

**PENGARUH KONSORSIUM BAKTERI *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp.,
DAN *Bacillus subtilis* TERHADAP KADAR AMONIA, NITRIT, NITRAT,
DAN FOSFAT AIR BIOFILTER SERTA PERTUMBUHAN
PAK CHOI (*Brassica chinensis* L.) PADA SISTEM AKUAPONIK**

TESIS

**untuk memenuhi sebagian syarat
mencapai gelar akademik Magister Sains (M.Si.)**



MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

KIC
KIC
TB 10/19
Ist
P

**SITI ISTIQOMAH
NIM. 081624153001**

**Program Studi Magister Biologi
Departemen Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga
Surabaya
Mei 2019**

UNIVERSITAS AIRLANGGA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK KIMIA
LABORATORIUM TEKNIK KIMIA
MATERI KIMIA DASAR (1)

DAFTAR

Isi
Halaman

DAFTAR ISI

1. PENDAHULUAN
2. TINJAUAN PUSTAKA
3. METODE PENELITIAN
4. HASIL DAN PEMBAHASAN
5. PENUTUP



TESIS


Pengaruh Konsorsium Bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap Kadar Amonia, Nitrit, Nitrat, dan Fosfat Air Biofilter serta Pertumbuhan *Pak Choi* (*Brassica chinensis* L.) pada Sistem Akuaponik

yang dipersiapkan dan disusun oleh:
Siti Istiqomah
NIM. 081624153001


telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 16 Mei 2019

Susunan Dewan Penguji


Pembimbing Utama


Prof. Dr. Ir. Tini Surtiningsih, DEA.
NIP. 19511012180032001


Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Y. Sri Wulan Manuhara, M.Si.
NIP. 196403031988102001

Penguji I


Dr. Junairiah, S.Si., M.Kes.
NIP. 197107142002122002

Penguji II



Prof. Hery Purnobasuki, M.Si., Ph.D.
NIP. 196705071991021001

Penguji III



Dr. Moch. Affandi, M.Si.
NIP. 196404121991021001

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Sains
Tanggal 23 Mei 2019

Mengetahui,
Ketua Departemen Biologi


Dr. Sucipto Hariyanto, DEA.
NIP. 195609021986011002

Koordinator Program Studi
Magister Biologi


Dr. Sri Puji Astuti W., M.Si.
NIP. 196602211992032001

...
...
...
...

...
...
...
...

...
...

...
...

...
...

...
...
...

...
...
...

...
...

...
...

...
...
...

...
...
...

...
...

...
...
...

...
...
...
...

...
...
...

...
...
...

...
...
...

...
...
...

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Surabaya, 20 Mei 2019

Yang Menyatakan,



Siti Istiqomah, S.Si.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kepada Allah Subhanallahu wa Ta'ala, yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah tesis dengan judul "Pengaruh Konsorsium Bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap Kadar Amonia, Nitrit, Nitrat, dan Fosfat Air Biofilter serta Pertumbuhan *Pak Choi* (*Brassica chinensis* L.) pada Sistem Akuaponik" dengan lancar. Kelancaran dalam penulisan tesis ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Y. Sri Wulan Manuhara, M.Si. selaku ketua penelitian dan dosen pembimbing II, yang senantiasa mencurahkan segenap ilmu, waktu, dan tenaga untuk memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga selama penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian, hingga penyelesaian tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. Tini Surtiningsih, DEA selaku dosen pembimbing I, yang telah senantiasa membantu, membimbing, dan memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian, serta memberi arahan dan masukan selama penyusunan proposal hingga terselesaikannya tesis ini.
3. Dr. Junairiah, S.Si., M.Kes. selaku dosen penguji III atas masukan dan berbagai kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan proposal hingga tesis ini.
4. Prof. Hery Purnobasuki, M.Si., Ph.D. selaku dosen penguji IV atas masukan, kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan proposal hingga tesis ini.
5. Dr. Moch. Affandi, M.Si. selaku dosen penguji V yang juga telah membimbing dengan memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan tesis ini.
6. Dr. Dwi Winarni, M.Si. selaku dosen wali, atas motivasi, dukungan serta pengarahannya selama proses penelitian dan studi di S2 Biologi Unair.
7. Keluarga tercinta: Abu Naim dan Siti Mukaromah yang selalu memberi motivasi, dukungan, serta atas doa yang tak pernah henti selama ini.
8. Drs. Agus Supriyanto, M.Kes. dan Prayogo, S.Pi.,MP. atas masukan dan arahannya dalam penelitian ini.
9. Rekan mikrobiologi: Selva Rosyta D., S.Si., Nurul A'ini, M.Si., Ana Mariatul K., S.Si., Nabela N. H., S.Si., M. Bachruddin, S.Si., Indra Adi W. P., S.Si., segala dukungan, kritik, saran, dan bantuannya selama proposal hingga terselesaikannya tesis ini.
10. Sahabat-sahabat terbaik: Mar'atus Sholichah, S.Si., Nadyatul Ilma I. S., M.Si., Lisa Marjayandari, S.Si., Nabilah I.Z., S.Si., dan Nadia A.T., S.Si.

yang selalu memberikan motivasi, masukan, dan bantuan serta setia menemani Penulis disegala keadaan.

11. Teman-teman: Riza Nur A., Fitri Martiani, S.Si., Tanyo A.A.W., Suhailah, M.Si., Intan P.P., M.Si., Srinatin, dan Siti Marliatussya'adah yang telah memberikan dukungan, masukan, bantuan, dan sarannya.
12. Pak Saiman selaku penanggung jawab Rumah Hidroponik yang senantiasa menemani setiap kegiatan penulis serta meluangkan tenaga, waktu dan pikiran dalam penelitian ini.
13. Seluruh teman-teman S2 Biologi angkatan 2016 yang telah memberikan dukungannya.
14. Seluruh dosen, laboran, dan karyawan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga atas segala ilmu, masukan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.
15. Serta seluruh pihak yang ikut membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini, sehingga memerlukan perbaikan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca.



Siti Istiqomah. 2019. Pengaruh Konsorsium Bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap Kadar Amonia, Nitrit, Nitrat, dan Fosfat Air Biofilter serta Pertumbuhan Tanaman *Pak Choi* (*Brassica chinensis* L.) pada Sistem Akuaponik.

Tesis ini di bawah bimbingan: Prof. Dr. Tini Surtiningsih, DEA. dan Prof. Dr. Yosephine Sri Wulan Manuhara, M.Si., Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsorsium bakteri terhadap kadar amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat air biofilter serta pertumbuhan tanaman *pak choi* pada sistem akuaponik. Akuaponik merupakan teknologi yang menggabungkan akuakultur dan hidroponik. Sistem hidroponik menggunakan *pak choi* terdiri atas tiga tahap yaitu penyemaian, penanaman ke talang hidroponik dan pemanenan. Proses penyemaian menggunakan *rockwool*. Lubang benih diberi jarak sebesar 2,5 x 2,5 cm. Benih ditanam ke talang hidroponik setelah berusia 14 hari. Jarak lubang hidroponik adalah 20 x 20 cm. *Pak choi* dipanen setelah berusia empat minggu. Sistem akuakultur menggunakan ikan nila dengan kerapatan 3,7 kg/m³. Konsorsium bakteri merupakan campuran dari tiga bakteri yaitu *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* dalam molase 1 %. Terdapat empat kelompok perlakuan, yaitu: kelompok kontrol negatif (KN) tanpa konsorsium bakteri, kelompok perlakuan yang diberi konsorsium bakteri dengan konsentrasi 2,5% (K1), 5% (K2) dan 7,5% (K3). Penelitian merupakan rancangan acak lengkap dengan pengulangan sebanyak tiga kali. Pengukuran kadar amonia menggunakan metode SNI 06-6989.30-2005, kadar nitrit dengan SNI 066989.9-2004, nitrat dengan SNI 01-3554-2006, dan fosfat dengan SNI 06-6989.31-2005. Nilai *optical density* (OD) diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis s-22. Pengukuran kadar amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat air biofilter dilakukan setiap minggu, sedangkan pertumbuhan tanaman *pak choi* diukur dan diamati pada saat panen (setelah empat minggu). Jumlah mikroba dan pH dihitung untuk memantau kondisi air biofilter. Suhu kolam ikan diukur setiap hari. Data dihitung nilai reratanya dan dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian konsorsium bakteri memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap kadar amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat air biofilter serta pertumbuhan *pak choi*. Hasil terbaik ditunjukkan pada konsentrasi konsorsium bakteri 7,5% dengan rerata kadar amonia sebesar 0,049±0,016 mg/L, nitrit sebesar 0,162±0,058 mg/L, nitrat sebesar 1,445±0,184 mg/L, fosfat sebesar 0,280±0,063 mg/L, hampir seluruh jumlah daun berwarna hijau dan tangkai pipih berdaging, tinggi tanaman sebesar 10,23±1,01 cm, jumlah daun 9,3±0,7 dan berat segar sebesar 4,692±0,526 g.

Kata kunci: akuaponik, konsorsium bakteri, *pak choi*, nitrat, fosfat



Siti Istiqomah. 2019. The effect of Bacterial Consortium *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., and *Bacillus subtilis* on Ammonia, Nitrite, Nitrate, and Phosphate Level of Biofilter Water and Plant Growth of Chinese Cabbage (*Brassica chinensis* L.) in Aquaponic System.

This Thesis is under guidance of: Prof. Dr. Tini Surtiningsih, DEA. and Prof. Dr. Yosephine Sri Wulan Manuhara, M.Si., Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRACT

The aim of this research was to determine the effect of bacterial consortium *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., and *Bacillus subtilis* on ammonia, nitrite, nitrate, and phosphate level of the biofilter water also the plant growth of chinese cabbage on aquaponic system. The hydroponic system of chinese cabbage consists of three stages including seeding, planting into hydroponic gutters and harvesting. Seedling medium used rockwool. The distance of seeds holes was 2.5 x 2.5 cm. The seeds were planted into hydroponic gutters after 14 days. The distance of hydroponics holes was 20 x 20 cm. Chinese cabbage was harvested after four weeks. The aquaculture system uses tilapia with density of 3.7 kg/ m³. The bacterial consortium was a mixture of three bacteria: *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., and *Bacillus subtilis* in 1% molasses. There were four treatment groups, namely: negative control group (KN) which was not given bacterial consortium, the treatment group which was given bacterial consortium at 2,5% (K1), 5% (K2) and 7,5% (K3) concentration. The research is a complete randomized design with three replications. Ammonia level was measured using SNI 06-6989.30-2005 method, nitrite using SNI 066989.9-2004, nitrates using SNI 01-3554-2006, and phosphates using SNI 06-6989.31-2005. Optical density (OD) was measured by Spectrofotometer UV-Vis S-22. The measurements of ammonia, nitrite, nitrate, phosphate of biofilter water were carried out once a week, while plant growth of chinese cabbage was measured and observed at harvest time (after four weeks). The amount of microbes and pH were calculated to monitor the water condition of the biofilter water. The pound temperature was calculated every day. Mean of data was calculated and analyzed descriptively. The results showed that the bacterial consortium had a significant effect on level of ammonia, nitrite, nitrate, phosphate of biofilter water and plant growth of chinese cabbage. The best result was found from bacterial consortium given at 7,5% concentration showed level of ammonia 0,049±0,016 mg/L, nitrite 0,162±0,058 mg/L, nitrate 1,445±0,184 mg/L, phosphate 0,280±0,063 mg/L, almost all the leaves are green and the flat leaves are fleshy, plant height 10,23±1,01 cm, leaves total 9,3±0,7 and fresh weight 4,692±0,526 g.

Keywords: aquaponic, bacterial consortium, chinese cabbage, nitrate, phosphate.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tinjauan tentang Sistem Akuaponik	8
2.2. Tinjauan tentang Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i> L.)	10
2.3. Kandungan Air Kolam	11
2.3.1. Amonia	11
2.3.2. Nitrit	12
2.3.3. Nitrat	12
2.3.4. Fosfat	13
2.4. Tinjauan tentang <i>Pak Choi</i> (<i>Brassica chinensis</i> L.)	13
2.5. Tinjauan tentang <i>Nitrosomonas</i> sp.	15
2.6. Tinjauan tentang <i>Nitrobacter</i> sp.	16
2.7. Tinjauan tentang <i>Bacillus subtilis</i>	17
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN	
3.1. Kerangka Konsep Penelitian	20
3.2. Hipotesis	22
3.2.1. Hipotesis kerja	22

3.2.1. Hipotesis kerja	22
3.3.2. Hipotesis penelitian	22
BAB IV METODE PENELITIAN	
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian	24
4.2. Bahan dan Alat Penelitian	24
4.2.1. Bahan penelitian	24
4.2.2. Alat penelitian	25
4.3. Rancangan Penelitian	25
4.4. Cara Kerja	26
4.4.1. Pembuatan sistem akuaponik	26
4.4.2. Peremajaan isolat mikroba	27
4.4.3. Pewarnaan Gram bakteri	27
4.4.4. Persiapan media dan inokulasi bakteri	28
4.4.5. Penentuan <i>optical density</i> dan <i>total plate count</i>	29
4.4.6. Pembuatan konsorsium bakteri	30
4.4.7. Perlakuan	30
4.4.8. Pengukuran kadar amonia	30
4.4.9. Pengukuran kadar nitrit	32
4.4.10. Pengukuran kadar nitrat	33
4.4.11. Pengukuran kadar fosfat	33
4.4.12. Pengukuran pH dan suhu	35
4.4.13. Pengukuran pertumbuhan tanaman	35
4.5. Variabel dan Definisi Operasional	35
4.5.1. Variabel	35
4.5.2. Definisi operasional variabel	36
4.6. Analisis Data	36
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	
5.1. Hasil	39
5.1.1. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri <i>Nitrosomonas</i> sp., <i>Nitrobacter</i> sp., dan <i>Bacillus subtilis</i> terhadap kadar amonia air biofilter pada sistem akuaponik	39
5.1.2. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri <i>Nitrosomonas</i> sp., <i>Nitrobacter</i> sp., dan <i>Bacillus subtilis</i> terhadap kadar nitrit air biofilter pada sistem akuaponik	42
5.1.3. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri <i>Nitrosomonas</i> sp., <i>Nitrobacter</i> sp., dan <i>Bacillus subtilis</i> terhadap kadar nitrat air biofilter pada sistem akuaponik	44
5.1.4. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri <i>Nitrosomonas</i> sp., <i>Nitrobacter</i> sp., dan <i>Bacillus subtilis</i> terhadap kadar fosfat air biofilter pada sistem akuaponik	46
5.1.5. Nilai pH air biofilter pada sistem akuaponik	48
5.1.6. Suhu air kolam pada sistem akuaponik	50
5.1.7. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri <i>Nitrosomonas</i> sp.,	

<i>pak choi</i> pada sistem akuaponik	51
5.1.8. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri <i>Nitrosomonas</i> sp., <i>Nitrobacter</i> sp., dan <i>Bacillus subtilis</i> terhadap tinggi <i>pak choi</i> pada sistem akuaponik	52
5.1.9. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri <i>Nitrosomonas</i> sp., <i>Nitrobacter</i> sp., dan <i>Bacillus subtilis</i> terhadap jumlah daun <i>pak choi</i> pada sistem akuaponik	54
5.1.10. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri <i>Nitrosomonas</i> sp., <i>Nitrobacter</i> sp., dan <i>Bacillus subtilis</i> terhadap berat segar <i>pak choi</i> pada sistem akuaponik	56
5.1.11. Jumlah mikroba air biofilter pada sistem akuaponik	58
5.1.12. Hubungan kadar nitrat dan fosfat terhadap tinggi, jumlah daun dan berat segar	58
2.5. Pembahasan	60
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan	69
6.2. Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	77

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
5.1.	Pengaruh pemberian konsorsium bakteri terhadap morfologi tanaman <i>pak choi</i> pada sistem akuaponik	51
5.2.	Jumlah mikroba air biofilter pada sistem akuaponik	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Metode <i>nutrien film technique</i> (NFT)	9
2.2. Morfologi ikan nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	10
2.3. Habitus <i>pak choi</i> (<i>Brassica chinensis</i> L.)	14
2.4. <i>Nitrosomonas europaea</i>	16
2.5. <i>Nitrobacter</i> sp.	17
2.6. <i>Bacillus subtilis</i>	18
3.1. Bagan kerangka konsep penelitian	21
4.1. Pengelompokan sistem akuaponik	25
4.2. Rangkaian sistem akuaponik pada penelitian	26
4.3. Kerangka operasional penelitian	38
5.1. Kadar amonia (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri	40
5.2. Rerata kadar amonia (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri	41
5.3. Kadar nitrit (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri	42
5.4. Rerata kadar nitrit (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri	43
5.5. Kadar nitrat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri	44
5.6. Rerata kadar nitrat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri	45
5.7. Kadar fosfat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri	46
5.8. Rerata kadar fosfat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri	47
5.9. Nilai pH air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri	48
5.10. Rerata pH air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri	49
5.11. Rerata suhuairair kolam pada sistem akuaponik selama empat minggu	50
5.12. Tanaman <i>pak choi</i> pada masing-masing kelompok perlakuan	52
5.11. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri terhadap tinggi <i>pak choi</i> pada sistem akuaponik setelah empat minggu	53
5.12. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri terhadap jumlah daun tanaman <i>pak choi</i> pada sistem akuaponik setelah empat minggu perlakuan	55

5.13.	Pengaruh pemberian konsorsium bakteri terhadap berat segar tanaman <i>pak choi</i> pada sistem akuaponik setelah empat minggu perlakuan	57
5.14.	Hubungan kadar nitrat dan fosfat terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat segar	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Halaman
1	Kadar amonia (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik	L-1
2	Kadar nitrit (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik	L-1
3	Kadar nitrat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik	L-1
4	Kadar fosfat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik	L-1
5	Nilai pH dalam air biofilter pada sistem akuaponik	L-1
6	Tinggi (cm), jumlah daun, dan berat segar (g) <i>pak choi</i> saat panen	L-2
7	Suhu air kolam pada sistem akuaponik selama empat minggu	L-2
8	Kurva baku amonia	L-3
9	Kurva baku nitrit	L-3
10	Kurva baku nitrat	L-4
11	Kurva baku fosfat	L-4
12	Analisis SPSS tinggi tanaman <i>pak choi</i>	L-5
13	Analisis SPSS jumlah daun tanaman <i>pak choi</i>	L-7
14	Analisis SPSS tinggi tanaman <i>pak choi</i>	L-10
15	Foto selama penelitian	L-12



BAB I
PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Akuaponik telah dikembangkan sejak tahun 1980 (Diver, 2006). Akuaponik merupakan teknologi yang menggabungkan akuakultur dengan hidroponik (Fang *et al.*, 2017). Akuakultur merupakan teknik membudidayakan organisme akuatik dalam kondisi terkontrol ataupun semi-kontrol (Stickney, 2016).). Ikan nila (*Oreochromis niloticus* L) merupakan ikan yang banyak dibudidayakan karena memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap stres dan penyakit, mudah didapatkan, pertumbuhannya cepat, dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi (Liang & Chien, 2013; Costa *et al.*, 2016). Laju produksi ikan nila meningkat 7-10% per tahun selama 20 tahun terakhir hingga tahun 2009 (Fitzsimmons, 2010).

Sistem hidroponik merupakan teknik menumbuhkan tanaman di dalam media yang mengandung nutrisi tanpa menggunakan tanah (AlShrouf, 2017). Tanaman yang dapat digunakan dalam sistem hidroponik salah satunya adalah *pak choi* (Hu *et al.*, 2015). *Pak choi* mengandung vitamin, mineral dan fenol dan memiliki manfaat yang besar sebagai antimikroba dan antioksidan (Domínguez-Perles *et al.*, 2013; Siddiqui *et al.*, 2014; Rahman *et al.*, 2015). Aktivitas antimikroba dari *pak choi* pada dosis 400 µg/disc menunjukkan nilai zona hambat 7-10 mm terhadap 9 jenis bakteri yaitu *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *Sarcina lutea*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, *S. paratyphi*, *S. dysenteriae*, dan *Vibrio parahaemolyticus*. Fraksi cair *Pak choi* memiliki kandungan fenol sebesar >60 mg GAE/g ekstraksi dan menunjukkan aktivitas

radikal bebas dengan nilai *inhibitory concentration* (IC_{50}) pada dosis <10 mg/mL (Rahman *et al.*, 2015).

Akuaponik mengurangi penggunaan air dengan memanfaatkan kembali buangan limbah akuakultur (Tyson *et al.*, 2011). Limbah dari akuakultur akan diolah menjadi sumber nutrisi yang bernilai tinggi untuk memupuk tanaman hidroponik sebagai pengganti larutan nutrisi. Limbah akuakultur mengandung amonia yang kaya akan unsur nitrogen (Timmons *et al.*, 2002). Nitrogen merupakan unsur makronutrien yang sangat penting bagi tanaman. Nitrogen berperan penting dalam sintesis asam amino dan protein, koenzim dan sintesis klorofil (Taiz & Zeiger, 2002). Amonia tidak dapat langsung diberikan ke tanaman, karena bersifat toksik bahkan pada konsentrasi yang rendah sekalipun. Amonia yang diserap harus dilakukan detoksifikasi dan proses ini menghabiskan banyak cadangan karbon dan energi pada tanaman. Supaya amonia dapat diserap dengan aman, maka amonia harus diubah terlebih dahulu menjadi nitrat di dalam biofilter. Nitrat selanjutnya dapat diserap dan disimpan oleh tanaman tanpa menyebabkan efek toksik (Barker & Pilbeam, 2007).

Perubahan amonia menjadi nitrat disebut sebagai nitrifikasi (Hu *et al.*, 2015). Amonia dioksidasi menjadi nitrit (NO_2^-) oleh *ammonia oxidizing bacteria* (AOB) misalnya *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio* dan *ammonia oxidizing archaea* (AOA). *Nitrosomonas* sp. merupakan bakteri gram negatif yang paling mudah beradaptasi karena dapat hidup pada tanah, limbah dan air bersih serta memiliki kisaran suhu dan pH optimum yang luas. Suhu optimum untuk pertumbuhan *Nitrosomonas* sp. adalah $20-30^{\circ}C$ dengan kisaran pH 6–9

Nitrosomonas sp. merubah amonia menjadi nitrit dalam dua tahap. Pertama, amonia diubah menjadi *hydroxylamine* dikatalisis oleh enzim *ammonia monoxydase*. Kedua, *hydroxylamine* diubah menjadi nitrit dikatalisis oleh enzim *hydroxylamine oxydoreductase*.

