

Pengolahan Amonia Pada Air Limbah Industri Pupuk Secara Biologis dengan Bakteri Petrofilik

Biological Treatment of Ammonia in Fertilizer Industry Wastewater with *Petrophilic Bacteria*

M Ikhwan Alkahf¹, Yessi Astri Razikah¹, Enggal Nurisman¹

¹Teknik Kimia Universitas Sriwijaya, Palembang – Indonesia

*Email: enggalnurisman@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Limbah cair industri pupuk yang mengandung amonia dapat membahayakan lingkungan sehingga perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu pengolahan limbah cair adalah melalui proses secara biologis dengan memanfaatkan bakteri petrofilik berupa *Brevundimonas diminuta*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri *B. diminuta* dalam mendegradasi amonia dalam limbah cair industri pupuk. Pengolahan limbah dilakukan pada limbah amoniak sintetik dan limbah cair industri yang mengandung amoniak. Pada uji pertumbuhan bakteri pada sampel air limbah amoniak sintetik menunjukkan *B. diminuta* dapat tumbuh pada kadar amoniak hingga 25 mg/L. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan air limbah industri dengan kadar amoniak sebesar 2,94 mg/L sebanyak 1 L dengan menggunakan *airlift bioreactor* pada kondisi 1 atm dan suhu 25°C dengan rasio inokulum bakteri sebanyak 5%. Penelitian ini dilakukan dengan variasi laju aerasi udara 1,5-4,5 L/min dan waktu operasi selama 1,5-6 jam. Hasil penelitian didapatkan penurunan kadar amonia yang optimal pada laju alir aerasi 3 L/min dengan waktu operasi 6 jam yaitu sebesar 1,76 mg/L atau penurunan kadar amoniak sebesar 40,14% dibandingkan kondisi awal air limbah sebelum dilakukan pengolahan. Selain itu pada penelitian ini diketahui bahwa semakin lama waktu operasi menyebabkan kecenderungan kenaikan kadar pH (8,0-9,0), kadar oksigen terlarut yang fluktuatif (4,30- 9,20 mg/L) serta jumlah populasi bakteri yang bervariasi antara $15,3 \times 10^6$ sel/mL hingga $78,6 \times 10^6$ sel/mL. Diketahui juga bahwa bakteri mampu hidup dan tumbuh pada medium limbah. Selain itu, variabel pH stabil pada rentang 8,0-9,0 dan tren kadar DO bersifat fluktuatif.

Kata Kunci: Amonia, Bakteri Petrofilik, Air Limbah, Pengolahan Limbah Biologis

Abstract

Liquid waste from the fertilizer industry that contains ammonia can harm the environment and requires processing. Microbiological treatment of ammonia levels in industrial wastewater is carried out by utilizing petrophilic bacteria in the form of *Brevundimonas diminuta*. This study aims to determine the ability of the bacteria *B. diminuta* in degrading ammonia in the liquid waste of the fertilizer industry. Waste treatment is carried out on synthetic ammonia waste and industrial liquid waste containing ammonia. The bacterial growth test of synthetic ammonia wastewater samples showed that *B. diminuta* could grow at ammonia levels of up to 25 mg/L. Further testing was carried out using industrial wastewater with an ammonia level of 2.94 mg/L as much as 1 L using an *airlift bioreactor* at conditions of 1 atm and a temperature of 25°C with a bacterial inoculum ratio of 5%. This research was conducted with a variation of the air aeration rate of 1.5 - 4.5 L/minute and a variation of the observation time of 1.5 - 6 hours. The results showed that the optimal decrease in ammonia levels was at aeration flow rate of 3 L/min. after an observation time of 6 hours, namely 1.76 mg/L or a decrease in ammonia levels of 40.14 compared to the initial ammonia levels of wastewater before treatment. In addition, in this study it was found that the longer of operating time caused the tendency to increase in pH levels (8.0-9.0), fluctuating dissolved oxygen levels (4.30-9.20 mg/L) and the number of bacterial populations varied between 15.3×10^6 cells/mL to 78.6×10^6 cells/mL. It is also known that bacteria could grow well in wastewater. pH values tended to be stabilized on range 8,0-9,0 and DO values ranged fluctuatively.

Keywords: Ammonia, Petrophilic Bacteria, Wastewater, Biological Waste Treatment

1. PENDAHULUAN

Limbah cair industri pupuk umumnya mengandung karbon dioksida (CO₂), amonia (NH₃), dan urea ((NH₂)₂CO) atau (CON₂H₄) (Darmadi, 2014). Limbah cair industri pupuk yang belum diolah umumnya mengandung amonia sebanyak 31700 ppm dengan pH 10,2 (Mareta, 2019). Kandungan amonia yang tinggi dalam air bersifat racun bagi ekosistem air, dimana angka LC50 amonia untuk ikan hanya sebesar 0,56-2,36 ppm dan 1,10-22,8 ppm untuk invertebrata dengan waktu paparan selama 24-96 jam (Royan dkk., 2019). Dimsaping itu, Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No 8 Tahun 2012 menetapkan standar beban pencemaran maksimum amoniak pada industri pupuk urea sebesar 0,75 kg/ton (Pergub Sumsel, 2012).

