ketinggian pada struktur ini dimaksudkan untuk mempermudah aliran jatuhnya air hujan agar tidak tergenang di atas fiberglass terlalu lama. Pada struktur tersebut terdapat tiga buah kayu yang diletakkan memanjang yang berfungsi sebagai meja atau tatakan untuk kontainer berisi tanaman yang berada pada ketinggian 1 m dari bawah tanah. Ketinggian tersebut disesuaikan dengan jarak untuk menaruh kontainer berisi ikan yang akan diletakkan di bawah kontainer tanaman.

3.4 Desain/Perancangan Sistem Akuaponik

Sistem akuaponik yang akan dirancang terdiri dari sistem akuakultur, unit clarifier, dan sistem hidroponik.

3.4.1 Desain Sistem Akuakultur

Jenis ikan yang dipilih untuk percobaan ini adalah ikan air tawar yaitu Ikan Nila dengan sistem monokultur kolam. Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) mempunyai sifat omnivora (pemakan nabati maupun hewani), sehingga usaha budidayanya sangat efisien dengan biaya pakan yang rendah. Ikan nila dipilih

karena ikan ini merupakan salah satu ikan yang dapat dikonsumsi, mudah untuk dipelihara (Tabel 2.15), serta memiliki kemampuan untuk bertahan pada standar kualitas air seperti yang ada pada Tabel 3.2:

Tabel 3-2. Standar Kualitas Air Ikan Nila

Parameter	Satuan	Rentang Nilai
pH	-	6,5 – 8,6
Suhu	°C	25 – 30
DO	mg/L	> 5
Amonia	mg/L	< 1
Nitrit	mg/L	< 5
Nitrat	mg/L	< 300

Sumber: Petunjuk Teknis Pembenihan dan Pembesaran Ikan Nila, Dinas Kelautan dan Perikanan Daerah Provinsi Sulawesi Tengah, 2010.

Schultz, Water Quality in Aquaponic Systems, 2012.

Hambrey, Aquaponics Research Report, 2013.

Dalam penelitian dan perancangan desain akuaponik ini akan digunakan 4 rangkaian sistem (gambar 3.7) dengan masing-masing reaktor untuk unit akuakultur wadah ikan masing-masing menggunakan kontainer plastik yang memiliki ukuran panjang 55 cm, tinggi 29 cm dan lebar 40 cm dengan volume total yaitu 63,8 L (gambar 3.3).



Gambar 3-3. Kontainer Volume 63,8 L untuk Reaktor Wadah Ikan

Sumber: Dokumentasi Penulis

Ketinggian air yang diberikan untuk wadah ikan adalah setinggi 19 cm sehingga volume air yang akan diberikan untuk masing-masing wadah adalah sebesar 41.800 cm^3 atau sama dengan 41,8 L.

Aturan umum dalam akuaponik dengan menggunakan *media based system* adalah sebanyak 500 gram ikan untuk setiap 5 hingga 10 gallons (20-40 L) air dalam wadah ikan (Bernstein, 2011). Sehingga untuk satu wadah ikan yang akan diisikan air dengan volume sekitar 41,8 L, jumlah bobot ikan yang harus dimasukkan ke dalam tanki adalah sekitar 500 gram dan akan disamakan untuk masing-masing wadah.

Secara rata-rata, ikan memakan hampir 1,5% dari berat tubuhnya setiap hari (Sawyer, 2010). Sehingga pakan yang harus diberikan pada masing-masing wadah dengan bobot ikan 500 gram adalah sebanyak 7,5 gram setiap harinya. Pada saat persiapan perancangan, wadah ikan harus dibersihkan terlebih dahulu untuk menghindari adanya pengaruh dari kontaminan lain dalam sistem.

Tabel 3-3. Kebutuhan Wadah Ikan dalam Perancangan

Keterangan	Jumlah
Ikan Nila dalam satu kolam	500 gram
Ikan Nila untuk keseluruhan penelitian	2000 gram
Jumlah pakan untuk satu kolam per hari	7,5 gram
Jumlah pakan untuk keseluruhan penelitian per hari	30 gram
Volume air per kolam ikan	41,8 L

Sumber: Pengolahan Penulis

3.4.2 Desain Unit Clarifier

Dalam penelitian ini akan digunakan variabel bebas yaitu jenis *clarifier*. Ada dua jenis *clarifier* yang akan digunakan sebagai perbandingan dalam penelitian ini, yaitu *clarifier* dengan *conical baffle* dan *clarifier* tipe *radial flow filter*. Pembuatan *clarifier* ini dilakukan untuk mengetahui jenis *clarifier* mana diantara *clarifier baffle* atau *clarifier radial flow filter* yang memiliki kemampuan removal terhadap TSS yang lebih besar dan bagaimana perbandingannya dengan kontrol yang tidak menggunakan sistem akuaponik sama sekali dan juga dengan kontrol yang menggunakan sistem akuaponik tanpa adanya *clarifier* di dalam sistemnya. Dikarenakan informasi mengenai kriteria desain untuk unit *clarifier* yang diketahui untuk sistem akuaponik sangat terbatas, maka desain unit *clarifier* yang akan dibuat dalam perancangan dan penelitian kali ini didasarkan pada salah satu penelitian terdahulu yang menggunakan *clarifier* tipe *conical baffle* yang dilakukan di Universitas Virgin Island.

Dalam penelitian terdahulu tersebut (Rakocy et al, 2007) digunakan dua *clarifier* dengan total volume untuk keduanya adalah $7,6 \text{ m}^3$ yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan penyaringan empat tanki kolam ikan dengan total volume tanki yaitu $31,2 \text{ m}^3$. Sehingga rasio antara tanki kolam ikan dengan *clarifier* yang digunakan adalah:

$$\text{Tanki kolam ikan} : \text{clarifier} = 31,2 \text{ m}^3 : 7,6 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanki kolam ikan} : \text{clarifier} = 4 : 1$$

Karena dalam perancangan ini digunakan wadah ikan dengan volume air sekitar 41,8 L maka *clarifier* yang dibuat memiliki volume dengan besaran sekitar 10,45 L. Secara umum bentuk dari wadah *clarifier conical baffle* dengan *radial flow filter* sama, sehingga ukuran dan bentuk *clarifier* ini disamakan yaitu berbentuk tabung dengan bagian yang mengerucut dibagian bawah.

Clarifier yang digunakan dalam percobaan ini menggunakan bahan sederhana yang berasal dari botol air plastik berukuran 8,8 L dengan diameter 19 cm. Tabel 3.4 dan Gambar 3.4 menggambarkan desain ukuran yang akan dibuat berdasarkan material yang diperoleh dan rancangan penulis.

Tabel 3-4. Tabel Dimensi Ukuran Clarifier Rancangan

Keterangan	Ukuran
Conical Baffle	
Ketinggian total	38 cm
Ketinggian tabung	23 cm
Ketinggian kerucut	15 cm
Diameter wadah	19 cm
Ketinggian Baffle 1	18 cm
Ketinggian Baffle 2	10 cm
Volume Total	7,9 L
Ketinggian Air dari Dasar Clarifier	35 cm
Volume Air dalam Clarifier	7,1 L
Radial Flow Filter	
Ketinggian total	41 cm
Ketinggian silinder	26 cm
Ketinggian kerucut	15 cm
Diameter wadah	19 cm
Volume Total	8,8 L
Diameter Silinder Dalam (<i>'turbulence-dampening' cylinder</i>)	$D_{dalam} = \frac{1}{4}D = \frac{1}{4}19 \text{ cm} = 4,75 \text{ cm}$

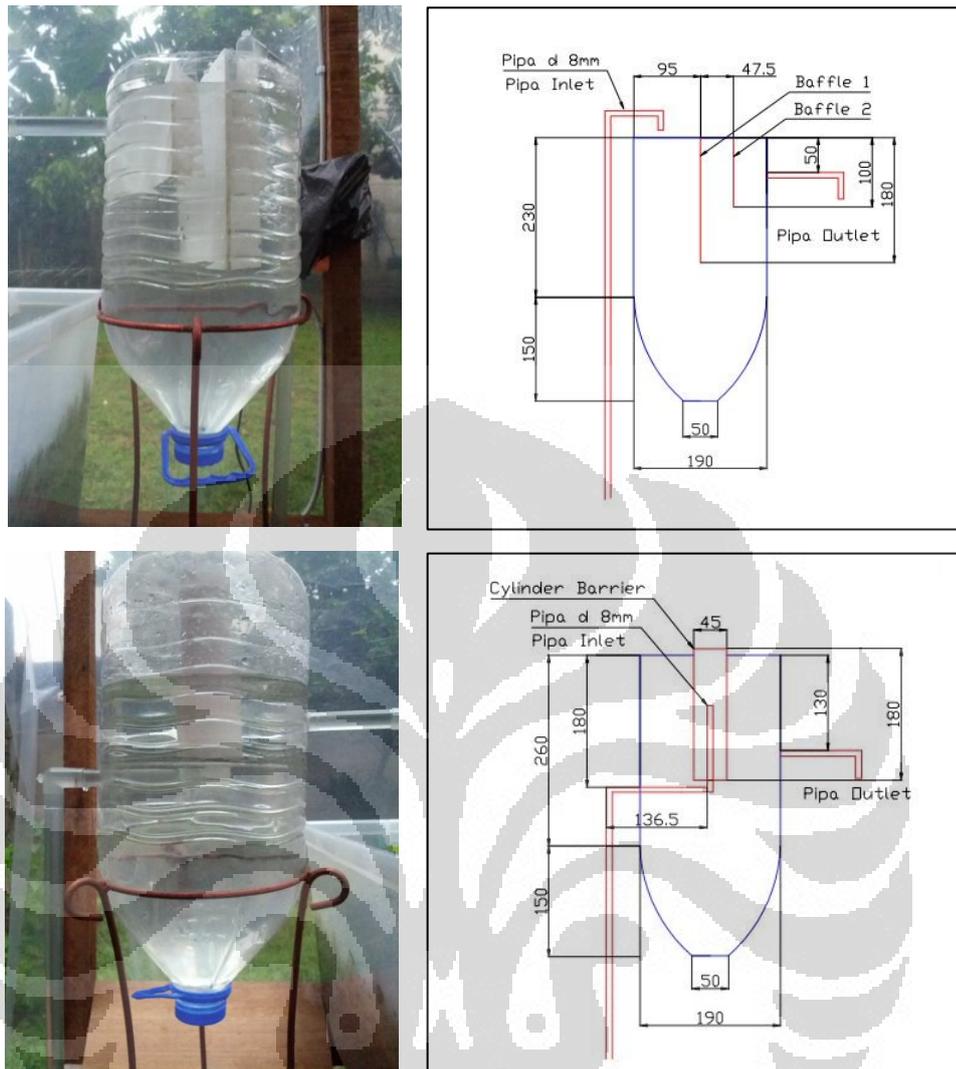
(Lanjutan)

Keterangan	Ukuran
	*diameter silinder dalam menggunakan material dari pipa PVC dengan diameter 4,5 cm.
Ketinggian Air dari Dasar Clarifier	32 cm
Volume Air dalam Clarifier	6,2 L

Sumber: Pengolahan Penulis

Pada jenis *clarifier baffle*, *baffle* yang digunakan dibuat dari bahan *infraboard* yang dipotong menjadi dua bagian dengan ukuran pada bagian pertama sebesar 180 mm x 190 mm yang diletakkan pada bagian tengah *clarifier* secara melintang dan bagian kedua sebesar 100 mm x 175 mm yang diletakkan pada jarak 47,5 mm dari *baffle* pertama atau sama dengan jarak seperempat dari diameter *baffle*. Kedua *baffle* tersebut bertujuan untuk mengurangi kecepatan air sehingga partikel-partikel tersuspensi yang terbawa bersama dengan air tersebut dapat menabrak dinding *baffle* dan kemudian bergerak turun ke dasar kerucut (Nelson & Pade, 2007). Botol plastik pada *clarifier* ini dipotong pada bagian atasnya sehingga dimensi keseluruhan *clarifier* jenis *conical baffle* ini menjadi sebesar 7,9 L. Sementara ketinggian air dalam *clarifier conical baffle* ini adalah sebesar 35 cm sehingga volume air dalam *clarifier* tersebut menjadi sebesar 7,1 L.

Sementara pada jenis *clarifier radial flow filter* terdapat '*turbulence-dampening*' *cylinder* yang terbuat dari pipa PVC berdiameter 45 mm dan digunakan sebagai jagaan ketika air yang menuju ke bagian tengah *clarifier* masuk. Diameter pada '*turbulence-dampening*' *cylinder* merupakan desain diameter minimum yang memiliki proporsi sekitar 23% dari diameter *clarifier* yang digunakan (190 mm) yang berguna untuk mengurangi turbulen yang diciptakan oleh aliran yang diinjeksikan ke tengah tanki (Metcalf and Edy Inc., 1991). Ketinggian air dari dasar *clarifier* ini adalah sebesar 32 cm, sehingga volume air dalam *clarifier* tersebut menjadi sebesar 6,2 L.

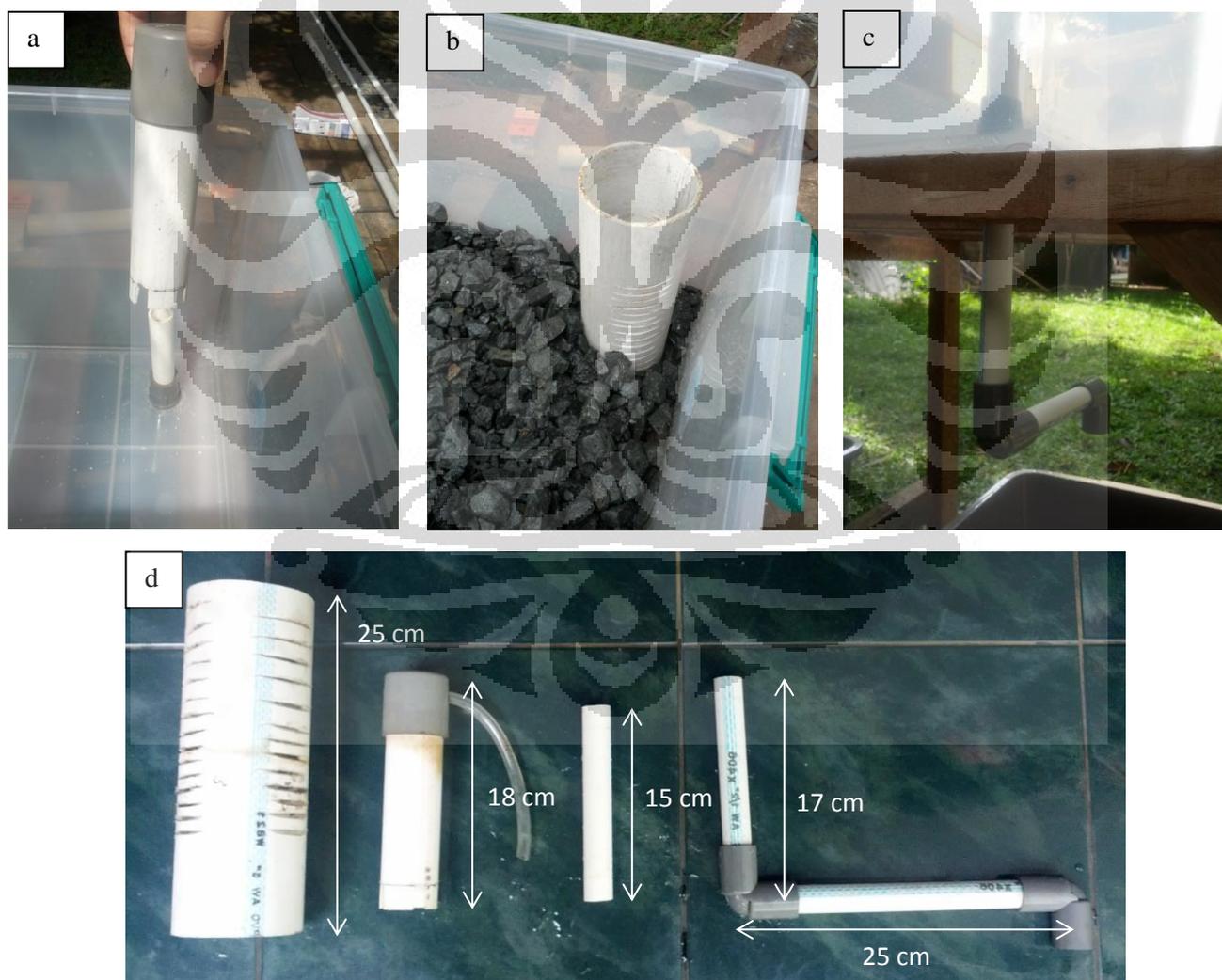


Gambar 3-4. Desain *Clarifier Conical Baffle* (atas) dan *Clarifier Radial Flow Filter* (bawah)
 Sumber: Dokumentasi dan Pengolahan Penulis (satuan mm)

3.4.3 Desain Auto-Siphon

Dalam perancangan sistem akuaponik dengan menggunakan *media based grow bed* pada sistem hidroponik, dibutuhkan pengaliran air yang memungkinkan terjadinya *flood and drain* pada kontainer berisi kerikil tersebut. Kondisi *flood* (pengairan) memungkinkan tanaman untuk menerima nutrisi yang berasal dari air limbah ikan yang dialirkan ke dalam sistem hidroponik, sementara kondisi *drain* (pengurasan) air dari grow bed memberikan kesempatan bagi oksigen untuk masuk ke dalam media hingga ke akar tanaman (Bernstein, 2011).

Kondisi *flood and drain* dalam perancangan ini dibuat dengan menggunakan alat yang disebut dengan *auto-siphon* yang dirancang dengan menggunakan pipa PVC dengan ukuran yang serupa dengan yang ada pada Gambar 2.26. *Standpipe* yang digunakan memiliki diameter sebesar $\frac{1}{2}$ inci yang kemudian dipasang menempel pada dasar kontainer sistem hidroponik dengan bantuan *uniseal fitting*. Penghubung ini kemudian dapat dipakai untuk membantu menghubungkan antara *stand pipe* dengan pipa siku di bawah kontainer yang meneruskan air dari sistem hidroponik menuju ke wadah ikan. Bentuk dari pipa di bawah kontainer hidroponik tersebut sebisa mungkin dibuat agar memiliki siku untuk membantu agar tercipta ruang kosong diantara siku yang dapat menyedot air pada saat kondisi *flood and drain* berlangsung (Gambar 3.5).



Gambar 3-5. Desain *Auto-Siphon*

Gambar a: *Standpipe* dan *bell pipe*, Gambar b: Tabung jagaan, Gambar c: Bentuk pipa siku dari sistem hidroponik, Gambar d: Unit-unit *Auto-siphon* (Tabung Jagaan, *Bell pipe*, *Standpipe*, Pipa Siku)

Sumber: Dokumentasi Penulis

Sementara itu *bell pipe* yang digunakan memiliki diameter 1 inci yang dilengkapi juga dengan *bell cap*. Pada bagian *bell cap* diberikan lubang untuk memasukkan selang yang memiliki panjang yang tidak boleh melebihi bagian gigi dari *bell pipe* yang berfungsi untuk mengatur udara di dalam *bellpipe* tersebut selama proses *flood and drain* berlangsung. Selain itu, *auto-siphon* ini dilengkapi dengan tabung jagaan yang dapat dilihat pada gambar kedua di Gambar 3.5. Tabung jagaan ini berfungsi untuk mencegah kerikil agar tidak ikut masuk dan mengganggu aliran air yang menuju ke *auto-siphon*. Pada tabung jagaan tersebut dibuat juga lubang-lubang yang memungkinkan air untuk dapat masuk melewati lubang pada tabung jagaan tersebut. Diameter dari tabung jagaan tersebut adalah sebesar 3 inci.

3.4.4 Desain Sistem Hidroponik

Metode hidroponik yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode media based growth yang menggunakan wadah plastik yang berisikan medium tumbuh tanaman yaitu menggunakan kerikil. Kebanyakan sistem akuaponik menggunakan *grow beds* yang memiliki kedalaman dengan standar paling tidak 30 cm. Kedalaman ini menyediakan densitas media yang cukup untuk mendukung kebanyakan tanaman dan mendukung bakteri yang tumbuh dalam media. Perbandingan antara *grow beds* dengan kolam ikan menurut literatur adalah 1:1 sehingga didapatkan dimensi dari *grow beds* adalah sama dengan dimensi dari kolam ikan dan dalam penelitian kali ini wadah yang digunakan untuk kolam ikan dan *grow bed* keduanya sama (Gambar 3.3).

Dalam perancangan ini digunakan satu jenis tanaman sebagai tanaman inti dalam percobaan yaitu tanaman tomat dan juga beberapa jenis tanaman lain yang digunakan sebagai cadangan apabila tanaman inti yang digunakan tidak berhasil tumbuh yaitu tanaman kangkung dan caisim. Efisiensi removal tanaman tomat, kangkung, dan caisim berdasarkan literatur yang ada secara berurutan dirangkum dalam tabel 3.5.

Alasan tanaman tomat digunakan sebagai tanaman inti adalah karena tomat merupakan tanaman buah-buahan yang berdasarkan beberapa literatur tentang akuaponik dikatakan bahwa tanaman buah-buahan membutuhkan asupan

nutrien yang sangat banyak sehingga diasumsikan bahwa nutrien removal dalam sistem ini dengan penggunaan tanaman tomat juga akan besar. Selain itu tanaman tomat juga merupakan tanaman yang cocok untuk ditanam secara hidroponik karena membutuhkan kadar kelembapan yang tinggi. Namun kekurangan dari tanaman ini adalah periode pertumbuhannya yang cukup lama yang memakan waktu hingga satu bulan untuk jadi benih.

Tabel 3-5. Efisiensi Removal Tanaman Uji Berdasarkan Literatur

Keterangan	Efisiensi Removal Jenis Tanaman Uji Berdasarkan Urutan		
	1. Tanaman Tomat	2. Kangkung	3. Caisim
Nitrat (%)	73-78	39-65	71,8-93,2
Nitrit (%)	-	67-96	-
Amonia (%)	-	64-86	-

Sumber:

Azizah et al, A Study On The Optimal Hydraulic Loading Rate and Plant Ratios in Recirculation Aquaponic System, 2009;

Lennard, Wilson A. 2004. Aquaponics Research RMIT University, Melbourne Australia;

Media yang akan digunakan dalam grow bed ini adalah kerikil. Media kerikil digunakan karena media ini adalah media yang paling mudah ditemui di Indonesia dan lebih ekonomis, keterangan lebih lanjut mengenai karakteristik media kerikil ini dapat dilihat pada tabel 2.18. Media kerikil yang ada pada kontainer hidroponik diisi hingga mencapai ketinggian sekitar 18 cm dari dasar kontainer yang memiliki ukuran panjang 55 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 29 cm.