Nitrit bersifat toksik, sehingga dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan hingga kematian pada tanaman (Moat *et al.*, 2002), oleh karena itu nitrit harus dikonversi terlebih dahulu. Konversi nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-) melalui oksidasi oleh *nitrite oxidizing bacteria* (NOB), misalnya *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* dan *Nitrospina* (Panuvatvanich *et al.*, 2009). *Nitrobacter* sp. memiliki kelebihan dibanding bakteri lain karena memiliki kemampuan adaptasi yang baik sehingga distribusinya luas baik di air maupun di tanah, kisaran suhu dan pH optimum untuk pertumbuhannya luas. Suhu optimum adalah 25–30°C dan pH 7,5–9 (Zou *et al.*, 2016). *Nitrobacter* sp. oksidasi nitrit dikatalis oleh enzim *oxydoreductase* dengan dibantu air sebagai sumber oksigennya (Seviour & Nielsen, 2010).

Air kolam juga mengandung feses dan sisa pakan yang banyak mengandung unsur fosfor (Herath & Satoh., 2015). Komponen fosfor pada pakan komersial berasal dari trikalsium fosfat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Fosfor merupakan komponen esensial dalam tanaman sebagai simpanan dan transfer energi yaitu *adenosine diphosphate* (ADP) dan *adenosine triphosphate* (ATP), penyusun komponen struktural dari asam nukleat seperti *deoxyribonucleic acid* (DNA) serta *ribonucleic acid* (RNA), fosfolipid (komponen membran), koenzim untuk mengkatalis reaksi enzimatik dan sebagai buffer dalam memelihara pH sel (Barker & Pilbeam, 2007).

Fosfor hanya dapat diserap oleh tanaman dalam bentuk fosfat, sehingga P organik harus diubah terlebih dahulu (Herath *et al.*, 2015).

Mikroorganisme mampu meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman melalui mineralisasi P organik dan melarutkan fosfat yang terpresipitasi. Spesies bakteri yang dikenal memiliki kemampuan tersebut diantaranya adalah *Bacillus subtilis*, *B. megaterium*, *B. circulans*, *B. licheniformis*, *B. polymyxa*, *B. circulans*, *P. striata* dan *Enterobacter* (Cerozi & Fitzsimmons, 2016). *B. subtilis* sering digunakan dalam akuakultur sebagai salah satu agen probiotik yang memiliki banyak manfaat seperti penghasil antibiotik yaitu basitrasin, antitumor, imunomodulator, meningkatkan resistensi ikan nila terhadap infeksi, serta memicu pertumbuhan bakteri asam asetat di dalam saluran intestinal (Aly *et al.*, 2008). Nagorska *et al.* (2007) menjelaskan bahwa keberadaan *B. subtilis* akan mendominasi akar sehingga mencegah mikroba yang merugikan tumbuh, mengaktifasi sistem pertahanan tubuh tanaman sehingga resisten terhadap patogen dan membantu ketersediaan nutrisi bagi tanaman, seperti fosfor dan nitrogen.

Pemanfaatan *Bacillus* sp. untuk tujuan meningkatkan pertumbuhan bagi tanaman, salah satunya pada penelitian Cerozi dan Fitzsimmons (2016). Penelitian ini menggunakan produk komersial *Bacillus mixture* (*B. subtilis* dan *B. licheniformis*). Pemberian *Bacillus mixture* terbukti mampu meningkatkan kadar fosfat serta menurunkan kadar nitrit pada minggu ke empat dan menaikkan kadar nitrat pada minggu ke tiga dalam air kolam ikan sehingga meningkatkan pertumbuhan tanaman selada hingga empat kali lipat. Akan tetapi peneliti masih

meragukan apakah hasil berasal dari pemberian mikroba murni atau dari komponen lain yang ditambahkan dalam *Bacillus mixture* tersebut.

Penelitian menggunakan bakteri *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp. terhadap selada pada sistem akuaponik terbukti mampu menurunkan kadar nitrit dan meningkatkan kadar nitrat (Wahyuningsih *et al.*, 2015). Pemupukan kaya nitrogen terbukti mampu meningkatkan berat segar dari tanaman hidroponik (Wongkiew *et al.*, 2017).

Kemampuan yang sangat baik dari bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* dalam menurunkan kadar amonia, meningkatkan kadar nitrat dan fosfat serta meningkatkan pertumbuhan pada tanaman tidak dapat diragukan lagi. Penelitian yang mengkombinasikan ketiga bakteri tersebut pada sistem akuaponik sampai saat ini belum pernah ada. Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat air biofilter serta pertumbuhan *pak choi* (*Brassica chinensis* L.) pada sistem akuaponik.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* berpengaruh terhadap kadar amonia air biofilter pada sistem akuaponik?

2. Apakah pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* berpengaruh terhadap kadar nitrit air biofilter pada sistem akuaponik?
3. Apakah pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* berpengaruh terhadap kadar nitrat air biofilter pada sistem akuaponik?
4. Apakah pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* berpengaruh terhadap kadar fosfat air biofilter pada sistem akuaponik?
5. Apakah pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman *pak choi* pada sistem akuaponik?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar amonia air biofilter pada sistem akuaponik.
2. Mengetahui pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar nitrit air biofilter pada sistem akuaponik.

3. Mengetahui pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar nitrat air biofilter pada sistem akuaponik.
4. Mengetahui pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar fosfat air biofilter pada sistem akuaponik.
5. Mengetahui pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap pertumbuhan tanaman *pak choi* pada sistem akuaponik.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi ilmiah mengenai pengaruh konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat air biofilter serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman *pak choi* pada sistem akuaponik, sehingga dapat digunakan sebagai bahan kajian penelitian dan pengembangan untuk kebutuhan di bidang pendidikan, komersial serta sebagai alternatif pengganti pupuk kimia dalam pertanian menggunakan sistem akuaponik dan mengurangi dampak dari limbah akuakultur ke lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA



BAB II

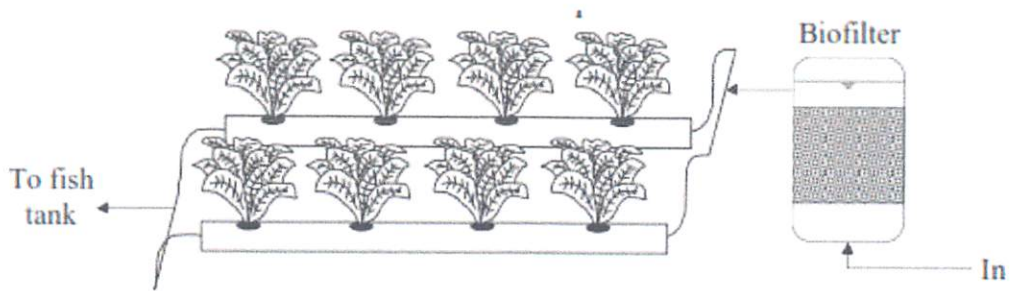
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan tentang Sistem Akuaponik

Akuaponik telah dikembangkan sejak tahun 1980 (Diver, 2006). Akuaponik merupakan teknologi yang menggabungkan akuakultur dengan hidroponik (Fang *et al.*, 2017). Akuakultur merupakan teknik membudidayakan organisme akuatik dalam kondisi terkontrol ataupun semi-kontrol (Stickney, 2016), sedangkan hidroponik merupakan teknik menumbuhkan tanaman di dalam media yang mengandung nutrisi tanpa menggunakan tanah (AlShrouf, 2017). Berdasarkan data yang dihimpun *Food and Agriculture Organization of United Nations* (FAO) (2013), bahwa akuakultur berkontribusi terhadap total produksi ikan sebesar 27,6% pada tahun 2001 dan jumlahnya terus meningkat menjadi 40,1% pada tahun 2011.

Akuaponik mengurangi penggunaan air dan buangan limbah akuakultur untuk dimanfaatkan kembali (Tyson *et al.*, 2011). Limbah dari akuakultur akan diolah menjadi sumber nutrisi yang bernilai tinggi untuk memupuk tanaman hidroponik. Tanaman menggunakan nutrisi tersebut untuk mendukung pertumbuhannya. Penyerapan nutrisi oleh tanaman menjadi biomasa dapat mengurangi kadar nutrisi dari limbah sehingga akan meningkatkan kualitas air. Akuaponik membantu petani untuk mengurangi biaya pengolahan limbah akuakultur dan biaya pemupukan nutrisi pada sistem hidroponik jika dioperasikan secara terpisah. Sistem akuaponik terdiri atas tangki ikan, tempat untuk menumbuhkan tanaman hidroponik dan biofilter (Love *et al.*, 2015).

Sistem akuaponik yang banyak digunakan ada tiga tipe, yaitu *Nutrient Film Technique* (NFT), rakit apung dan *media filled*. Metode NFT (Gambar 2.1) merupakan sistem yang sering digunakan karena menggunakan biofilter untuk tempat sedimentasi dan filtrasi (Engle, 2015).



Gambar 2.1. Metode *nutrient film technique* (NFT)
(Sumber: Wongkiew *et al.*, 2017)

Sistem akuaponik menggunakan ikan nila yang ditambahkan bakteri pada tanaman selada mampu memberikan hasil yang baik pada konsentrasi amonia, nitrat, nitrit, fosfat serta pertumbuhan tanaman terbukti dari penelitian Wahyuningsih *et al.* (2015). Pada penelitian Cherozi dan Fitzsimmons (2016) menggunakan produk komersial (Sanolife[®] PRO-W) yang mengandung bakteri *Bacillus subtilis* dan *Bacillus licheniformis* mampu menurunkan kadar amonia, meningkatkan kadar nitrat serta fosfat air kolam dan meningkatkan massa tanaman hingga empat kali lipat dari kontrol. Pemberian bakteri *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp. sangat baik dalam menurunkan kadar nitrit air kolam (Wahyuningsih *et al.*, 2015).

2.2. Tinjauan tentang Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* L.)

Ikan nila (*Oreochromis niloticus* L.) merupakan spesies asli dari Afrika yang memiliki nilai ekonomis tinggi (Costa *et al.*, 2016). Ikan nila merupakan ikan air tawar yang paling banyak dibudidayakan dalam sistem akuaponik karena memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap stres dan penyakit, mudah didapatkan serta pertumbuhannya yang cepat (Liang & Chien, 2013).

Ikan nila memiliki sisik *ctenoid* namun tidak terasa kasar, terdapat bintik hitam pada bagian sudut posterior operculum dan di sudut basal anterior sirip dorsal yang disebut sebagai *tilapia mark*, pada ikan jantan memiliki warna merah atau merah muda pada bagian kepala (Gambar 2.2) (Webster & Lim, 2006). Ikan nila dapat hidup pada kisaran suhu 11–42°C. Usia kematangan seksual ikan nila antara 5–6 bulan. Ukuran ikan nila dewasa dapat mencapai 10–30 cm (FAO, 2018).



Gambar 2.2. Ikan nila (*Oreochromis niloticus*).
(Sumber: Chen *et al.*, 2013)

Laju produksi ikan nila meningkat 7–10% per tahun selama 20 tahun terakhir hingga tahun 2009 (Fitzsimmons, 2010). Negara yang paling banyak membudidayakan ikan nila adalah Cina, Mesir, Indonesia dan Filipina (FAO, 2013).

Klasifikasi ikan nila menurut Shiino dan Sueo (1976) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Phylum	: Chordata
Class	: Teleostei
Order	: Perciformes
Family	: Cichlidae
Genus	: <i>Oreochromis</i>
Species	: <i>Oreochromis niloticus</i> L.

2.3. Kandungan Air Kolam

Kandungan dalam air akuakultur meliputi sisa pakan, produk ekskresi dari ikan seperti amonia, fosfat, urea, creatinin, creatin, feses dan residu penggunaan obat (Tovar *et al.*, 2000; Herath & Satoh, 2015). Pakan ikan komersial mengandung komponen seperti trikalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) yang dapat menjadi sumber fosfat. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kriteria mutu air untuk budidaya perairan tawar yaitu total fosfat 0,2 mg/L, nitrat 10 mg/L, nitrit 0,06 mg/L dan ammonia $\leq 0,02$ mg/L. Di bawah ini dijelaskan mengenai peran dari setiap senyawa.

2.3.1. Amonia

Amonia (NH_3) merupakan produk sampingan dari pengeluaran nitrogen saat metabolisme (deaminasi) dari protein dan asam nukleat. Sebagian besar hewan akuatik mengekskresikan buangan bernitrogen sebagai amonia. Molekul amonia sangat larut dalam air dan dengan mudah dilewatkan melalui membran.

Pada invertebrata, amonia berdifusi dari permukaan tubuh ke air di sekelilingnya. Pada ikan, sebagian besar amonia hilang sebagai ion amonium (NH_4^+) melewati epitelium insang. Ginjal ikan mengekskresikan limbah bernitrogen dalam jumlah yang kecil (Cambell *et al.*, 2004).

2.3.2. Nitrit

Nitrit (NO_2^-) merupakan senyawa anorganik yang berasal dari perubahan amonia oleh bakteri *Nitrosomonas* (Moat *et al.*, 2002). Nitrit bersifat toksik, sehingga dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan hingga kematian pada tanaman. Pada ikan air tawar, nitrit pada kadar 0,10 mg/L akan mengikat hemoglobin sehingga eritrosit tidak mampu lagi mengangkut oksigen yang sering disebut methemoglobinemia atau *brown blood disease* (Stamper & Semmen, 2012; Delong & Losordo, 2012).

2.3.3. Nitrat

Nitrat merupakan senyawa anorganik dengan rumus senyawa NO_3^- . Nitrat merupakan bentuk anion yang menyediakan unsur nitrogen yang dibutuhkan oleh tanaman (Moat *et al.*, 2002). Senyawa nitrat dihasilkan dari proses nitrifikasi amonia oleh mikroorganisme dalam dua tahap (Wahyuningsih *et al.*, 2015). Tahapan pertama yaitu perubahan amonia menjadi nitrit oleh bantuan *ammonia oxidizing bacteria* (AOB) dan *ammonia oxidizing algae* (AOA) (Ouyang *et al.*, 2016). Tahapan ke dua yaitu perubahan nitrit menjadi nitrat oleh *nitrite oxidizing bacteria* (NOB) seperti *Nitrobacter* spp. dan *Nitrospira* spp. (Hu *et al.*, 2015).

Di dalam air tawar, nitrat dapat mencapai kadar tinggi dan menyebabkan kematian pada ikan. Pada kadar 30 ppm nitrat dapat menghambat pertumbuhan, melemahkan sistem imun dan menyebabkan stres (Romano & Zeng, 2007).

2.3.4. Fosfat

Fosfat adalah bentuk yang menyediakan unsur fosfor (P). Fosfat dapat diserap oleh tanaman dalam bentuk H_2PO_4^- (pH media dibawah 7) atau HPO_4^{2-} (pH media diatas 7). Fosfor merupakan komponen esensial dalam tanaman sebagai simpanan dan transfer energi yaitu *adenosine diphosphate* (ADP) dan *adenosine triphosphate* (ATP), penyusun komponen struktural dari asam nukleat seperti *deoxyribonucleic acid* (DNA) serta *ribonucleic acid* (RNA), fosfolipid (komponen membran), koenzim untuk mengkatalis reaksi enzimatik dan sebagai buffer dalam memelihara pH sel. Perubahan ADP menjadi ATP untuk menghasilkan energi disebut dengan fosforilasi (Barker & Pilbeam, 2007).

2.4. Tinjauan tentang *Pak choi* (*Brassica chinensis* L.)

Pak choi merupakan spesies dari family Brassicaceae dan merupakan tanaman asli dari China yang berdistribusi secara luas di beberapa wilayah Eropa, Amerika dan Asia (Green, 2004). Nama lokal dari *pak choi* antara lain yaitu sawi daging (Indonesia), *chinakohl* (Jerman), *chinese cabbage* (Inggris), *cavolo sedano* (Italia), *chou de chaine* (Perancis), *repollo chino* (Spanyol), *puhit* (Malaysia) dan *couve-chinesa* (Portugis) (GBIF, 2017).

Pak choi batang hijau memiliki tangkai berwarna hijau (Gambar 2.3), melebar dibagian pangkal dan pipih. Daun membulat, berwarna hijau terang dan

lebih halus dari *pak choy* batang putih. *Pak choy* biasanya dipanen ketika berumur 30–40 hari hingga tingginya 15 cm. Tinggi tanaman ini dapat mencapai 30 cm (Larkcom, 1991).



Gambar 2.3. *Pak choy* (*Brassica chinensis* L.). Keterangan: a=helaian daun, b=tangkai daun. Garis skala: 10 cm. (Sumber: Liang *et al.*, 2016)

Sistem Klasifikasi *pak choy* menurut Conquist (1981), meliputi:

Kingdom	: Plantae
Division	: Magnoliophyta
Class	: Magnoliopsida
Order	: Capparales
Family	: Brassicaceae
Genus	: <i>Brassica</i> L.
Species	: <i>Brassica chinensis</i> L.

Pak choy biasanya diolah untuk konsumsi seperti sup dan tumis (Green, 2004). *Pak choy* mengandung vitamin, mineral dan fenol (Domínguez *et al.*, 2013; Siddiqui *et al.*, 2014). *Pak choy* memiliki manfaat yang besar seperti antimikroba dan antioksidan. Aktivitas antimikroba dari *pak choy* pada dosis 400 µg/disc menunjukkan nilai zona hambat 7-10 mm terhadap 9 jenis bakteri yaitu

Bacillus cereus, *B. subtilis*, *Sarcina lutea*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, *S. paratyphi*, *S. dysenteriae*, dan *Vibrio parahaemolyticus*. Fraksi cair *Pak choi* memiliki kandungan fenol sebesar >60 mg GAE/g ekstraksi dan menunjukkan aktivitas antioksidan dalam melawan radikal bebas dengan nilai *inhibitory concentration* (IC₅₀) pada dosis <10 mg/mL (Rahman *et al.*, 2015).

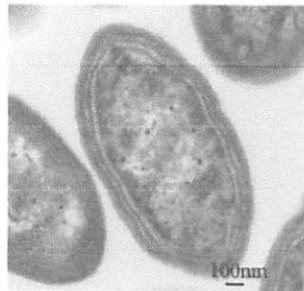
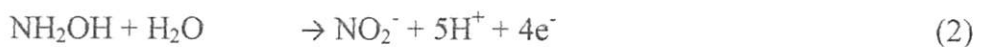
2.5. Tinjauan tentang *Nitrosomonas* sp.

Nitrosomonas sp. merupakan bakteri gram negatif yang dapat hidup pada tanah, limbah dan air bersih. Suhu optimum untuk pertumbuhannya adalah 20–30°C dengan kisaran pH 6–9. Kebanyakan *Nitrosomonas* bersifat motil dengan flagela terletak pada *polar region* (JGI, 2018). *Nitrosomonas* sp. memiliki morfologi sel dengan bentuk oval (Gambar 2.4), biasanya tunggal namun terkadang mengelompok 2–4 sel. Panjang sel berkisar antara 1,2–1,7 µm dan lebar 1,0–1,2 µm (Leahy & Colwell, 1990).

Sistem klasifikasi *Nitrosomonas* sp. menurut Garrity *et al.* (2004) adalah:

Kingdom	: Bacteria
Phylum	: Proteobacteria
Class	: Betaproteobacteria
Order	: Nitrosomonadales
Family	: Nitrosomonadaceae
Genus	: <i>Nitrosomonas</i>
Species	: <i>Nitrosomonas</i> sp.

Nitrosomonas sp. merupakan bakteri nitrifikasi yang menggunakan amonia (NH₃) sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya. Amonia kemudian diubah menjadi nitrit (NO₂⁻). Reaksi perubahan amonia menjadi nitrit berlangsung dalam dua tahap. Pertama amonia diubah menjadi *hidroxylamine* dikatalisis dengan enzim *ammonia monooxydase*. Kedua *hidroxylamine* diubah menjadi nitrit dikatalisis dengan *hidroxylamine oxydoreductase* (Moat *et al.*, 2002). Reaksi perubahannya adalah sebagai berikut:

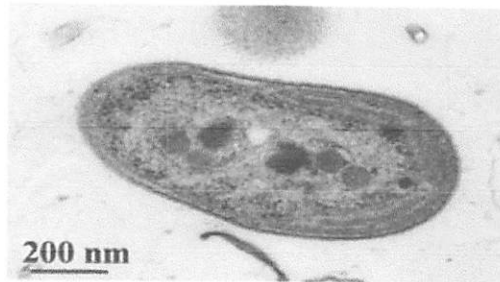
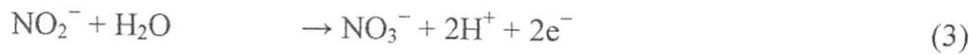


Gambar 2.4. *Nitrosomonas europaea*.
(Sumber: Fang *et al.*, 2010)

2.6. Tinjauan tentang *Nitrobacter* sp.

Nitrobacter sp. merupakan bakteri yang tidak motil, gram negatif berbentuk oval (Gambar 2.5) dan berukuran 0,5–0,9 x 1,0–2,0 μm. *Nitrobacter* sp. berdistribusi luas di air dan tanah. Suhu optimum untuk pertumbuhannya adalah 25–30°C, sedangkan pH optimumnya adalah 7,5–9 (Zou *et al.*, 2016). *Nitrobacter* mampu mengubah nitrit menjadi nitrat (Spleck & Bock, 2004). Oksidasi nitrit dikatalis oleh enzim *oxydoreductase* dengan dibantu air sebagai

sumber oksigennya. Reaksi perubahan nitrit menjadi nitrat menurut Seviour dan Nielsen (2010) adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5. *Nitrobacter* sp.
(Sumber: Jiwanjaya, 2016)

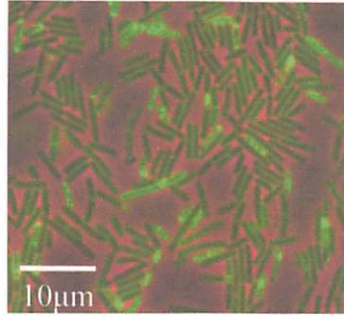
Sistem klasifikasi *Nitrobacter* sp. menurut Garrity *et al.* (2004) adalah:

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Proteobacteria
Class	: Alphaproteobacteria
Ordo	: Rhizobiales
Family	: Bradyrhizobiaceae
Genus	: <i>Nitrobacter</i>
Species	: <i>Nitrobacter</i> sp.

2.7. Tinjauan tentang *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis merupakan mikroorganisme berbentuk batang (Gambar 2.6), gram positif, membentuk endospora, terdapat pada tanah maupun air dan mampu bertahan hidup pada kisaran pH 5–9, memiliki ukuran 0,4-1,6 x 1-14 μm

(Earl *et al.*, 2008; Polka & Silver, 2015). *Bacillus subtilis* dikenal sebagai salah satu bakteri pelarut fosfat. *Bacillus subtilis* melakukan mineralisasi terhadap P organik dan melarutkan fosfat anorganik yang terdapat pada tanah menjadi unsur hara yang dapat diserap oleh tanaman (Cerozi & Fitzsimmons, 2017).



