

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI PEMBEKUAN IKAN KACA
PIRING (*Sillago sihama*) MENGGUNAKAN KOMBINASI BAKTERI
Acinetobacter baumannii, *Bacillus megaterium*, *Nitrococcus sp.* DAN
Pseudomonas putida SECARA AEROB**

*Liquid Waste Processing of Frozen Plate Fish (*Sillago sihama*) Industry using
Aerobically Growth of Bacteria Combination of *Acinetobacter baumannii*, *Bacillus
megaterium*, *Nitrococcus sp.* and *Pseudomonas putida**

Maghfirotin Banin Marta^{1*}, Yahya², Happy Nursyam²

¹Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman. Jl. Tanah Grogot,
Kampus Gunung Kelua, Samarinda 75119, ²Jurusan Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan
Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Jl. Veteran No.16, Ketawanggede, Lowokwaru, Malang 65145
*)Penulis korespondensi: maghfirotinmb@faperta.unmul.ac.id

Submisi 28.7.2021; Penerimaan 21.9.2021; Dipublikasikan 22.9.2021

ABSTRAK

Industri pembekuan ikan (*cold storage*) sangat besar mengkonsumsi air untuk proses pencucian bahan baku dan peralatan sehingga banyak menghasilkan limbah cair. Salah satu pengolahan limbah yaitu secara biologi dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menurunkan substrat tertentu pada limbah. Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Acinetobacter baumannii*, *Bacillus megaterium*, *Nitrococcus sp.* dan *Pseudomonas putida*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan kombinasi bakteri terhadap limbah cair industri pembekuan ikan kaca piring (*Sillago sihama*), dengan melihat perubahan nilai pH, TSS (*Total Solid Suspended*), amonia, minyak dan lemak, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan membandingkan kelompok perlakuan dengan kontrol. Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan yaitu hari ke-0, hari ke-5 dan hari ke-10. Limbah cair yang berasal dari pabrik pembekuan ikan kaca piring (*Sillago sihama*) dari PT. Inti Luhur Fuja Abadi, kabupaten Pasuruan. Hasil dari penelitian ini perlakuan kombinasi bakteri *Acinetobacter baumannii* (A), *Bacillus megaterium* (B), *Nitrococcus sp.* (N), dan *Pseudomonas putida* (P) memberikan pengaruh yang nyata pada semua parameter. Nilai yang dihasilkan telah memenuhi syarat baku mutu limbah cair pembekuan ikan pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 5 tahun 2014. Nilai pH mengalami kenaikan dari kontrol, hari ke 5 sampai hari ke 10. Untuk kombinasi bakteri terbaik adalah A+P dengan nilai TSS sebesar 63,85 mg/L, kadar amoniak sebesar 1,02 mg/L, minyak dan lemak sebesar 1,95 mg/L, BOD sebesar 20,05 mg/L, dan COD sebesar 79,95 mg/L.

Kata kunci: limbah cair, *Acinetobacter baumannii*, *Bacillus megaterium*, *Nitrococcus sp.*, *Pseudomonas putida*, aerasi

ABSTRACT

*The fish freezing industry consumes a lot of water for the washing process of raw materials and equipment, resulting in a lot of liquid waste. One of the waste treatments is biologically by utilizing the activity of microorganisms to reduce certain substrates in the waste. The bacteria used in this study were *Acinetobacter baumannii*, *Bacillus megaterium*, *Nitrococcus sp.* and *Pseudomonas putida*. The purpose of this study was to determine the effect of adding a combination of bacteria to the liquid waste of the frozen plate fish (*Sillago sihama*) industry, by looking at changes in the pH value, TSS (*Total Solid Suspended*), ammonia, oil and fat, BOD (*Biological Oxygen Demand*) and COD (*Chemical Oxygen Demand*). This study used a Randomized Block Design by comparing the treatment group with the control group. In this study, observations were made on day 0, day 5 and day 10.*

Liquid waste originating from the plate glass fish freezing factory (*S. sihama*) from PT. Inti Luhur Fuja Abadi, Pasuruan district. The results of this study were combination treatment of bacteria *A. baumannii* (A), *Bacillus megaterium* (B), *Nitrococcus* sp. (N), and *Pseudomonas putida* (P) had a significant effect on all parameters. The resulting value has met the quality standards of fish freezing liquid waste in the regulation of the minister of the environment number 5 of 2014. The pH value has increased from control, day 5 to day 10. For the best bacterial combination is A + P with a TSS value of 63.85 mg/L, 1.02 mg/L of ammonia, 1.95 mg/L of oils and fats, 20.05 mg/L of BOD, and 79.95 mg/L of COD.

Keywords: Liquid waste, *Acinetobacter baumannii*, *Bacillus megaterium*, *Nitrococcus* sp., *Pseudomonas putida*, aeration

PENDAHULUAN

Industri perikanan di Indonesia kini telah mengalami perkembangan yang sangat pesat dan tersebar di berbagai daerah di Indonesia seperti Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat, Jakarta, serta beberapa daerah lainnya di luar pulau Jawa (Pamungkas, 2016). Industri pengolahan hasil perikanan dengan berbagai jenis olahannya serta teknologi yang digunakan dalam proses pengolahan maupun penangkapan akan menghasilkan limbah, baik itu limbah cair maupun limbah padat yang memiliki potensi untuk merusak keseimbangan ekologi, terutama ekologi air, sungai maupun laut (Mukhtasor, 2007).

Limbah cair yang dikeluarkan oleh industri perikanan seperti pengalengan, pembekuan (*cold storage*), rumput laut, tepung ikan dan lain sebagainya sangat besar volumenya, hal ini karena konsumsi air untuk proses pengolahan, pencucian bahan baku dan peralatan yang cukup tinggi (Ibrahim, 2004). Limbah cair yang dihasilkan oleh industri pengolahan ikan mengandung protein, lemak, nitrat (NO₃), fosfat (PO₄), sulfida (H₂S), amoniak (NH₃-N), dan klorin bebas (Bestari dan Suharjo, 2015). Limbah tersebut dapat menyebabkan pencemaran atau gangguan lingkungan seperti turunnya kandungan oksigen terlarut dalam air, sehingga ketersediaan oksigen bagi organisme di lingkungan tersebut berkurang, bahkan dapat menyebabkan kematian bagi organisme tersebut serta dapat menimbulkan bau yang tidak sedap (Pamungkas, 2016).

Pengolahan limbah cair bertujuan agar limbah tersebut memenuhi syarat baku mutu untuk dapat dibuang atau dimanfaatkan kembali dengan menghilangkan atau menurunkan kadar bahan pencemar yang terkandung di dalamnya (Junaidi dan Hatmanto, 2006). Berdasarkan Peraturan

Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 tentang Batas Mutu Air Limbah kegiatan pengolahan pembekuan hasil perikanan, maka batas maksimum yang diperbolehkan untuk parameter *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Total Suspended Solid* (TSS) adalah 100 mg/L, *Chemical Oxygen Demand* (COD) 200 mg/L, amonia 10 mg/L, minyak dan lemak 15 mg/L dengan nilai rentang pH sebesar 6-9. Oleh karena itu diperlukan suatu pengolahan limbah cair sehingga sebelum dibuang ke badan air dapat memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan (Sartika et al., 2021).