Gambar 3-6. Desain Sistem Hidroponik

Dari kiri ke kanan: Kontrol 2, Sistem 1, dan Sistem 2

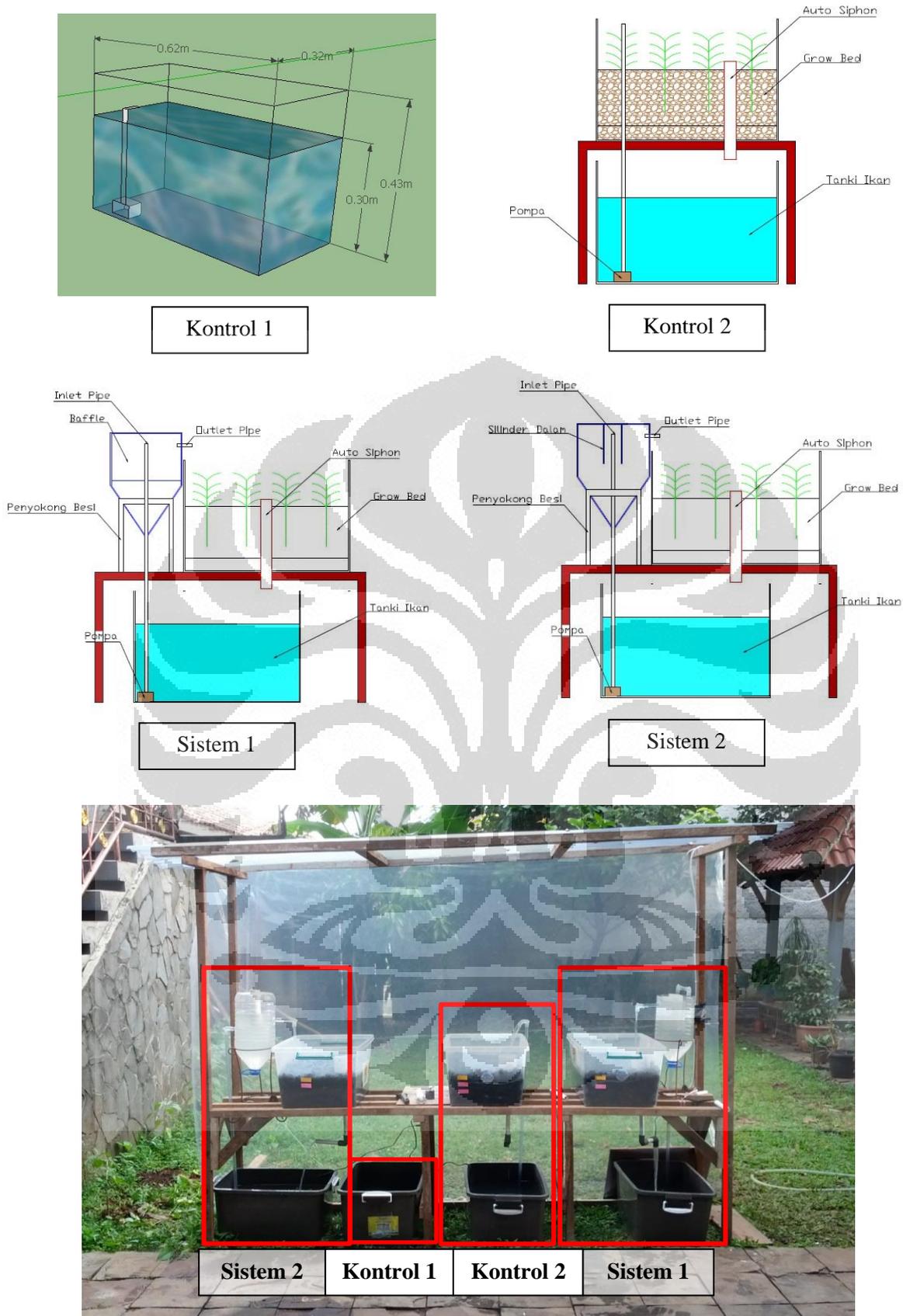
Sumber: Dokumentasi Penulis

Tanaman tomat yang sudah berumur sekitar 1 bulan dengan ketinggian rata-rata sekitar 7-10 cm yang sudah dibiakkan seperti pada gambar 3.1 kemudian dipindahkan dari pot dengan hati-hati dan kemudian dibersihkan di bagian perakarannya dari tanah dan ditanam kembali pada media kerikil pada sistem hidroponik. Dalam satu kontainer hidroponik dimasukkan sebanyak 10 tanaman tomat dengan memberikan jarak antara masing-masing tanaman sekitar 7-10 cm (Gambar 3.6).

3.4.5 Desain Keseluruhan Sistem Akuaponik

Dalam perancangan dan penelitian ini akan digunakan 4 rangkaian desain percobaan. Rangkaian pertama disebut dengan kontrol 1 dimana hanya terdapat wadah penampung ikan dan pompa yang digunakan untuk aerasi ikan (gambar 3.8). Kontrol 1 dibuat untuk mengetahui karakteristik air limbah yang dihasilkan oleh ikan terutama pada kadar amonia, nitrit, nitrat, dan TSS nya. Selain itu kontrol 1 juga digunakan sebagai simulasi kondisi eksisting suatu sistem akuakultur yang tidak menggunakan sistem akuaponik sama sekali. Pada kontrol 1 pompa yang digunakan mampu mengalirkan air ke pipa setinggi 44 cm dari wadah ikan untuk kemudian diresirkulasikan kembali ke dalam wadah ikan tersebut.

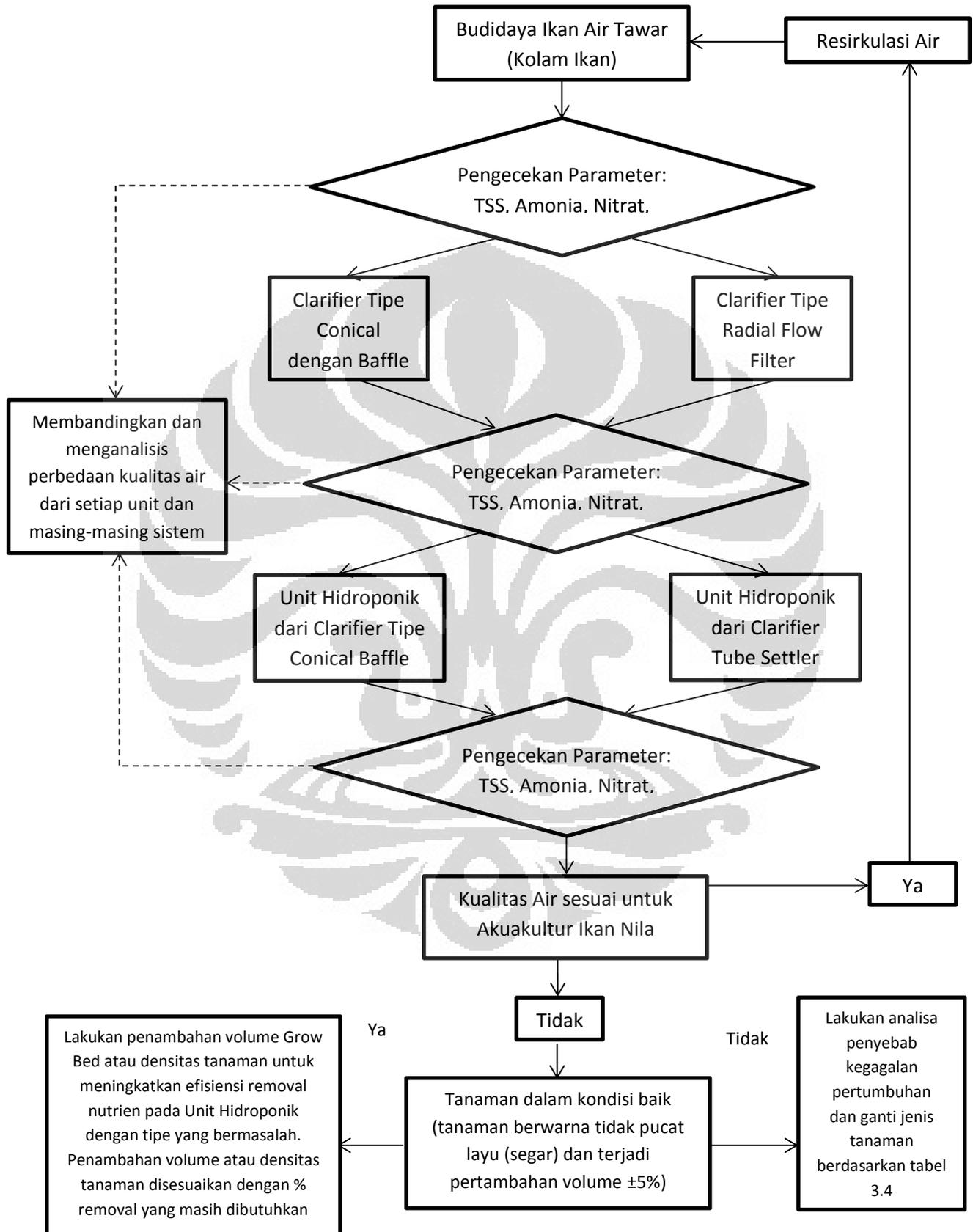
Rangkaian kedua disebut dengan kontrol 2 dimana sistem akuaponik digunakan dengan mengalirkan air dari kolam ikan menggunakan pompa ke grow bed hidroponik dan dengan menggunakan auto siphon untuk menguras kembali air ke kolam ikan (Gambar 3.8). Rangkaian sistem 3 merupakan rangkaian akuaponik dengan menambahkan clarifier dengan tipe conical baffle dengan volume 10 L (Gambar 3.8). Rangkaian sistem 4 merupakan rangkaian dengan menambahkan clarifier dengan tipe radial flow filter dengan volume 10 L (Gambar 3.8).

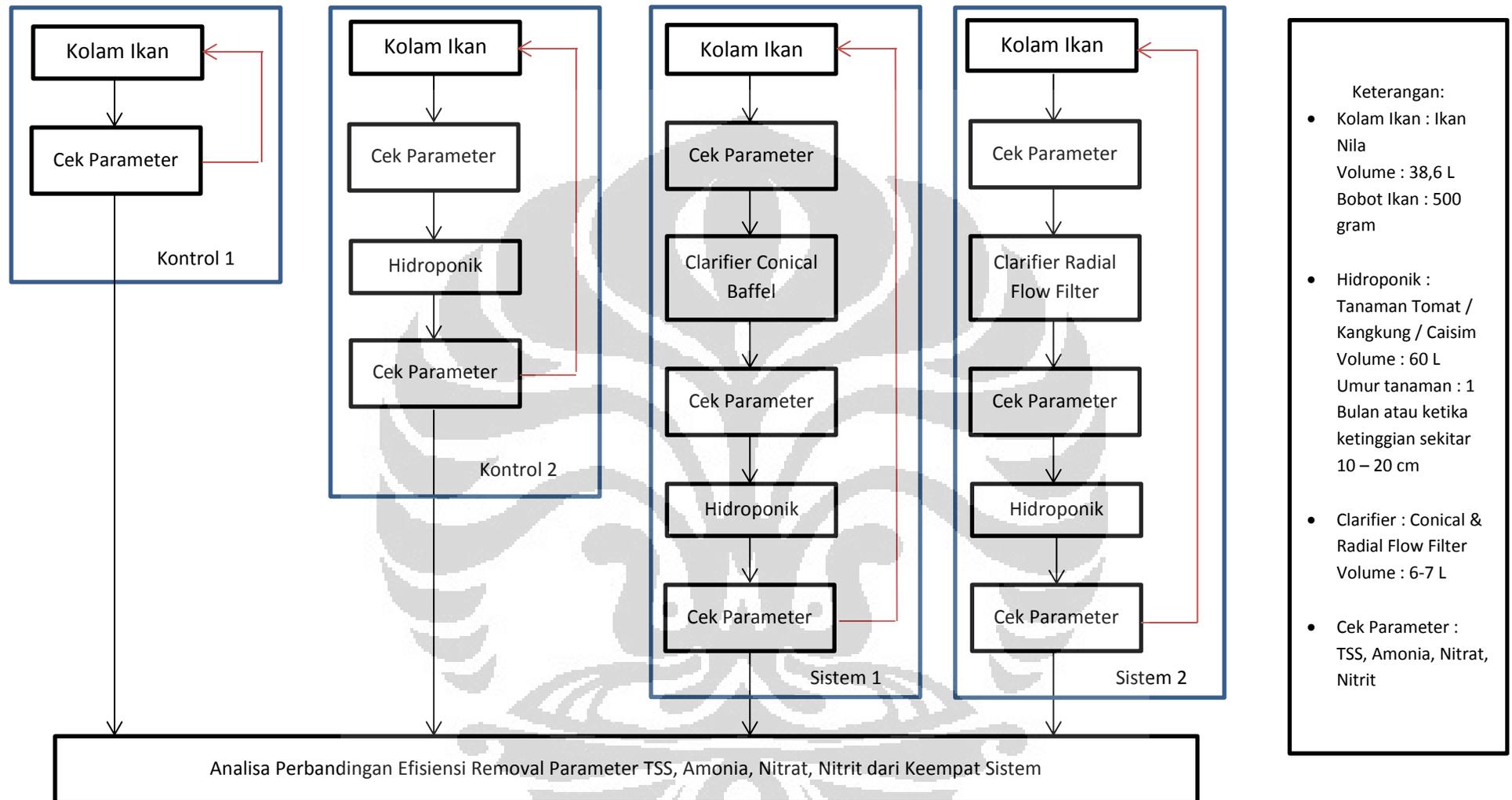


Gambar 3-8. Desain Sistem Akuaponik pada Kontrol 1, Kontrol 2, Sistem 1 dan Sistem 2

Sumber: Dokumentasi dan Pengolahan Penulis

3.5 Kerangka Kerja





Gambar 3-9. Skema Kerja Perancangan Penelitian dengan Variabel Jenis Clarifier Tipe Conical Baffle dan Radial Flow Filter

Sumber: Pengolahan Penulis

3.6 Variabel Penelitian

Dalam suatu penelitian, dibutuhkan suatu variabel yang akan diperhitungkan dan dianalisa lebih lanjut dengan jelas untuk mempermudah jalannya penelitian dan pengumpulan serta pengolahan data. Variabel yang akan digunakan dalam perancangan dan penelitian kali ini meliputi variabel bebas, terikat dan terkontrol.

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat, variabel ini dinamakan sebagai variabel bebas juga karena variabel ini dapat dengan bebas mempengaruhi variabel lain.

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Sementara variabel terkontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga hubungan variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel kontrol sering dipakai oleh peneliti dalam penelitian yang bersifat membandingkan, melalui penelitian eksperimental.

Tabel 3-6. Variabel Penelitian

Jenis Variabel	Variabel yang Diteliti
Variabel Bebas	Jenis clarifier
Variabel Terikat	Kadar TSS, Amonia, Nitrit, Nitrat, pH, DO, Suhu
Variabel Terkontrol	Jenis Ikan, Jenis tanaman, Volume Tanki Ikan, Volume <i>Grow Bed</i>

Sumber: Pengolahan Penulis

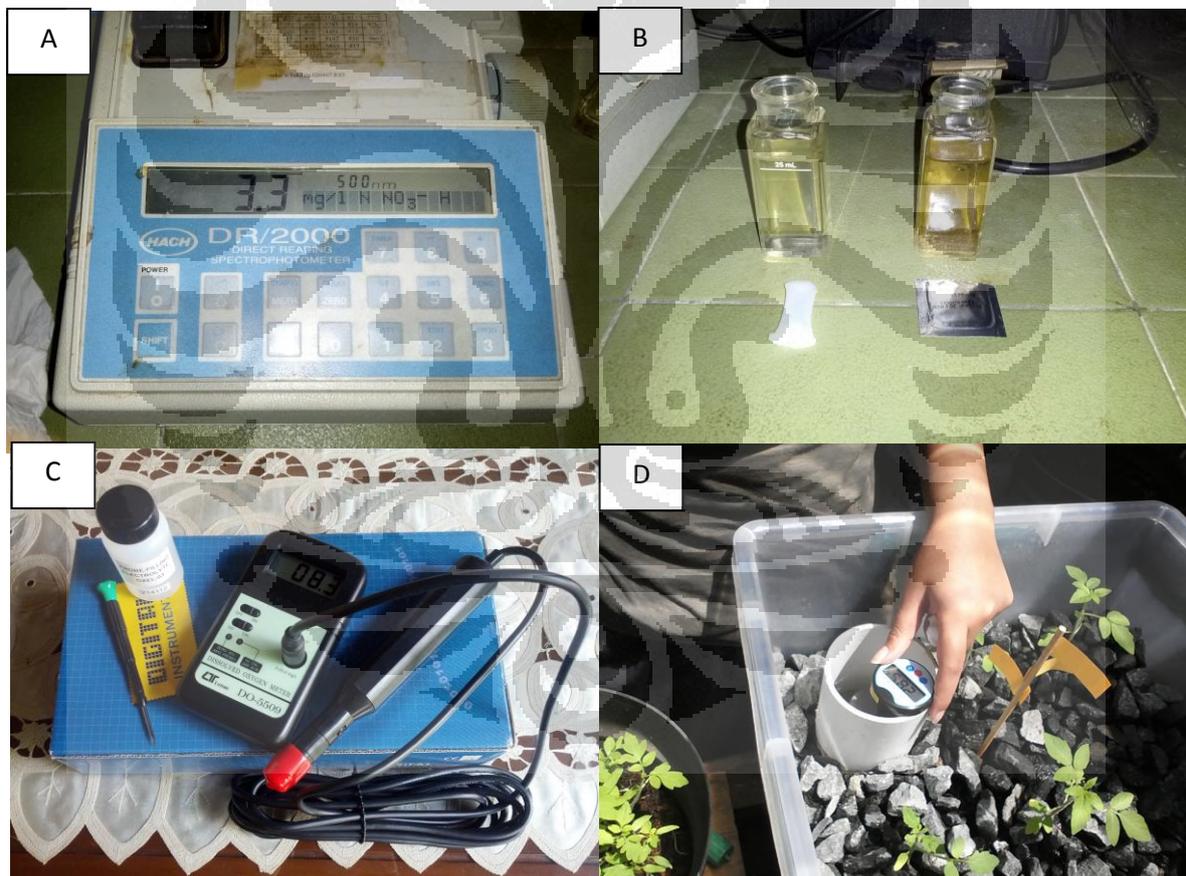
3.7 Pengambilan dan Pengecekan Sampel

Sampel yang diambil berasal dari effluen masing-masing unit yang ada dalam sistem akuaponik dengan parameter yang diujikan adalah kandungan TSS, Amonia, Nitrit, dan Nitrat. Sementara pengecekan parameter pH, DO (oksigen terlarut) dan suhu dilakukan secara rutin setiap hari dengan metode pengukuran in situ. Suhu, pH, dan DO dibutuhkan untuk mengetahui kondisi kualitas air untuk ikan dan juga untuk membantu mengetahui pengaruhnya dalam siklus nitrifikasi yang terjadi.

Tabel 3-7. Metode Pengecekan Parameter Kualitas Air

Parameter	Satuan	Alat	Metode Analisa
Suhu	°C	Termometer Hg	In Situ
pH	-	pH meter	In Situ
DO	mg/L	DO meter	In Situ
Amonia	mg/L	Spektrofotometer	Spektrofotometrik, Laboratorium
Nitrit	mg/L	Spektrofotometer	Spektrofotometrik, Laboratorium
Nitrat	mg/L	Spektrofotometer	Spektrofotometrik, Laboratorium
TSS	mg/L	Gravimeter	Gravimetri, Laboratorium

Sumber: Pengolahan Penulis



Gambar 3-10. Alat-Alat Pengukur Kualitas Air

A: Spektrofotometri B: Kuvet untuk mengecek Amonia, Nitrit, Nitrat C: DO meter D: Termometer

Sumber: Dokumentasi Penulis

Tabel 3.7 menjabarkan mengenai metode pengecekan parameter yang digunakan. Pada masa aklimatisasi atau ketika siklus nitrogen berlangsung, pengecekan amonia, nitrit, nitrat, dan TSS dilakukan dengan frekuensi sebanyak 2 kali dalam seminggu. Setelah masa aklimatisasi selesai (sekitar 20-30 hari) dalam satu minggu selanjutnya (bulan Maret minggu 1) dilakukan 3 kali pengukuran secara rutin yaitu pada hari Senin, Rabu, dan Jumat untuk masing-masing parameter nitrogen anorganik dan tersebut. Pengecekan amonia, nitrit, dan nitrat dilakukan di laboratorium Teknik Penyehatan Lingkungan Universitas Indonesia dengan menggunakan spektrofotometri seperti yang ada pada gambar 3.10, sementara pengecekan TSS dilakukan secara gravimetri dengan menggunakan alat milipore. Pengecekan Suhu, pH dan DO yang dilakukan secara langsung menggunakan alat ukur seperti yang ada pada gambar 3.10.

3.8 Analisis Data

Dalam percobaan ini hasil pengukuran parameter uji Amonia, Nitrit, Nitrat, dan TSS dari keempat sistem dianalisis dengan menggunakan perhitungan secara statistik yaitu dengan metode *t-test*. Perhitungan secara statistik dilakukan untuk membantu mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan pada kadar amonia, nitrit, nitrat dan TSS yang dihasilkan dari keempat sistem tersebut.

Dalam percobaan ini digunakan 3 metode yang berbeda untuk mengolah air limbah dari tanki ikan yaitu dengan yang pertama dengan menggunakan sistem akuaponik yang tidak menggunakan clarifier atau secara sederhana hanya menggunakan sistem hidroponik pada rangkaiannya, yang kedua dengan menggunakan sistem akuaponik yang menggunakan tambahan *clarifier* dengan jenis *conical baffle* dan yang ketiga dengan menggunakan sistem akuaponik yang menggunakan tambahan *clarifier* jenis *radial flow filter*. Karena data pada masing-masing sistem independen atau tidak saling tergantung, maka data tersebut akan dibandingkan dengan memasukkan dan menghitung rata-rata untuk masing-masing sistem pengolahan dan menggunakan *independent t-test* untuk menilai perbedaan dari rata-ratanya (Berthouex & Brown, 2002).

Dalam perbandingan menggunakan *independent t-test*, data yang dibandingkan terbatas pada dua sistem pengolahan saja, sehingga dalam analisa

nanti akan dilakukan beberapa kali perbandingan, yaitu yang pertama perbandingan antara kontrol 1 yang tidak menggunakan sistem akuaponik sama sekali dengan kontrol 2 yang menggunakan sistem akuaponik dengan *media based grow* dan tidak menggunakan *clarifier*. Perbandingan kedua adalah dengan membandingkan antara sistem 1 yang menggunakan *clarifier* dengan jenis *conical baffle* dengan sistem 2 yang menggunakan *clarifier* dengan jenis *radial flow filter*. Setelah itu analisa dilanjutkan dengan mencari perbandingan antara sistem 1 dengan kontrol 2 dan juga perbandingan antara sistem 2 dengan kontrol 2.