Gambar 2.6. *Bacillus subtilis* pada pewarnaan *fluorescent* (Sumber: Polka & Silver, 2015)

Klasifikasi *Bacillus subtilis* menurut Garrity *et al.* (2004) adalah:

Kingdom	: Bacteria
Phylum	: Firmicutes
Class	: Bacilli
Order	: Bacilliales
Family	: Bacilliaceae
Genus	: <i>Bacillus</i>
Species	: <i>Bacillus subtilis</i>

Bacillus subtilis sering digunakan dalam akuakultur sebagai salah satu agen probiotik yang memiliki banyak manfaat, seperti penghasil antibiotik (basitrasin), antitumor, imunomodulator, meningkatkan resistensi ikan nila terhadap infeksi, serta memicu pertumbuhan bakteri asam asetat di dalam saluran intestinal (Aly *et al.*, 2008). Basitrasin bersifat bakteriostatik, yaitu kemampuan

menghambat perkembangbiakan bakteri dan bersifat bakterisidal yaitu kemampuan untuk membunuh bakteri.

Bacillus subtilis dapat menghasilkan enzim seperti protease, amilase dan fosfatase (Moat *et al.*, 2002). Nagorska *et al.* (2007) menjelaskan bahwa keberadaan *B. subtilis* akan mendominasi akar sehingga mencegah mikroba yang merugikan tumbuh, mengaktifasi sistem pertahanan tubuh tanaman sehingga resisten terhadap patogen dan membantu ketersediaan nutrisi bagi tanaman, seperti fosfor dan nitrogen. Sumber nitrogen utama *B. subtilis* adalah glutamin, akan tetapi jika glutamin tidak ada dapat digantikan dengan amonia (Detsch & Stulke, 2003). Pada kondisi kadar amonia eksternal tinggi, *Bacillus* menyerap amonia secara difusi dan dimetabolisme menjadi glutamat (Gunka & Commichau, 2012).

BAB III
KERANGKA KONSEP PENELITIAN



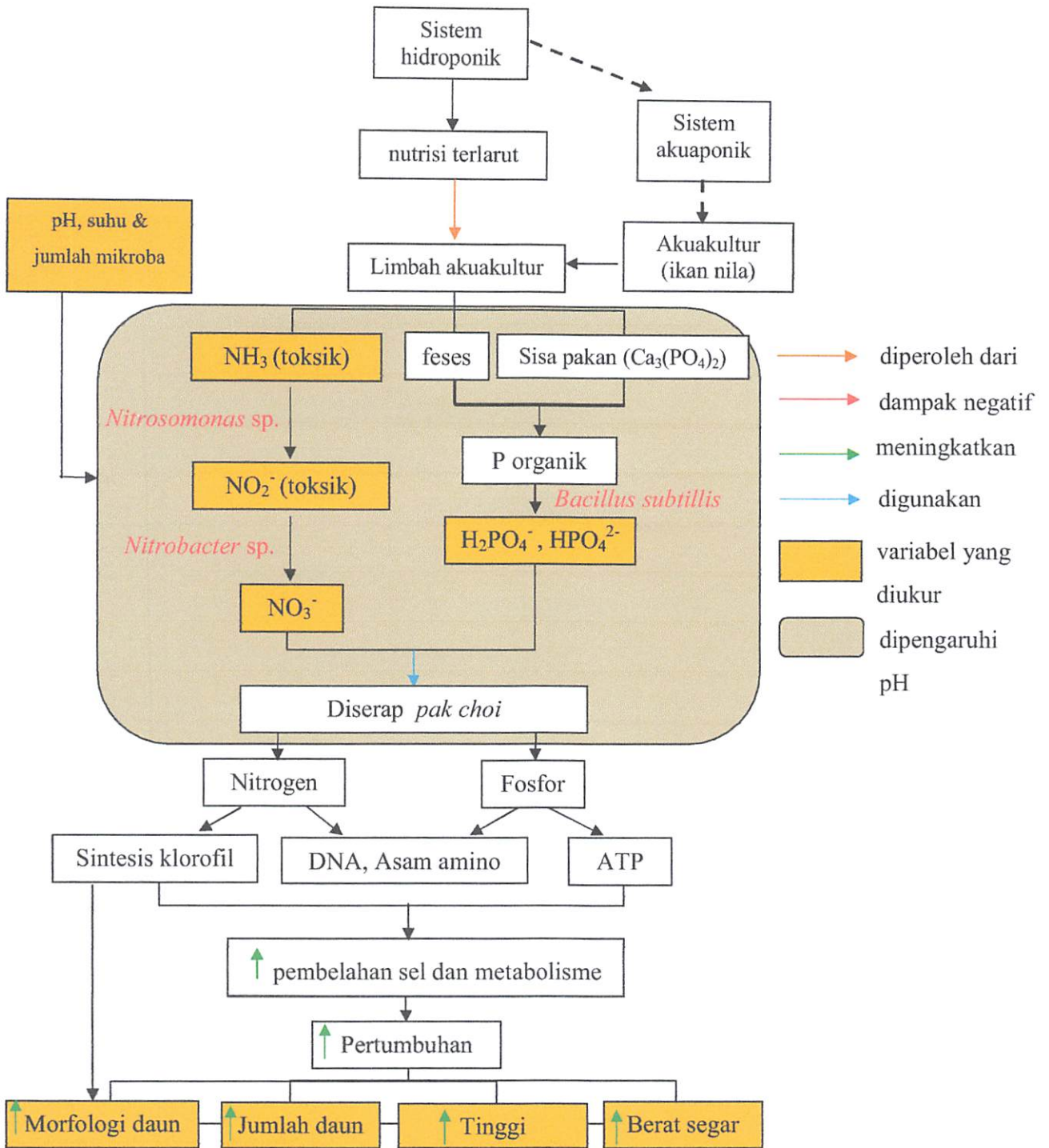
BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1. Kerangka Konsep Penelitian

Sistem hidroponik membutuhkan nutrisi terlarut untuk keberhasilan panen tanaman. Akuaponik mengurangi penggunaan air dan buangan limbah akuakultur untuk dimanfaatkan kembali. Limbah dari akuakultur ikan nila akan diolah menjadi sumber nutrisi yang bernilai tinggi untuk memupuk *pak choi*. Limbah akuakultur mengandung amonia yang merupakan sumber nitrogen. Amonia tidak dapat langsung diberikan ke tanaman karena sifatnya yang toksik. Agar amonia dapat diserap dengan aman, maka amonia harus diubah terlebih dahulu di dalam biofilter kebentuk nitrat. Amonia dioksidasi menjadi nitrit (NO_2^-) oleh *Nitrosomonas* sp. kemudian nitrit (NO_2^-) dioksidasi menjadi nitrat (NO_3^-) oleh *Nitrobacter* sp.

Feses dan sisa pakan dalam air kolam banyak mengandung unsur fosfor. Komponen fosfor pada pakan komersial berasal dari trikalsium fosfat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Fosfor hanya dapat diserap oleh tanaman dalam bentuk fosfat. P organik harus diubah terlebih dahulu oleh *Bacillus subtilis* menjadi fosfat. Nitrat dan fosfat kemudian diserap oleh akar tanaman untuk memenuhi kebutuhan nitrogen dan fosfor untuk menyusun DNA, protein serta asam amino, selain itu fosfor merupakan unsur yang penting dalam pembentukan ATP, yang menyediakan energi untuk metabolisme. Ketika nutrisi esensial tersedia dan kebutuhan tanaman terpenuhi dengan baik maka proses pembelahan sel akan berlangsung lebih cepat sehingga meningkatkan pertumbuhan tanaman yang dapat diamati dari morfologi daun, jumlah daun, tinggi tanaman dan berat segar tanaman *pak choi*.



Gambar 3.1. Bagan kerangka konsep penelitian

3.2. Hipotesis

3.2.1 Hipotesis Kerja

Jika konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* diberikan pada konsentrasi yang berbeda, maka akan memberikan pengaruh positif terhadap kadar amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat air biofilter serta pertumbuhan *pak choi* (*Brassica chinensis* L.) pada sistem akuaponik.

3.2.1 Hipotesis Statistik

1. H₀: Tidak ada pengaruh konsentrasi konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar amonia air biofilter pada sistem akuaponik
 H₁: Ada pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar amonia air biofilter pada sistem akuaponik
2. H₀: Tidak ada pengaruh konsentrasi konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar nitrit air biofilter pada sistem akuaponik
 H₁: Ada pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar nitrit air biofilter pada sistem akuaponik
3. H₀: Tidak ada pengaruh konsentrasi konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar nitrat air biofilter pada sistem akuaponik

- H₁: Ada pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar nitrat air biofilter pada sistem akuaponik
4. H₀: Tidak ada pengaruh konsentrasi konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar fosfat air biofilter pada sistem akuaponik
- H₁: Ada pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar fosfat air biofilter pada sistem akuaponik
5. H₀: Tidak ada pengaruh konsentrasi konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap pertumbuhan tanaman *pak choi* (*Brassica chinensis* L.) pada sistem akuaponik
- H₁: Ada pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap pertumbuhan tanaman *pak choi* (*Brassica chinensis* L.) pada sistem akuaponik

BAB IV

METODE PENELITIAN



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 8 bulan yaitu mulai bulan Juni 2018 hingga Januari 2019 di Laboratorium Mikrobiologi dan Laboratorium Genetika Molekuler Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga serta Rumah Hidroponik di Keputih, Surabaya.

4.2. Bahan dan Alat Penelitian

4.2.1. Bahan penelitian

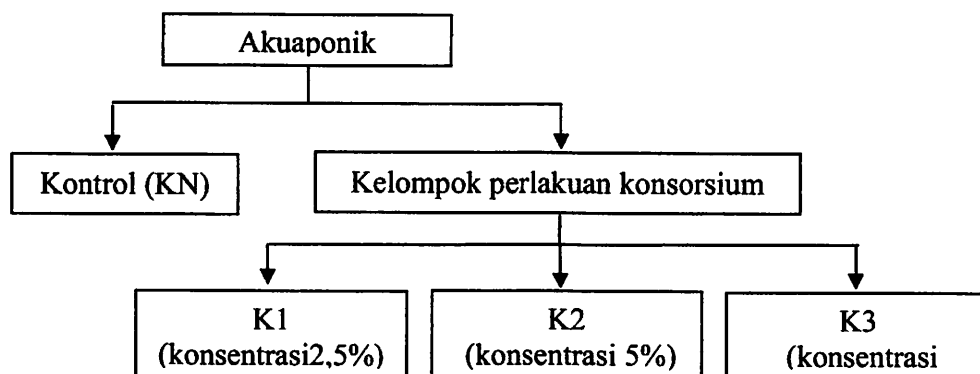
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ikan nila, benih *pak choi*, air PDAM, pakan ikan komersial, *rock wool*, kultur murni *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp. dan *B. subtilis*, air fisiologis, kertas saring, larutan kristal violet, larutan lugol, larutan alkohol 96% , larutan safranin (Lampiran 15), media pertumbuhan mikroba meliputi *nutrient Broth* (NB) dan *nutrient agar* (NA), alkohol 70%, spirtus, molase, akuades, akuabides, *tissue*, *aluminim foil*, *cling wrap*, kapas, larutan baku amonia, fenol (C_6H_5OH), natrium nitroprusida ($C_5FeN_6Na_2O$) 0,5%, larutan pengoksidasi, larutan baku nitrit, larutan sulfanilamida ($H_2NC_6H_4SO_2NH_2$), *naphthyl ethylene diamine dihydrochloride* (NED dihidroklorida), larutan baku nitrat, HCl, larutan baku fosfat, indikator fenolftalin, asam sulfat (H_2SO_4), larutan antimonil tartrat, ammonium molibdat dan asam askorbat.

4.2.2. Alat penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *microipipet*, pembuat lubang untuk benih, *object glass*, vortex, jarum ose, spektrofotometer UV-Vis S-22, cawan petri, bunsen, timbangan analitik, gergaji (Lampiran 15), terpal, pipa paralon, talang hidroponik, aerator, batu aerator, selang, pompa, Erlenmeyer (Pyrex), autoklaf, *laminar air flow* (LAF), pH meter, gelas beaker, oven, pengaduk, pipet volume, *waterbath*, *colony counter*, *hand sprayer*, alat tulis, tabung reaksi, *cuvet*, gelas ukur, *shaker*, penggaris, botol bening, botol gelap, *cutter*, jirigen, mikroskop, botol pencuci, dan korek api

4.3. Rancangan Penelitian

Penelitian merupakan penelitian eksperimental terdiri atas kontrol (KN) dan kelompok yang diberikan konsorsium, yaitu konsentrasi 2,5% (K1), 5% (K2) dan 7,5% (K3). Setiap talang hidroponik memuat sebanyak 8 ulangan tanaman *pak choi*. Pengelompokan perlakuan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1

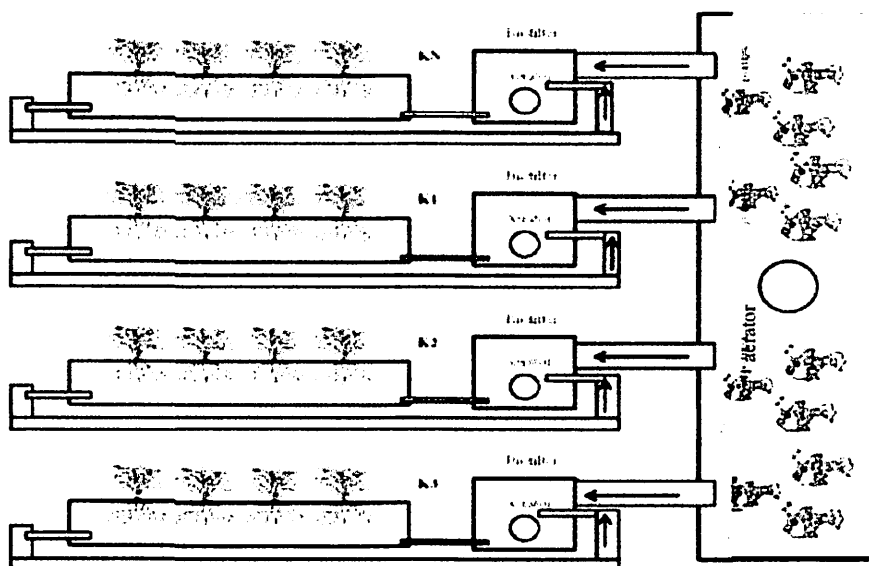


Gambar 4.1. Pengelompokan perlakuan penelitian

4.4. Cara Kerja

4.4.1. Pembuatan sistem akuaponik

Sistem akuakultur dibuat dari rangkaian yang berbentuk kotak dengan alas berupa terpal sebagai kolam ikan dan diisi menggunakan air hingga volume 1000 L, sedangkan biofilter menggunakan *plastic tank* berukuran 20 L. Kolam ikan ditambahkan aerator untuk menyediakan oksigen bagi ikan dan membuat aliran nutrisi tercampur rata sehingga input untuk pada setiap biofilter dipastikan sama. Pompa digunakan untuk memompa air kolam menuju biofilter. Mengacu pada penelitian Liang & Chien (2013), ikan nila dengan dimasukkan ke dalam kolam dengan kerapatan kultur sebesar $3,7 \text{ kg/m}^3$ (37 ekor dengan berat masing-masing $\pm 100 \text{ g}$). Ikan nila yang digunakan berjenis kelamin jantan dan betina. Ikan diberi makan menggunakan pakan komersial sebanyak 3% dari berat ikan setiap harinya dengan frekuensi pemberian pakan adalah dua kali sehari. Rangkaian sistem akuaponik pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Rangkaian sistem akuaponik pada penelitian

Sistem hidroponik menggunakan *pak choi*. Tahap penanaman meliputi penyemaian, tanam dan panen. Tempat penyemaian menggunakan nampan plastik dengan tinggi *rockwool* 4 cm. Pada setiap lubang ditanam satu benih dan diberi jarak 2,5 x 2,5 cm. Penyiraman dilakukan sekali sehari dan benih dapat dipanen setelah 14 hari (Hu *et al.*, 2015). Selanjutnya benih ditanam dengan jarak 20 x 20 cm dalam *rockwool* (Soetan *et al.*, 2010). Setiap lubang pipa diisi satu benih. Sistem hidroponik tanaman dihubungkan pada tangki biofilter sebagai penyedia nutrisi. *Pak choi* dipanen setelah berumur 4 minggu (Liang & Chien., 2013).

4.4.2. Peremajaan isolat mikroba.

Media yang diperlukan adalah NA dengan konsentrasi 28 g/L. Sebanyak 14 g NA dilarutkan dalam 500 mL akuades dengan cara dipanaskan dan diaduk dengan stirer. Selanjutnya media dituangkan ke dalam tabung reaksi steril masing-masing 6 mL dan ditutup kapas serta *aluminium foil*, kemudian disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C dengan tekanan 121 atm selama 15 menit. Media agar kemudian dimiringkan namun tidak begitu landai agar tidak menyentuh kapas. *Nitrosomonas sp.*, *Nitrobacter sp.* dan *B. subtilis* diremajakan pada agar miring dengan cara menginokulasi satu ose biakan ke media dengan metode streak. Biakan mikroba selanjutnya diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang.

4.4.3 Pewarnaan Gram bakteri

Pewarnaan Gram bertujuan untuk memverifikasi bahwa bakteri yang digunakan dalam penelitian merupakan bakteri *Nitrosomonas sp.*, *Nitrobacter sp.*, dan *Bacillus subtilis*. Pewarnaan Gram menggunakan metode dari Cappucinno dan Sherman (2014). Langkah pewarnaan Gram sebagai berikut:

1. Kultur bakteri di-smear diatas object glass dan selanjutnya dilewatkan diatas api bunsen untuk fiksasi.
2. Smear bakteri ditetesi kristal violet dan dibiarkan selama satu-dua menit.
3. Smear dicuci menggunakan akuades yang dialirkan dan kemudian dikering-anginkan
4. Smear ditetesi dengan lugol dan dibiarkan selama satu-dua menit
5. Smear bakteri dicuci menggunakan akuades yang dialirkan dan kemudian dikering-anginkan
6. Smear ditetesi dengan alkohol 96% dan dibiarkan selama 30 detik
7. Smear bakteri dicuci menggunakan akuades yang dialirkan dan kemudian dikering-anginkan
8. Smear ditetesi dengan larutan safranin dan dibiarkan selama satu menit
9. Smear bakteri dicuci menggunakan akuades yang dialirkan dan kemudian dikering-anginkan
10. Pengamatan hasil pewarnaan menggunakan mikroskop pada perbesaran 1000x. Warna ungu menunjukkan bahwa bakteri merupakan Gram positif, sedangkan warna merah menunjukkan bakteri merupakan Gram negatif. Hasil pewarnaan Gram dapat dilihat pada Lampiran 15.

4.4.4. Persiapan media dan inokulasi bakteri

Media yang diperlukan adalah NB dengan konsentrasi 13 g/L. Sebanyak 7,8 g NB dilarutkan dalam 600 mL akuades dengan cara dipanaskan dan diaduk dengan stirer. Selanjutnya media dituangkan ke dalam botol kultur steril masing-masing 200 mL dan ditutup kapas serta aluminium foil, kemudian disterilisasi

dalam autoklaf pada suhu 121°C dengan tekan 121 atm selama 15 menit. Biakan *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp. dan *B. subtilis* dari agar miring diinokulasi ke botol kultur sebanyak satu ose biakan tiap mikroba, dan selanjutnya diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang (Lampiran 15).

4.4.5. Pengukuran *optical density* (OD) dan *total plate count* (TPC)

Perhitungan secara TPC dilakukan pada pembuatan konsorsium bakteri dan pemantauan jumlah mikroba dalam air biofilter setelah empat minggu perlakuan. Pada pembuatan konsorsium bakteri, pengukuran OD dilakukan pada panjang gelombang 600 nm. Bahan yang dipersiapkan yaitu larutan blanko berisi 3 mL. Biakan mikroba sebanyak 3 mL dari botol kultur dimasukkan ke *cuvet* dan selanjutnya dapat dilakukan pengukuran OD menggunakan spektrofotometer.

Biakan mikroba dihitung secara kuantitatif dengan TPC untuk mengetahui jumlah bakteri memenuhi standar, yaitu sebanyak 30-300 koloni. Sebanyak 1 mL inokulum mikroba dimasukkan ke tabung reaksi berisi 9 mL air fisiologis (pengenceran 10^{-1}) dan dihomogenkan. Sebanyak 1 mL hasil pengenceran dari tabung 10^{-1} , dimasukkan ke tabung reaksi pengenceran ke 10^{-2} dan seterusnya sampai 10^{-8} . Biakan dari tabung pengenceran 10^{-6} , 10^{-7} dan 10^{-8} diambil 1 mL dan tuang ke media yang mengandung 15 mL NA dengan metode *pour plate*. Cawan petri dibungkus *cling wrap* dan diinkubasi selama 24 jam.

Perhitungan jumlah koloni bakteri menggunakan *colony counter*. Jumlah sel mikroba (CFU/mL) dihitung menggunakan rumus jumlah koloni dikalikan satu per faktor pengenceran. Metode TPC untuk pemantauan jumlah mikroba air biofilter setelah empat minggu perlakuan, dilakukan dengan cara yang sama.

Perbedaannya adalah yang digunakan bukan 1 mL inokulum mikroba melainkan 1 mL air biofilter.

4.4.6. Pembuatan konsorsium bakteri

Biakan sebanyak 200 mL dalam masing-masing botol kultur yang berisi *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp. dan *B. subtilis* ditambahkan media berupa 200 mL molase 1% (perbandingan 1:1) (Lampiran 15). Konsorsium selanjutnya di *shaker* agar kultur bakteri homogen. Biakan bakteri selanjutnya diinkubasi selama dua hari. Tiga botol kultur kemudian dicampurkan menjadi satu dalam wadah jirigen (total volume kultur 1200 mL) dan ditambahkan media molase 1% sebanyak 10800 mL (perbandingan 1:9). Konsorsium bakteri selanjutnya dihomogenkan (Lampiran15). Untuk membuat molase 1% yaitu dengan melarutkan 120 mL molase ke dalam 11880 mL air.

4.4.7. Perlakuan

Konsorsium bakteri ditambahkan pada masing-masing biofilter sesuai dengan Gambar 4.1. Konsentrasi konsorsium 2,5%, 5% dan 7,5% dibuat dengan cara memasukkan konsorsium ke dalam biofilter sebanyak 0,5 L; 1 L dan 1,5 L kemudian ditambahkan air kolam hingga volumenya 20 L. Pemberian konsorsium dilakukan setiap satu minggu sekali.

