

EFEKTIVITAS PENAMBAHAN SERABUT KELAPA DAN KULIT BUAH SIWALAN SEBAGAI ADSORBEN DAN MEDIA LEKAT BIOFILM PADA PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK MENGGUNAKAN *SEQUENCING BATCH REACTOR*

Novirina Hendrasarie¹ dan Fransiska Febriana¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
Email: novirina@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Air limbah domestik menjadi salah satu sumber pencemaran badan air dengan persentase mencapai 54,69% hal ini dapat menyebabkan meningkatnya kadar COD, TSS, dan Total N dalam badan air. Penelitian ini mengenai pengolahan limbah domestik apartemen menggunakan unit *Sequencing Bacth Reactor* (SBR) dengan penambahan serabut kelapa dan kulit siwalan sebagai media lekat biofilm dan adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan efektifitas penggunaan serabut kelapa dan kulit siwalan sebagai media lekat biofilm dan adsorben dalam menurunkan kandungan COD, TSS, dan Total N. SBR dioperasikan dengan waktu retensi hidrolis (HRT) 12, 24, dan 36 jam serta laju aerasi yang sama yaitu 14 L/menit. Dari hasil penelitian didapatkan HRT optimum yaitu 36 jam dengan penambahan media lekat serabut kelapa. Dengan efisiensi penyisihan COD, TSS, dan Total N yang dihasilkan masing masing 92,86%, 98,15% dan 84,30%.

Kata kunci: *Sequencing Bacth Reactor*, Waktu Retensi Hidrolis (HRT), Media Lekat Biofilm, Adsorben, Serabut Kelapa, Kulit Siwalan, Air Limbah Domestik

ABSTRACT

Domestic wastewater is one of the sources of pollution of water bodies with a percentage reaching 54,69% this can lead to increased levels of COD, TSS, and Total N in water bodies. This research is about the treatment of domestic waste in apartments using a Sequencing Bacth Reactor unit with the addition of coconut fiber and siwalan fiber as biofilm attached media and adsorbents. This study aims to compare the effectiveness of using coconut fiber and siwalan fiber as biofilm attached media and adsorbents in reducing COD, TSS, and Total N content. SBR was operated with hydraulic retention times (HRT) of 12, 24, and 36 hours and aeration rates were equal to 14 L/min. From the results of the study, it was found that the optimum HRT was 36 hours with the addition of coconut fiber biofilm attached media. With the removal efficiency of COD, TSS, and Total N respectively 92,86%, 98,15% and 84,30%.

Keywords: *Sequencing Bacth Reactor, Hydraulic Retention Time (HRT), Biofilm Attached Media, Adsorbent, Coconut Fiber, Siwalan Fiber, Domestic Wastewater*

PENDAHULUAN

Air limbah domestik menjadi sumber pencemaran air sungai terbesar dengan persentase 54,69% karena air limbah domestik memiliki kandungan organik yang tinggi seperti senyawa protein, karbohidrat, lemak dan minyak (Widyasari & Tangahu, 2016). Kandungan organik tertinggi yang ada di air limbah domestik salah satunya adalah COD sebesar 379,70 mg/L (Zarfandi, 2019). Oleh karena itu pengolahan air limbah domestik menjadi hal penting yang harus dilakukan terlebih dahulu sebelum dibuang ke drainase umum atau badan air.

Salah satu alternatif pengolahan air limbah domestik adalah pengolahan secara biologi dengan Sequencing Batch Reactor (SBR). SBR merupakan penggabungan semua langkah proses pengolahan lumpur aktif di dalam satu bak atau tangka. Prinsip pengoperasian SBR didasarkan pada prinsip mengisi dan menarik (fill and draw) yang terdiri dari lima tahap yaitu pengisian (fill), reaksi (reaction), pengendapan (settle), pengeluaran (decant) dan persiapan (idle). SBR memiliki kemampuan menyisihkan bahan-bahan organik pada limbah domestik berupa COD mencapai 73,49% dan N Total sebesar 75%. Penambahan media lekat biofilm dan adsorben mampu meningkatkan efisiensi serta menjaga stabilitas proses pengolahan pada SBR (Haque, 2017). Serabut kelapa dan siwalan mengandung lignin dan selulosa menyebabkan struktur permukaannya menjadi lebih kuat dan mampu mengikat biomassa serta menyerap bahan organik (Pinandari et al., 2011; Purnama & Setiati, 2004).

