



Reduksi Kadar Amoniak Limbah Cair Industri Karet pada Airlift Bioreaktor dengan Bakteri *Brevundimonas diminuta*

Enggal Nurisman^{1*}, Alhafiz Pratama², Suci Indah Rizki³, Rosmania⁴ 

^{1,2,3,4} Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received October 20, 2022

Revised October 24, 2022

Accepted May 13, 2023

Available online July 25, 2023

Kata Kunci:

Limbah Cair, Industri Karet, *Brevundimonas diminuta*, Amoniak

Keywords:

Liquid Waste, Rubber Industry, *Brevundimonas diminuta*, Ammonia,



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Perkembangan industri karet yang semakin pesat saat ini menimbulkan dampak terhadap aspek pengelolaan limbah cair industri. Salah satu unsur pencemar yang sering kali terkandung di dalam limbah industri karet adalah amoniak. Amoniak beracun, membahayakan kemampuan ekosistem akuatik untuk bertahan hidup. Penelitian ini menguji kemampuan isolat bakteri *Brevundimonas diminuta* dalam menurunkan kadar amoniak pada limbah cair pabrik karet. Proses pengolahan secara biologis menggunakan airlift bioreaktor yang telah dirancang sedemikian rupa dengan rasio inokulum bakteri *Brevundimonas diminuta* sebanyak 5%. Data berupa DO dan populasi bakteri diobservasi berturut-turut menggunakan DO meter mikroskop stereo, sedangkan kadar amoniak diuji dengan metode nessler. Aliran udara pada bioreaktor disuplai oleh aerator dengan laju aliran bervariasi (L/menit): 1,5; 3; dan 4,5 dan waktu aerasi bervariasi selama (jam): 1,5; 3; 4,5; dan 6. Semakin lama waktu aerasi yang dilakukan maka nilai DO dan reduksi kadar amoniak akan semakin meningkat pula. Berdasarkan hasil analisis, bahwa *B. diminuta* dapat mereduksi kadar amoniak pada limbah cair industri karet dengan kondisi optimum penurunan kadar amoniak sebesar 85,05% dari 4,28 mg/L hingga 0,64 mg/L pada variasi laju alir udara 3 L/menit selama 4,5 jam.

ABSTRACT

Indonesia, which is a country in Southeast Asia, is ranked as the second largest natural rubber exporter in the world after Thailand. The development of the increasingly rapid rubber industry is currently having an impact on aspects of industrial wastewater management. One of the pollutant elements that is often contained in rubber industrial waste is ammonia. Ammonia is toxic, jeopardizing the ability of aquatic ecosystems to survive. This study tested the ability of *Brevundimonas diminuta* isolates in reducing ammonia levels in rubber factory wastewater. The biological treatment process uses an airlift bioreactor that has been designed in such a way with a 5% inoculum ratio of *Brevundimonas diminuta* bacteria. Data in the form of DO and bacterial population were observed successively using a DO meter stereo microscope, while ammonia levels were tested using the Nessler method. The air flow in the bioreactor is supplied by an aerator with various flow rates (L/min): 1.5; 3; and 4.5 and the aeration time varied for (hours): 1.5; 3; 4.5; and 6. The longer the aeration time, the higher the DO value and the reduction in ammonia levels will be. Based on the results of the analysis, that *B. diminuta* can reduce ammonia levels in rubber industrial wastewater with the optimum condition of reducing ammonia levels by 85.05% from 4.28 mg/L to 0.64 mg/L at a variation of the air flow rate of 3 L/L. minutes for 4.5 hours.

1. PENDAHULUAN

Indonesia yang merupakan salah satu negara di Asia Tenggara menduduki peringkat kedua pengeksport karet alam terbesar di dunia setelah Thailand (Harahap, N. H. P., & Segoro, 2018). Limbah cair yang berasal dari industri secara umum mengandung senyawa kimia, logam, serta senyawa berbahaya dan beracun dan senyawa organik dengan konsentrasi yang tinggi. Permasalahan yang mengancam kelestarian sumber daya perairan merupakan kegiatan dari wilayah hulu sungai seperti pertanian, perkebunan, industri, serta pemukiman warga yang secara terus menerus memberikan dampak yang besar untuk ekosistem (Putri et al., 2019). Salah satunya adalah limbah industri karet. Perkembangan industri karet yang semakin pesat saat ini menimbulkan dampak terhadap aspek pengelolaan limbah cair industri. Salah satu unsur pencemar yang sering kali terkandung di dalam limbah industri karet adalah amoniak. Tingginya kadar amoniak dapat menjadi tanda akan pencemaran dari bahan organik di limbah industri karet. Senyawa kimia ini merupakan senyawa kedua terbanyak bahan kimia yang di produksi setelah asam sulfat (H₂SO₄) yang diturunkan dari bahan bakar fosil (Ghavam et al., 2021). Amoniak dapat membahayakan organisme lingkungan perairan juga kepada manusia apabila terdapat dalam konsentrasi yang tinggi pada sumber air yang kerap dikonsumsi manusia. Sungai Musi misalnya, yang merupakan sumber air tawar terbesar di

*Corresponding author.

