

**FITOREMEDIASI LIMBAH BUDIDAYA IKAN LELE (*Clarias* sp.)
DENGAN KANGKUNG (*Ipomoea aquatica*)
DAN PAKCOY (*Brassica rapa chinensis*)
DALAM SISTEM RESIRKULASI**

REBO ELFIDA KARO-KARO



**DEPARTEMEN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2015**

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Lele (*Clarias* sp.) dengan Kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan Pakcoy(*Brassica rapa chinensis*) dalam Sistem Resirkulasi adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Bogor, Agustus 2015

Rebo Elfida Karo-karo
NIM C24110033

ABSTRAK

REBO ELFIDA KARO-KARO. Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Lele (*Clarias* sp.) dengan Kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dalam Sistem Resirkulasi. Dibimbing oleh HEFNI EFFENDI.

Kegiatan budidaya ikan lele (*Clarias* sp.) menghasilkan limbah organik yang dapat menyebabkan penurunan kualitas air. Salah satu cara pengelolaan adalah dengan fitoremediasi menggunakan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*). Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) sebagai agen fitoremediator terhadap limbah budidaya ikan lele (*Clarias* sp.) dalam sistem resirkulasi. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan rancangan acak lengkap *in time* dengan tiga perlakuan, tiga ulangan, dan 35 hari pengamatan. Hasil penelitian menunjukkan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) belum efektif sebagai fitoremediator limbah budidaya ikan lele. Hasil pengamatan menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antara perlakuan kangkung dan pakcoy dengan kontrol. Namun demikian persentase penurunan amonia bebas menunjukkan perbedaan pada perlakuan kontrol, kangkung, dan pakcoy berturut-turut adalah 89,16%, 93,62%, dan 96,62%. Perlakuan kangkung efektif dalam meningkatkan tingkat kelangsungan hidup dan laju konversi pakan ikan lele, tetapi tidak efektif meningkatkan pertumbuhan ikan.

Kata kunci: fitoremediasi, ikan lele (*Clarias* sp.), kangkung (*Ipomoea aquatica*), limbah, pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

ABSTRACT

REBO ELFIDA KARO-KARO. Phytoremediation of Catfish (*Clarias* sp.) Culture Wastewater with Water Spinach (*Ipomoea aquatica*) and Chinese Cabagge (*Brassica rapa chinensis*) in Recirculation System. Supervised by HEFNI EFFENDI.

Cultivation activities catfish (*Clarias* sp.) produce relatively high organic waste, causing water quality decrease. To cope with this problem, phytoremediation with water spinach (*Ipomoea aquatica*) and chinese cabagge (*Brassica rapa chinensis*) was applied. This study aimed to analyze the effect of water spinach and chinese cabagge as phytoremediation agent catfish wastewater in the recirculation system. The research was conducted using In Time-Completely Randomized Design. Sampling were performed at three treatments with three replications and observed for 35 days. The results showed that water spinach (*Ipomoea aquatica*) and chinese cabagge (*Brassica rapa chinensis*) were not effective enough as a waste phytoremediator catfish cultivation, since no significant difference of water spinach and chinese cabagge treatment with control. However, free ammonia concentration percentage reduction pointed out difference namely, at control (89.16 %), water spinach (93.62 %), and Chinese cabagge (96.62 %). Water spinach treatment is effective in increasing the survival rate of catfish and feed conversion rate, but not effective in increaseing fish growth rate.

Keywords: catfish (*Clarias* sp), chinese cabagge (*Brassica rapa chinensis*), phytoremediation, wastewater, water spinach (*Ipomoea aquatica*).

**FITOREMEDIASI LIMBAH BUDIDAYA IKAN LELE (*Clarias* sp.)
DENGAN KANGKUNG (*Ipomoea aquatica*)
DAN PAKCOY (*Brassica rapa chinensis*)
DALAM SISTEM RESIRKULASI**

REBO ELFIDA KARO-KARO

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Perikanan
pada
Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan

**DEPARTEMEN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2015**

Judul Skripsi : Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Lele (*Clarias* sp.)
dengan Kangkung (*Ipomoea aquatica*)
dan Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)
dalam Sistem Resirkulasi
Nama : Rebo Elfida Karo-Karo
NIM : C24110033
Program Studi : Manajemen Sumberdaya Perairan

Disetujui oleh



Dr Ir Hefni Effendi, MPhil
Pembimbing

Diketahui oleh



Dr Ir Mohammad Mukhlis Kamal, MSc
Ketua Departemen

Tanggal Lulus: 14082015

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2014 hingga Oktober 2014 ini ialah pengolahan limbah, dengan judul Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Lele (*Clarias* sp.) dengan Kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dalam Sistem Resirkulasi.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini, terutama kepada:

- 1 Institut Pertanian Bogor yang telah memberikan kesempatan untuk studi.
- 2 Direktur Jendral Pendidikan Tinggi yang telah memberikan beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) selama studi di IPB.
- 3 BOPTN yang telah mendanai penelitian ini.
- 4 Dr Ir Hefni Effendi, MPhil selaku pembimbing akademik sekaligus pembimbing skripsi yang telah memberikan saran dan masukan untuk akademik penulis.
- 5 Dr Ir Niken Tunjung Murti Pratiwi, MSi selaku Komisi Pendidikan Program S1 dan Inna Puspa Ayu, SPi, MSi selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.
- 6 Staf Pusat Penelitian Lingkungan Hidup IPB yang telah membantu dan membimbing dalam penelitian.
- 7 Kedua orang tua penulis, Bapak Cinta Karo–Karo dan Ibu Rosni Br Ginting serta kakak penulis Madah Mustika Karo–Karo dan Dudi Kresta Karo-Karo, SE serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa.
- 8 Keluarga besar MSP angkatan 48, teman–teman KPA dan PMK IPB dan teman-teman semua.
- 9 Semua pihak yang membantu dalam proses penyusunan skripsi ini.

Demikian skripsi ini disusun, semoga dapat bermanfaat.

Bogor, Agustus 2015

Rebo Elfida Karo–Karo

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Perumusan Masalah	2
Tujuan Penelitian	2
Manfaat Penelitian	3
METODE	3
Waktu dan Lokasi Penelitian	3
Perancangan Penelitian	3
Pengamatan dan Analisis Kualitas Air	4
Analisis Data	5
HASIL DAN PEMBAHASAN	7
Hasil	7
Pembahasan	14
SIMPULAN DAN SARAN	17
Simpulan	17
Saran	17
DAFTAR PUSTAKA	17
LAMPIRAN	22
RIWAYAT HIDUP	31

DAFTAR TABEL

1	Metode pengukuran parameter kualitas air	4
2	Nilai suhu ($^{\circ}\text{C}$) setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>), dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	8
3	Nilai pH setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>), dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	8
4	Nilai oksigen terlarut setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>), dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	9
5	Nilai amonia total setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>), dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	9
6	Nilai amonia bebas setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>), dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	10
7	Nilai amonium setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>), dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	10
8	Nilai nitrat setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>), dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	11
9	Nilai orthoposfat setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>), dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	11
10	Panjang awal, bobot awal, panjang akhir, bobot akhir, tingkat kelangsungan hidup, laju konversi pakan, pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan spesifik ikan lele (<i>Clarias</i> sp.) selama penelitian	12
11	Korelasi parameter kualitas air dan pertumbuhan ikan lele (<i>Clarias</i> sp.)	13
12	Biomassa, <i>Relative growth rate</i> (RGR), dan <i>doubling time</i> (DT) kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>) dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	14

DAFTAR GAMBAR

1	Skema perumusan masalah pemanfaatan kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>) dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	2
2	Rancangan akuarium resirkulasi akuarium kontrol, kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>), dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	4

DAFTAR LAMPIRAN

1	Rancangan sistem resirkulasi akuarium pada penelitian	22
2	Wadah pemeliharaan ikan lele (<i>Clarias</i> sp.) dan tanaman kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>) dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	23
3	Kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>) dan pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	23
4	Ikan lele (<i>Clarias</i> sp.)	23
5	Komposisi media Murashige dan Skoog (MS)	24

6	Nilai amonia bebas (NH ₃) dan amonium (NH ₄ ⁺)	24
7	Hasil uji statistik suhu (°C)	24
8	Hasil uji statistik pH	25
9	Hasil uji statistik oksigen terlarut	25
10	Hasil uji statistik amonia total (TAN)	26
11	Hasil uji statistik amonia bebas (NH ₃ -N)	26
12	Hasil uji statistik amonium (NH ₄ ⁺)	27
13	Hasil uji statistik nitrat (NO ₃ -N)	27
14	Hasil uji statistik orthofosfat (PO ₄ -P)	28
15	Survival rate (SR) ikan lele (<i>Clarias</i> sp.)	28
16	Laju konversi pakan (FCR) ikan lele (<i>Clarias</i> sp.)	28
17	Hasil uji statistik pertumbuhan mutlak ikan lele (<i>Clarias</i> sp.)	29
18	Hasil uji statistik laju pertumbuhan spesifik ikan lele (<i>Clarias</i> sp.)	30

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Ikan lele (*Clarias* sp.) merupakan salah satu jenis ikan yang memiliki nilai ekonomis, mudah dipelihara dan dapat tumbuh dengan cepat. Potensi tersebut mendorong minat masyarakat untuk meningkatkan produksi melalui budidaya secara intensif (Ciptanto 2010). Kegiatan budidaya menghasilkan limbah padat dan limbah cair yang berasal dari feses dan sisa pakan ikan (Viella 2003). Akumulasi limbah tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas air yang berpengaruh terhadap proses fisiologis, tingkah laku, pertumbuhan, dan mortalitas ikan (Buentello *et al.* 2000; Effendi *et al.* 2015). Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan terhadap kualitas air media pemeliharaan ikan.