Sistem-sistem yang akan dibandingkan dengan menggunakan metode *independent t-test* kemudian akan disebut dengan variabel y_1 dan y_2 , dan nilai rata-ratanya disimbolkan dengan η_1 dan η_2 sementara variannya akan disimbolkan dengan σ_1^2 dan σ_2^2 . Pernyataan yang umum dari permasalahan yang akan dipecahkan ada pada istilah mengecek hipotesis *null* yaitu ketika perbedaan pada rata-ratanya adalah 0 atau dengan kata lain tidak terdapat perbedaan pada kedua sistem tersebut: $\eta_1 - \eta_2 = 0$, hal ini diperoleh ketika dalam perhitungan interval yang dihasilkan mengandung nilai 0 diantara intervalnya (Berthouex & Brown, 2002). Namun dalam perhitungan lebih dianjurkan untuk melihat permasalahan berdasarkan pada rentang kepercayaan dari perbedaan tersebut

Nilai perbedaan yang diharapkan diantara rata-rata dari kedua sistem yang akan dibandingkan dirumuskan dengan:

$$E(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) = \eta_1 - \eta_2$$

Apabila data yang digunakan merupakan sampel acak, maka varian dari rata-rata \bar{y}_1 dan \bar{y}_2 adalah:

$$V(\bar{y}_1) = \sigma_1^2/n_1 \quad \text{dan} \quad V(\bar{y}_2) = \sigma_2^2/n_2$$

Dimana n_1 dan n_2 merupakan jumlah sampel yang digunakan. Sehingga varian dari keduanya adalah:

$$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) = \sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2$$

Apabila varian σ_1^2 dan σ_2^2 tidak diketahui maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$s_1^2 = \frac{\sum(y_{1i} - \bar{y}_1)^2}{n_1 - 1} \quad \text{dan} \quad s_2^2 = \frac{\sum(y_{2i} - \bar{y}_2)^2}{n_2 - 1}$$

Kemudian kedua varian ini dapat dikumpulkan (*pooled*) jika keduanya memiliki besar yang sama. Dengan mengasumsikan bahwa hal ini benar, maka gabungan estimasi varian ini adalah:

$$s_{pool}^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Nilai tersebut merupakan rata-rata terhitung dari varian, dimana hitungan tersebut merupakan derajat kebebasan dari setiap varian. Angka dari observasi yang digunakan untuk menghitung masing-masing rata-rata dan varian tidak boleh sama. Estimasi varian dari perbedaannya adalah sebagai berikut:

$$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) = \frac{s_{pool}^2}{n_1} + \frac{s_{pool}^2}{n_2} = s_{pool}^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)$$

dan standar error dari perhitungan ini merupakan akar dari:

$$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2} = \sqrt{\frac{s_{pool}^2}{n_1} + \frac{s_{pool}^2}{n_2}} = s_{pool} \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

Distribusi t digunakan untuk menghitung interval tingkat kepercayaan. Untuk membangun $(1 - \alpha)$ 100% persen interval kepercayaan menggunakan statistik t untuk $\alpha/2$ dan $\nu = n_1 + n_2 - 2$ untuk derajat kebebasannya.

Kebenaran dari rentang kepercayaan ini bergantung pada data yang independen dan berasal dari distribusi yang kira-kira normal dengan varian yang sama. Apabila variannya sangat berbeda dalam besarnya, maka keduanya tidak dapat digabungkan kecuali varian yang seragam dapat diperoleh dari rata-rata perubahannya (Berthouex & Brown, 2002).

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil Pengujian Parameter Kualitas Air

Dalam percobaan ini parameter yang diujikan antara lain adalah kadar amonia, nitrit, nitrat dan TSS serta parameter pendukung seperti pH, suhu, dan DO. Pengambilan sampel dilakukan pada setiap outlet unit yang dirancang, termasuk didalamnya unit wadah ikan, unit *clarifier*, dan unit hidroponik. Namun, setelah diketahui hasil pengujian dari masing-masing unit tersebut, pada kontrol 2 yang menggunakan sistem akuaponik tanpa *clarifier* dan sistem 1 serta sistem 2 yang menggunakan sistem akuaponik dengan tambahan unit *clarifier* dengan jenis yang berbeda, diketahui bahwa perbedaan kualitas air berdasarkan parameter-parameter tersebut tidak jauh berbeda dari masing-masing unitnya serta dapat dikatakan cenderung sama (Lampiran 1). Hal ini dapat terjadi dikarenakan waktu tinggal di dalam masing-masing unit sangatlah singkat sehingga perputaran aliran yang terjadi di dalam masing-masing sistem terjadi dengan cepat dan menciptakan campuran yang mengakibatkan kadar kualitas air pada masing-masing unit (wadah ikan, *clarifier*, dan hidroponik) cenderung sama. Tabel 4.1 menjelaskan mengenai debit dan waktu tinggal pada masing-masing unit dari masing-masing sistem. Berdasarkan pada hasil yang tidak jauh berbeda tersebut, dalam analisis hasil pengujian parameter kualitas air dari kontrol 1, kontrol 2, sistem 1, dan sistem 2 yang dibahas pada bab ini, maka perbandingan yang dilakukan dibatasi dan hanya dilakukan dari unit wadah ikan saja sebagai unit yang dimiliki oleh setiap sistem.

Tabel 4-1. Debit dan Waktu Tinggal pada Masing-Masing Sistem

Sistem	Debit Pompa (L/s)	Waktu Tinggal Wadah Ikan (menit)	Debit Keluaran <i>Clarifier</i> (L/s)	Volume <i>Clarifier</i> (L)	Waktu Tinggal <i>Clarifier</i> (menit)	Waktu Tinggal Grow Bed (s)	
						Flood	Drain
Kontrol 1	0,045	15,41	0	0	0	0	0
Kontrol 2	0,049	14,14	0	0	0	50	54
Sistem 1	0,048	14,57	0,049	7.1	2.44	51	55
Sistem 2	0,046	15,20	0,055	6.2	1.88	50	54

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Apabila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rakocy pada tahun 2007 di Universitas Virgin Island (Sub bab 2.3.1.2) dapat dilihat bahwa waktu tinggal yang terjadi di dalam *clarifier* berbentuk *conical baffle* adalah sebesar 20 menit, tentunya hal tersebut dapat terjadi karena volume *clarifier* yang digunakan pada percobaan tersebut sangat besar jika dibandingkan dengan volume yang digunakan pada percobaan ini sehingga waktu tinggal yang didapatkan juga menjadi lebih besar (Tabel 2.9). Selain itu waktu tinggal pada wadah ikan dan wadah hidroponik yang ada pada percobaan tersebut adalah 1,37 jam dan juga 3 jam (Rakocy et al, 2007) yang tentunya sangat berbeda dengan percobaan kali ini yang hanya memakan waktu tinggal sekitar 14-15 menit pada wadah ikan dengan volume air sekitar 41,8 L dan sekitar 1 menit pada wadah hidroponik. Namun, sekali lagi hal tersebut dapat terjadi dikarenakan volume yang dilakukan pada percobaan di Universitas Virgin Island menggunakan unit dengan volume yang besar yang bertujuan untuk usaha budidaya secara besar.

4.1.1 Perbandingan Nitrogen Anorganik (Amonia, Nitrit, Nitrat) dan TSS pada Kontrol 1 dengan Kontrol 2

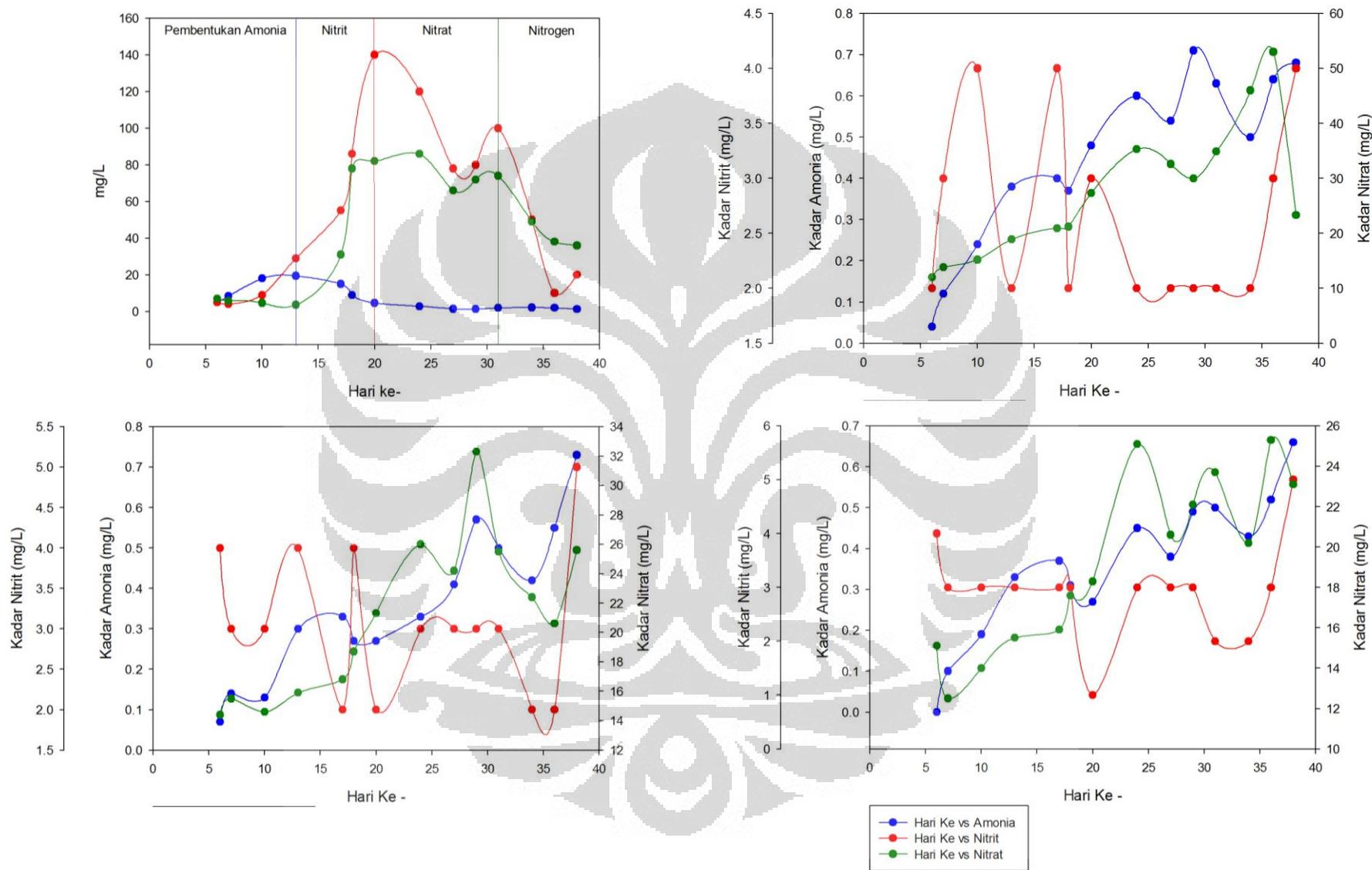
Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian pada laboratorium, didapatkan hasil pengujian kualitas air untuk parameter amonia, nitrit, dan nitrat di dalam wadah ikan kontrol 1 yang tidak menggunakan sistem akuaponik seperti yang ada pada Gambar 4.1. Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa proses nitrifikasi yang terjadi pada wadah ikan kontrol 1 mengalami beberapa tahapan pembentukan nitrogen seperti yang umumnya terjadi pada siklus nitrogen seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.9 (Boyd & Tucker, 1998) dan Gambar 2.10 (Sawyer, 2010).

Pembentukan yang pertama yaitu pembentukan amonia yang pada percobaan ini terjadi pada hari ke-1 sampai dengan hari ke-13. Pada tahapan ini, amonia yang dihasilkan dari aktivitas ekskresi ikan terakumulasi hingga mencapai puncaknya pada angka 19,4 mg/L pada hari ke-13 dan kemudian akan dikonversikan kedalam bentuk nitrit oleh bakteri *Nitrosomonas* pada tahapan selanjutnya. Pada tahapan pembentukan kedua yaitu pembentukan nitrit, kandungan amonia lama kelamaan akan berkurang dan dikonversi kedalam

bentuk nitrit melalui proses oksidasi amonia (Boyd & Tucker, 1998). Pembentukan nitrit dalam percobaan ini berlangsung dari hari ke-13 sampai dengan hari ke-20 yang ditandai dengan adanya penurunan konsentrasi amonia dan peningkatan konsentrasi nitrit hingga mencapai angka 140 mg/L pada puncaknya di hari ke-20. Pada konsentrasi tersebut, kualitas air untuk ikan sudah berada pada batas yang sangat tidak aman yang melewati angka 5 mg/L sebagai standar kadar nitrit yang aman bagi ikan nila (Tabel 3.2).

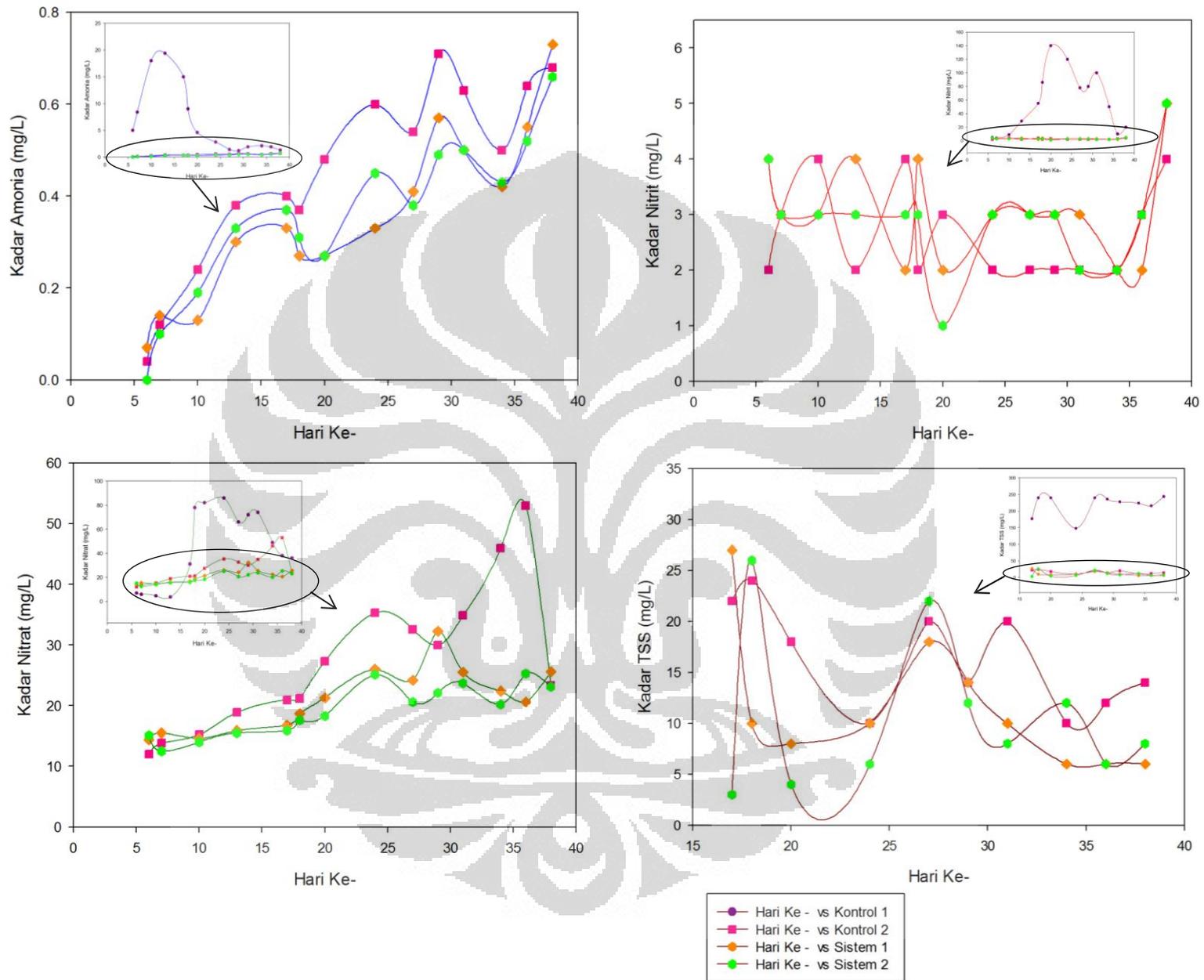
Tahapan selanjutnya yaitu pembentukan nitrat yang terjadi akibat adanya konversi dari bentuk nitrit menjadi nitrat dengan bantuan bakteri *Nitrobacter* yang ditandai dengan adanya penurunan kadar nitrit dan peningkatan pada kadar nitrat (Boyd & Tucker, 1998). Pembentukan nitrat pada wadah ikan kontrol 1 dalam percobaan ini terjadi dari hari ke-20 hingga hari ke-31. Namun, peningkatan kandungan nitrat pada tahap pembentukan nitrat yang terjadi tidak terlalu signifikan dan mencapai puncaknya pada hari ke-24 pada angka 86 mg/L dan kemudian lama kelamaan berkurang pada hari selanjutnya. Pada hari ke-31 dapat dilihat pada grafik kontrol 1 (Gambar 4.1) bahwa baik kadar nitrat maupun nitrit keduanya mengalami penurunan yang drastis hingga pada pengukuran terakhir yaitu pada hari ke-38 memiliki kadar amonia, nitrat, dan nitrit sebesar 1,3 mg/L, 20 mg/L, dan 36 mg/L. Penurunan ini dapat terjadi karena adanya pengambilan nutrisi dalam bentuk nitrat, residual nitrogen, dan nitrit yang dilakukan oleh tanaman (Hu & Lee, 2015). Namun, pada pengukuran hari ke 38 dapat dilihat bahwa kadar amonia dan nitrit tersebut sudah tidak memenuhi baku mutu amonia, nitrat, dan nitrit untuk kualitas air ikan nila (Tabel 3.2).

Pada percobaan yang dilakukan dari hari ke-1 hingga hari ke-38, kadar air pada wadah ikan kontrol 1 dikatakan sudah tidak aman dan tercemar ketika memasuki hari ke-18, dimana kadar amonia, nitrit, dan nitrat mencapai angka 9 mg/L, 86 mg/L dan 78 mg/L. Hal ini ditandai dengan adanya 2 ikan pada kontrol 1 yang mati dan menyisakan beberapa ikan lainnya berada pada kondisi lemas yang menandakan bahwa kualitas air pada wadah kontrol 1 tersebut sudah tidak aman bagi ikan nila.



Gambar 4-1. Grafik Kadar Amonia, Nitrit, dan Nitrat pada Kontrol 1 (Kiri Atas), Kontrol 2 (Kanan Atas), Sistem 1 (Kiri Bawah), dan Sistem 2 (Kanan Bawah).

Sumber: Pengolahan Penulis Pengaruh penggunaan..., Dewi Septanty Widyaningrum, FT UI, 2015



Gambar 4-2. Grafik Stabilitas Nitrogen Anorganik dan TSS dengan Penggunaan Sistem Akuaponik pada Wadah Ikan Sistem Akuakultur

Sumber: Pengolahan Penulis

Pengaruh penggunaan..., Dewi Septanty Widyaningrum, FT UI, 2015

Setelah mengetahui hal tersebut, kontrol 1 dihentikan dan sisa ikan yang ada pada wadah kontrol 1 tersebut dipindahkan ke wadah ikan kontrol 2 dan sistem 2, sementara air pada wadah ikan kontrol 1 tersebut tetap dibiarkan pada kontainer dan pompa tetap dinyalakan karena perubahan kadar nitrit dan nitrat yang ada pada air tersebut masih ingin diketahui pembentukannya. Hal ini kemudian dibuktikan dengan masih adanya fluktuasi pada kadar nitrit dan nitrat pada hari ke-18 dan selanjutnya bahkan ketika ikan dalam kontrol sudah tidak ada. Namun, secara keseluruhan dapat dilihat pada grafik kontrol 1 (Gambar 4.1) bahwa kadar amonia, nitrat, nitrit mengalami fluktuasi yang mengarah pada penurunan semenjak hari ke-20. Hal ini diasumsikan dapat terjadi juga karena tidak adanya tambahan amonia yang berasal dari ekskresi urea ikan yang menyebabkan kadar ketiga parameter tersebut sudah tidak dapat bertambah lagi.

Apabila dibandingkan dengan kontrol 2 yang menggunakan tambahan unit hidroponik sebagai kesatuan dalam sistem akuaponik yang berfungsi juga untuk memfilter air dari wadah ikan secara biologis, maka akan didapatkan grafik perubahan amonia, nitrit, dan nitrat untuk kontrol 2 seperti yang ada pada Gambar 4.1. Pada grafik tersebut, siklus nitrogen yang berlangsung tidak dapat terlihat secara jelas pentahapannya jika dibandingkan dengan grafik yang ada pada kontrol 1, namun secara umum dapat dilihat bahwa ketiga parameter tersebut masih berada pada rentang yang baik untuk ikan nila.

Amonia dan nitrat secara umum mengalami peningkatan dari hari ke-1 hingga hari ke-38 dengan kadar tertinggi pada amonia mencapai hingga 0,71 mg/L pada hari ke-29 dan pada nitrat mencapai hingga 53 mg/L pada hari ke-36. Sementara kadar nitrit cenderung fluktuatif pada kisaran nilai 2 - 4 mg/L dengan adanya penurunan pada hari ke-20 menuju hari ke-24 dari kadar sebesar 3 mg/L menjadi 2 mg/L dan relatif stabil pada angka 2 mg/L hingga hari ke-34. Pada rentang waktu tersebut, diasumsikan sedang terjadi siklus nitrogen pada tahapan ketiga dimana nitrit diubah menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrobacter* (Boyd & Tucker, 1998) sehingga dapat dilihat bahwa kadar nitrit menurun dan relatif stabil, sementara kadar nitrat semakin bertambah.

Nitrat pada wadah kontrol 2 kemudian mengalami penurunan yang drastis yang mencapai angka 23,2 mg/L pada hari ke-38. Apabila dilihat dari

siklus nitrogen yang ada pada Gambar 2.9 dapat diketahui bahwa penurunan tersebut dapat terjadi karena nitrat yang sudah terbentuk tersebut dapat tereduksi dan terkonversi kembali menjadi nitrit pada proses reduksi nitrat (Boyd & Tucker, 1998). Hal ini terjadi pada kontrol 2 dan juga pada kontrol 1 dan ditunjukkan dengan adanya penurunan kadar nitrat pada kedua grafik tersebut dan mengakibatkan adanya penambahan kadar nitrit seperti yang dapat dilihat pada grafik kontrol 2 maupun kontrol 1 yang terjadi pada hari ke-36 hingga hari ke-38.