E-mail addresses: enggalnurisman@ft.unsri.ac.id (Enggal Nurisman)

Sumatera Selatan khususnya Kota Palembang rentan terpapar pembuangan limbah industri karet. Hal itu dikarenakan banyaknya industri karet yang berada di sepanjang aliran Sungai Musi. Air merupakan sumber daya alam yang penting untuk menopang kehidupan dan tidak gratis hanya sungai Musi yang dapat digunakan manusia untuk keperluan rumah dengan gratis (Dey et al., 2022). Limbah keluaran dari semua industri karet harus berada dibawah berada di bawah batas baku mutu yang telah ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012, yaitu 5 mg/L. Untuk itu, pentingnya dilakukan pengelolaan limbah cair industri karet dalam mengurangi kadar amoniak nya sebelum di-dumping ke Sungai Musi. Pengolahan limbah dapat digunakan dengan metode adsorpsi abu terbang bagas, mampu menurunkan amoniak dengan kadar amoniak dengan efisiensi sebesar 59,09 % terjadi pada perlakuan adsorben 10 gram (Prahutama et al., 2018). Selain itu secara umum pengolahan yang dipakai industri pengolahan jenis secara kimia, pengolahan sistem ponding, dan pengolahan lumpur aktif (Sari Dewi et al., 2020).

Pengolahan air limbah pada umumnya menggunakan lumpur aktif konvensional maupun proses pengolahan dengan *biofilter* melekat diam. Proses dengan *biofilter* merupakan salah satu metode secara mikrobiologi yang didasarkan pada penggunaan media buffer sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya bakteri pengurai senyawa kontaminan. Penggunaan metode adsorpsi-biofiltrasi dengan menggunakan mikroorganisme berhasil menurunkan kadar amoniak 4,095 mg/L menjadi 0,275 mg/L dalam limbah cair industri karet. Penurunan kadar amoniak limbah cair industri karet dengan menggunakan metode konsorsium bakteri yang dilakukan dengan mencampurkan empat bakteri yaitu *A. baumannii*, *B. megaterium*, *Nitrococcus sp.* dan *P. putida* dapat mereduksi amoniak dengan kadar limbah awal sebesar 16,1 mg/L menjadi 1,02 mg/L. Penurunan kadar amoniak limbah cair domestik dengan penutupan Kiangbang (*Salvinia molesta*) secara *kontinyu* dengan kadar awal limbah sebesar 1,154 mg/L menjadi 0,02 mg/L. Penelitian pengolahan kadar amoniak limbah cair secara mikrobiologis, penurunan kadar amoniak limbah cair industri petrokimia dengan menggunakan metode isolat bakteri petrofilik berupa *Brevundimonas diminuta*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri ini mampu mereduksi kadar amoniak pada limbah cair industri petrokimia atau sebesar 88,81% dengan kadar amoniak awal sebesar 750,48 mg/kg menjadi 84,015 mg/kg

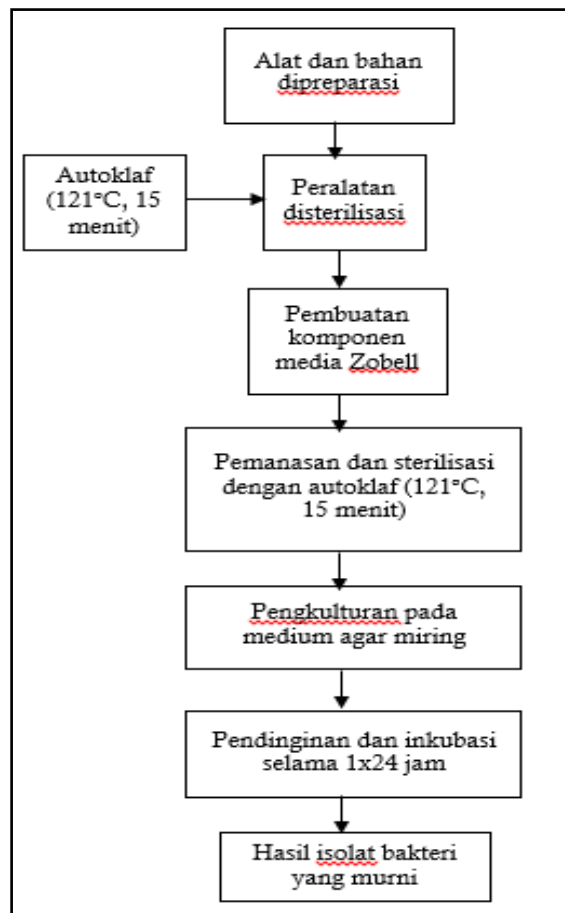
Brevundimonas diminuta merupakan basil gram-negatif lingkungan non-laktosa-fermentasi (Rathi et al., 2021). *Brevundimonas diminuta* sebelumnya disebut dengan *Pseudomonas diminuta* yang merupakan jenis bakteri gram negatif yang dapat hidup secara aerob baik di dalam tanah ataupun dalam air (Saravanan et al., 2022; Wang et al., 2016). *Brevundimonas diminuta* (*Pseudomonas diminuta*) merupakan salah satu bakteri pelarut fosfat yang memiliki kemampuan untuk melarutkan fosfat yang berada dalam tanah (Ali et al., 2022). Bakteri ini telah banyak digunakan untuk bioremediator potensial sebagai pencemaran minyak laut yang termasuk dalam diesel, n-alkana serta dalam hidrokarbon aromatik polisiklik dan insektisida. *Brevundimonas diminuta* juga telah banyak digunakan sebagai pengurangan efek toksik suatu logam berat pada pertumbuhan tanaman misalnya seperti padi ditahan yang terkontaminasi. Proses pengolahan dengan menggunakan bakteri melalui proses Nitrifikasi dan Denitrifikasi dimana amoniak akan diubah menjadi gas nitrogen yang tidak berbahaya untuk pengolahan amoniak pada limbah cair (Xu et al., 2021). Untuk removal nitrogen, pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi, yaitu amoniak diubah menjadi nitrat (NH_4^+ NO_3^-) dan pada kondisi anaerobik terjadi proses denitrifikasi, yaitu nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen (NO_3^- - N_2) (Ali et al., 2022). Selain itu pengolahan amoniak dapat dilakukan dengan proses filtrasi aerasi biologis, *bioreactor* membran (Ding et al., 2020). Pada penelitian lainya menyatakan bahwa bakteri *B. diminuta* juga mampu menurunkan kadar amoniak pada industri pupuk. Penurunan kadar amoniak yang optimal terjadi pada laju alir udara 3 L/min selama 6 jam dengan penurunan kadar amoniak limbah cair industri pupuk dari 2.94 mg/L menjadi 1.76 mg/L (Rathi et al., 2021; Wang et al., 2016). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan isolat bakteri *B. diminuta* dalam mereduksi kadar amoniak dalam limbah industri karet. Metode ini bersifat ramah lingkungan dan isolat bakteri petrofilik yang digunakan dapat tahan terhadap lingkungan ekstrim, khususnya pada kadar amoniak yang tinggi. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan alternatif upaya pengelolaan limbah cair industri karet sepanjang aliran Sungai Musi, khususnya di Kota Palembang yang limbah cairnya masih berada di bawah batas baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah setempat.