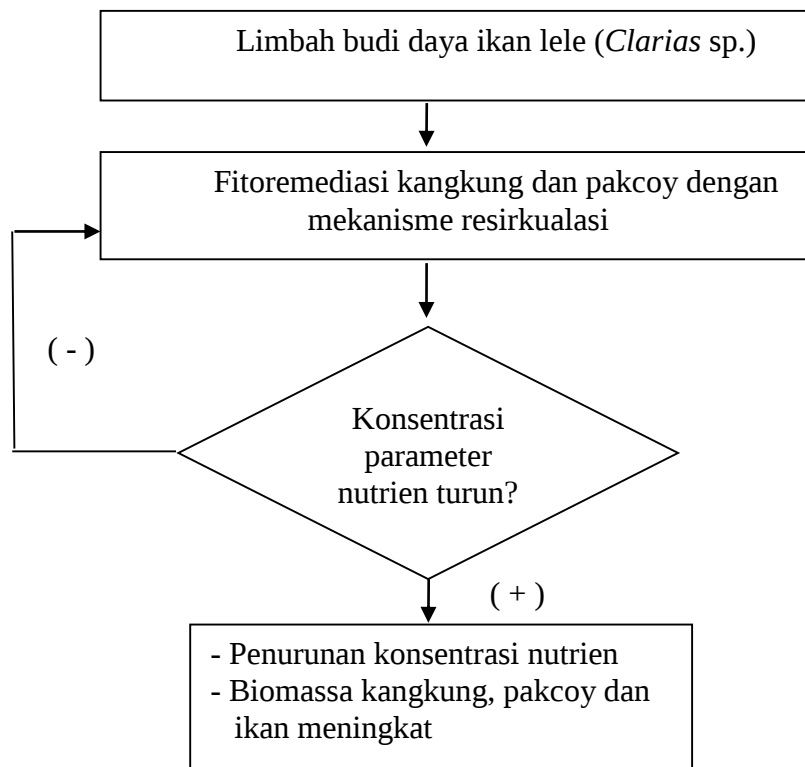
Pengelolaan kualitas air secara konvensional dapat dilakukan dengan pergantian air budi daya secara berkala, namun kurang efektif karena membutuhkan air yang cukup banyak dan biaya yang mahal (Arief *et al.* 2010). Salah satu upaya pengelolaan untuk meningkatkan kualitas air dan mengoptimalkan pemanfaatan air budi daya adalah dengan fitoremediasi secara resirkulasi (Sikawa dan Yakupiyage 2010). Air limbah budidaya yang mengandung bahan organik akan dimanfaatkan oleh tanaman sebagai nutrisi untuk pertumbuhan (Effendi *et al.* 2015). Prinsip sistem resirkulasi adalah penggunaan kembali air yang telah dikeluarkan dari kegiatan budidaya (Yanong 2012). Keuntungan sistem resirkulasi, yaitu dapat meminimalisir penggunaan air, buffer pH, dan mereduksi bahan organik seperti amonia, nitrit, dan buffer pH (McGee dan Circha 2000).

Fitoremediasi merupakan penggunaan tumbuhan untuk menurunkan, mengekstrak atau menghilangkan senyawa organik dan anorganik dari limbah (Hadiyanto dan Christwardana 2012). Keunggulan fitoremediasi dibandingkan dengan teknologi pengolahan limbah lain adalah proses secara alami, biaya lebih rendah, reduksi bahan organik secara permanen, terjadi hubungan sinergi antara tanaman, organisme, dan lingkungan serta tidak memerlukan teknologi tinggi (Paz-Alberto dan Sigua 2013). Tanaman air yang sering digunakan sebagai fitoremediator limbah adalah selada air (*Lactuca sativa* L), enceng gondok (*Eichornia crassipes*), kayu apu (*Pistia stratiotes*), kiambang (*Salvinia molesta*), dan lain-lain.

Tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*). Kangkung dapat memanfaatkan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor untuk pertumbuhan (Rosita *et al.* 2011; Effendi *et al.* 2015). Penelitian menggunakan kangkung sebagai agen fitoremediator limbah di antaranya telah dilakukan oleh Effendi *et al.* (2015), Lestari (2013), dan Indah *et al.* (2014). Selain kangkung, pakcoy juga merupakan tanaman yang dapat menyerap bahan organik berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Andreeilee *et al.* (2014). Menurut Wibowo dan Asriyanti (2013), pakcoy merupakan tanaman yang mudah dibudidayakan dan tahan terhadap kadar air tinggi dan tidak bergantung pada musim. Selain dapat digunakan sebagai agen fitoremediator limbah, kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) memiliki nilai ekonomi, yaitu juga dapat dipanen dan dikonsumsi.

Perumusan Masalah

Kegiatan budi daya ikan menghasilkan limbah yang mengandung bahan organik tinggi yang berasal dari sisa pakan, feses, dan ekskresi ikan. Limbah tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas air. Kualitas air yang buruk dapat mengganggu pertumbuhan serta kelangsungan hidup ikan. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas air media air budi daya adalah dengan menggunakan metode biologi. Pengolahan air limbah dengan metode biologi adalah proses pemanfaatan tanaman sebagai agen pengolah limbah. Tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*). Bahan organik dari limbah dimanfaatkan oleh tanaman sebagai nutrisi untuk melakukan fotosintesis dan pertumbuhan. Pengurangan kandungan bahan organik dapat ditunjukkan oleh peningkatan biomassa tanaman dan penurunan konsentrasi nutrisi. Perumusan masalah penelitian ini secara singkat ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema perumusan masalah pemanfaatan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dalam fitoremediasi.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) sebagai agen fitoremediator terhadap limbah budidaya ikan lele (*Clarias* sp.) dalam sistem resirkulasi.

Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat diterapkan sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah budi daya ikan lele (*Clarias* sp.) yang sederhana dan mudah digunakan. Manfaat lain yang diperoleh adalah ikan lele (*Clarias* sp.), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) yang dapat dikonsumsi. Serta meminimalisir penggunaan air dengan teknologi resirkulasi.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

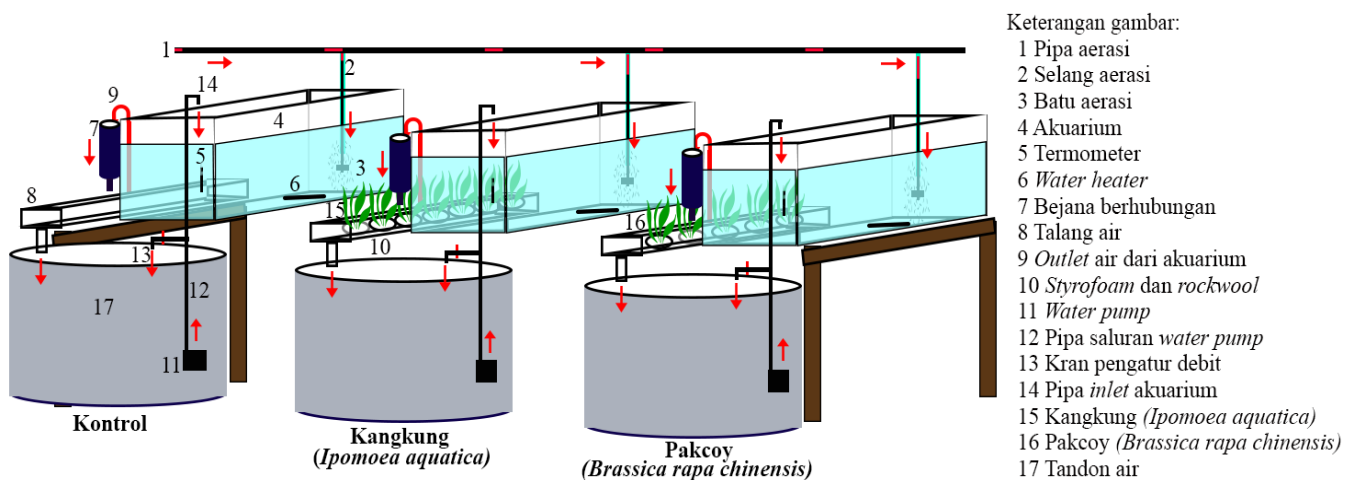
Penelitian dilaksanakan pada September-Oktober 2014 di Laboratorium Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) Institut Pertanian Bogor. Analisis kualitas air dilakukan di Laboratorium Lingkungan, Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Institut Pertanian Bogor.

Perancangan Penelitian

Rancangan percobaan pada penelitian adalah rancangan acak lengkap *in time* (RAL *in time*). Perlakuan yang digunakan ada tiga, yaitu kontrol, kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dengan masing-masing tiga kali ulangan. Pengamatan enam kali dengan selang waktu satu minggu selama 35 hari.

Akuarium pemeliharaan ikan lele berukuran 80 cm x 40 cm x 30 cm sebanyak tiga unit setiap perlakuan. Setiap akuarium dilengkapi dengan talang air berukuran 100 cm x 15 cm. Talang air digunakan untuk menanam kangkung dan pakcoy serta mengalirkan air ke tandon berupa drum berdiameter 60 cm. Cara kerja sistem resirkulasi pada penelitian sebagai berikut. Air limbah dari akuarium pemeliharaan ikan dialirkan secara gravitasi melalui pipa ke talang air yang telah ditanami kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*). Air yang telah diolah dialirkan kembali ke akuarium menggunakan pompa dan seterusnya (Gambar 2).

Ikan lele (*Clarias* sp.) yang digunakan dalam penelitian berasal dari petani di Cibereum dan diaklimatisasi selama satu minggu di akuarium (Lampiran 4). Sebanyak 220 ekor diberikan pada setiap akuarium untuk setiap perlakuan dengan ukuran 4–5 cm (Lampiran 4). Penyemaian kangkung dan pakcoy dilakukan selama satu minggu pada media arang sekam. Tanaman ditanam di talang air menggunakan media *rockwool* dengan bantuan *styrofoam* agar daun tanaman tidak terendam air (Lampiran 3). Kangkung ditanam sebanyak 16 rumpun (delapan pot) per perlakuan dengan jarak tanam 10 cm (Dibyantoro 1996). Pakcoy ditanam lima rumpun (lima pot) per perlakuan dengan jarak tanam 20 cm (DPP 2013). Tanaman diberi nutrisi Murashige dan Skoog (MS) sebanyak satu ml per tanaman per hari. Komposisi nutrisi disajikan pada Lampiran 5. Pemberian nutrisi tersebut diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan kangkung dan pakcoy.



