

Pengolahan Air Limbah Laundry dengan Presipitasi Selektif Hidroksiapatit dan Reaktor Biofilm Moving Bed

Iva Rustanti Eri Wardoyo¹, Darjati Darjati², Khambali Khambali³, Elmi Sumiyarsono⁴
(^{1,2,3}Program Studi Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Surabaya,
⁴Badan Lingkungan Hidup, Surabaya)

Email Korespondensi: ivarust.eri@poltekkesdepkes-sby.ac.id

Abstract

Inorganic phosphate compounds (P₂O₄) can cause acute poisoning if inhaled in large quantities. The aim was to remove inorganic phosphate compounds (P₂O₄) from laundry wastewater. This research was carried out in the Poltekkes Surabaya laboratory in January 2024. This research was pure experiment. The tools used was an MBBR reactor, with a capacity of 1 M³/day with inlet-outlet pipes, sample port, mud disposal pipe. Monitoring parameters are temperature, pH, ORP, COD, total N and P₂O₄. Biomass analysis of the biofilm media was carried out gravimetrically. The waste water used comes from household laundry. The findings showed that the reduction in MBBR organic compounds in the system was around 63-78%, while in the denitrification process was 48-52%. The average concentration of organic substances taken at the outlet was less than 100 mg/L, the decrease in total N concentration was around 43-55%, the P₂O₄ concentration taken at outlet was 0.78-0.86 mg/L. The average reduction in P₂O₄ was 19%, while the average reduction in the denitrification process was 55%. In conclusion, the use of the MBBR system can be effective in processing organic compounds and reducing the concentration of Total N and P₂O₄ in wastewater. Suggestions for further research are to be able to utilize the MBBR system for a longer period of time so that we can see the saturation point of the tool in treating waste water.

Keywords: Biofilm Reactor; Moving Bed; Precipitation; Hydroxyapatite; Laundry Wastewater

Abstrak

Senyawa fosfat anorganik (P₂O₄) dapat menyebabkan keracunan akut jika terhirup dalam jumlah besar. Tujuan penelitian adalah untuk menghilangkan senyawa fosfat anorganik (P₂O₄) pada air limbah laundry. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Poltekkes Kemenkes Surabaya pada bulan Januari 2024. Penelitian ini merupakan eksperimen murni. Alat yang digunakan berupa reaktor MBBR, berkapasitas 1 M³/hari dengan pipa inlet – outlet, sample port, pipa pembuangan lumpur. Parameter pemantauan adalah suhu, pH, ORP, COD, N total dan P₂O₄. Analisis biomassa media biofilm dilakukan secara gravimetik. Air limbah yang digunakan berasal dari laundry rumah tangga. Morfologi biofilm diperiksa menggunakan Scanning Electron Microscopy. Temuan menunjukkan penurunan senyawa organik MBBR pada sistem sekitar 63 -78%, sedangkan pada proses denitrifikasi sebesar 48-52%. Rata-rata konsentrasi zat organik di outlet kurang dari 100 mg/L, penurunan konsentrasi N Total sekitar 43 -55%, konsentrasi P₂O₄ pada outlet sebesar 0,78 - 0,86 mg/L, sedangkan proses denitrifikasi sebesar 60%. Rata-rata penurunan P₂O₄ pada sistem MBBR sebesar 19%, sedangkan rata-rata penurunan pada proses denitrifikasi sebesar 55%. Kesimpulannya, penggunaan sistem MBBR dan proses denitrifikasi dapat efektif dalam mengolah senyawa organik dan mengurangi konsentrasi N Total serta P₂O₄ dalam air limbah. Saran penelitian selanjutnya agar dapat memanfaatkan sistem MBBR dalam jangka waktu yang lebih panjang sehingga dapat melihat titik jenuh dari alat tersebut dalam mengolah air limbah.

Kata Kunci: Reaktor Biofilm; Moving Bed; Presipitasi; Hidroksiapatit; Air Limbah Laundry

PENDAHULUAN

Saat ini masyarakat cenderung memilih kegiatan rumah tangga yang bersifat praktis, misalnya dalam kegiatan mencuci pakaian diserahkan kepada usaha laundry atau jasa laundry. Saat ini usaha cuci pakaian atau laundry semakin banyak di masyarakat, khususnya di kota-kota besar ¹. Proses yang digunakan dalam kegiatan mencuci pakaian atau laundry menggunakan bahan kimia dengan konsentrasi tinggi antara lain fosfat, surfaktan, amonia dan nitrogen serta padatan tersuspensi ². Air limbah hasil kegiatan mencuci pakaian atau laundry apabila dibuang ke badan air atau lingkungan secara terus menerus tanpa diolah dengan teknologi yang memadai akan menyebabkan menurunnya kualitas badan air, bahkan dapat menimbulkan permasalahan pencemaran pada perairan ³.

Kandungan zat terbesar pada deterjen adalah natrium tripoli-fosfat yang berfungsi sebagai surfaktan dan pembangun, sehingga pada air limbah laundry banyak mengandung fosfat ⁴. Dengan semakin banyaknya air limbah laundry yang mengandung surfaktan yang masuk ke perairan, maka daya dukung badan air dan kemampuan penjernihan diri air juga akan menurun ⁵. Jika kandungan fosfat pada air limbah berasal dari kegiatan laundry yang berlebihan, maka hal ini akan mengganggu lingkungan yang antara lain menyebabkan eutrofikasi ⁶. Eutrofikasi merupakan fenomena dimana suatu badan air menjadi kaya akan unsur hara terlarut, namun kandungan oksigen terlarut dan daya dukung badan air terhadap biota perairan menurun ⁷.

