



EFEKTIVITAS KOMBINASI MIKROORGANISME DAN TUMBUHAN AIR *Lemna minor* SEBAGAI BIOREMEDIATOR DALAM MEREDUKSI SENYAWA AMONIAK, NITRIT, DAN NITRAT PADA LIMBAH PENCUCIAN IKAN

The Effectiveness of Microorganisms and Aquatic Plant Lemna minor Combination as Bioremediator in Reducing Ammonia, Nitrite, and Nitrate Compounds in Fish Washery Waste

Alfian Dony Saputra, Haeruddin*),Niniek Widyorini

Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah – 50275, Telp/Fax. +6224 7474698
Email : alfiandonysaputra21@gmail.com

ABSTRAK

Limbah pencucian ikan bersumber dari kegiatan pencucian bagian luar dan dalam tubuh ikan. Limbah pencucian ikan memiliki kandungan senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat yang tinggi sehingga kemungkinan mempunyai efek negatif bagi lingkungan. Sebagian besar industri pengolahan ikan belum melakukan pengolahan limbah cairnya dengan baik. Bioremediasi merupakan metode biologi dengan memanfaatkan mikroorganisme dan tumbuhan air *Lemna minor* dalam pengolahan air limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas dan pengaruh dari kombinasi mikroorganisme dan *Lemna minor* dalam mereduksi senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat pada limbah pencucian ikan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen skala laboratorium dimana wadah percobaan berisi limbah pencucian ikan dengan volume 1 Liter. Desain penelitian yang digunakan yaitu percobaan faktorial 3 x 3 dengan 2 faktor, sehingga terdapat 9 kombinasi perlakuan M₁L₁₀, M₁L₅₀, M₁L₁₀₀, M₅L₁₀, M₅L₅₀, M₅L₁₀₀, M₁₀L₁₀, M₁₀L₅₀, dan M₁₀L₁₀₀, dimana "M" faktor konsentrasi mikroorganisme (1 mL/L, 5 mL/L, 10 mL/L), sedangkan "L" faktor bobot biomassa *Lemna minor* (0,0255 gr/cm², 0,1273 gr/cm², 0,2546 gr/cm²). Variabel utama penelitian adalah amoniak, nitrit, dan nitrat yang didukung oleh temperatur, pH, dan oksigen terlarut. Analisis data dengan menggunakan analisis efektivitas, uji *two way* Anova, dan uji Beda Nyata Jujur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efektivitas berkisar antara 40,85% - 74,03% (amoniak), 42,21% - 74,10% (nitrit), dan 3,19% - 34,65% (nitrat). Pengaruh interaksi kombinasi mikroorganisme dan *Lemna minor* yaitu terdapat pengaruh yang nyata dan efektif dalam mereduksi senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat pada limbah pencucian ikan.

Kata Kunci: Amoniak; Bioremediasi; *Lemna minor*; Limbah Pencucian Ikan; Mikroorganisme; Nitrat; Nitrit

ABSTRACT

Fish washery waste derived from washing inner and outer part of fish body. Fish washery waste contain high ammonia, nitrite, and nitrate which may have negative effect for the environment. Most of the fish processing industry are not doing the processing of waste water properly yet. Bioremediation is a biological method by using microorganisms and aquatic plant Lemna minor in wastewater treatment. The aims of study is to determine the effectiveness and effect of the use of microorganism and Lemna minor combination in effort to reduce ammonia, nitrite, and nitrate compound in fish washery waste. The method used is laboratory-scale experiments where the experimental containers containing fish washery waste with a volume of 1 Liter. 3 x 3 factorial with 2 factor method design were used, so there are nine treatment combinations of M₁L₁₀, M₁L₅₀, M₁L₁₀₀, M₅L₁₀, M₅L₅₀, M₅L₁₀₀, M₁₀L₁₀, M₁₀L₅₀, and M₁₀L₁₀₀, where "M" for concentration of microorganisms factor (1 mL/L, 5 mL/L, 10 mL/L), while the "L" for biomass weight of Lemna minor factor (0,0255 gr/cm², 0,1273 gr/cm², 0,2546 gr/cm²). The main variable of this study are ammonia, nitrite, and nitrate supported by temperature, pH, and Dissolved Oxygen. The data was analyzed using effectiveness analysis, two way Anova, and Least Significant Difference method. The results show that the concentration of ammonia, nitrite, and nitrate decreased after 96 hours for all treatments combination. The effectiveness value, ranged between 40.85% - 74.03% (ammonia), 42.21% - 74.10% (nitrite), and 3.19% - 34.65% (nitrate). There is a significant influence and effective in combination of microorganisms and Lemna minor to reduce ammonia, nitrite, and nitrate compound in fish washery waste.

Keywords: Ammonia; Bioremediation; *Lemna minor*; Fish Washery Waste; Microorganism; Nitrate; Nitrite

*) Penulis penanggungjawab



1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri perikanan saat ini semakin pesat, hal ini didukung oleh besarnya potensi sumberdaya perikanan di Indonesia yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Menurut BPPT dan Bapedal (2002), rata-rata industri perikanan mengkonsumsi air lebih dari 20 m³/ton produk yang digunakan dalam berbagai proses pencucian ikan. Kegiatan industri pengolahan ikan pada setiap prosesnya menghasilkan limbah cair yang berasal dari kegiatan pemotongan, pencucian, dan pengolahan produk perikanan. Sebagian besar industri pengolahan ikan di Indonesia belum melakukan pengolahan limbah cairnya dengan baik bahkan ada yang tidak memiliki unit pengolahan limbah cair. Akibatnya kebanyakan industri pengolahan ikan terlihat kumuh, dengan saluran air yang tersumbat, dan udara yang tercemar dengan bau ikankawasan industri tersebut.

Limbah kegiatan industri pengolahan ikan terutama pencucian ikan umumnya berupa air dan darah ikan yang mengandung karbohidrat, protein, garam mineral, dan sisa-sisa bahan kimia yang digunakan dalam pengolahan dan pembersihan. Limbah yang berasal dari air bekas pencucian ikan berwarna kecoklatan, keruh, dan berbau amis. Selain itu limbah pencucian ikan juga mengandung bahan organik, lemak, dan nutrien yang tinggi yang dapat mencemari lingkungan perairan. Karakteristik limbah cair dari kegiatan pencucian ikan memiliki kandungan nutrien sekitar 7 – 32% dari total Nitrogen, 30 – 84% total phosphor, dan lebih dari 27% total karbon yang terikat dalam fraksi pratikulat dan terlarut efluen (Berghiem *et al.*, 1993). Senyawa nitrogen yang terdapat pada limbah pencucian ikan tersebut umumnya dalam bentuk amoniak, nitrit, dan nitrat yang bersifat toksik bila konsentrasinya sudah melebihi baku mutu dan dapat berdampak negatif seperti penurunan oksigen terlarut dalam air, merangsang pertumbuhan tanaman air, eutrofikasi, dan memunculkan toksisitas terhadap kehidupan air yang dapat mengakibatkan kematian biota air seperti ikan, selain itu juga dapat membahayakan kesehatan manusia (Setiyawan dan Hari, 2010).