4.4.8. Pengukuran kadar amonia

Kadar amonia dalam air biofilter diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis 22 dengan metode SNI 06-6989.30-2005 yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional tahun 2005. Prosedur metode ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan kurva standar amonia

Larutan baku amonia dibuat dengan konsentrasi 0 mg/L; 0,1 mg/L; 0,2 mg/L; 0,3 mg/L dan 0,5 mg/L. Larutan dipipet dalam Erlenmeyer sebanyak 25 mL, ditambahkan 1 mL fenol dan dihomogenkan. Larutan kemudian ditambah natrium nitroprusid sebanyak 1 mL dan dihomogenkan. Selanjutnya, larutan ditambahkan 2,5 mL larutan pengoksidasi dan dihomogenkan. Menutup Erlenmeyer dan larutan dibiarkan selama 1 jam untuk pembentukan warna. Larutan kemudian dibaca absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 640 nm. Kurva kalibrasi dibuat dari nilai absorbansi terhadap konsentrasi larutan baku nitrit dan selanjutnya dihitung persamaan regresi linearnya (Lampiran 8).

2. Pengukuran sampel

Sebanyak 25 mL sampel yang telah disaring, dimasukkan ke Erlenmeyer. Selanjutnya ditambahkan 1 mL larutan fenol dan dihomogenkan. Sampel kemudian ditambahkan 1 mL natrium nitroprusida 0,5% dan dihomogenkan. Berikutnya larutan pengoksidasi ditambahkan sebanyak 2,5 mL dan dihomogenkan. Erlenmeyer kemudian ditutup menggunakan plastik dan dibiarkan selama 1 jam untuk pembentukan warna. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam *cuvet* pada alat spektrofotometer dan dibaca dengan panjang gelombang 640 nm. Kadar amonia dihitung dari persamaan regresi kurva kalibrasi. Kadar dari hasil perhitungan persamaan regresi, kemudian dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Kadar amonia (mg/L)} = C \times f$$

Keterangan:

C : kadar yang didapat dari hasil pengukuran (mg/L)

fp : faktor pengenceran

4.4.9. Pengukuran kadar nitrit

Kadar nitrit dalam air biofilter diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis 22 dengan metode SNI 066989.9-2004 yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (2004). Pada suasana asam (pH 2–2,5), nitrit akan bereaksi dengan sulfanilamida dan NED dihidroklorida membentuk senyawa yang berwarna merah keunguan. Prosedur metode ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan kurva standar nitrit

Larutan baku nitrit dibuat dengan konsentrasi 0 mg/L; 0,01 mg/L; 0,02 mg/L; 0,05 mg/L; 0,10 mg/L dan 0,20 mg/L. Larutan kemudian dibaca absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 543 nm. Kurva kalibrasi dibuat dari nilai absorbansi terhadap konsentrasi larutan baku nitrit dan selanjutnya dihitung persamaan regresi linearnya (Lampiran 9).

2. Pengukuran sampel

Sebanyak 50 mL sampel yang telah disaring, dimasukkan gelas Erlenmeyer dan ditambahkan 1 mL larutan sulfanilamida, dikocok dan dibiarkan selama 2-8 menit. Selanjutnya ditambahkan 1 mL larutan NED dihidroklorida, dihomogenkan dan dibiarkan selama 10 menit. Selanjutnya sampel dibaca absorbansinya pada panjang gelombang 543 nm. Kadar nitrit dihitung menggunakan persamaan regresi linear dari kurva kalibrasi.

4.4.10. Pengukuran kadar nitrat

Kadar nitrat dalam air biofilter diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis 22 dengan metode SNI 01-3554-2006 yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (2006). Prosedur metode ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan kurva standar nitrat

Larutan baku nitrat dibuat dengan kepekatan 1; 2; 3; 4 dan 5 mg/L. Larutan dipipet sebanyak 50 mL ke dalam Erlenmeyer dan kemudian ditambah HCl sebanyak 1 mL. Larutan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 220 nm dan 275 nm menggunakan spektrofotometer. Pembacaan absorbansi dari panjang gelombang 220 nm kemudian dilakukan pengurangan dengan 275 nm. Kurva kalibrasi dibuat dan dihitung persamaan regresi linearnya (Lampiran 10).

2. Pengukuran sampel

Sampel air sebanyak 50 mL yang telah disaring, dimasukkan Erlenmeyer dan ditambahkan 1 mL HCl (Lampiran15). Sampel diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer. Dan konsentrasi nitrat dihitung dari persamaan regresi linear yang diperoleh dari kurva kalibrasi.

4.4.11. Pengukuran kadar fosfat

Kadar fosfat air biofilter diukur menggunakan spektrofotometer UV Vis S-22 dengan metode SNI 06-6989.31-2005 yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional tahun 2005. Prinsip dari metode ini yaitu amonium molibdat dan kalium antimonil tartrat bereaksi dengan ortofosfat membentuk senyawa asam fosfomolibdat dalam suasana asam. Fosfomolibdat direduksi oleh

asam askorbat menjadi molibden berwarna biru. Prosedur metode ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan kurva standar fosfat

Larutan baku fosfat dibuat dengan konsentrasi 0 mg/L; 0,2 mg/L; 0,4 mg/L; 0,8 mg/L dan 1,0 mg/L. Sebanyak 50 mL larutan baku dimasukkan ke Erlenmeyer. Selanjutnya ditambahkan 1 tetes indikator fenolftalin. Setelah terbentuk warna merah muda maka ditambahkan H₂SO₄ hingga warna hilang. Selanjutnya ditambahkan 8 mL larutan campuran, dihomogenkan dan dibiarkan 10 menit. Selanjutnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm. Kurva kalibrasi dibuat dari nilai absorbansi terhadap konsentrasi larutan baku nitrit dan selanjutnya dihitung persamaan regresi linearnya (Lampiran 11).

2. Pengukuran sampel

Sebanyak 50 mL sampel yang telah disaring, dimasukkan ke Erlenmeyer. Selanjutnya ditambahkan 1 tetes indikator fenolftalin. Setelah terbentuk warna merah muda, ditambahkan H₂SO₄ hingga warna hilang. Selanjutnya ditambahkan 8 mL larutan campuran, dihomogenkan dan dibiarkan 10 menit. Selanjutnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 880nm. Kadar amonia dihitung dari persamaan regresi kurva kalibrasi. Kadar dari hasil perhitungan persamaan regresi, kemudian dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Kadar fosfat (mg/L)} = C \times fp$$

Keterangan:

C : kadar yang didapat dari hasil pengukuran (mg/L)

fp : faktor pengenceran

4.4.12. Pengukuran pH dan suhu

Air biofilter diukur pH nya menggunakan pH meter. Air kolam diukur suhunya menggunakan termometer (Lampiran 15). Pengukuran pH dan suhu dilakukan pagi hari jam 09:00 WIB.

4.4.13. Pengukuran pertumbuhan tanaman

Pertumbuhan *pak choi* dapat diketahui melalui pengamatan morfologi daun, pengukuran tinggi tanaman, jumlah daun dan berat segar *pak choi* pada saat panen (umur empat minggu). Pengamatan morfologi meliputi pengamatan warna dan tangkai daun. Tinggi tanaman diukur menggunakan penggaris dengan satuan *centimeter* (cm). Jumlah daun yang dihitung adalah jumlah seluruh daun. Berat segar yang diukur adalah berat tanaman keseluruhan. Pengukuran menggunakan timbangan analitik dengan satuan gram (g).

4.5. Variabel dan Definisi Operasional

4.5.1. Variabel

- a. Variabel bebas : konsentrasi konsorsium bakteri (2,5%, 5%, 7,5%)
- b. Variabel terikat : kadar amonia, nitrit, nitrat, fosfat, pH, suhu dan jumlah mikroba air biofilter, morfologi daun, tinggi tanaman, jumlah daun serta berat segar *pak choi*.
- c. Variabel kendali : air, ikan nila, aerasi, benih *pak choi*

4.5.2. Definisi operasional variabel

1. **Konsorsium** : campuran bakteri di dalam media molase 1%.
2. **Kadar amonia** : jumlah amonia yang terdapat dalam air biofilter. Satuan:
mg/L
3. **Kadar nitrit** : jumlah nitrit yang terdapat dalam air biofilter. Satuan:
mg/L
4. **Kadar nitrat** : jumlah nitrat yang terdapat dalam air biofilter. Satuan:
mg/L
5. **Kadar fosfat** : jumlah fosfat yang terdapat dalam air biofilter. Satuan:
mg/L
6. **Nilai pH** : nilai pH dalam air biofilter
7. **Morfologi** : warna dan tangkai daun pada saat panen yaitu umur
empat minggu
8. **Tinggi** : tinggi tanaman pada saat panen yaitu umur empat
minggu. Satuan: *centimeter* (cm)
9. **Jumlah daun** : jumlah daun pada saat panen umur empat minggu.
10. **Berat segar** : berat tanaman *pak choi* pada saat panen yaitu umur
empat minggu. Satuan: gram (g)
11. **Suhu** : suhu air kolam. Satuan: °C

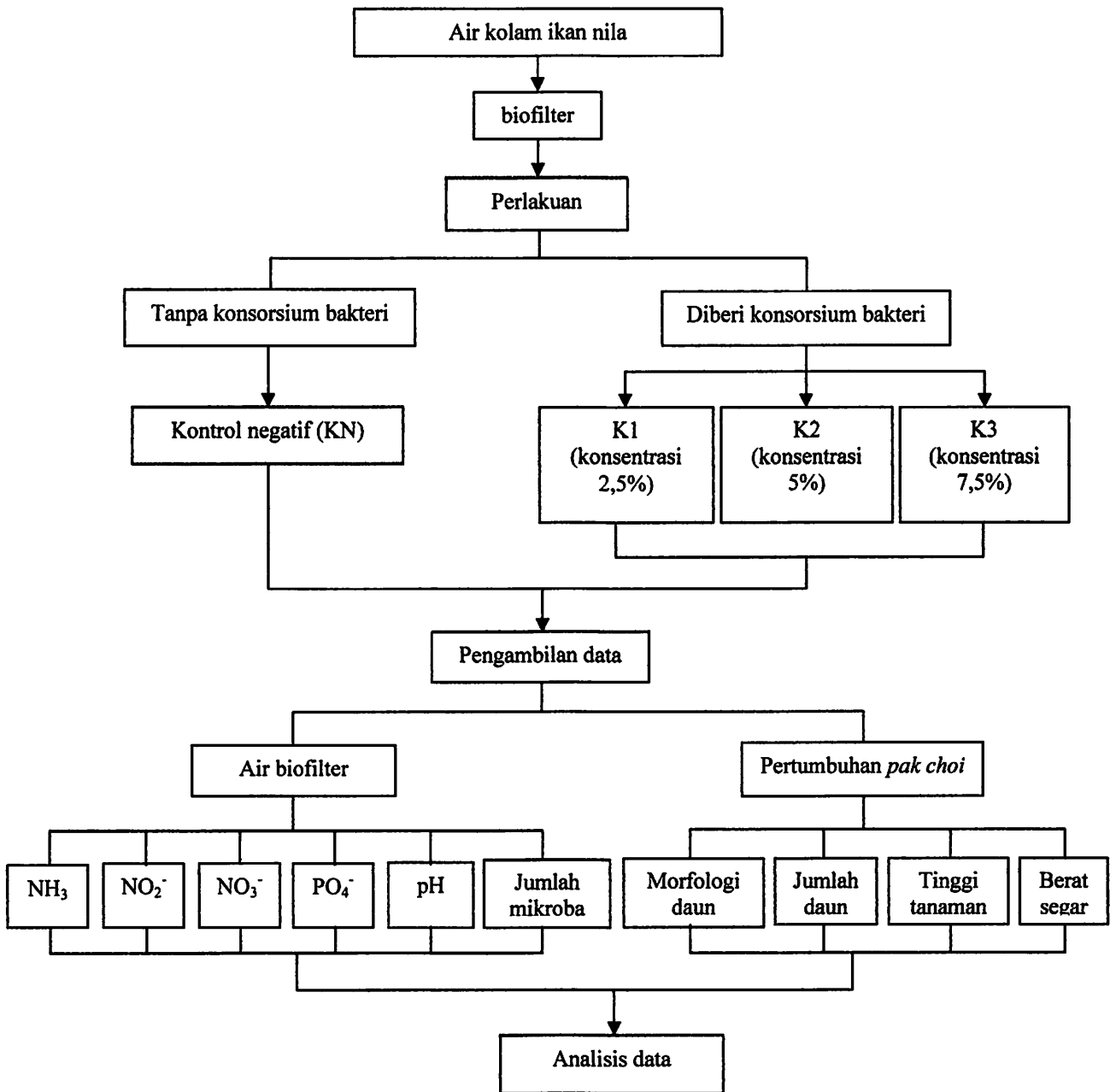
3.6. Analisis Data

Data kadar amonia, nitrit, nitrat, fosfat dan pH air biofilter diperoleh setiap satu minggu sekali. Data morfologi, tinggi tanaman, jumlah daun dan berat segar

pak choi serta jumlah mikroba diperoleh setelah empat minggu. Data kadar amonia, nitrit, nitrat, fosfat, pH, suhu, morfologi tanaman dan jumlah bakteri dianalisis secara deskriptif. Data tinggi, jumlah daun dan berat segar *pak choi* dianalisis secara statistik menggunakan SPSS versi 22.

Pertama data diuji normalitasnya menggunakan uji *Kolmogrov Smirnov*. Data tinggi dan berat segar tanaman *pak choi* merupakan data yang normal, sehingga dilanjutkan ke uji homogenitas dengan uji *Lavene*. Data yang homogen selanjutnya diuji dengan *One Way ANOVA* ($\alpha=0,05$) untuk mengetahui pengaruh kelompok perlakuan. Data kemudian dianalisis menggunakan uji *Duncan* ($\alpha=0,05$) untuk mengetahui beda pengaruh antar kelompok perlakuan.

Data jumlah daun yang tidak normal dianalisis dengan uji non parametrik menggunakan uji *Kruskal wallis* ($\alpha =0,05$) untuk mengetahui adanyapengaruh antar kelompok perlakuan. Data kemudian dianalisis menggunakan uji *Mann-Whitney* untuk mengetahui beda pengaruh antar kelompok perlakuan.



Gambar 4.3. Kerangka operasional penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil

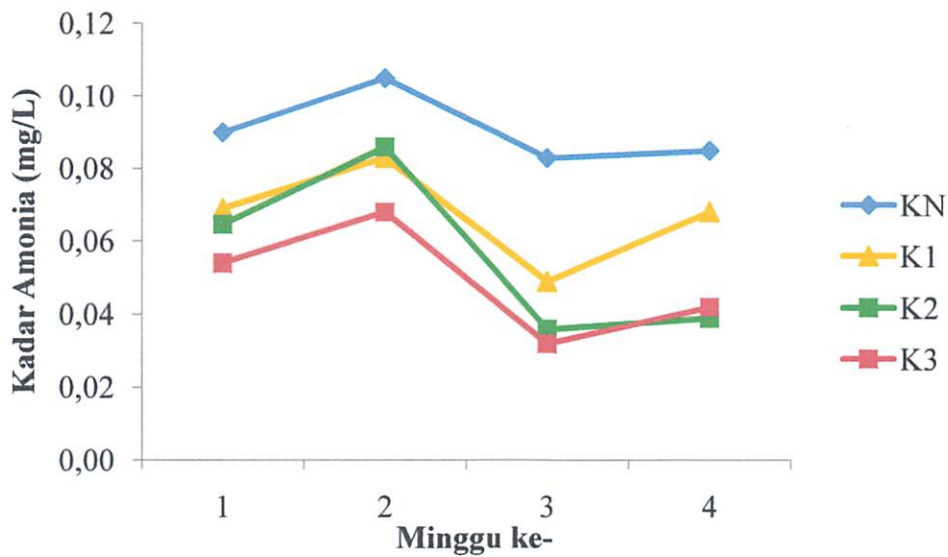
Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh data yang meliputi kadar amonia, nitrit, nitrat, fosfat air biofilter kolam ikan nila serta pertumbuhan *pak choi*. Data pertumbuhan *pak choi* terdiri dari data morfologi daun, tinggi tanaman, jumlah daun dan berat segar *pak choi* pada saat panen. Pada penelitian ini juga diperoleh data lain berupa pH dan jumlah mikroba dalam air biofilter, serta suhu kolam ikan.

5.1.1. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar amonia air biofilter pada sistem akuaponik

Data kadar amonia air biofilter setiap minggu dihitung nilai rerata dari data replikasi perlakuan. Data yang diperoleh selama empat minggu perlakuan disajikan dalam bentuk grafik garis sehingga dapat dilihat fluktuasinya. Data selanjutnya dianalisis secara deskriptif. Kadar amonia air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri dapat dilihat pada Gambar 5.1.

Berdasarkan Gambar 5.1 dapat diketahui bahwa pada minggu ke-1, kelompok KN mencapai nilai tertinggi dibandingkan tiga kelompok lainnya. Setiap kelompok perlakuan mengalami peningkatan kadar amonia pada minggu ke-2. Kadar amonia pada kelompok KN meningkat sebesar 0,015 mg/L, K1 sebesar 0,014 mg/L, K2 sebesar 0,021 mg/L dan K3 sebesar 0,014 mg/L.

Pada minggu ke-3 semua kelompok mengalami penurunan kadar amonia. Penurunan terbesar terjadi pada kelompok K2 yaitu sebesar 0,050 mg/L, sedangkan penurunan terkecil terjadi pada kelompok KN yaitu 0,022 mg/L. Pada minggu ini kadar amonia terendah terdapat pada kelompok K3 sebesar 0,032 mg/L, sedangkan kadar tertinggi terdapat pada kelompok KN sebesar 0,083 mg/L.

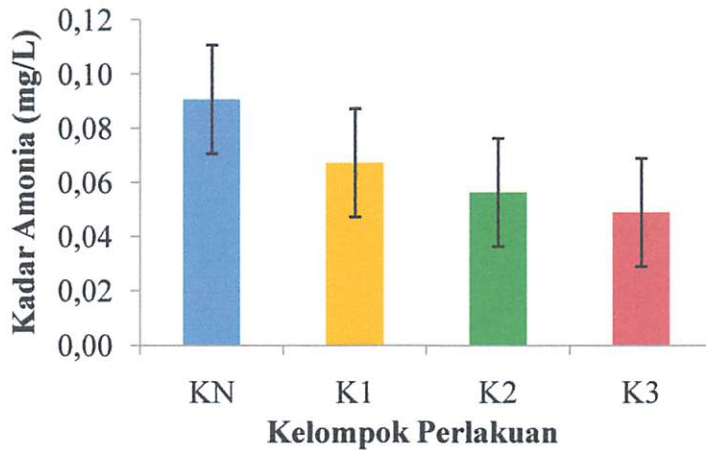


Gambar 5.1. Kadar amonia (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Kadar amonia semua kelompok mengalami peningkatan kembali pada minggu ke-4. Peningkatan ini tidak sebesar peningkatan yang terjadi dari minggu ke-1 ke minggu ke-2. Kelompok KN meningkat sebesar 0,002 mg/L, K1 sebesar 0,019 mg/L, K2 sebesar 0,003 mg/L dan K3 sebesar 0,010 mg/L. Kadar amonia tertinggi terjadi pada kelompok KN dan terendah pada kelompok K2.

Kelompok dengan pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* menunjukkan kadar amonia lebih rendah

dibandingkan dengan kelompok kontrol dari minggu ke-1 hingga minggu ke-4. Data kadar amonia selama empat minggu perlakuan kemudian dihitung reratanya untuk menentukan perlakuan yang memberikan pengaruh terbaik. Rerata kadar amonia pada masing-masing kelompok perlakuan tersaji pada Gambar 5.2.

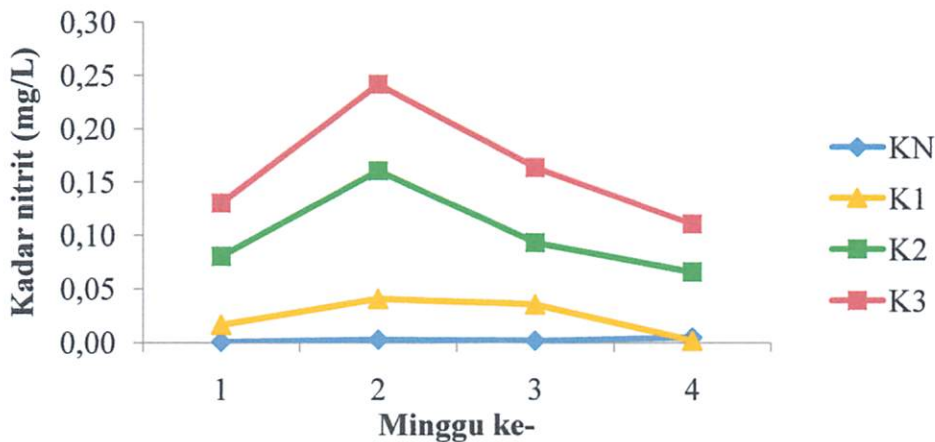


Gambar 5.2. Rerata kadar amonia (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa kadar amonia dengan pemberian perlakuan dengan konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terbukti memberikan pengaruh positif ditunjukkan dengan kadar yang lebih rendah dari kelompok kontrol (KN). Pemberian konsorsium bakteri dengan konsentrasi 7,5 % (K3) memberikan pengaruh terbaik yaitu $0,049 \pm 0,016$ mg/L. Rerata kadar amonia kelompok K1 sebesar $0,067 \pm 0,014$ mg/L dan K2 sebesar $0,056 \pm 0,024$ mg/L. Kadar amonia pada kelompok KN memiliki nilai rerata paling tinggi yaitu $0,091 \pm 0,010$ mg/L.

5.1.2. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar nitrit air biofilter pada sistem akuaponik

Data kadar nitrit air biofilter yang diperoleh merupakan data mingguan. Data dari replikasi perlakuan kemudian dihitung reratanya. Data yang diperoleh selama empat minggu perlakuan, kemudian disajikan dalam bentuk grafik garis dan selanjutnya dianalisis secara deskriptif. Kadar nitrit air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri dapat dilihat pada Gambar 5.3.