2. METODE

Penelitian ini merupakan experimental design yang dilakukan untuk mengobservasi kemampuan dari isolat bakteri petrofilik (*Brevundimonas diminuta*) dalam mereduksi kadar amoniak yang terkandung di dalam limbah cair industri karet. Pengujian ini juga dilakukan untuk mencari tau pengaruh dari perlakuan perbedaan waktu aerasi terhadap kadar DO, populasi bakteri, dan reduksi amoniak sebagai

akibat dari aktivitas isolat di dalamnya. Observasi dilakukan dalam beberapa tahap mulai dari pembuatan dan peremajaan kultur bakteri, uji pertumbuhan *B. diminuta* terhadap sampel limbah cair amoniak sintetik, dan uji kinerja *B. diminuta* dalam mereduksi kadar amoniak pada limbah cair industri karet. Limbah karet yang digunakan adalah limbah inlet IPAL di salah satu industri pengolahan karet yang berada di daerah Gandus, Sumatera Selatan. Bakteri *Brevundimonas diminuta* diinokulasi di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya dan Laboratorium Teknologi Bioproses Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Adapun hal-hal yang akan diobservasi pada limbah cair industri karet tersebut ialah kadar oksigen terlarut (DO), populasi bakteri, dan konsentrasi amoniak yang berhasil tereduksi di dalamnya akibat dari aktivitas isolat bakteri yang telah diinokulasikan sebelumnya.

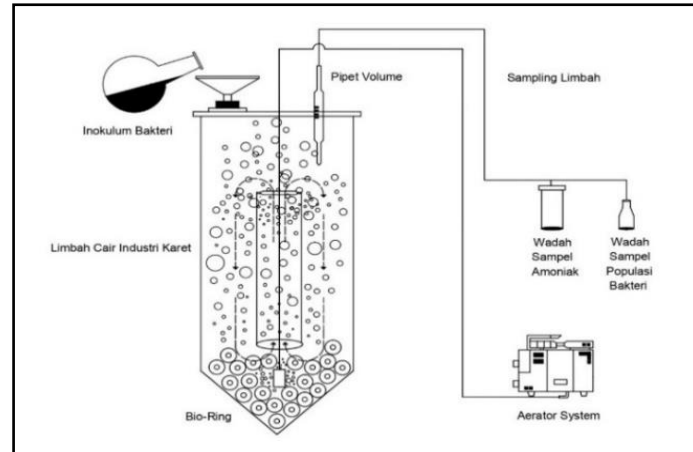
Sampling dilakukan secara berkala berdasarkan waktu pengamatan pada sampling port di bagian atas bioreaktor. Sampel diobservasi datanya berupa kadar DO dan populasi bakteri menggunakan alat berturut-turut, yaitu DO meter dan mikroskop stereo. Sedangkan, kadar amoniak yang berhasil tereduksi diobservasi dengan menggunakan metode nessler. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ialah airlift bioreactor dan beberapa alat penunjang lain, seperti erlenmeyer, gelas beaker, cawan petri, cooler, inkubator, bunsen, mikroskop Olympus CX23, aerator Boyu CJY-4500, bio-ring, hemasitometer, kaca preparat. Autoklaf Hicleve HVE-50, botol sampel, DO meter-5510, dan neraca analitik. Peremajaan kultur bakteri dilakukan pada medium nutrient agar miring, yang bertujuan sebagai tempat perkembangan bakteri sebagai inokulum yang akan digunakan pada penelitian nantinya. Tahapan pembuatan dan peremajaan kultur bakteri ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan dan Peremajaan Kultur Bakteri

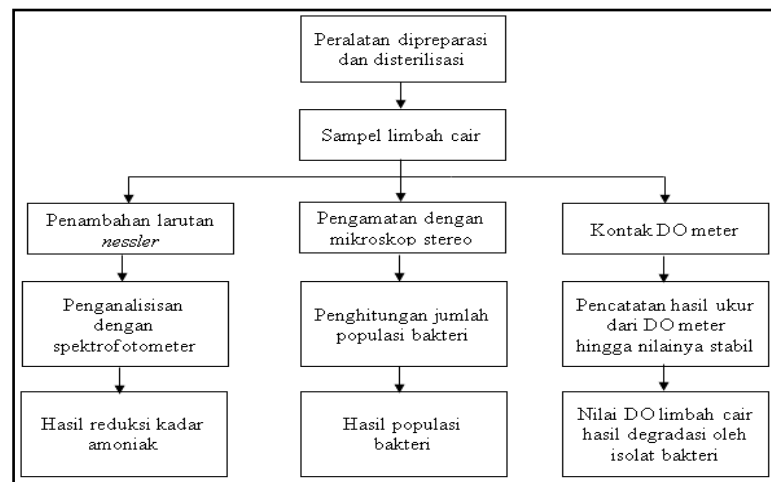
Sebelum isolat bakteri diuji dengan limbah cair industri karet, terlebih dahulu dilakukan pengujian menggunakan limbah cair amoniak sintetik menggunakan reagen amonium sulfat (NH₄)₂SO₄ dengan rentang kadar amoniak, yaitu 5 ppm- 25 ppm pada media PCA. Jika isolat bakteri dapat tumbuh selama proses inkubasi dalam limbah amoniak sintetik maka hal ini mengindikasikan bahwa bakteri siap untuk diuji pada tahapan berikutnya dengan menggunakan sampel limbah cair industri karet. Sampel limbah cair yang digunakan berasal dari bagian inlet pembuangan limbah cair industri karet. Setelah