Pengolahan limbah cair amonia dapat dilakukan dengan berbagai cara. Penelitian yang dilakukan Luo dkk. (2015) mengolah air limbah amonia dengan metode oksidasi ozon dua tahap, dimana efisiensi degradasi amonia mencapai 85% setelah dua tahapan oksidasi ozon. Mareta (2019) mengamati pengolahan limbah cair pada unit IPAL salah satu industri pupuk terbesar di Indonesia, dimana kadar amonia pada limbah sebesar 31700 ppm dapat diturunkan hingga 270 ppm dengan penurunan sebesar 99,14%.

Tumbuhan eceng gondok juga disinyalir mampu mendegradasi amonia menjadi nitrat melalui proses nitrifikasi dengan bantuan mikroorganisme dan juga dimanfaatkan dalam proses pengolahan limbah cair industri pupuk (Rahman, 2019). Sementara penelitian Wardhany dan Ayuningtyas (2009) menggabungkan metode nitrifikasi-denitrifikasi dengan *microalgae* dalam pengolahan limbah cair pabrik pupuk urea. Penurunan kadar NH₃-N tertinggi yang dicapai adalah sebesar 67,33%.

Limbah cair industri pupuk dapat diolah secara biologis, yang disebut dengan bioremediasi. Bioremediasi mengolah limbah dengan bantuan organisme hidup menjadi bahan yang lebih aman dibuang ke lingkungan. Salah satu organisme yang dapat dimanfaatkan dalam bioremediasi adalah bakteri (Pieper dan Reineke, 2000). Bakteri berjenis petrofilik diketahui mampu mendegradasi komponen hidrokarbon untuk kebutuhan metabolisme dan reproduksinya. Bakteri petrofilik mampu tumbuh pada suhu 10-45 °C dengan suhu optimum 25-40 °C (Jawetz dkk., 2008).

Bossert dkk. (2014) menyatakan bahwa umumnya terdapat 22 genus isolat bakteri yang hidup pada lingkungan minyak bumi, beberapa diantaranya adalah: *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Artrobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, dan *Pseudomonas*. Bakteri genus *Pseudomonas* diketahui mampu menyerap jenis-jenis logam yang berbeda, tergantung pada

spesiesnya (Vijayaraghavan dan Yun, 2008). Selain itu, spesies *Pseudomonas aeruginosa* juga diketahui mampu hidup dalam kondisi ekstrim dan hanya membutuhkan oksigen dalam metabolisme selnya. Bakteri ini juga mampu tumbuh dengan baik pada medium dengan kandungan asetat (sebagai sumber karbon) dan ammonium sulfat (sebagai sumber nitrogen) (Tang dkk., 2015).

Pengolahan limbah secara mikrobiologis merupakan salah satu jenis pengolahan secara biologi, karena menggunakan mikroorganisme yang merupakan makhluk hidup. Pada umumnya, kandungan amonia pada pengolahan limbah secara mikrobiologis didegradasi melalui proses nitrifikasi. Nitrifikasi adalah rangkaian reaksi dalam proses biologis dengan perubahan amonia menjadi nitrat yang lebih sederhana dengan bakteri nitrifikasi. Bakteri nitrifikasi mampu mengoksidasi amonia dan nitrit menjadi nitrat secara aerobik. Menurut Nainggolan dkk. (2015), setidaknya ada beberapa genus bakteri nitrifikasi yang mampu hidup pada kondisi lingkungan amonia, yaitu *Nitrosomonas*, *Nitrosolobus*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrospina*, *Nitrospira*, dan *Nitrococcus*.

Nurisman dkk. (2020) menyatakan bahwa ada tiga jenis isolat bakteri petrofilik yang dapat hidup di lingkungan limbah amonia dengan konsentrasi 2600-3000 ppm serta mampu melakukan proses nitrifikasi amonia. Ketiga jenis tersebut adalah *Pseudomonas fluorescens*, *Brevundimonas diminuta*, dan *Pseudomonas aeruginosa*. Akan tetapi, dari ketiga jenis tersebut hanya *B. diminuta* saja yang diketahui memiliki kemampuan yang terbaik. Hal tersebut dikarenakan *B. diminuta* memiliki tingkat pertumbuhan tertinggi dibandingkan dua jenis isolat bakteri petrofilik lainnya.

B. diminuta merupakan bakteri gram-negatif dan *non-lactose fermenting*, dan dapat diisolasi dari berbagai sampel klinikal seperti darah dan urin (Ryan dan Pembroke, 2018). *B. diminuta* sering dimanfaatkan dalam pengujian porositas filter *pharmaceutical* dikarenakan ukurannya yang sangat kecil (Sundaram dkk., 2021). Bakteri ini juga berpotensi dimanfaatkan sebagai bioremediator pencemaran minyak di laut.

Penelitian Nurisman dkk. (2020) menunjukkan bahwa bakteri *B. diminuta* mampu mereduksi kadar amonia pada air limbah kilang minyak hingga 88,81% selama delapan hari. Air limbah kilang mula-mula memiliki kadar amonia sebesar 750,48 mg/L dan turun ke angka 84,02 mg/L pada hari kedelapan. Diketahui juga bahwa *B. diminuta* mendegradasi amonia melalui mekanisme nitrifikasi-denitrifikasi. Sehingga *B. diminuta* selain termasuk ke jenis bakteri petrofilik juga tergolong ke bakteri nitrifikasi.