Berdasarkan dampak-dampak yang dapat terjadi sebagaimana diuraikan di atas, maka diperlukan upaya untuk menjaga kualitas perairan atau lingkungan hidup. Untuk itu perlu dilakukan suatu teknologi yang dapat meningkatkan kualitas air akibat limbah air laundry. Salah satu teknologi yang digunakan adalah teknologi pengolahan air limbah dengan menggunakan sistem biofilm. Sistem biofilm seperti MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) telah dikenal sebagai reaktor kompak dan kuat untuk mengolah air limbah, terutama air limbah dengan konsentrasi nitrogen dan fosfat yang besar ⁸⁻¹⁰. Teknologi MBBR juga terbukti dapat mengurangi polutan mikro pada air limbah ^{11,12}. MBBR lebih efektif menghilangkan bahan organik senyawa yang bersifat asam pada air limbah industri dibandingkan dengan pengolahan menggunakan lumpur aktif ¹³.

Media Polyurethane Foam (PU-Foam), merupakan media tumbuh mikroorganisme yang digunakan dalam pengolahan air limbah menggunakan MBBR. PU-Foam memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan media MBBR yang umum digunakan saat ini seperti bioball, kaldness, kaldess, dan biochip. PU-foam khusus digunakan pada aplikasi MBBR untuk mereduksi air limbah industri dengan muatan organik yang tinggi (high rate), karena luas permukaannya yang besar (sekitar 15.000 - 20.000 m²/m³ air limbah) atau 100 x lebih lebar dari bioball, 40 x dibandingkan dengan kaldness/kaldess, dan 10x dibandingkan dengan biochip ¹⁴.

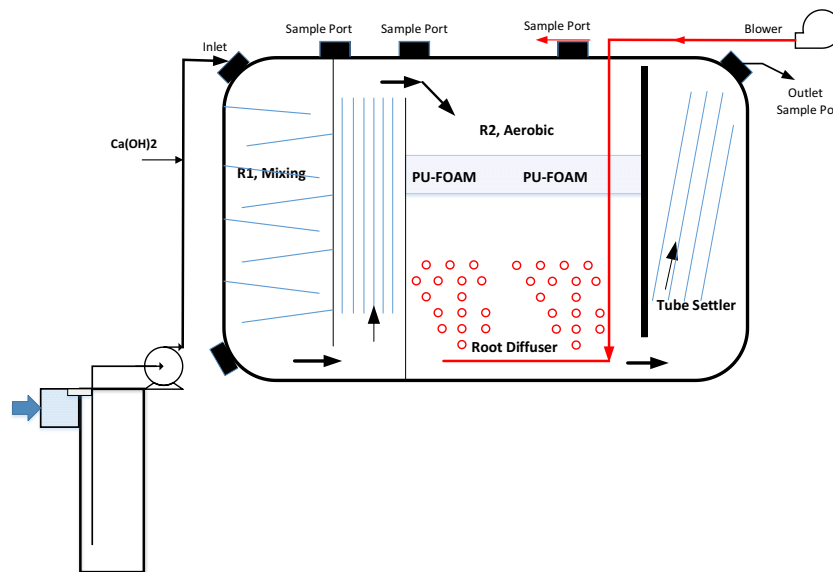
Busa MBBR-PU dapat digunakan untuk air limbah yang mempunyai kandungan zat organik tinggi, karena ketahanannya yang tinggi dan kemampuannya dalam menguraikan bahan kimia. Karena ketangguhan dan efisiensinya dalam menghilangkan senyawa kimia, Busa MBBR-PU dianggap sebagai pilihan yang baik untuk mengolah air limbah laundry. Penelitian ini ingin membuat prototipe Busa MBBR-PU untuk menghilangkan zat-zat organik dengan kandungan fosfat tinggi seperti pada air limbah laundry, sehingga air limbah yang masuk ke badan air tidak menyebabkan penurunan kualitas air ¹⁵.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan sistem MBBR dengan media busa poliuretan dalam menghilangkan senyawa organik, senyawa N, dan senyawa fosfat (P_2O_4) pada air limbah laundry. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi industri laundry dalam meningkatkan kualitas pengolahan limbah yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Poltekkes Kemenkes Surabaya pada bulan Januari 2024. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental murni, dengan menggunakan limbah cair pada Instalasi Pengolahan Air Limbah di Industri Rumah Tangga Laundry. Alat yang digunakan berupa reaktor MBBR, berkapasitas 1 M^3 /hari dengan pipa inlet–outlet, sample port, pipa pembuangan lumpur. Gambar 1, R1 merupakan ruang pencampur, tempat pencampuran limbah cair dengan larutan $Ca(OH)_2$ 5% dengan dosis 5 ppm, sehingga terjadi pengendapan selektif membentuk senyawa hidroksiapatit. Proses aerasinya hanya R2, karena diharapkan terjadi nitrifikasi, R3 proses anoksik, sehingga tanpa aerasi. Konsentrasi zat organik pada sistem limbah laundry bersifat fluktuatif, sehingga pemantauan dan pengambilan sampel pada hari ke 1 (satu) disesuaikan dengan HRT masing-masing reaktor yaitu setiap 3 jam untuk R1 dan setiap 6 jam untuk R2. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan pipet kaca 20 ml sebanyak 3 (tiga) kali untuk setiap sampel.

Parameter umum yang dipantau secara berkala adalah suhu, pH, ORP, COD, N total dan P_2O_4 . Sampel untuk analisis BOD perlu disimpan jika tidak segera dianalisis, sedangkan sampel COD, Total N dan P dianalisis pada hari yang sama. Periode pengambilan sampel adalah hari ke 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 14



Gambar 1. Seri MBBR dengan sistem kontinyu

Analisis biomassa media biofilm dilakukan secara gravimetik dengan terlebih dahulu mengambil 10 buah media untuk masing-masing reaktor dan diletakkan pada cawan alumunium foil, dikeringkan pada suhu 105°C semalaman, ditimbang dan dicatat sebagai berat awal. Selanjutnya, media dicuci menggunakan tetes larutan NaOH 2M dan dibilas dengan air deionisasi. Setelah proses pencucian dilanjutkan kembali dengan mengeringkan media pada suhu 105°C semalaman, ditimbang dan dicatat. Berat biomassa pada media merupakan selisih berat sebelum dan sesudah pencucian. Selanjutnya jumlah biomassa per luas permukaan spesifik media dapat diketahui.