Apabila dilihat satu persatu perbandingan masing-masing kadar amonia, nitrit, dan nitrat pada kontrol 1 dan kontrol 2 maka dapat dilihat pada Gambar 4.2 bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada kedua kontrol tersebut. Hal ini dibuktikan dalam perhitungan secara statistik menggunakan *independent T-Test* dengan tingkat kepercayaan sebesar 95% bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dari kadar kualitas air pada kontrol 1 dan kontrol 2 sehingga kedua data tersebut dapat dikomparasikan (Lampiran 3). Dari kedua perbandingan tersebut, dapat dilihat pada grafik (Gambar 4.1) bahwa kadar amonia pada kontrol 2 hingga hari ke-38 relatif lebih aman pada rentang yang baik untuk ikan nila yaitu dibawah 1 mg/L. Sementara grafik kadar amonia pada kontrol 1 sudah melewati rentang nilai yang aman dari hari ke 6 dengan nilai 5 mg/L dan mencapai kadar tertingginya pada nilai 19,4 mg/L pada hari ke-13 dan dinyatakan sudah tidak aman lagi pada hari ke-18 (Gambar 4.1 dan Lampiran 1). Secara statistik dapat diketahui bahwa rata-rata amonia yang dihasilkan pada kontrol 2 lebih kecil yaitu sebesar 0,45 mg/L jika dibandingkan dengan kontrol 1 yang memiliki kandungan amonia dengan rata-rata yang lebih tinggi yaitu sebesar 6,57 mg/L.

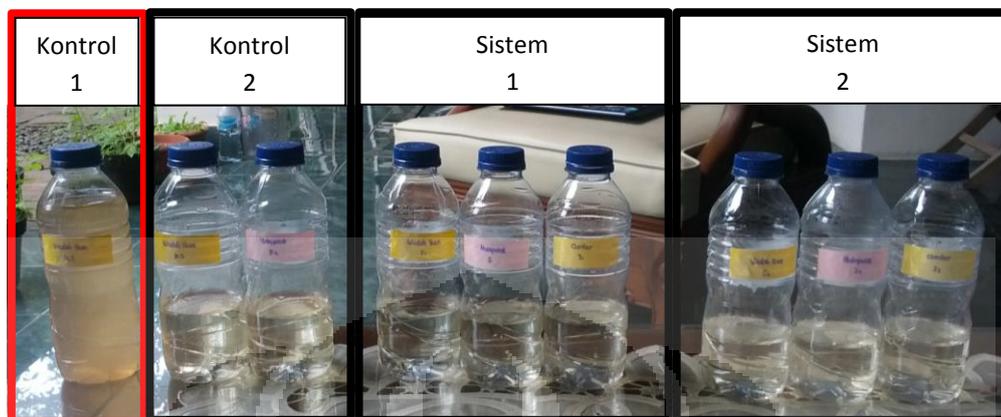
Begitupula kandungan nitrit pada kontrol 1 dan kontrol 2 yang memiliki perbedaan yang signifikan ketika dihitung dengan menggunakan perhitungan statistik *independent t-test* yang mendukung bahwa kedua data nitrit pada kontrol 1 dan 2 relevan untuk dikomparasikan (Lampiran 3). Pada hari ke-6 hingga ke-10 dikarenakan nitrit pada kontrol 1 masih rendah, maka perbedaan kadar nitrit pada kontrol 1 dan kontrol 2 tidak terlalu signifikan. Namun, pada hari ke-13 hingga ke-34 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan yang cukup besar pada kontrol 1 dan kontrol 2 (Gambar 4.2). Hal ini dapat terjadi karena pada rentang waktu tersebut, kontrol 1 yang tidak menggunakan sistem akuaponik mengalami siklus

nitrogen yang berada pada tahapan dimana nitrit pada rentang waktu tersebut sedang dihasilkan dari proses oksidasi amonia sehingga kadar nitrit yang ada cukup tinggi dan sangat berbeda nilainya jika menggunakan akuaponik seperti pada kontrol 2 yang mampu menjaga kadar nitrit dibawah 5 mg/L selama rentang waktu hingga 38 hari tersebut. Secara statistik dapat diketahui bahwa kontrol 2 memiliki rata-rata nitrit yang lebih kecil yaitu sebesar 2,64 mg/L jika dibandingkan dengan rata-rata nitrit pada kontrol 1 yaitu sebesar 56,14 mg/L.

Selain itu, apabila dilihat berdasarkan kadar nitrat yang dihasilkan dapat diketahui bahwa pada hari ke-6 hingga hari ke-13 kadar nitrat pada kontrol 2 lebih besar jika dibandingkan dengan kadar nitrat yang dihasilkan pada kontrol 1 yang tidak menggunakan sistem akuaponik sama sekali. Namun, setelah hari ke-17, nitrat yang dihasilkan pada kontrol 1 semakin bertambah banyak hingga mencapai angka 86 mg/L pada hari ke-24 sementara pada kontrol 2 kadar nitrat yang dihasilkan dapat dipertahankan pada nilai 13,7 mg/L (Lampiran 1). Namun, secara perhitungan statistik menggunakan *independent t-test* diketahui bahwa kandungan nitrat pada kontrol 1 dan kontrol 2 tidak dapat dikomparasikan dan cenderung tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan atau dapat dikatakan bahwa hasil kandungan nitrat dari kedua sistem itu sama (Lampiran 3). Hal ini berarti kontrol 2 yang menggunakan sistem akuaponik belum mampu untuk menjaga kadar nitratnya sebaik kontrol ini menjaga kadar amonia dan nitrit dengan perbedaan yang cukup signifikan apabila dibandingkan dengan kandungan yang ada pada kontrol 1. Namun, adanya kadar nitrat yang lumayan besar didalam percobaan ini tidak terlalu berbahaya bagi ikan nila dikarenakan ikan nila sendiri mampu bertahan pada kadar nitrat hingga 300 mg/L. Selain itu, adanya kadar nitrat yang lumayan besar dalam percobaan ini juga sangat dibutuhkan sebagai nutrisi bagi pertumbuhan tanaman pada wadah hidroponik.

Parameter kualitas air lain yang dapat dilihat secara langsung (kasat mata) dan dengan bantuan melalui uji laboratorium yaitu adalah kandungan TSS (*Total Suspended Solid*) seperti yang ada pada wadah ikan kontrol 1 dan 2. Secara kasat mata, dapat dilihat bahwa air ikan pada kontrol 1 lebih kotor jika dibandingkan dengan air ikan yang ada pada kontrol 2. Hal ini didukung dengan

hasil uji kandungan TSS di laboratorium Universitas Indonesia yang ditujukan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.2 dan data pada lampiran 1.



Gambar 4-3. Perbandingan Sampel Air secara Kasat Mata

Sumber: Dokumentasi Penulis

Pada grafik perbandingan TSS tersebut (Gambar 4.2) dapat dilihat bahwa kadar TSS yang dihasilkan pada kontrol 2 berada pada rentang sekitar 10 – 24 mg/L dan lebih sedikit jika dibandingkan dengan dengan kadar TSS pada kontrol 1 yang berada pada rentang 177 – 244 mg/L dari hari ke 17 sampai dengan hari ke 38. Dengan menggunakan sistem akuaponik pada kontrol 2, kadar TSS yang dihasilkan dapat dijaga dan direduksi hingga 95,54% dari kadar TSS yang dihasilkan pada kontrol 1. Hal ini dapat terjadi karena pada sistem akuaponik terdapat sistem filtrasi yang dilakukan dengan bantuan kerikil yang digunakan juga sebagai media pertumbuhan tanaman dan juga dengan bantuan dari tanaman tomat itu sendiri yang memiliki akar untuk membantu meningkatkan porositas di dalam *media grow bed* dan menahan suspended solid agar tidak terbawa kembali ke dalam aliran resirkulasi air. Hal ini dibuktikan juga secara perhitungan statistik menggunakan *independent t-test* yang menunjukkan hasil bahwa pada kontrol 1 dan kontrol 2 memang terdapat perbedaan yang signifikan dan dapat dikomparasikan dan hasilnya adalah rata-rata TSS yang dihasilkan pada kontrol 2 lebih kecil yaitu sebesar 16,4 mg/L jika dibandingkan dengan rata-rata TSS yang ada pada kontrol 1 sebesar 219,3 mg/L (Lampiran 3).

4.1.2 Perbandingan Nitrogen Anorganik (Amonia, Nitrit, Nitrat) dan TSS pada Kontrol 2 dengan Sistem 1 dan Sistem 2

Berdasarkan sub bab sebelumnya terkait dengan perbandingan antara kadar amonia, nitrit, nitrat, dan TSS pada kontrol 1 dan kontrol 2 maka dapat diketahui dan disimpulkan bahwa kontrol 2 mampu menghasilkan kadar amonia, nitrit, nitrat, dan TSS yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kontrol 1 yang tidak menggunakan sistem akuaponik sama sekali. Atau dengan kata lain dapat dikatakan bahwa kontrol 2 dengan bantuan sistem akuaponik dapat membantu menjaga stabilitas konsentrasi nitrogen anorganik dan TSS yang ada untuk tetap berada pada standar kualitas air untuk ikan nila yang baik terhitung berdasarkan percobaan ini yaitu hingga hari ke-38.

Setelah mengetahui hal tersebut, dalam sub bab ini akan dilakukan analisis mengenai bagaimana perbandingan hasil kadar amonia, nitrit, nitrat, dan TSS yang dihasilkan ketika dalam suatu sistem akuaponik ditambahkan unit *clarifier*. Unit *clarifier* yang digunakan dalam perancangan dan penelitian ini terdiri atas dua jenis, yaitu jenis *conical baffle* yang diterapkan pada sistem 1 dan juga jenis *radial flow filter* yang diterapkan pada sistem 2 (Gambar 3.4). Unit *clarifier* sendiri sebenarnya memiliki fungsi untuk memisahkan dan juga menghilangkan settleable solids yang berasal dari air limbah ikan dan juga material partikulat lainnya (Nelson & Pade, 2007), sehingga salah satu parameter yang akan sangat ditinjau didalam analisa ini adalah perbandingan pada kadar TSS dari kontrol 2, sistem 1 dan sistem 2. Namun, dalam analisa ini kadar amonia, nitrit, dan nitrat juga akan ditinjau untuk melihat apakah perubahan ketiga kadar tersebut juga dapat dijadikan suatu pertimbangan dalam memilih rangkain sistem mana yang lebih baik.

Apabila dilihat pada grafik gambar 4.2 dapat diketahui bahwa kontrol 2 memiliki grafik yang lebih tinggi pada kadar amonia dan nitrat jika dibandingkan dengan grafik pada sistem 1 dan sistem 2. Berdasarkan rata-ratanya kontrol 2 memiliki kadar amonia, nitrat, dan TSS yang lebih tinggi dengan nilai 0,45 mg/L; 27,5 mg/L; dan 16,4 mg/L. Hal tersebut dapat terjadi karena pada kontrol 2 tidak terdapat unit *clarifier* yang mampu mengurangi beban TSS pada sistem akuaponik tersebut. Adanya suspended solid yang lebih besar pada kontrol 2 menyebabkan

amonia yang dihasilkan juga lebih besar dikarenakan sifat amonia yang seringkali mengikatkan diri pada sedimen (US EPA, 2013) yang kemudian berujung pada terjadinya konversi amonia menjadi nitrit dan nitrat yang mengakibatkan kadar nitrat pada kontrol 2 juga menjadi lebih besar. Sementara kandungan nitrit yang ada pada kontrol 2, sistem 1, dan sistem 2 cenderung fluktuatif dan dapat dikatakan tidak jauh berbeda kandungannya.

Berdasarkan hasil perhitungan secara statistik menggunakan *independent T-test* dengan tingkat kepercayaan 95% (Lampiran 3) dilakukan perbandingan terhadap sistem 1 dan sistem 2 yang sama-sama menggunakan tambahan unit *clarifier* terlebih dahulu untuk mengetahui jenis *clarifier* mana yang lebih baik atau adakah perbedaan yang signifikan dari kedua jenis *clarifier* tersebut. Dari perbandingan tersebut ternyata diketahui bahwa pada sistem 1 dan sistem 2 tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap kadar amonia, nitrit, nitrat maupun TSS yang dikandungnya. Hal ini ditandai dengan adanya angka nol pada interval dari masing-masing perhitungan *t-test* yang menandakan bahwa rata-rata sistem 1 dan sistem 2 ketika diselidihkan memiliki kemungkinan untuk menghasilkan nilai nol yang berarti tidak ada perbedaan yang signifikan pada kedua data tersebut (Berthouex & Brown, 2002). Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa baik jenis *clarifier conical baffle* maupun *clarifier radial flow filter* memiliki kemampuan yang sama dan tidak ada perbedaan yang signifikan dalam menjaga stabilitas nitrogen anorganik dan juga kadar TSS nya.

Apabila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Davidson dan Summerfelt (2005) diketahui bahwa *radial-flow filter* lebih efektif dalam menghilangkan TSS jika dibandingkan dengan *clarifier* jenis *swirl separator* dengan efisiensi yang dapat mencapai angka rata-rata hingga $77,9 \pm 1,6\%$, sementara pada *swirl separator* hanya berkisar sekitar $37,1 \pm 3,3\%$. Namun, percobaan tersebut dilakukan pada suatu sistem resirkulasi akuakultur biasa yang tidak menggunakan sistem akuaponik dalam rangkaian sistemnya. Sementara pada penelitian yang dilakukan di Universitas Virgin Islands oleh Danaher, Shultz, Rakocy, dan Bailey (2013) diketahui bahwa *swirl separator* yang digunakan memiliki kemampuan yang sama dengan *clarifier* jenis *conical baffle* yang digunakan pada sistem akuaponik dengan metode *floating raft* pada tanaman

bayam untuk budidaya ikan nila. Dengan tingkat kepercayaan sebesar 95% tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara *clarifier* jenis *conical baffle* dengan *swirl separator* yang ditemukan dalam penelitian ini (Danaher, Shultz, Rakocy, & Bailey, 2013).

Dari kedua penelitian tersebut seharusnya dapat diketahui bahwa *radial flow filter* ketika dibandingkan dengan *conical baffle clarifier* akan memiliki efisiensi yang lebih besar. Namun perlu diperhatikan bahwa kedua penelitian tersebut memiliki rangkaian sistem yang berbeda dimana pada penelitian Davidson dan Summerfelt (2005) percobaan dilakukan hanya pada sistem resirkulasi akuakultur biasa sementara pada penelitian di Universitas Virgin Island yang dilakukan oleh Danaher (2013) sistem yang digunakan merupakan rangkaian dengan sistem akuaponik. Sementara berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dan sedang dibahas kali ini, *clarifier* jenis *radial flow filter* dan *conical baffle* yang digunakan diujicobakan untuk sistem akuaponik dengan *media based grow* dan bukan menggunakan *floating raft* seperti yang dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Danaher (2013).

Mengetahui hal tersebut, kemudian dilakukan lagi perbandingan antara kontrol 2 dengan sistem 1 secara statistik menggunakan *independent T-test* untuk mengetahui apakah kedua sistem tersebut dapat dikomparasikan atau adakah perbedaan yang signifikan terhadap parameter-parameter yang diujikan dengan adanya penambahan unit *clarifier jenis conical baffle* pada suatu sistem akuaponik. Dari hasil perhitungan tersebut (Lampiran 3) kemudian diketahui bahwa tidak ada perbedaan yang cukup signifikan antara kontrol 2 dengan sistem 1 atau dapat dikatakan bahwa kedua sistem tersebut tidak dapat dikomparasikan dan memiliki kemampuan yang sama dalam menjaga stabilitas nitrogen anorganik dan juga kadar TSS nya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan unit *clarifier jenis conical baffle* pada sistem 1 tidak memiliki pengaruh yang besar ketika diaplikasikan pada sistem akuaponik dengan *media based grow*.

Perhitungan kemudian dilakukan juga pada kontrol 2 dengan sistem 2 untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan dari kedua sistem tersebut dengan menggunakan perhitungan statistik *independent t-test*. Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa kadar amonia dan nitrit dari keduanya tidak memiliki perbedaan

yang signifikan dan tidak dapat dikomparasikan, sementara pada kadar nitrat dari keduanya ternyata terdapat perbedaan yang memungkinkan untuk dilakukan komparasi. Dilihat dari perbandingan rata-rata kadar nitrat pada kontrol 2 dan sistem 2 yang dapat dikomparasikan, maka dapat diketahui bahwa sistem 2 mampu menjaga kadar nitrat dengan lebih baik pada rata-rata sebesar 19,21 mg/L jika dibandingkan dengan kontrol 2 yang memiliki kandungan nitrat dengan rata-rata yang lebih besar yaitu 27,46 mg/L.

Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara kontrol 2 dengan sistem 1 dan sistem 2 yang menggunakan tambahan *clarifier*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiganya memiliki kemampuan yang sama baiknya dalam menjaga stabilitas nitrogen anorganik dan TSS sebagai suatu sistem pengolahan air. Stabilitas yang dimaksud dalam penelitian ini adalah stabilitas dalam menjaga agar kadar nitrogen anorganik dan TSS yang dihasilkan tetap berada pada standar kualitas air untuk ikan nila yaitu stabil dengan tingkat amonia dibawah 1 mg/L, nitrit dibawah 5 mg/L, dan nitrat dibawah 300 mg/L. Hal ini juga menunjukkan bahwa penambahan *clarifier* tidak memberikan pengaruh yang terlalu besar dalam rentang waktu 38 hari pada sistem akuaponik yang menggunakan *media based grow*. Pernyataan ini sesuai dengan literatur yang ada dari Nelson dan Pade pada tahun 2007 terkait dengan penggunaan *clarifier* pada sistem akuaponik yang menyatakan bahwa penggunaan *clarifier* akan lebih dibutuhkan pada sistem hidroponik dengan metode *floating raft* ataupun *nutrient film technique* karena pada metode *media based grow*, padatan yang dihasilkan dari budidaya ikan akan tertinggal pada sistem dan dipecah didalam media.

Namun disatu sisi, perbedaan yang tidak terlalu signifikan dari penggunaan *clarifier* di dalam penelitian ini dengan menggunakan sistem akuaponik *media based grow* juga mungkin terjadi karena beberapa faktor, diantaranya yaitu karena waktu tinggal di dalam *clarifier* yang tidak terlalu besar dan yang kedua dapat terjadi karena waktu percobaan yang hanya dilakukan selama sekitar satu bulan sehingga tidak dapat diketahui secara signifikan apakah sistem hidroponik *media based grow* akan memiliki titik jenuh setelah beberapa

hari atau bulan yang lebih lama dalam menampung TSS yang dihasilkan dari budidaya ikan atau tidak.

Penggunaan *clarifier* pada *media based grow* merupakan salah satu saran unit tambahan yang berasal dari beberapa video dokumenter terkait dengan sistem akuaponik yang dilakukan pada skala rumahan yang sudah berjalan selama berbulan-bulan. Penggunaan *media based grow bed* sebagai biofilter dalam sistem akuaponik dapat bekerja secara lebih efisien ketika padatan tersebut telah dihilangkan atau dikurangi bebannya terlebih dahulu karena ketika padatan yang ada pada *grow bed* menumpuk melebihi kapasitasnya maka akan terbentuk kondisi anaerobik pada area tersebut dan menyebabkan terjadinya denitrifikasi yang kemudian meningkatkan pH di dalam air dan dapat membuat amonia menjadi beracun bagi ikan (Gary, 2009). Waktu percobaan selama 38 hari ini diketahui belum dapat merepresentasikan kebutuhan unit *clarifier* tersebut dengan baik dan belum menunjukkan adanya kondisi dimana *media based grow* berada pada kondisi jenuh ataupun adanya padatan yang menumpuk didalam *grow bed*. Dalam suatu industri yang besar atau usaha budidaya ikan dalam jumlah yang besar dan lebih lama peruntukan penggunaan suatu sistem filtrasi untuk budidaya ikannya, penggunaan *clarifier* bukan tidak mungkin untuk digunakan, sehingga penelitian ini akan lebih baik ketika diterapkan langsung dalam suatu sistem budidaya ikan dengan menggunakan metode akuaponik dalam skala yang lebih besar.

4.1.3 Nilai pH, Suhu, dan Oksigen Terlarut

Suhu, pH, dan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) diukur untuk menggambarkan kondisi kualitas air di dalam sistem dan juga untuk membantu mengetahui pengaruhnya dalam siklus nitrifikasi yang terjadi.

Tabel 4.2. menunjukkan standar kualitas pH, suhu, dan DO yang harus dijaga selama sistem akuaponik berjalan. Berdasarkan percobaan selama 38 hari didapatkan grafik dari keempat sistem dengan hasil yang tidak jauh berbeda untuk ketiga parameter kualitas air tersebut.

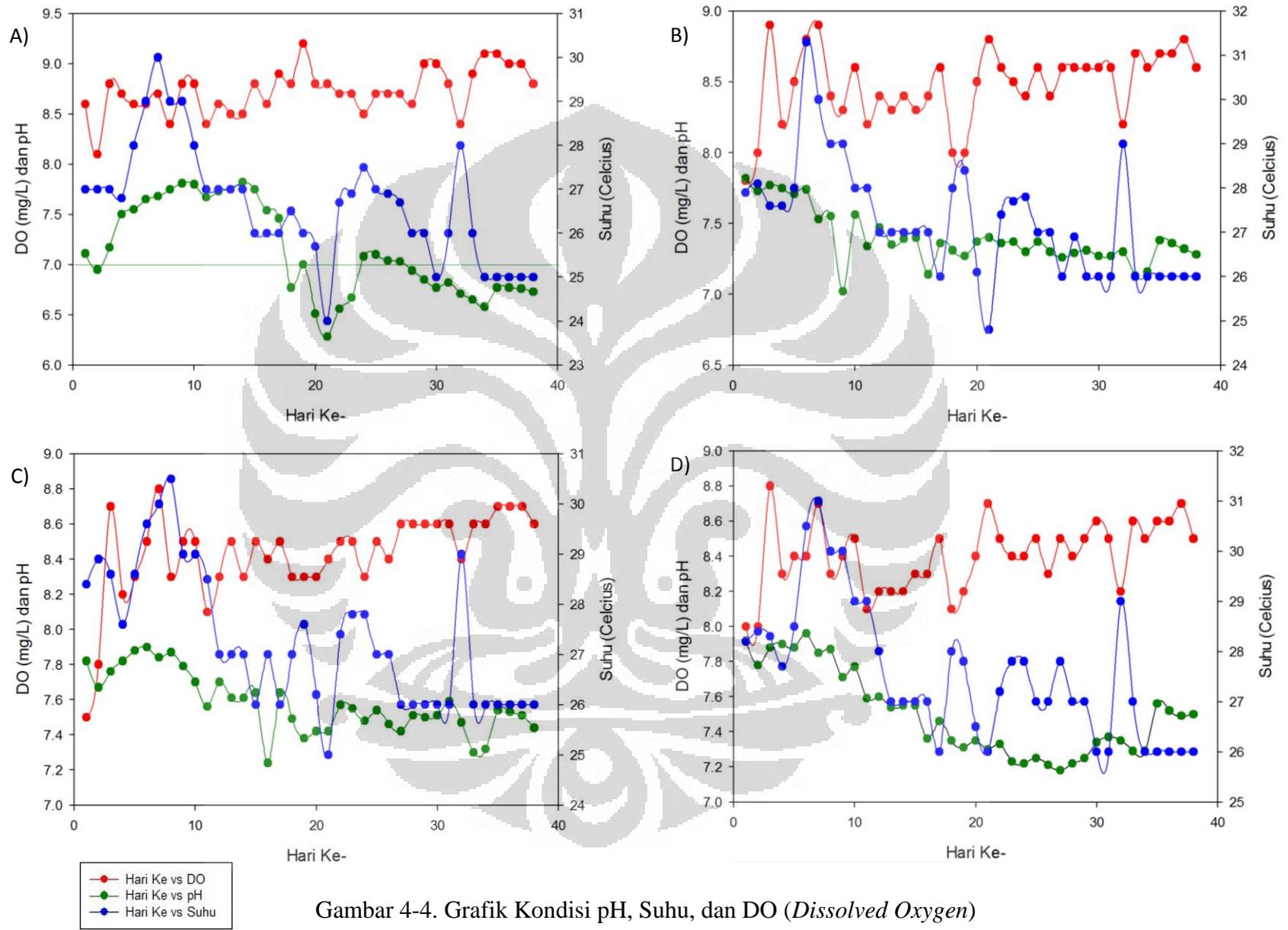
Tabel 4-2. Standar Parameter pH, Suhu, dan Oksigen Terlarut dalam Akuaponik

Parameter	Satuan	Nilai
pH (Ikan Nila)	-	5.0 – 10.0
pH (Tanaman)	-	5.5 - 6
pH (Kinerja bakteri optimum)	-	7 – 8.5
pH Optimum	-	7.0
Suhu (Ikan Nila)	°C	25 – 30
Suhu (Tanaman)	°C	21 -
DO Optimum	mg/L	> 5

Sumber: Schultz, Water Quality in Aquaponic Systems, 2012.