Mengingat pada proses penelitian terdahulu memerlukan waktu proses pengolahan yang cukup

lama berkisar antara 3 hari hingga 8 hari di laboratorium secara kontinu, maka dilakukan modifikasi proses dan peralatan pengolahan limbah sehingga dapat dilakukan proses pengolahannya kurang dari 7 jam. Hal ini mengingat penelitian dilakukan saat masa pemberlakuan kebijakan Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) di lingkungan kampus dan laboratorium penelitian saat masa pandemi. Selain itu berdasarkan pengalaman penelitian yang dilakukan sebelumnya, ternyata terdapat beberapa kendala/permasalahan sehingga perlu perbaikan instrumentasi dan pengembangan parameter uji. Kompresor udara yang digunakan selama proses aerasi pada riset terdahulu belum dilengkapi dengan filter yang memadai sehingga kadar oksigen terlarut yang dibutuhkan selama proses *aerobic* bakteri menjadi kurang optimal. Oleh sebab itu pada penelitian ini digunakan aerator unit dengan tingkat laju alir udara yang dapat diatur. Selain itu perlu dilakukan observasi lanjut terhadap laju pertumbuhan bakteri secara berkala sehingga dapat menjadi dasar untuk pengembangan dari sistem *batch* menjadi semi kontinu.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, mulai dari preparasi bahan dan peralatan, preparasi kultur dan medium, inokulasi dan pembuatan starter bakteri, uji kemampuan bakteri dalam mendegradasi amonia hingga analisis hasil penelitian

2.1. Preparasi dan Peralatan Sampel Limbah

Limbah cair amoniak sintetik yang digunakan berasal dari reagen berupa amonium sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan rentang kadar amoniak 5 mg/L - 25 mg/L. Sampel air limbah sintetik ini hanya digunakan untuk menguji kemampuan dan tingkat pertumbuhan bakteri *Brevundimonas diminuta* sebelum dilakukan pengujian pada sampel air limbah industri pada *airlift bioreactor*.

Sampel air limbah yang digunakan limbah cair berasal dari sampel outlet pembuangan air limbah industri pupuk yang dialirkan ke sungai. Setelah dilakukan analisa, kadar amoniak yang terdapat pada sampel air limbah tersebut sebesar 2,94 mg/L.

2.2. Persiapan Alat dan Bahan

Selain persiapan sampel limbah, dilakukan juga persiapan medium yang digunakan berupa media Zobell, dengan perbandingan komposisi 5 gram pepton, 1 gram *yeast extract*, 0,012 gram K_2HPO_4 , dan 0,01 gram FeSO_4 . Pembuatan *inoculum starter* dan *medium starter* merujuk prosedur kerja sebagaimana tahapan penelitian degrasi amoniak pada limbah kilang minyak sebelumnya (Nurisman,dkk, 2020). Persiapan

rangkaian peralatan berupa 3 L yang didalamnya terdapat *bioring* dan terhubung dengan unit aerator sebagai penyedia aliran udara dalam proses pengolahan biologis secara aerobik. Isolat bakteri yang digunakan adalah *Brevundimonas diminuta*, dengan menggunakan peralatan jenis *airlift bioreactor* kapasitas maksimum 3L.

2.3. Preparasi Kultur Bakteri

Peremajaan kultur bakteri dilakukan pada medium *nutrient agar* (NA) miring, yang bertujuan sebagai tempat biakan bakteri untuk bahan baku *inoculum starter* yang akan digunakan pada penelitian nantinya.

2.4. Pembuatan Medium Zobell

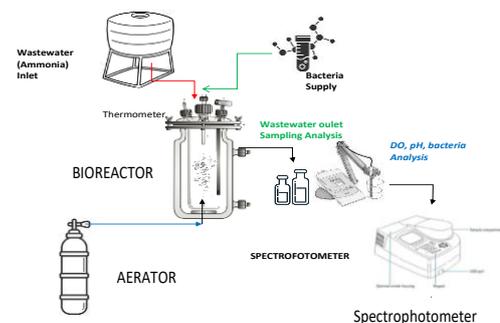
Medium Zobell merupakan medium awal untuk menumbuhkan *starter* bakteri *B. diminuta* yang diinokulasikan dari medium agar miring. Medium ini memiliki banyak kandungan nutrisi berupa senyawa hidrokarbon yang dapat dimanfaatkan oleh bakteri *B. diminuta* sebagai sumber energi (Yudono dan Estuningih, 2013).

2.5. Inokulasi *B. diminuta* Pada Medium Zobell (Pembuatan *Starter* Bakteri)

Kultur bakteri yang telah disiapkan pada medium NA miring diinokulasikan pada medium Zobell, yang nantinya akan dicampurkan langsung sebagai *starter* dengan limbah industri yang digunakan pada tahap utama penelitian ini.

2.6. Uji Pertumbuhan dan Kinerja Bakteri Dalam Mendegradasi Amonia

Sebelum dilakukan pengujian terhadap sampel air limbah industri, dilakukan uji pertumbuhan bakteri pada limbah sintetik dengan kadar amoniak hingga 25 mg/L. Hasilnya menunjukkan koloni bakteri *Brevundimonas diminuta* teramat tumbuh dengan baik dalam masa inkubasi dalam inkubator selama 1 x 24 jam pada sampel amoniak sintetik 5 mg/L- 25 mg/L. Hal ini mengindikasikan bahwa isolat bakteri yang digunakan mampu tumbuh dan dapat digunakan pada sampel limbah industri pupuk dengan kadar amoniak yang lebih rendah.