Gambar 2 Rancangan akuarium resirkulasi akuarium kontrol, kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Pengamatan dan Analisis Kualitas Air

Analisis kualitas air dilakukan dengan menggunakan prosedur APHA (2012). Parameter kualitas air yang diukur yaitu suhu, pH, DO, nitrat, amonia total, nitrat, dan orthofosfat (Tabel 1). Pengukuran kualitas air dilakukan pada awal sebelum perlakuan dan diukur seminggu sekali selama 35 hari. Pengukuran suhu dan pH dilakukan di akuarium pada pagi hari (pukul 10.00 WIB). Pengukuran DO, amonia total, nitrat, dan ortofosfat dilakukan dengan cara mengambil air contoh pada wadah pemeliharaan sebanyak satu liter dan dilakukan analisis di laboratorium. Nilai amonium (NH_4^+) pada penelitian ini diperoleh dari nilai amonia total (TAN) dikurangi amonia bebas (NH_3) (EPA 2013) (Lampiran 6).

Tabel 1 Metode pengukuran parameter kualitas air

No	Parameter	Satuan	Alat/Metode	Analisis
Fisika				
1	Suhu	$^{\circ}\text{C}$	Termometer/Probe elektroda	<i>In situ</i>
Kimia				
1	pH	-	pH meter/Probe elektroda	<i>In situ</i>
2	DO	mg L^{-1}	Winkler Modifikasi	Laboratorium
3	Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)	mg L^{-1}	Spektrofotometer/Phenate	Laboratorium
4	Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg L^{-1}	Spektrofotometer/Brucine	Laboratorium
5	Orthofospat ($\text{PO}_4\text{-P}$)	mg L^{-1}	Spektrofotometer/ <i>Molybdate ascorbic acid</i>	Laboratorium

Sumber: APHA (2012)

Pemberian pakan dilakukan tiga kali dalam sehari, pukul 08.00–09.00, 12.00–13.00, dan 19.00–20.00 WIB sebanyak 5% dari bobot ikan. Pakan yang diberikan berupa pakan buatan (PF 1000). Pakan yang tersisa dan belum diberikan ke ikan ditimbang dan dicatat setiap hari. Panjang dan bobot ikan diukur satu minggu sekali

sebanyak 30% dari populasi ikan di akuarium. Pengukuran panjang dan bobot ikan dilakukan untuk mengukur pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan ikan. Bobot kangkung dan pakcoy diukur pada awal pengamatan (hari ke-0) dan akhir pengamatan (hari ke-35) menggunakan timbangan digital.

Analisis Data

Persentase penurunan parameter kualitas air

Persentase penurunan parameter kualitas air digunakan untuk menghitung keefektifan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dalam menurunkan nutrisi hasil dekomposisi bahan organik.

$$\% \text{ perubahan} = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a : Nilai awal parameter

b : Nilai akhir parameter

Tingkat kelangsungan hidup ikan (SR)

Tingkat kelangsungan hidup ikan atau *survival rate* (SR) merupakan persentase perbandingan jumlah ikan yang hidup pada akhir pemeliharaan dibandingkan dengan jumlah ikan pada awal tebar. Rumus yang digunakan untuk menghitung SR adalah sebagai berikut (Effendie 2002):

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%$$

Keterangan:

SR : Kelangsungan hidup ikan (%)

N_t : Jumlah ikan yang hidup hari ke-t (ekor)

N_0 : Jumlah ikan yang hidup hari ke-0 (ekor)

Laju konversi pakan (FCR)

Laju konversi pakan merupakan jumlah pakan yang dihabiskan untuk menghasilkan satuan berat ikan. Laju konversi pakan secara matematis dihitung dengan rumus (Goddard 1996):

$$FCR = \frac{\sum F}{B_t + D - B_0}$$

Keterangan:

F : Jumlah total pakan yang dihabiskan (gr)

B_t : Biomassa ikan hari ke-t (gr)

B_0 : Biomassa ikan hari ke-0 (gr)

D : Biomassa ikan yang mati (gr)

Pertumbuhan panjang mutlak

Panjang mutlak dihitung untuk mengetahui pertambahan panjang ikan selama pemeliharaan. Pertumbuhan panjang dan bobot mutlak ikan dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti berikut (Affandi dan Tang 2002):

$$P_m = L_t - L_0$$

Keterangan:

- P_m : Pertambahan panjang mutlak (cm)
 L_t : Panjang rata-rata ikan hari ke-t (cm)
 L_0 : Panjang rata-rata ikan hari ke-0 (cm)

Pertumbuhan bobot mutlak

Bobot mutlak dihitung untuk mengetahui pertambahan bobot ikan selama pemeliharaan. Pertumbuhan panjang dan bobot mutlak ikan dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti berikut (Affandi dan Tang 2002):

$$W_m = W_t - W_0$$

Keterangan:

- B_m : Pertambahan bobot mutlak (gr)
 B_t : Bobot rata-rata ikan hari ke-t (gr)
 B_0 : Bobot rata-rata ikan hari ke-0 (gr)

Laju pertumbuhan spesifik (%)

Laju pertumbuhan harian adalah persentase pertambahan bobot ikan setiap hari dalam persen. Laju pertumbuhan harian diperoleh dari data pengukuran bobot yang dilakukan seminggu sekali selama pengamatan. Laju pertumbuhan harian dihitung dengan rumus (Affandi dan Tang 2002):

$$SGR = \left[\sqrt[t]{\frac{W_t}{W_0}} - 1 \right] \times 100 \%$$

Keterangan:

- SGR : Laju pertumbuhan harian (%)
 W_t : Bobot rata-rata pada hari ke-t (gr)
 W_0 : Bobot rata-rata pada hari ke-0 (gr)
 t : Lama pemeliharaan (hari)

Analisis pertumbuhan kangkung (*Ipomea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Perubahan panjang dan biomassa kangkung (*Ipomea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) merupakan salah satu indikator dari perubahan kualitas air secara biologi. Tanaman mengalami pertumbuhan, sehingga terjadi penambahan panjang dan biomassa setiap minggu. Peningkatan biomassa tanaman air diindikasikan oleh *doubling time*, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menggandakan biomassa. *Doubling time* dapat dihitung dengan pendekatan

pertumbuhan relatif. Rumus yang digunakan sebagaimana dirujuk pada (Mitchell 1974) adalah:

$$RGR = \frac{\ln X_t - \ln X_0}{t}$$

$$DT = \frac{\ln 2}{RGR}$$

Keterangan

RGR : *Relatif growth rate*

X_t : Biomassa kangkung dan pakcoy hari ke-t

X_0 : Biomassa kangkung dan pakcoy hari ke-0

t : Waktu pengamatan (hari)

Analisis statistik

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap *in time* (RAL *in time*). RAL *in time* memiliki faktor percobaan relatif homogen dan waktu pengamatan dipandang sebagai faktor tambahan sebagai rancangan dua faktor dengan pola split-plot (Widiharih 2001). Tujuan dari RAL *in time* untuk mengetahui perlakuan dan waktu pengamatan yang paling berpengaruh terhadap penurunan bahan organik dalam limbah budi daya ikan, menggunakan SAS 9.1.3. Uji pengaruh diperoleh dengan membandingkan nilai F_{hit} dan F_{tab} . Jika $F_{hit} > F_{tab}$, maka tolak H_0 dan ditarik kesimpulan bahwa perlakuan dan/atau waktu pengamatan berpengaruh terhadap kualitas air limbah dan pertumbuhan ikan lele. Jika dalam kesimpulan uji pengaruh yang diambil H_0 ditolak, maka selanjutnya dilakukan uji lanjut untuk menentukan perlakuan dan/atau waktu yang mana yang menyebabkan H_0 ditolak. Uji lanjut yang digunakan, yaitu *Duncan multiple range test* (DMRT) atau uji perbandingan berganda Duncan.

Korelasi Spearman Rank

Uji korelasi spearman rank digunakan untuk mengukur tingkat erat atau tidak hubungan antara dua variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat yang berskala ordinal. Korelasi spearman rank tidak terikat oleh asumsi bahwa populasi yang diukur harus berdistribusi normal. Populasi yang diamati sebagai contoh dapat diubah dari data interval menjadi data ordinal (Natawiria dan Riduwan 2010).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)

Suhu merupakan variabel penting yang berpengaruh terhadap parameter fisika, kimia, dan biologi perairan (Effendi 2003). Suhu selama pengamatan relatif konstan, yaitu berkisar 27-30 $^{\circ}\text{C}$. Hasil uji statistik menunjukkan perubahan suhu

tidak berbeda nyata antar perlakuan ($p>0,05$), tetapi berbeda nyata antar waktu pengamatan ($p<0,05$) (Lampiran 7). Hasil pengukuran suhu selama penelitian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai suhu ($^{\circ}\text{C}$) setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Hari ke-	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)		
	Kontrol ^a	Kangkung ^a	Pakcoy ^a
0 ^d	28,47	28,73	27,73
7 ^c	28,93	29,30	29,13
14 ^{ab}	29,53	29,60	29,67
21 ^a	30,03	30,13	29,70
28 ^{bc}	29,27	29,60	28,97
35 ^{ab}	29,80	29,97	29,73
Rata-rata $\pm$ SD	29,34 $\pm$ 0,58	29,56 $\pm$ 0,5	29,16 $\pm$ 0,77

Huruf superscript yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

pH

Nilai pH menggambarkan ion hidrogen dalam suatu perairan. pH berkaitan erat dengan karbondioksida dan alkalinitas (Effendi 2003). Selama pengamatan, pH air relatif berfluktuasi. Hasil uji statistik menunjukkan perubahan pH tidak berbeda nyata antar perlakuan ($p>0,05$), tetapi berbeda nyata antar waktu pengamatan ($p<0,05$) (Lampiran 8). Hasil pengukuran pH selama penelitian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai pH setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Hari ke-	pH		
	Kontrol ^a	Kangkung ^a	Pakcoy ^a
0 ^b	7,92	7,99	8,04
7 ^a	7,95	8,19	8,16
14 ^b	6,98	7,09	7,07
21 ^b	6,51	6,61	6,65
28 ^b	6,91	7,06	7,02
35 ^b	6,60	7,09	7,04
Rata-rata $\pm$ SD	7,15 $\pm$ 0,64	7,34 $\pm$ 0,61	7,33 $\pm$ 0,62

Huruf superscript yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Oksigen terlarut (DO)