dilakukan analisa kadar awal limbah, didapatkan hasil kadar amoniak sebesar 4,28 mg/L. Pengujian kinerja bakteri terhadap limbah dilakukan pada rangkaian airlift bioreaktor yang ditunjukkan pada Gambar 2 dengan rasio inokulum bakteri sebesar 5%. Aliran udara pada bioreaktor disuplai oleh aerator yang laju alirnya divariasikan (L/menit): 1,5; 3; dan 4,5. Sampling dilakukan secara berkala berdasarkan waktu pengamatan pada sampling port di bagian atas bioreaktor. Kondisi operasi pada tekanan 1 atm dan suhu kamar serta waktu aerasi divariasikan dari 1,5; 3; 4,5; hingga 6 jam.



Gambar 2. Skema Rangkaian Alat Bioreaktor (Nurisman et al., 2022)

Setelah dilakukannya sampling, maka analisis pengaruh waktu aerasi terhadap kadar DO, populasi bakteri, dan reduksi kadar amoniak dilakukan. Tahapan analisis data ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Analisa Data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

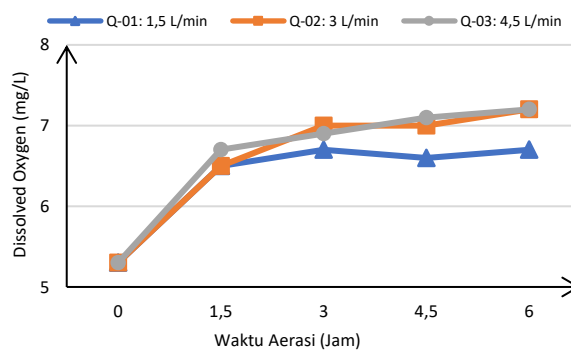
Penelitian ini merupakan experimental design yang dilakukan untuk mengobservasi kemampuan dari isolat bakteri petrofilik (*Brevundimonas diminuta*) dalam mereduksi kadar amoniak yang terkandung di dalam limbah cair industri karet. Pengujian ini juga dilakukan untuk mencari tau pengaruh dari perlakuan perbedaan waktu aerasi terhadap kadar DO, populasi bakteri, dan reduksi amoniak sebagai akibat dari aktivitas isolat di dalamnya. Hasil Uji Pertumbuhan *B. diminuta* pada Limbah Cair Amoniak Sintetik disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Pertumbuhan *B. diminuta* pada Limbah Cair Amoniak Sintetik

Kadar Amoniak (ppm)	Pertumbuhan
5	Sangat Banyak (+++)

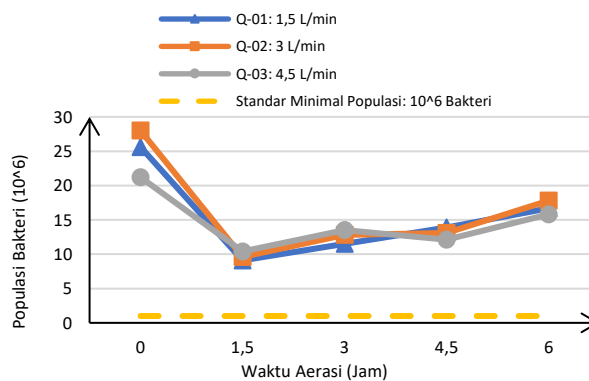
Kadar Amoniak (ppm)	Pertumbuhan
10	Sangat Banyak (+++)
15	Sangat Banyak (+++)
20	Sangat Banyak (++)
25	Sangat Banyak (++)

Berdasarkan Tabel 1, hasil penelitian menunjukkan bahwa koloni *Brevundimonas diminuta* yang diamati tumbuh dengan baik selama masa inkubasi di dalam inkubator dalam waktu 1 x 24 jam. Unsur-unsur yang dibutuhkan dalam media antara lain air, sumber karbon, sumber nitrogen, vitamin, mineral, dan gas. Dengan kemampuan bakteri tumbuh dengan baik pada limbah amoniak sintetik 5 ppm- 25 ppm, maka hal ini menjadi indikator bahwa bakteri *B. diminuta* dapat tumbuh dan berpotensi untuk mendegradasi amoniak yang terkandung pada limbah riil industri karet yang memiliki kadar amoniak pada rentang kadar tersebut. Hasil uji pengaruh waktu aerasi terhadap DO pada limbah cair industri karet disajikan pada Gambar 4.