Proses pengolahan limbah cair dapat dilakukan secara fisik, kimiawi, dan biologis. Pengolahan limbah secara biologi diarahkan untuk menurunkan substrat tertentu yang terkandung dalam limbah dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme yang menggunakan zat pencemar sebagai substratnya (sumber energi dan karbon) untuk pertumbuhan dan sintesis sel (Suligundi, 2013). Mikroorganisme yang digunakan merupakan campuran dari beberapa jenis bakteri yang hidup bersimbiosis secara artifisial, yang masing-masing mempunyai fungsi spesifik dan bekerja sama secara sinergis dalam menguraikan bahan organik, senyawa nitrogen, dan menangkap gas yang menyebabkan bau seperti amoniak dan asam sulfida sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya (Saputra et al., 2016).

Menurut Zahidah dan Shovitri (2013), beberapa jenis bakteri yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair, antara lain *Pseudomonas* spp., *Achromobacter* spp., *Bacillus* sp. p., *Flavobacterium* spp., *Clostridium* spp., *Streptomyces* spp., *Thermonospora* spp., *Microplasma* spp., *Thermoactinomyces* spp, dan lain sebagainya. *Pseudomonas* merupakan bakteri kelompok proteolitik berperan dalam proses dekomposisi protein,

sedangkan *Bacillus*, *Pseudomonas* dan *Vibrio* kelompok bakteri yang mendekomposisi kitin. *Nitrococcus* sp sebagai bakteri nitrifikasi yang mampu mengoksidasi amonia menjadi nitrit (Yahya *et al.*, 2014). *Acinetobacter baumannii* adalah bakteri yang menghasilkan enzim lipase untuk mengkatalisis hidrolisis lipid/minyak menjadi produk yang larut (Parwata dan Oviantari, 2015). Adharani dan Yusuf (2019), menjelaskan bahwa *Bacillus megaterium* mampu menurunkan kandungan logam kromium dan kandungan bahan organik (BOD, COD, pH dan suhu) limbah cair domestik yang di kawasan laut Muncar Banyuwangi.

Oleh karena itu, penggunaan bakteri *Acinetobacter baumannii*, *Bacillus megaterium*, *Nitrococcus* sp. dan *Pseudomonas putida* diharapkan mampu menurunkan kandungan bahan pencemar pada limbah cair industri pembekuan ikan kaca piring (*Sillago sihama*) sehingga memenuhi syarat baku mutu limbah cair.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Limbah cair pembekuan ikan Kaca Piring yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari PT. Inti Luhur Fuja Abadi, kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Pada proses pengambilan dibutuhkan es batu yang berfungsi untuk menjaga sampel agar tidak mengalami perubahan kimia maupun fisika saat proses menuju laboratorium. Biakan murni bakteri yang digunakan antara lain *A. baumannii* (A), *B. megaterium* (B), *Nitrococcus* sp (N) dan *P. putida* (P) yang diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang.

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan membandingkan kelompok perlakuan dengan kontrol. Perlakuan yang digunakan antara lain kombinasi bakteri *A. baumannii* dan *B. megaterium* (A+B), kombinasi bakteri *A. baumannii* dan *Nitrococcus* sp (A+N) dan kombinasi bakteri *A. baumannii* dan *P. putida* (A+P). Pengamatan dan pengujian selama aerasi dilakukan pada hari ke 0, 5 dan 10.

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel yaitu variabel kontrol, variabel bebas dan variabel terikat. Variabel kontrol adalah limbah cair yang tidak ditambahkan inokulum dan diaerasi selama 10 hari. Variabel bebas meliputi variasi inokulum yaitu *A. baumannii* + *B. megaterium*, *A. baumannii* + *Nitrococcus* sp. dan *A. baumannii* + *P. putida*, dengan kadar bakteri 1 mL/L dan diaerasi selama 10 hari. Variabel terikat meliputi kualitas limbah yang diukur berdasarkan parameter pH, TSS (*Total Suspended Solid*) minyak dan lemak, amoniak, BOD dan COD. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan ANOVA pada taraf kepercayaan 5% dan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT).

Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari tahap pengambilan sampel limbah cair, tahap aerasi dan tahap pengujian kualitas limbah cair berupa pengukuran pH, TSS, amonia, minyak/lemak, BOD dan COD.

Pengambilan Sampel Limbah Cair

Limbah cair pembekuan ikan Kaca piring (*Sillago sihama*) diperoleh dari PT. Inti Luhur Fuja Abadi, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Sampel diambil dari bak pencucian ikan yang pertama dan kedua, dicampur rata dan dihomogenkan. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam jeriken steril dan dimasukkan ke dalam *coolbox* yang telah diisi es batu, selanjutnya dibawa menuju Laboratorium. Setelah sampai di laboratorium, sampel langsung dimasukkan ke dalam stoples sesuai dengan kode sampel dan dipasang aerator yang berfungsi sebagai tempat perlakuan sampel.

Proses aerasi

Aerasi berfungsi sebagai pemasok oksigen (O₂) ke dalam limbah cair yang digunakan oleh bakteri aerob untuk proses metabolisme. Menurut Jasmiyati *et al.* (2010), proses aerob lebih baik dari pada proses anaerob dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD limbah cair. Aerator, selang, kran, pemecah udara serta stoples dirangkai dan selanjutnya dimasukkan 2 liter sampel limbah cair ke dalam stoples tersebut. Bakteri *A. baumannii*, *B. megaterium*, *Nitrococcus* sp. dan *P. putida* dengan kepadatan 10⁶ CFU/mL diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi

Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang ditambahkan sebanyak 2 mL dari kombinasi bakteri untuk 2 liter limbah cair. sehingga masing-masing bakteri ditambahkan sebanyak 1 mL. Menurut Ishartanto (2009), dosis bakteri sebesar 1mL/L limbah ($1,5 \times 10^{16}$ CFU/mL) dapat menurunkan nilai BOD sebesar 96%. Zalfiatri et al (2017), menyebutkan bahwa penambahan *Bacillus sp.* sebanyak 3 mL/L ($1,6 \times 10^5$ CFU/mL) mengalami penurunan terbesar terhadap nilai BOD hingga 91,31% dan dapat mengolah air limbah domestik untuk memenuhi standar baku mutu. Proses aerasi berlangsung selama 10 hari dan pada hari ke-0, 5 dan 10 dilakukan analisis kualitas limbah cair.

Prosedur Analisis

Sampel limbah cair dianalisis kualitasnya pada hari ke-0, 5 dan 10 dan dilakukan pengujian di Laboratorium Lingkungan PERUM Jasa Tirta I Malang. Prosedur analisa pH berdasarkan SNI 06-6989.11-2004 dengan menggunakan pH meter. Analisis TSS secara gravimetri berdasarkan SNI 06-6989.3-2004 prinsipnya yaitu sampel dihomogenkan dan disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang. Residu yang tertahan pada saringan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai dengan 105°C. Kenaikan berat saringan mewakili TSS. Untuk memperoleh estimasi TSS, dihitung perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total.

Analisa minyak dan lemak dalam air limbah berdasarkan SNI 06-6989.10.2004 dengan diekstraksi menggunakan pelarut organik dalam corong pisah dan untuk menghilangkan air yang masih tersisa digunakan Na_2SO_4 anhidrat. Ekstrak minyak dan lemak dipisahkan dari pelarut organik secara destilasi. Residu yang tertinggal pada labu destilasi ditimbang sebagai minyak dan lemak. Analisis kadar amonia berdasarkan SNI 06-6989.30-2005 dengan spektrofotometer secara fenat yang prinsipnya amoniak bereaksi dengan hipoklorit dan fenol yang dikatalis oleh natrium nitroprusida membentuk senyawa biru indofenol dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 640 nm.