Upaya untuk mereduksi senyawa nitrogen yang berlebihan pada limbah pencucian ikan yaitu dengan menggunakan bioremediasi. Bioremediasi merupakan suatu teknik pendekatan secara biologis yang efektif dalam pengelolaan kualitas air limbah dengan memanfaatkan aktifitas mikroorganisme dan tumbuhan air dalam merombak bahan organik maupun senyawa nitrogen. Menurut Eweis *et al* (1998) dalam Rossiana *et al.* (2007), prinsip proses bioremediasi adalah biodegradasi yang dilakukan secara aerob, metode ini dilakukan dengan memanfaatkan mikroorganisme dan tanaman.

Mikroorganisme mempunyai peranan penting dalam proses dekomposisi senyawa-senyawa metabolit toksik. Mikroorganisme yang digunakan merupakan campuran dari beberapa jenis bakteri yang hidup bersimbiosis secara artifisial, yang masing-masing mempunyai fungsi spesifik dan bekerjasama secara sinergis dalam menguraikan bahan organik, senyawa nitrogen, dan menangkap gas yang menyebabkan bau seperti amoniak dan asam sulfida sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya (Muliawan, 2012 dalam Pitriani *et al.*, 2014). Sedangkan, tumbuhan air ini mempunyai fungsi untuk membersihkan air yang tercemar oleh limbah industri, maupun limbah rumah tangga seperti tumbuhan air *Lemna minor*. *Lemna minor* merupakan salah satu tumbuhan air yang berukuran kecil sehingga mudah dalam penanganannya dan pemanenannya. *Lemna minor* yang dipergunakan mampu menyerap nutrien anorganik (terutama P dan N) dalam jumlah relatif yang besar dimana dapat menguraikan senyawa nitrogen dan fosfor mencapai 80% dan 50% (Nayono, 2014).

Berdasarkan uraian tersebut dapat diduga bahwa penggunaan kombinasi mikroorganisme dan tumbuhan air *Lemna minor* dapat lebih efektif mengurai bahan organik dan senyawa nitrogen (amoniak, nitrit, dan nitrat) dalam air limbah. Umumnya para peneliti hanya menggunakan salah satu agen biologi saja, berupa tumbuhan air saja atau bakteri saja. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai kombinasi mikroorganisme dan pemanfaatan tumbuhan air *Lemna minor* sebagai bioremediator dalam mereduksi senyawa nitrogen (amoniak, nitrit, dan nitrat) pada limbah pencucian ikan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas dan pengaruh kombinasi dari penggunaan kedua agen biologi seperti mikroorganisme dan tumbuhan air *Lemna minor* dalam mereduksi senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat pada limbah pencucian ikan.

2. MATERI DAN METODE PENELITIAN

a. Materi Penelitian

Materi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah pencucian ikan yang berasal dari sentra pengasapan ikan Bandarharjo, Semarang, tumbuhan air *Lemna minor*, dan mikroorganisme, serta KMnO₄ 20 ppm. Alat yang digunakan antara lain jerigen 35 L, Gelas Beaker 1000 mL, gelas ukur 100 mL, erlenmeyer, oven, tabung reaksi, kertas saring, pipet volume, timbangan elektrik, pH meter, *Water Quality Checker* (WQC), thermometer, dan spektrofotometer uv-visible.

b. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen skala laboratorium. Desain penelitian yang digunakan adalah percobaan faktorial 3 x 3 dengan 2 faktor yaitu mikroorganisme dan *Lemna minor*, sehingga terdapat 9 kombinasi perlakuan. Kombinasi tersebut diletakkan secara acak. Hal ini dilakukan agar semua kombinasi perlakuan mendapatkan perlakuan yang sama dengan kondisi lingkungan yang dapat dikontrol.



Tabel 1. Percobaan Faktorial pada Uji Utama

	L	L ₁₀	L ₅₀	L ₁₀₀
M				
M ₁		M ₁ L ₁₀	M ₁ L ₅₀	M ₁ L ₁₀₀
M ₅		M ₅ L ₁₀	M ₅ L ₅₀	M ₅ L ₁₀₀
M ₁₀		M ₁₀ L ₁₀	M ₁₀ L ₅₀	M ₁₀ L ₁₀₀

Keterangan:

- M₁L₁₀ : Kombinasi Konsentrasi Mikroorganisme 1 mL/L dan Bobot Biomassa *Lemna minor* 0,0255 gr/cm²
M₁L₅₀ : Kombinasi Konsentrasi Mikroorganisme 1 mL/L dan Bobot Biomassa *Lemna minor* 0,1273 gr/cm²
M₁L₁₀₀ : Kombinasi Konsentrasi Mikroorganisme 1 mL/L dan Bobot Biomassa *Lemna minor* 0,2546 gr/cm²
M₅L₁₀ : Kombinasi Konsentrasi Mikroorganisme 5 mL/L dan Bobot Biomassa *Lemna minor* 0,0255 gr/cm²
M₅L₅₀ : Kombinasi Konsentrasi Mikroorganisme 5 mL/L dan Bobot Biomassa *Lemna minor* 0,1273 gr/cm²
M₅L₁₀₀ : Kombinasi Konsentrasi Mikroorganisme 5 mL/L dan Bobot Biomassa *Lemna minor* 0,2546 gr/cm²
M₁₀L₁₀ : Kombinasi Konsentrasi Mikroorganisme 10 mL/L dan Bobot Biomassa *Lemna minor* 0,0255 gr/cm²
M₁₀L₅₀ : Kombinasi Konsentrasi Mikroorganisme 10 mL/L dan Bobot Biomassa *Lemna minor* 0,1273 gr/cm²
M₁₀L₁₀₀ : Kombinasi Konsentrasi Mikroorganisme 10 mL/L dan Bobot Biomassa *Lemna minor* 0,2546 gr/cm²

c. Prosedur Penelitian

Pengambilan Limbah Pencucian Ikan

Sampel uji yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air limbah yang berasal dari limbah pencucian ikan di Sentra Pengasapan Ikan, Kelurahan Bandarharjo, Semarang. Limbah pencucian ikan tersebut didapatkan dari hasil pencucian bagian luar dan dalam tubuh ikan yang telah dipotong-potong kemudian dicuci dengan air. Pengambilan dan penampungan air limbah pencucian ikan dengan menggunakan drigen berukuran 35 L dan ditutup rapat. Selanjutnya, air limbah pencucian ikan diuji sebelum 36 jam.

Fermentasi Mikroorganisme

Mikroorganisme yang akan digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bakteri fotosintetik (*Rhodospseudomonas* sp.), ragi (*Sacharomyces* sp.), *Actinomyces* sp., bakteri asam laktat (*Lactobacillus* sp.), dan jamur fermentasi (*Aspergillus* dan *Penicillium*). Mikroorganisme tersebut difermentasi selama 7 hari dengan akuades, dimana perbandingan mikroorganisme dan akuades sebesar 1:20 (5%), dan difermentasi selama 7 hari. Hal ini bertujuan untuk memberikan kesempatan kepada mikroorganisme agar dapat aktif dan berkembang biak, sehingga mikroorganisme dapat bekerja secara efektif dan optimal.

