

## **EFEKTIVITAS SISTEM AKUAPONIK DALAM MEREDUKSI AMONIA PADA BUDIDAYA IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*)**

### ***Effectiveness of Aquaponic Systems to Reduce Ammonia in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Culture***

**Muh. Wahyu Hidayah, Septina F. Mangitung, Rusaini**

Akuakultur, Fakultas Peternakan dan Perikanan, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia.  
Email: [wahyuhidayah171@gmail.com](mailto:wahyuhidayah171@gmail.com)

#### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem akuaponik yang menggunakan jumlah rumpun tanaman kangkung (*Ipomea aquatica*) berbeda dalam menyerap amonia pada budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Penelitian ini menggunakan didesain Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan dan 4 ulangan yaitu Perlakuan A (tanpa kangkung), B (3 rumpun kangkung), C (6 rumpun kangkung), D (9 rumpun kangkung) dan E (12 rumpun kangkung). Penelitian ini dilaksanakan selama 60 hari pada bulan November-Desember 2018 bertempat di Laboratorium Reproduksi Ikan, Universitas Brawijaya, Malang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jumlah rumpun kangkung yang berbeda pada sistem akuaponik berpengaruh nyata ( $P < 0,05$ ) terhadap reduksi konsentrasi amonia dan nitrit, tetapi tidak berpengaruh nyata ( $P > 0,05$ ) terhadap penurunan konsentrasi nitrat dalam media pemeliharaan dan pertumbuhan mutlak ikan nila. Konsentrasi reduksi amonia dan nitrit tertinggi terdapat pada perlakuan 12 rumpun kangkung, masing-masing sebesar 84,31% dan 69,88%.

Kata kunci: Reduksi, kangkung air, akuaponik, amonia.

#### **ABSTRACT**

*This study aims to determine the ability of an aquaponic system that uses different numbers of clumps of water spinach (*Ipomea aquatica*) to absorb ammonia in tilapia (*Oreochromis niloticus*) aquaculture. This study used a completely randomized design (CRD) with five treatments and four replications, namely treatment A (without water spinach), B (3 clumps of water spinach), C (6 clumps of water spinach), D (9 clumps of water spinach), and E (12 clumps of water spinach). This research was conducted for 60 days in November-December 2018 at the Fish Reproduction Laboratory, Brawijaya University, Malang. The results showed that the use of different clumps of water spinach in the aquaponics system had a significant effect ( $P < 0.05$ ) on the reduction of ammonia and nitrite concentrations but had no significant effect ( $P > 0.05$ ) on the reduction of nitrate concentration in the maintenance medium and absolute growth of tilapia. The highest concentrations of ammonia and nitrite reduction were found in the treatment of 12 clumps of kale, 84.31%, and 69.88%, respectively.*

*Keywords: Reduction, water spinach, aquaponics, ammonia.*

## PENDAHULUAN

Permasalahan utama pada usaha akuakultur sistem intensif adalah penurunan kualitas air yang disebabkan oleh tingginya akumulasi limbah budidaya. Padat penebaran dan dosis pakan yang tinggi berdampak pada akumulasi buangan metabolit dan sisa pakan (Sidik *et al.*, 2002) yang tidak termakan dan mengendap di dasar kolam sehingga menyebabkan terbentuknya amonia (Pillay, 2004). Amonia terionisasi atau ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) tidak beracun, tetapi amonia tidak terionisasi ( $\text{NH}_3$ ) beracun bagi ikan (Downing dan Merkens, 1955). Kadar toksik  $\text{NH}_3$ , untuk paparan jangka pendek biasanya berkisar antara 0,6 dan 2,0 mg/L (EIFAC, 1973 dalam Pillay, 2004). Menurut Masser *et al.* (1999) umumnya untuk mempertahankan kualitas air yang baik, volume air yang kaya nitrogen diganti dengan air baru sebanyak 5-10% setiap hari. Tetapi, Hu *et al.* (2015) menjelaskan bahwa hal tersebut hanya akan meningkatkan konsumsi air dan air yang dibuang ke ekosistem akan menyebabkan eutrofikasi.