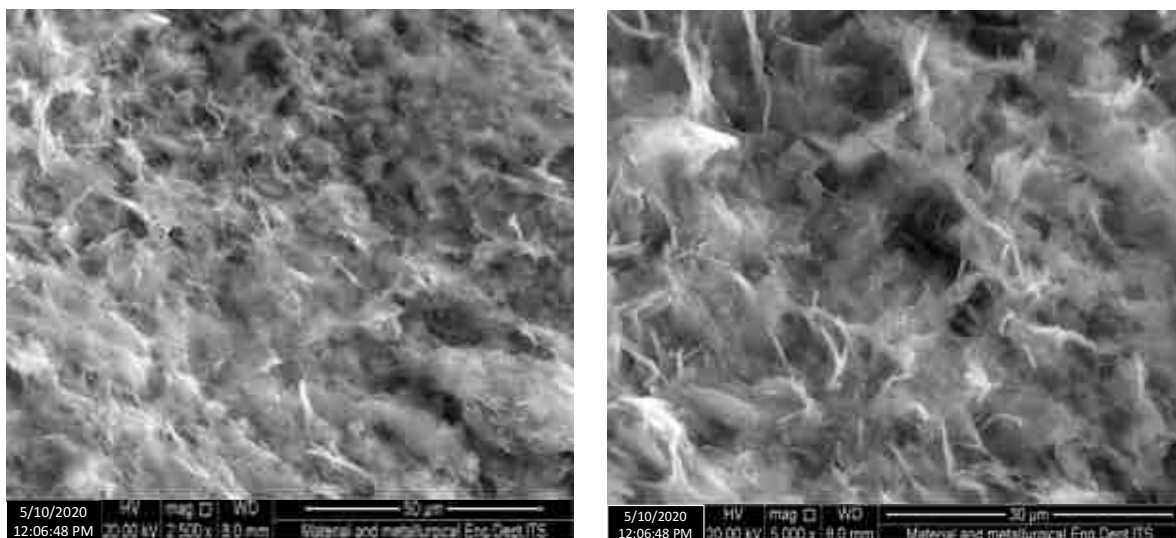
Selain analisis biomassa, biofilm pada media PU-foam juga diperiksa morfologinya menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM). Prosedur persiapan analisis morfologi biofilm menggunakan SEM mengikuti metode yang digunakan oleh Abtahi et al., (2018), yaitu mengupas biofilm yang menutupi media secara hati-hati, lalu dipotong kecil-kecil. Masing-masing potongan direndam dalam 2 mL glutaraldehid 4%, 1 mL buffer fosfat (pH 7,4) dan 1 mL air demineralisasi selama 20 menit. Selanjutnya dilakukan pencucian sebanyak 2 (dua) kali dengan 1 mL buffer fosfat, 2 mL sukrosa 0,4 M dan 1 mL air demineralisasi selama 15 menit. Sampel potongan biofilm yang telah dicuci kemudian dikeringkan dengan cara direndam dalam 2 mL air aseton (50%:50%) selama 5 menit, 2 mL air aseton (70%:30%) selama 5 menit, masing-masing. dan 2 mL larutan aseton - heksametildisilazana (HMDS) (50%:50%) selama 5 menit. Selanjutnya sampel dikeringkan semalaman bersamaan dengan evaporasi HMDS.

HASIL PENELITIAN

Prototipe MBBR dioperasikan selama 1 bulan terus menerus. Sebelum digunakan untuk mengolah limbah cucian rumah, terlebih dahulu dilakukan penyemaian mikroba pada media PU-Foam. Proses penyemaian dilakukan selama 14 hari, dengan menggunakan mikroba starter aerobik yang telah dikenal yaitu konsorsium mikroba *Nitrosomonas* sp, *Nitrosobacter* sp, *Aerobacter* sp, *Lactobacillus* sp, dan *Saccharomyces* C, dengan dosis 10-15 ml per mg/L BOD inlet.). Proses penyemaian mikroba dilakukan secara batch dalam bak aerasi.

Pada saat proses penyemaian, ruang R2 diberi aerasi terus menerus selama 24 jam agar konsentrasi oksigen terlarut lebih dari ± 5 mg/L, dan diberi larutan nutrisi yaitu larutan dengan perbandingan konsentrasi C, N dan P sebesar 100. : 5: 1 sebanyak 200 ml/L/hari. Pada Gambar 4.5. Terlihat pada awalnya media penyemaian busa PU mengapung di permukaan air. Media bergerak mengikuti aliran air yang dipengaruhi oleh hembusan udara dari diffuser.

Pada penelitian ini proses penyemaian secara batch dilakukan lebih lama yaitu 7 hari dengan tujuan agar biofilm pada media PU-foam terbentuk lebih tebal sehingga mikroba lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang bersifat basa. Setelah 7 hari, air di cekungan R2 dibuang sebesar 20% per 24 jam dan diganti dengan air limbah asli. Proses ini dilakukan hingga seluruh air bersih telah tergantikan seluruhnya dengan air limbah asli. Setelah proses seeding selesai dilakukan pengukuran berat kering biofilm pada media PU-Foam, yaitu sebesar 1,967 g/L.