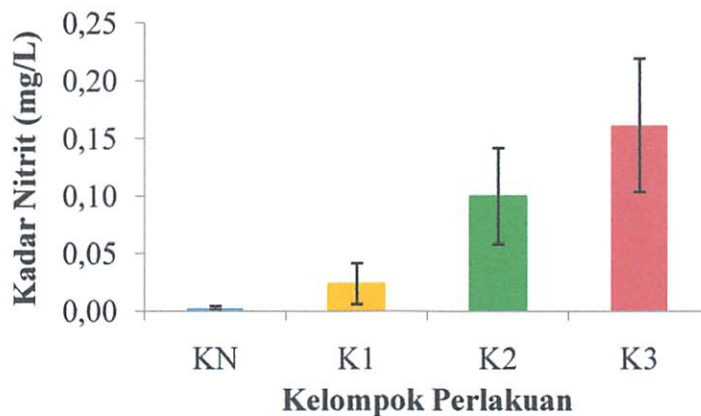


Gambar 5.3. Kadar nitrit (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa pada minggu ke-1, kadar nitrit kelompok KN sangat kecil dibandingkan tiga kelompok lainnya. Kadar nitrit kelompok KN, K1, K2, dan K3 berturut-turut yaitu 0,001; 0,017; 0,080 ; dan 0,130 mg/L. Pada minggu ke-2 semua kelompok mengalami peningkatan kadar nitrit. Peningkatan terbesar terdapat pada kelompok K3 yaitu sebesar 0,112 mg/L sedangkan peningkatan terkecil terdapat pada kelompok KN sebesar 0,002 mg/L.

Setiap kelompok mengalami penurunan kadar nitrit pada minggu ke-3. Penurunan terbesar terdapat pada kelompok K2 sebesar 0,068 mg/L, dan terkecil pada kelompok KN sebesar 0,001 mg/L.

Pada minggu ke-4 kelompok K1, K2, dan K3 kembali mengalami penurunan, sedangkan kelompok KN justru meningkat. Kadar nitrit kelompok K3 menunjukkan nilai tertinggi dari semua kelompok sebesar 0,111 mg/L. Kadar nitrit kelompok KN, K1, dan K2 berturut-turut yaitu 0,005; 0,002; dan 0,066 mg/L. Data kadar nitrit selama empat minggu perlakuan kemudian dihitung reratanya untuk menentukan perlakuan yang memberikan pengaruh terbaik. Rerata kadar nitrit pada masing-masing kelompok perlakuan tersaji pada Gambar 5.4.



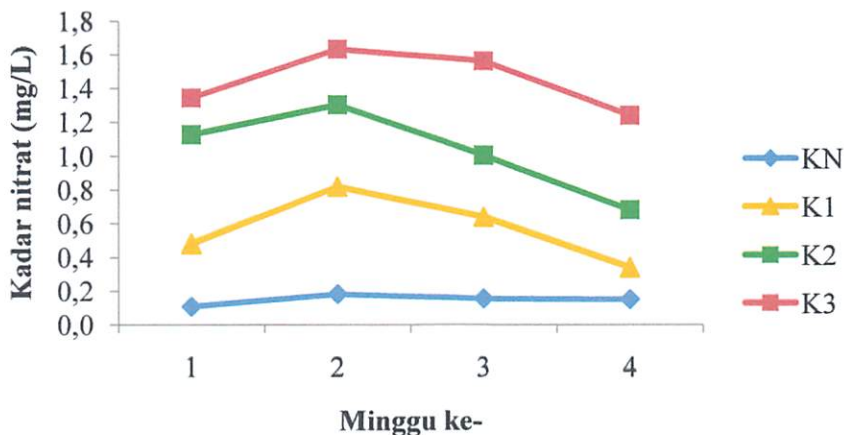
Gambar 5.4. Rerata kadar nitrit (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa kelompok dengan pemberian konsorsium bakteri terbukti memberikan pengaruh positif ditunjukkan dengan nilai rerata lebih tinggi kelompok kontrol. Rerata kadar nitrit terendah

terjadi pada kelompok KN sedangkan nilai tertinggi pada kelompok K3. Rerata kadar nitrit pada kelompok KN, K1, K2, dan K3 berturut-turut yaitu $0,003\pm 0,002$; $0,024\pm 0,018$; $0,100\pm 0,042$; dan $0,162\pm 0,058$ mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan dengan pemberian konsorsium bakteri sebesar 7,5% memberikan pengaruh terbaik dalam meningkatkan kadar nitrit air biofilter dibandingkan kelompok lain.

5.1.3. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar nitrat air biofilter pada sistem akuaponik

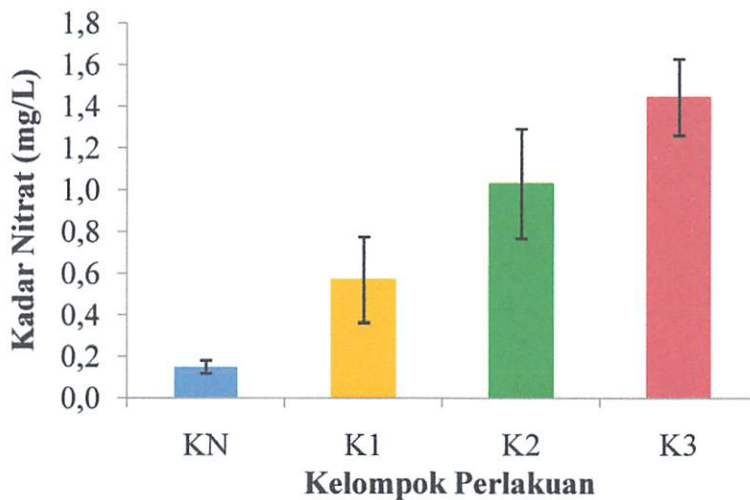
Data kadar nitrat air biofilter setiap minggu dihitung nilai rerata dari banyak replikasi yang dilakukan. Data yang diperoleh selama empat minggu perlakuan disajikan dalam bentuk grafik garis dan kemudian dianalisis secara deskriptif. Kadar amonia air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Kadar nitrat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.5 dapat diketahui bahwa kadar nitrat semua perlakuan mengalami peningkatan pada minggu ke-2. Peningkatan kadar nitrat kelompok KN, K1, K2, dan K3 berturut-turut yaitu yaitu 0,074; 0,341; 0,176; dan 0,290 mg/L. Kadar nitrat semua kelompok perlakuan mencapai nilai tertinggi pada minggu ke-2. Penurunan kemudian terjadi hingga minggu ke-4. Kelompok KN mengalami penurunan sebesar 0,032 mg/L, K1 sebesar 0,481 mg/L, K2 sebesar 0,621 mg/L dan K3 sebesar 0,395 mg/L.

Pada minggu ke-1 hingga minggu ke-4, kelompok K3 menunjukkan kadar nitrat tertinggi dibandingkan kelompok lain. Data kadar nitrat selama empat minggu perlakuan kemudian dihitung reratanya untuk menentukan perlakuan yang memberikan pengaruh terbaik. Rerata kadar nitrat pada masing-masing kelompok perlakuan tersaji pada Gambar 5.6.

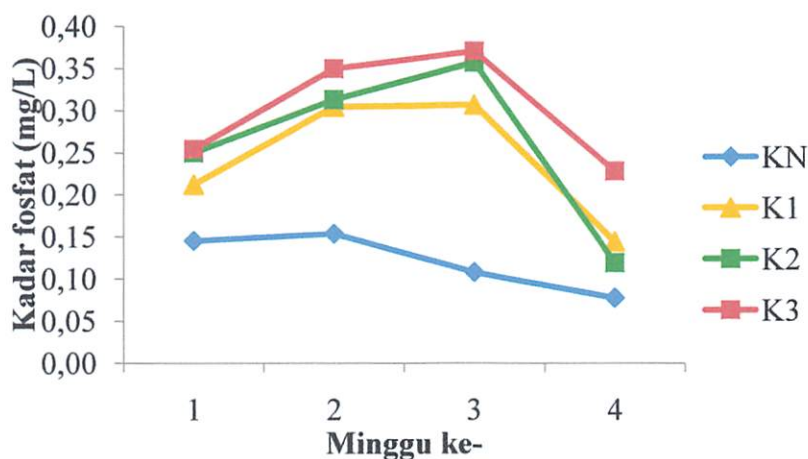


Gambar 5.6. Rerata kadar nitrat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.6, dapat diketahui bahwa pemberian konsorsium bakteri terbukti memberikan pengaruh positif ditunjukkan dengan nilai rerata lebih tinggi dibanding kelompok kontrol. Kelompok K3 memberikan pengaruh terbaik dalam meningkatkan kadar nitrat air biofilter, hal ini ditunjukkan dari rerata kelompok K3 yang menempati nilai tertinggi dibandingkan kelompok lain. Rerata kadar nitrat kelompok KN, K1, K2, K3 berturut-turut yaitu $0,150 \pm 0,031$ mg/L, $0,569 \pm 0,207$ mg/L, $1,030 \pm 0,262$ mg/L, dan $1,445 \pm 0,184$ mg/L.

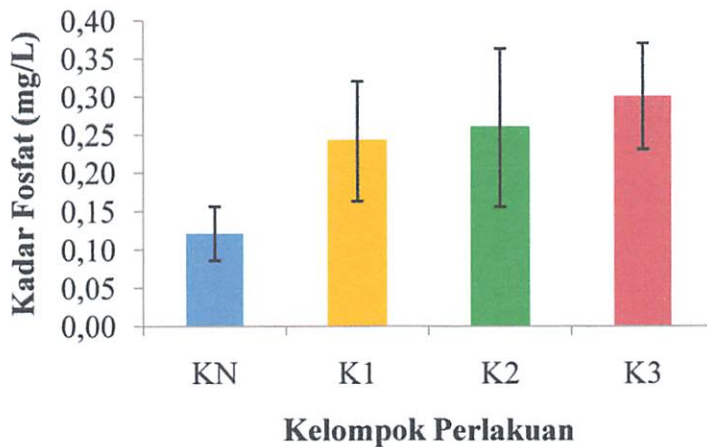
5.1.4. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap kadar fosfat air biofilter pada sistem akuaponik

Data kadar fosfat air biofilter mingguan merupakan rerata dari data replikasi perlakuan yang dilakukan. Data yang diperoleh selama empat minggu perlakuan, kemudian disajikan dalam bentuk grafik garis dan dianalisis secara deskriptif. Kadar fosfat air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7. Kadar fosfat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.7 dapat diketahui bahwa kadar fosfat mengalami peningkatan dari minggu ke-1 ke minggu ke-2. Peningkatan pada kelompok KN, K1, K2, dan K3 berturut-turut yaitu 0,008; 0,093; 0,063; dan 0,096 mg/L. Kadar fosfat kelompok K1, K2, dan K3 meningkat pada minggu ke-3 sedangkan KN menurun. Pada minggu ke-4 semua kelompok mengalami penurunan. Kelompok K2 mengalami penurunan terbesar yaitu 0,238 mg/L. Kelompok KN mengalami penurunan sebesar 0,030 mg/L, K1 sebesar 0,162 mg/L dan K3 sebesar 0,143 mg/L. Data kadar fosfat selama empat minggu dihitung reratanya untuk menentukan kelompok perlakuan yang memberikan pengaruh terbaik. Kadar fosfat pada masing-masing kelompok perlakuan tersaji pada Tabel 5.8.



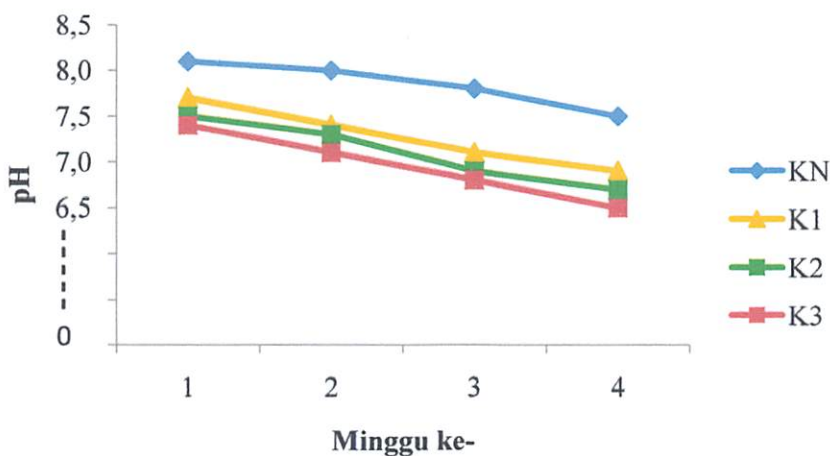
Gambar 5.8. Rerata kadar fosfat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.8 terlihat bahwa kadar fosfat pada kelompok dengan pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* Hal ini membuktikan bahwa pemberian konsorsium bakteri

terbukti memberikan pengaruh positif terhadap kadar fosfat. Kelompok dengan nilai rerata terendah terdapat pada kelompok KN yaitu $0,121 \pm 0,035$ mg/L. Rerata kadar fosfat K1 dan K2 berturut-turut yaitu $0,242 \pm 0,079$ mg/L dan $0,260 \pm 0,104$ mg/L. Rerata kadar fosfat tertinggi terdapat pada kelompok K3 sebesar $0,280 \pm 0,063$ mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa kelompok K3 memberikan pengaruh terbaik dalam meningkatkan kadar fosfat air biofilter dibandingkan kelompok lain.

5.1.5. Nilai pH air biofilter pada sistem akuaponik

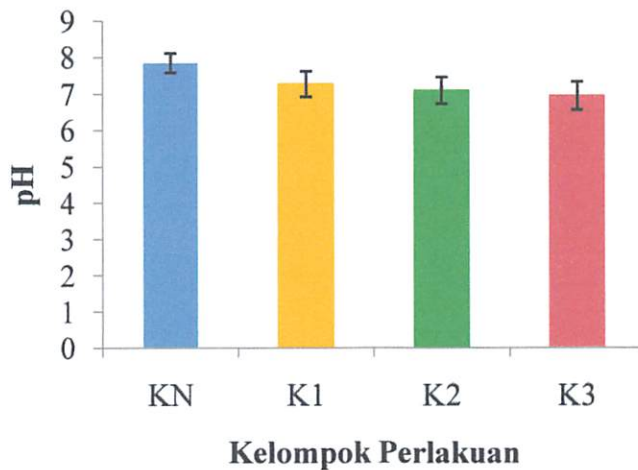
Data pH mingguan pada setiap kelompok digunakan untuk memantau kondisi fisik pada air biofilter. Data yang diperoleh selama empat minggu perlakuan, kemudian disajikan dalam bentuk grafik garis dan dianalisis secara deskriptif. Nilai pH air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9. Nilai pH air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.9 dapat diketahui bahwa pH pada kelompok dengan pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* selalu lebih rendah dibandingkan dengan kelompok kontrol (KN). Pada minggu ke-1, kondisi air biofilter dalam keadaan yang basa (nilai pH >7) baik pada kelompok KN, K1, K2, maupun K3, dengan nilai pH berturut-turut yaitu 8,1; 7,7; 7,5; dan 7,4.

Kelompok KN dan K1 menunjukkan kondisi air yang asam pada minggu ke-4, sedangkan kelompok K2 dan K3 pada minggu ke 3. Setiap kelompok selanjutnya mengalami penurunan pH hingga minggu ke-4. Penurunan pH pada kelompok KN, K1, K2 dan K3 berturut-turut yaitu 0,6; 0,8; 0,8 dan 0,9. Data pH masing-masing kelompok dapat dilihat pada lampiran 5.



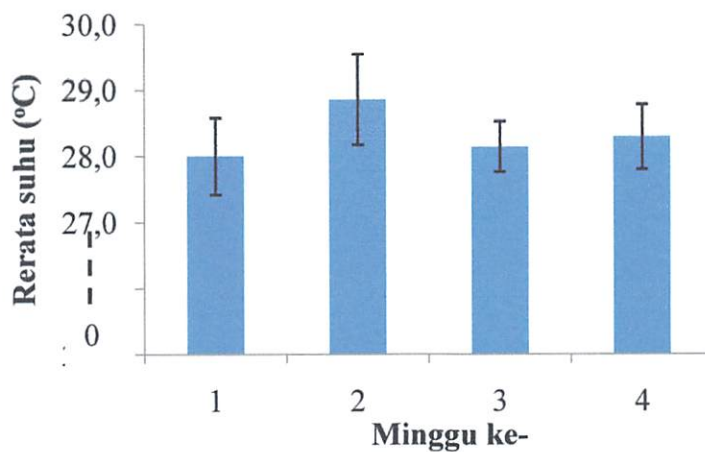
Gambar 5.10. Rerata pH air dalam biofilter pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.10, dapat diketahui bahwa kelompok K3 menunjukkan pH paling asam dibandingkan kelompok lain dengan nilai pH

sebesar $6,95 \pm 0,39$. Pada kelompok KN, K1, dan K2 rerata pH menunjukkan kondisi basa ($\text{pH} > 7$). Nilai pH kelompok KN, K1, dan K2 berturut-turut yaitu $7,85 \pm 0,26$; $7,28 \pm 0,35$; dan $7,10 \pm 0,37$.

5.1.6. Suhu air kolam pada sistem akuaponik

Data suhu digunakan untuk memantau kondisi fisik pada air kolam. Data suhu merupakan rerata suhu per-minggu air kolam yang diperoleh selama empat minggu perlakuan, kemudian disajikan dalam bentuk grafik batang dan dianalisis secara deskriptif. Rerata suhu air kolam pada sistem akuaponik selama empat minggu pada pemberian konsorsium bakteri dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11. Rerata suhu air kolam pada sistem akuaponik selama empat minggu.

Berdasarkan Gambar 5.11, dapat diketahui bahwa suhu pada kolam ikan menunjukkan nilai rerata 28°C . Pada minggu ke-2 menunjukkan suhu paling tinggi sebesar $28,86 \pm 0,69^{\circ}\text{C}$. Rerata suhu air kolam pada minggu ke-1, 3 dan 4 berturut-turut yaitu $28 \pm 0,58$; $28,14 \pm 0,38$; dan $28,29 \pm 0,49^{\circ}\text{C}$. Data rerata suhu air kolam dapat dilihat pada lampiran 5.

5.1.7. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap morfologi *pak choi* pada sistem akuaponik

Data morfologi *pak choi* merupakan data deskriptif yang hasilnya dapat bervariasi sebagai bentuk respon dari masing-masing *pak choi* terhadap berbagai perlakuan. Pengamatan terhadap morfologi tanaman, berupa pengamatan terhadap warna dan tangkai daun. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri terhadap morfologi *pak choi* pada sistem akuaponik tersaji pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri terhadap morfologi *pak choi* pada sistem akuaponik

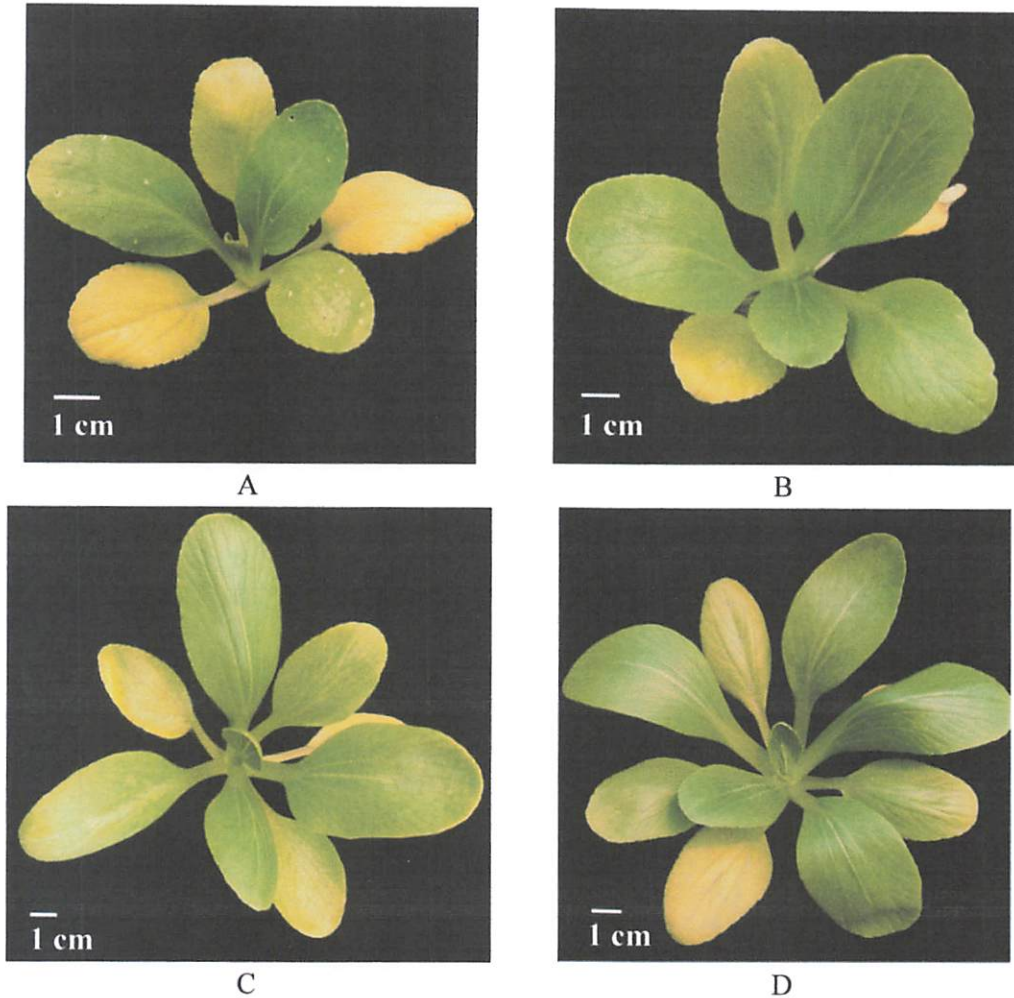
Kelompok perlakuan	Daun berwarna hijau	Tangkai daun
KN	++	Pipih
K1	++	Pipih
K2	+++	pipih berdaging
K3	++++	Pipih berdaging

Ket: +: 0-25%; ++: 26-50%; +++: 51-75%; ++++: 76-100%.

Pada pengamatan warna daun, kelompok KN dan K1 menunjukkan jumlah daun berwarna hijau paling sedikit dari daun kelompok perlakuan K2 dan K3. Tangkai daun kelompok KN dan K1 pipih, sedangkan K2 beberapa pipih berdaging. Daun pada kelompok K3 memberikan pengaruh terbaik, yaitu daun berwarna hijau lebih banyak dibanding kelompok lain dan tangkai pipih berdaging. Hal ini membuktikan bahwa pemberian konsorsium bakteri memberikan pengaruh positif terhadap morfologi daun. Gambar tanaman *pak choi* pada masing-masing kelompok perlakuan dapat dilihat pada Gambar 5.12.

Pada Gambar 5.12 dapat terlihat bahwa daun pada bagian bawah masing-masing kelompok perlakuan berwarna kuning. Kelompok KN memperlihatkan

adanya bintik kuning pada semua daun. Kelompok K3 menunjukkan daun hijau lebih banyak.



Gambar 5.12. *Pak choi* pada masing-masing kelompok perlakuan. Keterangan: A=kelompok kontrol (KN); B= kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5% (K1); C= 5% (K2); D= 7,5% (K3).