Uji kebutuhan oksigen biokimia BOD berdasarkan SNI 6989.72:2009 pada prinsipnya sampel ditambahkan ke dalam

larutan pengencer jenuh oksigen yang ditambah larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu $20 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 5 hari. Nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut 0 (nol) hari dan 5 (lima) hari. Bahan kontrol standar dalam uji BOD ini, digunakan larutan glukosa-asam glutamat. Pada uji kebutuhan oksigen kimia COD berdasarkan SNI 6989.2-2009 prinsipnya yaitu senyawa organik dan anorganik, terutama senyawa organik dalam sampel dioksidasi oleh $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dalam refluks tertutup menghasilkan Cr^{3+} . Jumlah oksidan yang dibutuhkan dalam ekuivalen oksigen (O_2 mg/L) diukur secara spektrofotometri sinar tampak. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ kuat (nilai COD lebih kecil atau sama dengan 90 mg/L) mengabsorpsi pada panjang gelombang 420 nm dan Cr^{3+} kuat (nilai COD 100 mg/L sampai dengan 900 mg/L) mengabsorpsi pada panjang gelombang 600 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh jenis kombinasi bakteri pada pengolahan limbah cair industri pembekuan ikan kaca piring sampai dengan 10 hari proses aerasi disajikan pada Tabel 1.

Nilai pH

Penambahan kombinasi bakteri *A. baumannii*, *B. megaterium*, *Nitrococcus sp.* dan *P. putida* pada limbah cair pembekuan ikan kaca piring memberikan pengaruh nyata terhadap nilai pH, perubahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai pH merupakan parameter pendukung yang penting untuk dianalisis karena sebagai indikator bagi keberlangsungan proses penguraian oleh mikroorganisme di dalam suatu sistem pengolahan limbah (Indrayani dan Rahmah, 2018). Nilai pH limbah cair yang diberikan perlakuan kombinasi bakteri baik A+B, A+N dan A+P mengalami peningkatan dibandingkan hari ke-0 dan lebih tinggi bila dibandingkan dengan pH pada kontrol. Nilai pH sampel berkisar 8-8,4 pada hari ke 5 dan 10, rentang pH tersebut masih dalam baku mutu air limbah kegiatan pengolahan pembekuan hasil perikanan yang ditetapkan oleh peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 yaitu pH 6-9.

Tabel 1. Pengaruh jenis kombinasi bakteri pada pengolahan limbah cair industri pembekuan ikan kaca piring (*Sillago sihama*) dengan aerasi

| Parameter (mutu baku) | Jenis Kombinasi Bakteri | Lama Aerasi | | |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | 0 hari | 5 hari | 10 hari |
| pH (6-9) | Kontrol | 6.65 ± 0.15 ^a | 7.10 ± 0.10 ^a | 7.57 ± 0.40 ^a |
| | A+B | 6.65 ± 0.15 ^a | 8.00 ± 0.20 ^b | 8.20 ± 0.10 ^b |
| | A+N | 6.65 ± 0.15 ^a | 8.05 ± 0.05 ^c | 8.30 ± 0.10 ^c |
| | A+P | 6.65 ± 0.15 ^a | 8.05 ± 0.05 ^c | 8.40 ± 0.10 ^d |
| TSS (100 mg/L) | Kontrol | 106.30 ± 1.20 ^a | 102.40 ± 1.10 ^d | 98.00 ± 0.36 ^d |
| | A+B | 106.30 ± 1.20 ^a | 97.05 ± 0.35 ^b | 68.25 ± 0.45 ^b |
| | A+N | 106.30 ± 1.20 ^a | 98.20 ± 0.60 ^c | 74.20 ± 0.70 ^c |
| | A+P | 106.30 ± 1.20 ^a | 80.85 ± 0.45 ^a | 62.85 ± 0.45 ^a |
| Amonia (10 mg/L) | Kontrol | 16.10 ± 0.30 ^a | 13.60 ± 0.85 ^d | 13.00 ± 0.36 ^c |
| | A+B | 16.10 ± 0.30 ^a | 9.72 ± 0.14 ^c | 1.40 ± 0.34 ^b |
| | A+N | 16.10 ± 0.30 ^a | 8.62 ± 0.12 ^b | 1.13 ± 0.37 ^a |
| | A+P | 16.10 ± 0.30 ^a | 5.90 ± 0.01 ^a | 1.02 ± 0.32 ^a |
| Minyak dan lemak (15 mg/L) | Kontrol | 2.75 ± 0.25 ^a | 2.60 ± 0.20 ^c | 3.00 ± 0.05 ^c |
| | A+B | 2.75 ± 0.25 ^a | 2.35 ± 0.05 ^a | 2.15 ± 0.05 ^a |
| | A+N | 2.75 ± 0.25 ^a | 2.45 ± 0.05 ^b | 2.25 ± 0.05 ^b |
| | A+P | 2.75 ± 0.25 ^a | 2.15 ± 0.05 ^a | 1.95 ± 0.05 ^a |
| BOD (100 mg/L) | Kontrol | 70.85 ± 0.25 ^a | 68.80 ± 0.35 ^d | 64.00 ± 0.36 ^d |
| | A+B | 70.85 ± 0.25 ^a | 61.20 ± 0.70 ^b | 39.10 ± 0.30 ^b |
| | A+N | 70.85 ± 0.25 ^a | 68.20 ± 0.70 ^c | 52.95 ± 0.45 ^c |
| | A+P | 70.85 ± 0.25 ^a | 47.35 ± 0.55 ^a | 20.05 ± 0.65 ^a |
| COD (200 mg/L) | Kontrol | 256.45 ± 0.65 ^a | 249.60 ± 0.75 ^d | 247.30 ± 1.28 ^d |
| | A+B | 256.45 ± 0.65 ^a | 173.10 ± 0.40 ^b | 84.91 ± 0.40 ^b |
| | A+N | 256.45 ± 0.65 ^a | 195.35 ± 0.55 ^c | 108.15 ± 0.35 ^c |
| | A+P | 256.45 ± 0.65 ^a | 112.85 ± 0.65 ^a | 79.95 ± 0.44 ^a |

Keterangan: A+B (kombinasi bakteri *Acinetobacter baumannii* dan *Bacillus megaterium*); A+N (kombinasi bakteri *A. baumannii* dan *Nitrococcus sp*); A+P (kombinasi bakteri *A. baumannii* dan *Pseudomonas putida*). Data pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menyatakan berbeda nyata ($p < 0,05$). Batas maksimal yang dianjurkan berdasarkan pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 tentang Batas Mutu Air Limbah kegiatan pengolahan pembekuan hasil perikanan.

Aktivitas mikroorganisme akan sangat ditentukan oleh derajat keasaman (pH) air limbah yang optimum pada pH 6,5–8,3. Lingkungan dengan pH > 9,5 dan < 4 menyebabkan mikroorganisme tidak aktif atau bahkan mati (Jenie dan Rahayu, 2007). Pertumbuhan mikroba secara normal pasti menuju pH netral sehingga mikroba dapat berkembang biak untuk mendegradasi bahan organik yang ada dalam limbah cair. Peningkatan pH dapat disebabkan oleh mikroorganisme dalam limbah yang menghasilkan amoniak, mikroorganisme tersebut menguraikan bahan-bahan organik dan menghasilkan amonia yang dapat menaikkan nilai pH (Megasari *et al.*, 2012). Silalahi *et al.* (2018),

menjelaskan bahwa peningkatan pH mengindikasikan bahwa terjadinya degradasi protein menjadi amonium yang merupakan bufer alami. Penguraian senyawa organik terdapat pendegradasian protein menjadi amoniak nitrogen (NH₃-N), kemudian bereaksi dengan air membentuk amonium nitrogen (NH₄-N).