Gambar 1. Skema Rangkaian Airlift Bioreaktor

Pengujian kinerja bakteri terhadap sampel air limbah industri dilakukan pada *airlift bioreaktor* dengan skema sebagaimana yang tertera pada gambar 1. Rangkaian instalasi peralatan tersebut terdapat di Laboratorium Teknologi Bioproses Jurusan Teknik Kimia Unsri. *Airlift bioreaktor* diisi dengan air limbah sebanyak 1 L dengan rasio *starter* inokulum bakteri sebesar 5 %. Aliran udara disuplai oleh unit aerator dengan laju debit aliran udara divariasikan (L/min): 1,5; 3; 4,5 pada suhu kamar dan tekanan atmosferik. Waktu operasi dimulai sejak proses aerasi dilakukan dan diamati secara berkala dengan variasi waktu (jam): 1,5; 3; 4,5; 6.

Sampel limbah yang digunakan merupakan sampel limbah industri dengan menggunakan 3 kode sampel yaitu VA-01, VA-02, dan VA-03 dengan variasi laju aliran udara pada proses aerasi masing-masing sebesar 1,5 L/min, 3 L/min dan 4,5 L/min. Setiap waktu operasi dilakukan analisa terhadap empat variabel terikat berupa pH, *Dissolved Oxygen* (DO), populasi bakteri dan kadar amoniak

2.7. Analisa Hasil Penelitian

Analisa hasil penelitian berupa pengukuran kadar DO, pH, populasi bakteri dan kadar amoniak. Pengukuran kadar DO dalam air limbah menggunakan peralatan DO meter digital Lutron DO-5510. Angka derajat keasaman (pH) air limbah diukur dengan menggunakan alat pH meter ATC PH-009. Besarnya angka pH diukur berdasarkan keberadaan aktivitas secara potensiometri/elektrometri dari ion hidrogen. Pengukuran pH dan DO ini dilakukan secara langsung di Laboratorium Teknologi Bioproses Jurusan Teknik Kimia Unsri.

Penentuan populasi bakteri dilakukan dengan metode mikroskopis langsung dengan alat hemasitometer jenis Improved Neubauer - Weber serta mikroskop elektrik Olympus CX-23 di Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Unsri. Analisis kandungan amonia menggunakan Metode *Nessler* dan dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Palembang.

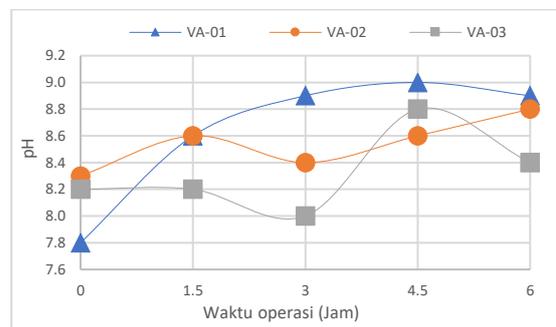
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama penelitian berlangsung, dilakukan pengamatan pengaruh waktu operasi terhadap beberapa variabel terikat berupa pH, kadar *Dissolved Oxygen* (DO), populasi bakteri serta kadar amonia. Perubahan terhadap keempat variabel tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yang akan diuraikan lebih lanjut pada sub bab berikut.

3.1. Pengaruh Waktu Operasi Terhadap pH

Pengukuran pH ini menjadi pengujian yang sangat penting sebagai parameter kualitas air limbah. Selama proses *running* berlangsung, pH pada keseluruhan sampel cenderung stabil, dan

sama-sama mengalami tren kenaikan walaupun ada beberapa waktu pengamatan dimana angka pH sedikit menurun namun tidak terlalu signifikan yaitu dengan kisaran 8,0-9,0.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Waktu operasi terhadap pH

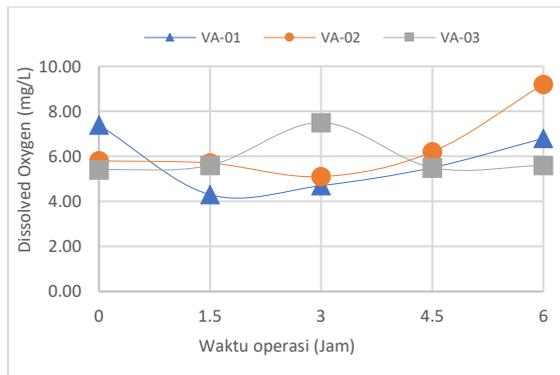
Menurut Yuniarti dkk. (2019), semakin lama proses aerasi seharusnya maka parameter pH semakin banyak sehingga semakin lama waktu yang maka konsentrasi pH dalam air seharusnya semakin berkurang. Pernyataan tersebut sejalan dengan penelitian kami, kemudian dilanjutkan dengan angka pH optimal, untuk proses nitrifikasi angka optimalnya ialah pada rentang 7,5-8,5 dan akan terhenti di bawah angka 6. Kondisi ini merupakan kondisi pH optimal untuk proses nitrifikasi.

Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang menunjukkan maka pH limbah cair yang diolah cenderung semakin meningkat dari rentang 8,3 hingga 9,39 Peningkatan laju alir aerasi akan menaikkan nilai pH baik pada bioreaktor maupun pada effluent (Rahmayetty, 2011). Menurutnya, kenaikan pH tersebut disebabkan karena keberadaan amoniak selama proses respirasi sel secara aerob.