Aklimatisasi Tumbuhan Air *Lemna minor*

Tumbuhan air *Lemna minor* yang akan digunakan direndam terlebih dahulu dalam larutan KMnO₄ (Kalium Permanganat) 20 mg/L yang berfungsi membersihkan organisme yang menempel pada tumbuhan air *Lemna minor* terutama pada bagian akar tersebut tanpa merusak jaringan tumbuhan air *Lemna minor* selama 1 jam. Selanjutnya tumbuhan air *Lemna minor* diaklimatisasi untuk mengkondisikannya agar dapat beradaptasi dengan kondisi air limbah yang akan diolah. Aklimatisasi dilakukan dengan menambahkan *Lemna minor* pada wadah yang berisi air bersih selama 3 hari, setelah masa aklimatisasi selesai maka *Lemna minor* telah siap dipergunakan dalam penelitian.

Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan bertujuan untuk menentukan rentang nilai konsentrasi mikroorganisme dan padat populasi tumbuhan air *Lemna minor* yang terbaik dalam menurunkan senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat pada limbah pencucian ikan. Konsentrasi mikroorganisme yang digunakan antara lain 1 mL/L, 10 mL/L, dan 100 mL/L, sedangkan bobot biomassa *Lemna minor* yang digunakan antara lain 0,0025 gr/cm², 0,0255 gr/cm², dan 0,2546 gr/cm². Uji pendahuluan dilakukan dengan melihat karakteristik awal limbah pencucian ikan seperti temperatur, pH, DO, amoniak, nitrit, dan nitrat. Selanjutnya, limbah pencucian ikan 1 L dimasukkan kedalam Gelas Beaker, kemudian diberikan perlakuan. Setelah itu, pengukuran kualitas air temperatur, pH, dan DO dilakukan setiap pagi dan sore hari selama 96 jam, sedangkan amoniak, nitrit, dan nitrat pada 0 jam dan 96 jam. Setelah 96 jam maka dapat diketahui efektivitas penurunan senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat yang terjadi pada limbah pencucian ikan. sehingga, berdasarkan hasil efektivitas tersebut maka dapat ditentukan rentang nilai efektivitas terbaik yang dijadikan sebagai dasar untuk mendapatkan konsentrasi mikroorganisme dan bobot biomassa *Lemna minor* yang digunakan pada uji utama.

Uji Utama

Berdasarkan hasil uji pendahuluan, konsentrasi mikroorganisme terbaik yang digunakan pada uji utama antara lain 1 mL/L, 5 mL/L, dan 10 mL/L, sedangkan bobot biomassa *Lemna minor* yang digunakan antara lain 0,0255 gr/cm², 0,1273 gr/cm², dan 0,2546 gr/cm², sehingga terdapat 9 perlakuan kombinasi. Uji utama dilakukan dengan melihat karakteristik awal limbah pencucian ikan seperti temperatur, pH, DO, amoniak, nitrit, dan nitrat sebelum diberikan perlakuan. Selanjutnya, limbah pencucian ikan dengan volume 1 L dimasukkan kedalam Gelas Beaker, kemudian diberikan perlakuan kombinasi mikroorganisme dan *Lemna minor* yang sudah ditetapkan. Setelah itu, pengukuran kualitas air temperatur, pH, dan DO dilakukan setiap pagi dan sore hari selama 96 jam, sedangkan amoniak, nitrit, dan nitrat pada 0 jam dan 96 jam.

Pengukuran Kualitas Air Limbah

1. pH

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter, dengan cara menyelupkan probe alat tersebut pada air sampel, kemudian dilihat nilai pH masing-masing sampel pada layar monitor pH meter.

2. Temperatur

Pengukuran temperatur air dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut dengan termometer air raksa. Termometer air raksa ini dilakukan dengan cara menyelupkan probe alat tersebut pada air sampel, kemudian dilihat temperatur masing-masing sampel dengan melihat peningkatan air raksa yang terjadi pada termometer air raksa. Pengukuran temperatur air limbah juga dapat menggunakan *Water Quality Checker*.

3. DO

Pengukuran DO dilakukan dengan menggunakan alat *Water Quality Checker* (WQC) dengan cara menyelupkan probe alat tersebut pada sampel limbah uji, kemudian dilihat nilai DO pada masing-masing sampel pada layar monitor WQC.

4. Amoniak (SNI 06-2479-1991)

25 mL sampel air limbah dimasukkan ke dalam tabung reaksi dimana sebelumnya sudah disaring dengan menggunakan kertas saring agar sampel tidak keruh. Lalu, 25 mL sampel air limbah tersebut ditambahkan dengan 1-2 tetes pereaksi garam Seignette, kemudian ditambahkan 0,5 mL pereaksi Nessler, selanjutnya dikocok dan dibiarkan selama 10 menit. Warna kuning yang terjadi diukur intensitasnya dengan spektrofotometer uv-visible pada panjang gelombang 420 nm.

5. Nitrit (SNI 01-3554-2006)

25 mL sampel air limbah dimasukkan ke dalam tabung reaksi dimana sebelumnya sudah disaring dengan menggunakan kertas saring agar sampel tidak keruh. Lalu, 25 mL sampel air limbah tersebut ditambahkan dengan 1 mL asam sulfanilat dan 1 mL larutan NEDD (1-Naphtyl Ethylene Diamin Dihydrochloride). Selanjutnya dikocok dan dibiarkan selama 15 menit. Warna ungu yang terjadi diukur intensitasnya dengan spektrofotometer uv-visible pada panjang gelombang 520 nm.

6. Nitrat (SNI 01-3554-2006)

10 mL sampel air limbah dimasukkan ke dalam tabung reaksi dimana sebelumnya sudah disaring dengan menggunakan kertas saring agar sampel tidak keruh. Lalu, 10 mL sampel air limbah tersebut ditambahkan dengan 1 mL HCl 1 N. Selanjutnya dikocok dan dibiarkan selama 10 menit. Warna kuning yang terjadi diukur intensitasnya dengan spektrofotometer uv-visible pada panjang gelombang 220 nm dan 275 nm.

Analisis Data

Perubahan konsentrasi senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat dihitung untuk mengetahui persentase efektivitas yang terjadi pada perlakuan kombinasi mikroorganisme dan *Lemma minor* dalam limbah pencucian ikan pada awal pengamatan dan pada akhir pengamatan. Rumus efektivitas menurut Arifin (2000) adalah:

$$\text{Efektivitas(\%)} = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a = nilai awal parameter sebelum perlakuan

b = nilai akhir parameter setelah perlakuan

Analisis data dilakukan dengan menggunakan program *Analysis Toolpack* pada Microsoft Excel 2010 dan SPSS Statistics 20. Analisis data efektivitas dilakukan dengan melakukan transformasi arcsin pada data persentase efektivitas, kemudian data diuji dengan menggunakan uji normalitas dan homogenitas. Selanjutnya dilakukan uji *two way Anova*, dan uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf α 5%. Sedangkan, untuk variabel pendukung seperti temperatur, pH, dan *Dissolved Oxyge* (DO) dapat dianalisis secara deskriptif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Karakteristik Limbah Pencucian Ikan

Limbah pencucian ikan merupakan limbah yang berasal dari hasil buangan industri pengolahan perikanan dalam bentuk cair. Limbah pencucian ikan didapatkan dari Sentra Pengasapan Ikan Bandarharjo, Semarang. Limbah ini berasal dari pencucian bagian luar maupun dalam tubuh ikan, dimana mengandung berbagai macam bahan organik yang tinggi, seperti sisa daging, isi perut, protein, lemak, karbohidrat, dan darah. Hal inilah yang akan berpengaruh terhadap karakteristik limbah cair tersebut. Tingginya bahan organik limbah pencucian ikan tersebut dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dan tumbuhan air *Lemma minor* yang menjadi agen bioremediator. Oleh karena itu, karakterisasi awal dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia pada limbah untuk mengetahui efektivitas penurunan senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat sebelum maupun setelah perlakuan.