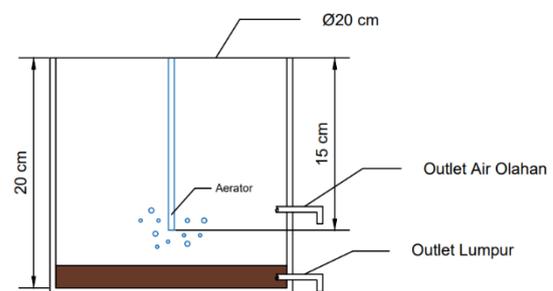
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan efektivitas antara penambahan serabut kelapa dan penambahan kulit siwalan sebagai adsorben dan media lekat biofilm dalam meningkatkan efisiensi proses pada SBR untuk pengolahan limbah domestik, pengaruh variasi waktu retensi hidrolis (HRT) yang digunakan dan pengaruh variasi jenis adsorben dan media lekat biofilm. Tingkat efisiensi yang diperoleh dapat dijadikan pertimbangan dalam aplikasi SBR untuk pengolahan limbah domestik.

METODE PENELITIAN

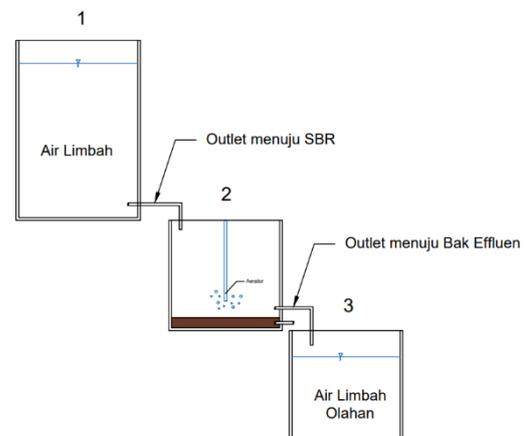
Penelitian ini dilakukan menggunakan air limbah domestik Apartemen Gunawangsa Merr Surabaya dengan sistem *batch* dan menggunakan skala laboratorium. Penelitian dilakukan di Laboratorium Riset dan Laboratorium Kimia Lingkungan Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur. Parameter yang dianalisis adalah COD, TSS dan Total N.

Alat Penelitian

- Reaktor berbentuk tabung dengan kapasitas 6 Liter.
- Bak Penampung
- Air Pump



Gambar 1. Desain Reaktor SBR



Gambar 2. Skema Susunan Reaktor

Bahan Penelitian

- Air limbah domestik
- Serabut Kelapa
- Kulit Buah Siwalan
- Larutan NaOH

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

- Variabel Bebas:
 - Waktu retensi hidrolis (HRT): 12 jam, 24 jam, dan 36 jam

- Jenis media lekat dan adsorben: serabut kelapa dan serabut siwalan
2. Variabel Tetap :
- Laju aerasi: 14 L/menit
 - Berat media lekat: 40 gram
 - Massa adsorben: 3 g/L
 - Waktu *filling* (pengisian): 10 menit
 - Waktu *draw* (pengeluaran): 10 menit
 - Bentuk reaktor
 - Sampel air limbah domestik
3. Variabel Kontrol :
- pH: 6 - 9
 - Suhu: 29°C – 31°C
 - DO atau oksigen terlarut: > 2 mg/L

Analisis

Analisis yang digunakan berdasarkan parameter dalam penelitian ini yaitu :

- a. COD (SNI 6989:2019)
- b. TSS (SNI 06-6989.3-2014)
- c. N Total (Titrimetri)
- d. pH (SNI 06-6989.11-2004)
- e. Suhu (SNI 06-6989.23-2005)
- f. DO (SNI 06-6989.14-2004)
- g. Uji SEM
- h. Isolasi dan identifikasi bakteri

Uji Karakteristik Awal

Pengujian awal limbah domestik apartemen dilakukan guna mengetahui karakteristik dan nilai kandungan pada tiap parameter uji. Uji karakteristik awal dilakukan di Laboratorium Kimia Lingkungan Progdil Teknik Lingkungan Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur. Berikut adalah hasil uji karakteristik awal pada limbah domestik apartemen dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Uji Awal Karakteristik Air Limbah

Karakteristik Limbah	Nilai	Baku Mutu
COD (mg/l)	1.075 - 1.485	50
TSS (mg/l)	540	50
Total-N (mg/l)	53,2	0,1
pH	8	6 - 9
Suhu	27,6	-

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Seeding dan Aklimatisasi

Proses *seeding* bertujuan untuk menumbuhkan dan mengembangbiakkan mikroorganisme yang berada di air limbah. Pada penelitian ini juga dilakukan pembenihan biofilm pada media lekat. Pembenihan biofilm dilakukan dengan cara memasukkan dan

merendam media lekat (sabut kelapa dan siwalan) ke dalam lumpur aktif dengan berat media tertentu. Proses *seeding* dilakukan selama 14 hari hingga mencapai nilai MLSS yang mencukupi dan terbentuknya lapisan biofilm pada media lekat yang digunakan. Saat proses *seeding* berlangsung, dilakukan pemberian nutrisi untuk mikroorganisme, rasio nutrisi yang diberikan C : N : P sebesar 100 : 5 : 1 (N Hendrasarie et al., 2021)