Menurut Jasmiyati *et al.* (2010), peningkatan nilai pH disebabkan oleh mikroorganisme yang merombak sisa bahan organik dari limbah cair. Dari penguraian senyawa organik dapat menghasilkan amoniak dan karbon dioksida yang secara otomatis meningkatkan nilai pH. Ketersediaan oksigen menyebabkan bahan organik pada limbah

akan terurai menjadi gas CO₂, NH₄ pada kondisi pH larutan basa, sehingga kadar bahan organik di dalam limbah akan berkurang.

Nilai TSS

Pengolahan limbah cair pembekuan ikan kaca piring dengan kombinasi bakteri *A. baumannii*, *B. megaterium*, *Nitrococcus sp.* dan *P. putida* memberikan pengaruh nyata terhadap nilai TSS, perubahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

TSS atau total padatan tersuspensi adalah padatan yang tersuspensi di dalam air berupa bahan-bahan organik dan anorganik yang dapat disaring dengan kertas millipore berpori 0,45 µm. Materi yang tersuspensi mempunyai dampak buruk terhadap kualitas air karena mengurangi penetrasi matahari ke dalam badan air, sehingga kekeruhan air meningkat dan menyebabkan gangguan pertumbuhan bagi organisme produser (Indrayani dan Rahmah, 2018).

Nilai TSS pada limbah cair sebelum diberi perlakuan bakteri (hari ke-0) yaitu 106,3 mg/L, kemudian mengalami penurunan pada hari ke 5 dan 10 dengan tiga macam kombinasi bakteri yaitu A+B, A+N dan A+P. Penurunan nilai TSS berkisar antara 97,05 hingga 62,85 mg/L pada hari ke-5 dan 10 aerasi. Jenis kombinasi bakteri A+P (*A. baumannii* + *P. putida*) memberikan penurunan yang signifikan pada nilai TSS hari ke-5 dan 10 dibandingkan dengan jenis kombinasi bakteri lainnya yaitu mencapai 62,85 mg/L pada hari ke-10. Menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 kandungan TSS maksimal yaitu sebesar 100 mg/L, maka hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan TSS telah memenuhi standar karena nilai yang dihasilkan di bawah 100 mg/L.

Susilo *et al.* (2015), menjelaskan bahwa pengolahan limbah yang semakin lama menunjukkan semakin menurunnya kandungan TSS yang terdapat pada limbah cair. Hal ini dikarenakan waktu tinggal pengolahan limbah yang lebih lama menyebabkan suplai oksigen dalam air secara kontinu terus meningkat dan berakibat pada aktivitas degradasi limbah secara aerob.

Penurunan TSS juga dapat disebabkan oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan padatan tersuspensi dari limbah cair

industri perkembangbiakan dan aktivasinya. Padatan tersuspensi yang berupa bahan-bahan organik akan mengalami pembusukan dan bahan padatannya akan mengapung oleh adanya dorongan gas yang menyebabkan bau busuk dan kotoran mengambang (Megasari *et al.*, 2012). Doraja *et al.* (2012), juga menjelaskan bahwa bahan organik kompleks dihidrolisis menjadi organik sederhana (asam organik). Nilai TSS akan turun karena bahan organik yang berukuran besar diubah menjadi ukuran yang lebih kecil (proses degradasi) serta asam organik diubah menjadi karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄).

Nilai Amonia

Kombinasi bakteri *A. baumannii*, *B. megaterium*, *Nitrococcus sp.* dan *P. putida* pada pengolahan limbah cair pembekuan ikan kaca piring memberikan pengaruh nyata terhadap nilai amonia, perubahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil analisa kadar Amonia hari ke 0 sebelum diberi perlakuan bakteri, kadar amoniak limbah cair pembekuan ikan kaca piring didapatkan hasil 16,1 mg/L. Pada limbah cair yang diberikan perlakuan kombinasi bakteri yaitu A + B, A + N dan A + P menghasilkan nilai amonia yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Nilai Amonia pada kontrol hari ke-5 dan 10 yaitu 13,6 mg/L dan 13 mg/L, sedangkan pada pemberian perlakuan kombinasi bakteri berkisar antara 9,72 hingga 1,02 mg/L pada hari ke-5 dan 10. Perlakuan kombinasi A + P (*A. baumannii* + *P. putida*) pada hari ke-5 dan 10 didapatkan hasil yang lebih rendah dibandingkan perlakuan kombinasi bakteri A+B dan A+N yaitu 5,90 mg/L dan 1.02 mg/L. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengolahan limbah dengan penambahan kombinasi bakteri telah memenuhi syarat pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 yaitu kandungan amonia maksimal sebesar 10 mg/L.

Amonia yang berlebihan dalam air akan menimbulkan penurunan kadar oksigen terlarut dan cenderung bersifat toksik sehingga secara tidak langsung akan mempengaruhi kehidupan dalam air (Irianto, 2016). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi amonia mengalami penurunan seiring lamanya proses pengolahan limbah cair. Hal ini

menerangkan bahwa proses penguraian amonia pada saat nitrifikasi dilakukan oleh mikroorganisme autotrof dan mikroorganisme heterotrof untuk mensintesis sel. Semakin lama proses tersebut maka konsentrasi amoniak dalam air limbah akan semakin berkurang (Adisuasono *et al.*, 2014).

Untuk menyisahkan kandungan nitrogen di dalam air limbah, pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi, yaitu amonia diubah menjadi nitrat ($\text{NH}_4^+ \text{NO}_3^-$) dan pada kondisi anaerobik (anoxic) terjadi proses denitrifikasi, yaitu nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen ($\text{NO}_3^- \text{N}_2$) (Satria *et al.*, 2019). Perubahan pH pada air limbah menunjukkan bahwa telah terjadi aktivitas mikroorganisme yang mendegradasi bahan organik. Degradasi protein dan nitrogen organik yang menjadi amonium (NH_4) dapat menaikkan pH menjadi basa. Kondisi pH yang relatif tinggi akan melarutkan nitrogen dan selanjutnya akan diemisikan sebagai amoniak (NH_3) (Doraja *et al.*, 2012).

Bakteri heterotrof dan autotrof menggunakan oksigen dalam proses pemanfaatan amonia. Bakteri heterotropik adalah bakteri yang mengkonsumsi oksigen dalam proses perubahan amonia dengan produk akhir berupa biomassa sel. Beberapa bakteri yang memiliki sifat heterotrof ialah *E. coli*, *Lactobacillus bulgaricus* dan *Bacillus sp.* (Rosmaniar, 2011). Ditambahkan oleh Agustiyani *et al.* (2004), bakteri pengoksidasi amonia yang bersifat autotrofik adalah kelompok bakteri yang berperan dalam proses oksidasi amonia menjadi nitrit pada siklus nitrogen, juga pada proses peruraian nitrogen dalam sistem pengolahan limbah cair. Bakteri autotrofik yang berperan dalam oksidasi amonia menjadi nitrit adalah *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus*, dan *Nitrosovibrio*.