Akuaponik dapat mereduksi amonia dengan menyerap air limbah melalui akar tanaman (Dauhan *et al.*, 2014) dan mengubah amonia menjadi nitrat melalui proses oksidasi (Hu *et al.*, 2015). Tanaman dapat memberikan peran biofiltrasi dengan menyerap amonium, sedangkan bakteri nitrifikasi memberikan peran ganda dengan mengurangi konsentrasi amonia melalui oksidasi, dan mengkonversi amonia menjadi nitrat yang dibutuhkan tanaman (Tyson *et al.*, 2011).

Tanaman yang digunakan dalam akuaponik sebaiknya memiliki nilai ekonomis, misal bayam merah, bayam hijau, selada, dan kangkung (Ratanannda, 2011). Penelitian yang dilakukan oleh Endut *et al.* (2010) menunjukkan bahwa persentase penghapusan total amonia nitrogen (TAN) dan nitrit melebihi 50% pada sistem resirkulasi akuaponik yang menggunakan tanaman kangkung (*Ipomea aquatica*).

Ikan tilapia seperti ikan nila (*Oreochromis niloticus*) memiliki tingkat toleransi yang baik terhadap kondisi air yang berfluktuasi dan banyak diadaptasikan pada sistem resirkulasi, serta memiliki nilai ekonomis yang tinggi (Diver, 2010) sehingga digunakan dalam penelitian ini. Penelitian dilakukan untuk menilai efektivitas sistem akuaponik dalam mereduksi kadar amonia pada budidaya ikan nila dalam mengurangi jumlah kadar amonia yang dapat menurunkan produktivitas budidaya.

## BAHAN DAN METODE

### Organisme Uji

Organisme uji yang digunakan pada penelitian ini adalah benih ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang berukuran bobot rata-rata  $2,48 \pm 0,74$  g dan panjang rata-rata  $5,12 \pm 1,10$  cm. Benih ikan nila diperoleh dari Laboratorium UPT Air Tawar Sumber Pasir, Universitas Brawijaya.

### Prosedur Penelitian

Konstruksi sistem percobaan terdiri dari kombinasi bak pemeliharaan ikan dan wadah hidroponik. Wadah pemeliharaan ikan menggunakan akuarium berukuran  $50 \times 25 \times 30$  cm<sup>3</sup> dengan volume air sebanyak 30 L. Wadah hidroponik menggunakan wadah plastik berukuran  $42 \times 26 \times 12$  cm<sup>3</sup>. Wadah plastik digunakan untuk menanam kangkung serta mengalirkan air ke akuarium. Air limbah dari akuarium pemeliharaan ikan dialirkan menggunakan pompa ke wadah plastik yang telah ditanami kangkung (*Ipomoea aquatica*), kemudian dialirkan kembali ke akuarium.

Penyemaian kangkung dilakukan selama satu minggu pada media air. Kangkung ditanam di talang air menggunakan pot-pot hidroponik, dengan menggunakan sistem deep flow technique (DFT). Kepadatan pemeliharaan ikan nila yaitu 1 ekor/L. Ikan diaklimatisasi selama 3 hari dan diberi pellet komersial agar terjadi akumulasi nutrisi untuk mengaktifkan bakteri dan menyediakan nutrisi yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Pengukuran bobot dan panjang ikan dilakukan tiap 10 hari dengan mengambil sampel pada setiap wadah budidaya. Kangkung ditanam sesuai dengan perlakuan dan bobot tanaman diukur tiap 10 hari menggunakan timbangan digital. Parameter kualitas air yang diukur yaitu suhu, pH, DO, dan ammonia (Tabel 1).

Tabel 1. Parameter kualitas air yang diamati

No.	Parameter	Alat ukur	Waktu pengamatan
1.	Suhu	Thermometer Hg	Awal, tengah dan akhir
2.	Derajat keasaman (pH)	pH meter	Awal, tengah dan akhir
3.	Oksigen terlarut (DO)	DO meter	Awal dan akhir
4.	Amonia (NH <sub>3</sub> )	Titrimetri	Awal dan akhir

### Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan adalah rancangan acak lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan dan 4 kali ulangan. Perlakuan yang digunakan adalah perbedaan jumlah rumpun tanaman kangkung. Masing-masing rumpun tanaman terdiri dari 3 batang kangkung. Adapun perlakuan yang digunakan yaitu:

Perlakuan A : tanpa menggunakan tanaman kangkung (kontrol).