Gambar 2. Scanning Electron Microscopy (SEM) media biofilm PU-Foam

Kondisi Kerja Prototipe MBBR

Kondisi kerja Prototipe MBBR selama 2 bulan ditunjukkan pada Tabel 1. Selama masa percobaan, suhu $29 \pm 1,4$ °C, pH $6,8 \pm 0,4$ dan kadar oksigen $3,33 \pm 2,1$ mg/L dijaga pada tingkat stabil. Parameter-parameter tersebut merupakan kondisi optimal untuk pertumbuhan

mikroorganisme dalam sistem MBBR. Stabilitas parameter-parameter tersebut menunjukkan bahwa prototipe MBBR berfungsi dengan baik selama periode 2 bulan percobaan.

Tabel 1. Kondisi Kerja Prototipe MBBR

Total beban BOD	0,38	kg/hari
Tingkat Pemuatan BOD MBBR	7,5	gr/m ² .hari
Kecepatan Permukaan Media	20.000	m ² /m ³
Persyaratan luas permukaan	50.667	m ²
Volume Kebutuhan Media	0,002533	m ³
Volume Pembenaran media	5	%
Volume tangki aerasi	0,050667	m ³
Waktu Retensi Hidrolik	1.216	jam
pH	6,8±0,4	
Suhu	29±1,4	°C
Larutkan Oksigen, R2	3,33±2,1	mg/L
Larutkan Oksigen, denitrifikasi	1,28±0,8	mg/L

Pengendapan P₂O₄ dengan larutan Ca(OH)₂

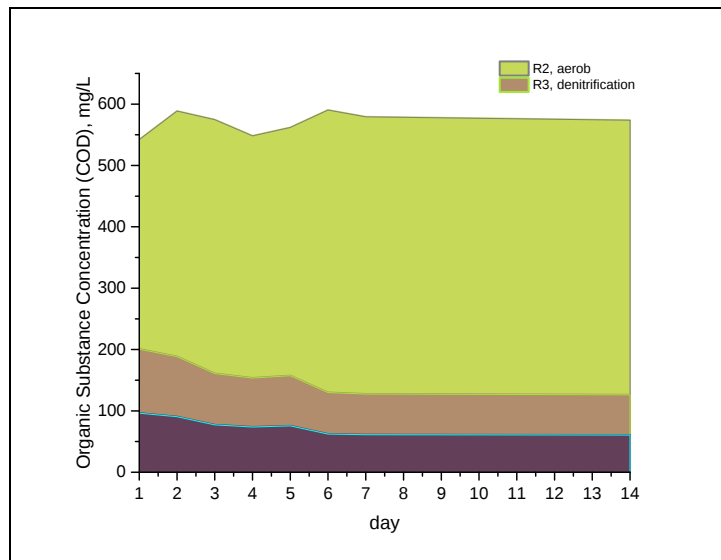
Pengendapan senyawa P₂O₄ pada air limbah laundry rumah tangga menggunakan larutan Ca(OH)₂ mengikuti reaksi sebagai berikut:



Penerapan larutan Ca(OH)₂ 5% secara kontinyu menunjukkan terjadinya pengendapan senyawa fosfat anorganik, menaikkan pH, menurunkan konsentrasi P₂O₄ dan membentuk endapan berwarna putih hidroksiapatit (HA) atau Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂. Konsentrasi P₂O₄ mengalami penurunan sebesar 82,41% dan rata-rata berat kering senyawa HA yang terbentuk sebesar 9,89 mg/L. Peningkatan pH yang terjadi sebesar 16% menjadi 8,08-8,59. Kondisi pH masih dapat diterima oleh mikroba aerob.

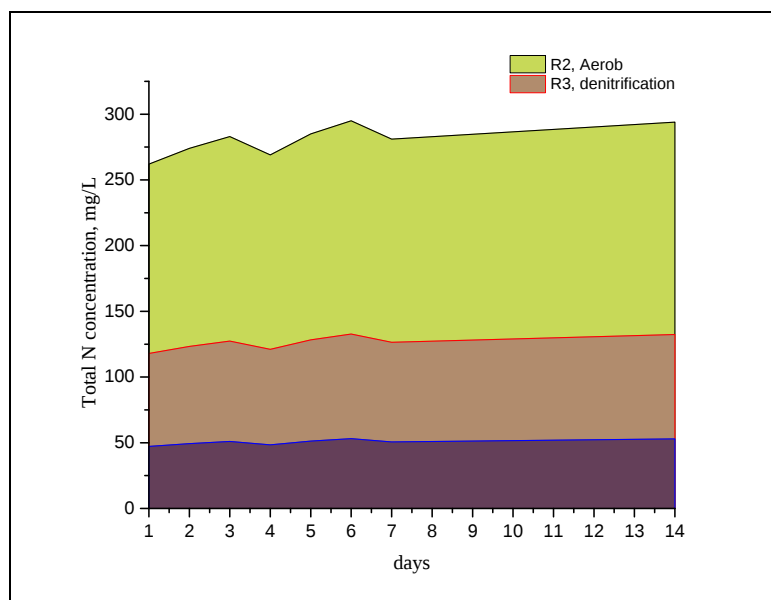
Penghapusan zat di Prototipe MBBR PU-Foam

Pada Gambar 3, rata-rata penurunan bahan organik (COD) pada sistem MBBR berkisar 63-78%, sedangkan pada proses denitrifikasi 48-52%. Rata-rata konsentrasi keluar zat organik (COD) yang dikeluarkan dari R3 kurang dari 100 mg/L, sehingga memenuhi Baku Mutu Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 (maksimal 250 mg/L).