Hambrey, Aquaponics Research Report, 2013.

Pada grafik suhu, pH dan DO kontrol 1 (Gambar 4.4) yang mengambil sampel pada wadah ikan, berdasarkan nilai pH dari grafik dapat dilihat bahwa hingga hari ke 17 didapatkan nilai pH yang berada diatas rentang optimum 7 dan hampir sebagian besar nilai pada hari-hari tersebut berada pada nilai 7.5. Hal ini menjadi indikasi bahwa pada hari ke 4-17, bakteri yang ada didalam air kontrol 1 tersebut sedang bekerja secara optimum. Bakteri akan tumbuh dengan baik pada rentang pH 7 – 8,5 dan pada tahap ini bakteri berada pada kondisi yang sangat aerobik sehingga ketika oksigen terlarut menurun, maka laju nitrifikasi juga akan menurun (Boyd & Tucker, 1998). Sementara itu pada hari ke-18 sampai dengan hari ke-38 pH berada dibawah rentang optimum dan menyentuh angka terendah hingga 6,28 pada hari ke-21. Pada rentang waktu tersebut, kualitas air berada pada kondisi yang jenuh dan sudah sangat tercemar dengan kandungan nitrit yang sangat tinggi, hal ini didukung dengan kenyataan bahwa pada hari ke-18 beberapa ikan yang ada pada wadah ikan tersebut mati dan pH yang berada di bawah 7 mendukung kondisi lingkungan yang sudah tidak baik bagi ikan, sehingga pada hari ke 18 ikan dikeluarkan dari wadah tersebut namun air tetap dibiarkan pada wadah ikan untuk mengetahui siklus nitrifikasi yang akan terjadi seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.3.2.1 sebelumnya. Secara keseluruhan, pH yang ada pada kontrol 1 memiliki rentang sekitar 6,25 hingga 8 (Gambar 4.4).



Gambar 4-4. Grafik Kondisi pH, Suhu, dan DO (*Dissolved Oxygen*)

A) Kontrol 1, B) Kontrol 2, C) Sistem 1, D) Sistem 2

Sumber: Pengolahan Penulis

Pengaruh penggunaan..., Dewi Septanty Widyaningrum, FT UI, 2015

Dalam percobaan kali ini kadar oksigen terlarut didalam air dapat dijaga dengan baik sehingga proses nitrifikasi seperti yang dapat dilihat pada grafik 4.1 dapat berjalan sesuai dengan siklusnya (Gambar 2.10). Oksigen terlarut yang dihasilkan pada kontrol 1 semuanya berada diatas nilai minimum 5 mg/L, dengan nilai paling rendah ada pada angka 8,1 mg/L dan nilai paling tinggi ada pada angka 9,2 mg/L. Kadar oksigen yang ada pada air wadah ikan kontrol 1 dapat dikatakan relatif stabil pada kisaran 8,7 mg/L dan hal ini menunjukkan bahwa sistem aerasi yang ada pada kontrol 1 sudah sangat baik untuk memenuhi kebutuhan oksigen bagi ikan nila maupun bakteri nitrifikasi yang bekerja pada wadah tersebut. Aerasi tersebut didapatkan dari air yang dijatuhkan setelah dipompa menuju ketinggian 44 cm dari dasar wadah ikan.

Sementara suhu yang ada pada kontrol 1 memiliki rentang yang sangat luas yang berkisar pada angka 24 – 30°C dimana pada rentang ini suhu masih berada pada rentang yang cukup optimum untuk terjadinya proses nitrifikasi namun sedikit melenceng dari batas optimumnya yaitu pada rentang 25 – 35°C (Boyd & Tucker, 1998).

Secara signifikan penurunan suhu terjadi dari hari ke-7 hingga hari ke-21 dengan perbedaan suhu yang terjadi mencapai hingga 6°C. Suhu terendah dicapai pada hari ke-21 dengan nilai 24°C. Pada kondisi ini, siklus nitrifikasi sedang berada pada tahapan pembentukan nitrit yang terjadi karena adanya oksidasi amonia dengan bantuan dari bakteri *Nitrosomonas* dan berada pada kondisi yang sangat aerobik serta membutuhkan oksigen dalam jumlah yang banyak. Ketika oksigen terlarut didalam air menurun umumnya suhu berada pada angka yang tinggi (Boyd & Tucker, 1998), namun untuk menjaga agar kebutuhan oksigen tetap tersedia dan oksigen terlarut tidak berkurang secara signifikan, maka suhu harus berada pada angka yang rendah yang pada percobaan ini terlihat pada hari ke-7 hingga hari ke-21 seperti yang dijelaskan sebelumnya. Perubahan suhu ini terlihat dan terulang pada hari selanjutnya di hari ke-22 hingga hari ke-30 dimana temperatur meningkat dan kemudian kembali mengalami penurunan karena pada rentang tersebut siklus nitrifikasi masih berlanjut dan berada pada proses pembentukan nitrat yang berasal dari proses oksidasi nitrit.

Pada kontrol 2, sistem 1, dan sistem 2 yang menggunakan sistem akuaponik, pH yang ada pada wadah ikan berada pada rentang 7 – 8. Rentang tersebut merupakan rentang yang optimum baik untuk pertumbuhan ikan maupun bakteri yang ada pada air tersebut. Pada hari ke-1 hingga hari ke-27 secara perlahan dapat dilihat bahwa pH yang berada pada kisaran diatas 7,8 di hari pertama lama kelamaan berkurang hingga sekitar minggu ke 3, namun tetap dikategorikan untuk berada pada pH yang optimum. Selama rentang waktu tersebut, bakteri berada pada kondisi yang optimum yang didukung dengan kondisi pH yang optimum untuk menjalankan siklus nitrifikasi. Pada grafik (Gambar 4.4) dapat dilihat bahwa perubahan pH yang terjadi memiliki rentang waktu yang panjang dan relatif tidak signifikan serta berada pada kondisi optimum yang membuat jalannya siklus nitrifikasi menjadi lambat dan membantu sistem untuk menjaga stabilitas nitrogen anorganik berada pada kandungan yang baik untuk kualitas air bagi ikan pada periode yang lebih lama.

Hal yang sama terjadi pada kandungan oksigen terlarut yang ada pada wadah ikan kontrol 2, sistem 1 dan sistem 2 yang berada pada rentang yang optimum yaitu antara 7.4 – 9 mg/L. Oksigen terlarut ini dapat terjaga dikarenakan adanya sistem aerasi yang berasal dari sistem hidroponik melalui sistem *flood and drain* menggunakan *auto-siphon* yang mengalirkan air setiap sekitar 1 menit. Namun, apabila dibandingkan dengan kontrol 1, oksigen terlarut yang dihasilkan masih lebih baik jika dibandingkan dengan kontrol 2, sistem 1, dan sistem 2, hal ini terjadi karena pengaliran air yang menimbulkan adanya aerasi dalam wadah ikan pada kontrol 1 dilakukan terus menerus tanpa henti dari resirkulasi dengan bantuan pompa, sementara pada sistem yang menggunakan akuaponik terdapat jeda henti pengaliran dari sistem *flood and drain* yang mengatur kapan air di *drain* ke wadah ikan sehingga aerasi tidak tercipta terus menerus seperti kontrol 1.

Oksigen terlarut yang mampu dijaga pada kondisi yang optimum tersebut juga didukung dengan adanya suhu yang relatif rendah yang berada pada rentang 25 – 32°C dengan rata-rata suhu ada pada kisaran 27°C. Dapat dilihat pada grafik (Gambar 4.4) bahwa penurunan suhu terjadi selama rentang waktu hari ke-7 hingga hari-hari selanjutnya. Hal ini juga mendukung kondisi bahwa laju nitrifikasi yang terjadi pada sistem yang menggunakan akuaponik untuk berjalan

dengan lambat dan membantu menjaga stabilitas nitrogen anorganik pada wadah ikan tersebut.

4.2 Perkembangan Percobaan

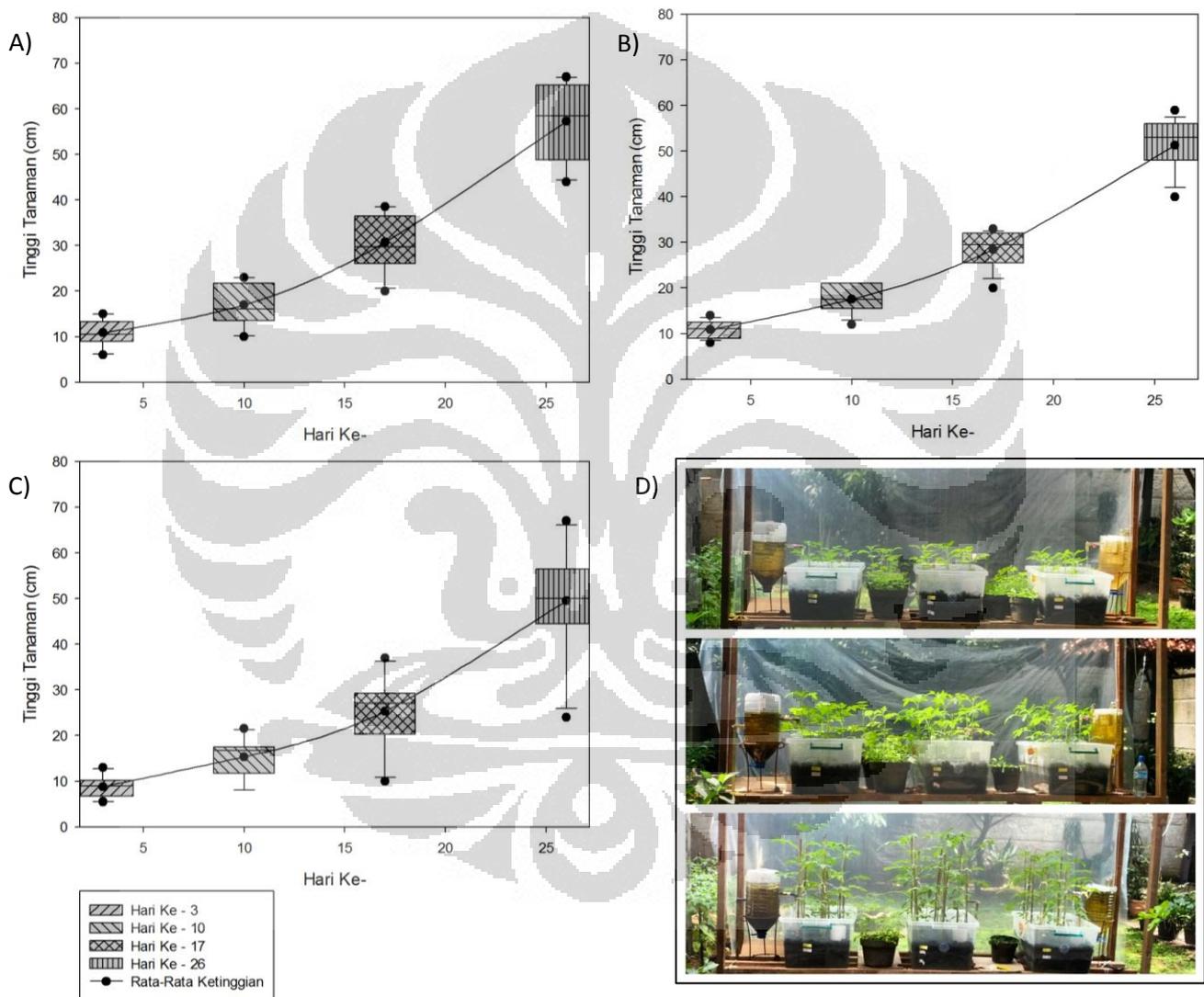
Dalam percobaan dan penelitian ini digunakan ikan nila sebagai objek studi dan juga tanaman tomat pada sistem hidroponik dengan menggunakan metode *media grow based*.

4.2.1 Pertumbuhan tanaman

Pertumbuhan tanaman dalam percobaan ini terjadi pada kontrol 2, sistem 1, dan sistem 2 yang menggunakan tanaman tomat dalam sistem hidroponiknya. Dalam satu kotak media based grow terdapat masing-masing 10 tanaman tomat dengan jarak sekitar 7 – 10 cm antara tanaman yang satu dengan yang lain. Pada saat mulai diujikan, ketinggian tanaman dari masing-masing sistem cenderung tidak seragam, oleh karena itu dalam analisa dan penjabaran hasil pada sub-bab ini digunakan grafik berbentuk *box plot* untuk membantu mencakup dan menganalisa keterangan mengenai ketinggian 10 tanaman dari masing-masing sistem. Perhitungan tinggi tanaman selama 38 hari percobaan dilakukan selama empat kali yaitu pada hari ke-3, 10, 17 dan 26 dimana pada rentang waktu tersebut tanaman masih mudah untuk diukur. Sementara pada hari-hari selanjutnya tanaman tomat sudah sangat tinggi dan sulit untuk diukur ketinggiannya karena beberapa tangkainya ada yang menjulur hingga keluar dari struktur akuaponik yang dibuat dan beberapa tanaman sudah memiliki percabangan yang menunjukkan bahwa tanaman tersebut tumbuh dengan relatif baik dan akan sulit serta tidak relevan untuk mengukur ketinggian dari tanaman berdasarkan percabangannya.

Pada grafik kontrol 2 (Gambar 4.5) diketahui bahwa dari hari ke 3 hingga hari ke 17 pertumbuhan yang terjadi pada tanaman meningkat secara perlahan dan mulai signifikan pada hari ke-26. Sebaran data mengenai ketinggian tanaman yang ada pada kontrol 2 tidaklah seragam dan hal ini ditunjukkan dengan terbentuknya *box plot* yang tidak simetris. Pada hari ke-3 tinggi tanaman tertinggi mencapai angka 15 cm dan tanaman terendah berada pada angka 6 cm. Begitupula

pada hari ke-10, sebaran ketinggian tanaman yang terjadi rata-rata berada di sekitar 17 cm dan mengindikasikan adanya peningkatan rata-rata sekitar 6 cm dari rata-rata pada hari sebelumnya. Pada hari ke-17 peningkatan rata-rata yang terjadi adalah sebesar 13 cm dari rata-rata sebelumnya dan pada hari ke 26 pertumbuhan tanaman yang lebih signifikan lagi ditunjukkan dengan adanya peningkatan ketinggian rata-rata sekitar 27cm dari rata-rata ketinggian sebelumnya.



Gambar 4-5. Grafik dan Dokumentasi Pertumbuhan Tanaman Tomat dengan Sistem Akuaponik

A: Kontrol 2 B: Sistem 1 C: Sistem 2 D: Pertumbuhan hari ke-13, 19, dan 26

Sumber: Dokumentasi dan Pengolahan Penulis

Pada grafik sistem 1 (Gambar 4.5) sebaran ketinggian tanaman dari hari ke-3 hingga hari ke-26 tidak terlalu luas. Terdapat peningkatan pada rata-rata ketinggian tanaman sebesar 40,5 cm dari hari ke-3 dengan rata-rata ketinggian sebesar 11 cm hingga hari ke-26 dengan rata-rata ketinggian sebesar 51 cm. Pertumbuhan tanaman secara rata-rata pada sistem 1 ini lebih kecil jika dibandingkan dengan kontrol 2 yang memiliki peningkatan rata-rata ketinggian dari hari ke-3 hingga ke-26 sebesar 46,5 cm. Sementara pada grafik sistem 2 (Gambar 4.5) sebaran ketinggian yang terjadi juga tidak cukup luas pada rentang hari ke-3 hingga hari ke-26. Peningkatan rata-rata ketinggian tanaman yang terjadi dari hari ke-3 hingga hari ke-26 adalah sebesar 41 cm. Peningkatan ini relatif tidak jauh berbeda dengan yang ada pada sistem 1.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan tanaman yang terbaik dari ketiga sistem hidroponik tersebut ada pada kontrol 2 dengan pertambahan rata-rata ketinggian tanaman sebesar 46 cm. Hal ini dapat terjadi dikarenakan beberapa faktor, diantaranya yaitu pada kontrol 2 kadar nitrat seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 yang terbentuk dari hari ke-24 dan seterusnya lebih besar pada rentang 10 – 53 mg/L sementara pada sistem 1 dan sistem 2 kadar nitrat yang terbentuk berada pada rentang 14 – 32 mg/L dan 12 – 26 mg/L. Kandungan nitrat yang ada pada sistem tersebut kemudian dikonversikan menjadi nitrogen yang sekaligus menjadi nutrisi bagi tanaman yang menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik. Oleh karena itu, semakin besar nitrat yang ada sebagai sumber energi dan nutrisi bagi tanaman maka pertumbuhan tanaman yang terjadi juga akan lebih baik (US EPA, 2013). Pertumbuhan tanaman yang ada pada percobaan ini juga dipengaruhi oleh adanya cahaya matahari. Pada sistem 2, lokasi penempatan sistem hidroponik berada di bawah pohon rambutan yang ada di halaman rumah, sehingga pohon tersebut menutupi cahaya matahari menuju ke wadah hidroponik sistem 2 yang menyebabkan tanaman pada sistem ini memiliki pertumbuhan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan kontrol 2 dan sistem 1.

4.2.2 Perkembangan Ikan

Selain perkembangan pada produktivitas tanaman, dalam percobaan ini juga dilakukan analisa mengenai perkembangan pada Ikan Nila sebagai objek studi. Dalam percobaan ini ikan yang digunakan adalah gabungan dari ikan nila merah dan ikan gurame nila. Pada awalnya, semua sistem diberikan masing-masing sekitar 500 gram ikan pada masing-masing wadah akuakulturnya. Namun seiring dengan berjalannya percobaan, terdapat beberapa kendala dalam menjaga ikan tersebut. Pada hari ke-5 ikan pada kontrol 1 dan sistem 1 hilang yang diasumsikan terjadi karena adanya binatang seperti kucing yang mengambil ikan pada wadah tersebut, oleh karena itu pada hari-hari selanjutnya wadah ikan nila ditutup dengan menggunakan kawat untuk mengurangi kemungkinan adanya ikan yang hilang. Selain itu kendala lain ada yaitu ketika ikan yang ada di wadah yang sama menjadi agresif dan ketika ikan yang lebih besar menyerang ikan yang lebih kecil pada wadah yang sama. Pada hari selanjutnya beberapa ikan kecil pada wadah yang sama ditemukan mati di dalam wadah yang diasumsikan terjadi karena diserang oleh ikan yang lebih besar. Oleh karena adanya kendala-kendala tersebut, beberapa ikan harus dipindahkan dari wadah yang satu ke yang lain dan dijaga secara berkala apakah ikan berada pada kondisi yang stabil dan tidak stress atau tidak. Kendala-kendala seperti ini kemudian menyulitkan untuk dapat menghitung secara pasti pertambahan bobot dari ikan-ikan tersebut karena setiap kali ada ikan yang mati maka ikan yang baru akan dipindahkan ke wadah tersebut untuk menjaga agar masing-masing sistem memiliki jumlah ikan yang hampir setara sehingga tidak terlalu mengganggu jalannya penelitian terkait konsentrasi nitrogen anorganik serta TSS yang dihasilkan dari sistem ekskresi ikan.

Pada kontrol 1, terdapat sekitar 7 buah ikan dengan total bobot sekitar 500 gram. Hingga hari ke-17 dan 18 terdapat masing-masing satu ikan yang mati pada kedua hari tersebut dan menyisakan 5 ikan lainnya terlihat lemas. Hal ini terjadi karena adanya kualitas air yang tercemar yang diakibatkan oleh tingginya kadar nitrit dalam wadah ikan tersebut yaitu sebesar 86 mg/L pada hari ke-18 (Gambar 4.1). Padahal standar kualitas nitrit yang baik bagi ikan nila berada pada rentang nilai dibawah 5 mg/L. Selain itu kadar amonia yang ada pada wadah ikan kontrol 1 juga sudah sangat tinggi yang pada hari ke-18 berada pada nilai 9 mg/L

(Gambar 4.1), sementara kadar amonia yang baik bagi ikan ada pada nilai kurang dari 1 mg/L (Tabel 3.2). Amonia dan nitrit dapat menjadi racun bagi ikan seperti yang digambarkan pada Gambar 2.11. Ikan yang tersisa pada kontrol 1 kemudian dipindahkan ke wadah sistem lain dan percobaan pembudidayaan ikan di kontrol 1 dihentikan.

Pada percobaan ini beberapa ikan pada kontrol 2, sistem 1, dan sistem 2 yang menggunakan sistem akuaponik terlihat lebih besar setelah beberapa hari penelitian yang ditandai dengan adanya pembesaran pada bagian perut ikan seperti yang ada pada gambar 4.6. Namun penambahan bobot ikan tersebut tidak dapat diketahui secara pasti akibat adanya kendala-kendala seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.