Perlakuan B : tanaman kangkung dengan jumlah 3 rumpun.

Perlakuan C : tanaman kangkung dengan jumlah 6 rumpun.

Perlakuan D : tanaman kangkung dengan jumlah 9 rumpun.

Perlakuan E : tanaman kangkung dengan jumlah 12 rumpun.

### Peubah yang Diamati

Pengukuran amonia total, nitrit dan nitrat, dilakukan tiap 10 hari selama penelitian dengan menggunakan prosedur *American Public Health Assosiation* (APHA) (2012). Persentase penurunan variabel kualitas air digunakan untuk menghitung keefektifan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dalam menurunkan nutrisi hasil dekomposisi bahan organik (Karo-Karo, 2016) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

a = Nilai awal parameter

b = Nilai akhir parameter

Pertumbuhan bobot mutlak dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$W = W_t - W_0$$

Dimana:

W = Pertumbuhan bobot mutlak (g)

W<sub>t</sub> = Bobot benih akhir pemeliharaan (g)

$W_0$  = Bobot benih awal pemeliharaan (g)

Pertumbuhan panjang mutlak ikan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{P}_m = \bar{L}_t - \bar{L}_0$$

Dimana:

$\bar{P}_m$  = Pertambahan panjang mutlak (cm)

$\bar{L}_t$  = Panjang rata-rata ikan hari ke-t (cm)

$\bar{L}_0$  = Panjang rata-rata ikan hari ke-0 (cm)

Kelangsungan hidup dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

SR = Tingkat kelangsungan hidup (%)

$N_t$  = Jumlah ikan yang hidup pada akhir pemeliharaan (ekor)

$N_0$  = Jumlah ikan pada awal pemeliharaan

Doubling time dihitung dengan pendekatan pertumbuhan relatif menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

RGR = *Relatif growth rate*

$X_t$  = Biomassa kangkung hari ke-t

$X_0$  = Biomassa kangkung hari ke-0

t = Waktu pengamatan (hari)

## Analisis Data

Data reduksi amonia, nitrit, dan nitrat, pertumbuhan bobot dan panjang mutlak ikan nila dan kangkung diolah menggunakan microsoft Excel 2010 dan Minitab 16. Apabila dalam analisis ragam diperoleh pengaruh perlakuan, maka akan dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan. Sedangkan kelangsungan hidup dan kualitas air dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel atau gambar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Reduksi Amonia, Nitrat, dan Nitrit

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi reduksi amonia, nitrit, dan nitrat pada sistem akuaponik dengan menggunakan tanaman kangkung. Persentase reduksi amonia media budidaya ikan nila pada setiap perlakuan berkisar antara -73,91-84,31%. Nilai tertinggi dicapai pada perlakuan E (12 rumpun) sebesar 84,31%, sedangkan nilai terendah pada perlakuan A (tanpa kangkung) sebesar -73,91% (terjadi peningkatan konsentrasi amonia sebesar 73,91%) (Tabel 2). Persentase reduksi nitrit menunjukkan seberapa besar

nitrit yang direduksi oleh sistem akuaponik. Semakin tinggi persentase reduksi nitrit, semakin rendah konsentrasi nitrit pada media budidaya ikan. Hasil penelitian menunjukkan persentase reduksi nitrit berkisar antara -66,99-69,88%. Nilai reduksi nitrit tertinggi dicapai pada perlakuan E (12 rumpun) sebesar 69,88%, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan A (tanpa kangkung) sebesar -66,99% (terjadi penambahan konsentrasi nitrit sebesar 66,99%) (Tabel 2).