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) merupakan konsentrasi gas oksigen yang terlarut dalam air (Boyd dan Lichtkoppler 1979). Selama pengamatan, oksigen terlarut mengalami penurunan dan konsentrasi oksigen rata-rata tertinggi terdapat pada perlakuan kangkung. Hasil uji statistik menunjukkan penurunan oksigen terlarut berbeda nyata antar perlakuan dan waktu pengamatan ($p>0,05$) (Lampiran 9). Hasil pengukuran oksigen terlarut selama penelitian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai oksigen terlarut setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Hari ke-	Oksigen Terlarut (mg L ⁻¹)		
	Kontrol ^{ab}	Kangkung ^a	Pakcoy ^b
0 ^a	5,21	5,08	5,18
7 ^b	3,72	4,74	3,74
14 ^b	3,23	3,88	3,65
21 ^c	2,62	2,61	1,60
28 ^d	1,31	1,55	1,40
35 ^{cd}	1,63	1,31	0,94
Rata-rata±SD	2,95±1,44	3,19±1,62	2,75±1,68

Huruf superscript yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Amonia total (TAN)

Dekomposisi bahan organik yang mengandung nitrogen di air terukur dalam bentuk amonia total (Effendi 2003). Konsentrasi amonia total berfluktuasi dan terendah terdapat pada perlakuan kangkung. Persentase penurunan amonia pada perlakuan kontrol, kangkung, dan pakcoy berturut-turut adalah 78,89%, 72,81% dan 67,91%. Hasil uji statistik menunjukkan penurunan amonia total tidak berbeda nyata antar perlakuan ($p>0,05$), tetapi berbeda nyata antar waktu pengamatan ($p<0,05$) (Lampiran 10). Hasil pengukuran amonia selama penelitian disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai amonia total setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Hari ke-	Amonia total (mg L ⁻¹)		
	Kontrol ^a	Kangkung ^a	Pakcoy ^a
0 ^a	3,09	2,84	3,94
7 ^d	0,26	0,09	0,10
14 ^d	0,44	0,09	0,06
21 ^{bc}	0,51	0,86	1,62
28 ^b	2,13	1,18	0,99
35 ^{cd}	0,45	0,32	0,32
Rata-rata ± SD	1,15 ± 1,17	0,90 ± 1,05	1,17 ± 1,48

Huruf superscript yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Amonia bebas (NH₃-N)

Amonia bebas (NH₃-N) merupakan bentuk nitrogen yang tidak terionisasi dan toksik terhadap organisme akuatik (Effendi 2003). Selama pengamatan, konsentrasi amonia berfluktuasi. Penurunan konsentrasi tertinggi terjadi pada hari ke-7. Persentase penurunan amonia bebas pada perlakuan kontrol, kangkung, dan pakcoy berturut-turut adalah 89,16%, 93,62% dan 96,62%. Hasil uji statistik menunjukkan penurunan amonia tidak berbeda nyata antar perlakuan ($p>0,05$),

tetapi berbeda nyata antar waktu pengamatan ($p < 0,05$) (Lampiran 11). Hasil pengukuran amonia selama penelitian disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Nilai amonia bebas setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Hari ke-	Amonia bebas (mg L^{-1})		
	Kontrol ^a	Kangkung ^a	Pakcoy ^a
0 ^a	0,1793	0,1651	0,2934
7 ^b	0,0194	0,0105	0,0093
14 ^b	0,0040	0,0008	0,0005
21 ^b	0,0013	0,0060	0,0057
28 ^b	0,0090	0,0119	0,0052
35 ^b	0,0012	0,0034	0,0030
Rata-rata $\pm$ SD	0,0357 $\pm$ 0,0707	0,0330 $\pm$ 0,0649	0,0528 $\pm$ 0,1179

Huruf superscript yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Amonium (NH_4^+)

Amonium merupakan salah satu bentuk nitrogen yang dapat dimanfaatkan langsung oleh tumbuhan (Effendi 2003). Selama pengamatan, konsentrasi amonium mengalami penurunan. Persentase penurunan amonium pada perlakuan kontrol, kangkung, dan pakcoy adalah 70,01%, 78,42%, dan 52,16%. Hasil uji statistik menunjukkan penurunan amonium tidak berbeda nyata antar perlakuan ($p > 0,05$), tetapi berbeda nyata antar waktu pengamatan ($p < 0,05$) (Lampiran 12). Nilai amonium pada penelitian ini disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Nilai amonium setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Hari ke-	Amonium (mg L^{-1})		
	Kontrol ^a	Kangkung ^a	Pakcoy ^a
0 ^a	2.91	2.68	3.64
7 ^c	0.24	0.08	0.09
14 ^c	0.44	0.09	0.06
21 ^b	0.51	1.66	1.61
28 ^b	1.49	1.47	0.66
35 ^c	0.45	0.32	0.31
Rata-rata $\pm$ SD	1,01 $\pm$ 1,03	1,05 $\pm$ 1,06	1,06 $\pm$ 1,39

Huruf superscript yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Nitrat merupakan bentuk utama dari senyawa nitrogen di perairan dan merupakan nutrisi bagi pertumbuhan tanaman dan alga di air (Effendi 2003). Selama pengamatan, konsentrasi nitrat mengalami peningkatan. Persentase peningkatan konsentrasi nitrat pada perlakuan kontrol, kangkung, dan pakcoy adalah 7,14%, 11,63%, dan 7,14%. Hasil uji statistik menunjukkan peningkatan nitrat berbeda nyata antar perlakuan ($p < 0,05$), tetapi tidak berbeda nyata antar

waktu pengamatan ($p>0,05$) (Lampiran 13). Hasil pengukuran nitrat selama penelitian disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai nitrat setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Hari ke-	Nitrat (mg L^{-1})		
	Kontrol ^b	Kangkung ^{ab}	Pakcoy ^a
0 ^a	2,50	2,63	3,03
7 ^a	4,70	3,40	3,27
14 ^a	3,23	3,80	3,43
21 ^a	3,47	4,10	3,77
28 ^a	3,73	4,30	3,50
35 ^a	4,00	4,80	3,73
Rata-rata $\pm$ SD	3,61 $\pm$ 0,74	3,84 $\pm$ 0,76	3,46 $\pm$ 0,28

Huruf superscript yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Ortofosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$)

Ortofosfat merupakan senyawa anorganik terlarut yang dimanfaatkan oleh tumbuhan dan ikan sebagai senyawa esensial untuk pertumbuhan (Effendi 2003). Konstrasi ortofosfat cenderung berfluktuasi selama pengamatan dan konsentrasi rata-rata terendah terdapat pada perlakuan kangkung. Persentase penurunan konsentrasi orthoposfat pada perlakuan kontrol, kangkung dan pakcoy adalah 60,46%, 57,02%, dan 28,16%. Hasil uji statistik menunjukkan penurunan orthofosfat berbeda nyata antar perlakuan dan waktu pengamatan ($p<0,05$) (Lampiran 14). Hasil pengukuran nitrat selama penelitian disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Nilai orthoposfat setiap pengamatan pada perlakuan kontrol, kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Hari ke-	Orthoposfat (mg L^{-1})		
	Kontrol ^{ab}	Kangkung ^a	Pakcoy ^b
0 ^c	0,31	0,21	0,14
7 ^c	0,12	0,35	0,23
14 ^c	0,25	0,37	1,02
21 ^b	0,86	0,71	1,81
28 ^a	2,34	1,29	1,65
35 ^{bc}	0,71	0,55	1,19
Rata-rata $\pm$ SD	0,77 $\pm$ 0,82	0,58 $\pm$ 0,39	1,01 $\pm$ 0,70

Huruf superscrip yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan).

Panjang, bobot, pertumbuhan, tingkat kelangsungan hidup, dan laju konversi pakan ikan lele (*Clarias* sp.)

Tabel 10 menggambarkan panjang dan bobot ikan, laju konversi pakan, tingkat kelangsungan hidup, dan pertumbuhan ikan selama penelitian. Panjang dan bobot awal rata-rata ikan sama pada perlakuan kontrol, kangkung dan pakcoy, yaitu

5 cm dan 1,4-1,5 gr. Namun pada akhir pengamatan diperoleh panjang dan bobot ikan tertinggi pada perlakuan kontrol dan terendah pada perlakuan pakcoy. Laju konversi pakan (FCR) dan tingkat kelangsungan hidup ikan pada perlakuan kangkung lebih baik dibandingkan dengan perlakuan kontrol dan pakcoy. Nilai FCR kecil menunjukkan ikan dapat mengubah protein pakan menjadi protein tubuh secara efisien untuk pertumbuhan.

Pertumbuhan ikan dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas pakan, umur dan kualitas air pemeliharaan. Pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan spesifik ikan pada perlakuan kontrol lebih tinggi dari perlakuan kangkung dan pakcoy. Hasil uji statistik menunjukkan pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan spesifik ikan tidak berbeda nyata antar perlakuan ($p>0,05$), tetapi berbeda nyata antar waktu pengamatan ($p<0,05$) (Lampiran 17 dan Lampiran 18).

Tabel 10 Panjang awal, bobot awal, panjang akhir, bobot akhir, tingkat kelangsungan hidup, laju konversi pakan, pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan spesifik ikan lele (*Clarias sp.*) selama penelitian

Parameter	Perlakuan		
	Kontrol	Kangkung	Pakcoy
Po (cm)	5,34±0,20	5,45±0,15	5,29±0,18
Pt (cm)	10,03±0,32	9,86±0,73	9,73±1,00
Wo (gr)	1,45 ±0,22	1,56±0,08	1,44±0,19
Wt (gr)	8,65±0,89	8,61±1,47	8,10±2,56
SR (%)	89,85±9,77	94,24±1,84	89,85±12,87
FCR	0,85±0,06	0,82±0,02	1,08±0,49
BM	2,98±2,88 ^a	2,92±2,73 ^a	2,63±2,64 ^a
PM	2,20±2,89 ^a	2,09±1,82 ^a	2,06±1,79 ^a
SGR	4,42±2,26 ^a	4,09±2,23 ^a	3,81±2,05 ^a

Po: panjang awal ikan; Pt: panjang akhir ikan; Wo: bobot awal ikan; Wt: bobot akhir ikan; SR: tingkat kelangsungan hidup ikan; FCR: laju konversi pakan; BM: pertumbuhan bobot mutlak; PM: pertumbuhan panjang mutlak; SGR: laju pertumbuhan.