Gambar 4-6. Perkembangan Produktivitas Ikan

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

Secara sederhana, dalam waktu satu minggu sempat terlihat adanya penambahan bobot ikan dalam masing-masing wadah yang bertambah menjadi sekitar 100 gram. Namun kemudian kondisi pengukuran bobot ikan tersebut tidak dapat dilanjutkan dikarenakan adanya beberapa kendala seperti adanya ikan yang hilang maupun stress atau adanya ikan yang saling menyerang satu sama lain yang menyebabkan adanya perubahan bobot ikan.

Pada hari ke-41 setelah percobaan selesai dilaksanakan dilakukan penimbangan akhir untuk ikan-ikan yang ada pada masing-masing wadah. Namun, ketika ikan akan ditimbang dan diambil dengan jaring, ikan meronta-ronta dan mengeluarkan benih ikan kecil dari mulutnya. Ternyata pembesaran pada perut ikan yang selama ini terlihat pada masa percobaan terjadi karena ikan menjadi sangat produktif dan menetas sekitar puluhan hingga ratusan ikan kecil dan hal ini terjadi pada beberapa ikan yang ada pada wadah tersebut. Ikan kecil yang dilahirkan kemudian dipisahkan dari ikan-ikan yang besar karena dikhawatirkan apabila disatukan dengan ikan yang besar, ikan yang kecil yang memiliki ukuran sekitar 0,3 hingga 0,5 cm itu akan dimakan oleh ikan-ikan yang lebih besar karena ikan nila tergolong sebagai ikan omnivora atau pemakan segala (Tabel 2.15).

Dari percobaan ini, dengan adanya sekitar 2 ekor ikan yang mati pada kontrol 1 akibat adanya air yang tercemar yang sudah tidak sanggup ditolerir lagi oleh ikan nila pada hari ke-18, diketahui bahwa ikan nila dapat menghasilkan kotoran dalam bentuk amonia, nitrit, nitrat, dan TSS hingga berada pada kadar maksimal sebesar 19,4 mg/L; 140 mg/L; 86 mg/L; dan 240 mg/L bahkan setelah ikan dikeluarkan dari wadah airnya (Lampiran 1). Ikan nila tidak mampu mentolerir kandungan nitrit yang tinggi yang dalam penelitian ini pada nitrit dengan kadar 86 mg/L bersifat toksik dan membuat ikan tersebut mati. Disatu sisi hal ini juga membuktikan bahwa ikan nila mampu bertahan hingga pada kondisi air terburuk yaitu dengan kandungan amonia sebesar 19,4 mg/L dan nitrit sebesar 86 mg/L (Gambar 4.1).

Percobaan ini juga membuktikan bahwa budidaya ikan nila yang dilakukan dengan menggunakan sistem akuaponik dapat menghasilkan ikan yang memiliki produktivitas yang tinggi karena kualitas air yang dihasilkan dapat

dijaga agar stabilitas nitrogen anorganik dan TSS nya tetap berada pada standar kualitas air yang baik bagi ikan nila.

4.3 Evaluasi Sistem Percobaan

Berdasarkan hasil percobaan dan penelitian yang didapatkan, terdapat beberapa evaluasi terkait dengan sistem akuaponik yang dirancang yang kemudian dijabarkan lebih lanjut dalam sub bab ini.

4.3.1 Sistem Akuaponik Media Grow Bed vs Penambahan Clarifier

Penambahan clarifier pada suatu sistem akuaponik media grow bed berdasarkan beberapa literatur tidak terlalu optimal penggunaannya dan akan lebih optimal apabila digunakan pada suatu sistem akuaponik dengan metode *floating raft* atau *nutrient film technique* (Nelson & Pade, 2007) Namun, dalam beberapa kasus, ketika *fish to plant ratio* yang ada dalam sistem akuaponik tidak sesuai dengan literatur yaitu sekitar 1:1 (Bernstein, 2011) maka penumpukan solid pada *media grow bed* dapat mungkin terjadi apabila ikan yang ada dalam sistem lebih banyak daripada luasan *media grow bed*nya. Hal ini kemudian dapat mengakibatkan terbentuknya kondisi anaerobik pada area yang tertutup padatan pada sistem akuaponik yang kemudian meningkatkan pH dalam air dan mengakibatkan amonia di dalam air bersifat beracun bagi ikan dan sekaligus dapat menyebabkan terjadinya proses denitrifikasi (Gary, 2009). Apabila kondisi tersebut terjadi, maka penambahan *clarifier* untuk menghilangkan padatan sebelum memasuki *grow bed* dibutuhkan.

Oleh karena itu evaluasi dalam percobaan dan penelitian ini apabila ingin melihat kemampuan *clarifier* sebagai unit penghilang padatan yaitu sebaiknya adalah dengan menambahkan jumlah atau luasan wadah ikan di dalam sistem. Selain itu waktu percobaan yang hanya dilakukan selama 38 hari ini dinilai kurang dapat merepresentasikan kondisi ketika *media grow bed* berada dalam kondisi jenuh dalam menampung padatan dari wadah ikan, sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama lagi untuk melihat apakah kondisi dimana *grow bed* tersebut jenuh dapat terjadi.

4.3.2 Waktu Tinggal Clarifier

Pada percobaan ini terdapat kesulitan dalam rancangan mekanika fluida yang ingin dicapai. Waktu tinggal atau *hydraulic retention time* (HRT) dari masing-masing unit pada tahap awal perancangan tidak diperhitungkan maupun diatur. Hal ini dapat terjadi karena adanya kesulitan dalam hal pengaturan pemompaan air dari wadah ikan menuju ke unit selanjutnya dengan ketinggian sekitar 1 m. Untuk memenuhi kebutuhan agar air dapat dialirkan pada ketinggian tersebut maka digunakanlah pompa yang kemudian ternyata menghasilkan debit yang besar. Dengan adanya debit yang besar dan volume unit yang kecil maka waktu tinggal yang dihasilkan pada masing-masing unit menjadi sangat kecil jika dibandingkan dengan waktu tinggal yang seharusnya yang disesuaikan dengan literatur. Namun disisi lain, dibutuhkan *intermittent time* yang singkat pada sistem *auto-siphon flood and drain* yang memungkinkan adanya perputaran aliran yang cepat untuk grow bed dan juga untuk menciptakan terjadinya aerasi secara terus menerus untuk wadah ikan yang berada di bawah grow bed tersebut sebagai suplai oksigen. Oleh karena itu, dibutuhkan perhitungan mekanika fluida yang lebih rinci untuk mendapatkan debit maupun waktu tinggal yang sesuai untuk penelitian ini.

4.3.3 Pengaturan DO sebagai Limiting Factor

Pada penelitian ini, DO yang ada di dalam air terlampaui sangat besar, kondisi ini tentunya sangat baik bagi pertumbuhan ikan, tanaman, maupun bakteri yang ada di dalam sistem akuaponik tersebut. Namun, adanya ketersediaan DO yang besar tersebut yang tidak dibatasi berdasarkan standar kecukupannya bagi ikan (sekitar 5 mg/L) menjadi variabel yang tidak dapat dilihat pengaruhnya bagi karakteristik kualitas air lain. Apabila DO yang ada di dalam air dibatasi, maka dapat dilihat pengaruhnya pada proses nitrifikasi, apakah proses tersebut menjadi terganggu atau tidak. Selain itu apabila DO di dalam air dibatasi, maka sistem aerasi yang sudah disebutkan pada sub bab sebelumnya dapat diminimalkan yang kemudian dapat berujung pada penggunaan pompa yang lebih kecil lagi dayanya untuk menghasilkan debit yang lebih kecil sehingga *intermittent time* pada flood and drain sistem menjadi lebih panjang.

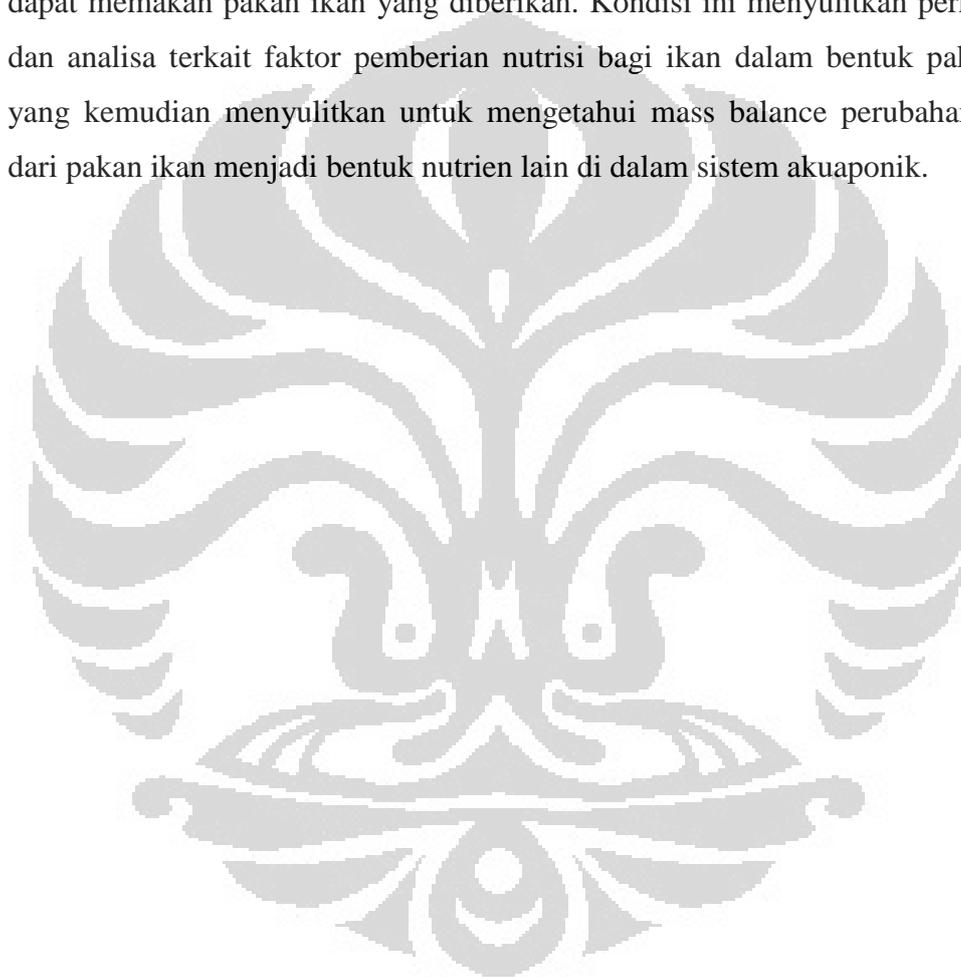
4.3.4 Perhitungan Bobot Ikan

Pada penelitian ini terdapat beberapa kendala dalam mengukur perkembangan ikan. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada beberapa hari pertama penelitian wadah ikan yang ada tidak ditutup dan dibiarkan terbuka yang menyebabkan beberapa ikan hilang yang diasumsikan diambil atau dimakan oleh binatang lain. Selain itu karena wadah ikan tersebut tidak ditutup, beberapa ikan banyak yang melompat keluar dari wadahnya dan keesokan harinya ditemukan sudah mati. Pada hari-hari berikutnya barulah dipasang kawat di atas wadah ikan untuk mencegah ikan-ikan tersebut hilang. Adanya ikan yang hilang tersebut menyulitkan pengukuran bobot ikan yang sudah dilakukan pada hari pertama. Dibutuhkan tambahan ikan lain ke dalam wadah tersebut untuk memenuhi agar bobot ikan dalam setiap wadah tetap sama yaitu sebesar 500 gram untuk masing-masing wadah. Selain itu kendala lain dari perkembangan ikan pada penelitian ini adalah adanya ikan yang stress karena berada pada wadah yang kecil yang dapat menyebabkan ikan tidak mau memakan pakan yang ada.

Permasalahan lain juga ditemukan ketika ada ikan yang memiliki bobot atau ukuran yang lebih besar dengan beberapa ikan dengan ukuran yang lebih kecil pada satu wadah yang sama. Ikan yang lebih besar tersebut cenderung menyerang ikan yang lebih kecil yang menyebabkan ikan dengan ukuran yang lebih kecil tersebut pada beberapa hari selanjutnya mengalami luka di bagian sirip dan badannya. Oleh karena adanya permasalahan tersebut, ikan-ikan yang berbeda ukuran tersebut dipisahkan ke wadah ikan di sistem lain dan dikelompokkan bersama ikan-ikan dengan ukuran yang sama. Adanya penukaran ikan dari satu sistem ke sistem lain pada beberapa hari setelah penelitian berlangsung menyebabkan pengukuran bobot ikan menjadi sulit. Sehingga evaluasi dari penelitian ini selain untuk menyediakan wadah yang aman bagi ikan adalah dengan memastikan bahwa ikan berada dalam kondisi yang baik dengan ukuran yang sama pada masing-masing wadahnya untuk mengurangi resiko adanya ikan yang saling menyerang satu sama lain.

4.3.5 *Feed Ratio*

Dalam penelitian ini, jumlah pakan ikan yang diberikan diatur sesuai dengan perhitungan bobot ikan dikalikan dengan 1,5% untuk kebutuhan pakannya. Namun dikarenakan adanya kesulitan dalam mengatur bobot ikan, maka kebutuhan pakan yang diberikan juga menjadi sulit untuk diatur. Ditambah lagi apabila terjadi kondisi dimana ada ikan yang stress dan juga ada ikan yang sedang mengerami telur di dalam tubuhnya yang menyebabkan ikan tersebut tidak dapat memakan pakan ikan yang diberikan. Kondisi ini menyulitkan perhitungan dan analisa terkait faktor pemberian nutrisi bagi ikan dalam bentuk pakan ikan yang kemudian menyulitkan untuk mengetahui mass balance perubahan nutrisi dari pakan ikan menjadi bentuk nutrien lain di dalam sistem akuaponik.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa dari percobaan dan penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui stabilitas konsentrasi nitrogen anorganik dan TSS dari sistem akuaponik yang diterapkan pada akuakultur ikan nila dalam waktu 38 hari, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Karakteristik air dari kolam ikan nila yang dihasilkan cenderung fluktuatif dengan amonia, nitrit, nitrat, dan TSS yang dihasilkan mencapai angka maksimum hingga 19,4 mg/L; 140 mg/L; 86 mg/L; dan 244 mg/L dan dengan rata-rata sebesar 6,57 mg/L; 56,1 mg/L; 45,2 mg/L; dan 224 mg/L. Dalam penelitian ini diketahui bahwa air kolam ikan sudah mulai tercemar pada hari ke-18 dengan kandungan amonia, nitrit, nitrat, dan TSS pada hari tersebut ada pada angka 9 mg/L, 86 mg/L, 78 mg/L, dan 240 mg/L yang ditandai dengan adanya 2 ekor ikan yang mati pada hari tersebut. Pada kontrol 2 yang menggunakan sistem akuaponik *media based grow* didapatkan rata-rata untuk amonia, nitrit, nitrat, dan TSS nya adalah sebesar 0,452 mg/L; 2,643 mg/L; 27,457 mg/L; dan 16,40 mg/L. Pada sistem 1 yang menggunakan sistem akuaponik dengan tambahan unit *clarifier* jenis *conical baffle* didapatkan rata-rata untuk amonia, nitrit, nitrat, dan TSS nya adalah sebesar 0,359 mg/L; 3,071 mg/L; 20,986 mg/L; dan 11,50 mg/L. Pada sistem 2 yang menggunakan sistem akuaponik dengan tambahan unit *clarifier* jenis *radial flow filter* didapatkan rata-rata untuk amonia, nitrit, nitrat, dan TSS nya adalah sebesar 0,357 mg/L; 2,929 mg/L; 19,214 mg/L; dan 10,70 mg/L. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa ketiganya mempunyai kemampuan yang baik dalam menjaga stabilitas nitrogen anorganik dan TSS pada standar kualitas air untuk ikan nila yaitu amonia dibawah 1 mg/L, nitrit dibawah 5 mg/L, nitrat dibawah 300 mg/L hingga hari ke-38.
2. Berdasarkan analisis hasil yang diperoleh menggunakan metode statistik *independent T-test* dengan tingkat kepercayaan 95% diketahui bahwa jenis

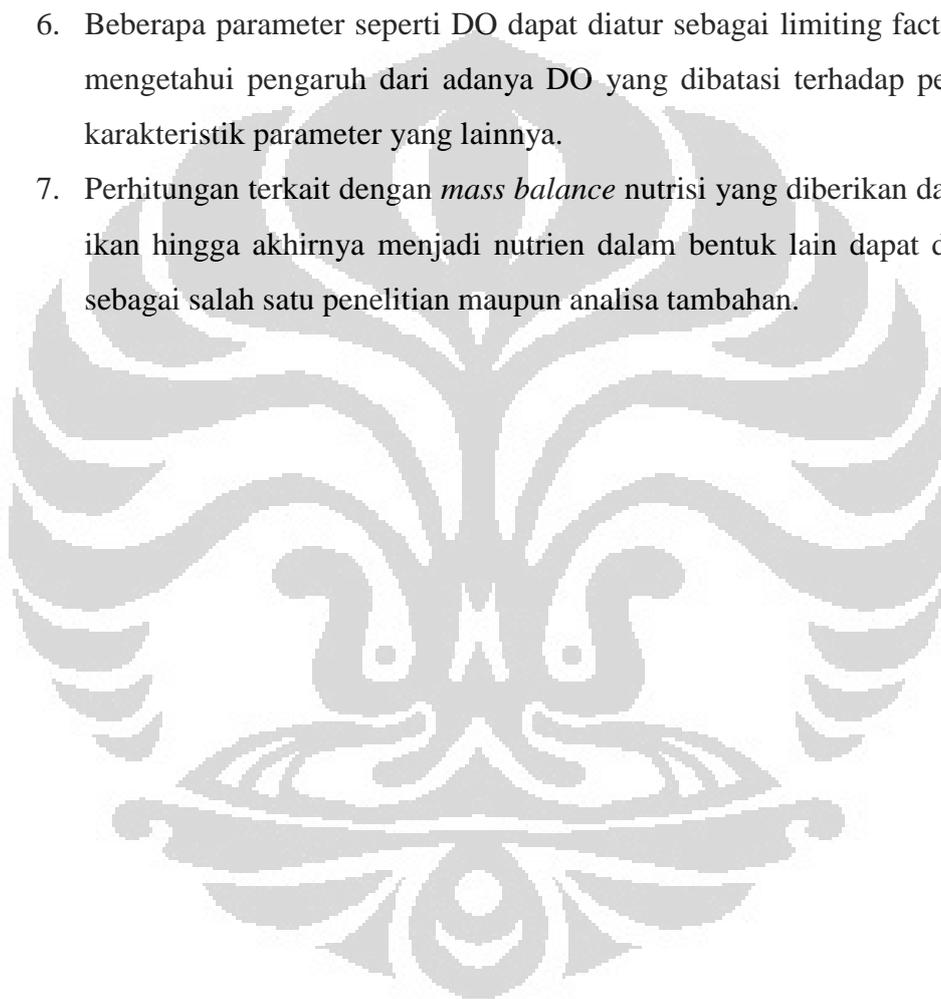
conical baffle clarifier dan *radial flow filter* keduanya tidak memiliki perbedaan yang signifikan dalam mengurangi kandungan TSS maupun nitrogen anorganik dalam sistem akuaponik. Begitupula ketika dibandingkan dengan sistem akuaponik dengan menggunakan *media based grow* yang tidak menggunakan *clarifier* sama sekali, berdasarkan perhitungan secara statistik kandungan TSS dan nitrogen anorganik yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan sistem akuaponik yang menggunakan *clarifier*. Karena adanya kemampuan yang sama dalam menjaga stabilitas nitrogen anorganik dan TSS, maka penggunaan sistem akuaponik *media based grow* tanpa adanya *clarifier* lebih disarankan untuk digunakan dalam suatu budidaya perikanan karena tidak membutuhkan tambahan biaya untuk pembuatan unitnya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan analisa dari percobaan dan penelitian yang dilakukan terdapat beberapa saran yang diajukan untuk penelitian selanjutnya, diantaranya yaitu:

1. Penambahan *clarifier* akan lebih optimal jika digunakan pada sistem hidroponik dengan metode *Nutrient Film Technique* atau *Floating Raft* yang tidak memiliki media yang berfungsi sebagai filter.
2. Penempatan jumlah tanaman pada setiap wadah hidroponik harus diefektifkan karena pada percobaan ini jumlah tanaman yang diujikan dalam setiap wadahnya terlalu banyak (10 tanaman) dan ketika tanaman sudah tumbuh dengan baik akan terjadi kesulitan dalam mengatur pertumbuhan cabang-cabang tanaman yang saling bersinggungan satu dengan yang lain. Dibutuhkan literatur baru terkait dengan jumlah tanaman yang efektif yang disesuaikan dengan luas *media grow bed* dan jenis tanaman.
3. Penempatan sistem hidroponik sebisa mungkin diletakkan pada tempat yang memungkinkan adanya sinar matahari yang memadai bagi pertumbuhan tanaman.

4. Dibutuhkan lokasi percobaan dan wadah yang aman untuk memelihara ikan yang mengurangi kendala-kendala seperti adanya ikan yang hilang atau menyebabkan ikan menjadi stress.
5. Dibutuhkan perhitungan dan perancangan mekanika fluida yang lebih detail untuk mendapatkan debit dan waktu tinggal pada masing-masing unit yang lebih sesuai sehingga tidak mempengaruhi hasil pengukuran kualitas air yang dihasilkan dari setiap unit.
6. Beberapa parameter seperti DO dapat diatur sebagai limiting factor untuk mengetahui pengaruh dari adanya DO yang dibatasi terhadap perubahan karakteristik parameter yang lainnya.
7. Perhitungan terkait dengan *mass balance* nutrisi yang diberikan dari pakan ikan hingga akhirnya menjadi nutrisi dalam bentuk lain dapat dijadikan sebagai salah satu penelitian maupun analisa tambahan.