Nitrit selanjutnya akan dioksidasi oleh bakteri *Nitrobacter* menghasilkan nitrat. Nitrat menjadi produk akhir dari siklus nitrogen, dan relatif tidak berbahaya bagi ikan, serta dibutuhkan oleh tanaman dan fitoplankton. Persentase reduksi nitrat berkisar antara -782,43 dan -289,86%. Nilai reduksi tertinggi dicapai pada perlakuan D (9 rumpun) sebesar -289,86%, sedangkan nilai terendah reduksi nitrat pada perlakuan A (tanpa kangkung) sebesar -782,43% (Tabel 2).

Tabel 2. Persentase reduksi amonia, nitrit, dan nitrat

No.	Parameter	Perlakuan	Konsentrasi (mg/L)		Reduksi %
			Awal	Akhir	
1.	Amonia	A	0,014	0,178	-73,91 <sup>c</sup>
		B	0,189	0,159	15,94 <sup>b</sup>
		C	0,141	0,087	36,60 <sup>b</sup>
		D	0,139	0,083	39,69 <sup>b</sup>
		E	0,149	0,022	84,31 <sup>a</sup>
2.	Nitrit	A	0,024	0,040	-66,99 <sup>c</sup>
		B	0,045	0,021	51,23 <sup>ab</sup>
		C	0,033	0,016	51,67 <sup>ab</sup>
		D	0,017	0,009	44,82 <sup>b</sup>
		E	0,041	0,011	69,88 <sup>a</sup>
3.	Nitrat	A	0,095	0,826	-782,43
		B	0,088	0,507	-504,25
		C	0,070	0,425	-539,97
		D	0,089	0,321	-289,86
		E	0,077	0,267	-308,27

Hasil analisis ragam (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% menunjukkan bahwa jumlah rumpun tanaman kangkung yang berbeda, berpengaruh nyata terhadap pengurangan konsentrasi amonia dan nitrit ( $P < 0,05$ ) dan tidak berpengaruh nyata terhadap pengurangan konsentrasi nitrat ( $P > 0,05$ ) dalam media budidaya. Persentase reduksi amonia menunjukkan seberapa besar amonia yang direduksi oleh sistem akuaponik. Semakin tinggi persentase reduksi ammonia, semakin rendah konsentrasi amonia pada media budidaya ikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi jumlah rumpun tanaman kangkung yang digunakan, semakin tinggi reduksi amonia pada sistem akuaponik.

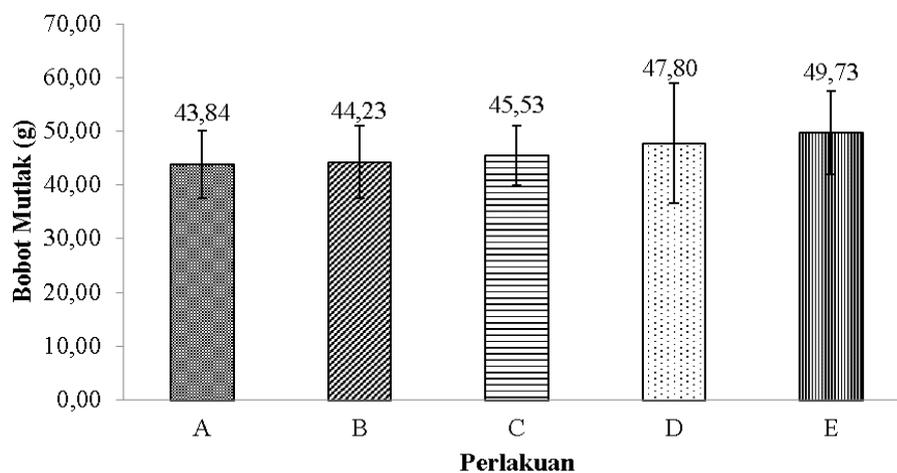
Menurut Marlina dan Rakhmawati (2016) media akuaponik memanfaatkan nitrogen hasil buangan dari organisme peliharaan yang digunakan untuk pertumbuhan tanaman yang dipelihara sehingga mampu mengurangi kandungan amonia di perairan. Lebih lanjut menurut Tyson *et al.* (2011) tanaman dapat memberikan peran biofiltrasi dengan menyerap amonium, sedangkan bakteri nitrifikasi memberikan peran ganda dengan mengurangi konsentrasi amonia melalui oksidasi, dan mengkonversi amonia menjadi nitrat yang dibutuhkan tanaman. Reduksi amonia melalui proses nitrifikasi terjadi dengan bantuan bakteri *Nitrobacter* dan *Nitrosomonas* yang akan optimal melakukan proses nitrifikasi pada pH 7,0-7,3 (Rijn, 1996).