Gambar 3. Konsentrasi bahan organik (COD), mg/L pada ruang pencampuran, aerobik dan denitrifikasi

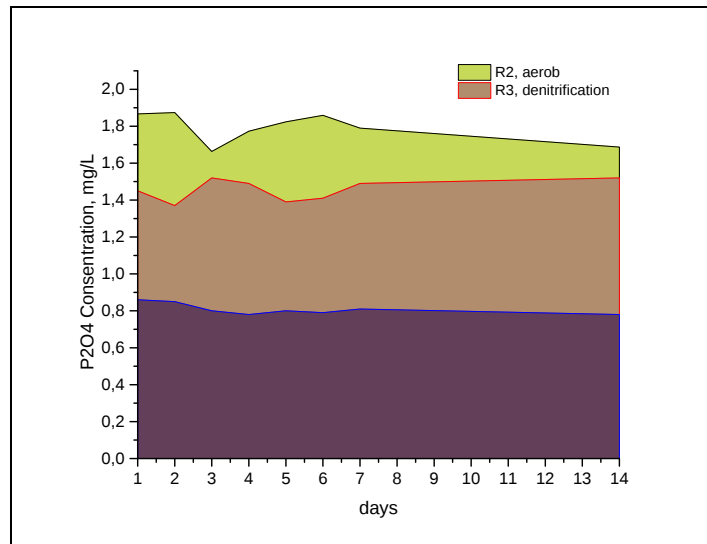
Pada Gambar 4 rata-rata penurunan total N pada sistem MBBR berkisar 43 -55%, sedangkan pada proses denitrifikasi sebesar 60%. Rata-rata konsentrasi N total yang terbuang dari R3 kurang dari 55 mg/L. Tidak ada persyaratan mengenai konsentrasi N Total pada industri laundry dalam Baku Mutu Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013.



Gambar 4. Konsentrasi N Total, mg/L pada ruang pencampuran, aerobik dan denitrifikasi

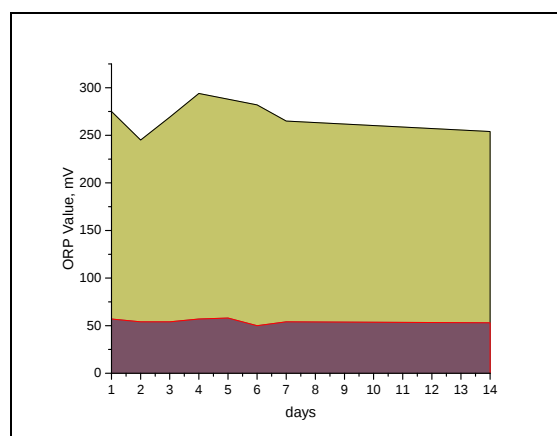
Pada Gambar 5, rata-rata penurunan P_2O_4 lebih besar pada proses denitrifikasi (55%) dibandingkan pada proses aerobik (19%). Proses denitrifikasi terjadi pada kondisi anoksik (ditunjukkan pada bilangan ORP pada Gambar 6. Pada kondisi anoksik, senyawa P_2O_4

mengalami proses hidrolisis sehingga terjadi pelepasan ion Pi. Selanjutnya Pi digunakan sebagai energi untuk mengambil sisa-sisa ion Pi. asam rantai pendek dalam air limbah (Roxana Elena Apreutesei dan Carmen Teodosiu, 2008; Zhang et al., 2009; Nair dan Ahammed, 2015).



Gambar 5. Konsentrasi P₂O₄, mg/L pada R1, R2 dan R3

Pada Gambar 6, penurunan angka ORP pada proses denitrifikasi sangat besar yaitu berkisar 79,13 – 80,61%. Hal ini dikarenakan pada proses denitrifikasi tidak terjadi proses aerasi. Aliran air dibuat laminar sehingga tidak terjadi gangguan yang menyebabkan difusi oksigen ke dalam air. Selain proses hidrolisis yang menyebabkan keluarnya ion P, pada proses denitrifikasi juga terjadi penurunan konsentrasi N Total, karena dengan adanya senyawa nitrat akan dimanfaatkan oleh organisme heterotropik sebagai akseptor, sehingga nitrat akan berubah menjadi ion P. menjadi gas nitrogen.



Gambar 6. ORP, nomor mV pada R2 dan R3

PEMBAHASAN

Prototipe MBBR membantu mengolah limbah cucian rumah, terlebih dahulu dilakukan penyemaian mikroba pada media PU-Foam, menggunakan starter aerobik *Nitrosomonas* sp, *Nitrosobacter* sp, *Aerobacter* sp, *Lactobacillus* sp, dan *Saccharomyces* C. Proses penyemaian mikroba dilakukan secara batch dalam bak aerasi. Proses ini bertujuan untuk mengurai senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair. Setelah proses penyemaian selesai, media PU-Foam yang sudah mengandung mikroba akan dimasukkan ke dalam reaktor MBBR untuk proses pengolahan limbah secara efisien. Dengan adanya mikroba yang aktif, diharapkan proses penguraian senyawa organik dalam limbah cair dapat berjalan dengan optimal. Dengan demikian, penggunaan media PU-Foam dan mikroba aerobik ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengolahan limbah cair. Selain itu, proses ini juga dapat membantu mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan.

Dalam proses pembersihan, R2 terus dipantau konsentrasi oksigen dan kandungan nutrisinya, dengan konsentrasi 100:5:1 untuk C, N, dan P. Pemantauan ini memastikan bahwa mikroorganisme memiliki sumber daya yang diperlukan untuk memecah senyawa organik secara efisien. air limbah. Dengan menjaga kondisi optimal, reaktor MBBR dapat mengolah air limbah secara efektif dan meminimalkan dampak terhadap lingkungan. Pembentukan biofilm pada media busa PU meningkatkan luas permukaan yang tersedia untuk pertumbuhan mikroba, sehingga meningkatkan efisiensi pengolahan¹⁶⁻²⁰. Selain itu, pasokan udara yang mengandung 20% oksigen secara terus-menerus per 24 jam membantu mempertahankan kondisi aerobik yang diperlukan bagi mikroorganisme untuk berkembang dan secara efektif mendegradasi polutan organik dalam air limbah²¹⁻²³.