Matrix korelasi parameter kualitas air dan parameter pertumbuhan ikan lele (*Clarias sp.*) selama penelitian

Korelasi parameter kualitas air dan pertumbuhan ikan disajikan pada Tabel 12. Oksigen terlarut berkorelasi erat ($p<0,01$) dengan tingkat kelangsungan hidup ikan, bobot mutlak, dan panjang mutlak. Korelasi tersebut menunjukkan oksigen mempengaruhi laju konversi pakan, metabolisme, pertumbuhan, dan tingkat kelangsungan hidup ikan. Tingkat kelangsungan hidup ikan berkorelasi erat ($p<0,01$) dengan pertumbuhan bobot mutlak dan panjang mutlak. Korelasi tersebut menunjukkan jumlah ikan di akuarium mempengaruhi pertumbuhan ikan. Hal ini diduga karena ada pengaruh dari persaingan makanan, sehingga mempengaruhi pertumbuhan ikan. Panjang mutlak berkorelasi erat ($p<0,01$) dengan bobot mutlak ikan. Hal ini menunjukkan bobot ikan akan meningkat seiring dengan peningkatan panjang ikan.

Pertumbuhan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

Pertumbuhan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) ditunjukkan dari peningkatan biomassa selama 35 hari pengamatan. Pertambahan biomassa kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) ditampilkan pada Tabel 11. Peningkatan biomassa kangkung dan pakcoy dapat digunakan untuk menghitung RGR, kemudian dapat mengetahui *doubling time*. Perbedaan *doubling time* tanaman dipengaruhi oleh perlakuan dan nutrisi. Semakin lama waktu *doubling time* menandakan laju pertumbuhan relatif tanaman semakin lambat. Kangkung mengalami pertumbuhan lebih lambat dari pakcoy yang ditandai dengan DT kangkung lebih lama, yaitu 12 hari.

Tabel 12 Biomassa, *Relative growth rate* (RGR), dan *doubling time* (DT) kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)

No	Perlakuan	Rata - rata biomassa		RGR	DT
		Awal (gr)	Akhir (gr)		
1	Kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>)	0,91	6,46	0,06	12
2	Pakcoy (<i>Brassica rapa chinensis</i>)	0,19	2,65	0,07	9

Pembahasan

Budi daya ikan menghasilkan limbah yang berasal dari feses dan sisa pakan ikan. Akumulasi limbah tersebut di air akan menyebabkan penurunan kualitas air yang berdampak buruk bagi ikan (Stephens dan Farris 2004). Peningkatan kualitas air pemeliharaan dapat dilakukan dengan mengolah air pemeliharaan. Pengolahan air limbah dapat dilakukan secara fisika, kimia, dan biologi atau kombinasi dari proses-proses tersebut (Crab *et al.* 2007). Fitoremediasi dengan resirkulasi adalah pengolahan limbah secara biologi yang merupakan teknologi untuk menurunkan polutan berupa bahan organik, nutrisi, dan logam berat menggunakan tumbuhan (Apriadi *et al.* 2014; Indah *et al.* 2014; EPA 2000). Proses pengurangan polutan dan bahan organik pada fitoremediasi terjadi di dalam media tanaman dan mikroorganisme (EPA 2000). Proses-proses fisika, kimia, dan biologi fitoremediasi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, pH air, dan oksigen terlarut (EPA 2000).

Suhu merupakan faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap proses fitoremediasi, pertumbuhan tanaman, ikan, dan proses dekomposisi bahan organik. Kisaran suhu selama pengamatan masih dapat mendukung pertumbuhan ikan, kangkung, dan mikroorganisme pengurai limbah, yaitu 27-30 °C. Suhu optimum untuk pertumbuhan ikan lele berkisar 25–32 °C (Boyd dan Lichtkoppler 1979). Suhu optimum untuk pertumbuhan kangkung berkisar 25-30 °C (Indah *et al.* 2014). Sebaliknya pakcoy tidak dapat tumbuh dengan baik pada kisaran tersebut. Hal ini karena pakcoy merupakan tanaman introduksi dari subtropis yang bersuhu dingin. Kisaran suhu optimum untuk pertumbuhan pakcoy adalah 18-22 °C (Firmansyah *et al.* 2009).

Nilai pH air berpengaruh terhadap proses dekomposisi bahan organik, proses fitoremediasi, dan pertumbuhan tanaman. Nilai pH selama pengamatan berkisar 6-8. Menurut Tarre dan Green (2004), dekomposisi bahan organik berlangsung baik pada pH 7-8 karena bakteri nitrifikasi sebagai dekomposer dapat tumbuh optimum. pH optimum untuk pertumbuhan ikan adalah 6-9 (Boyd dan Lichtkoppler 1979; Yusuf 2008). Sebaliknya pH optimum untuk pertumbuhan tanaman adalah 5,5-7, karena pada pH tersebut penyerapan unsur hara dapat berlangsung dengan baik (Lestari 2013). Selama pengamatan, pertumbuhan kangkung dan pakcoy termasuk lambat. Hal ini diduga karena pH air lebih tinggi dari pH optimum pertumbuhan tanaman.

Oksigen terlarut dibutuhkan oleh organisme hidup untuk pernafasan, proses metabolisme, dekomposisi bahan organik dan pertumbuhan. Berdasarkan pengamatan konsentrasi oksigen masih dalam rentang cukup untuk pertumbuhan tanaman dan ikan yaitu, berkisar 2,75-3,19 mg L⁻¹. Menurut Sikawa dan Yakupiyiyage (2010), konsentrasi oksigen yang optimum untuk respirasi akar tanaman adalah 2,5 mg L⁻¹. Konsentrasi oksigen dibawah 0,16 mg L⁻¹ akan menyebabkan akar dan daun tanaman layu penyerapan unsur hara tidak optimal (Ginting dan Rakian 2008). Konsentrasi oksigen terlarut optimum untuk pertumbuhan ikan lele adalah >3 mg L⁻¹ (Gross *et al.* 2000; Sikawa dan Yakupiyiyage 2010; Suminto dan Sudaryono 2014). Ikan lele masih mampu hidup pada konsentrasi oksigen <3 mg L⁻¹ karena memiliki alat pernafasan tambahan untuk mengambil oksigen dari udara (Adewolu *et al.* 2008).

Penurunan oksigen terlarut selama pengamatan diduga karena terjadi proses akumulasi feses dan sisa pakan, proses dekomposisi oleh mikroorganisme, pemanfaatan oksigen oleh ikan, dan peningkatan suhu air (Boyd dan Lichtkoppler 1979; Buentello *et al.* 2000). Limbah budidaya ikan berasal dari feses dan sisa pakan terdekomposisi menjadi senyawa anorganik (Effendi *et al.* 2015). Sisa pakan dan feses ikan banyak mengandung nitrogen, sehingga senyawa anorganik yang dihasilkan berupa nitrogen anorganik. Nitrogen anorganik terdiri atas amonia (NH₃), amonium (NH₄⁺), nitrit (NO₂⁻), nitrat (NO₃⁻), dan molekul nitrogen (N₂) (Effendi *et al.* 2015).

Amonia yang terukur di air merupakan bentuk amonia total. Selama pengamatan konsentrasi amonia total berfluktuasi. Penurunan konsentrasi amonia diduga karena terjadi proses nitrifikasi oleh bakteri. Amonia total terdiri atas amonium (NH₄⁺) yang dapat terionisasi dan amonia bebas (NH₃) yang tidak terionisasi. Amonia bebas bersifat lebih toksik terhadap biota akuatik dibandingkan amonium (Crab *et al.* 2007; Effendi 2003). Toksisitas amonia terhadap organisme akuatik meningkat jika terjadi penurunan oksigen terlarut serta peningkatan pH dan suhu air (Effendi 2003). Menurut Wahyuningsih *et al.* (2015) pada pH 7, sebagian besar amonia total akan terionisasi menjadi amonium dan pada pH >8,75, 30% amonia total akan berubah menjadi amonia bebas yang lebih toksik.

Selama pengamatan, konsentrasi amonia berfluktuasi dan masih dalam kisaran baku mutu. Konsentrasi amonia optimum untuk pertumbuhan ikan lele adalah <0,025 mg L⁻¹ (Bhatnagar dan Devi 2013). Konsentrasi amonia lebih dari 0,3 mg L⁻¹ akan menyebabkan stres, nafsu makan menurun, dan kematian ikan (Pitrianingsih *et al.* 2014). Reduksi amonia (NH₃) di air dapat terjadi melalui proses biologi seperti: asimilasi alga dan tumbuhan, dekomposisi oleh bakteri, amonifikasi, nitrifikasi, denitrifikasi, dan aerasi (van Kessel *et al.* 2010; Rijn 2006).

Reduksi amonia melalui proses nitrifikasi terjadi dengan bantuan bakteri *Nitrobacter*. Nitrifikasi merupakan proses oksidasi amonia menjadi amonium, nitrat, dan nitrit yang berlangsung pada kondisi aerob (Crab *et al.* 2007; Rijn *et al.* 2006). Proses nitrifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya substrat dan oksigen terlarut, bahan organik, suhu, pH, alkalinitas, salinitas, dan turbulensi (Crab *et al.* 2007; Hargreaves 1998). Nitrifikasi akan berjalan dengan baik pada oksigen terlarut $>1 \text{ mg L}^{-1}$, suhu $25\text{--}35^\circ\text{C}$ dan pH $7,5\text{--}8,6$, karena pada kisaran tersebut bakteri nitrifikasi dapat tumbuh dengan baik (Crab *et al.* 2007; Hargreaves 1998). Selama pengamatan, oksigen terlarut berkisar $1,31\text{--}5,21 \text{ mg L}^{-1}$, suhu $27\text{--}30^\circ\text{C}$ dan pH $6\text{--}8$, sehingga proses nitrifikasi dapat berjalan dengan baik.

Amonium dan nitrat merupakan bentuk nitrogen yang dapat dimanfaatkan langsung oleh tanaman melalui proses fitoremediasi (Buzby dan Lian Shin 2014; EPA 2000). Nitrat dan amonium diserap oleh tanaman melalui akar sebagai pupuk alami untuk pertumbuhan (Nugroho *et al.* 2012). Oleh sebab itu tidak menyebabkan toksik terhadap organisme akuatik dalam jumlah yang banyak. Penurunan konsentrasi amonium pada pengamatan mengindikasikan tanaman dan alga memanfaatkan amonium yang terbentuk di air. Sebaliknya konsentrasi nitrat cenderung meningkat dari setiap pengamatan. Menurut Effendi *et al.* (2015) tanaman dapat mereduksi amonium lebih cepat dibandingkan nitrat. Peningkatan konsentrasi nitrat selama pengamatan mengindikasikan terjadi proses nitrifikasi amonia oleh bakteri. Namun nitrat yang dihasilkan tidak dimanfaatkan seluruhnya oleh tanaman sehingga terjadi akumulasi di air.