Persentase reduksi nitrat yang bernilai negatif pada tiap perlakuan menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat mengalami peningkatan. Hal ini diduga terjadi karena nitrat yang dihasilkan dari budidaya tidak dimanfaatkan seluruhnya oleh tanaman sehingga terakumulasi di air. Menurut Buzby dan Lin (2014) amonium dan nitrat merupakan bentuk nitrogen yang dapat dimanfaatkan langsung oleh tanaman melalui proses fitoremediasi. Peningkatan konsentrasi nitrat selama pengamatan mengindikasikan terjadinya proses nitrifikasi amonia oleh bakteri, melalui oksidasi dan mengkonversi amonia menjadi nitrat yang dibutuhkan tanaman (Tyson *et al.*, 2011).

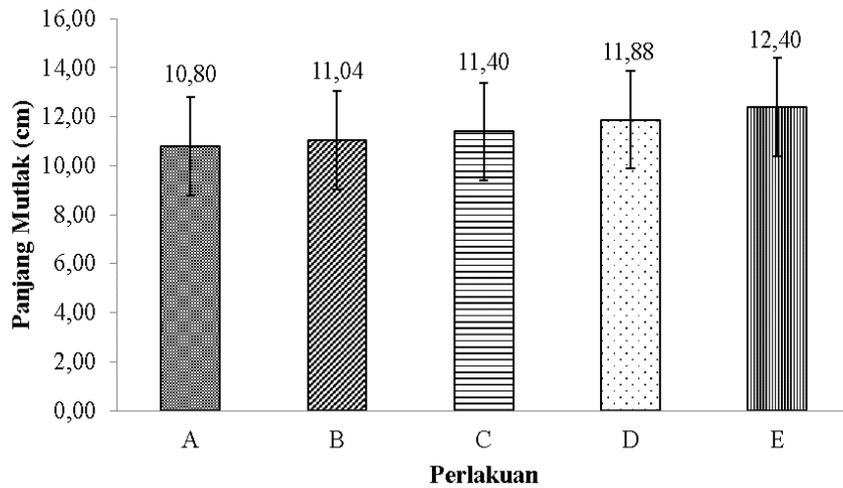
### Pertumbuhan

Bobot dan panjang mutlak ikan nila yang dipelihara selama 60 hari masing-masing berkisar antara 43,84-49,73 g dan 10,80-12,40 cm. Pertumbuhan tertinggi dicapai pada perlakuan E sedangkan nilai pertumbuhan bobot terendah terdapat pada perlakuan A (tanpa kangkung) sebesar 43,84 g (Gambar 1 dan Gambar 2). Hasil analisis ragam (ANOVA) pada selang kepercayaan 95% menunjukkan bahwa jumlah rumpun tanaman kangkung yang berbeda, tidak berpengaruh nyata ( $P > 0,05$ ) terhadap pertumbuhan bobot dan panjang mutlak ikan nila.

Pertumbuhan bobot dan panjang mutlak ikan nila pada perlakuan E lebih tinggi dibandingkan dari perlakuan lainnya. Hal ini diduga berkaitan dengan konsentrasi amonia yang lebih rendah pada perlakuan E, sehingga pertumbuhan ikan nila lebih optimal dibanding perlakuan lainnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa amonia dapat menghambat pertumbuhan ikan, akibat gangguan terhadap proses metabolisme tubuh. Hargreaves dan Kucuk (2001) menjelaskan bahwa akumulasi amonia menyebabkan pertumbuhan ikan menurun karena paparan amonia menyebabkan penurunan nafsu makan ikan dan mengurangi tingkat pencernaan pakan yang dikonsumsi.