DAFTAR PUSTAKA

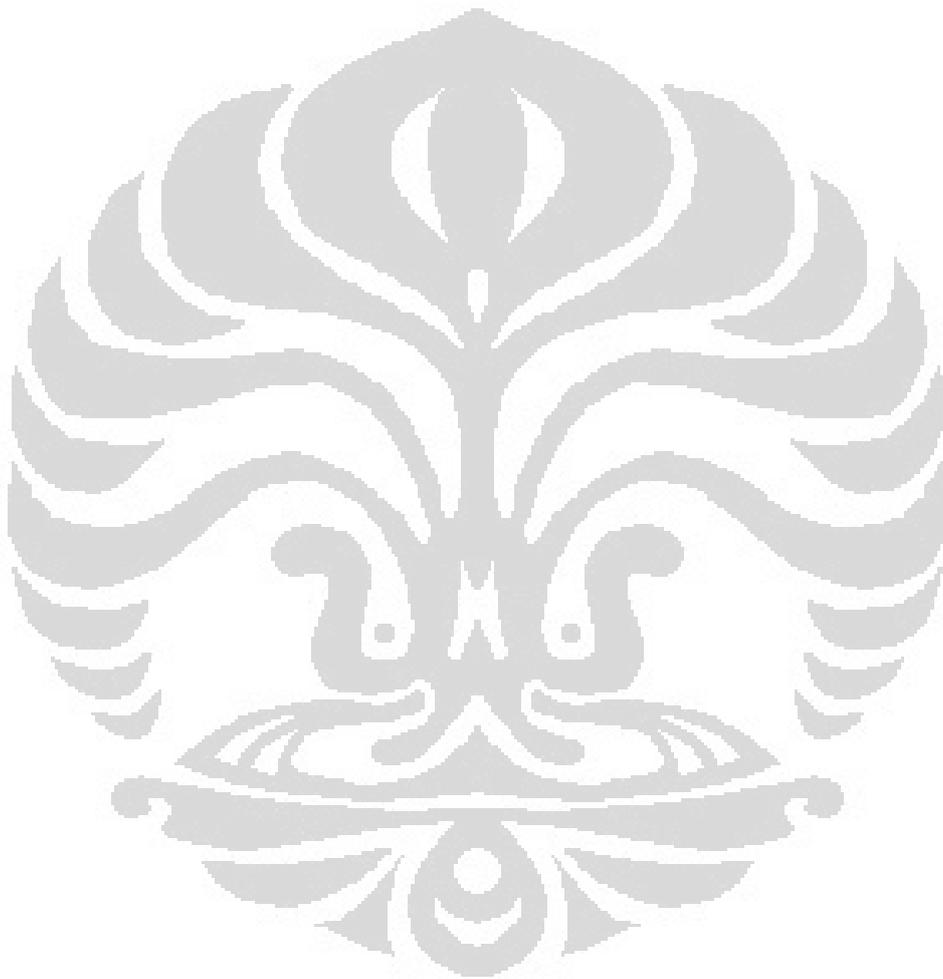
- Adisanjaya, N. N. (2011). *Potensi, Produksi Sumberdaya Ikan di Perairan Laut Indonesia dan Permasalahannya*.
- Aquaponics and Filtration*. (2012, January 8). Dipetik January 8, 2012, dari Ecofilms: <http://www.ecofilms.com.au/aquaponics-and-filtration/>
- Aquaponics USA. (t.thn.). *Grow Beds In Action*. Dipetik December 18, 2014, dari [aquaponicsusa.com](http://www.aquaponicsusa.com):
http://www.aquaponicsusa.com/Aquaponics_USA_Grow_Beds_In_Action.html
- Bernstein, S. (2011). *Aquaponic Gardening: A Step-By-Step Guide to Raising Vegetables and Fish Together*. Canada: New Society Publishers.
- Berthouex, P. M., & Brown, L. C. (2002). *Statistic for Environmental Engineers, Second Edition*. Florida, United States of America: Lewis Publishers.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. London: Kluwer Academic Publishers.
- Buzby, K. (2010, April 20). *Aquaponics Research at The Reymann Memorial Farm, Wardensville, WV*. Dipetik September 18, 2014, dari acuaculture.ext.wvu.edu:
<http://acuaculture.ext.wvu.edu/r/download/59163>
- Cahyono, B. (2000). *Budidaya Ikan Air Tawar*. Yogyakarta: Kanisius.
- Danaher, J. J., Shultz, R. C., Rakocy, J. E., & Bailey, D. S. (2013). Alternative Solids Removal for Warm Water Recirculating Raft Aquaponic Systems. *World Aquaculture Society, Vol 44, No.3*, 374-383.
- Davidson, J., & Summerfelt, S. T. (2005). Solids Removal From A Coldwater Recirculating System - Comparison of A Swirl Separator and A Radial - Flow Settler. *Aquacultural Engineering*, 47-61.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan dan Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2006, Mei). *Modul Budidaya Ikan Air Tawar. Seri Modul, No: PPA 13/22. Edisi: Mei 2006*.
- Edzwarld, J. K. (2011). *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water*. New York: McGraw-Hill.

- Eer et al, A. V. (2004). *Small-Scale Freshwater Fish Farming*. Wageningen, Netherlands: Agromisa Foundation.
- Endut et al, A. (2010). A Study on The Optimal Hydraulic Loading Rate and Plant Ratios in Recirculation Aquaponic System. *Bioresource Technology*, 1511-1517.
- Fauzi, A. (2005). *Kebijakan Perikanan dan Kelautan (Isu, Sintesis, dan Gagasan)*. Jakarta: Gramedia.
- Gary. (2009, October 21). *Mythconception #4 - Removal of Solid Wastes*. Dipetik Juni 20, 2015, dari Microponics - The Integration of Fish, Plants, and Micro-Livestock: http://www.microponics.net.au/microponics/aquaponics_aquaculture/mythconception-4-removal-of-solid-wastes/
- Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient Recycling from Fish Wastewater by Vegetable Production. *Desalination*, 147-156.
- Hambrey Consulting. (2013). *Aquaponics Research Project: The Relevance of Aquaponics to The New Zealand Aid Programme, Particularly in The Pacific*. Scotland, UK: Crancil Brae House.
- Hu, Z., & Lee, J. W. (2015). Effect of Plant Species on Nitrogen Recovery in Aquaponics. *Bioresource Technology*, 92-98.
- KKP, P. D. (2014). *Kelautan dan Perikanan Dalam Angka 2013*. Jakarta: Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Klinger-Bowen et all, R. E. (2011). *Testing Your Aquaponic System Water: A Comparison of Commercial Water Chemistry Methods*. Hawai'i: University of Hawai'i, College of Tropical Agriculture and Human Resources.
- Lekang, O.-I. (2013). *Aquaculture Engineering*. Drobakveien, Norway: John Wiley & Sons, Ltd.
- Lennard, W. A. (2004). Aquaponics Research at RMIT University, Melbourne Australia. *Aquaponics Journal*, 18-24.
- Meade, J. W. (1989). *Aquaculture Management*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Metcalf and Edy Inc. (1991). *Wastewater Engineering, Treatment/Disposal/Reuse, 3rd ed.* New York: Mc Graw Hill.

- Nelson, R. L., & Pade, J. S. (2007). Aquaponic Equipment - The Clarifier. *Aquaponics Journal*, 30-31.
- Rafiee, G., & Saad, C. R. (2005). Nutrient Cycle and Sludge Production During Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis sp*) Growth in A Recirculating Aquaculture System. *Aquaculture*, 109-118.
- Rahmawati, H., & Hartono, D. (2013). Strategi Pengembangan Usaha Budidaya Ikan Air Tawar.
- Rakocy et al, J. (2007, September 30). *Design and Operation of The UVI Aquaponic System*. Dipetik September 18, 2014, dari [www.uvi.edu](http://www.uvi.edu/files/documents/Research_and_Public_Service/WRRI/UVIAquaponicSystem.pdf):
http://www.uvi.edu/files/documents/Research_and_Public_Service/WRRI/UVIAquaponicSystem.pdf
- Rasyid, H. (2010, Februari). *Budidaya Ikan Air Tawar*. Dipetik November 16, 2014, dari [Academia.edu](http://www.academia.edu/4622583/Budidaya_Ikan_Air_Tawar):
http://www.academia.edu/4622583/Budidaya_Ikan_Air_Tawar
- Rijn, J. v. (2013). Waste Treatment in Recirculating Aquaculture Systems. *Aquaculture Engineering*, 49-56.
- Sawyer, J. T. (2010). *Aquaponics: Growing Fish and Plants Together*. Colorado Aquaponics.
- Shultz. (2012, Mei 01). *Water Quality in Aquaponic Systems*. Dipetik September 18, 2014, dari [Arizona.edu](http://ag.arizona.edu/ceac/sites/ag.arizona.edu.ceac/files/Water%20Quality%20in%20Aquaponic%20Systems%20-%20Shultz.pdf):
<http://ag.arizona.edu/ceac/sites/ag.arizona.edu.ceac/files/Water%20Quality%20in%20Aquaponic%20Systems%20-%20Shultz.pdf>
- Sutandi, L. (2010). *Manajemen Akuakultur Air Tawar*. Dipetik November 16, 2014, dari [Academia.edu](https://www.academia.edu/6273241/MANAJEMEN_AKUAKULTUR_AI_R_TAWAR):
https://www.academia.edu/6273241/MANAJEMEN_AKUAKULTUR_AI_R_TAWAR
- Taufik, I. (2010). *Laporan Hasil Penelitian: Uji Multi Lokasi Pada Budidaya Ikan Nila dengan Sistim Akuaponik*. Bogor: Badan Riset Kelautan dan Perikanan (BRKP).
- Tugtas, A. P. (2014). *Environmental Engineering Unit Operations Lecture 13 High Rate Settlers*. Istanbul: Marmara Universitesi.
- US EPA. (2013). *Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria For Ammonia - Freshwater*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.

Wezel et al, A. (2013). Management Effects on Water Quality, Sediments, and Fish Production in Extensive Fish Ponds in The Dombes Region, France. *Limnologica*, 210-218.

Yamamoto, J., & Austin, B. (2013). A Comparison of The Effectiveness of Aquaponic Gardening to Traditional Gardening Growth Method.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Amonia, Nitrat, Nitrit, dan TSS Keseluruhan

KONTROL 1 (Tanpa Akuaponik)							
Titik Sampel : Wadah Ikan							
Parameter	9 Senin	10 Selasa	13 Jumat	16 Senin	20 Jumat	21 Sabtu	23 Senin
	6	7	10	13	17	18	20
Amonia	5	8.4	18	19.4	15	9	4.6
Nitrit	5	4	9	29	55	86	140
Nitrat	6.9	5.8	4.6	3.6	31	78	82
TSS	52	-	-	156	177	240	240
Parameter	27 Jumat	2 Senin	4 Rabu	6 Jumat	9 Senin	11 Rabu	13 Jumat
	24	27	29	31	34	36	38
Amonia	2.8	1.4	1.2	1.9	2.1	1.9	1.3
Nitrit	120	78	80	100	50	10	20
Nitrat	86	66	72	74	49	38	36
TSS	148	240	236	228	224	216	244

: Pada hari ke-18 air di dalam wadah ikan sudah sangat tercemar (2 ikan mati) sehingga semua sisa ikan yang ada pada kontrol 1 harus dipindahkan, namun air di dalam wadah ikan kontrol 1 tersebut tidak langsung dibuang dan tetap diresirkulasikan dengan pompa untuk melihat siklus nitrifikasi yang terbentuk.

(Lanjutan Lampiran) 1

KONTROL 2 (Akuaponik Tanpa Clarifier)							
Titik Sampel : Wadah Ikan							
Parameter	9 Senin	10 Selasa	13 Jumat	16 Senin	20 Jumat	21 Sabtu	23 Senin
	6	7	10	13	17	18	20
Amonia	0.04	0.12	0.24	0.38	0.4	0.37	0.48
Nitrit	2	3	4	2	4	2	3
Nitrat	12	13.8	15.2	18.9	20.9	21.2	27.3
TSS	-	-	-	-	22	24	18
Parameter	27 Jumat	2 Senin	4 Rabu	6 Jumat	9 Senin	11 Rabu	13 Jumat
	24	27	29	31	34	36	38
Amonia	0.6	0.54	0.71	0.63	0.5	0.64	0.68
Nitrit	2	2	2	2	2	3	4
Nitrat	35.3	32.6	30	34.9	46	53	23.2
TSS	10	20	14	20	10	12	14
Titik Sampel : Outlet Hidroponik							
Parameter	9 Senin	10 Selasa	13 Jumat	16 Senin	20 Jumat	21 Sabtu	23 Senin
	6	7	10	13	17	18	20
Amonia	0.15	0	0.22	0.28	0.35	0.33	0.34
Nitrit	1	2	3	4	3	3	3
Nitrat	13.7	12.7	17.5	20.6	23.9	24.5	24.3
TSS	-	-	-	-	20	12	8
Parameter	27 Jumat	2 Senin	4 Rabu	6 Jumat	9 Senin	11 Rabu	13 Jumat
	24	27	29	31	34	36	38
Amonia	0.49	0.46	0.62	0.7	0.37	0.57	0.57
Nitrit	3	3	3	2	3	3	3
Nitrat	35.8	31.7	33.9	35.8	24.8	22.4	22.2
TSS	6	20	14	14	10	12	10

(Lanjutan Lampiran 1)

SISTEM 1 (Akuaponik Clarifier Connical Baffle)							
Titik Sampel : Wadah Ikan							
Parameter	9 Senin	10 Selasa	13 Jumat	16 Senin	20 Jumat	21 Sabtu	23 Senin
	6	7	10	13	17	18	20
Amonia	0.07	0.14	0.13	0.3	0.33	0.27	0.27
Nitrit	4	3	3	4	2	4	2
Nitrat	14.4	15.5	14.6	15.9	16.8	18.7	21.3
TSS					27	10	8
Parameter	27 Jumat	2 Senin	4 Rabu	6 Jumat	9 Senin	11 Rabu	13 Jumat
	24	27	29	31	34	36	38
Amonia	0.33	0.41	0.57	0.5	0.42	0.55	0.73
Nitrit	3	3	3	3	2	2	5
Nitrat	26	24.2	32.3	25.5	22.4	20.6	25.6
TSS	10	18	14	10	6	6	6
Titik Sampel : Outlet Clarifier							
Parameter	9 Senin	10 Selasa	13 Jumat	16 Senin	20 Jumat	21 Sabtu	23 Senin
	6	7	10	13	17	18	20
Amonia	0.1	0	0.2	0.23	0.32	0.32	0.35
Nitrit	2	3	2	2	4	2	2
Nitrat	11.4	13.5	12.8	17.6	21.6	19.2	20.1
TSS					6	12	14
Parameter	27 Jumat	2 Senin	4 Rabu	6 Jumat	9 Senin	11 Rabu	13 Jumat
	24	27	29	31	34	36	38
Amonia	0.39	0.41	0.52	0.55	0.41	0.51	0.64
Nitrit	3	3	3	3	2	3	5
Nitrat	26.6	22.5	28.1	22.5	21.6	21.3	28.2
TSS	12	16	14	14	14	8	12
Titik Sampel : Outlet Hidroponik							
Parameter	9 Senin	10 Selasa	13 Jumat	16 Senin	20 Jumat	21 Sabtu	23 Senin
	6	7	10	13	17	18	20
Amonia	0.13	0.1	0.12	0.27	0.28	0.29	0.26
Nitrit	2	4	3	3	3	3	2
Nitrat	12	14.5	14.3	17.6	17.3	21.7	18.9
TSS					9	12	10
Parameter	27 Jumat	2 Senin	4 Rabu	6 Jumat	9 Senin	11 Rabu	13 Jumat
	24	27	29	31	34	36	38
Amonia	0.37	0.42	0.64	0.45	0.37	0.51	0.56
Nitrit	3	3	3	4	3	2	2
Nitrat	26.9	22.6	30.7	27.5	27.1	24.5	22.7
TSS	4	14	10	10	8	10	8

(Lanjutan Lampiran 1)

SISTEM 2 (akuaponik clarifier radial flow filter)							
Titik Sampel : Wadah Ikan							
Parameter	9 Senin	10 Selasa	13 Jumat	16 Senin	20 Jumat	21 Sabtu	23 Senin
	6	7	10	13	17	18	20
Amonia	0	0.1	0.19	0.33	0.37	0.31	0.27
Nitrit	4	3	3	3	3	3	1
Nitrat	15.1	12.5	14	15.5	15.9	17.6	18.3
TSS					3	26	4
Parameter	27 Jumat	2 Senin	4 Rabu	6 Jumat	9 Senin	11 Rabu	13 Jumat
	24	27	29	31	34	36	38
Amonia	0.45	0.38	0.49	0.5	0.43	0.52	0.66
Nitrit	3	3	3	2	2	3	5
Nitrat	25.1	20.6	22.1	23.7	20.2	25.3	23.1
TSS	6	22	12	8	12	6	8
Titik Sampel : Outlet Clarifier							
Parameter	9 Senin	10 Selasa	13 Jumat	16 Senin	20 Jumat	21 Sabtu	23 Senin
	6	7	10	13	17	18	20
Amonia	0.08	0	0.11	0.31	0.23	0.36	0.29
Nitrit	3	3	2	2	2	2	2
Nitrat	12.4	13.9	14.3	15.6	15.2	16.5	18.4
TSS					16	8	6
Parameter	27 Jumat	2 Senin	4 Rabu	6 Jumat	9 Senin	11 Rabu	13 Jumat
	24	27	29	31	34	36	38
Amonia	0.42	0.41	0.54	0.56	0.34	0.44	0.44
Nitrit	3	3	2	2	3	3	4
Nitrat	26.4	22.5	27	23	19.3	23.2	22.6
TSS	14	12	10	10	6	6	4
Titik Sampel : Outlet Hidroponik							
Parameter	9 Senin	10 Selasa	13 Jumat	16 Senin	20 Jumat	21 Sabtu	23 Senin
	6	7	10	13	17	18	20
Amonia	0.1	0	0.2	0.25	0.28	0.29	0.25
Nitrit	4	3	3	3	3	2	3
Nitrat	11.7	11.9	13.7	16.5	16.4	19	17.5
TSS					6	8	6
Parameter	27 Jumat	2 Senin	4 Rabu	6 Jumat	9 Senin	11 Rabu	13 Jumat
	24	27	29	31	34	36	38
Amonia	0.35	0.38	0.52	0.51	0.39	0.46	0.54
Nitrit	2	2	2	2	2	2	3
Nitrat	24.5	24.4	23.4	23.1	22.6	26.6	21.7
TSS	6	10	8	8	6	4	2

Lampiran 2. Data pH, Suhu, dan DO Keseluruhan

KONTROL 1 (Tanpa Akuaponik)							
Titik Sampel : Wadah Ikan							
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Februari 1						
	1	2	3	4	5	6	7
DO	8.6	8.1	8.8	8.7	8.6	8.6	8.7
pH	7.11	6.95	7.17	7.5	7.55	7.65	7.68
Suhu	27	27	27	26.8	28	29	30
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Februari 2						
	8	9	10	11	12	13	14
DO	8.4	8.8	8.8	8.4	8.6	8.5	8.5
pH	7.75	7.81	7.8	7.67	7.73	7.75	7.82
Suhu	29	29	28	27	27	27	27
Hari	18 Rabu	19 Kamis	20 Jumat	21 Sabtu	22 Minggu	23 Senin	24 Selasa
Minggu ke	Februari 3						
	15	16	17	18	19	20	21
DO	8.8	8.6	8.9	8.8	9.2	8.8	8.8
pH	7.75	7.54	7.46	6.77	7	6.51	6.28
Suhu	26	26	26	26.5	26	25.7	24
Hari	25 Rabu	26 Kamis	27 Jumat	28 Sabtu	1 Minggu	2 Senin	3 Selasa
Minggu ke	Februari 4						
	22	23	24	25	26	27	28
DO	8.7	8.7	8.5	8.7	8.7	8.7	8.6
pH	6.56	6.67	7.08	7.1	7.04	7.03	6.94
Suhu	26.7	26.9	27.5	27	26.9	26.7	26
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Maret 1						
	29	30	31	32	33	34	35
DO	9	9	8.8	8.4	8.9	9.1	9.1
pH	6.85	6.77	6.82	6.71	6.65	6.58	6.77
Suhu	26	25	26	28	26	25	25
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Maret 2						
	36	37	38	39	40	41	42
DO	9	9	8.8				
pH	6.77	6.76	6.73				
Suhu	25	25	25				

(Lanjutan Lampiran 2)

KONTROL 2 (akuaponik tanpa clarifier)							
Titik Sampel : Wadah Ikan							
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Februari 1						
	1	2	3	4	5	6	7
DO	8	8	8.8	8.3	8.4	8.4	8.7
pH	7.92	7.78	7.88	7.9	7.88	7.96	7.85
Suhu	28.2	28.4	28.3	27.7	28.5	30.5	31
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Februari 2						
	8	9	10	11	12	13	14
DO	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.2	8.2
pH	7.87	7.71	7.77	7.59	7.6	7.54	7.55
Suhu	30	30	29	29	28	27	27
Hari	18 Rabu	19 Kamis	20 Jumat	21 Sabtu	22 Minggu	23 Senin	24 Selasa
Minggu ke	Februari 3						
	15	16	17	18	19	20	21
DO	8.3	8.3	8.5	8.1	8.2	8.4	8.7
pH	7.55	7.36	7.46	7.35	7.31	7.35	7.3
Suhu	27	27	26	28	27.8	26.5	26
Hari	25 Rabu	26 Kamis	27 Jumat	28 Sabtu	1 Minggu	2 Senin	3 Selasa
Minggu ke	Februari 4						
	22	23	24	25	26	27	28
DO	8.5	8.4	8.4	8.5	8.3	8.5	8.4
pH	7.33	7.23	7.22	7.25	7.21	7.18	7.22
Suhu	27.2	27.8	27.8	27	27	27.8	27
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Maret 1						
	29	30	31	32	33	34	35
DO	8.5	8.6	8.5	8.2	8.6	8.5	8.6
pH	7.25	7.34	7.37	7.35	7.29	7.29	7.56
Suhu	27	26	26	29	27	26	26
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Maret 2						
	36	37	38	39	40	41	42
DO	8.6	8.7	8.5				
pH	7.52	7.49	7.5				
Suhu	26	26	26				

(Lanjutan Lampiran 2)

KONTROL 2 (Akuaponik Tanpa Clarifier)							
Titik Sampel : Outlet Hidroponik							
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Februari 1						
	1	2	3	4	5	6	7
DO	8	7.6	8.5	8.3	8.3	8.4	8.7
pH	7.94	7.81	7.8	7.95	7.89	7.8	7.85
Suhu	28.5	28.5	28.6	27.8	28.6	31.7	31
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Februari 2						
	8	9	10	11	12	13	14
DO	8.3	8.3	8.5	8.1	8.2	8.2	8.3
pH	7.82	7.69	7.77	7.59	7.59	7.54	7.57
Suhu	30	30	29	29	28	27	27
Hari	18 Rabu	19 Kamis	20 Jumat	21 Sabtu	22 Minggu	23 Senin	24 Selasa
Minggu ke	Februari 3						
	15	16	17	18	19	20	21
DO	8.3	8.3	8.5	8.1	8.2	8.4	8.7
pH	7.54	7.34	7.47	7.33	7.32	7.33	7.3
Suhu	27	27	26	28	28.1	26.5	26
Hari	25 Rabu	26 Kamis	27 Jumat	28 Sabtu	1 Minggu	2 Senin	3 Selasa
Minggu ke	Februari 4						
	22	23	24	25	26	27	28
DO	8.5	8.3	8.4	8.5	8.3	8.5	8.5
pH	7.33	7.22	7.2	7.25	7.21	7.16	7.23
Suhu	27.4	27.8	27.8	27	27	27.7	27
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Maret 1						
	29	30	31	32	33	34	35
DO	8.5	8.6	8.5	8.1	8.6	8.5	8.6
pH	7.24	7.34	7.37	7.35	7.27	7.3	7.56
Suhu	27	26	26	29	27	26	26
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Maret 2						
	36	37	38	39	40	41	42
DO	8.6	8.7	8.5				
pH	7.52	7.49	7.5				
Suhu	26	26	26				