Tabel 2. Karakteristik Awal Limbah Pencucian Ikan

Variabel	Satuan	Batas Maksimal yang Dianjurkan	Hasil	
			Uji Pendahuluan	Uji Utama
Temperatur	°C	40 ⁽³⁾	27,5	27,3
pH	-	6 – 9 ⁽¹⁾	5,25*	5,64*
Dissolved Oxygen (DO)	mg/L	> 2 ⁽³⁾	0,22*	0,22*
Amoniak (NH ₃ -N)	mg/L	5 ⁽¹⁾	24,42*	27,95*
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	3 ⁽²⁾	34,36*	9,34*
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	30 ⁽²⁾	44,32*	84,57*

Keterangan : 1.Permen LH No. 06 Th. 2007 tentang Baku Mutu Limbah Kegiatan Pengolahan Hasil Perikanan
2.KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu untuk Limbah Cair bagi Kegiatan Industri
3. Effendi (2003); (*) Hasil Analisis yang Tidak Sesuai Baku Mutu

Hasil karakteristik awal limbah pencucian ikan pada uji pendahuluan dan utama masing-masing yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa temperatur air limbah sebesar 27,3 °C dan 27,5 °C yang sesuai dengan baku mutu menurut Effendi (2003) maksimal 40 °C. Nilai pH sebesar 5,25 dan 5,64, konsentrasi amoniak sebesar 24,42 mg/L dan 27,95 mg/L dimana hasil tersebut tidak sesuai baku mutu menurut Permen LH No. 06 Tahun 2007 yaitu sebesar 6 – 9 untuk pH dan maksimal 5 mg/L untuk amoniak. Nilai *Dissolved Oxygen* (DO) sebesar 0,22 mg/L yang tidak sesuai dengan baku mutu menurut Effendi (2003) yaitu sebesar >2mg/L. Konsentrasi senyawa nitrit sebesar 9,34 mg/L dan 34,36 mg/L, sedangkan konsentrasi senyawa nitrat sebesar 44,32 mg/L dan 84,57 mg/L dimana menunjukkan bahwa hasil tersebut tidak sesuai dengan baku mutu menurut KEP-51/MENLH/10/1995 yaitu maksimal 3 mg/L untuk nitrit dan maksimal 30 mg/L untuk nitrat.

b. Kualitas Air Limbah

Hasil pengukuran variabel kualitas air limbah yang berupa temperatur, pH, DO adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Kisaran Nilai Variabel Kualitas Air Limbah pada Uji Utama

Perlakuan	Temperatur(°C)	Ph	DO(mg/L)
K	27,3 – 28,9	5,64 – 6,91	0,18 – 0,33
M ₁ L ₁₀	27,2 – 28,6	5,56 – 6,95	0,15 – 0,38
M ₁ L ₅₀	27,2 – 28,9	5,64 – 6,89	0,17 – 0,38
M ₁ L ₁₀₀	27,3 – 29,0	5,64 – 6,88	0,13 – 0,38
M ₃ L ₁₀	27,3 – 28,7	5,50 – 6,86	0,15 – 0,31
M ₃ L ₅₀	27,3 – 28,9	5,64 – 6,84	0,15 – 0,34
M ₃ L ₁₀₀	27,3 – 28,9	5,64 – 6,85	0,14 – 0,36
M ₁₀ L ₁₀	27,1 – 28,6	5,45 – 6,83	0,18 – 0,38
M ₁₀ L ₅₀	27,2 – 28,9	5,64 – 6,78	0,16 – 0,45
M ₁₀ L ₁₀₀	27,3 – 29,0	5,64 – 6,75	0,19 – 0,40
Baku Mutu	Maks. 40⁽²⁾	6 – 9⁽¹⁾	> 2⁽²⁾

Keterangan : 1.Permen LH No. 06 Th. 2007tentang Baku Mutu Limbah Kegiatan Pengolahan Perikanan
2.Effendi (2003) 3.K : Kontrol

Temperatur pada saat pengamatan adalah 27,1 – 29 °C merupakan kisaran yang optimal untuk pengolahan limbah secara biologi dengan menggunakan mikroorganisme dan tumbuhan air *Lemna minor*. Hal tersebut menunjukkan mikroorganisme dapat berkembangbiak dengan baik, dan *Lemna minor* dapat melakukan fotosintesis dengan optimal. Menurut Saraswati *et al.* (2010)dalam Pitriani *et al.* (2015), temperatur ideal adalah 25-30°C, temperatur yang terlalu tinggi akan merusak proses dengan mencegah aktivitas enzim dalam sel. Peningkatan setiap 1°C temperatur dari kisaran ideal dapat menyebabkan penurunan efisiensi pengolahan, maka terjadi peningkatan daya racun dari polutan terhadap organisme akuatik. Selain itu, menurut Widjaja (2004), temperatur optimal untuk fotosintesis tumbuhan air berkisar antara 25-30°C.

Nilai pH air limbah selama perlakuan berkisar 5,45 – 6,95 dimana hasil tersebut sesuai dengan baku mutu menurut Permen LH No. 06 Tahun 2007. Kisaran nilai pH tersebut sangat mendukung kehidupan mikroorganisme dan pertumbuhan *Lemna minor* dan sangat baik untuk proses penguraian bahan organik. Nilai pH yang terlalu tinggi (> 9) akan menghambat aktivitas mikroorganisme, sedangkan pH dibawah 6,5 akan mengakibatkan pertumbuhan jamur dan terjadi persaingan dengan bakteri dalam metabolisme materi organik (Waluyo, 2009). Sedangkan, Menurut Hicks (1932) dalam Setyawan *et al.* (2014),*Lemna minor*tumbuh baik pada pH 6 – 7,5 dan akan menghasilkan penurunan pertumbuhan dengan perubahan pH menjadi basa.

Nilai DO pada air limbahberkisar antara 0,13 – 0,45 mg/L tidak sesuai dengan baku mutu menurut Effendi (2003) yang mensyaratkan nilai DO minimal 2 mg/L.Berdasarkan hasil nilai DOtersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan mikroorganisme anaerobik fakultatif dapat berjalan optimal dalam proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik, dan mikroorganisme aerobik fakultatif akan mendegradasi bahan organik secara sempurna jika terdapat kandungan oksigen terlarut pada saat DO >0,2 mg/L.Menurut Jenni dan Rahayu (1993) dalam Fitria (2008), mikroorganisme fakultatif dapat hidup dalam keadaan aerob dan anaerob, jika tidak ada

oksigen maka mampu memperoleh energi dari bahan organik dengan mekanisme anaerob, tetapi bila terdapat oksigen terlarut, maka pemecahan bahan organik lebih sempurna.

c. Konsentrasi Mikroorganisme dan Bobot Biomassa *Lemna minor* Terbaik pada Uji Pendahuluan

Efektivitas mikroorganisme dan *Lemna minor* dalam mereduksi senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat yaitu:

Tabel 4. Efektivitas Mikroorganisme

Perlakuan	Amoniak (%)	Nitrit (%)	Nitrat (%)
K (Kontrol)	19,21	77,97	16,13
M₁ (1 mL/L)	42,92	81,81	27,32
M₁₀ (10 mL/L)	34,77	82,89	42,04
M ₁₀₀ (100 mL/L)	28,42	81,46	63,90
Rata-rata	31,33	81,03	37,35

Tabel 5. Efektivitas Tumbuhan Air *Lemna minor*

Perlakuan	Amoniak (%)	Nitrit (%)	Nitrat (%)
K (Kontrol)	19,21	77,97	16,13
L ₁ (0,0025 gr/cm ²)	55,57	79,71	66,99
L₁₀ (0,0255 gr/cm²)	41,32	83,56	57,74
L₁₀₀ (0,2546 gr/cm²)	56,22	82,10	26,33
Rata-rata	43,08	80,84	41,80

Rentang konsentrasi mikroorganisme terbaik antara 1 mL dan 10 mL, karena memiliki nilai efektivitas tertinggi. Hal tersebut juga didasarkan pada semakin rendah konsentrasi mikroorganisme yang sudah difermentasi maka semakin rendah pula tingkat kepadatannya, dan sebaliknya. Tingkat kepadatan mikroorganisme mampu mempengaruhi penyerapan senyawa nitrogen pada limbah, dimana mikroorganisme fermentasi telah berkembang lebih banyak. Menurut Atlas dan Richard (1993) dalam Prameswari (2013), kepadatan bakteri yang tinggi maka terjadi persaingan yang tinggi di dalam pengambilan dan penyerapan senyawa nitrogen, sehingga aktivitas bakteri menjadi tidak berjalan optimal.

Sedangkan rentang bobot biomassa *Lemna minor* terbaik antara 0,0255 dan 0,2546 gr/cm², karena memiliki nilai efektivitas yang tinggi dan bobot biomassa yang tinggi. Hal ini juga dikarenakan semakin tinggi bobot biomassa *Lemna minor* maka penyerapan senyawa nitrogen oleh akar dan daun akan semakin tinggi, sehingga oksigen dalam limbah tersebut akan meningkat sebagai hasil dari proses fotosintesis tersebut. Sehingga, mikroorganisme aerob dapat menguraikan amoniak, nitrit, dan nitrat secara optimal. Menurut Umarudin *et al.* (2015), kemampuan *Lemna minor* mampu menyerap amoniak, nitrit, nitrat melalui bagian akar dan daunnya.

d. Konsentrasi Senyawa Amoniak, Nitrit, dan Nitrat pada Uji Utama Setelah 96 Jam

Hasil konsentrasi senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat pada uji utama adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Konsentrasi Amoniak, Nitrit, dan Nitrat

Perlakuan	Amoniak (mg/L)	Nitrit (mg/L)	Nitrat (mg/L)
K	24,92	8,16	83,48
M ₁ L ₁₀	16,53	5,40	79,74
M ₁ L ₅₀	10,39	5,09	75,50
M ₁ L ₁₀₀	8,82	2,55	66,03
M ₅ L ₁₀	14,98	3,13	80,52
M ₅ L ₅₀	13,79	4,43	71,34
M ₅ L ₁₀₀	11,05	3,01	55,27
M ₁₀ L ₁₀	13,42	3,56	81,87
M ₁₀ L ₅₀	11,67	3,84	80,82
M ₁₀ L ₁₀₀	7,26	2,42	80,69
Rata-rata	13,28	4,16	75,53

Penggunaan mikroorganisme dan tumbuhan air *Lemna minor* sebagai agen bioremediasi dalam mereduksi senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat pada limbah pencucian ikan (Tabel 6), dari semua perlakuan kombinasi menunjukkan penurunan konsentrasi dibandingkan dengan konsentrasi sebelum perlakuan. Hasil konsentrasi yang menunjukkan penurunan lebih tinggi yaitu pada perlakuan M₁₀L₁₀₀ sebesar 7,26 mg/L (amoniak), perlakuan M₁₀L₁₀₀ sebesar 2,42 mg/L (nitrit), dan perlakuan M₅L₁₀₀ sebesar 55,27 mg/L (nitrat).

e. Efektivitas Penurunan Senyawa Amoniak

Efektivitas penurunan konsentrasi senyawa amoniak pada uji utama adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Efektivitas Penurunan Amoniak

Hasil efektivitas penurunan senyawa amoniak berkisar antara 40,85% - 74,03%. Efektivitas tertinggi terjadi pada perlakuan M₁₀L₁₀₀ sebesar 74,03%. Sedangkan, efektivitas terendah terjadi pada M₁L₁₀ sebesar 40,85%. Penambahan mikroorganisme pada limbah pencucian ikan dapat menurunkan jumlah senyawa amoniak sebagai

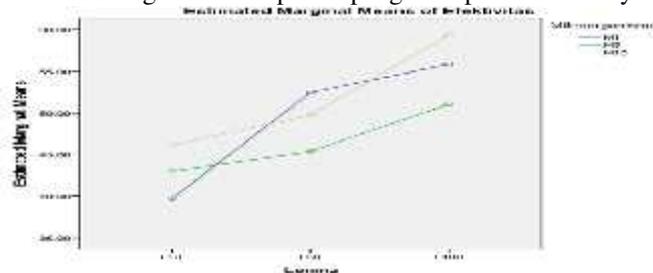
sumber energi yang diubah menjadi biomassa sel dan mengoksidasinya menjadi senyawa nitrit dan nitrat, sehingga konsentrasi senyawa amoniak menurun dan menghasilkan efektivitas tinggi. Hal ini dapat dibuktikan berdasarkan hasil *two way* ANOVA yang menyatakan bahwa mikroorganism memiliki pengaruh yang nyata terhadap penurunan konsentrasi senyawa amoniak ($p\text{-value} < 0,05$). Menurut Brune *et al.* (2003), penurunan kadar amoniak terjadi karena adanya pemanfaatan amonia oleh proses heterotrofik biosintesis bakteri yang menghasilkan biomassa bakteri dan proses kemoautotrofik nitrifikasi yang menghasilkan senyawa nitrit yang selanjutnya diubah menjadi nitrat. Selain itu menurut Higa dan Parr (1994) dalam Trisna *et al.* (2013), bakteri fotosintetik juga menggunakan amoniak untuk proses dekomposisi bahan organik dan pertumbuhannya.

Penurunan senyawa amoniak juga disebabkan oleh tumbuhan air *Lemna minor*. Semakin tinggi bobot biomassa *Lemna minor*, maka penyerapan senyawa amoniak akan semakin tinggi, dan sebaliknya dimana dapat menghilangkan senyawa amoniak lebih dari 50% melalui akar dan daunnya. Hal ini terbukti dari hasil penelitian yang sudah dilakukan efektivitas penurunan senyawa amoniak tertinggi lebih dari 60% terjadi pada perlakuan $M_{10}L_{100}$, M_1L_{100} , dan M_5L_{100} dengan bobot biomassa sebesar $0,2546 \text{ gr/cm}^2$, dan efektivitas terendah pada perlakuan M_1L_{10} dengan bobot biomassa sebesar $0,0255 \text{ gr/cm}^2$. Berdasarkan hasil *two way* ANOVA, *Lemna minor* memiliki pengaruh yang nyata terhadap penurunan konsentrasi senyawa amoniak ($p\text{-value} < 0,05$). Menurut Porath dan Pollock (1982), *duckweed Lemna gibba* dapat menghilangkan 50% amoniak melalui bagian akar dan daunnya di campuran nutrisi, walaupun nutrisi tersebut berisi nitrat ratusan kali lipat dibandingkan amoniak. Hanya ketika tidak ada amoniak, tumbuhan ini mulai menyerap nitrat. melalui akar dan daunnya.