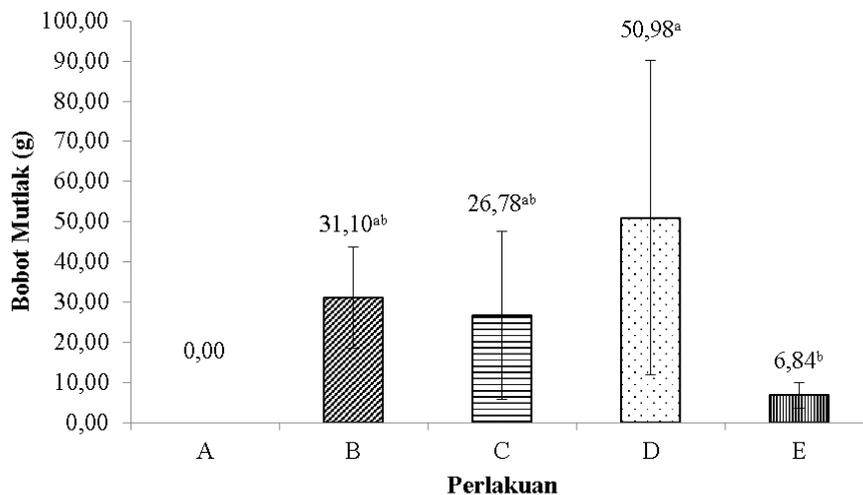


Gambar 1. Bobot mutlak ikan nila selama pemeliharaan



Gambar 2. Panjang mutlak selama pemeliharaan

Pertumbuhan biomassa kangkung berkisar antara 6,84-50,98 g. Pertumbuhan biomassa tertinggi dicapai pada perlakuan D sebesar 50,98 g sedangkan nilai pertumbuhan biomassa terendah pada perlakuan E sebesar 6,84 g (Gambar 3). Hasil analisis ragam pada selang kepercayaan 95% menunjukkan bahwa jumlah rumpun tanaman kangkung yang berbeda, berpengaruh nyata ( $P < 0,05$ ) terhadap pertumbuhan bobot mutlak kangkung. Hasil uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) menunjukkan bahwa perlakuan D berbeda nyata dengan perlakuan E ( $P < 0,05$ ), dan tidak ada perbedaan nyata antar perlakuan lainnya ( $P > 0,05$ ).



Gambar 3. Bobot mutlak kangkung pada setiap perlakuan selama pemeliharaan

Selama pemeliharaan berlangsung kangkung dapat tumbuh tanpa penambahan nutrisi tambahan, sehingga nutrisi yang digunakan hanya berasal dari limbah budidaya ikan nila. Berdasarkan pengamatan, pertumbuhan biomassa kangkung pada perlakuan E lebih rendah dari perlakuan lain. Hal ini diduga karena jumlah rumpun kangkung yang lebih tinggi mengakibatkan persaingan untuk mendapatkan nutrisi lebih tinggi, sedangkan

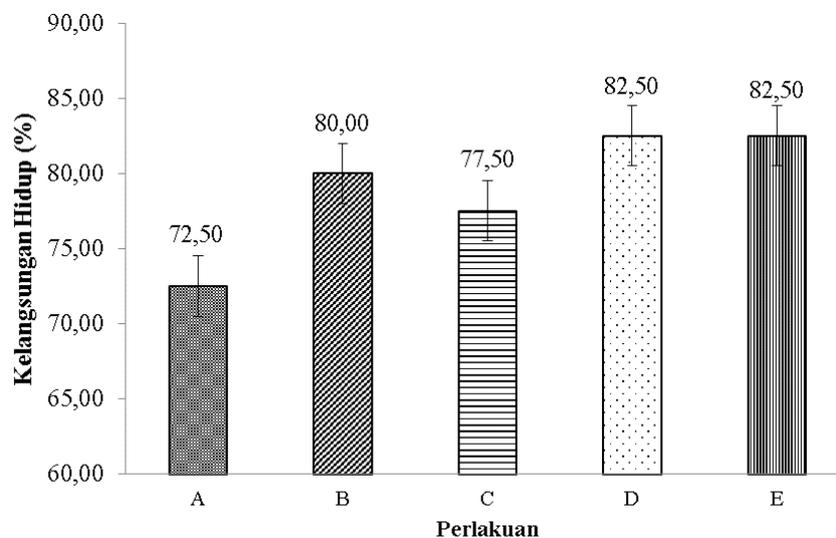
nutrient hanya berasal dari sisa pakan dan hasil metabolisme ikan dengan konsentrasi yang hampir sama pada setiap perlakuan.