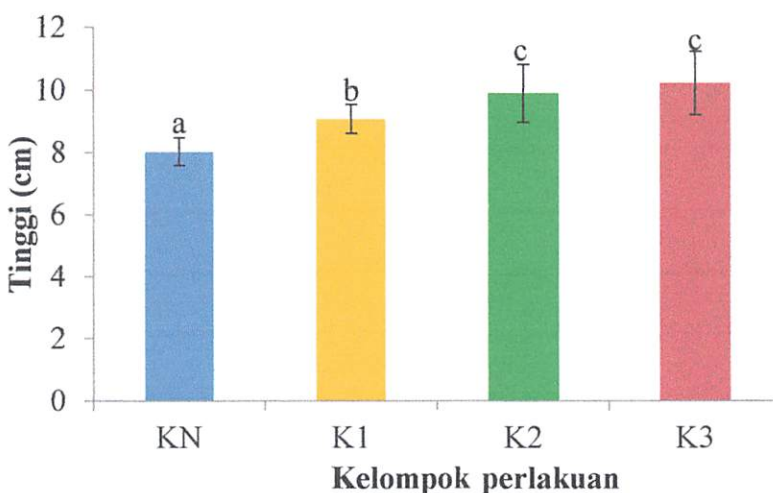
5.1.8. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap tinggi *pak choi* pada sistem akuaponik

Data tinggi *pak choi* diuji normalitasnya menggunakan *Kolmogorov-Smirnov test* dengan α sebesar 0,05. Hasil nilai probabilitas (p) adalah 0,200. Nilai p lebih besar dari α , maka data berdistribusi normal. Data selanjutnya diuji dengan *Levene test* dengan α sebesar 0,05. Hasil dari uji diperoleh nilai p sebesar 0,117.

Hasil menunjukkan nilai p yang lebih besar dari α , maka data bersifat homogen, dan memenuhi syarat untuk uji *One-way* ANOVA.

Pada uji *One-way* ANOVA digunakan α sebesar 0,05. Hasil dari uji *One-way* ANOVA menunjukkan nilai p sebesar 0,000. Nilai p hasil uji lebih kecil dari α , artinya terdapat pengaruh pada kelompok perlakuan. Perbedaan nyata pada setiap kelompok perlakuan dianalisis dengan menggunakan uji *Duncan* dengan α sebesar 0,05.

Berdasarkan hasil uji *Duncan*, tinggi tanaman kelompok kontrol (KN) berbeda nyata dengan K1, K2 dan K3. Pada kelompok K2 dan K3, data tinggi tanaman berada dalam satu subset, sehingga dikatakan data tidak berbeda nyata. Hasil uji SPSS tinggi tanaman dapat dilihat pada Lampiran 12. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri terhadap tinggi *pak choi* pada sistem akuaponik setelah diberikan perlakuan selama empat minggu dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri terhadap tinggi (cm) *pak choi* pada sistem akuaponik setelah empat minggu perlakuan. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.13 dapat diketahui bahwa kelompok kontrol (KN) menunjukkan tinggi tanaman paling rendah yaitu $8,04 \pm 0,44$ cm. Pada kelompok perlakuan dengan pemberian konsorsium bakteri K1 tinggi tanaman sebesar $9,08 \pm 0,47$ cm, K2 sebesar $9,90 \pm 0,92$ cm dan K3 sebesar $10,23 \pm 1,01$ cm. Kelompok K3 menunjukkan rerata tertinggi dari semua kelompok. Data tinggi *pak choi* secara lengkap tersaji pada Lampiran 6.

5.1.9. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap jumlah daun *pak choi* pada sistem akuaponik

Data jumlah daun *pak choi* diuji normalitasnya menggunakan *Kolmogorov-Smirnov test* dengan α sebesar 0,05. Hasil uji normalitas menunjukkan nilai p data sebesar 0,000. Nilai p yang diperoleh lebih kecil dari α , maka data dikatakan tidak berdistribusi normal. Data diuji lanjutan menggunakan *One-way ANOVA*, melainkan menggunakan *Kruskal-Wallis test* dengan α sebesar 0,05.

Hasil dari *Kruskal-Wallis test* didapatkan nilai p sebesar 0,000. Nilai p lebih kecil dari α , menunjukkan bahwa pemberian konsorsium bakteri berpengaruh terhadap jumlah daun tanaman *pak choi*. Data selanjutnya diuji dengan *Mann-Whitney test* untuk mengetahui beda nyata pada setiap kelompok perlakuan. Nilai α yang digunakan pada *Mann-Whitney test* sebesar 0,05.

Hasil *Mann-Whitney test* pada kelompok KN dengan K1, diperoleh p sebesar 0,959. Nilai p lebih besar dari α , hal ini menunjukkan bahwa kelompok KN dengan K1 tidak berbeda nyata. Pada kelompok KN dengan K2, nilai p yang diperoleh sebesar 0,038. Nilai p hasil uji lebih kecil dari α , hal ini menunjukkan

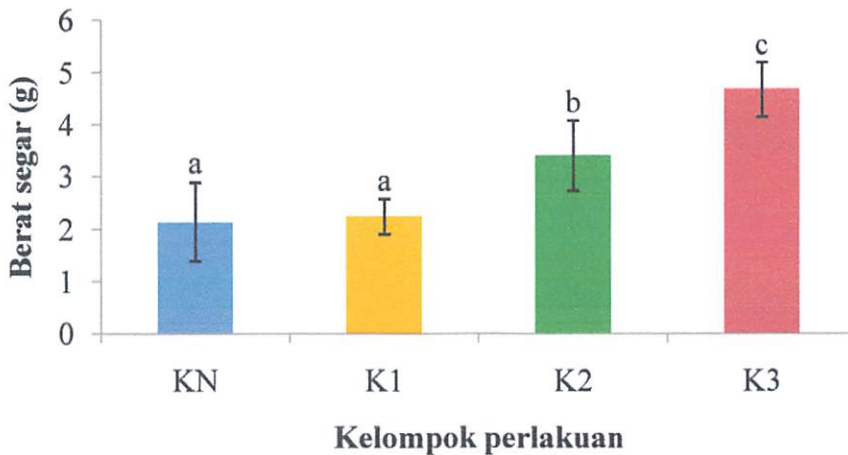
Berdasarkan Gambar 5.14, dapat diketahui bahwa jumlah daun tanaman terbaik terdapat pada kelompok K3 dengan rerata sebesar $9,3 \pm 0,7$. Kelompok kontrol (KN) menunjukkan jumlah tanaman paling rendah yaitu $7,3 \pm 0,9$. Rerata jumlah daun kelompok perlakuan K1 mencapai $7,4 \pm 0,5$, sedangkan kelompok K2 adalah $8,3 \pm 0,5$. Penjelasan ini membuktikan bahwa kelompok K3 mampu memberikan pengaruh terbaik terhadap jumlah daun *pak choi*. Data jumlah daun tanaman *pak choi* pada masing-masing kelompok secara lengkap tersaji pada Lampiran 6.

5.1.10. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis* terhadap berat segar *pak choi* pada sistem akuaponik

Data berat segar *pak choi* diuji normalitasnya menggunakan *Kolmogorov-Smirnov test* dengan menggunakan α sebesar 0,05. Berdasarkan hasil uji data berdistribusi secara normal ditunjukkan dengan p lebih besar dari α , yaitu sebesar 0,138. Data selanjutnya diuji homogenitas variasinya dengan *Levene test* dan didapatkan p sebesar 0,282. Nilai p lebih besar dari α , maka data bersifat homogen, dan memenuhi syarat untuk uji *One-way ANOVA*. Nilai α yang digunakan sebesar 0,05.

Hasil dari uji *One-way ANOVA* adalah nilai p sebesar 0,000. Nilai p yang lebih kecil dari nilai α , menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pemberian konsorsium terhadap berat segar *pak choi*. Selanjutnya untuk mengetahui adanya perbedaan nyata pada setiap kelompok perlakuan, data dianalisis dengan menggunakan uji *Duncan* dengan α sebesar 0,05.

Berdasarkan hasil uji *Duncan*, berat segar *pak choi* pada kelompok kontrol (KN) tidak berbeda nyata dengan K1 namun berbeda nyata dengan K2 dan K3. Kelompok K2 berbeda nyata dengan K3. Hasil uji SPSS berat segar dapat dilihat pada Lampiran 15. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri terhadap kadar amonia air dalam biofilter pada sistem akuaponik setelah diberikan perlakuan dari minggu ke-1 sampai minggu ke-4 dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15. Pengaruh pemberian konsorsium bakteri terhadap berat segar (g) *pak choi* pada sistem akuaponik. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.15, dapat diketahui bahwa rerata berat segar *pak choi* tertinggi terdapat pada kelompok K3 dengan perlakuan konsorsium 7,5 % sebesar $4,692 \pm 0,526$ g. Berat pada kelompok KN, K1 dan K2 berturut-turut yaitu $2,139 \pm 0,742$ g, $2,240 \pm 0,333$ g dan $3,409 \pm 0,680$ g. Hal ini menunjukkan bahwa kelompok K3 terbukti memberikan pengaruh terbaik terhadap peningkatan berat segar dibandingkan kelompok lain. Data berat segar *pak choi* pada masing-masing kelompok secara lengkap tersaji pada lampiran 6.

5.1.11. Jumlah mikroba air biofilter pada sistem akuaponik

Jumlah mikroba air biofilter pada sistem akuaponik setelah empat minggu perlakuan dihitung menggunakan metode TPC pada media NA. Perhitungan ini bertujuan untuk memantau kondisi mikroba pada kelompok kontrol dibandingkan dengan kelompok perlakuan. Jumlah mikroba air biofilter pada sistem akuaponik tersaji pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Jumlah mikroba air biofilter pada sistem akuaponik

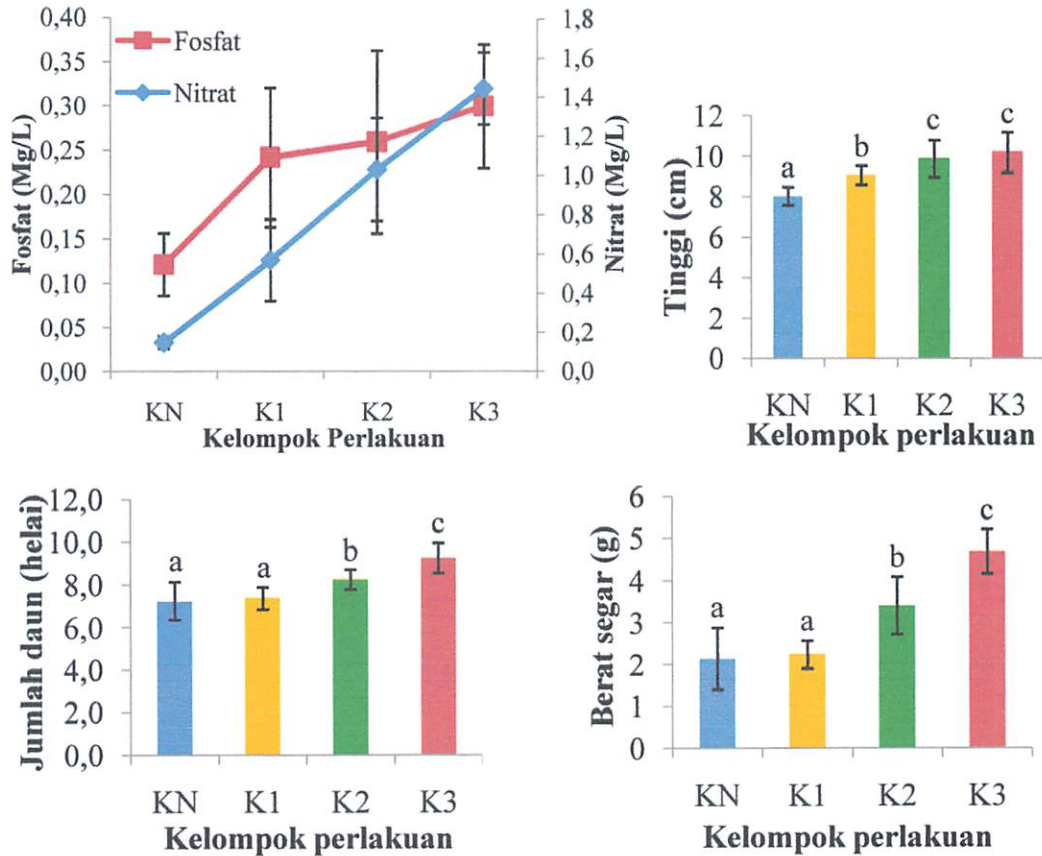
Kelompok Perlakuan	Rerata jumlah Mikroba (CFU/mL)±SD
KN	$1,67 \pm 0,82 \times 10^4$
K1	$1,83 \pm 1,38 \times 10^5$
K2	$1,52 \pm 1,02 \times 10^6$
K3	$7,1 \pm 3,03 \times 10^6$

Berdasarkan Tabel 5.2, dapat diketahui bahwa rerata jumlah mikroba tertinggi terdapat pada kelompok K3 sebesar $7,1 \pm 3,03 \times 10^6$ CFU/mL. Jumlah mikroba pada kelompok KN merupakan jumlah terendah dari semua kelompok perlakuan sebesar $1,67 \pm 0,82 \times 10^4$ CFU/mL. Pada kelompok K1 dan K2 jumlah mikroba secara berurutan yaitu $1,83 \pm 1,38 \times 10^5$ dan $1,52 \pm 1,02 \times 10^6$ CFU/mL.

5.1.12. Hubungan kadar nitrat dan fosfat terhadap tinggi, jumlah daun dan berat segar

Data rerata kadar nitrat dan fosfat pada masing-masing kelompok perlakuan dirangkum dan disajikan dalam 1 grafik garis, sedangkan data tinggi, jumlah daun serta berat segar disajikan dalam grafik batang secara terpisah. Rangkuman data bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kadar nitrat dan fosfat terhadap tinggi, jumlah daun dan berat segar *pak choi* pada penelitian ini.

Hubungan kadar nitrat dan fosfat terhadap tinggi tanaman, jumlah daun dan berat segar *pak choi* dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16. Hubungan kadar nitrat dan fosfat terhadap tinggi tanaman, jumlah daun dan berat segar. Keterangan: KN: kelompok kontrol; K1: kelompok perlakuan konsorsium bakteri konsentrasi 2,5%; K2: 5%; K3: 7,5%.

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar nitrat dan fosfat dalam air biofilter akan memberikan pengaruh yang semakin baik juga terhadap tinggi, jumlah daun dan berat segar *pak choi*. Pengaruh terbaik ditunjukkan oleh kelompok K3 yang diberikan konsorsium bakteri dengan konsentrasi tertinggi yaitu 7,5%.

5.2 Pembahasan

Akuaponik merupakan teknologi yang menggabungkan akuakultur dengan hidroponik (Fang *et al.*, 2017). Akuaponik mengurangi penggunaan air dengan memanfaatkan limbah akuakultur menjadi sumber nutrisi yang bernilai tinggi untuk memupuk tanaman hidroponik (Love *et al.*, 2015). Limbah akuakultur dapat berupa sisa pakan, maupun hasil ekskresi ikan berupa amonia dan feses.

Amonia kaya akan unsur nitrogen, namun tidak dapat langsung diberikan ke tanaman karena sifatnya yang toksik sehingga perlu diubah ke bentuk nitrat yang aman melalui proses nitrifikasi. Feses dan sisa pakan banyak mengandung unsur fosfor, namun perlu dilakukan mineralisasi dan pelarutan fosfat yang terpresipitasi. Kedua proses ini dapat terjadi dengan adanya bantuan bakteri.

Pemberian konsorsium bakteri yang mengandung *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp. dan *B. subtilis*, diharapkan mampu meningkatkan ketersediaan nutrisi dalam air biofilter sehingga dapat dimanfaatkan tanaman. Efektivitas pemberian konsorsium bakteri pada sistem akuaponik diamati melalui 8 parameter, yaitu kadar amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat air biofilter kolam ikan nila, morfologi, jumlah daun, tinggi tanaman dan berat segar *pak choi*.

Hasil penelitian yang menunjukkan bahwa selama empat minggu penelitian, semua kelompok mengalami peningkatan kadar amonia dan nitrit pada minggu ke-2. Konsumsi pakan dan suhu merupakan faktor yang mempengaruhi laju metabolisme sehingga meningkatkan produk eksresi berupa amonia (Maltez *et al.*, 2016). Jumlah pakan dalam penelitian ini merupakan variabel yang dikendalikan sehingga dapat dipastikan bahwa suhu merupakan penyebab

tingginya kadar amonia. Pada minggu ke-2 menunjukkan suhu tertinggi selama empat minggu perlakuan yaitu sebesar $28,86 \pm 0,69^{\circ}\text{C}$ (Gambar 5.11). Amonia merupakan sumber energi utama bakteri *Nitrosomonas* sp. untuk pertumbuhannya (Moat *et al.*, 2002). Amonia kemudian diubah menjadi nitrit (NO_2^-) (Wahyuningsih *et al.*, 2015). Sehingga, ketika produksi amonia meningkat maka produksi nitrit oleh *Nitrosomonas* sp. juga meningkat.

Pada minggu ke-2, kadar amonia sangat tinggi hingga $>0,06$ mg/L dan menyebabkan ikan nila banyak yang mati. Amonia merupakan senyawa yang bersifat toksik. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kriteria mutu air untuk budidaya perairan tawar yaitu kadar ammonia $\leq 0,02$ mg/L.

Pada minggu ke-4 kadar nitrit kelompok perlakuan K1, K2 dan K3 mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan pH air biofilter menjadi lebih asam yaitu sekitar 6,5–6,9 (Tabel 5.5) sehingga aktivitas bakteri menjadi terhambat. Pada penelitian Zou *et al.* (2016) mengenai pengaruh pH terhadap perubahan nitrogen pada akuaponik, menunjukkan bahwa pada pH 6, jumlah gen *amoA* hanya seperempat dari jumlah gen *amoA* pada pH 7,5 dan 9.

Gen *amoA* adalah gen pengkode enzim amonia monooksigenase yang dimiliki oleh bakteri *ammonia oxidizing bacteria* (AOB) untuk mengubah amonia menjadi nitrit (Ouyang *et al.*, 2016). Berdasarkan hal tersebut, meskipun *Nitrosomonas* sp. adalah bakteri AOB yang dapat hidup pada pH dengan kisaran yang luas yaitu 6–9, namun pada kondisi pH asam aktivitasnya menjadi terhambat sehingga pengubahan amonia tidak se-optimal pada minggu sebelumnya.

Pemberian konsorsium bakteri mampu membuat kandungan amonia menjadi lebih rendah dan nitrit lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok kontrol (KN). Penambahan bakteri *Nitrosomonas* sp. dalam konsorsium bakteri mempercepat pengubahan amonia menjadi nitrit, sehingga kadar amonia menjadi rendah dan nitrit meningkat. Reaksi perubahan amonia menjadi nitrit berlangsung dalam dua tahap. Pertama amonia diubah menjadi *hidroxylamine* dikatalisis dengan enzim *ammonia monooxydase*. Kedua *hidroxylamine* diubah menjadi nitrit dikatalisis dengan *hidroxylamine oxydoreductase* (Moat *et al.*, 2002).

Berdasarkan hasil penelitian terhadap kadar nitrat air biofilter yang tersaji pada Gambar 5.5, pada minggu ke-3 hingga ke-4 kadar nitrat pada semua kelompok perlakuan mengalami penurunan. Penurunan terkecil terjadi pada perlakuan KN yaitu 0,032 mg/L. Pada kelompok dengan pemberian konsorsium bakteri yaitu K1, K2 dan K3, penurunan kadar nitrat lebih dari 0,350 mg/L. Hal ini dikarenakan bakteri *Nitrobacter* sp. berkerja optimal pada pH yang basa (7,5–9) (Zou *et al.*, 2016), sedangkan kondisi pH air biofilter pada pada minggu ke-4 menjadi semakin asam yaitu 6,5-6,9 (dapat dilihat pada gambar 5.9). Menurunnya aktivitas bakteri *Nitrobacter* sp. terjadi karena penurunan aktivitas dari enzim oksidoreduktase yang berperan dalam pengubahan nitrit menjadi nitrat. Enzim tersusun atas protein. Jumlah muatan positif dan negatif yang terkandung di dalam molekul protein serta bentuk permukaan protein sebagian ditentukan oleh pH. Perubahan pH pada skala deviasi kecil dapat menyebabkan turunnya aktivitas enzim karena menyebabkan perubahan ionisasi gugus-gugus fungsionalnya (Putranto, 2006).

Berdasarkan nilai rerata kadar nitrat air biofilter pada Gambar 5.6, memperlihatkan bahwa kelompok perlakuan dengan pemberian konsorsium bakteri memberikan pengaruh yang lebih baik dibandingkan kelompok kontrol (KN). Hal ini dikarenakan didalam konsorsium terkandung bakteri *Nitrobacter* sp. yang mampu mengubah nitrit menjadi nitrat (Spleck & Bock, 2004). Oksidasi nitrit dikatalis oleh enzim *oxydoreductase* dengan dibantu air sebagai sumber oksigennya.

Penambahan *B. subtilis* dalam konsorsium bakteri juga memiliki peranan yang penting. Bakteri *B. subtilis* mempercepat konversi nitrit menjadi nitrat dibandingkan dengan kontrol dan menyebabkan penurunan kadar amonia yang lebih cepat dan meningkatkan kadar nitrat (Cherozi & Fitzsimmons., 2016). Penelitian lain oleh Riza *et al.* (2015), juga menunjukkan bahwa *B. substillis* terbukti mampu menurunkan emisi amonia.

Sumber nitrogen utama *B. subtilis* adalah glutamin, akan tetapi jika glutamin tidak ada dapat digantikan dengan amonia (Detsch & Stulke, 2003). Pada kondisi kadar amonia eksternal tinggi, *Bacillus* menyerap amonia secara difusi dan selanjutnya dimetabolisme menjadi glutamat (Gunka dan Commichau, 2012).

Berdasarkan Gambar 5.8, menunjukkan bahwa kadar fosfat pada kelompok dengan pemberian konsorsium bakteri memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kelompok kontrol (KN). Hal ini disebabkan karena adanya bakteri *B. subtilis* yang ditambahkan pada konsorsium bakteri. Bakteri *B. subtilis* dikenal sebagai salah satu bakteri pelarut fosfat. Bakteri ini mampu

menghasilkan enzim fosfatase sehingga dapat melakukan mineralisasi terhadap P organik dalam feses dan sisa pakan menjadi fosfat yang dapat diserap oleh tanaman (Cherozi dan Fitzsimmons, 2017). Pada perlakuan kontrol (KN), konsentrasi ortofosfat juga mengalami peningkatan, hal ini mungkin disebabkan oleh aktivitas mikroba indigenus yang terdapat pada sistem akuaponik.