Konsentrasi N total pada sistem MBBR berkisar antara 43-55%, dengan denitrifikasi 60%, dengan konsentrasi R3 di bawah 55 mg/L. Tidak ada informasi tentang N Total konsentrasi di industri laundry. Nitritotriacetic (NTA) adalah konsentrasi N dalam Air limbah laundry, yang digunakan sebagai agen pengkelat dan bahan pembangun dalam pembuatan deterjen, berfungsi untuk meningkatkan efisiensi pencucian. Bahan pembuat lainnya adalah Sodium Tri Polyphosphate. Konsentrasi NTA dalam air limbah laundry dapat bervariasi tergantung pada deterjen spesifik yang digunakan, namun biasanya ditemukan dalam konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan senyawa nitrogen lainnya²⁴⁻²⁶. Penting untuk mempertimbangkan keseluruhan kandungan nitrogen dalam sistem pengolahan air limbah untuk mengelola proses penghilangan unsur hara secara efektif. NTA dikenal mudah terurai secara hayati dan tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan dibandingkan senyawa nitrogen lainnya, menjadikannya pilihan utama dalam industri^{27,28}. Pemantauan dan pengendalian kadar NTA yang tepat dalam air limbah dapat membantu mencegah dampak negatif terhadap ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat²⁹. Selain itu, kemampuan NTA

yang dapat terbiodegradasi memungkinkan proses pengolahan yang lebih efisien, sehingga mengurangi dampak lingkungan secara keseluruhan dari pembuangan air limbah^{30,31}. Dengan menerapkan langkah-langkah pemantauan dan pengendalian yang efektif terhadap tingkat NTA, industri dapat memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan melindungi kualitas air.

Rata-rata penurunan P2O4 lebih besar pada proses denitrifikasi (55%) dibandingkan pada proses aerobik (19%). Proses denitrifikasi terjadi pada kondisi anoksik (ditunjukkan pada bilangan ORP. pada kondisi anoksik, senyawa P2O4 mengalami proses hidrolisis sehingga terjadi pelepasan ion Pi. Selanjutnya Pi digunakan sebagai energi untuk mengambil sisa-sisa ion Pi. asam rantai pendek dalam air limbah Pelepasan ion Pi selama proses denitrifikasi dapat membantu dalam mengurangi kadar fosfor di air limbah. Proses hidrolisis senyawa P2O4 juga dapat meningkatkan efisiensi pengolahan limbah secara keseluruhan. Proses denitrifikasi membutuhkan pengawasan yang ketat karena dapat menghasilkan gas nitrogen oksida yang berpotensi merusak lingkungan. Oleh karena itu, pemantauan dan kontrol yang baik sangat diperlukan dalam implementasi proses denitrifikasi dalam pengolahan limbah. Proses denitrifikasi juga dapat membantu mengurangi dampak negatif eutrofikasi di perairan. Penggunaan teknologi yang tepat dapat memastikan keberhasilan proses denitrifikasi dalam pengolahan limbah secara efektif^{32,33}.

Penurunan angka ORP pada proses denitrifikasi sangat besar yaitu berkisar 79,13 – 80,61%. Hal ini dikarenakan pada proses denitrifikasi tidak terjadi proses aerasi. Aliran air dibuat laminar sehingga tidak terjadi gangguan yang menyebabkan difusi oksigen ke dalam air. Selain proses hidrolisis yang menyebabkan keluarnya ion P, pada proses denitrifikasi juga terjadi penurunan konsentrasi N Total, karena dengan adanya senyawa nitrat akan dimanfaatkan oleh organisme heterotropik sebagai akseptor, sehingga nitrat akan berubah menjadi ion P. menjadi gas nitrogen . Proses denitrifikasi juga berperan dalam mengurangi konsentrasi nitrogen di lingkungan, sehingga dapat membantu mengendalikan eutrofikasi dan menjaga keseimbangan ekosistem air. Dengan demikian, proses denitrifikasi memiliki peran penting dalam menjaga kualitas air dan ekosistem yang sehat. Selain itu, pengaturan aliran air laminar juga dapat membantu meminimalkan gangguan yang dapat menghambat proses-proses biokimia di dalam air. Pengaturan aliran air laminar dapat meningkatkan efisiensi proses denitrifikasi dengan memastikan distribusi nutrisi yang merata di dalam lingkungan air. Hal ini penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem air dan mencegah terjadinya eutrofikasi yang dapat merusak lingkungan^{34,35}.

Dalam pengolahan limbah laundry, tantangan terbesarnya adalah mencapai konsentrasi Nitrogen Total dan P2O4 dalam limbah yang sesuai dengan baku mutu. Tingginya konsentrasi P2O4 pada limbah cair dapat menyebabkan eutrofikasi yaitu tumbuhnya alga dan mikroalga secara berlebihan pada badan air penerima limbah. Air yang mengandung P

> 0,015 mg/L dan N 0,165 mg/L yang tersedia secara biologis dapat menyebabkan eutrofikasi (Nair dan Ahammed, 2015). Tumbuhan air yang menutupi permukaan perairan akan menghambat sinar matahari dan menyebabkan oksigen terlarut di perairan berkurang. Tumbuhan akan menggunakan oksigen di badan air pada malam hari. Sedangkan pada siang hari, kurangnya sinar matahari pada perairan akan menghambat proses fotosintesis sehingga oksigen yang dihasilkan juga akan berkurang. Dampak lain yang dapat ditimbulkan oleh eutrofikasi adalah air menjadi keruh dan berbau akibat pembusukan lumut yang mati. Eutrofikasi menyebabkan penurunan kualitas air, perubahan ekologi berupa berkurangnya keanekaragaman spesies dan perubahan struktur komunitas. Meningkatnya permasalahan eutrofikasi di perairan menunjukkan perlunya aturan yang ketat mengenai persyaratan total N dan total P pada limbah.