Setelah itu dilakukan proses aklimatisasi selama 5 hari hingga mencapai keadaan *steady*. Keadaan *steady* ditandai dengan penurunan nilai COD mencapai 50%. Proses ini bertujuan untuk adaptasi mikroorganisme yang telah tumbuh dengan limbah baru yang memiliki konsentrasi lebih tinggi. Pemberian air limbah dilakukan secara bertahap dari 50%, 70%, dan 90%. Hal ini dilakukan agar mikroorganisme tidak mengalami *shock loading* yang dapat menyebabkan kematian mikroorganisme (Novirina Hendrasarie & Andhika, 2021).

Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan setelah proses aklimatisasi berakhir. Pada penelitian utama air limbah yang akan diolah adalah 100% air limbah atau tanpa campuran aquades. Pada penelitian ini reaktor yang digunakan memiliki volume total 6 L dengan volume kerja yang akan digunakan adalah 5 L. Setelah reaktor siap, air limbah dimasukkan ke dalam reaktor. Satu siklus reaktor SBR yang akan digunakan adalah 12 jam, 24 jam, dan 36 jam.

Air limbah domestik akan ditampung terlebih dahulu pada bak penampung influen. Selanjutnya tahap pengisian (*fill*) dilakukan selama 10 menit dengan aerasi. Pada tahap berikutnya tahap reaksi, akan terbagi menjadi 2 kondisi yaitu anaerobic dan aerobic. Pada awal tahap reaksi aerobic dilakukan penambahan serbuk karbon aktif sebanyak 3 g/L ke dalam reaktor tanpa media lekat. Pembubuhan dilakukan dengan cara pembubuhan kering saat memasuki reaksi aerobik (Said & Marsidi, 2018). Kemudian dilanjutkan ke tahap pengendapan, pada tahap ini air lumpur aktif atau padatan biologis dibiarkan mengendap dimana tidak dilakukan proses aerasi. Setelah tahap pengendapan selesai, selanjutnya dilakukan pengeluaran efluen.

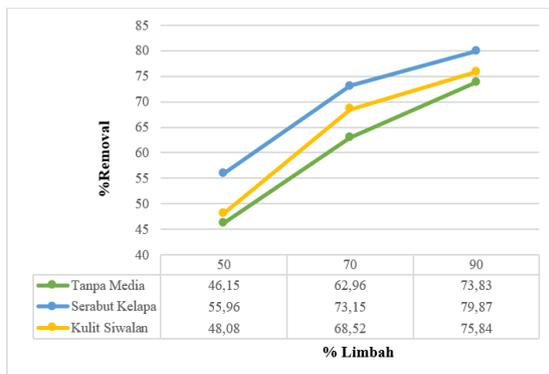
Tabel 2. Detail Pembagian Waktu Tiap Siklus HRT

Tahap	Pembagian Waktu Tiap HRT (menit)			Keterangan
	12 jam	24 jam	36 jam	
Fill	10	10	10	Aerasi : On
Anaerobic React	180	360	540	Aerasi : Off
Aerobic React	450	900	1350	Aerasi : On Penambahan adsorben
Settle	50	100	150	Aerasi : Off
Draw	10	10	10	Aerasi : Off
Idle	20	60	100	Aerasi : On
Total	12 jam	24 jam	36 jam	-

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini reaktor dioperasikan sesuai dengan variasi variabel waktu retensi hidrolis (HRT), jenis media lekat iofilm dan jenis adsorben yang telah ditentukan. Kemampuan media lekat biofilm, adsorben serta pengaruh waktu retensi terhadap pengolahan limbah domestik dilihat berdasarkan persen penurunan yang paling optimum, baik pada penurunan senyawa organik (COD), padatan tersuspensi (TSS) dan Total Nitrogen (Total N).