Nilai Minyak dan Lemak

Pengolahan limbah cair pembekuan ikan kaca piring dengan kombinasi bakteri *A. baumannii*, *B. megaterium*, *Nitrococcus sp.* dan *P. putida* pada memberikan pengaruh nyata terhadap nilai minyak dan lemak, perubahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil analisa kadar Minyak dan Lemak hari ke 0 sebelum diberi perlakuan bakteri, kadar minyak dan lemak limbah cair

pembekuan ikan kaca piring didapatkan hasil 2,75 mg/L. Kemudian pada kontrol hari ke 5 mengalami penurunan yaitu 2,6 mg/L dan pada hari ke 10 mengalami peningkatan yaitu 3 mg/L. Pada semua perlakuan limbah cair dengan kombinasi bakteri yang berbeda yaitu A+B, A+N dan A+P memiliki nilai minyak dan lemak lebih rendah dibandingkan dengan kontrol baik pada hari ke-5 dan 10, berkisar antara 2,45 hingga 1,95 mg/L. Pada perlakuan kombinasi bakteri A+B dan A+P nilai minyak dan lemak tidak berbeda signifikan dan lebih rendah dibandingkan dengan kombinasi bakteri A+N. Pada perlakuan kombinasi A + P hari ke-10 memiliki nilai terendah dibandingkan perlakuan lain yaitu 1,95 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi bakteri pada limbah cair pembekuan ikan kaca piring telah memenuhi peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 yaitu maksimal kandungan lemak sebesar 15 mg/L.

Menurut Januar *et al.* (2013), penurunan kadar lipid disebabkan oleh aktivitas kultur bakteri untuk merombak senyawa organik pada limbah tersebut. Perombakan oleh kultur bakteri disebabkan enzim *membrane-bound oxygenase* yang dikeluarkan bakteri. Fungsi dari enzim tersebut adalah untuk meningkatkan kontak secara langsung antara minyak dan bakteri. Dengan demikian minyak dapat dimanfaatkan oleh bakteri sebagai sumber karbon. Penurunan kadar minyak dan lemak juga terjadi karena pemanfaatan minyak dan lemak sebagai substrat oleh bakteri aerobik dan juga dimungkinkan karena proses fermentasi (anaerob) air limbah (Romayanto *et al.*, 2006).

Zalfiatri *et al.* (2017), menjelaskan bahwa bakteri yang dapat menguraikan minyak antara lain *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.*, *Pseudomonas sp.* Bakteri tersebut dapat menguraikan kandungan minyak limbah cair kelapa sawit (trigliserida) menjadi asam lemak bebas dengan enzim lipase ekstrasel. *Bacillus sp.* juga mampu menguraikan kandungan minyak limbah cair kelapa sawit (Romayanto *et al.*, 2006). *Pseudomonas* dan *Rhodococcus* dapat mendegradasikan limbah melalui metabolis sintropi yang terjadi pada rantai metabolis (Maharani, 2017). *A. baumannii* merupakan bakteri penghasil enzim lipase yang dapat mengkatalisis hidrolisis

lipid/minyak menjadi produk yang larut (Parwata dan Oviantari, 2015). Beberapa proses inilah yang menyebabkan minyak dan lemak pada limbah menurun setelah proses pengolahan limbah.

Nilai BOD

Kombinasi bakteri *A. baumannii*, *B. megaterium*, *Nitrococcus* sp. dan *P. putida* pada pengolahan limbah cair pembekuan ikan kaca piring memberikan pengaruh nyata terhadap nilai BOD, perubahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

BOD atau Kebutuhan Oksigen Biologi adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Indrayani dan Rahmah, 2018).

Hasil analisa kadar BOD pada limbah cair pembekuan ikan kaca piring hari ke 0 sebelum diberi perlakuan bakteri yaitu 70,85 mg/L dan mengalami penurunan pada kontrol hingga 64 mg/L pada hari ke-10. Perlakuan kombinasi bakteri A+B, A+N dan A+P pada limbah cair memberikan penurunan yang signifikan dibandingkan dengan kontrol yaitu antara 68,2 mg/L hingga 20,05 mg/L pada hari ke 5 dan 10. Perlakuan kombinasi bakteri *A. baumannii* dan *P. putida* memberikan penurunan yang paling signifikan dibandingkan dengan kombinasi bakteri lain yaitu 47,35 mg/L dan 20,05 mg/L pada hari ke 5 dan 10. Pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 kandungan BOD maksimal yaitu sebesar 100 mg/L, maka pada limbah cair pembekuan kaca piring ini sudah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Pada penelitian Maharani dan Wesen (2018), menunjukkan bahwa aktivitas dua jenis bakteri *P. putida* dan *P. aeruginosa* mampu merombak dan mengoksidasi secara optimal bahan organik dan anorganik dalam sampel limbah menjadi karbon dioksida dan air.

Penurunan nilai BOD menunjukkan terjadinya proses penguraian senyawa organik. Jumlah bahan organik yang diuraikan semakin besar maka semakin banyak oksigen yang digunakan (Ibrahim *et al.*, 2017). Senyawa organik tersebut diuraikan oleh bakteri aerob yang terdapat di dalam limbah. Semakin lama waktu pengolahan limbah, nilai

BOD akan semakin menurun karena mikroorganisme pada air limbah akan mengoksidasi bahan organik menggunakan molekul oksigen sebagai agen pengoksidasian dan menguraikan bahan organik sehingga menyebabkan hilangnya oksigen terlarut dalam air (Zalfiatri *et al.*, 2017). Mikroorganisme yang banyak melakukan kolonisasi dengan suplai oksigen yang memadai, mikroorganisme tersebut akan aktif melakukan degradasi senyawa organik dalam air limbah (Haerun *et al.*, 2018). Penurunan BOD sebanding terhadap peningkatan nilai pH pada limbah cair. Peningkatan pH dapat disebabkan oleh terpakainya oksigen untuk menguraikan bahan organik, sehingga kadar CO₂ menurun dan tertahannya bahan organik yang mempengaruhinya (Susilo *et al.*, 2015).

Pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang diberi aerasi bertujuan untuk menurunkan karbon organik atau nitrogen organik. Dalam hal menurunkan karbon organik, bakteri yang berperan adalah heterotropik. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon adalah karbon organik. BOD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi karbon organik. Bahan organik dalam air limbah diuraikan oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida, amonia dan untuk pembentukan sel baru serta hasil lain yang berupa lumpur (sludge). Bakteri juga perlu respirasi dan melakukan sintesis untuk kelangsungan hidupnya (Romayanto *et al.*, 2006).

Nilai COD

Pengolahan limbah cair pembekuan ikan kaca piring dengan kombinasi bakteri *A. baumannii*, *B. megaterium*, *Nitrococcus* sp. dan *P. putida* pada memberikan pengaruh nyata terhadap nilai COD, perubahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

COD atau Kebutuhan Oksigen Kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Indrayani dan Rahmah, 2018). Nilai COD pada limbah cair pembekuan ikan kaca piring hari ke-0 sebesar 256,45 mg/L dan sedikit mengalami penurunan pada hari ke-5, dan 10 yaitu 249,6 mg/L dan 247 mg/L. Pada limbah cair yang diberikan perlakuan kombinasi bakteri A+B, A+N dan A+P mengalami penurunan yang signifikan

bila dibandingkan dengan kontrol baik pada hari ke 5 maupun hari ke-10 yaitu antara 195,35 mg/L hingga 79,95 mg/L. Kombinasi bakteri *A. baumannii* dan *P. putida* memiliki nilai COD yang terendah bila dibandingkan dengan kombinasi bakteri lainnya yaitu 112,85 pada hari ke 5 dan 79,95 pada hari ke 10. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 menegaskan bahwa maksimal kandungan COD yaitu 200 mg/L, sehingga pemberian kombinasi bakteri pada limbah cair pembekuan ikan kaca piring memberikan penurunan nilai COD di bawah 200 mg/L.