3.2. Pengaruh Waktu Operasi Terhadap DO

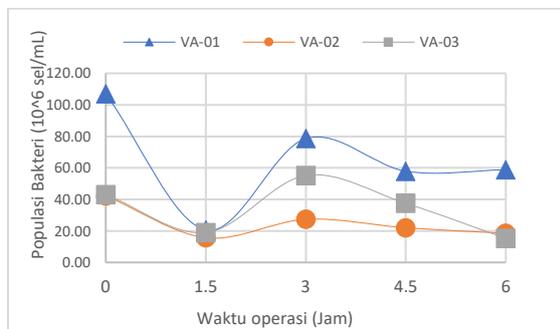
Dari hasil percobaan menghasilkan kurva yang fluktuatif dalam rentang 4,30-9,20 ppm dimana semakin lama waktu aerasi berlangsung besarnya DO terlihat naik turun, artinya besarnya nilai DO pada proses aerasi tidak memiliki korelasi. Hasil penelitian ini sejalan dengan pernyataan Febiyanto (2020) nilai DO cenderung bervariasi selama waktu pengamatan. Hal ini disebabkan adanya kesetimbangan transfer gas O₂ antara kandungan oksigen dalam air dan udara.

Pada gambar 3 dibawah menunjukkan bahwa kecenderungan nilai DO mg/L selama proses. Hal ini mengindikasikan yang erat dengan waktu operasi. Keberadaan DO dalam air tidak hanya bergantung pada keberadaan kontaminan tetapi juga tergantung pada parameter lainnya. Parameter tersebut ialah dapat berupa pencampuran dan turbulensi massa air, proses biologis secara signifikan mempengaruhi pelarutan oksigen dalam air (Desmet dkk., 2011)



Gambar 3. Grafik Pengaruh Waktu operasi terhadap Kadar *Dissolved Oxygen* (DO)

3.3. Pengaruh Waktu Terhadap Populasi Bakteri *B. diminuta*



Gambar 4. Grafik Pengaruh Waktu operasi terhadap Populasi Bakteri *B. diminuta*

Jumlah populasi minimum bakteri pada inokulum yang dapat digunakan pada penelitian ini, adalah minimal 10^6 sel/mL. Pada gambar 4 menunjukkan bahwa pada keseluruhan sampel, populasi bakteri pada awal pengamatan sudah memenuhi persyaratan tersebut, namun pada waktu operasi hingga 1,5 jam terjadi penurunan populasi bakteri namun masih memenuhi ketentuan. Penurunan populasi bakteri tertinggi pada laju alir 1,5 L/min, (VA-01) dengan persentase penurunan sebesar 80,75 % sedangkan penurunan terendah terjadi pada laju alir udara sebesar 4,5 L/min (VA-03) dengan persentase penurunan sebesar 56,15 %. Hal tersebut mengindikasikan bahwa bakteri *B. diminuta* sedang dalam proses adaptasi dengan kondisi sampel air limbah industri.

Setelah waktu operasi 3 jam, populasi bakteri mengalami kenaikan yang cukup signifikan, dimana *B. diminuta* sudah mulai beradaptasi dengan medium barunya. Persentase kenaikan populasi bakteri waktu operasi 3 jam pada masing-masing sampel VA-01, VA-02, dan VA-03 adalah 281,55 %; 74,52 %; 192,06 %.

Pada akhir waktu operasi, populasi bakteri pada sampel VA-01 mengalami sedikit kenaikan ke angka $58,80 \times 10^6$ sel/mL. Akan tetapi tidak pada kedua sampel lainnya yang sama-sama mengalami

penurunan. Sampel VA-02 mengalami sedikit penurunan populasi bakteri ke angka $18,50 \times 10^6$ sel/mL. Sedangkan sampel VA-03 mengalami penurunan yang cukup besar ke angka $15,30 \times 10^6$ sel/mL. Penurunan populasi bakteri yang cukup besar ini kemungkinan diakibatkan karena sumber nutrisi yang dimanfaatkan bakteri pada proses pengolahan secara aerobik semakin berkurang. Mikroorganisme membutuhkan suplai makanan yang akan menjadi sumber energi dan menyediakan unsur-unsur kimia dasar untuk pertumbuhan sel berupa unsur karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, fosfor, magnesium, zat besi dan sejumlah kecil logam lainnya (RJ Napitupulu, 2018). Selain itu, juga mikroorganisme aerobik memerlukan nilai potensial redoks, Eh positif (teroksidasi), dengan dugaan bahwa pengaruh kecil terhadap komposisi bahan pangan, permukaan bahan pangan tersebut akan membantu pertumbuhan spesies gram negatif berbentuk batang yang bersifat aerobik

Menurut Hadiyanto dan Azim (2015), fase pertumbuhan sel bakteri terdiri dari lima fase, yaitu fase lag, fase eksponensial (logaritmik), fase penurunan kecepatan, fase stasioner (fase diam), dan fase kematian. Pertumbuhan sel tentunya sangat penting karena terkait dengan keberlangsungan hidup sel serta laju dan kinetika pertumbuhannya. Nurisman dkk. (2020), bakteri *B. diminuta* mampu mengonsumsi senyawa-senyawa organik yang menjadi sumber karbonnya.