SIMPULAN DAN SARAN

Rasio konsentrasi COD pada sistem MBBR adalah 63-78%, dengan konsentrasi COD 100 mg/L. Konsentrasi N total pada sistem MBBR berkisar antara 43-55%, dengan denitrifikasi 60%, dengan konsentrasi R3 di bawah 55 mg/L. P2O4 penurunan lebih besar pada denitrifikasi (55%), dibandingkan aerobik (19%). Proses denitrifikasi terjadi pada anoksik, senyawa P2O4 mengalami proses hidrolisis, terjadi pelepasan ion Pi, digunakan sebagai energi. ORP pada denitrifikasi yang tinggi berkisar antara 79,13 - 80,61% yang menunjukkan bahwa proses denitrifikasi tidak melibatkan aerasi, hidrolisis, atau konsentrasi N Total, karena nitrat diubah menjadi P dan N. Protokol MBBR membantu analisis bakteri pada rumen, terutama melalui penggunaan starter aerobik seperti *Nitrosomonas* sp, *Nitrosobacter* sp, *Aerobacter* sp, *Lactobacillus* sp, dan *Saccharomyces* C. Proses ini memastikan aktivitas organik yang optimal dalam rumen, meningkatkan efisiensi dan efektivitas, dan mengurangi efek bakteri negatif terhadap lingkungan. R2 terus memantau konsentrasi oksigen dan kandungan nutrisinya, dengan 100:5:1 untuk C, N, dan P. Pemantauan ini memastikan mikroorganisme memiliki sumber daya yang diperlukan untuk memecah bahan organik seperti udara limbah. Reaktor MBBR membentuk biofilm pada media busa PU, meningkatkan efisiensi 16-20. Kandungan nitrogen total pada sistem MBBR berkisar antara 43-55%, dengan denitrifikasi 60% dan konsentrasi R3 55 mg/L. Nitrilotriacetic (NTA) adalah kandungan nitrogen di udara cucian, yang digunakan sebagai deterjen dan bahan bangunan untuk meningkatkan efisiensi pencacahan.

Kesimpulannya, penggunaan sistem MBBR dengan proses denitrifikasi dapat secara efektif mengurangi limbah organik dan meningkatkan N Total dan P2O4. Namun, pemantauan berkala diperlukan untuk memastikan bahwa standar kualitas air yang ditetapkan terpenuhi. Pemeliharaan berkala terhadap sistem MBBR juga penting untuk mencegah potensi malfungsi yang dapat berdampak pada efisiensi dalam mengurangi

sampah organik. Disarankan penelitian selanjutnya agar dapat memanfaatkan sistem MBBR dalam jangka waktu yang lebih panjang sehingga dapat melihat titik jenuh dari alat tersebut dalam mengolah air limbah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Godin L, Laakso S, Sahakian M. Doing laundry in consumption corridors: wellbeing and everyday life. *Sustain Sci Pract Policy*. 2020;16(1):99-113. doi:10.1080/15487733.2020.1785095
2. Völker J, Vogt T, Castronovo S, et al. Extended anaerobic conditions in the biological wastewater treatment: Higher reduction of toxicity compared to target organic micropollutants. *Water Res*. 2017;116:220-230. doi:10.1016/J.WATRES.2017.03.030
3. Luo J, Jin X, And YW, Jin P. Advanced Treatment of Laundry Wastewater by Electro-Hybrid Removal and Mechanism. *Wate*. 2022;14(4138):1-16.
4. Sulistiono E, Wicaksono RR, ... Potential Microbial Consortium as an Effort to Reduce Detergent Waste in Waters. *1st ICEHST* 2022;1(1):323-331. <https://conference.unisla.ac.id/index.php/icehst/article/view/155>
5. Singh BJ, Chakraborty A, Sehgal R. A systematic review of industrial wastewater management: Evaluating challenges and enablers. *J Environ Manage*. 2023;348(October):119230. doi:10.1016/j.jenvman.2023.119230
6. Badamasi H, Yaro MN, Ibrahim A, Bashir IA. CODEN(USA): CRJHA5 Impacts of Phosphates on Water Quality and Aquatic Life. *Chem Res J*. 2019;4(3):124-133.
7. He Y, Zhang P, Xu F, Zhao L, Zhang J. Seasonal nutrients variation, eutrophication pattern, and Chlorophyll a response adjacent to Guangdong coastal water, China. *Front Mar Sci*. 2023;10(August):1-17. doi:10.3389/fmars.2023.1236609
8. Kawan JA, Suja' F, Pramanik SK, Yusof A, Rahman RA, Hasan HA. Effect of Hydraulic Retention Time on the Performance of a Compact Moving Bed Biofilm Reactor for Effluent Polishing of Treated Sewage. *Water (Switzerland)*. 2022;14(1). doi:10.3390/w14010081
9. Madan S, Madan R, Hussain A. Advancement in biological wastewater treatment using hybrid moving bed biofilm reactor (MBBR): a review. *Appl Water Sci*. 2022;12(6):1-13. doi:10.1007/s13201-022-01662-y
10. Alarjani KM, Almutairi AM, Flanel Raj SR, Rajaselvam J, Chang SW, Ravindran B. Biofilm producing indigenous bacteria isolated from municipal sludge and their nutrient removal ability in moving bed biofilm reactor from the wastewater. *Saudi J Biol Sci*. 2021;28(9):4994-5001. doi:10.1016/j.sjbs.2021.06.084
11. Belete B, Desye B, Ambelu A, Yenew C. Micropollutant Removal Efficiency of Advanced Wastewater Treatment Plants: A Systematic Review. *Environ Health Insights*. 2023;17.