Nilai BOD ditentukan dari bahan organik yang *biodegradable*, sedangkan nilai COD ditentukan dari bahan organik yang *biodegradable* maupun *non-biodegradable* sehingga penetapan nilai COD selalu lebih tinggi dari nilai BOD (Haerun *et al.*, 2018). Pada sampel limbah cair sebagai kontrol menunjukkan konsentrasi BOD maupun konsentrasi COD relatif konstan dari hari pertama hingga hari ke-10. Fungsi kontrol hanya sebagai pembandingan terhadap perlakuan limbah cair yang ditambahkan bakteri dan waktu proses aerasi.

Doraja *et al.* (2012), menjelaskan bahwa semakin lama waktu tinggal mikroorganisme akan memberikan waktu kontak antara bahan organik yang terdapat dalam limbah cair dengan mikroorganisme juga semakin lama, sehingga degradasi senyawa organik (penurunan COD) menjadi besar. Hal ini juga didukung oleh penelitian Jasmiyati *et al.* (2010), bahwa mikroorganisme mampu mendegradasi limbah secara terus-menerus dan melakukan proses metabolisme sepanjang kebutuhan energinya terpenuhi serta akan menghasilkan senyawa-senyawa yang dapat memberikan dampak terhadap turunnya nilai COD. Nuryana (2017) menjelaskan bahwa bakteri *A. baumannii* dan *Pseudomonas* sp. mampu menurunkan kadar COD mencapai 86,282% pada bioremediasi in vitro limbah minyak bumi pengilangan di Sungai Pakning.

Penurunan dari COD dan BOD sebanding terhadap peningkatan nilai pH pada limbah cair, hal ini dapat disebabkan kondisi alkali (pH basa) pertumbuhan bakteri lebih baik dibandingkan pada kondisi netral ataupun asam. Hal ini dapat disebabkan proses peningkatan pH akan memperbesar laju hidrolisis senyawa organik kompleks sehingga kemampuan proses biodegradasi

pada senyawa organik mengalami peningkatan pula (Rohim *et al.*, 2015). Susilo *et al.* (2015), juga menjelaskan bahwa peningkatan pH dapat disebabkan oleh terpakainya oksigen untuk menguraikan bahan organik, sehingga kadar CO₂ menurun dan tertahannya bahan organik yang mempengaruhinya.

Hubungan Antar Kombinasi Bakteri

A+B (Acinetobacter baumannii + Bacillus megaterium)

Genus *Acinetobacter* memiliki karakteristik morfologi sel bakteri berbentuk basil atau kokobasil dan termasuk gram negatif, tumbuh dengan baik pada semua media kompleks dengan suhu 20-30°C. Bakteri ini secara alami hidup di dalam tanah, air dan limbah (Choirunnisa *et al.*, 2017). Sedangkan genus *Bacillus* memiliki karakteristik morfologi sel bakteri berbentuk basil dan termasuk gram positif, dapat ditemukan di berbagai habitat baik di tanah, air dan makanan (Ningsih dan Ermavitalini, 2012). Menurut Dwipayana *et al.* (2009), *B. megaterium* memiliki beberapa sifat seperti memproduksi enzim katalase, dapat mendegradasi senyawa organik (protein, pati, selulosa, dan hidrokarbon), dapat memfermentasikan senyawa glukosa. Sedangkan *A. baumannii* juga dapat memproduksi enzim katalase atau katalase positif (Noorhamdani, 2004). Ditambahkan oleh Giyanto *et al.* (2009), *A. baumannii* dapat tumbuh dengan menggunakan berbagai jenis karbohidrat sebagai sumber nutrisi dan resistan terhadap berbagai antibiotik, sedangkan *B. megaterium* mampu bertahan dan berkembang biak pada sisa-sisa bahan organik dan juga berperan sebagai antibiotik. Sehingga mampu menghambat perkembangan mikroorganisme patogen lainnya yang tidak diinginkan.

Acinetobacter sp. dapat menggunakan nitrat dan amonia sebagai sumber N. Kemampuan dalam mereduksi nitrat oleh bakteri yang terkandung dalam lumpur aktif disebabkan karena bakteri memiliki enzim nitrat reduktase yang ada di periplasma dan enzim nitrat reduktase yang ada di membran plasma. Dengan memiliki enzim nitrat reduktase tersebut maka bakteri dapat mereduksi nitrat pada kondisi aerob dan anaerob (Megasari *et al.*, 2012). Selain itu

Acinetobacter mampu memfermentasikan laktosa dan sukrosa (Sayuti *et al.*, 2015).

Bacillus sp. bersifat aerob dan fakultatif anaerob serta merupakan salah satu bakteri yang bermanfaat dalam proses pengolahan air limbah. *Bacillus* sp. sangat resistan terhadap kondisi yang kurang baik seperti suhu, pH, dan salinitas sehingga distribusinya di alam sangat luas. Peran utama bakteri pada lingkungan perairan adalah menguraikan biomassa organik dan mendaur ulang berbagai elemen penting (nitrogen, fosfor dan sulfur) yang terdapat pada berbagai macam bahan organik yang masuk ke perairan. *Bacillus* sp. dapat memproduksi enzim ekstraseluler pengurai selulosa dan hemiselulosa (Megasari *et al.*, 2012).

Bacillus sp. merupakan bakteri dekomposer bahan organik yang tumbuh dengan baik pada temperatur (41 – 45°C) dan pH 8 (Benito *et al.*, 2012). Hal ini juga didukung oleh Adharani dan Yusuf (2019), yang menegaskan bahwa aplikasi *Bacillus* sp. pada limbah cair mampu mendegradasi bahan organik dengan cara melepaskan enzim untuk menguraikan senyawa organik untuk menghasilkan produk sampingan berupa gas karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), hidrogen (H₂) dan air (H₂O), serta energi sebagai penunjang aktivitas metabolisme (Retnosari dan Shovitri, 2013).

A+N (*Acinetobacter baumannii* + *Nitrococcus* sp)

Kombinasi ini juga memiliki beberapa kesamaan sifat yaitu sama-sama bakteri gram negatif, termasuk golongan bakteri aerob, dan suhu pertumbuhannya 15-30°C (Yahya *et al.*, 2014). Menurut Noorhamdani (2004), *A. baumannii* dapat memproduksi enzim katalase atau katalase positif, sedangkan *Nitrococcus* sp. tidak memproduksi enzim katalase atau katalase negatif namun *Nitrococcus* sp mampu mengoksidasi glukosa dan menstabilkan konsentrasi asam yang tinggi dan mampu menghasilkan enzim urease dan melepaskan amonia (Naingolan *et al.*, 2015).

Ditambahkan oleh Yahya *et al.* (2014), bakteri *Nitrococcus* sp. bersifat obligat kemolitotropik, mampu mengoksidasi nitrit menjadi nitrat untuk menghasilkan energi dan memerlukan CO₂ untuk kebutuhan karbonnya. Oksidasi amonia menjadi nitrit (nitrifi-

kasi tahap I) dilakukan oleh *Nitrosomonas* dan *Nitrosococcus*. Nitrit yang terbentuk dioksidasi lebih lanjut (nitrifikasi tahap II) menjadi nitrat oleh mikroba kemoautotrop lain seperti *Nitrobacter* dan *Nitrococcus*. Oleh karena itu *Nitrococcus* sp digolongkan sebagai bakteri Nitrifikasi.