Unsur hara yang tersedia dalam jumlah yang sesuai akan mempermudah masuknya unsur hara tersebut ke dalam jaringan akar, sehingga pertumbuhan dan perkembangan tanaman menjadi optimal. Namun, apabila unsur hara yang tersedia tidak sesuai akan menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman menjadi tidak optimal (Rohmah *et al.*, 2016). Nutrien yang diserap melalui akar kemudian digunakan untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Serapan hara ini akan meningkatkan biomassa tanaman. Pertumbuhan tanaman kangkung pada perlakuan B dan C yang lebih rendah berkaitan dengan jumlah masukkan limbah yang mencapai batas optimal tidak diimbangi dengan kapasitas penyimpanan nutrient pada tanaman kangkung. Hasil ini juga menunjukkan bahwa tanaman kangkung berada pada kondisi jenuh dan tidak mampu meningkatkan kapasitas penyerapan nutrient untuk menghasilkan biomassa, sehingga pertumbuhan kangkung pada perlakuan B dan C lebih rendah (Wahyuningsih, 2015). Selain kebutuhan unsur hara, cahaya matahari juga berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman kangkung. Buzby dan Lin (2014) menyatakan bahwa pertumbuhan kangkung dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, suhu di daerah akar, suhu lingkungan, pH, konsentrasi nutrien, dan jenis tanaman.

### Kelangsungan Hidup

Tingkat kelangsungan hidup ikan nila yang dipelihara selama 60 hari berkisar antara 72,50-82,50%. Nilai rata-rata tingkat kelangsungan hidup tertinggi dicapai pada perlakuan D dan E sebesar 82,50%, sedangkan nilai terendah pada perlakuan A sebesar 72,50% (Gambar 4).



Gambar 4. Kelangsungan hidup ikan nila selama pemeliharaan

Semakin menurun kandungan amonia pada media sistem akuaponik, semakin tinggi tingkat kelangsungan hidup ikan nila. Hal ini dikarenakan kondisi lingkungan yang baik mampu meningkatkan nafsu makan dan mengurangi kondisi stress pada ikan (Marlina dan

Rakhmawati, 2016). Sebaliknya pada perlakuan A, amonia tidak tereduksi tetapi terakumulasi di media pemeliharaan yang menyebabkan kematian pada ikan.

### Kualitas Air

Kisaran suhu, pH, dan DO cenderung sama pada setiap perlakuan (Tabel 3). Kisaran suhu media pemeliharaan berkisar 26,65-28,60 °C. Kisaran suhu tersebut masih layak untuk budidaya ikan nila. Menurut Popma dan Masser (1999) suhu optimal untuk pertumbuhan tilapia adalah 29-31 °C.

Tabel 3. Variabel kualitas air pada media budidaya

No.	Perlakuan	Parameter kualitas air		
		Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)
1.	A	26,60-28,40	6,33-8,13	6,55-7,62
2.	B	26,65-28,40	6,13-7,99	6,17-7,52
3.	C	26,65-28,60	6,40-8,08	6,62-7,62
4.	D	26,60-28,45	6,15-8,43	6,62-7,62
5.	E	26,50-28,35	6,32-7,99	6,59-7,46

pH media pemeliharaan berkisar 6,13-8,43. Kisaran pH tersebut masih layak untuk budidaya ikan nila. Menurut Popma dan Masser (1999) bahwa nilai pH optimum untuk tilapia berada pada kisaran 6-9. Oksigen terlarut pada media pemeliharaan berkisar 6,17-6,62 mg/L. Menurut Villaroel *et al*, (2011), batas oksigen terlarut yang dapat diterima ikan nila diatas 5 mg/L.