(Lanjutan Lampiran 2)

SISTEM 1 (akuaponik clarifier connical baffle)							
Titik Sampel : Wadah Ikan							
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Februari 1						
	1	2	3	4	5	6	7
DO	7.8	8	8.9	8.2	8.5	8.8	8.9
pH	7.82	7.73	7.77	7.75	7.71	7.74	7.53
Suhu	27.9	28.1	27.6	27.6	28	31.3	30
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Februari 2						
	8	9	10	11	12	13	14
DO	8.4	8.3	8.6	8.2	8.4	8.3	8.4
pH	7.55	7.02	7.56	7.34	7.47	7.35	7.39
Suhu	29	29	28	28	27	27	27
Hari	18 Rabu	19 Kamis	20 Jumat	21 Sabtu	22 Minggu	23 Senin	24 Selasa
Minggu ke	Februari 3						
	15	16	17	18	19	20	21
DO	8.3	8.4	8.6	8	8	8.5	8.8
pH	7.4	7.14	7.36	7.31	7.27	7.37	7.4
Suhu	27	27	26	28	28.4	26.1	24.8
Hari	25 Rabu	26 Kamis	27 Jumat	28 Sabtu	1 Minggu	2 Senin	3 Selasa
Minggu ke	Februari 4						
	22	23	24	25	26	27	28
DO	8.6	8.5	8.4	8.6	8.4	8.6	8.6
pH	7.36	7.37	7.3	7.37	7.3	7.26	7.29
Suhu	27.4	27.7	27.8	27	27	26	26.9
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Maret 1						
	29	30	31	32	33	34	35
DO	8.6	8.6	8.6	8.2	8.7	8.6	8.7
pH	7.31	7.27	7.27	7.3	7.13	7.16	7.38
Suhu	26	26	26	29	26	26	26
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Maret 2						
	36	37	38	39	40	41	42
DO	8.7	8.8	8.6				
pH	7.36	7.32	7.28				
Suhu	26	26	26				

(Lanjutan Lampiran 2)

SISTEM 1 (akuaponik clarifier connical baffle)							
Titik Sampel : Outlet Clarifier							
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Februari 1						
	1	2	3	4	5	6	7
DO	7.7	7.8	8.5	8.1	8.5	8.6	8.9
pH	7.79	7.7	7.78	7.8	7.7	7.72	7.53
Suhu	28.2	28.3	28	28	28.1	31.3	30
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Februari 2						
	8	9	10	11	12	13	14
DO	8.4	8.3	8.6	8.2	8.3	8.3	8.5
pH	7.53	7	7.56	7.31	7.47	7.33	7.36
Suhu	29	29	28	28	27	27	27
Hari	18 Rabu	19 Kamis	20 Jumat	21 Sabtu	22 Minggu	23 Senin	24 Selasa
Minggu ke	Februari 3						
	15	16	17	18	19	20	21
DO	8.3	8.4	8.6	8	8	8.5	8.8
pH	7.39	7.11	7.34	7.29	7.27	7.35	7.38
Suhu	27	27	26	28	28.5	26.1	25
Hari	25 Rabu	26 Kamis	27 Jumat	28 Sabtu	1 Minggu	2 Senin	3 Selasa
Minggu ke	Februari 4						
	22	23	24	25	26	27	28
DO	8.5	8.5	8.4	8.5	8.4	8.6	8.6
pH	7.35	7.36	7.3	7.38	7.3	7.25	7.29
Suhu	27.5	27.7	27.8	27	27	26	27
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Maret 1						
	29	30	31	32	33	34	35
DO	8.5	8.6	8.6	8.2	8.6	8.6	8.7
pH	7.31	7.26	7.26	7.27	7.13	7.17	7.41
Suhu	27	26	26	29	26	26	26
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Maret 2						
	36	37	38	39	40	41	42
DO	8.7	8.8	8.6				
pH	7.36	7.33	7.27				
Suhu	26	26	26				

(Lanjutan Lampiran 2)

SISTEM 1 (akuaponik clarifier connical baffle)							
Titik Sampel : Outlet Hidroponik							
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Februari 1						
	1	2	3	4	5	6	7
DO	7.8	7.8	8.6	8.1	8.4	8.6	8.9
pH	7.85	7.73	7.78	7.75	7.72	7.74	7.53
Suhu	28.5	28	27.8	27.8	28.1	31.3	30
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Februari 2						
	8	9	10	11	12	13	14
DO	8.4	8.3	8.5	8.2	8.3	8.3	8.5
pH	7.53	7	7.54	7.31	7.45	7.33	7.35
Suhu	29	29	28	28	27	27	27
Hari	18 Rabu	19 Kamis	20 Jumat	21 Sabtu	22 Minggu	23 Senin	24 Selasa
Minggu ke	Februari 3						
	15	16	17	18	19	20	21
DO	8.3	8.4	8.5	8.1	8	8.5	8.8
pH	7.39	7.14	7.35	7.31	7.28	7.37	7.4
Suhu	27	27	26	28	28.6	26.1	24.8
Hari	25 Rabu	26 Kamis	27 Jumat	28 Sabtu	1 Minggu	2 Senin	3 Selasa
Minggu ke	Februari 4						
	22	23	24	25	26	27	28
DO	8.5	8.5	8.4	8.5	8.4	8.6	8.6
pH	7.36	7.37	7.32	7.39	7.32	7.26	7.32
Suhu	27.4	27.7	27.8	27	27	26	27
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Maret 1						
	29	30	31	32	33	34	35
DO	8.5	8.6	8.6	8.1	8.6	8.6	8.7
pH	7.32	7.27	7.27	7.31	7.15	7.17	7.43
Suhu	27	26	26	29	26	26	26
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Maret 2						
	36	37	38	39	40	41	42
DO	8.7	8.8	8.6				
pH	7.36	7.32	7.27				
Suhu	26	26	26				

(Lanjutan Lampiran 2)

SISTEM 2 (akuaponik clarifier radial flow filter)							
Titik Sampel : Wadah Ikan							
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Februari 1						
	1	2	3	4	5	6	7
DO	7.5	7.8	8.7	8.2	8.3	8.5	8.8
pH	7.82	7.67	7.76	7.82	7.88	7.9	7.84
Suhu	28.4	28.9	28.6	27.6	28.6	29.6	30
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Februari 2						
	8	9	10	11	12	13	14
DO	8.3	8.5	8.5	8.1	8.3	8.5	8.3
pH	7.87	7.79	7.7	7.56	7.7	7.61	7.61
Suhu	30.5	29	29	28.5	27	27	27
Hari	18 Rabu	19 Kamis	20 Jumat	21 Sabtu	22 Minggu	23 Senin	24 Selasa
Minggu ke	Februari 3						
	15	16	17	18	19	20	21
DO	8.5	8.4	8.5	8.3	8.3	8.3	8.4
pH	7.64	7.24	7.64	7.49	7.38	7.42	7.42
Suhu	26	27	26	27	27.6	26.2	25
Hari	25 Rabu	26 Kamis	27 Jumat	28 Sabtu	1 Minggu	2 Senin	3 Selasa
Minggu ke	Februari 4						
	22	23	24	25	26	27	28
DO	8.5	8.5	8.3	8.5	8.4	8.6	8.6
pH	7.57	7.55	7.48	7.54	7.46	7.42	7.51
Suhu	27.4	27.8	27.8	27	27	26	26
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Maret 1						
	29	30	31	32	33	34	35
DO	8.6	8.6	8.6	8.4	8.6	8.6	8.7
pH	7.5	7.51	7.59	7.47	7.3	7.32	7.54
Suhu	26	26	26	29	26	26	26
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Maret 2						
	36	37	38	39	40	41	42
DO	8.7	8.7	8.6				
pH	7.53	7.51	7.44				
Suhu	26	26	26				

(Lanjutan Lampiran 2)

SISTEM 1 (akuaponik clarifier radial flow filter)							
Titik Sampel : Outlet Clarifier							
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Februari 1						
	1	2	3	4	5	6	7
DO	7.5	7.7	8.4	8	8.3	8.5	8.8
pH	7.74	7.57	7.66	7.82	7.88	7.9	7.83
Suhu	28.7	29.1	28.8	28.5	28.7	29.2	30
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Februari 2						
	8	9	10	11	12	13	14
DO	8.3	8.4	8.5	8.1	8.3	8.5	8.3
pH	7.87	7.83	7.72	7.53	7.69	7.58	7.6
Suhu	30.5	29	29	28.5	27	27	27
Hari	18 Rabu	19 Kamis	20 Jumat	21 Sabtu	22 Minggu	23 Senin	24 Selasa
Minggu ke	Februari 3						
	15	16	17	18	19	20	21
DO	8.5	8.4	8.5	8.2	8.2	8.3	8.4
pH	7.64	7.22	7.65	7.49	7.38	7.44	7.42
Suhu	26.5	27	26	27	27.5	26.3	25
Hari	25 Rabu	26 Kamis	27 Jumat	28 Sabtu	1 Minggu	2 Senin	3 Selasa
Minggu ke	Februari 4						
	22	23	24	25	26	27	28
DO	8.5	8.5	8.3	8.5	8.4	8.5	8.6
pH	7.57	7.55	7.47	7.54	7.46	7.42	7.51
Suhu	27.5	27.8	27.9	27	27	26	26
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Maret 1						
	29	30	31	32	33	34	35
DO	8.6	8.6	8.6	8.4	8.6	8.6	8.7
pH	7.52	7.52	7.59	7.45	7.3	7.32	7.54
Suhu	26	26	26	29	26	26	26
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Maret 2						
	36	37	38	39	40	41	42
DO	8.7	8.7	8.6				
pH	7.52	7.52	7.44				
Suhu	26	26	26				

(Lanjutan Lampiran 2)

SISTEM 1 (Akuaponik Clarifier Radial Flow Filter)							
Titik Sampel : Outlet Hidroponik							
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Februari 1						
	1	2	3	4	5	6	7
DO	7.6	7.8	8.5	7.9	8.3	8.5	8.8
pH	7.84	7.67	7.78	7.85	7.89	7.9	7.83
Suhu	28.1	29.2	28.9	28.7	28.7	29.1	30
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Februari 2						
	8	9	10	11	12	13	14
DO	8.3	8.4	8.5	8.1	8.3	8.4	8.4
pH	7.87	7.82	7.71	7.56	7.69	7.6	7.61
Suhu	30.5	29	29	28.5	27	27	27
Hari	18 Rabu	19 Kamis	20 Jumat	21 Sabtu	22 Minggu	23 Senin	24 Selasa
Minggu ke	Februari 3						
	15	16	17	18	19	20	21
DO	8.4	8.4	8.5	8.2	8.2	8.3	8.4
pH	7.63	7.27	7.65	7.49	7.41	7.41	7.42
Suhu	27	27	26	27	27.4	26.3	25
Hari	25 Rabu	26 Kamis	27 Jumat	28 Sabtu	1 Minggu	2 Senin	3 Selasa
Minggu ke	Februari 4						
	22	23	24	25	26	27	28
DO	8.5	8.5	8.3	8.5	8.5	8.6	8.6
pH	7.58	7.54	7.49	7.52	7.44	7.43	7.52
Suhu	27.5	27.8	27.9	27	27	26	26
Hari	4 Rabu	5 Kamis	6 Jumat	7 Sabtu	8 Minggu	9 Senin	10 Selasa
Minggu ke	Maret 1						
	29	30	31	32	33	34	35
DO	8.6	8.6	8.6	8.3	8.6	8.6	8.7
pH	7.5	7.51	7.58	7.43	7.3	7.34	7.54
Suhu	26	26	26	29	26	26	26
Hari	11 Rabu	12 Kamis	13 Jumat	14 Sabtu	15 Minggu	16 Senin	17 Selasa
Minggu ke	Maret 2						
	36	37	38	39	40	41	42
DO	8.7	8.7	8.6				
pH	7.52	7.52	7.45				
Suhu	26	26	26				

Lampiran 3. Tabel Perhitungan Statistik *Independent T-Test*

Parameter	Amonia (mg/L)		Nitrit (mg/L)		Nitrat (mg/L)	
	Kontrol 1	Kontrol 2	Kontrol 1	Kontrol 2	Kontrol 1	Kontrol 2
Sampel 1	5	0.0	5	2	6.9	12
Sampel 2	8.4	0.1	4	3	5.8	13.8
Sampel 3	18	0.2	9	4	4.6	15.2
Sampel 4	19.4	0.4	29	2	3.6	18.9
Sampel 5	15	0.4	55	4	31	20.9
Sampel 6	9	0.37	86	2	78	21.2
Sampel 7	4.6	0.48	140	3	82	27.3
Sampel 8	2.8	0.6	120	2	86	35.3
Sampel 9	1.4	0.54	78	2	66	32.6
Sampel 10	1.2	0.71	80	2	72	30
Sampel 11	1.9	0.63	100	2	74	34.9
Sampel 12	2.1	0.5	50	2	49	46
Sampel 13	1.9	0.64	10	3	38	53
Sampel 14	1.3	0.68	20	4	36	23.3
RATA-RATA	6.57	0.45	56.14	2.64	45.21	27.46
T-Test Kontrol 1 dan Kontrol 2						
$E(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	6.119		53.50		17.75	
Varian	41.775	0.043	2056.901	0.709	986.598	145.727
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	2.987		146.972		80.880	
s_{pool}^2	20.909		1028.805		566.162	
Spool	4.573		32.075		23.794	
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	2.987		146.972		80.880	
$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	1.728		12.123		8.993	
$t, 26, 0,025$	2.056		2.056		2.056	
$t, 26, 0,025 * s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	3.553		24.925		18.490	
Interval	9.673	2.566	78.425	28.575	36.240	-0.740
Kesimpulan: Kandungan Amonia dan Nitrit pada Sistem 1 dan Sistem 2 menghasilkan interval dimana tidak terdapat angka '0' diantaranya, yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan diantara kedua sistem tersebut, sehingga secara statistik keduanya dapat dikomparasikan. Sementara pada kandungan Nitrat interval yang dihasilkan memiliki angka '0' diantaranya dan tidak dapat dikomparasikan secara statistik karena tidak ada perbedaan yang signifikan.						

(Lanjutan Lampiran 3)

Parameter	Amonia (mg/L)			Nitrit (mg/L)			Nitrat (mg/L)		
	Kontrol 2	Sistem 1	Sistem 2	Kontrol 2	Sistem 1	Sistem 2	Kontrol 2	Sistem 1	Sistem 2
Sampel 1	0.0	0.1	0.0	2	4	4	12	14.4	15.1
Sampel 2	0.1	0.1	0.1	3	3	3	13.8	15.5	12.5
Sampel 3	0.2	0.1	0.2	4	3	3	15.2	14.6	14
Sampel 4	0.4	0.3	0.3	2	4	3	18.9	15.9	15.5
Sampel 5	0.4	0.33	0.37	4	2	3	20.9	16.8	15.9
Sampel 6	0.37	0.27	0.31	2	4	3	21.2	18.7	17.6
Sampel 7	0.48	0.27	0.27	3	2	1	27.3	21.3	18.3
Sampel 8	0.6	0.33	0.45	2	3	3	35.3	26	25.1
Sampel 9	0.54	0.41	0.38	2	3	3	32.6	24.2	20.6
Sampel 10	0.71	0.57	0.49	2	3	3	30	32.3	22.1
Sampel 11	0.63	0.5	0.5	2	3	2	34.9	25.5	23.7
Sampel 12	0.5	0.42	0.43	2	2	2	46	22.4	20.2
Sampel 13	0.64	0.55	0.52	3	2	3	53	20.6	25.3
Sampel 14	0.68	0.73	0.66	4	5	5	23.3	25.6	23.1
RATA-RATA	0.452	0.359	0.357	2.643	3.071	2.929	27.457	20.986	19.214
T-test Sistem 1 dan Sistem 2									
$E(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$		0.001			0.143			1.771	
Varian		0.035	0.031		0.841	0.841		28.481	18.118
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$		0.005			0.120			3.329	
s_{pool}^2		0.033			0.841			23.300	
Spool		0.181			0.917			4.827	
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$		0.005			0.120			3.329	
$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$		0.068			0.347			1.824	
t, 26, 0,025		2.056			2.056			2.056	
t, 26, 0,025 *		0.141			0.712			3.751	
$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$		0.141			0.712			3.751	
Interval		0.142	-0.139		0.855	-0.570		5.522	-1.980
Kesimpulan: Kandungan Amonia, Nitrit, Nitrat pada Sistem 1 dan Sistem 2 tidak memiliki perbedaan yang signifikan sehingga secara statistik tidak dapat dikomparasikan									

(Lanjutan Lampiran 3)

T-test Kontrol 2 dan Sistem 1									
$E(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	0.094			-0.429			6.471		
Varian	0.043	0.035		0.709	0.841		145.727	28.481	
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	0.006			0.111			12.443		
s_{pool}^2	0.039			0.775			87.104		
Spool	0.197			0.880			9.333		
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	0.006			0.111			12.443		
$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	0.074			0.333			3.528		
t, 26, 0,025	2.056			2.056			2.056		
t, 26, 0,025 * $s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	0.153			0.684			7.253		
Interval	0.247	-0.059		0.255	-1.113		13.724	-0.781	
Kesimpulan: Kandungan Amonia, Nitrit, Nitrat Sistem 1 dan Sistem 2 tidak memiliki perbedaan yang signifikan sehingga tidak dapat dikomparasikan									
T-test Kontrol 2 dan Sistem 2									
$E(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	0.095		0.095	-0.286		-0.286	8.243		8.243
Varian	0.043		0.031	0.709		0.841	145.727		18.118
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	0.005		0.005	0.111		0.111	11.703		11.703
s_{pool}^2	0.037		0.037	0.775		0.775	81.923		81.923
Spool	0.192		0.192	0.880		0.880	9.051		9.051
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	0.005		0.005	0.111		0.111	11.703		11.703
$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	0.073		0.073	0.333		0.333	3.421		3.421
t, 26, 0,025	2.056		2.056	2.056		2.056	2.056		2.056
t, 26, 0,025 * $s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	0.149		0.149	0.684		0.684	7.034		7.034
Interval	0.244		-0.054	0.398		-0.970	15.276		1.209
Kesimpulan: Kontrol 2 dan Sistem 2 memiliki kandungan Amonia & Nitrit yang tidak mempunyai perbedaan yang signifikan, sehingga tidak dapat dikomparasikan. Namun kandungan Nitrat pada keduanya dapat dikomparasikan secara statistik.									

(Lanjutan Lampiran 3)

Parameter	TSS (mg/L)	
	Kontrol 1	Kontrol 2
Keterangan		
Sampel 1	177	22
Sampel 2	240	24
Sampel 3	240	18
Sampel 4	148	10
Sampel 5	240	20
Sampel 6	236	14
Sampel 7	228	20
Sampel 8	224	10
Sampel 9	216	12
Sampel 10	244	14
RATA-RATA	219.3	16.4
T-Test Kontrol 1 dan Kontrol 2		
$E(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	202.9	
Varian	1017.344	25.6
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	104.294	
s_{pool}^2	521.472	
spool	22.836	
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	104.294	
$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	10.212	
t, 18, 0,025	2.101	
t, 26, 0,025 * $s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	21.456	
Interval	224.356	181.444
Kesimpulan: Kontrol 1 dan Kontrol 2 memiliki perbedaan yang signifikan sehingga dapat dikomparasikan secara statistik		

(Lanjutan Lampiran 3)

Parameter	TSS (mg/L)		
	Kontrol 2	Sistem 1	Sistem 2
Sampel 1	22	27	3
Sampel 2	24	10	26
Sampel 3	18	8	4
Sampel 4	10	10	6
Sampel 5	20	18	22
Sampel 6	14	14	12
Sampel 7	20	10	8
Sampel 8	10	6	12
Sampel 9	12	6	6
Sampel 10	14	6	8
RATA-RATA	16.40	11.50	10.70
T-test Sistem 1 dan Sistem 2			
$E(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$		0.800	
Varian		44.278	58.678
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$		10.296	
s_{pool}^2		51.478	
Spool		7.175	
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$		10.296	
$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$		3.209	
t, 18, 0,025		2.101	
t, 18, 0,025 * $s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$		6.741	
Interval		7.541	-5.941
Kesimpulan: Sistem 1 dan Sistem 2 tidak memiliki perbedaan yang signifikan, sehingga tidak dapat dikomparasikan secara statistik			

(Lanjutan Lampiran 3)

Parameter TSS (mg/L)			
T-test Kontrol 2 dan Sistem 1			
$E(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	4.90		
Varian	25.6	44.27778	
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	6.988		
s_{pool}^2	34.939		
spool	5.911		
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	6.988		
$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	2.643		
t, 18, 0,025	2.101		
t, 18, 0,025 * $s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	5.554		
Interval	10.45	-0.65	
Kesimpulan: Kontrol 2 dan Sistem 1 tidak memiliki perbedaan yang signifikan, sehingga tidak dapat dibandingkan			
T-test Kontrol 2 dan Sistem 2			
$E(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	5.70		5.70
Varian	25.60		58.678
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	8.428		8.428
s_{pool}^2	42.139		42.139
spool	6.491		6.491
$V(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$	8.428		8.428
$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	2.903		2.903
t, 18, 0,025	2.101		2.101
t, 18, 0,025 * $s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$	6.099		6.099
Interval	11.799		-0.399
Kesimpulan: Kontrol 2 dan Sistem 2 tidak memiliki perbedaan yang signifikan, sehingga tidak dapat dibandingkan			

Lampiran 4. Data Pertambahan Ketinggian Tanaman Tomat

Nomor Tanaman	Ketinggian Tanaman (cm) Kontrol 2			
	Hari Ke-			
	3	10	17	26
1	10	15	28	53
2	6	10	20	44
3	12.5	19.5	36	62
4	15	23	38.5	64
5	10	15	29	55
6	11	17	30.5	66
7	14	22.5	38	65
8	13	21.5	35	67
9	7.5	12	26	49
10	9.5	14	26	48
Rata-rata	10.85	16.95	30.7	57.3

Nomor Tanaman	Ketinggian Tanaman (cm) Sistem 1			
	Hari Ke-			
	3	10	17	26
1	11.5	21	33	56
2	9	17	28	50
3	9	15.5	25.5	48
4	10.5	18	31	56
5	12.5	21	32	59
6	9	14	24	44
7	13	21	32	56
8	8	12	20	40
9	14	19	31	56
10	12	17	28	48
Rata-rata	10.85	17.55	28.45	51.3

Nomor Tanaman	Ketinggian Tanaman (cm) Sistem 2			
	Hari Ke-			
	3	10	17	26
1	6	13	21	45
2	10	17	29	58
3	7	8	10	24
4	13	21.5	37	67
5	9	16.5	27	53
6	9.5	17	30	56
7	9	16.5	29	51
8	5.5	8	18	43
9	10.5	19	27	49
10	8.5	17	25	49
Rata-rata	8.8	15.35	25.3	49.5