A+P (*Acinetobacter baumannii* + *Pseudomonas putida*)

Menurut Nugroho (2012), Genus *Acinetobacter* anggota Moraxellaceae keluarga di urutan *Pseudomonadales*. *A. baumannii* termasuk bakteri aerob dari golongan bakteri gram negatif, suhu pertumbuhannya 20-30°C dan mempunyai kelebihan dapat mengoksidasi glukosa. Ditambahkan oleh Noorhamdani (2004), bahwa *A. baumannii* dapat memproduksi enzim katalase atau katalase positif, dapat bertahan hidup pada berbagai suhu, pH, dan media seperti tanah, air dan limbah. Bakteri ini juga resistan pada semua jenis antibiotik yang artinya bakteri ini tidak akan terganggu dengan kehadiran bakteri lain meski bersifat antibiotik, dan bakteri ini akan tetap bertahan. *A. baumannii* tergolong bakteri amilolitik yang dapat menguraikan amilum menjadi senyawa yang lebih sederhana yang memudahkan penyerapan nutrisi. *A. baumannii* juga memiliki aktivitas proteolitik yang berfungsi untuk menghidrolisis protein (Choirunnisa *et al.*, 2017).

Sedangkan *P. putida* menurut Yahya *et al.* (2014), yaitu bakteri aerob, golongan bakteri gram negatif, tumbuh pada kisaran suhu 25-30°C. Bakteri jenis *Pseudomonas* merupakan bakteri kelompok proteolitik yang berperan dalam proses dekomposisi protein, serta tergolong bakteri amilolitik yang berperan dalam menghidrolisis amilum (Choirunnisa *et al.*, 2017). Ditambahkan oleh Suyono dan Salahudin (2011), bakteri *P. putida* juga memproduksi enzim katalase atau katalase positif dan oksidase positif. *Pseudomonas* banyak ditemukan pada tanah, tanaman dan air. *P. putida* dapat menghilangkan kandungan logam Fe pada tanah dan juga mampu menguraikan trigliserida menjadi asam lemak bebas (Zalfiatri *et al.*, 2017; Farida *et al.*, 2016).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian penanganan limbah cair industri pembekuan ikan kaca piring (*Sillago sihama*) menggunakan kombinasi bakteri *Acinetobacter baumannii*, *Bacillus megaterium*, *Nitrococcus sp* dan *Pseudomonas putida* secara aerob memberikan pengaruh dalam mendegradasi limbah cair meningkatkan nilai pH dan menurunkan nilai TSS, minyak dan lemak, amonia, COD, dan BOD. Kombinasi bakteri *A. baumannii* dan *P. putida* memberikan pengaruh yang paling signifikan dibandingkan kombinasi bakteri lainnya, dengan nilai TSS sebesar 63,85 mg/L, kadar amoniak (NH₃) sebesar 1,02 mg/L, minyak dan lemak sebesar 1,95 mg/L, BOD sebesar 20,05 mg/L, dan COD sebesar 79,95 mg/L. Hasil pengolahan limbah cair dengan kombinasi bakteri ini telah memenuhi peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 tentang Batas Mutu Air Limbah kegiatan pengolahan pembekuan hasil perikanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adharani, N., Yusuf, F.I., 2019. Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan *Bacillus megaterium* Sebagai Bioremediator Bahan Organik Dan Logam Kromium (Cr) Pada Limbah Laut Muncar Banyuwangi, in: Prosiding Seminar Nasional MIPA UNIBA. pp. 310–319.
- Adisuasono, R.T., Wardana, I.W., Sutrisno, E., 2014. Penurunan Konsentrasi Amoniak Dalam Limbah Cair Domestik Dengan Teknologi Kolam (Pond)-Biofilm Menggunakan Media Biofilter Pipa Pvc Sarang Tawon Dan Bata Ringan. Tek. Lingkungan. 3, 1–12.
- Agustiyani, D., Imamuddin, H., Faridah, E.N., Oedjijono, O., 2004. Pengaruh pH dan Substrat Organik Terhadap Pertumbuhan dan Aktivitas Bakteri Pengoksidasi Amonia. Biodiversitas J. Biol. Divers. 5, 43–47. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d050201>
- Benito, A., Yuli, A., Zamzam, D., Sudiarto, B., 2012. Identifikasi Bakteri yang Dominan Berperan pada Proses Pengomposan Filtrate Pengolahan Pupuk Cair Feses Domba. J. Ilmu Ternak 12, 7–10.
- Bestari, N.C., Suharjo, 2015. Uji Kualitatif dan Kuantitatif Isolat Bakteri Lipolitik dari Limbah Cair Pabrik Pengolahan Ikan Kecamatan Muncar, Banyuwangi. J. Biotropika 3, 151–155.
- Choirunnisa, H.N., Sari, R.Y., Hastuti, U.S., Witjoro, A., 2017. Identifikasi dan Uji Kemampuan Hidrolisis pada Bakteri Amilolitik dan Proteolitik yang Diisolasi dari Wadi, Makanan Khas Kalimantan Tengah. J. Bionature 18, 99–109.
- Doraja, P.H., Shovitri, M., Kuswyasari, N.D., 2012. Biodegradasi Limbah Domestik Dengan Menggunakan Inokulum Alami Dari Tangki Septik. J. Sains dan Seni ITS 1, 44–47.
- Dwipayana, Ariesyady, H.D., Sukandar, 2009. Identifikasi Keberagaman Bakteri Pada Lumpur Hasil Pengolahan Limbah Cat Dengan Teknik Konvensional. J. Tek. Lingkungan. 15, 7–17.
- Farida, A.N., 2016. Peran Bakteri *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas Putida* Dalam Bioremediasi Logam Berat (Fe, Cu, dan Zn) Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi. Skripsi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Giyanto, Suhendar, A., Rustam, 2009. Kajian Pembiakan Bakteri Kitinolitik *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus sp.* Pada Limbah Organik Dan Formulasinya Sebagai Pestisida Hayati (Bio-Pesticide), in: Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian IPB. pp. 849–858.