## PENUTUP

Penggunaan jumlah rumpun kangkung yang berbeda berpengaruh nyata terhadap nilai reduksi amonia, dan nitrit, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai reduksi nitrat. Reduksi amonia tertinggi pada perlakuan E sebesar 84,31%. Pada perlakuan E juga diperoleh pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan nila tertinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- APHA. (2012). *Standard Method for The Examination of Water and Waste Water*. American Public Health Assosiation.
- Buzby, K. M., & Lin, L. S. (2014). Scaling Aquaponic Systems: Balancing Plant Uptake with Fish Output. *Aquacultural Engineering*, 63, 39-44.
- Dauhan, R. E., Eko, E., & Suparmono. (2014). Efektivitas Sistem Akuaponik dalam Merduksi Konsentrasi Amonia pada Sistem Budidaya Ikan. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan*, 3(1), 297-302.
- Diver, S. (2010). *Aquaponics-Integration of Hydroponics with Aquaculture*. National Center for Appropriate Technology (NCAT) United States.
- Downing, K. M., & Merkens, J. C. (1955). The influence of dissolved-oxygen concentration on the toxicity of un-ionized ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) *Ann. Appl. Biol*, 42, 243–246.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Nik, W. B. W., & Hassan, A. (2010). A Study on The Optimal Hydraulic Loading Rate and Plant Ratios in Recirculation Aquaponic System. *Bioresource Technology*, 101, 1511-1517.

- Hargreaves, J. A., & Kucuk, S. (2001). Effects Of Diel Un-Ionized Ammonia Fluctuation on Juvenile Hybrid Striped Bass, Channel Catfish, and Blue Tilapia. *Aquaculture*, 195, 163-181.
- 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.
- Karo-Karo, R. (2016). Fitromediasi Limbah Budidaya Ikan Lele (*Clarias* sp.) dengan Kangkung (*Ipomea aquatica*) dan Packoy (*Brassicarapa chinensis*) dalam Sistem Resirkulasi. *Skripsi tidak diterbitkan. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.*
- Marlina, E., & Rakhmawati. (2016). Kajian Kandungan Ammonia Pada Budidaya Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Menggunakan Teknologi Akuaponik Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*). In *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Ke-V Hasil-hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan* (pp. 181-187).
- Masser, M. P., Rackocy, J., & Losordo, T. M. (1999). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Management of Recirculating Systems*. SRAC Publication.
- Pillay, T. V. R. (2004). *Aquaculture and The Environment*. UK Blackwell Publishing.
- Popma, T., & Masser, M. (1999). *Tilapia: Life History and Biology*. Southern Regional Aquaculture Center.
- Ratanannda, R. (2011). Penentuan Waktu Retensi Sistem Akuaponik untuk Mereduksi Limbah Budidaya Ikan Nila. *Skripsi tidak diterbitkan. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.*
- Rijn, J. V. (1996). The Potential for Integrated Biological Treatment Systems in Recirculating Fish Culture-A Review. *Aquaculture*, 139, 181-201.
- Rohmah, Y. S., Nurlaela, I., & Prianto, A. (2016). Pengaruh Limbah Cair Air Tahu Terhadap Pertumbuhan Kangkung Darat (*Ipomoea Reptans* Poir) Secara Hidroponik pada Konsentrasi yang Berbeda. *Quagga*, 8(2), 1907-3089.
- Sidik, A. S., Sarwono., & Agustina. (2002). Pengaruh Padat Penebaran Terhadap Laju Nitrifikasi dalam Budidaya Ikan Sistem Resirkulasi Tertutup. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 1(2), 47-51.
- Tyson, R. V., Treadwell, D. D., & Simonne, E. H. (2011). Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems (reviews). *Hort Technology*, 21(1), 6-13.
- Villarroel, M., Alvariano, J. M. R., & Duran, J. M. (2011). Aquaponics: Integrating Fish Feeding Rates and Ion Waste Production for Strawberry Hydroponics. *Spanish Journal of Agriculture Research*, 9(2), 537-545.
- Wahyuningsih, S. (2015). Pengolahan Limbah Nitrogen dari Kegiatan Budidaya Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) pada Sistem Akuaponik. *Tesis tidak diterbitkan. Bogor: Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.*