Konsentrasi orthofosfat selama pengamatan cenderung berfluktuasi. Konsentrasi optimum untuk pertumbuhan ikan lele berkisar $0,05\text{--}0,07 \text{ mg L}^{-1}$ (Bhatnagar dan Devi 2013). Fosfor di air berasal dari sisa pakan dan ekskresi ikan (Crab *et al.* 2007). Orthoposfat (PO_4^{3-}) merupakan bentuk anorganik dari fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan dan mikroorganisme (Pitrianingsih *et al.* 2014; Effendi *et al.* 2015). Orthofosfat merupakan senyawa anorganik yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh kangkung dan pakcoy untuk pertumbuhan. Konsentrasi orthofosfat dipengaruhi oleh suhu dan pH. Konsentrasi orthofosfat akan meningkat dengan peningkatan suhu dan penurunan pH (Effendi 2003).

Tingkat kelangsungan hidup ikan lele dengan perlakuan kangkung sebagai fitoremediator yaitu, $94,24\%$, tidak berbeda jauh dengan perlakuan pakcoy dan kontrol, yaitu $89,85\%$. Kelangsungan hidup ikan dipengaruhi oleh berbagai faktor di antaranya kualitas air (oksigen terlarut, amonia, suhu, pH), pakan, umur ikan, lingkungan, dan kondisi kesehatan ikan (Adewolu *et al.* 2008; Mufidah *et al.* 2009). Hal ini sesuai dengan pengamatan dan uji korelasi yang menunjukkan oksigen terlarut berkorelasi dengan kelangsungan hidup ikan lele.

Peningkatan biomassa ikan lele merupakan konversi dari pakan yang diubah menjadi biomassa. Hasil penelitian menunjukkan laju konversi pakan ikan pada perlakuan kangkung lebih kecil dibandingkan dengan perlakuan kontrol dan pakcoy. Nilai FCR kecil menunjukkan ikan dapat mengubah protein pakan menjadi protein tubuh secara efisien untuk pertumbuhan. Menurut Hossain *et al.* (1998), konsumsi pakan oleh ikan lele dipengaruhi oleh bobot tubuh, umur, jenis kelamin, kualitas air, suhu, perubahan cahaya, dan padat tebar ikan.

Ikan lele mengalami pertumbuhan panjang dan bobot setiap pengamatan. Perlakuan kangkung dan pakcoy sebagai fitoremediator tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan spesifik ikan lele. Hasil

penelitian menunjukkan pertumbuhan ikan pada perlakuan kontrol lebih baik dibandingkan dengan perlakuan kangkung dan pakcoy. Penambahan nutrisi tanaman pada perlakuan kangkung dan pakcoy diduga mempengaruhi sistem osmoregulasi ikan. Nutrisi yang ditambahkan termasuk bahan kimia mudah larut dan diangkut masuk ke seluruh jaringan tubuh organisme akuatik. Hal ini menyebabkan stres pada ikan, sehingga pakan yang dimakan tidak digunakan seluruhnya untuk pertumbuhan.

Pertumbuhan tanaman juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, suhu di daerah akar, suhu lingkungan, pH, konsentrasi nutrien, dan jenis tanaman (Buzby dan Lian Shin 2014; Nurkemalasari *et al.* 2013). Berdasarkan pengamatan, tanaman kangkung dan pakcoy tidak maksimal dalam menyerap nutrien dari limbah maupun nutrisi Murishage dan Skoog (MS). Hal ini diduga karena tanaman tidak terkena cahaya matahari secara langsung sehingga fotosintesis tidak berjalan dengan baik. Selain itu akar tanaman juga mengalami pembusukan yang diduga karena penyakit sehingga penyerapan unsur hara dari air tidak maksimal. Akar tanaman dapat menyerap nutrisi dengan baik pada kisaran pH 5,5-7. Oksigen terlarut yang optimal untuk tanaman adalah $>2,5 \text{ mg L}^{-1}$ karena akar membutuhkan oksigen yang cukup untuk respirasi sehingga penyerapan nutrien optimal (Ginting dan Rakian 2008).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) tidak berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi limbah budidaya ikan lele. Perlakuan kangkung efektif dalam meningkatkan tingkat kelangsungan hidup ikan lele dan laju konversi pakan, tetapi tidak efektif meningkatkan pertumbuhan ikan.

Saran

Diperlukan penghitungan konsentrasi nitrit, chemical oxygen demand (COD), waktu retensi kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dalam menyerap limbah, jumlah tanaman yang optimal mereduksi limbah dan penentuan nutrisi tanaman yang baik untuk pertumbuhan tanaman dan ikan lele.

DAFTAR PUSTAKA

- Adewolu MA, Adeniji CA, Adejobi AB. 2008. Feed Utilization, Growth and Survival of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) Fingerlings Cultured Under Different Photoperiods. *Aquaculture*. 283:64-67
- Affandi R, Tang UM. 2002. *Fisiologi hewan Air*. Pekanbaru: UNRI Press

- [APHA] American Public Health Association. 2012. Standard Method for The Examination of Water and Waste Water. Water Pollution Control Federation. Port City (US): APHA.
- Andreeilee BF, Santoso M, Nugroho A. 2014. Pengaruh Jenis Kompos Kotoran Ternak dan Waktu Penyiangan Terhadap Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* sub. *chinesis*) Organik. *Jurnal Produksi Tanaman*. 2(3):190–197.
- Apriadi T, Pratiwi NTM, Hariyadi S. 2014. Fitoremediasi Limbah Budidaya Sidat Menggunakan Filamentous Alge (*Spirogyra* sp.). *Depik*. 3(1):46–55.
- Arief M, Puspitasari I, Kusdarwati R. 2010. Pengaruh Pemberian Beberapa Bakteri Terhadap Kelangsungan Hidup Benih Ikan Lele Dumbo (*Clarias* sp.). *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 2(2):193-198.
- Bhatnagar A, Devi P. 2013. Water Quality Guidelines for The Management of Pond Fish Culture. *International Journal of Environmental Sciences*. 3(6):1980-2009. ISSN:0976-4402.
- Boyd CE, Lichtkoppler. 1979. Water Quality Management in Pond Fish Culture. International Center For Aquaculture. *Agriculture Experimental Station*. USA.
- Buentello AJ, Gatlin III DM, Neill WH. 2000. Effects of Water Temperature and Dissolved Oxygen on Daily Feed Consumption, Feed Utilization And Growth Of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*. 182:339-352.
- Buzby KM, Lian Shin L. 2014. Scaling Aquaphonic Systems: Balancing Plant Uptake with Fish Output. *Aquacultur Engineering*. 63:39-44.
- Ciptanto S. 2010. *Top 10 Ikan Air Tawar, Panduan Lengkap Pembesaran secara Organik di Kolam Airap Kolam Terpal, Karamba, dan Jala Apung*. Yogyakarta: Lyli Publisher.
- Crab R, Avnimelech Y, Defoidt T, Bossier P, Verstraete. 2007. Nitrogen Removal Techniques in Aquaculture for A Sustainable Production. *Aquaculture*. 270:1-14.
- Dibyantoro ALH. 1996. *Rampai-Rampai Kangkung*. Balai Penelitian Tanaman dan Sayuran. p 7.
- [DPP] Directorate Plant Production. 2013. Chinese Cabbage (*Brassica rapa L chinensis*). Departement Agriculture, Forestry and Fisheries republic of South Affrica.
- [EA] Enviromental Agency. 2000. *De-Oxygenation (Practical Shelf-Help for Fishery Owner and Manager)*. (UK): Enviroment agency.
- Effendi H. 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Effendi H, Utomo BA, Darmawangsa GM, Sulaeman N. 2015. Combination of Water Spinach (*Ipomoea aquatica*) and Bakteria for Freshwater Crayfish Red Claw (*Cherax quadricarinatus*) Culture Wastewater Treatment in Aquaponic System. *Journal of Advances Biology*. 6(3): 1072-1078. ISSN 2347-6893. Phytoremediation
- Effendi H, Utomo BA, Darmawangsa GM. 2015. Phytoremediation of Freshwater Crayfish (*Cherax quadricarinatus*) Culture Wastewater with Spinach (*Ipomoea aquatica*) in Aquaponic System. *Aquaculture, Aquarium,*