Pengaruh kombinasi mikroorganism dan *Lemna minor* yaitu dimana amonia yang terbentuk berasal dari hasil dekomposisi bahan organik oleh mikroorganism pada limbah pencucian ikan yang kemudian dimanfaatkan oleh *Lemna minor* dengan menggunakan daun dan akar serta mikroba *rhizofe* yang tumbuh di akarsebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhannya maupun untuk proses nitrifikasi menjadi senyawa nitrit. *Lemna minor* memanfaatkan amonium dan nitrat untuk fotosintesis. Reaksi yang terjadi yaitu (Fikri, 2013):



Hasil uji analisis *two way* ANOVA, menunjukkan bahwa pengaruh interaksi kombinasi mikroorganism dan *Lemna minor* terhadap efektivitas penurunan senyawa amoniak pada limbah pencucian ikan memberikan pengaruh yang nyata karena $p\text{-value} < 0,05$. Pengaruh dari faktor *Lemna minor* merupakan faktor dominan dalam mempengaruhi penurunan senyawa amoniak dibandingkan mikroorganism karena memiliki nilai $p\text{-value}$ yang lebih kecil. Akan tetapi, faktor mikroorganism tetap mempengaruhi penurunan senyawa amoniak.

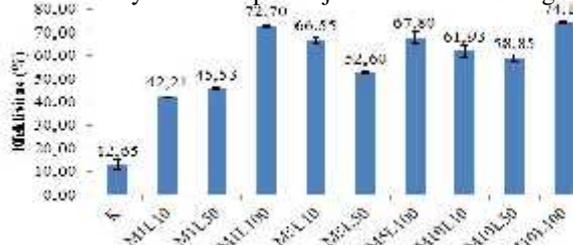


Gambar 2. Pengaruh Interaksi Kombinasi Terhadap Efektivitas Penurunan Amoniak

Berdasarkan grafik (Gambar 2) tersebut, menunjukkan terjadinya pengaruh interaksi kombinasi yang nyata dikarenakan ada ketidaksejajaran garis dan adanya garis yang saling bersinggungan. Faktor *Lemna minor* yang memiliki bobot biomassa $0,2546 \text{ gr/cm}^2$ (L_{100}) akan lebih tepat diinteraksikan dengan mikroorganism yang memiliki konsentrasi sebesar 10 mL/L (M_{10}), 5 mL/L (M_5), dan 1 mL/L (M_1), sehingga akan menghasilkan efektivitas yang tinggi dalam mereduksi senyawa amoniak pada limbah pencucian ikan. Berdasarkan hasil uji Beda Nyata Jujur, perlakuan $M_{10}L_{50}$, M_5L_{100} , M_1L_{50} , M_1L_{100} , $M_{10}L_{100}$ mulai terlihat berbeda nyata terhadap perlakuan M_1L_{10} (efektivitas terendah), dimana perlakuan tersebut memiliki bobot biomassa sebesar $0,1273$ dan $0,2546 \text{ gr/cm}^2$. Jadi, dengan menambahkan bobot biomassa *Lemna minor* diatas $0,1273 \text{ gr/cm}^2$ pada perlakuan kombinasi, maka akan menghasilkan efektivitas penurunan senyawa amoniak yang tinggi.

f. Efektivitas Penurunan Senyawa Nitrit

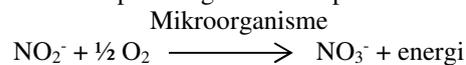
Efektivitas penurunan konsentrasi senyawa nitrit pada uji utama adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Efektivitas Penurunan Nitrit

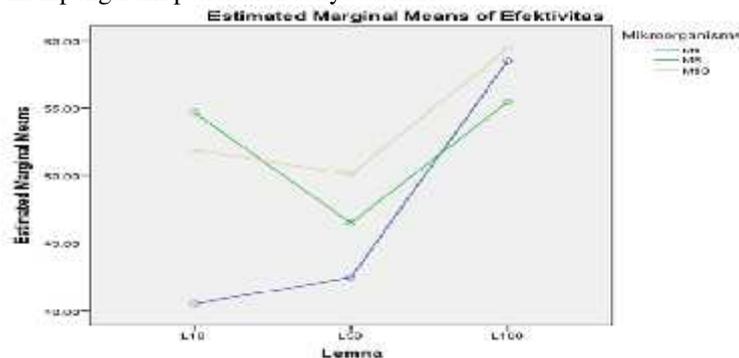
Hasil efektivitas penurunan konsentrasi senyawa nitrit yang dihasilkan berkisar antara 42,21% - 74,10%. Efektivitas tertinggi terjadi pada perlakuan M₁₀L₁₀₀ sebesar 74,10%. Sedangkan, efektivitas terendah terjadi pada M₁L₁₀ sebesar 42,21%. Penurunan konsentrasi nitrit pada limbah pencucian ikan setelah perlakuan disebabkan oleh konsentrasi senyawa amoniak pada limbah tersebut juga mengalami penurunan pada waktu yang sama, sehingga mikroorganisme fotosintetik hanya dapat mengubah amoniak yang ada dan menghasilkan nitrit melalui proses nitrifikasi dalam jumlah yang kecil dan menurun dibandingkan dengan sebelum perlakuan maupun kontrol. Pemanfaatan mikroorganisme pada limbah pencucian ikan memberikan pengaruh yang nyata terhadap penurunan senyawa nitrit dimana $p\text{-value} < 0,05$. Menurut Rosmaniar (2011), rendahnya kadar nitrit yang dihasilkan karena jumlah kadar amoniak yang dapat diubah menjadi nitrit sangat sedikit.

Berdasarkan konsentrasi senyawa nitrit pada limbah pencucian ikan menunjukkan konsentrasi nitrit lebih kecil dibandingkan dengan nitrat dan amoniak. Hal ini terbukti dari hasil konsentrasi rata-rata senyawa nitrit pada semua perlakuan hanya berkisar 2,44–5,40 mg/L. Hal ini dikarenakan oleh senyawa nitrit bersifat tidak stabil, sehingga belum teroksidasi secara sempurna. Oleh sebab itu, kandungan oksigen terlarut sangat penting untuk menghilangkan senyawa nitrit, dimana dengan adanya oksigen yang cukup maka nitrit akan tereduksi menjadi nitrat melalui proses nitrifikasi. Proses reduksi nitrit akan menghasilkan nitrogen bebas (N₂) di udara. Menurut Effendi (2003), nitrit biasanya ditemukan dalam jumlah yang sedikit, kadarnya lebih kecil daripada nitrat karena nitrit tidak stabil jika tidak terdapat oksigen. Reaksi proses nitrifikasi nitrit ke nitrat sebagai berikut.