Gambar 5. Indikasi Pertumbuhan Bakteri *B. diminuta* pada Medium Zobell

Populasi awal bakteri pada 0 jam dihitung saat *starter* bakteri belum diinokulasikan ke medium limbah cair dan merupakan angka tertinggi. *Starter* bakteri yang telah diinkubasi sudah mencapai fase eksponensial untuk pertumbuhannya di medium Zobell. Pertumbuhan bakteri diindikasikan dengan keruhnya medium Zobell setelah 1x24 jam, seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Pada waktu operasi 1,5 jam, populasi menurun dibandingkan pada 0 jam dikarenakan bakteri *B. diminuta* sedang mengalami fase lag untuk medium barunya dan laju pertumbuhannya masih rendah. Bakteri *B. diminuta* sedang beradaptasi dengan medium barunya berupa air limbah yang tentunya

berbeda dengan medium Zobell serta menyesuaikan proses metabolismenya.

Setelah waktu operasi 3 jam, populasi bakteri naik cukup signifikan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa *B. diminuta* sudah beradaptasi pada medium barunya dan memasuki fase eksponensial (Hadiyanto dan Azim, 2015). Keseluruhan komponen sel tumbuh dengan laju yang sama serta jumlah nutrisi masih melimpah (Shuler dan Kargi, 2017).

Populasi mulai mengalami penurunan pada waktu operasi 4,5 jam, mengindikasikan bahwa bakteri sudah mulai masuk ke fase stasioner atau bahkan fase kematian. Nutrisi sudah mulai berkurang dan sel bakteri sudah mulai mengalami kematian. Laju pertumbuhan sel sama dengan laju kematiannya. Kemungkinan bakteri *B. diminuta* mulai mengalami lisis dan penurunan viabilitas selnya. Diyakini juga *B. diminuta* menghasilkan metabolit sekunder yang bersifat toksik bagi sel itu sendiri (Hadiyanto dan Azim, 2015).

Di akhir waktu operasi selama 6 jam, bakteri *B. diminuta* sudah masuk ke fase kematian. Pada waktu ini terjadi penurunan populasi sel serta nutrisi yang terkandung juga sudah sangat sedikit. Laju kematian sel lebih besar daripada laju pertumbuhannya (Hadiyanto dan Azim, 2015).

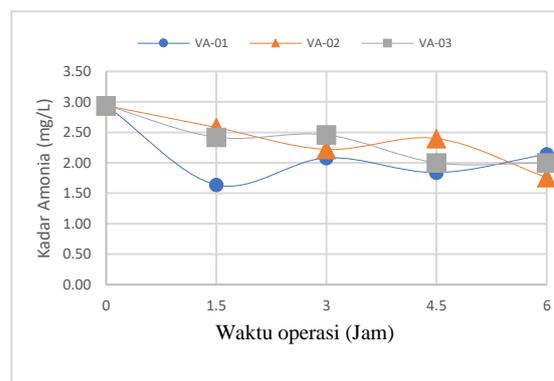
3.4. Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Amonia

Kadar amonia yang terkandung pada limbah mula-mula sebesar 2,94 mg/L. Gambar 6 menunjukkan bahwa sampel VA-01 mengalami penurunan kadar amonia yang cukup signifikan pada waktu operasi 1,5 jam ke angka 1,64 mg/L. Akan tetapi, kadar amonia mengalami sedikit peningkatan ke angka 2,08 mg/L pada waktu operasi 3 jam.

Kadar amonia selanjutnya kembali berkurang dari 2,08 mg/L ke angka 1,84 mg/L pada waktu operasi 4,5 jam. Pada akhir pengamatan selama 6 jam, kadar amonia mengalami sedikit kenaikan ke angka 2,14 mg/L. Walaupun mengalami kenaikan, kadar amonia pada akhir waktu operasi tetaplah lebih rendah dibandingkan mula-mula. Total keseluruhan penurunan kadar amonia dari mula-mula ke waktu operasi 6 jam adalah sebesar 27,21%. Sementara penurunan kadar amonia terbesar terjadi pada waktu operasi 1,5 jam, yaitu sebesar 44,22%.

Pada sampel VA-02, kadar amonia mengalami penurunan seiring berjalannya waktu operasi. Setelah pengamatan selama 1,5 jam, kadar amonia turun ke angka 2,58 mg/L. Begitu juga setelahnya, yaitu pada waktu operasi 3 jam. Kadar amonia kembali mengalami penurunan ke angka 2,22 mg/L. Walaupun begitu, kadar amonia mengalami sedikit kenaikan pada waktu operasi 4,5 jam ke angka 2,40 mg/L. Pada akhir pengamatan, kadar amonia kembali menurun ke angka 1,76 mg/L pada waktu 6 jam. Dengan demikian, total keseluruhan penurunan

kadar amonia setelah pengamatan selama 6 jam adalah 40,14%.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Waktu operasi terhadap Kadar Amonia

Sampel VA-03 mengalami penurunan kadar amonia sebesar 17,63% pada waktu operasi 1,5 jam ke angka 2,42 mg/L. Setelah waktu operasi selama 3 jam, kadar amonia mengalami sedikit peningkatan dari waktu sebelumnya, yaitu ke angka 2,46 mg/L. Kadar amonia kembali mengalami penurunan ke angka 2,00 mg/L pada waktu operasi selanjutnya, yaitu 4,5 jam. Kadar amonia tetap konstan hingga waktu operasi 6 jam pada angka 2,00 mg/L seperti halnya pada waktu operasi 4,5 jam. Secara keseluruhan, penurunan kadar amonia dari mula-mula hingga waktu operasi selama 6 jam adalah 31,97%. Dengan demikian, penurunan kadar amoniak yang optimal diperoleh pada laju alir aerasi sebesar 3 L/min selama 6 jam yaitu sebesar 40,14%