- Conservation and Legislation International Journal of the Bioflux Society*. 8(3): 421-430.
- Effendi H, Utomo BA, Darmawangsa GM, Hanafiah DA. 2015. Wastewater Treatment of Freshwater Crayfish (*Cherax quadricarinatus*) Culture with Lettuce (*Lactuca sativa*). *International Journal of Applied Environmental Sciences*. 10(1): 409-420. ISSN 0973-6077.
- Effendie M. 2002. *Biologi Perikanan*. Yogyakarta: Yayasan Pustaka Nusantara.
- EPA [Environmental Protection Agency]. 2013. *Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Ammonia – Freshwater*. Washington: EPA
- EPA [Environmental Protection Agency]. 2000. *Introduction to Phytoremediation*. Washington: EPA.
- Firmansyah F, Anggo TM, Akyas A. 2009. Pengaruh Umur Pindah Tanam Bibit dan Populasi Tanaman Terhadap Hasil dan Kualitas Sayuran Pakcoy (*Brassica Compestris* L., Chinensis group) Yang Ditanam Dalam Naungan Kasa di Dataran Medium. *Jurnal Agriculture*. 20(3):216-224.
- Ginting C, Rakian TC. 2008. Hidroponik: Pertanian Masa Depan Untuk Masyarakat Perkotaan. *Warta-WPTEK*. 16:1-5. ISSN:0854-0667.
- Goddard S. 1996. *Feed Management in Intensive Aquaculture*. Chapman and Hall. New York (US). P 194.
- Gross A, Boyd CE, Wood CW. 2000. Nitrogen Transformations and Balanced in Channel Catfish Ponds. *Aquacultural Engineering*. 24:1-14.
- Hadiyanto, Christwardana M. 2012. Aplikasi Fitoremediasi Limbah Jamu dan Pemanfaatannya Untuk Produksi Protein. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 10(1):32-37. ISSN:1829-8907.
- Hargreaves JA. 1998. Nitrogen Biogeochemistry of Aquaculture Ponds. *Aquaculture*. 166:181-212.
- Hossain MAR, Beveridge MCM, Haylor GS. 1998. The Effects of Density, Light and Shelter on The Growth and Survival of African Catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) Fingerlings. *Aquaculture*. 160:251-258.
- Indah LS, Hendarto B, Soedarsono P. 2014. Kemampuan Eceng Gondok (*Eichhornia* sp.), Kangkung Air (*Ipomoea* sp.), dan Kayu Apu (*Pistia* sp.) dalam Menurunkan Bahan Organik Limbah Industri Tahu (Skala Laboratorium). *Diponegoro Journal Of Maquares*. 3(1):1-6.
- Lestari W. 2013. Penggunaan *Ipomoea Aquatica* Forsk. Untuk Fitoremediasi Limbah Ruman Tangga. Semirata 2013 FMIPA Universitas Lampung. Lampung, Indonesia. Hlm 441-446.
- McGee M, Circha C. 2000. Principles of Water Recirculation and Filtration in Aquaculture. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida.
- Mitchell DS. 1974. *Aquatic Vegetation and Its Use and Control*. Paris(FR): UNESCO
- Mufidah NBW, Rahardja BS, Satyantini WH. 2009. Pengkayaan *Daphnia* spp. Dengan Viterna Terhadap Kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan Larva Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*). *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*. 1(1):59-65.
- Natawiria HAS, Riduwan. 2010. *Statistika Bisnis*. Bandung: Alfabeta.
- Nugroho RA, Pembudi LT, Chilmawati D, Haditomo AHC. Aplikasi Teknologi

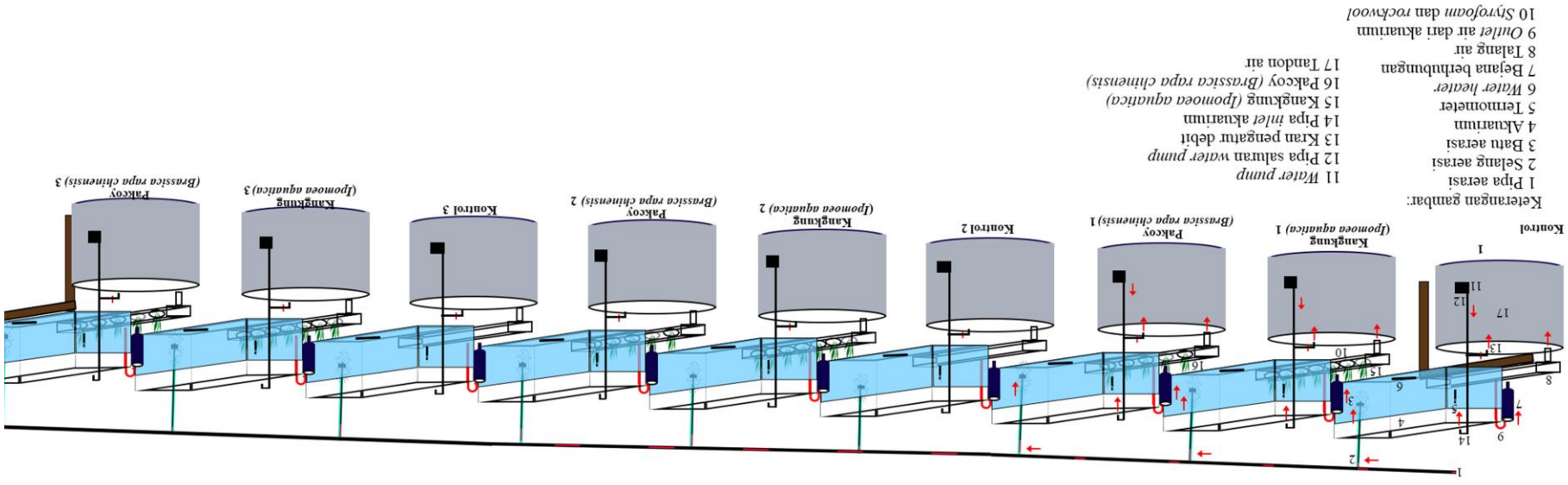
- Aquaponik Pada Budidaya Air Tawar Untuk Optimalisasi Kapasitas Produksi. *Jurnal Saintek Perikanan*. 8(1):46-51.
- Nurkemalasari R, Sutisna M, Wradhani E. 2013. Fitoremediasi Limbah Cair dengan Menggunakan Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*). *Reka Lingkungan*. 1(2):1-12.
- Paz-Alberto AM, Sigua GC. 2013. Phytoremediation: A Green Technology to Remove Enviromental Pollutans. *American Journal of Climate Change*. 2:71-86.
- Pitrianingsih C, Suminto, Sarjito. 2014. Pengaruh Bakteri Kandidat Probiotik Terhadap Perubahan Kandungan Nutrien C, N, P dan K Media Kultur Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*). *Journal of Aquaculture Management and Technology*. 3(4):247-256.
- Rijn JV, Tal Y, Schreier HJ. 2006. Denitrification in Recirculation System: Theory and Aplication. *Aquacultur Enginering*. 34:364-376.
- Rosita E, Melani WR, Zulfikar A. 2011. Efektivitas Fitoremediasi Kangkung Air (*Ipomoea aquatic* forsk) Terhadap Penyerapan Orthofosfat Pada Detergen Ditinjau Dari Detensi Waktu dan Konsentrasi Orthofosfat. Universitas Maritime Raja Ali
- Sikawa DC, Yakupiyiyage A. 2010. The Hydroponic Production of Lettuce (*Lactuca sativa* L) by Using Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *C.gariephinus*) Pond Water: Potentials and Constraints. *Agriculture Water Management*. 97:1317-1325.
- Stephens WW, Farris JL. 2044. A Biomonitoring Approach to Aquaculture Effeluent Characterization in Channel Catfish Fingerling Production. *Aquaculture*. 204:319-330.
- Suminto SCP, Sudaryono A. 2014. Gambaran Profil Darah Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) yang Diberi Pakan dengan Kombinasi Pakan Buatan Dan Cacing Tanah (*Lumbriculus rubellus*). *Journal Of Aquaculture*.
- Tarre S, Green M. 2004. High Rate Nitrification at Low pH in Suspended and Attached Biomass Reactor. *Applied and Environmental Microbiology* 70(11):6481-6487.
- van Kessel MAHJ, Harhangi H, van de Pas-Schoonen K, van de Vossenberg J, Flik G, Jetten MSM, op den Camp HJM. 2010. Biodiversity of N-cycle Bacteria in Nitrogen Removing Moving Bed Biofilters Freshwater Recirculating Aquaculture System. *Aquaculture*. 306:177-184.
- Viella S. 2003. Manual on Effluent Treatment in Aquaculture: Science and Practic. *Aquaetreat*.
- Wahyuningsih S, Effendi H, Wardiatno Y. 2015. Nitrogen Removal of Aquaculture Wastewater in Aquaponic Recirculation System. *Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation International Journal of the Bioflux Society*. 8(4): 491-499.
- Wibowo S, Asriyanti AS. 2013. Aplikasi Hidroponik NFT pada Budidaya Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 13(3):159-167.
- Widiharih T. 2001. Analaisis Ragam Multivariat Untuk Rancangan Acak Lengkap Pengamatan Berulang. *Jurnal Matematika dan Komputer*. 4(3):139-150. ISSN:1410-8518.
- Yanong RPE. 2012. Fish Health Management Consideration in Recirculating

Aquaculture System – part 1: Introduction and General Principles. Intitute of Food and Agricultural Aciences. University of Florida.

Yusuf G. 2008. Bioremediasi Limbah Rumah Tangga dengan Sistem Simulasi Tanaman Air. *Jurnal Bumi Lestari*. 8(2):136-144.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan sistem resirkulasi akuarium pada penelitian



Lampiran 2 Wadah pemeliharaan ikan lele (*Clarias sp.*) dan tanaman kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)



Lampiran 3 Kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*)



Lampiran 4 Ikan lele (*Clarias sp.*)



Lampiran 5 Komposisi media Murashige dan Skoog (MS)

Bahan kimia	Konsentrasi media (mg L ⁻¹)
NH ₄ NO ₃	1 650
KNO ₃	1 900
CaCl ₂ .2H ₂ O	440
MgSO ₄ .7H ₂ O	370
KH ₂ PO ₄	170
MnSO ₄ .4H ₂ O	22,3
ZnSO ₄ .7H ₂ O	8,6
H ₃ BO ₃	6,2
KI	0,83
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,25
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,025
CoCl ₂ .6H ₂ O	0,025
Myo-Inositol	100
Niasin	0,5
Piridoksin-HCl	0,5
Tiamin-HCl	0,1
Glisin	2
Sukrosa	30 0000
BAP (hormon tunas dan akar)	1

Lampiran 6 Nilai amonia bebas (NH₃) dan amonium (NH₄⁺)

$$\text{Amonia bebas (NH}_3\text{)} = \frac{\text{TAN}}{1 + \text{antilog (pKa - pH)}}$$

$$\text{Amonium (NH}_4^+\text{)} = \text{TAN} - \text{Amonia bebas (NH}_3\text{)}$$

dengan :

Suhu (°C)	15	20	24	25	26	27	28	29	30	31	32
pKa	9,56	9,40	9,27	9,24	9,21	9,18	9,15	9,12	9,09	9,06	9,03

Lampiran 7 Hasil uji statistik suhu (°C)

R ²	CV	SB Galat	Rata-rata respon		
0,5884	2,0714	0,6079	29,3500		

Sumber	db	JK	KT	Fhit	Pr>F
Perlakuan	2	1,4433	0,7217	1,95	0,1567
Waktu	5	16,1927	3,2386	8,76	<,0001
Perlakuan*Waktu	10	1,3922	0,1392	0,38	0,9488

Uji lanjut

a Faktor waktu pengamatan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan					
Pengamatan Duncan			Rata-rata	Waktu	
	A		29,9556	21	
B	A		29,8333	35	
B	A	C	29,6000	14	
B		C	29,2778	28	
		C	29,1222	7	
	D		28,3111	0	