- Haerun, R., Mallongi, A., Natsir, M.F., 2018. Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Biofilter Sistem Upflow Dengan Penambahan Efektif Mikroorganisme 4. J. Nas. Ilmu Kesehat. 1, 1–11.
- Ibrahim, B., 2004. Pendekatan Penerapan Produksi Bersih Pada Industri Pengolahan Hasil Perikanan. Bul. Teknol. Has. Perikan. 7, 1–11. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v7i1.1049>
- Ibrahim, B., Suptijah, P., Adjani, Z.N., 2017. Kinerja Microbial Fuel Cell Penghasil Biolistrik Dengan Perbedaan Jenis Elektroda Pada Limbah Cair Industri Perikanan. J. Pengolah. Has. Perikan. Indones. 20, 296–304. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v20i2.17946>
- Indrayani, L., Rahmah, N., 2018. Nilai Parameter Kadar Pencemar Sebagai Penentu Tingkat Efektivitas Tahapan Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. J. Rekayasa Proses 12, 41–50. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.35754>
- Irianto, K., 2016. Penanganan Limbah Cair, PT. Percetakan Bali Denpasar.
- Ishartanto, W.A., 2009. Pengaruh Aerasi dan Penambahan Bakteri (*Bacillus* sp) dalam Mereduksi Bahan Pencemar Organik Air Limbah Domestik. Skripsi. Fak. Perikan. dan Ilmu Kelaut. Inst. Pertan. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Januar, W., Khotimah, S., Mulyadi, A., 2013. Kemampuan Isolat Bakteri Pendegradasi Lipid dari Instalasi Pengolahan Limbah Cair PPKS PTPN-XIII Ngabang Kabupaten Landak. J. Protobiont 2, 136–140.
- Jasmiyati, Anita, S., Thamrin, 2010. Bioremediasi Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Efektif Mikroorganisme (EM4). Ilmu Lingkungan. 2, 148–158.
- Jenie, B.S.L., Rahayu, W.P., 2007. Penanganan limbah industri pangan. Kanisius, Yogyakarta.
- Junaidi, Hatmanto, B.P.D., 2006. Analisis Teknologi Pengolahan Limbah Cair Pada Industri Tekstil (Studi Kasus Pt. Iskandar Indah Printing Textile Surakarta). J. Presipitasi 1, 1–6. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v1i1.1-6>
- Maharani, V.S., 2017. Studi Literatur: Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri. Skripsi Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Maharani, M. dan Wesen, P. 2018. Degradasi LAS dan BOD dengan Proses Lumpur Aktif Menggunakan Kombinasi Bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* dan *Pseudomonas Putida*. J. Envirotek., 9 (2).
- Megasari, R., Biyatmoko, D., Ilham, W., Hadie, J., 2012. Identifikasi Keragaman Jenis Bakteri Pada Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Dengan Lumpur Aktif Limbah Tahu. *EnviroScientee* 8, 89–101.
- Mukhtasor, 2007. Pencemaran pesisir dan laut, PT. Pradnya paramita Jakarta.
- Nainggolan, T.A., Khotimah, S., Turnip, M., 2015. Bakteri Pendegradasi Amonia Limbah Cair Karet Pontianak Kalimantan Barat. J. Protonbiont 4, 69–76.
- Ningsih, R.S., Ermavitalini, D., 2012. Bioaugmentasi Bakteri Pelarut Fosfat Genus *Bacillus* pada Modifikasi Media Tanam Pasir dan Kompos (1:1) untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassica sinensis*). Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Noorhamdani, 2004. Aktivitas Hemaglutinasi Bakteri *Acinetobacter baumannii* yang Berasal Dari Spesimen Klinik

- Dan Lingkungan. J. Kedokt. Brawijaya 20, 105–109.
- Nugroho, R.B.A.S., 2012. Hubungan Faktor Risiko Terjadinya Acinetobacter Sp Mdro Terhadap Kematian Penderita Sepsis Di Picu Rumah Sakit Dr Kariadi Semarang. Universitas Diponegoro.
- Nuryana, D. 2017. Review: Bioremediasi Pencemaran Minyak Bumi. Journal of Earth Energy Engineering, 6 (2) : 9-13
- Pamungkas, M.T.O.A., 2016. Studi Pencemaran Limbah Cair Dengan Parameter BOD5 Dan pH Di Pasar Ikan Tradisional Dan Pasar Modern Di Kota Semarang. J. Kesehat. Masy. 4, 166–175.
- Parwata, P.I., Oviantari, M.V., 2015. Produksi Lipase dari Acinetobacter baumannii Teramobil, in: Seminar Nasional Riset Inovatif III. pp. 496–503.
- Retnosari, A.A., Shovitri, M., 2013. Kemampuan Isolat Bacillus sp. dalam Mendegradasi Limbah Tangki Septik. J. Sains dan Seni Pomits 2, 2337–3520.
- Rohim, M.F., Samudro, G., Sumiyati, S., 2015. Pengaruh Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) dan pH Terhadap Kinerja Dual Chamber Microbial Fuel Cells (DCMCs). J. Tek. Lingkungan. 1–10.
- Romayanto, M.E.W., Wiryanto, Sajidan, 2006. Pengolahan Limbah Domestik dengan Aerasi dan Penambahan Bakteri *Pseudomonas putida*. Bioteknologi 3, 42–49. <https://doi.org/10.13057/biotek/c030202>
- Rosmaniar, 2011. Dinamika Biomassa Bakteri Dan Kadar Limbah Nitrogen Pada Budidaya Ikan Lele (*Clarias gariepinus*) Intensif Sistem Heterotrofik. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Saputra, A.D., Haeruddin, Widyorini, N., 2016. Efektivitas Kombinasi Mikroorganisme dan Tumbuhan Air *Lemna minor* Sebagai Bioremediator Dalam Mereduksi Senyawa Amoniak, Nitrit, Dan Nitrat Pada Limbah Pencucian Ikan. Diponegoro J. Maquares (Management Of Aquat. 5, 80–90.
- Sartika, S., Apriani, I., Pramadita, S., 2021. Efektivitas Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) dan Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) Dalam Pengolahan Limbah Cair Pencucian Ikan. J. Rekayasa Lingkung. Trop. 5, 1–10.
- Satria, A.W., Rahmawati, M., Prasetya, A., 2019. Pengolahan Nitrifikasi Limbah Amonia dan Denitrifikasi Limbah Fosfat dengan Biofilter Tercelup. J. Teknol. Lingkung. 20, 243–250. <https://doi.org/10.29122/jtl.v20i2.3479>
- Sayuti, I., Nursal, Butar-butur, I.H., 2015. Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Limbah Minyak Bumi Dari Perairan Pelabuhan Sungai Duku Kota Pekanbaru Sebagai Rancangan Modul Pembelajaran Biologi SMA. J. Online Mhs. Fak. Kegur. dan Ilmu Pendidik. Univ. Riau 1–15.
- Silalahi, F.T.N., Halimatuddahlia, Husin, A., 2018. Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Bioreaktor Anaerob Satu Tahap Dan Dua Tahap Secara Batch. J. Tek. Kim. USU 7, 34–40. <https://doi.org/10.32734/jtk.v7i1.1634>
- Suligundi, B.T., 2013. Penurunan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Pada Limbah Cair Karet Dengan Menggunakan Reaktor Biosand Filter Yang Dilanjutkan Dengan Reaktor Activated Carbon. J. Tek. Sipil Untan 13, 29–44.
- Susilo, F.A.P., Suharto, B., Susanawati, L.D., 2015. Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Kadar BOD dan COD Limbah Tapioka dengan Metode Rotating Biological

- Contactora. J. Sumberd. Alam dan Lingkungan. 2, 21–26.
- Suyono, Y., Salahudin, F., 2011. Identifikasi dan Karakterisasi Bakteri *Pseudomonas* Pada Tanah Yang Terindikasi Terkontaminasi Logam. J. Biopopral Ind. bal 2, 8–13.
- Yahya, Nursyam, H., Risjani, Y., Soemarno, 2014. Karakteristik Bakteri di Perairan Mangrove Pesisir Kraton Pasuruan. Ilmu Kelautan. 19, 35–42. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.19.1.35-42>
- Zahidah, D., Shovitri, M., 2013. Isolasi , Karakterisasi dan Potensi Bakteri Aerob Sebagai Pendegradasi Limbah Organik. J. Sains dan Seni Pomits 2, 2337–3520.
- Zalfiatri, Y., Restuhadi, F., Maulana, T., 2017. Pemanfaatan Simbiosis Mikroorganisme B-DECO3 dan Mikroalga *Chlorella* sp untuk Menurunkan Pencemaran Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. Din. Lingkungan. Indones. 4, 8–17. <https://doi.org/10.31258/dli.4.1.p.8-17>