Jika dibandingkan dengan penelitian lainnya, tingkat penurunan kadar amoniak ini mendekati penurunan konsentrasi Amoniak Limbah Cair Domestik dengan Teknologi Biofilter Aerob Media Tubular Plastik dengan waktu tinggal 12 jam sebesar 42,87% (Muhammad Hibban, dkk, 2016) meskipun dengan waktu operasi yang lebih singkat. Selain itu, pengurangan kadar amonia pada penelitian ini cukup baik apabila dibandingkan dengan pengurangan kadar amoniak pada limbah cair tinja menggunakan Biofilter Anaerob Media Sarang Tawon dengan waktu tinggal 72 jam dan 48 jam sebesar 34,15% dan 55,84% (Ningrum, 2018). Begitu pula jika merujuk pada penyisihan kadar amoniak dalam limbah cair industri pupuk menggunakan *Sequencing Batch Reactor (SBR)* yang dilakukan oleh R.Sudarman, dkk (2020). Penelitian tersebut menggunakan sampel dengan kadar 0,787 mg amoniak/L/hari dan Hydraulic Retention Time (HRT) yang jauh lebih lama yaitu selama 20 hari dengan penyisihan kadar amoniak pada kisaran 71,26%-90,91% (R1) dan 62,32% - 92,21% (R2) (R.Sudarman, dkk, 2020).

Proses pengurangan amonia pada penelitian ini juga menggunakan proses *biological nitrification*

dimana amonia di dalam air limbah dioksidasi menjadi nitrit yang dilakukan oleh kelompok bakteri *Ammonia Oxidizing Bacteria* (AOB). Kemudian, nitrit dioksidasi lagi menjadi nitrat oleh *Nitrite Oxidizing Bacteria* (NOB) (Fumasoli dkk., 2017). Mengingat bakteri *B. diminuta* merupakan bakteri gram-negatif maka proses oksidasi amonia dapat dipelajari mekanismenya berdasarkan proses oksidasi amoniak pada jenis bakteri gram negatif lainnya seperti *Nitrosomonas europaea*. Proses ini terdiri dari dua tahapan, dimana NH₃ dioksidasi terlebih dahulu menjadi hidroksilamin (NH₂OH), dan akan mengalami oksidasi lanjutan membentuk NO₂⁻ dengan bantuan enzim *hydroxylamine oxidoreductase* (HAO). Rangkaian reaksi oksidasi amonia menjadi nitrit itu sendiri akan menghasilkan dua elektron dan menjadi satu-satunya sumber energi yang digunakan oleh AOB untuk pertumbuhan serta pemeliharaan selnya selama proses pengolahan air limbah. (Arp dkk., 2002).

4. KESIMPULAN

Pada proses pengolahan amoniak dengan bakteri *Brevundimonas diminuta*, penurunan kadar amoniak yang optimal adalah sebesar 40,14% pada laju alir aerasi 3 L/min selama waktu operasi 6 jam. Sementara itu, laju aerasi sebesar ... menghasilkan penurunan sebesar.. Semakin lama waktu operasi, nilai pH cenderung meningkat selama waktu operasi, namun stabil pada rentang 8,0 – 9,0 sedangkan kadar oksigen terlarut (DO) cenderung bervariasi pada rentang 4,30- 9,20 mg/L. Disamping itu, seiring dengan peningkatan waktu operasi, awalnya jumlah populasi bakteri mengalami penurunan akibat proses adaptasi, selanjutnya cenderung meningkat dan mencapai fase stationer dengan populasi bakteri berkisar antara $15,3 \times 10^6$ sel/mL hingga $78,6 \times 10^6$ sel/mL. Pertumbuhan sel bakteri diperkirakan mengalami fase stasioner selama rentang 4,5 – 6 jam pada laju alir 3 L/min.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Unsri yang telah menyetujui pendanaan kegiatan dalam skema Penelitian Sains Teknologi dan Seni Tahun 2021. Penelitian/publikasi artikel ini dibiayai oleh Anggaran DIPA BLU Unsri Tahun Anggaran 2021. Nomor SP DIPA-023.17.2.677515/2021 tanggal 23 November 2020 sesuai SK Rektor No.0007/UN9/SK.LP2M.PT/2021 tanggal 27 April 2021.

DAFTAR PUSTAKA

Arp, D.J., Sayavedra-Soto, L.A., dan Hommes, N.G. 2002. Molecular biology and biochemistry of ammonia oxidation by *Nitrosomonas*

europaea. *Arch. Microbiology*, 178(4): 250-255.