Efektivitas penurunan senyawa nitrit tertinggi terjadi pada perlakuan dengan bobot biomassa tertinggi yaitu 0,2546 gr/cm². Bobot biomassa sebesar 0,0255 gr/cm² menghasilkan efektivitas terendah. Hal ini dikarenakan dengan bobot biomassa yang tinggi dapat menghasilkan DO dan temperatur yang optimal untuk proses nitrifikasi dimana hasil DO dan temperatur 96 jam pada ketiga perlakuan tersebut >0,3 mg/L dan 29°C. Akan tetapi, nilai DO pada semua perlakuan tergolong rendah, maka proses nitrifikasitetap masih berjalan cukup optimal, dimana efektivitas yang dihasilkan cukup tinggi. Menurut Mulyadi (1994), nitrifikasi berlangsung pada temperatur yang optimal berkisar antara 27 – 32 °C dan dalam kondisi aerob dengan nilai DO > 0,2 mg/L. Hal tersebut dapat dibuktikan pada hasil *two way* ANOVA yang menyatakan bahwa bobot biomassa *Lemna minor* memiliki pengaruh yang nyata terhadap penurunan senyawa nitrit pada limbah pencucian ikan ($p\text{-value} < 0,05$).

Hasil analisis *two way* ANOVA, menunjukkan bahwa pengaruh interaksi kombinasi mikroorganisme dan *Lemna minor* terhadap efektivitas penurunan senyawa nitrit memberikan pengaruh yang nyata karena $p\text{-value} < 0,05$. Pengaruh dari faktor *Lemna minor* merupakan faktor dominan dalam mempengaruhi penurunan senyawa nitrit dibandingkan mikroorganisme karena memiliki nilai $p\text{-value}$ yang lebih kecil. Akan tetapi, faktor mikroorganisme tetap mempengaruhi penurunan senyawa nitrit.

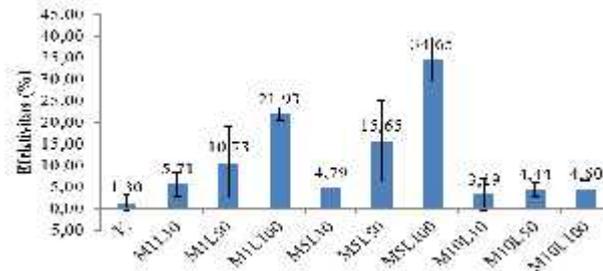


Gambar 4. Pengaruh Interaksi Kombinasi Terhadap Efektivitas Penurunan Nitrit

Berdasarkan grafik (Gambar 4) tersebut, menunjukkan terjadinya pengaruh interaksi kombinasi yang nyata dikarenakan ada ketidaksejajaran garis dan adanya garis yang saling bersinggungan. Faktor *Lemna minor* yang memiliki bobot biomassa 0,2546 gr/cm² (L₁₀₀) akan lebih tepat diinteraksikan dengan mikroorganisme yang memiliki konsentrasi sebesar 10 mL/L (M₁₀), 5 mL/L (M₅), dan 1 mL/L (M₁), sehingga akan menghasilkan efektivitas yang tinggi dalam mereduksi senyawa nitrit pada limbah pencucian ikan. Berdasarkan hasil uji Beda Nyata Jujur, perlakuan M₅L₅₀, M₁₀L₅₀, M₁₀L₁₀, M₅L₁₀, M₅L₁₀₀, M₁L₁₀₀, dan M₁₀L₁₀₀ mulai terlihat berbeda nyata terhadap perlakuan M₁L₁₀ (efektivitas terendah), dimana perlakuan tersebut memiliki bobot biomassa sebesar 0,1273 dan 0,2546 gr/cm². Jadi, dengan menambahkan bobot biomassa *Lemna minor* diatas 0,1273 gr/cm² pada perlakuan kombinasi, maka akan menghasilkan efektivitas penurunan senyawa nitrit yang tinggi.

g. Efektivitas Penurunan Senyawa Nitrat

Efektivitas penurunan konsentrasi senyawa nitrat pada uji utama adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Efektivitas Penurunan Nitrat

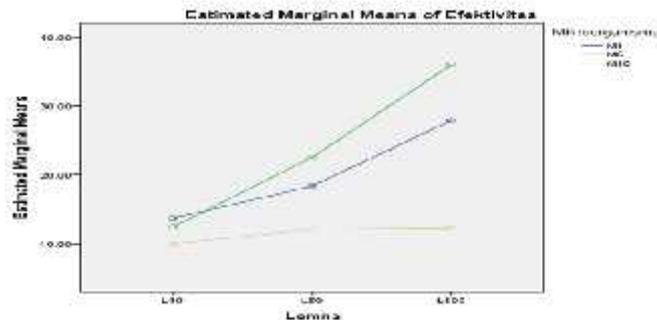
Efektivitas penurunan senyawa nitrat tertinggi yaitu terjadi pada perlakuan M_5L_{100} sebesar 34,65%. Sedangkan, efektivitas terendah terjadi pada perlakuan $M_{10}L_{10}$ sebesar 3,19%. Efektivitas tertinggi terjadi pada bobot biomassa *Lemna minor* 0,1273 gr/cm² dan 0,2546 gr/cm². Hal ini disebabkan karena semakin tinggi bobot biomassa *Lemna minor* maka penyerapan senyawa nitrat oleh akar dan daun tumbuhan air *Lemna minor* juga akan semakin aktif sehingga konsentrasinya akan menurun. Konsentrasi senyawa nitrat mengalami penurunan juga dikarenakan terjadinya proses denitrifikasi. Menurut Wckenfelder and Musterman (1995) dalam Setiyawan dan Hari (2010), denitrifikasi sebagai penggunaan ion nitrat atau nitrit oleh mikroorganisme anaerob fakultatif untuk mendegradasi BOD. Meskipun denitrifikasi sering dikombinasikan dengan aerob untuk menyisihkan variasi komponen nitrogen termasuk nitrat dari limbah, namun denitrifikasi berlangsung ketika kondisi anoksik.

Mikroorganisme



Proses tersebut adalah proses pernafasan anaerobik yang dalam hal ini NO_3^- berlaku sebagai penerima elektron. Nitrat direduksi menjadi Nitrous Oxide (N_2O) dan gas nitrogen (N_2) yang menguap di udara. Mikroorganisme yang terlibat dalam denitrifikasi adalah aerobik autotroph atau heterotrofik yang dapat berubah menjadi anaerobik pada saat nitrat dipergunakan sebagai penerima elektron (Herlambang dan Marsidi, 2003). Senyawa amoniak diubah menjadi nitrit dan nitrat oleh mikroorganisme melalui proses nitrifikasi. Kemudian senyawa nitrat tersebut diserap langsung oleh tumbuhan air untuk pertumbuhannya. Senyawa nitrat yang dihasilkan dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk proses denitrifikasi menjadi Nitrogen dan dilepas ke udara.

Hasil analisis *two way* ANOVA, menunjukkan bahwa ada pengaruh yang nyata dari faktor mikro-organisme dan *Lemna minor* dalam menurunkan senyawa nitrat ($p\text{-value} < 0,05$). Sedangkan, pada interaksi kombinasi mikro-organisme dan *Lemna minor* terhadap efektivitas penurunan senyawa nitrat memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata antar perlakuan kombinasi karena $p\text{-value} > 0,05$. Pengaruh dari faktor *Lemna minor* merupakan faktor dominan dalam mempengaruhi penurunan senyawa nitrat dibandingkan mikroorganisme karena memiliki nilai $p\text{-value}$ yang lebih kecil. Akan tetapi, faktor mikroorganisme tetap mempengaruhi penurunan senyawa nitrat.