Hasil terhadap nilai pH menunjukkan bahwa air biofilter pada minggu ke-1 dalam kondisi basa, hal ini karena tingginya kadar amonia. Amonia merupakan senyawa dengan sifat basa lemah. Selanjutnya, pH semua kelompok menjadi semakin asam pada minggu ke-4. Penurunan pH pada air biofilter disebabkan tingginya kadar H^+ yang dihasilkan dari proses nitrifikasi. Pada proses pengubahan amonia (NH_3) menjadi nitrit (NO_2^-) yang dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* sp., setiap 1 mol amonia akan menghasilkan produk sampingan berupa ion H^+ sebanyak 5 mol (Moat *et al.*, 2002). Ditambah lagi, pada perubahan 1 mol nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-) oleh *Nitrobacter* sp., setiap 1 mol nitrit yang diubah akan menghasilkan ion H^+ sebanyak 2 mol (Seviour & Nielsen., 2010).

Pada semua kelompok perlakuan daun paling bawah menunjukkan warna kuning. Hal ini disebabkan karena tanaman mengalami defisiensi nitrogen. Nitrogen merupakan unsur yang bersifat *mobile*, sehingga jika defisiensi terus berkembang maka nitrogen dari daun yang berada paling bawah akan ditranslokasikan kepada daun muda sehingga daun paling bawah berwarna pucat dan kuning (Barker & Pilbeam., 2007).

Pada kelompok KN, terlihat adanya bercak-bercak kuning yang menyebar pada daun muda. Bercak kuning pada daun menandakan bahwa tanaman terserang penyakit *downy mildew* yang disebabkan oleh jamur *Plasmopara viticola*. *Downy mildew* biasanya menyerang ketika kondisi lingkungan yang lembab. Hal ini sangat mungkin terjadi, karena memang di lokasi Rumah Hidroponik sering hujan. Spora jamur dapat terbawa oleh serangga, angin ataupun hujan (Margarey., 2010).

Berbeda dengan kondisi KN, kondisi tanaman pada kelompok perlakuan konsorsium bakteri yaitu K1, K2 dan K3 lebih tahan terhadap serangan penyakit. Hal ini dikarenakan dalam konsorsium bakteri mengandung *B. subtilis*. Keberadaan *B. subtilis* akan mendominasi akar sehingga mencegah mikroba yang merugikan tumbuh, mengaktivasi sistem pertahanan tubuh tanaman sehingga resisten terhadap patogen (Nagorska *et al.*, 2007). Kemampuan perlindungan ini dikarenakan *B. subtilis* dapat menghasilkan antibiotik yaitu basitrasin. Basitrasin dapat bersifat bakteristatik yaitu mampu menghambat perkembangbiakan bakteri dan bersifat bakterisidal dan fungisidal yaitu kemampuan untuk membunuh bakteri dan jamur (Moat *et al.*, 2002).

Pada semua kelompok menunjukkan rerata tinggi antara 8-10 cm, jumlah daun 7-9 helai dan berat segar kurang dari 5 gram. Nilai ini cenderung rendah jika dibandingkan dengan referensi yang menunjukkan bahwa normalnya *pak choi* memiliki tinggi sekitar 15 cm dengan daun sebanyak 15-16 helai (Larkcom, 1991). Penelitian Sarido dan Junia (2017) menunjukkan bahwa tanaman *pak choi* dengan sistem hidroponik menggunakan nutrisi AB mix, menghasilkan berat

segar sebesar 48,19 gram. Kualitas pertumbuhan yang rendah pada penelitian disebabkan karena tanaman mengalami defisiensi nitrogen dan fosfor. Kondisi fisik penelitian seperti suhu yang berbeda dari penelitian Sarido dan Junia (2017) juga merupakan faktor yang mempengaruhi hasil penelitian, sehingga sebagai pembandingan antar perlakuan perlu diberikan kontrol positif yang memiliki kondisi fisik sama pada penelitian selanjutnya.

Sumber utama nitrogen bagi tanaman adalah nitrat dan amonia. Nilai rerata kadar nitrat tertinggi pada penelitian ini adalah sebesar $1,445 \pm 0,0184$ mg/L, padahal untuk hasil terbaik jumlah nitrat yang diperlukan adalah $>0,18$ mg/L (Cerozi & Fitzsimmons, 2016; Wahyuningsih *et al.*, 2015; Zou *et al.*, 2016) pada rerata kadar nitrat sebesar 2,18 mg/L. Kadar fosfat tertinggi pada penelitian ini adalah $0,280 \pm 0,063$ mg/L, jumlah ini sangat kecil dibandingkan dengan penjelasan Asher dan Ioneragan (1967) bahwa kadar fosfat yang dibutuhkan tanaman adalah 1,9-2,8 mg/L. Menurut Nugroho (2016), pada sistem hidroponik tanaman *pak choi* membutuhkan jumlah zat terlarut total atau *total dissolved solid* (TDS) sebesar 1050-1400 ppm. Pada penelitian ini kadar TDS tidak diukur, sehingga tidak dapat diketahui dengan jelas zat terlarut total didalam air biofilter.

Nitrogen dan fosfor diperlukan dalam sintesis asam amino dan protein. Selain itu, nitrogen memiliki peranan penting dalam dalam sintesis klorofil. Fosfor merupakan unsur yang penting dalam pembentukan ATP yang menyediakan energi untuk metabolisme. Kedua nutrisi ini merupakan makronutrien yang harus dipenuhi (Taiz & Zeiger., 2002). Defisiensi nitrogen dan fosfor pada penelitian mengakibatkan tanaman menjadi kerdil. Pasokan nitrogen

yang kecil akan menyebabkan pembentukan daun menjadi sedikit (Barker dan Pilbeam, 2007).

Terganggunya penyerapan nutrisi oleh tanaman juga dapat menjadi penyebab tanaman mengalami defisiensi N dan P. Hal ini disebabkan karena pH pada semua kelompok perlakuan selama tiga minggu yang dalam kondisi basa, padahal akar tanaman menyukai pH yang cenderung asam dengan kisaran pH 5,5-6,5 (Taiz & Zeiger., 2002). Penelitian oleh Zou *et al.* (2016), mengemukakan bahwa *pak choi* pada sistem akuaponik menunjukkan hasil terbaik pada pH 6.

Pada kelompok K3, menunjukkan pengaruh terbaik terhadap kadar amonia, nitrit, nitrat dan fosfat air biofilter serta pertumbuhan tanaman *pak choi*. Hal ini dikarenakan bahwa semakin tinggi konsentrasi konsorsium bakteri yang digunakan pada penelitian, maka akan meningkatkan jumlah bakteri dalam air biofilter sehingga aktivitas nitrifikasi dan mineralisasi fosfat menjadi lebih cepat. Semakin tinggi kadar nitrat dan fosfat yang dihasilkan pada air biofilter maka akan memberikan pengaruh yang semakin baik juga terhadap pertumbuhan *pak choi* (dapat dilihat pada Gambar 5.16).

Jumlah nitrat dan fosfat yang tinggi akan menyediakan nitrogen dan fosfor lebih banyak bagi tanaman, sehingga akan memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap sintesis asam amino dan klorofil dan menyediakan energi dalam bentuk ATP. Sintesis klorofil yang baik akan memberikan hasil berupa morfologi daun *pak choi* berwarna hijau dengan tangkai yang pipih berdaging. Hal ini sesuai referensi, bahwa normalnya *pak choi* memiliki morfologi tangkai daun pipih berdaging (Larkcom, 1991). Asam amino dan ATP diperlukan dalam

pembentukan protein yang sangat berperan penting pada tahap pembelahan sel dan metabolisme. Pembelahan sel dan metabolisme yang tinggi akan membantu meningkatkan jumlah daun, tinggi tanaman serta berat basah tanaman *pak choi*. Jumlah mikroba pada air biofilter setelah empat minggu perlakuan pada kelompok K3 menunjukkan hasil yang terbaik yaitu sebesar $7,1 \pm 3,03 \times 10^4$ CFU/mL dibandingkan dengan kelompok KN, K1 dan K2 yaitu $1,67 \pm 0,82$; $1,83 \pm 1,38$ dan $1,52 \pm 1,02 \times 10^4$ CFU/mL.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemberian konsorsium bakteri berpengaruh positif terhadap kadar amonia air biofilter dalam sistem akuaponik. Konsentrasi konsorsium bakteri terbaik adalah 7,5% menunjukkan kadar amonia paling rendah sebesar $0,049 \pm 0,016$ mg/L.
2. Pemberian konsorsium bakteri berpengaruh positif terhadap kadar nitrit air biofilter dalam sistem akuaponik. Konsentrasi konsorsium bakteri terbaik adalah 7,5% menunjukkan kadar nitrit paling tinggi sebesar $0,162 \pm 0,058$ mg/L.
3. Pemberian konsorsium bakteri berpengaruh positif terhadap kadar nitrat air biofilter dalam sistem akuaponik. Konsentrasi konsorsium bakteri terbaik adalah 7,5% menunjukkan kadar nitrat paling tinggi sebesar $1,445 \pm 0,184$ mg/L.
4. Pemberian konsorsium bakteri berpengaruh positif terhadap kadar fosfat air biofilter dalam sistem akuaponik. Konsentrasi konsorsium bakteri terbaik adalah 7,5% menunjukkan kadar fosfat paling tinggi sebesar $0,280 \pm 0,063$ mg/L.
5. Pemberian konsorsium bakteri berpengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman *pak choi* (*Brassica chinensis* L.) pada sistem akuaponik.

Konsentrasi konsorsium bakteri terbaik adalah 7,5% menunjukkan morfologi daun yang berwarna hijau dan tangkai daun pipih berdaging, tinggi tanaman $10,23 \pm 1,01$ cm, jumlah daun $9,3 \pm 0,7$ helai dan berat segar $4,692 \pm 0,526$ g.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penulis menyarankan untuk dilakukannya penelitian lanjutan mengenai pengaruh konsorsium bakteri terhadap kadar amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat air biofilter serta pertumbuhan tanaman *pak choi* (*Brassica chinensis* L.) pada sistem akuaponik menggunakan konsentrasi yang lebih tinggi, menambah jumlah replikasi pada perlakuan, dan menambahkan kelompok kontrol positif dengan pemberian pupuk AB mix. Parameter untuk penelitian selanjutnya dapat ditambah dengan kadar *total dissolve solid* (TDS) agar dapat diketahui jumlah anion serta kation yang menunjukkan konsentrasi makronutrien dan mikronutrien di dalam air biofilter.

DAFTAR PUSTAKA



DAFTAR PUSTAKA

- Aly, S.M., Ahmed, Y.A.G., Ghareeb, A.A.A., & Mohamed, M.F. 2008. Studies on *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus acidophilus*, as potential probiotics, on the immune response and resistance of *Tilapia nilotica* (*Oreochromis niloticus*) to challenge infections. *Fish & Shellfish Immunology*. 25: 128-136.
- AlShrouf, A. 2017. Hydroponic, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*. 27(1): 247-255.
- Asher, C.J. & Loneragan, J.F. 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture: 1. Growth and Phosphorus content. *Soil Science*. 103(4): 225-233.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. SNI 066989.9-2004, Air dan Air Limbah-Bagian 9: Cara Uji Nitrit (NO₂-N) secara spektrofotometri.
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. SNI 06-6989.30-2005, Air dan Air Limbah-Bagian 30: Cara Uji Kadar Amonia dengan Spektrofotometer secara Fenat
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. SNI 06-6989.31-2005, Air dan Air Limbah - Bagian 31: Cara Uji Kadar Fosfat dengan Spektrofotometer secara Asam Askorbat.
- Badan Standarisasi Nasional. 2006. SNI 01-3554-2006, Cara Uji Air Minum dalam Kemasan.
- Barker, A.V. & Pilbeam, D.J. 2007. *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press. New York.
- Campbell, N.A., Reece, J.B., & Mitchell, L.G. 2004. *Biologi Edisi Kelima Jilid 3*. Erlangga. Jakarta.
- Cappucino, J.G. & Sherman, N. 2014. *Microbiology: a Laboratory Manual*. Tenth Edition. Addison-Wesley Publishing Company. New York.
- Chen, S.C., Hornsby, M.A.W., Robertson, R.M., & Hawryshyn, C.W. 2013. The influence of chromatic background on the photosensitivity of tilapia erythrocytes. *Biology Open*. 3: 117-120.
- Cherozi, B.D.S. & Fitzsimmons, K. 2016. Use of *Bacillus* spp. to enhance availability and serve as a plant growth promoter in aquaponics systems. *Scientia Horticulturae*. 211: 277-282.
- Cherozi, B.D.S. & Fitzsimmons, K. 2017. Phosphorus dynamic modeling and mass balance in an aquaponic system. *Agricultural Systems*. 153: 94-100.

- Conquist, A. 1981. *Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press. New York.
- Costa, L.S., Serrano, I., Sánchez-Vázquez, F.J., & López-Olmeda, J.F. 2016. Circadian rhythms of clock gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) central and peripheral tissues: Influence of different lighting and feeding conditions. *Journal of Comparative Physiology B-Biochemical Systemic and Environmental Physiology*. 186(6): 775-785.
- Delong, D.P. & Losordo, T.M. 2012. How to start a biofilter. *Southern Regional Aquaculture Centre Publication*. 3: 1-4.
- Detsch, C. & Stulke, J. 2003. Ammonium utilization in *Bacillus Subtilis*: Transport and regulatory functions of NrgA and NrgB. *Microbiology*. 149(11): 3289-3297.
- Diver, S. 2006. *Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture*. [Http://www.attra.ncat.org/](http://www.attra.ncat.org/). Diakses tanggal 25 Mei 2018.
- Dominguez-Perles, R., Mena, P., Garcia-Viguera, C., & Moreno, D.A. 2013. Brassica foods as a dietary source of vitamin C: A Review. *Critical Review in Food Science and Nutrition*. 54: 1076-1091.
- Earl, A.M., Losick, R., & Kolter, R. 2008. Ecology and genomics of *Bacillus subtilis*. *Trends in Microbiology*. 16(6): 269-275.
- Engle, C.R. 2015. Economics of aquaponics. *Southern Regional Aquaculture Centre Publication*. 5006: 1-4.
- Fang, X., Yu, R., Li, B., Somasundaran, P., & Chandran, K. 2010. Stresses exerted by ZnO, CeO₂ and anatase TiO₂ nanoparticles on the *Nitrosomonas europaea*. *Journal of Colloid and Interface Science*. 348: 329-224.
- Fang, Y., Hu, Z., Zou, H., Zhang, J., Zhu, Z., Zhang, J., & Nie, L. 2017. Improving nitrogen utilization of aquaponics by introducing *Algalbacterial consortia*. *Bioresource Technology*. 245: 358-364.
- Fang, Y., Hu, Z., Zou, Y., Fan, J., Wang, Q., & Zhu, Z. 2017. Increasing economic and environmental benefits of media-based aquaponics through optimizing aeration pattern. *Journal of Cleaner Production*. 162: 1111-1117.
- Fitzsimmons, K. 2010. Potential to Increase Global Tilapia Production. <https://www.aquaculturealliance.org/>. Diakses tanggal 6 Mei 2019.

- Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). 2013. *A Tool of Fishery Statistics Analysis*. [Http://www.fao.org/](http://www.fao.org/). Diakses pada tanggal 8 Maret 2018.
- Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). 2018. *Oreochromis niloticus*. [Http://www.fao.org/](http://www.fao.org/). Diakses tanggal 23 Maret 2018.
- Garrity, George M., Bell, J.A., & Lilburn, T.G. 2004. *Taxonomic Outline of the Prokaryotes Bergeys Manual of Systematic Bacteriology*. Second Edition. Springer. New York.
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). 2017. *Brassica rapa* subsp. *Chinensis* (L.) P. hanelt. [Https://www.gbif.org/](https://www.gbif.org/). Diakses pada tanggal 25 Mei 2018.
- Green, A. 2004. *Field Guide to Produce: How to Identify, Select, and Prepare Virtually Every Fruit and Vegetable at the Market Field Guide*. Singapura.
- Gunka, K. & Commichau, F.M. 2012. Control of glutamate homeostasis in *Bacillus subtilis*: A complex interplay between ammonium assimilation, glutamate biosynthesis and degradation. *Molecular Microbiology*. 85(2): 213-224.
- Herath, S.S. & Satoh, S. 2015. *Feed and Feeding Practices in Aquaculture: Environmental Impact of Phosphorus and Nitrogen from Aquaculture*. Woodhead Publishing.
- Hu, Z., Lee, J.W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A.C., & Khanal, S.K. 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*, 188: 92-98.
- Joint Genome Institute (JGI). 2018. *Nitrosomonas eropaea*. [Https://genome.jgi.doe.gov/](https://genome.jgi.doe.gov/). Diakses pada tanggal 25 Mei 2018.
- Jiwanjaya, Y. 2016. *Pengelompokan Bakteri Berdasarkan Kebutuhan Oksigen dan Cara Geraknya*. [Http://literasibio.blogspot.co.id/](http://literasibio.blogspot.co.id/). Diakses pada tanggal 25 mei 2018.
- Larkcom, J. 1991. *Oriental Vegetables*. John Murray (Publisher) Ltd. London.
- Leahy, J.G. & Colwell, R.R. 1990. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiological Reviews*. 54: 305-315.
- Liang, J. & Chien, Y.H. 2013. Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in tilapia water spinach raft aquaponic system. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 85: 693-700.

- Liang, J., Liu, B., Wu, J., Cheng, F., & Wang, X. 2016. Genetic variation and divergence of genes involved in leaf adaxial–abaxial polarity establishment in *Brassica rapa*. *Frontiers in Plant Science*. 7(94): 1-11.
- Love, D.C., Fry, J.P., Li, X., Hill, E.S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R.E. 2015. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*. 435: 67–74.
- Maltez, L.C., Stringhetta, G.R., Pinto, D.S.B., Pallegirin, L., Nitz, L.F., Figueiredo, M.R.C., Garcia, L.O., & Barbas, L.A.L. 2016. Temperature and feeding on the modulation of ammonia excretion rate of piaussu *Leporinus macrocephalu*. *Biota Amazonia*. 6(3): 77-83.
- Margarey, A.P. 2010. *Managing Downy mildew*. The Grape and Wine Research and development Corporation. Australia.
- Moat, A.G., Foster, W.J., & Spector, M.P. 2002. *Microbial Physiology*. Fourth Edition. Willey-Liss. New York.
- Nagorska, K., Bikowski, M., & Obuchowski, M. 2007. Multicellular behaviour and production of a wide variety of toxic substances support usage of *Bacillus subtilis* as a powerful biocontrol agent. *Acta Biochimica Polonica-English Edition*. 54(3): 495.
- Nugroho, B.W. 2016. *Tabel PPM dan pH untuk Nutrisi Hidroponik*. <http://hidroponikpedia.com/>. Diakses pada tanggal 21 Mei 2019.
- Ouyang, Y., Norton, J.M., Strark, J.M., Reeve, J.R., & Habteselassie. 2016. Ammonia-oxidizing bacteria are more responsive than archaea to nitrogen source in an aquacultural soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 96: 4-15.
- Panuvatvanich, A., Koottatep, T., & Kone, D. 2009. Influence of sand layer depth and percolate impounding regime on nitrogen transformation in vertical-flow constructed wetlands treating faecal sludge. *Water Research*. 43(10): 2623-2630.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Polka, J.K. & Silver P. A. 2014. Induced sensitivity of *Bacillus subtilis* colony morphology to mechanical media compression. *PeerJ*. 597: 10.
- Putranto, W. S. 2006. Purifikasi dan karakterisasi protease yang dihasilkan *Lactobacillus acidophilus* dalam fermentasi susu sapi perah. *Seminar Nasional Bioteknologi*. Pusat Penelitian Bioteknologi–LIPI.

- Rahman, M.S., Jahan, N., Khatun, M., & Rashid, M.A. 2015. Chemical and biological assays of *Brassica rapa* subsp. *Chinensis* (L.) Hanelt. *Bangladesh Journal of Botany*. 44(2): 327-32.
- Riza, H., Wizna, Rizal, Y., & Yusrizal. 2015. Peran probiotik dalam menurunkan amonia feses unggas. *Jurnal Peternakan Indonesia*. 17(1): 19-26.
- Romano, N. & Zeng, C. 2007. Acute toxicity of sodium nitrate, potassium nitrate and potassium chloride and their effects on the hemolymph composition and gill structure of early juvenile blue swimmer crabs (*Portunus pelagicus*, Linnaeus 1758) (Decapoda, Brachyura, Portunidae). *Environmental Toxicology and Chemistry*. 26: 1955–1962.
- Sarido, L. & Junia. 2017. Uji pertumbuhan dan hasil tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) dengan pemberian pupuk organik cair pada sistem hidroponik. *Jurnal Agriculture and Forestry*. 16(1): 65-74.
- Serviour, R. & Nielsen, P.K. 2010. *Microbial Ecology of Activated Sludge*. International Water Association Publishing. London.
- Shiino & Sueo, M. 1976. List of common names of fishes of the world, those prevailing among english-speaking nations. *Science Report of Shima Marineland*. 4: 262
- Siddiqui, M.M., Abbasi B.H., Ahmad N., Ali M., & Mahmood, T. 2014. Toxic effects of heavy metals (Cd, Cr and Pb) on seed germination and growth and dpph-scavenging activity in *Brassica rapa* var. turnip. *Toxicology and Industrial Health*. 30(3): 238-249.
- Soetan, K.O., Olaiya, C.O., & Oyewole, O.E. 2010. A Review: The importance of minerals elements for humans, domestic animal and plant. *African Journal of Food Science*. 4(5): 200-222.
- Spleck, E. & Bock, E. 2004. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Volume Two: The PRoteobacteria, Part A Introductory Essays*. Springer.
- Stamper, M.A. & Semmen, K.J. 2012. *Flowler's Zoo and Wild Animal Mdicine*. Elsevier.
- Stickney, R.R. 2016. *Aquaculture, 3rd Edition: An Introductory Text*. Center of Agriculture and Bioscience Publishing. United Stated of America.
- Taiz, L. & Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology. Third Edition*. Sinauer Associates. Sunderland.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., & Vinci, B.J. 2002. *Recirculating Aquaculture Systems*. Second Edition. Cayuga Aqua Ventures LLC. New York.

- Tovar, A., Moreno, C., Manuel-Vez, M.P., & GarciaVargas, M. 2000. Environmental impacts of intensive aquaculture in marine waters. *Water Research*. 34(1): 334-342.
- Tyson, R.V., Treadwell, D.D., & Simonne, E.H. 2011. Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *Horticultural Technology*. 21(1): 6-13.
- Wahyuningsih, S., Effendi, & Wardatno, Y. 2015. Nitrogen removal of aquaponic recirculation system. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation Bioflux*. 8(4): 491-499.
- Webster, C.D. & Lim, C. 2006. *Tilapia: Biology, Culture, and Nutrition*. Chemical Rubber Company Press. New York.
- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J.W., & Khanal, S.K. 2017. Nitrogen transformation in aquaponic systems: A Review. *Aquacultural Engineering*. 76: 9-19.
- Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., & Fang, Y. 2016. Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresource Technology*. 210: 81-87.