- Bossert, I. D., Kachel, W. M., dan Bartha, R. 2014. Fate of hydrocarbon during oily sludge disposal in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 47 (4): 763-767.
- Darmadi. 2014. Pengolahan limbah cair pabrik pupuk urea menggunakan *Advanced Oxidation Process*. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 10 (1): 1-6.
- Fumasoli, A., Burgmann, H., Weissbrodt, D. G., Wells, G. F., Mohn, K. J., Morgenroth, E., dan Udert, K. M., 2017. Growth of *Nitrosococcus*-related ammonia oxidizing bacteria coincides with extremely low pH values in wastewater in high ammonia content. *Environmental Science & Technology*, 51 (12): 6857-6866.
- Febiyanto. 2020. Effects of Temperature and Aeration on The Dissolved Oxygen (DO) Values in Freshwater Using Simple Water Bath Reactor: A Brief Report. *Walisongo Journal of Chemistry*, 3 (2): 25-30.
- Hadiyanto, dan Azim, M. 2015. *Dasar-Dasar Bioproses*. EF Press Digimedia, Jakarta.
- Jawetz, Melnick, Aldenberg. 2008. *Medical Biologi Edisi : 23*. Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta.
- Luo, X., Qun, Y., Chunying, W., Caigui, L. Nana, Z., dan Chensheng, J., 2015. Treatment of Ammonia Nitrogen Wastewater in Low Concentration by Two-Stage Ozonation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12: 11975-11987.
- Mareta, A., 2019. *Studi Pengolahan Limbah Cair di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang*. Laporan Kerja Praktik Teknik Lingkungan, Universitas Pertamina.
- M. Hibban, A.Rezagama, Purwono. 2016. Studi Penurunan Konsentrasi Amoniak dalam Limbah Cair Domestik dengan Teknologi Biofilter Aerobmedia Tubular Plastik pada Awal Pengolahan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol 5 No2. Universitas Diponegoro
- Nainggolan, T. A., Khotimah, S., dan Turnip, M., 2015. Bakteri pendegradasi amonia limbah cair karet Pontianak Kalimantan Barat. *Jurnal Protobiont*, 4 (2): 69-76.
- Ningrum, Indri Hardiyanti. 2018. Studi Penurunan COD dan Amonia pada Limbah Cair Tinja Menggunakan Biofilter Anaerob Media Sarang Tawon, *Laporan Penelitian*, Repositori Institusi Universitas Sumatera Utara
- Nurisman, E., Syaiful, Faizal, M., dan Estuningsih, S. P. 2020. Studi eksperimental uji potensi isolat bakteri petrofilik dalam menurunkan kadar amoniak pada air limbah. *Proceeding of Seminar Nasional AvoER XII 2020*, Universitas Sriwijaya, 511-519.
- Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi

- Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batubara.
- Pieper, D. H., dan Reineke, W., 2000. Engineering bacteria for bioremediation. *Current Opinion in Biotechnology*, 11 (3): 262-270.
- Radniecki, T.S., dan Lauchnor, E.G. 2011. "Research on Nitrification and Related Processes, Part B", in *Methods in Enzymology*. Academic Press, Cambridge.
- Rahman, F. 2019. Analisis kadar amonia dan pH pada limbah cair kanal 32 (K-32) PT Pusri Palembang. *ALKIMIA Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 3 (1): 10-15.
- Rahmayetty Rahmayetty, Aryudi Reza, Dede Fathurrahman. 2011. Pengaruh Laju Alir Aerasi terhadap Kualitas Effluent dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tepung Aren. *Jurnal Teknik* Vol.7 No.2. Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- R.J. Napitupulu. 2018. Pertumbuhan Bakteri dan Identifikasi Faktor Intrinsik dan Ekstrinsik Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroorganisme Dalam Bahan Pangan. Modul Mikrobiologi . Pusat Pendidikan Kelautan dan Perikanan
- Royan, M. R., Solim, M. H., dan Santanamurti, M. B. 2019. Ammonia-eliminating potential of *Gracilaria* sp. and zeolite: a preliminary study of the efficient ammonia eliminator in aquatic environment. *Proceeding of The 1st International Conference on Fisheries and Marine Science*, IOP Publishing, 1-9.
- Ryan, M. P., dan Pembroke, J. T. 2018. *Brevundimonas* spp: Emerging global opportunistic pathogens. *Virulence*, 9 (1): 480-493.
- Shuler, M.L., dan Kargi, F. 2017. *Bioprocess Engineering: Basic Concepts*. Third Edition Pearson, London.
- Sundaram, S., Eisenhuth, J., Howard, G. Jr. 2001. Retention of water-borne bacteria by membrane filters Part I: Bacterial challenge tests on 0,2 and 0,22 micron rated filters. *Journal of Pharm Sci Technol*, 55 (2): 65-86.
- Tang, Y., Sussman, M, Liu, D., dan Poxton, I. R. 2015. *Molecular Medical Microbiology 2nd Edition*. Academic Press, Cambridge.
- Vijayaraghavan, K., dan Yun, Y., 2008. Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnology Advance*, 26 (3): 266-291.
- Wardhany, D. K., dan Ayuningtyas, F. 2009. Pengolahan limbah cair pupuk urea dengan menggunakan proses gabungan nitrifikasi-denitrifikasi dan *microalgae*. *Proceeding of Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2010*, Universitas Wahid Hasyim Semarang, 35-40.
- Yudono, B., dan Estuningsih, S. P. 2013. Bacteria Exploration Indigen as Microbial Enhance Oil Recovery (MEOR) in Old Wells (Abandon well) in PT Pertamina UBEP Lemons Muara Enim. *Proceeding of Seminar Nasional AvoER Ke-5 2013*, Universitas Sriwijaya, 254-259.
- Yuniarti, D.P., Komala, R., dan Aziz, S., 2019. Pengaruh Proses Aerasi Terhadap Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit di PTPN VII Secara Aerobik. *Jurnal Redoks*, Vol.4 (2): 7-16.