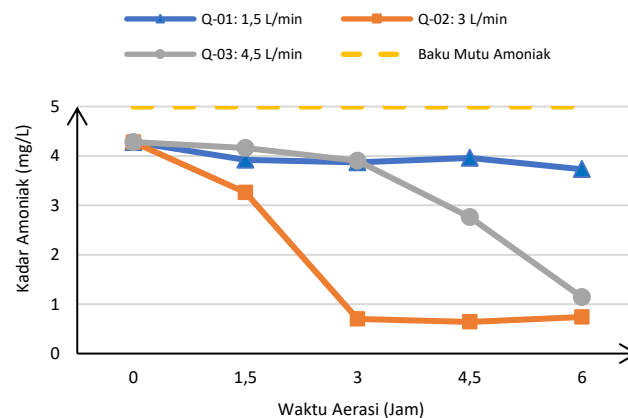
Gambar 4. Grafik Hasil Uji Pengaruh *B. diminuta* terhadap DO dengan Variasi Waktu pada Limbah Cair Industri Karet dengan Berbagai Variasi Laju Alir.

Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa nilai dari Dissolved Oxygen (DO) pada laju alir 1,5 L/min dengan kode Q-01 terjadi kenaikan pada setiap jamnya. Namun, pada waktu aerasi 4,5 jam terjadi penurunan kembali dari waktu aerasi 3 jam sebesar 0,1 mg/L. Kemudian pada laju alir 3 L/min dengan kode Q-02. Adapun nilai tertinggi terjadi pada waktu 6 jam dengan nilai 7,2 mg/L. Berbeda halnya dengan laju alir Q-01, tidak terjadi penurunan kadar DO pada rentang waktu 3-4,5 jam. Pada rentang waktu 3-4,5 jam cenderung konstan yang artinya kadar oksigen yang terus berdifusi sama dengan kadar oksigen yang digunakan *B. diminuta* untuk melakukan respirasi, metabolisme, serat proses nitrifikasi dan denitrifikasi untuk mereduksi kadar amoniak pada limbah cair. Begitu pula halnya pengamatan dengan laju alir 4,5 L/min (Q-03) juga menunjukkan hasil yang sama seperti laju alir Q-01 dan Q-02 bahwa semakin lama waktu aerasi, maka kadar DO akan semakin naik. Hasil uji pengaruh waktu aerasi terhadap populasi bakteri pada limbah cair industri karet disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Pengaruh Waktu Aerasi terhadap Populasi Bakteri pada Limbah Cair Industri Karet dengan Berbagai Variasi Laju Alir

Berdasarkan Gambar 5. sampel Q-01 dengan populasi awal sebanyak 19×10^6 bakteri menunjukkan bahwa bakteri mengalami penurunan signifikan pada waktu pengamatan 1,5 jam dengan populasi sebanyak $1,85 \times 10^6$ atau sebesar 90,26%. Hasil uji pengaruh waktu aerasi terhadap reduksi kadar amoniak pada limbah cair industri karet disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Pengaruh Waktu Aerasi terhadap Reduksi Kadar Amoniak pada Limbah Cair Industri Karet dengan Berbagai Variasi Laju Alir

Berdasarkan Gambar 6. dapat dilihat bahwa limbah dengan kadar amoniak 4,28 m/L pada laju alir 1,5 L/min terjadi penurunan secara terus-menerus. Namun pada waktu pengamatan 4,5 jam terjadi kenaikan kadar amoniak dari waktu pengamatan 3 jam. Kenaikan yang terjadi ialah sebesar 0,09 mg/L. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan *B. diminuta* sebagai pereduksi kadar amoniak dalam limbah cair industri karet ini, salah satunya ialah faktor lingkungan dapat mempengaruhi terjadinya pertumbuhan mikroba.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa koloni *Brevundimonas diminuta* yang diamati tumbuh dengan baik selama masa inkubasi di dalam inkubator dalam waktu 1 x 24 jam. Unsur-unsur yang dibutuhkan dalam media antara lain air, sumber karbon, sumber nitrogen, vitamin, mineral, dan gas. Dengan kemampuan bakteri tumbuh dengan baik pada limbah amoniak sintetik 5 ppm- 25 ppm, maka hal ini menjadi indikator bahwa bakteri *B. diminuta* dapat tumbuh dan berpotensi untuk mendegradasi amoniak yang terkandung pada limbah riil industri karet yang memiliki kadar amoniak pada rentang kadar tersebut. Berbeda halnya dengan uji pertumbuhan *B. diminuta* dalam limbah cair amoniak sintetik yang dilakukan pada PCA, uji pertumbuhan pada limbah cair industri karet dilakukan di dalam unit *airlift bioreactor*. Pada *bioreactor* ini akan proses pengolahan limbah terjadi secara aerobik, maka dilakukan proses aerasi secara kontinu sesuai dengan waktu pengamatan Variasi waktu aerasi ini mempengaruhi nilai DO, populasi bakteri, dan reduksi kadar amoniak dalam limbah cair industri karet.

Pengaruh waktu aerasi terhadap DO pada limbah cair industri karet. Nilai dari *Dissolved Oxygen* (DO) pada laju alir 1,5 L/min dengan kode Q-01 terjadi kenaikan pada setiap jamnya. Namun, pada waktu aerasi 4,5 jam terjadi penurunan kembali dari waktu aerasi 3 jam sebesar 0,1 mg/L. Kemudian pada laju alir 3 L/min dengan kode Q-02. *Dissolved Oxygen* memiliki peranan penting dalam air limbah, karena dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri dan aktivitasnya (Mavropoulou et al., 2020). Konsentrasi oksigen terlarut dalam bioreaktor tempat terjadinya nitrifikasi dan denitrifikasi (Taukhid et al., 2022). Oksigen terlarut yang rendah dibawah 2 mg/L dapat menyebabkan penghambatan bakteri sehingga bakteri akan mati (Liu et al., 2018). Semakin lama waktu aerasi, maka semakin meningkat pula nilai dari *Dissolved Oxygen* (DO) serta semakin lama waktu kontak antara DO dan air limbah (Huang et al., 2021; Mavropoulou et al., 2020). Adapun nilai tertinggi terjadi pada waktu 6 jam dengan nilai 7,2 mg/L. Berbeda halnya dengan laju alir Q-01, tidak terjadi penurunan kadar DO pada rentang waktu 3-4,5 jam. Pada rentang waktu 3-4,5 jam cenderung konstan yang artinya kadar oksigen yang terus berdifusi sama dengan kadar oksigen yang digunakan *B. diminuta* untuk melakukan respirasi, metabolisme, serat proses nitrifikasi dan denitrifikasi untuk mereduksi kadar amoniak pada limbah cair. Begitu pula halnya pengamatan dengan laju alir 4,5 L/min (Q-03) juga menunjukkan hasil yang sama seperti laju alir Q-01 dan Q-02 bahwa semakin lama waktu aerasi, maka kadar DO akan semakin naik. Hal tersebut karena