doi:10.1177/11786302231195158

12. Li M, Liu Y, Zhou X, Wang N, Yuan B. A Study on The Carriers Compound Multi-Stage MBBR Biological Treatment Process for Domestic Sewage. *Sustain.* 2023;15(10). doi:10.3390/su15107922
13. Yang X, López-Grimau V, Vilaseca M, Crespi M. Treatment of textilewaste water by CAS, MBR, and MBBR: A comparative study from technical, economic, and environmental perspectives. *Water (Switzerland)*. 2020;12(5):1-17. doi:10.3390/W12051306
14. Dacewicz E, Grzybowska-Pietras J. Polyurethane foams for domestic sewage treatment. *Materials (Basel)*. 2021;14(4):1-19. doi:10.3390/ma14040933
15. Khan MJ, Wibowo A, Karim Z, et al. Wastewater Treatment Using Membrane Bioreactor Technologies: Removal of Phenolic Contaminants from Oil and Coal Refineries and Pharmaceutical Industries. *Polymers (Basel)*. 2024;16(3):1-34. doi:10.3390/polym16030443
16. Shineh G, Mobaraki M, Perves Bappy MJ, Mills DK. Biofilm Formation, and Related Impacts on Healthcare, Food Processing and Packaging, Industrial Manufacturing, Marine Industries, and Sanitation—A Review. *Appl Microbiol.* 2023;3(3):629-665. doi:10.3390/applmicrobiol3030044
17. Setiawan AS, Nur A, Fauzi M, Oginawati K, Soewondo P. Effects of Different Polymeric Materials on the Bacterial Attachment and Biofilm Formation in Anoxic Fixed-Bed Biofilm Reactors. *Water Air Soil Pollut.* 2023;234(3). doi:10.1007/s11270-023-06174-2
18. Rebane I, Priks H, Levin KJ, et al. Microbial growth and adhesion of Escherichia coli in elastomeric silicone foams with commonly used additives. *Sci Rep.* 2023;13(1):1-13. doi:10.1038/s41598-023-35239-9
19. Saini S, Tewari S, Dwivedi J, Sharma V. Biofilm-mediated wastewater treatment: a comprehensive review. *Mater Adv.* 2023;4(6):1415-1443. doi:10.1039/d2ma00945e
20. Mattos de Oliveira Cruz L, Oliveira Menezes R, Salgado Duarte T, Camargo Bueno DA. Methods Influence in Surface Area Result from Polyurethane Used as Support Media. *ACS Omega.* 2024;9(13):14766-14770. doi:10.1021/acsomega.3c06098
21. Silva JA. Water Supply and Wastewater Treatment and Reuse in Future Cities: A Systematic Literature Review. *Water (Switzerland)*. 2023;15(17). doi:10.3390/w15173064
22. Chandran P, Suresh S, Balasubramain B, et al. Biological treatment solutions using bioreactors for environmental contaminants from industrial waste water. *J Umm Al-Qura Univ Appl Sci.* 2023;(0123456789). doi:10.1007/s43994-023-00071-4
23. Hasan SA, Jabeen S. Degradation kinetics and pathway of phenol by Pseudomonas and Bacillus species. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 2015;29(1):45-53.

doi:10.1080/13102818.2014.991638

24. Procházková M, Máša V. Sustainable Wastewater Management in Industrial Laundries. *Chem Eng Trans.* 2022;94(June):577-582. doi:10.3303/CET2294096
25. Oladoye PO, Ajiboye TO, Omotola EO, Oyewola OJ. Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results Eng.* 2022;16(September):100678. doi:10.1016/j.rineng.2022.100678
26. Melián EP, Santiago DE, León E, Reboso JV, Herrera-Melián JA. Treatment of laundry wastewater by different processes: Optimization and life cycle assessment. *J Environ Chem Eng.* 2023;11(2). doi:10.1016/j.jece.2023.109302
27. Bom S, MRibeiro HM, Marto J. Sustainability calculator: A tool to assess sustainability in cosmetic products. *Sustain.* 2020;12(4). doi:10.3390/su12041437
28. Páez DFC, Villalba XG, Zabalo NA, Galceran HT, Güell IJ, Noguera XG. Mass transfer vectors for nitric oxide removal through biological treatments. *Environ Sci Pollut Res.* 2023;30(51):110089-110103. doi:10.1007/s11356-023-30009-6
29. Sharma P, Sharma P. Micro (nano) plastics : invisible compounds with a visible impact [version 2 ; peer review : 1 approved , 2 approved with reservations , 1 not approved] Prabhakar Sharma. *F1000Research.* 2024;13(69):1-17.
30. Komorowska-Kaufman M, Marciniak W. Removal of microplastic particles during municipal wastewater treatment: A current review. *Desalin Water Treat.* 2024;317(September 2022):100006. doi:10.1016/j.dwt.2024.100006
31. Liu Y, Wang H, Cui Y, Chen N. Removal of Copper Ions from Wastewater: A Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(5). doi:10.3390/ijerph20053885
32. Moloantoa KM, Khetsha ZP, van Heerden E, Castillo JC, Cason ED. Nitrate Water Contamination from Industrial Activities and Complete Denitrification as a Remediation Option. *Water (Switzerland).* 2022;14(5):1-31. doi:10.3390/w14050799
33. Akinawo SO. Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environ Challenges.* 2023;12(March). doi:10.1016/j.envc.2023.100733
34. Salisu A, Umar BI, Zhong Z, Yu C, Wang Y. Charcoal stabilizes pH and improves nutrients removal of bacteria-microalgae interaction: A potential for improving water quality in aquaculture. *Environ Eng Res.* 2023;28(6):0-1. doi:10.4491/eer.2022.620
35. Bergbusch NT, Wong AR, Russell JN, et al. Impact of wastewater treatment upgrade and nitrogen removal on bacterial communities and their interactions in eutrophic prairie streams. *FEMS Microbiol Ecol.* 2023;99(12):1-14. doi:10.1093/femsec/fiad142