Gambar 6. Pengaruh Interaksi Kombinasi Terhadap Efektivitas Penurunan Nitrat

Berdasarkan grafik (Gambar 6) tersebut, menunjukkan terjadinya pengaruh interaksi kombinasi yang nyata dikarenakan ada ketidaksejajaran garis dan adanya garis yang saling bersinggungan. Faktor *Lemna minor* yang memiliki bobot biomassa 0,2546 gr/cm² (L_{100}) akan lebih tepat diinteraksikan dengan mikroorganisme yang memiliki konsentrasi sebesar 1 mL/L (M_1) dan 5 mL/L (M_5), sehingga akan menghasilkan efektivitas yang tinggi dalam mereduksi senyawa nitrat pada limbah pencucian ikan.

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan kombinasi mikroorganisme dan tumbuhan air *Lemna minor* terbukti efektif dalam mereduksi senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat pada limbah pencucian ikan, dimana efektivitas yang dihasilkan yaitu pada variabel amoniak berkisar antara 40,85% - 74,03%, nitrit berkisar antara 42,21% - 74,10%, dan nitrat berkisar antara 3,19% - 34,65%. Pengaruh interaksi dari kombinasi mikroorganisme dan tumbuhan air *Lemna minor* juga memiliki pengaruh yang nyata dalam mereduksi senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat pada limbah pencucian ikan, dimana faktor *Lemna minor* memiliki pengaruh yang lebih besar daripada faktor mikroorganisme. Jadi, pada



bobot biomassa tumbuhan air *Lemna minor* $\geq 0,1273$ gr/cm² yang dikombinasikan dan diinteraksikan pada konsentrasi mikroorganisme sebesar 1 mL/L, 5 mL/L, dan 10 mL/L maka dapat menghasilkan efektivitas penurunan senyawa amoniak, nitrit, dan nitrat pada limbah pencucian ikan yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah swt. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih kepada masyarakat Sentra Pengasapan Ikan Bandarharjo, Semarang yang telah membantu dalam kegiatan penyediaan bahan baku penelitian. Terima kasih kepada Drs. Ign. Boedi Hendarto, M.Sc., Ph.D, Ir. Siti Rudiyantri, M.Si, dan Chrun Ain, S.Pi., M.Si, sebagai penguji di dalam penyusunan penulisan ini. Serta kepada seluruh pihak yang membantu selama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, F. 2013. Uji Kemampuan *Chlorella* sp. sebagai Bioremediator Limbah Cair Tahu. Jurusan Biologi, FST, UIN Maliki Malang.
- Bergheim, A., R. Kristiansen, and L. Kelly. 1993. Treatment and Utilization of Sludge from Landbased Farms for Salmon. J-K. Wang, editor. Techniques for modern aquaculture. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 486-495 p.
- Brune D.E, G. Schwartz, A.G. Eversole, J.A. Collier, T.E. Schwadler. 2003. Intensification of Pond Aquaculture and High Rate Photosynthetic Systems. Aquaculture Engineering, 28: 65 – 86.
- BPPT dan Bapedal. 2002. Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. Samarinda.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Fitria, Y. 2008. Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Limbah Cair Industri Perikanan Menggunakan Asam Asetat dan EM₄. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Fikri, Z. 2013. Aquatic Plant Treatment Tanaman Paku Air *Azolla pinnata* Terhadap Penurunan Kadar Amoniak pada Air Limbah Industri Tahu di Kelurahan Kekalik, Nusa Tenggara Barat. Media Bina Ilmiah, 7 (4): 1-5.
- Herlambang, A., dan R. Marsidi. 2003. Proses Denitrifikasi dengan Sistem Biofilter untuk Pengelolaan Air Limbah yang Mengandung Nitrat. Jurnal Teknik Lingkungan P3TL-BPPT, 4(1): 46-55.
- Leblelici, Z. A. Aksoy, and F. Duman. 2009. Influence of Salinity on The Growth and Heavy Metal Accumulation Capacity of *Spirodela polyrrhiza* (Lemnaceae). Turk. J. Biol, 35: 215-220.
- Mulyadi, S. 1994. Pupuk dan Cara Pemupukan. Rineka Cipta, Jakarta.
- Nayono, S.E. 2014. Metode Pengolahan Air Limbah Alternatif untuk Negara Berkembang. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 6 Tahun 2007 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Hasil Perikanan.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Pitriani, A. Daud, dan N. Jafar. 2014. Efektifitas Penambahan EM₄ pada Biofilter Anaerob-Aerob dalam Pengolahan Air Limbah RS. Unhas. Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Tadulako, Tadulako.
- Porath, D. and Pollock J. 1982. Ammonia Stripping by Duckweed and its Feasibility in Circulating Aquaculture. Aquat. Bot., 13: 125-131.
- Prameswari, W., A. D. Sasanti, dan Muslim. 2013. Populasi Bakteri, Histologi, Kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan Benih Ikan Gabus (*Channa striata*) yang Dipelihara dalam Media dengan Penambahan Probiotik. Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia, 1(1): 76-89.
- Rosmaniar. 2011. Dinamika Biomassa Bakteri dan Kadar Limbah Nitrogen pada Budidaya Ikan Lele (*Clarias gariepinus*) Intensif Sistem Heterotrofik. UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Rossiana, N., T. Supritun, dan Y. Dhhiyat. 2007. Fitoremediasi Limbah Cair dengan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solms) dan Limbah Padat Industri Minyak Bumi dengan Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) Bermikroza. Laporan Penelitian. FMIPA, Universitas Padjajaran, Bandung.



- Setyawan, A. Dan B. Hari N. 2010. Karakteristik Proses Klarifikasi dalam Sistem Nitrifikasi-Denitrifikasi untuk Pengelolaan Limbah Cair dengan Kandungan N-NH₃ Tinggi. [Skripsi]. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Setyawan, Y.D., A.Ign. Kristijanto, S. Sastrodihardjo. 2014. Pengaruh Padat Populasi Gulma Mata Ikan (*Lemna minor* L) Terhadap Penyerapan Logam Timbel (Pb), dan Seng (Zn) dari Air Limbah Tekstil. Program Studi Kimia, FSM, Universitas Kristen Satya Wacana. Salatiga.
- Standar Nasional Indonesia SNI 06-2479-1991 tentang Air, Metode Pengujian Kadar Amonium dengan Alat Spektrofotometer secara Nessler. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia SNI 01-3554-2006 tentang Cara Uji Air Minum dalam Kemasan. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Trisna, D.E., A. D. Sasanti, dan Muslim. 2013. Populasi Bakteri, Kualitas Air Media Pemeliharaan dan Histologi Benih Ikan Gabus (*Channa striata*) yang Diberi Pakan Berprobiotik. Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia, 1 (1): 90-102.
- Umarudin, J. Nur, A. Wulandari, dan M. Izzati. 2015. Efektivitas Tanaman Lemna (*Lemna perpusilla* Torr) Sebagai Agen Fitoremediasi pada Keramba Jaring Apung (KJA) Disekitar Tanjungmas Semarang. Jurnal BIOMA, 17 (1): 1-8.
- Waluyo, Lud. 2009. Mikrobiologi Lingkungan. UMM Press: Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
- Widjaja, F. 2004. Tumbuhan Air. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.