konsentrasi DO dihitung dengan nilai berapa lama hubungan antara konsentrasi DO dan Waktu aerasi (He et al., 2021). Oksigen akan terus berdifusi ke dalam zat cair seiring dengan dilakukannya aerasi secara intens. Kadar amoniak di dalam limbah dapat naik dengan sejalan nya kenaikan suhu dan pH air serta dapat bersifat racun, peningkatan toksisitas amoniak dalam air sejalan dengan adanya penurunan kadar oksigen terlarut. Konsentrasi DO dihitung dengan nilai berapa lama hubungan antara konsentrasi DO dan Waktu aerasi .

Pengaruh waktu aerasi terhadap populasi bakteri pada limbah cair industri karet. Sampel Q-01 dengan populasi awal sebanyak 19×10^6 bakteri menunjukkan bahwa bakteri mengalami penurunan signifikan pada waktu pengamatan 1,5 jam dengan populasi sebanyak $1,85 \times 10^6$ atau sebesar 90,26%. Bakteri mempunyai waktu generasi yang relatif sangat singkat. Mikroorganisme membutuhkan suplai makanan yang menjadi sumber energi dan yang menyediakan unsur kimia dasar untuk pertumbuhan sel berupa unsur karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, fosfor, magnesium, zat besi dan sejumlah kecil logam lainnya (K. Dwiningsih, sukarmim, 2018; Nurisman et al., 2022). Bakteri dapat tumbuh dengan waktu 1-48 Jam. Jika menelaah pernyataan tersebut, maka diperkirakan selama rentang waktu 1,5-4 jam, pertumbuhan bakteri masih dalam kondisi lag phase atau tahap penyesuaian (Diarti et al., 2020). Hal tersebut disebabkan karena populasi bakteri mengalami penyesuaian terhadap lingkungan yang baru. Populasi bakteri dalam lag phase atau fase beradaptasi itu berlangsung dalam jam ke 0 dan jam ke 2 (Indrayani et al., 2021). Pada Sampel Q-02 dengan populasi awal 28×10^6 bakteri menunjukkan bahwa bakteri mengalami penurunan signifikan di awal dan setelahnya mengalami kenaikan. Penurunan awal pada waktu pengamatan 1,5 jam sebesar 65,7%. Sama halnya dengan Q-01, yaitu populasi bakteri semakin meningkat dengan waktu 6 jam. Sedangkan, selama 1,5-4 jam bakteri masih dalam keadaan penyesuaian lingkungan untuk beradaptasi. Berdasarkan penelitian (Nurisman et al., 2022) Kondisi populasi tertinggi yang dihasilkan bakteri selama 24 jam di mana B. diminuta akan semakin semakin bertambah banyak (Nurisman et al., 2022). Selain itu, sampel Q-03 dengan populasi awal $21,2 \times 10^6$ bakteri menunjukkan hasil bahwa terjadi penurunan pada waktu pengamatan 1,5 jam dengan penurunan sebesar 50,94. Konsentrasi amoniak pada saat diinkubasi selama 48 jam konsentrasi amoniak dalam kompos adalah 78,7% (Bian et al., 2019). Semakin cepat waktu aerasi yang diberikan sampai batas tertentu, semakin efektif bakteri tersebut dalam menurunkan nilai pencemar pada limbah dan semakin banyak pula bakteri yang dihasilkan. Ketika sel telah menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru maka bakteri akan berada pada fase membelah diri hingga mencapai fase maksimum (Indrayani et al., 2021; Prabarini et al., 2014). Adapun beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri seperti pH, temperatur dan aerasi (Yani et al., 2019). Bakteri dapat beradaptasi dengan konsentrasi yang tinggi namun tergantung dengan kondisi lingkungan dan pH dengan toleransi sekitar 3000-4000 mg NH₄-N/l (Chamem et al., 2020; Diarti et al., 2020; Kismiati, 2020).