Lampiran 8 Hasil uji statistik pH

R ²	CV	SB Galat	Rata-rata respon		
0,6033	9,0136	0,6485	7,1955		

Sumber	db	JK	KT	Fhit	Pr>F
Perlakuan	2	2,0673	1,0336	2,46	0,099
Waktu	5	10,3308	2,0661	4,91	0,0016
Perlakuan*Waktu	10	10,6399	1,0639	2,53	0,0201

Uji lanjut

a. Faktor waktu pengamatan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan					
Pengamatan Duncan			Rata-rata	Waktu	
	A		8,0800	7	
	B		7,2633	14	
	B		7,2233	0	
	B		6,9990	35	
	B		6,8900	28	
	B		6,7178	21	

Lampiran 9 Hasil uji statistik oksigen terlarut

R ²	CV	SB Galat	Rata-rata respon		
0,8739	22,5578	0,6962	3,0867		

Sumber	db	JK	KT	Fhit	Pr>F
Perlakuan	2	3,0432	1,5216	3,14	0,0579
Waktu	5	93,1765	18,6353	38,44	<,0001
Perlakuan*Waktu	10	4,5918	0,4591	0,95	0,5066

Uji lanjut

a Faktor perlakuan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan					
Pengamatan Duncan			Rata-rata	Perlakuan	
	A		3,4250	Kangkung	
B	A		3,0419	Kontrol	
B			2,8031	Pakcoy	

b Faktor waktu pengamatan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan			
Pengamatan Duncan		Rata-rata	Waktu
	A	5,1578	0
	B	4,1063	7
	B	3,6313	14
	C	2,2325	21
D	C	1,5357	35
D		1,4038	28

Lampiran 10 Hasil uji statistik amonia total (TAN)

R ²	CV	SB Galat	Rata-rata respon
0,8320	65,6867	0,6706	1,0210

Sumber	Db	JK	KT	Fhit	Pr>F
Perlakuan	2	0,4554	0,2277	0,51	0,6075
Waktu	5	63,2813	12,6562	28,14	<,0001
Perlakuan*Waktu	10	7,5694	0,7569	1,68	0,1282

Uji lanjut

a Faktor waktu pengamatan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan			
Pengamatan Duncan		Rata-rata	Waktu
	A	3,2889	0
	B	1,1650	28
C	B	1,0113	21
C	D	0,3611	35
	D	0,1956	14
	D	0,1511	7

Lampiran 11 Hasil uji statistik amonia bebas (NH₃-N)

R ²	CV	SB Galat	Rata-rata respon
0,8636	98,3498	0,03915	0,0398

Sumber	Db	JK	KT	Fhit	Pr>F
Perlakuan	2	0,0042	0,0021	1,40	0,2598
Waktu	5	0,3183	0,0636	41,52	<,0001
Perlakuan*Waktu	10	0,0268	0,0027	1,75	0,1064

Uji lanjut

a Faktor waktu pengamatan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan			
Pengamatan Duncan	Rata-rata	Waktu	
A	0,2111	0	
B	0,0155	7	
B	0,0077	28	
B	0,0033	21	
B	0,0011	14	
B	0,0000	35	

Lampiran 12 Hasil uji statistik amonium (NH_4^+)

R^2	CV	SB Galat	Rata-rata respon
0,7422	74,3318	0,7719	1,0385

Sumber	Db	JK	KT	Fhit	Pr>F
Perlakuan	2	0,0312	0,0156	0,03	0,9742
Waktu	5	55,9841	11,1968	18,79	<,0001
Perlakuan*Waktu	10	5,7572	0,5757	0,97	0,4885

Uji lanjut

a Faktor waktu pengamatan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan			
Pengamatan Duncan	Rata-rata	Waktu	
A	3,0767	0	
B	1,2589	21	
B	1,2067	28	
C	0,3589	35	
C	0,1933	14	
C	0,1367	7	

Lampiran 13 Hasil uji statistik nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)

R^2	CV	SB Galat	Rata-rata respon
0,4470	30,6196	1,1069	3,6150

Sumber	Db	JK	KT	Fhit	Pr>F
Perlakuan	2	8,3735	4,1867	3,42	0,0500
Waktu	5	10,9091	2,1818	1,78	0,1585
Perlakuan*Waktu	10	2,5132	0,2513	0,21	0,9935

a Faktor perlakuan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan			
Pengamatan Duncan	Rata-rata	Waktu	
A	4,0400	Pakcoy	
B	3,7462	Kangkung	
B	2,9417	Kontrol	

Lampiran 14 Hasil uji statistik orthofosfat (PO₄-P)

R ²	CV	SB Galat	Rata-rata respon		
0,7423	63,4344	0,4779			0,7534

Sumber	db	JK	KT	Fhit	Pr > F
Perlakuan	2	2,1238	1,0619	4,65	0,0192
Waktu	5	11,3545	2,2709	9,94	<,0001
Perlakuan*Waktu	10	2,9769	0,2976	1,30	0,2817

Uji lanjut

a Faktor perlakuan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan			
Pengamatan Duncan		Rata-rata	Waktu
	A	1,1906	Kangkung
B	A	0,6033	Kontrol
B		0,5733	Pakcoy

b Faktor waktu pengamatan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan			
Pengamatan Duncan		Rata-rata	Waktu
	A	1,7609	28
	B	1,2252	21
C	B	0,7726	35
C		0,5240	14
C		0,2335	7
C		0,2199	0

Lampiran 15 Survival rate (SR) ikan lele (*Clarias* sp.)

Hari ke-	Kontrol	Kangkung	Pakcoy
0	100,00	100,00	100,00
7	99,09	99,39	98,48
14	98,03	98,18	96,36
21	92,88	96,06	94,24
28	91,97	95,30	91,36
35	89,85	94,24	89,85

Lampiran 16 Laju konversi pakan (FCR) ikan lele (*Clarias* sp.)

Perlakuan	ulangan			rata-rata	SD
	1	2	3		
Kontrol	0,77	0,87	0,90	0,85	0,06
Kangkung	0,85	0,81	0,82	0,82	0,02
Pakcoy	0,84	0,75	1,64	1,08	0,49

Lampiran 17 Hasil uji statistik pertumbuhan mutlak ikan lele (*Clarias sp.*)a Pertumbuhan bobot mutlak ikan lele (*Clarias sp.*)

R ²	CV	SB Galat	Rata-rata respon
0,9041	35,7218	0,9857	2,7596

Sumber	Db	JK	KT	Fhit	Pr>F
Perlakuan	2	1,3237	0,6618	0,68	0,5125
Waktu	5	327,5275	65,5055	67,41	<,0001
Perlakuan*Waktu	10	1,0244	0,1024	0,11	0,9997

Uji lanjut

b Faktor waktu pengamatan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan

Pengamatan Duncan	Rata-rata	Waktu
A	6,8067	35
B	4,9544	28
C	3,0000	21
D	1,4433	14
E	0,3533	7
E	0,0000	0

c Pertumbuhan panjang mutlak ikan lele (*Clarias sp.*)

R ²	CV	SB Galat	Rata-rata respon
0,9331	25,8241	0,5339	2,0675

Sumber	Db	JK	KT	Fhit	Pr>F
Perlakuan	2	0,5929	0,2964	1,04	0,3639
Waktu	5	141,8676	28,3735	99,52	<,0001
Perlakuan*Waktu	10	0,8445	0,0844	0,30	0,9776

Uji lanjut

a Faktor waktu pengamatan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan

Pengamatan Duncan	Rata-rata	Waktu
A	4,4844	35
B	3,5389	28
C	2,6233	21
D	1,2978	14
E	0,4611	7
E	0,0000	0

Lampiran 18 Hasil uji statistik laju pertumbuhan spesifik ikan lele (*Clarias* sp.)

R ²	CV	SB Galat	Rata-rata respon
0,8741	22,7924	0,9004	3,9507

Sumber	Db	JK	KT	Fhit	Pr>F
Perlakuan	2	2,2941	1,1470	1,41	0,2562
Waktu	5	199,4407	39,8881	49,19	<,0001
Perlakuan*Waktu	10	1,1008	0,1100	0,14	0,9990

Uji lanjut

a Faktor waktu pengamatan

Huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan

Pengamatan Duncan	Rata-rata	Waktu
A	5,3411	21
A	5,3356	28
A	4,9867	35
A	4,9200	14
B	3,1211	7
C	0,0000	0

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lau Perimbon pada tanggal 23 April 1993 dari ayah Cinta Karo–Karo dan ibu Rosni Br Gnting. Penulis adalah anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis mulai mengikuti pendidikan sekolah dasar di SDN Lau Perimbon dan lulus pada tahun 2005. Melanjutkan di SMP ASISI Tigabinanga dan lulus pada tahun 2008 serta dilanjutkan di SMA ST Thomas 1 Medan dan lulus pada tahun 2011. Penulis lulus seleksi menjadi mahasiswa di Institut Pertanian Bogor melalui jalur Undangan pada tahun 2011 sebagai mahasiswa Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

Kegiatan di luar akademik, penulis aktif dalam Persekutuan Mahasiswa Kristen IPB dan Komisi Pelayanan Anak PMK IPB. Selama mengikuti perkuliahan penulis berkesempatan menjadi Asisten mata Kuliah Metode Statistika (2013–2014) dan Metode Kuantitatif (2014). Penulis berkesempatan mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa yang didanai Dikti, yaitu PKM-M dengan judul *Community Based Resource Management : Revitalisasi Pengelolaan Sumber Mata Air Untuk Meningkatkan Kemandirian Masyarakat Desa Cihideung Udik, Kecamatan Ciampea, Kabupaten Bogor* dan meraih juara tiga pada PIMNAS 27 di Semarang kategori presentasi poster pada tahun 2014. Serta PKMP dengan judul *Fitoremediasi Tumbuhan Air Mayaca fluviatilis Sebagai Pengolah Limbah Budidaya Ikan Gurame (Osphronemus gouramy) dan Ikan Lele (Clarias Sp.) dengan Teknologi Recirculating Aqua -Culture System* pada tahun 2015.

Untuk menyelesaikan studi di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, penulis melaksanakan penelitian yang berjudul “Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Lele (*Clarias* sp.) dengan Kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dalam Sistem Resirkulasi”.