LAMPIRAN



Lampiran 1. Kadar amonia (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik

Kelompok perlakuan	Kadar amonia (mg/L) minggu ke-				Rerata±SD
	1	2	3	4	
KN	0,090	0,105	0,083	0,085	0,091±0,010
K1	0,069	0,083	0,049	0,068	0,067±0,014
K2	0,065	0,086	0,036	0,039	0,056±0,024
K3	0,054	0,068	0,032	0,042	0,049±0,016

Lampiran 2. Kadar nitrit (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik

Kelompok perlakuan	Kadar nitrit (mg/L) minggu ke-				Rerata±SD
	1	2	3	4	
KN	0,001	0,003	0,002	0,005	0,003±0,002
K1	0,017	0,041	0,036	0,002	0,024±0,018
K2	0,080	0,161	0,093	0,066	0,100±0,042
K3	0,130	0,242	0,164	0,111	0,162±0,058

Lampiran 3. Kadar nitrat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik

Kelompok perlakuan	Kadar nitrat (mg/L) minggu ke-				Rerata±SD
	1	2	3	4	
KN	0,109	0,183	0,156	0,151	0,150±0,031
K1	0,479	0,820	0,638	0,339	0,569±0,207
K2	1,127	1,303	1,006	0,682	1,030±0,262
K3	1,344	1,634	1,562	1,239	1,445±0,184

Lampiran 4. Kadar fosfat (mg/L) air dalam biofilter pada sistem akuaponik

Kelompok perlakuan	Kadar fosfat (mg/L) minggu ke-				Rerata±SD
	1	2	3	4	
KN	0,146	0,154	0,108	0,078	0,121±0,035
K1	0,212	0,305	0,307	0,145	0,242±0,079
K2	0,250	0,313	0,357	0,119	0,260±0,104
K3	0,254	0,350	0,371	0,228	0,280±0,063

Lampiran 5. Nilai pH dalam biofilter pada sistem akuaponik

Kelompok perlakuan	Nilai pH minggu ke-				Rerata±SD
	1	2	3	4	
KN	8,1	8,0	7,8	7,5	7,85±0,26
K1	7,7	7,4	7,1	6,9	7,28±0,35
K2	7,5	7,3	6,9	6,7	7,10±0,37
K3	7,4	7,1	6,8	6,5	6,95±0,39

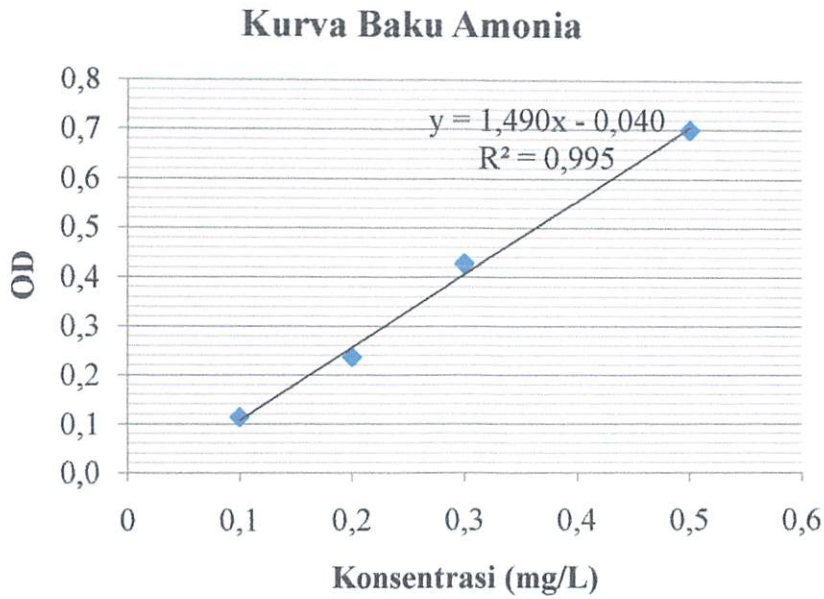
Lampiran 6. Tinggi (cm), jumlah daun dan berat segar (gram) *pak choi* saat panen

Kelompok perlakuan	Rerata±SD		
	Tinggi (cm)	Jumlah daun	Berat segar (gram)
KN	8,04±0,44	7,3±0,9	2,139±0,742
K1	9,08±0,47	7,4±0,5	2,240±0,333
K2	9,90±0,92	8,3±0,5	3,409±0,68
K3	10,23±1,01	9,3±0,7	4,692±0,526

Lampiran 7. Suhu air kolam pada seistem akuaponik selama empat minggu.

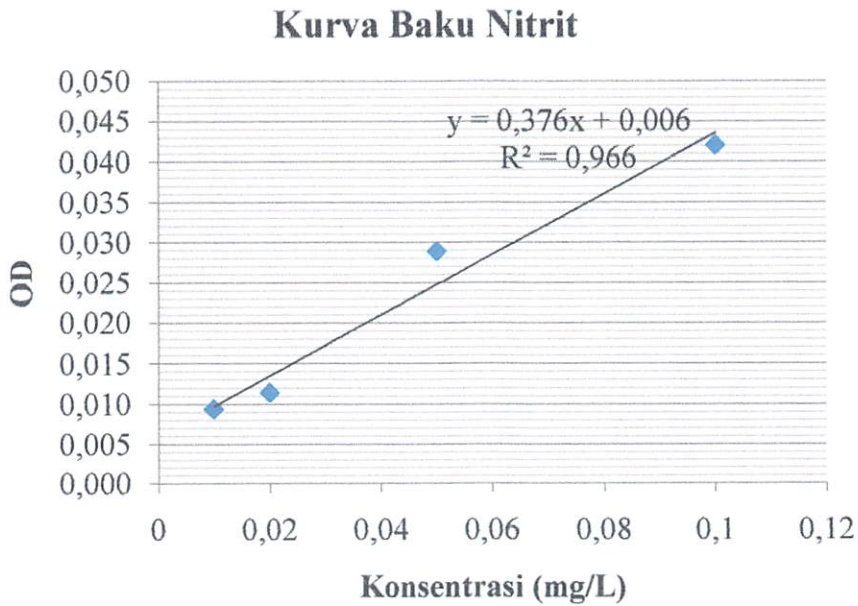
Hari ke-	Suhu (°C)	Rerata ±SD
1	28	28,00±0,58
2	27	
3	28	
4	28	
5	28	
6	28	
7	29	
8	29	28,71±0,69
9	29	
10	29	
11	30	
12	28	
13	28	
14	28	28,14±0,38
15	28	
16	28	
17	29	
18	28	
19	28	
20	28	
21	28	28,29±0,49
22	28	
23	28	
24	28	
25	29	
26	28	
27	28	
28	29	

Lampiran 8. Kurva baku amonia



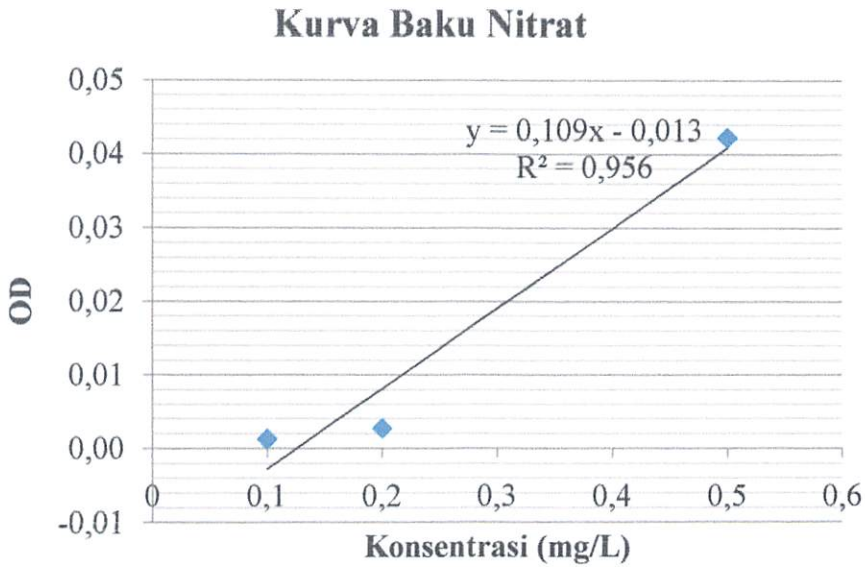
Persamaan garis: $y = 1,490x - 0,040$
 Maka, $x = (y + 0,040) / 1,490$

Lampiran 9. Kurva baku nitrit



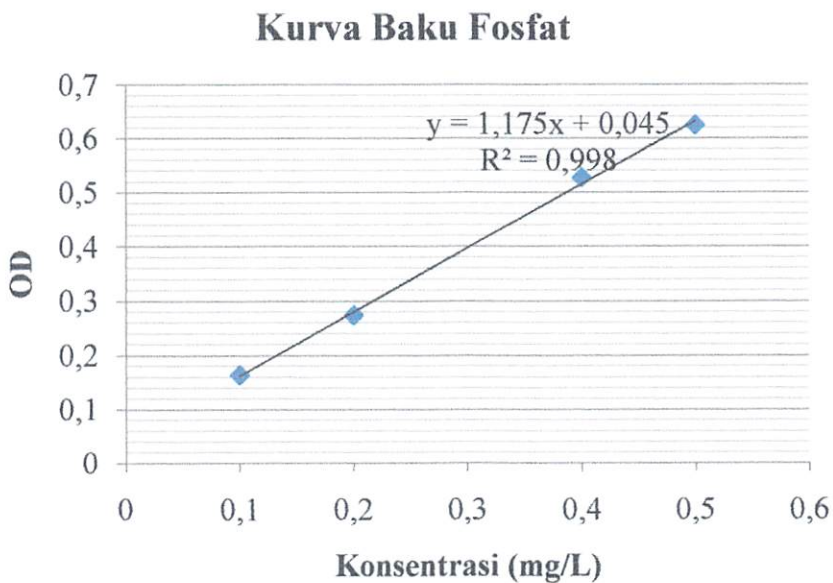
Persamaan garis: $y = 0,376x + 0,006$
 Maka, $x = (y - 0,006) / 0,376$

Lampiran 10. Kurva baku nitrat



Persamaan garis: $y = 0,109x - 0,013$
 Maka, $x = (y + 0,013) / 0,109$

Lampiran 11. Kurva baku fosfat



Persamaan garis: $y = 1,175x + 0,045$
 Maka, $x = (y - 0,045) / 1,175$

Lampiran 12. Analisis SPSS tinggi tanaman *pak choi*

1. Deskripsi data

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Tinggi tanaman	32	9,309	1,1189	7,1	12,0

2. Uji normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Tinggi tanaman
N		32
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	9,309
	Std. Deviation	1,1189
Most Extreme Differences	Absolute	,093
	Positive	,093
	Negative	-,073
Test Statistic		,093
Asymp. Sig. (2-tailed)		,200 ^{c,d}

- a. Test distribution is Normal.
- b. Calculated from data.
- c. Lilliefors Significance Correction.
- d. This is a lower bound of the true significance.

3. Uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

Tinggi tanaman

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,143	3	28	,117

4. Uji *One way* ANOVA

ANOVA

Tinggi tanaman

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22,878	3	7,626	13,405	,000
Within Groups	15,929	28	,569		
Total	38,807	31			

5. Uji *Duncan*

Tinggi_tanaman

Duncan^a

K	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
KN	8	8,038		
K1	8		9,075	
K2	8			9,900
K3	8			10,225
Sig.		1,000	1,000	,396

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

Lampiran 13. Analisis SPSS jumlah daun tanaman *pak choi*

1. Deskripsi data

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Jumlah daun	32	8,03	1,031	6	10

2. Uji normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Jumlah daun
N		32
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	8,03
	Std. Deviation	1,031
Most Extreme Differences	Absolute	,231
	Positive	,231
	Negative	-,207
Test Statistic		,231
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000 ^c

- a. Test distribution is Normal.
- b. Calculated from data.
- c. Lilliefors Significance Correction.

Hasil interpretasi: nilai signifikansi < 0,05, artinya data tidak berdistribusi normal.

3. Uji Kruskal-Wallis

		Jumlah daun
Chi-Square		20,113
Df		3
Asymp. Sig.		,000

Hasil interpretasi: nilai signifikansi < 0,05, artinya pemberian konsorsium bakteri berpengaruh terhadap jumlah daun

4. Uji *Mann-Whitney*

	K	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Jumlah_daun	KN	8	8,38	67,00
	K1	8	8,63	69,00
	Total	16		

		Jumlah daun
Mann-Whitney U		31,000
Wilcoxon W		67,000
Z		-,115
Asymp. Sig. (2-tailed)		,908
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]		,959 ^b

- a. Grouping Variable: K
- b. Not corrected for ties.

	K	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Jumlah_daun	KN	8	6,00	48,00
	K2	8	11,00	88,00
	Total	16		

		Jumlah daun
Mann-Whitney U		12,000
Wilcoxon W		48,000
Z		-2,421
Asymp. Sig. (2-tailed)		,015
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]		,038 ^b

- a. Grouping Variable: K
 b. Not corrected for ties.

Ranks

	K	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Jumlah_daun	KN	8	4,75	38,00
	K3	8	12,25	98,00
	Total	16		

		Jumlah daun
Mann-Whitney U		2,000
Wilcoxon W		38,000
Z		-3,237
Asymp. Sig. (2-tailed)		,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]		,001 ^b

- a. Grouping Variable: K
 b. Not corrected for ties.

	K	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Jumlah_daun	K1	8	5,63	45,00
	K2	8	11,38	91,00
	Total	16		

		Jumlah daun
Mann-Whitney U		9,000
Wilcoxon W		45,000
Z		-2,713
Asymp. Sig. (2-tailed)		,007
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]		,015 ^b

- a. Grouping Variable: K

	K	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Jumlah_daun	K1	8	4,69	37,50
	K3	8	12,31	98,50
	Total	16		

	Jumlah daun
Mann-Whitney U	1,500
Wilcoxon W	37,500
Z	-3,312
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000 ^b

a. Grouping Variable: K

Ranks

	K	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Jumlah_daun	K2	8	5,63	45,00
	K3	8	11,38	91,00
	Total	16		

Test Statistics^a

	Jumlah daun
Mann-Whitney U	9,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-2,604
Asymp. Sig. (2-tailed)	,009
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,015 ^b

a. Grouping Variable: K

b. Not corrected for ties.

Hasil analisis *Mann-Whitney* jumlah daun *pak choi*

	KN	K1	K2	K3
KN		TS	S	S
K1			S	S
K2				S
K3				

Lampiran 14. Analisis SPSS berat segar tanaman *pak choi*

1. Deskripsi data

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
K	33	3,30	1,510	1	5
MASSA	32	3,11994	1,193306	1,062	5,234

2. Uji normalitas data

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		K	MASSA
N		33	32
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	3,30	3,11994
	Std. Deviation	1,510	1,193306
Most Extreme Differences	Absolute	,193	,136
	Positive	,179	,136
	Negative	-,193	-,091
Test Statistic		,193	,136
Asymp. Sig. (2-tailed)		,003 ^c	,138 ^c

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

3. Uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

MASSA

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,336	3	28	,282

4. Uji *One way* ANOVA

ANOVA

MASSA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	34,324	3	11,441	32,623	,000
Within Groups	9,820	28	,351		
Total	44,143	31			

5. Uji *Duncan*

Berat segar

Duncan^a

K	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
KN	8	2,13875		
K1	8	2,24038		
K2	8		3,40887	
K3	8			4,69175
Sig.		,734	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

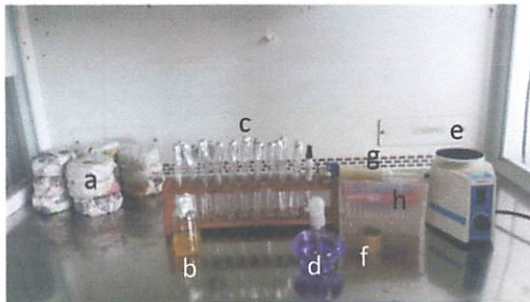
Lampiran 15. Foto selama penelitian



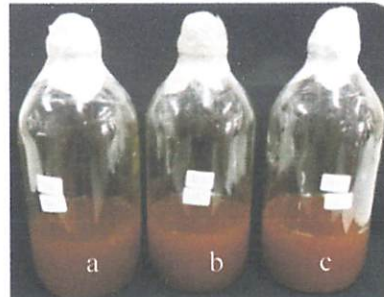
Kultur murni bakteri. Ket: a: *Nitrobacter* sp., b: *B. subtilis*, c: *Nitrosomonas* sp.



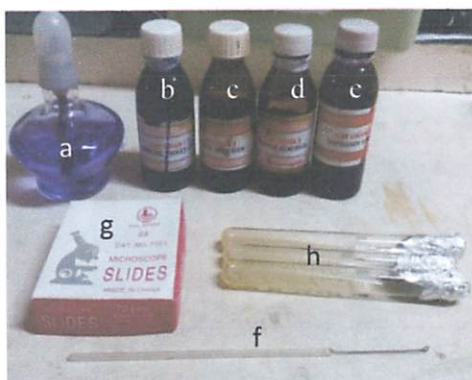
Rekultur bakteri



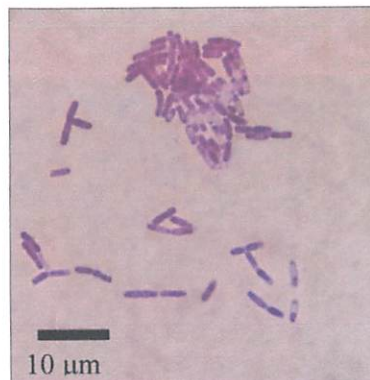
Alat dan bahan untuk TPC. Ket: a: cawan petri, b: kultur murni, c: air fisiologis, d: bunsen, e: vortex, f: *cling wrap*, g: *micropipet*, h: tip *micropipet*



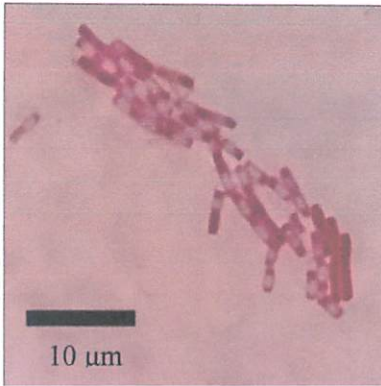
Hasil pencampuran kultur bakteri pada media NB+molase 1% (perbandingan 1:1). Ket: a: *Nitrobacter* sp., b: *B. subtilis*, c: *Nitrosomonas* sp.



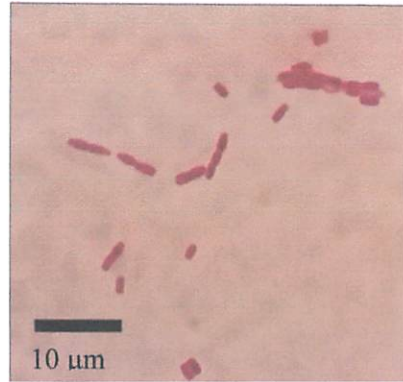
Alat dan bahan pewarnaan Gram. Ket: a: bunsen, b: larutan kristal violet, c: larutan lugol, d: alkohol 96%, e: larutan safranin, f: jarum ose, g: *object glass*, h: kultur murni



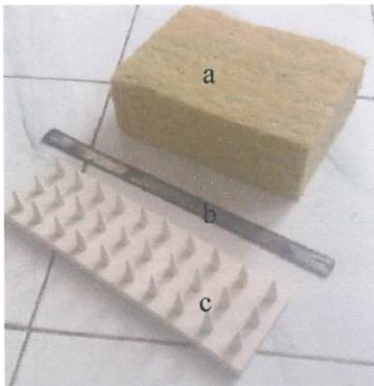
Hasil pewarnaan *B. subtilis* menunjukkan Gram positif (warna ungu)



Hasil pewarnaan *Nitrobacter* sp. menunjukkan Gram negatif (warna merah)



Hasil pewarnaan *Nitrosomonas* sp. menunjukkan Gram negatif (warna merah)



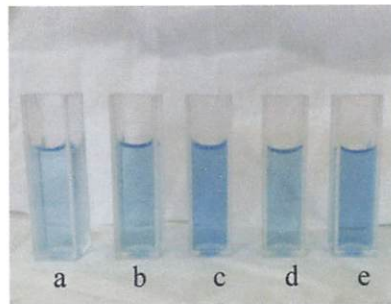
Alat dan bahan pembenihan. Ket: a: rock wool, b: gergaji, c: pembuat lubang untuk benih



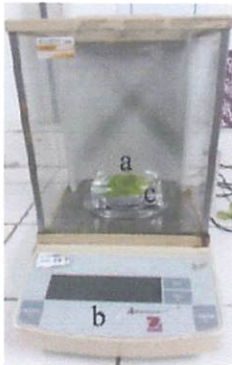
Spektrofotometer UV-Vis S-22



Benih pak choi



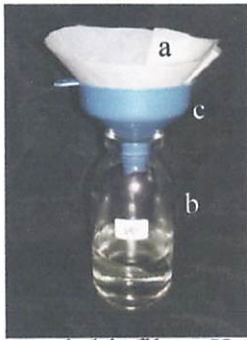
Air biofilter yang telah ditambahkan larutan uji nitrat. Ket: a: blanko, b: kelompok KN, c: K2, d: K1, e: K3



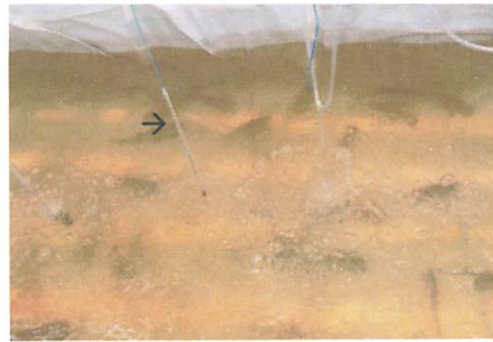
Penimbangan berat segar *pak choi*. Ket: a:*pak choi*, b:timbangan analitik, c:aluminium foil



Penimbangan pakan. Ket: a:timbangan digital, b:pakan ikan



Penyaringan air biofilter. Ket: a:kertas saring, b:botol bening, c:corong



Pengukuran suhu air kolam. Ket: bagian yang ditunjuk anak panah adalah termometer



Biji *pak choi*



Konsorsium bakteri *Nitrosomonas* sp. *Nitrobacter* sp., dan *Bacillus subtilis*