Pengaruh waktu aerasi terhadap reduksi kadar amoniak pada limbah cair industri karet. Limbah dengan kadar amoniak 4,28 mg/L pada laju alir 1,5 L/min terjadi penurunan secara terus-menerus. Namun pada waktu pengamatan 4,5 jam terjadi kenaikan kadar amoniak dari waktu pengamatan 3 jam. Kenaikan yang terjadi ialah sebesar 0,09 mg/L. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan B. *diminuta* sebagai pereduksi kadar amoniak dalam limbah cair industri karet ini, salah satunya ialah faktor lingkungan dapat mempengaruhi terjadinya pertumbuhan mikroba, Semua perubahan dapat di pengaruhi oleh morfologi dan fisiologi (Riwukore et al., 2021; Sari Dewi et al., 2020). Untuk mengatasinya, alat-alat kaca yang akan digunakan dalam proses biologis haruslah disterilisasi terlebih dahulu dengan melewatinya di atas nyala api bunsen selama prosesnya berlangsung. Jumlah oksigen yang terlarut dalam limbah cair mempengaruhi pertumbuhan bakteri dan aktivitas yang dilakukan di dalamnya. Pada variasi kecepatan udara sebesar 1,5 L/min, telah terjadi supply O₂ secara kontinu ke dalam limbah cair industri karet. Bersumber dari supply O₂ inilah *Brevundimonas diminuta* menggunakannya untuk proses metabolisme serta melakukan nitrifikasi dan denitrifikasi untuk mereduksi kadar amoniak. Penurunan paling signifikan kadar amoniak terjadi pada laju alir udara 3 L/min sehingga pada laju alir ini terjadi penurunan secara drastis dari waktu pengamatan 1,5 jam dengan waktu 3 jam. Adapun penurunan yang terjadi ialah sebesar 3,58 mg/L dengan efisiensi 83,64% dan efisiensi reduksi tertinggi terjadi pada waktu pengamatan 4,5 jam, yaitu sebesar 85,05%. Apabila kandungan DO dalam suatu limbah meningkat yang berarti semakin banyak kandungan yang terdapat di dalam limbah tersebut. Oleh sebab itu, DO sangat mempengaruhi untuk penguraian amoniak. Kadar amoniak awal sekitar 0,12 – 3,17 kg/hr memerlukan waktu 223 hari dari bulan mei – Desember untuk mendapatkan nilai amoniak sebesar 0,5 kg/hr (Zhao et al., 2021). Penurunan kadar amoniak pada laju alir 4,5 L/min paling signifikan terjadi pada waktu 6 jam dengan penurunan sebesar 3,14 mg/L dengan efisiensi 73,36%. Hasil pada Q-01, Q-02, dan Q-03 selaras dengan hasil penelitian dari (Nurisman et al., 2020) yang menyatakan bahwa bakteri *Brevundimonas diminuta*, memperlihatkan bahwa semakin lama proses reduksi yang terjadi, maka konsentrasi amoniak dalam air limbah tersebut makin menurun (Nurisman et al., 2022; Rathi et al., 2021). Berbeda dengan

variasi laju alir Q-01 dan Q-02, untuk laju alir Q-03 cenderung terjadi penurunan yang signifikan tanpa terjadinya kenaikan kadar amoniak kembali. Hal ini disebabkan karena proses yang dilakukan pada variasi Q-03 telah berlangsung secara ketat dalam memperhatikan kesterilan setiap alat-alat yang berhubungan dengan proses biologis (Bai, 2019). Dua tempat dengan waktu yang berbeda uji laboratorium membutuhkan waktu 20 menit untuk penguraian amoniak dengan konsentrasi awal 1,2 mg/L menjadi 0,3 mg/L sedangkan uji lapangan memerlukan waktu 25 menit untuk menguraikan amoniak dengan konsentrasi awal 1,6 mg/L menjadi 0,3 mg/L

4. SIMPULAN

Proses pengolahan limbah cair industri karet menggunakan isolat bakteri petrofilik (*Brevundimonas diminuta*) pada airlift bioreaktor diketahui dapat mereduksi kadar amoniak secara signifikan dalam waktu kurang dari dua puluh empat jam. Semakin lama waktu aerasi yang dilakukan maka nilai DO, populasi bakteri, dan reduksi kadar amoniak akan semakin meningkat pula. Kondisi optimum dalam mereduksi kadar amoniak pada limbah cair industri karet adalah pada laju alir udara Q-02. Penurunan kadar amoniak tersebut sudah memenuhi batas baku mutu amoniak berdasarkan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Li, M., Su, J., Li, Y., Wang, Z., Bai, Y., & Shaheen, S. M. (2022). *Brevundimonas diminuta* isolated from mines polluted soil immobilized cadmium (Cd²⁺) and zinc (Zn²⁺) through calcium carbonate precipitation: microscopic and spectroscopic investigations. *Science of the Total Environment*, 813, 152668. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152668>.
- Bai, L. D. Y. (2019). Comparison of Charity and Project-Based Service Learning Models on Knowledge Outcomes of Dietetic Students in a Community Nutrition Course. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 119(10), A124. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.08.082>.
- Bian, R., Shi, W., Duan, Y., & Chai, X. (2019). Effect of soil types and ammonia concentrations on the contribution of ammonia-oxidizing bacteria to CH₄ oxidation. *Waste Management & Research*, 37(7), 698–705. <https://doi.org/10.1177/0734242X19843988>.
- Chamem, O., Fellner, J., & Zairi, M. (2020). Ammonia inhibition of waste degradation in landfills—A possible consequence of leachate recirculation in arid climates. *Waste Management & Research*, 38(10), 1078–1086. <https://doi.org/10.1177/0734242X20920945>.
- Dey, S., Charan, S. S., Pallavi, U., Sreenivasulu, A., & Haripavan, N. (2022). The Removal Of Ammonia From Contaminated Water By Using Various Solid Waste Biosorbents. *Energy Nexus*, 7, 100119. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100119>.
- Diarti, M. W., & Tatontos, E. Y. (2020). Pengaruh Lama Waktu Inkubasi Terhadap Morfologi Bakteri *Neisseria gonorrhoeae*. *Jurnal Kesehatan Poltekkes Kemenkes Ri Pangkalpinang*, 7(2), 36–41. <https://doi.org/10.32922/jkp.v7i2.83>.
- Ding, J., Gao, Q., Wang, Y., Zhao, G., Wang, K., Jiang, J., Li, J., & Zhao, Q. (2020). Simulation and prediction of electrooxidation removal of ammonia and its application in industrial wastewater effluent. *Water Environment Research*, 93(1), 51–60. <https://doi.org/10.1002/wer.1343>
- Ghavam, S., Taylor, C. M., & Styring, P. (2021). The Life Cycle Environmental Impacts Of A Novel Sustainable Ammonia Production Process From Food Waste And Brown Water. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128776. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128776>.
- Harahap, N. H. P., & Segoro, B. A. (2018). Analisis Daya Saing Komoditas Karet Alam Indonesia ke Pasar Alobal. *TRANSBORDERS: International Relations Journal*, 1(2), 130–143. <https://doi.org/10.23969/transborders.v1i2.992>.
- He, C., Ren, X., Xu, G., Huang, Z., Wang, Y., Hu, Z., & Wang, W. (2021). Performance of single-stage partial nitrification and anammox reactor treating low-phenol/ammonia ratio wastewater and analysis of microbial community structure. *Water Environment Research*, 93(10), 1969–1978. <https://doi.org/10.1002/wer.1568>.
- Huang, J., Liu, S., Hassan, S. G., Xu, L., & Huang, C. (2021). A hybrid model for short-term dissolved oxygen content prediction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186, 106216. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106216>.
- Indrayani, S., & Ismed, I. (2021). Perbandingan Total Koloni Bakteri Asam Laktat, Total Koloni Bakteri Aerob dan Keasaman Asi yang di simpan Pada Suhu Freezer (-15° C) dan Suhu Refrigerator (4° C). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 5(3), 10400–10405.
- K. Dwiningsih, sukarmin, M. (2018). Developing Chemical Instructional Media Using Virtual Laboratory Media based on the Global Era Learning Paradigm. *Teknologi Pendidikan*, 06(02), 156–176.

- Kismiati, D. (2020). Implementasi E-Modul Pengayaan Isolasi dan Karakterisasi Bakteri dalam Meningkatkan Kemandirian Belajar Siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.35719/alveoli.v1i1.1>.
- Liu, X., Kim, M., & Nakhla, G. (2018). Performance and Kinetics of Nitrification of Low Ammonia Wastewater at Low Temperature: Liu et al. *Water Environment Research*, 90(6), 498–509. <https://doi.org/10.2175/106143017X14902968254818>.
- Mavropoulou, A. M., Vervatis, V., & Sofianos, S. (2020). Dissolved oxygen variability in the Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 208, 103348. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103348>.
- Nurisman, E., Alkahfi, M. I., Razikah, Y. A., Rahmatullah, R., Haryani, N., & Rosmania, R. (2022). Potential Utilization of *Brevundimonas diminuta* to Reduce Ammonia in Wastewater. *Key Engineering Materials*, 920, 7–13. <https://doi.org/10.4028/p-vhs848>.
- Prabarini, N., & Okayadnya, D. (2014). Penyisihan Logam Besi (Fe) Pada Air Sumur Dengan Karbon Aktif Dari Tempurung Kemiri. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 5(2), 33–41. <http://eprints.upnjatim.ac.id/6807/>.
- Prahotama, P., & Purnomo, Y. S. (2018). Pengolahan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Dengan Adsorpsi Abu Terbang Bagas. *Jurnal Envirotek*, 10(1), 5–10. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v10i1.1152>.
- Putri, W. A. E., Purwiyanto, A. I. S., Fauziah, Agustriani, F., & Suteja, Y. (2019). Kondisi Nitrat, Nitrit, Amonia, Fosfat Dan Bod Di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(1), 65–74. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v11i1.18861>.
- Rathi, M., & Yogalakshmi, K. N. (2021). *Brevundimonas diminuta* MYS6 associated *Helianthus annuus* L. for enhanced copper phytoremediation. *Chemosphere*, 263, 128195. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128195>.
- Riwukore, J. R., Yani, A., Fuah, A. M., Abdullah, L., Priyanto, R., Purwanto, B. P., Habaora, F., & Susanto, Y. (2021). Analysis of Production Capacity and Consumption Level of Beef in East Nusa Tenggara Province of Indonesia. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Peternakan*, 9(1), 6–13. <https://doi.org/10.20956/jitp.v9i1.9531>.
- Saravanan, S., Kumar, P. S., Chitra, B., & Rangasamy, G. (2022). Biodegradation of textile dye Rhodamine-B by *Brevundimonas diminuta* and screening of their breakdown metabolites. *Chemosphere*, 308, 136266. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136266>.
- Sari Dewi, D., Eko Prasetyo, H., & Karnadeli, E. (2020). Pengolahan Air Limbah Industri Karet Remah (Crumb Rubber) Dengan Menggunakan Reagen Fenton. *Jurnal Redoks*, 5(1), 47. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i1.4120>.
- Taukhid, T., Ruffi'i, R., & Karyono, H. (2022). Pengembangan Media Flipbook Panduan Pelayanan Terapi Oksigen Hiperbarik. *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Informatika)*, 7(1), 74–81. <https://doi.org/10.29100/jupi.v7i1.2439>.
- Wang, X., Wang, X., Liu, M., Zhou, L., Gu, Z., & Zhao, J. (2016). Bioremediation of marine oil pollution by *Brevundimonas diminuta*: effect of salinity and nutrients. *Desalination and Water Treatment*, 57(42), 19768–19775. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1106984>.
- Xu, B., & He, Z. (2021). Ammonia recovery from simulated anaerobic digestate using a two-stage direct contact membrane distillation process. *Water Environment Research*, 93(9), 1619–1626. <https://doi.org/10.1002/wer.1545>.
- Zhao, W., Vermace, R. R., Mattes, T. E., & Just, C. (2021). Impacts of ammonia loading and biofilm age on the prevalence of nitrogen-cycling microorganisms in a full-scale submerged attached-growth reactor. *Water Environment Research*, 93(5), 787–796. <https://doi.org/10.1002/wer.1471>.