Hasil Seeding dan Aklimatisasi



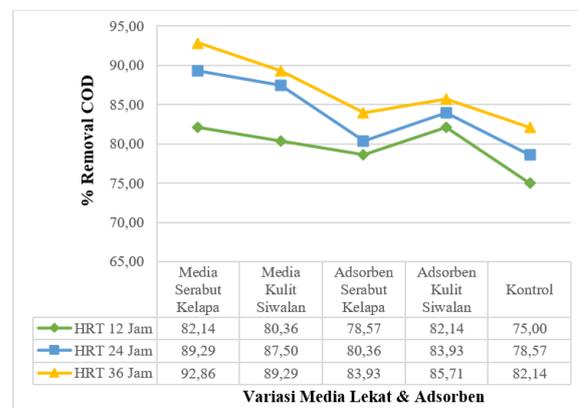
Gambar 3. Persen Penurunan COD Saat Aklimatisasi

Berdasarkan **Gambar 3** persen penurunan COD mengalami peningkatan seiring meningkatnya konsentrasi air limbah hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme yang ada pada reaktor serta media lekat dapat beradaptasi dengan air limbah yang ditambahkan. Kematangan mikroorganisme yang ada pada reaktor mempengaruhi *removal* COD. Mikroorganisme pada media lekat kulit buah

siwalan mengalami kematangan yang lebih cepat dibanding pada media serabut kelapa sehingga penurunan COD saat aklimatisasi cenderung lebih rendah dikarenakan jumlah mikroorganisme yang mengolah bahan organik di dalam air limbah telah berkurang karena telah mengalami fase kematian. Fase kematian dapat terjadi karena nutrient pada media telah habis atau energi cadangan dalam sel habis. Pada sistem pengolahan biologis, mikroorganisme tidak membelah secara terus menerus karena adanya batasan lingkungan seperti substrat dan nutrient (Metcalf & Eddy, 2014).

Penurunan Senyawa Organik (COD)

Pengujian parameter COD bertujuan untuk mengetahui besarnya konsentrasi organik yang diremoval pada reaktor pengolahan. Sesuai dengan **Gambar 4**, penurunan COD optimum sebesar 92,86% pada reaktor dengan penambah media lekat biofilm serabut kelapa dengan HRT 36 jam. Berdasarkan hasil penelitian terlihat pula bahwa penambahan serabut kelapa dan kulit buah siwalan sebagai adsorben dan media lekat memiliki pengaruh terhadap penurunan parameter COD.



Gambar 4. Kemampuan penurunan COD



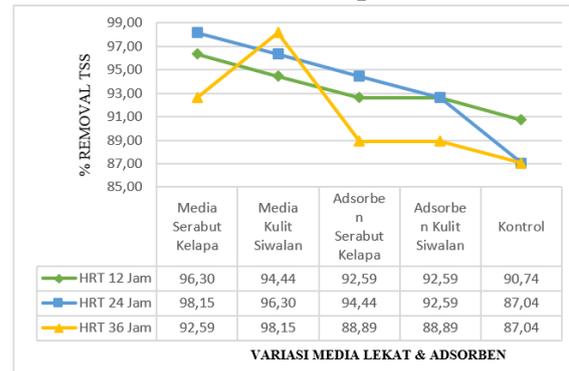


Gambar 5. Media Lekat Biofilm: (a) kulit buah siwalan sebelum pengolahan, (b) kulit buah siwalan setelah pengolahan, (c) serabut kelapa sebelum pengolahan dan (d) serabut kelapa setelah pengolahan

Pada penelitian ini lapisan biofilm yang tumbuh pada media lekat serabut kelapa dan kulit buah siwalan ditandai dengan adanya lapisan bening seperti lendir yang melekat pada permukaan serabut kelapa dan kulit buah siwalan. Kulit buah siwalan memiliki serat yang lebih halus cenderung lebih kecil dibanding serabut kelapa sehingga lapisan biofilm lebih mudah mengelupas, hal ini dikarenakan luas permukaan dan kekasaran permukaan media mempengaruhi biofilm yang melekat (Indriyati, 2018). Saat proses pengolahan, air limbah yang mengandung polutan organik akan melalui atau kontak langsung dengan lapisan biofilm tersebut. Senyawa polutan organik seperti COD akan terdifusi ke dalam lapisan biofilm yang melekat pada permukaan serabut kelapa dan kulit buah siwalan kemudian pada saat yang bersamaan dengan adanya oksigen yang terlarut, polutan organik akan didegradasi oleh mikroorganisme dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa.

Reaktor dengan penambahan adsorben, reaktor dengan adsorben kulit siwalan memiliki persentase penurunan COD lebih tinggi daripada reaktor dengan adsorben serabut kelapa dengan persentase penurunan tertinggi pada HRT 36 jam sebesar 85,71%. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan terlebih dahulu dalam literatur pengolahan air limbah domestik menggunakan SBR dengan penambahan *Powdered Activated Carbon* (PAC) sebagai adsorben mampu meningkatkan efisiensi penurunan COD karena PAC membantu dalam penyerapan bahan-bahan organik pada air limbah (Sekarani, 2019).

Penurunan Padatan Tersuspensi (TSS)

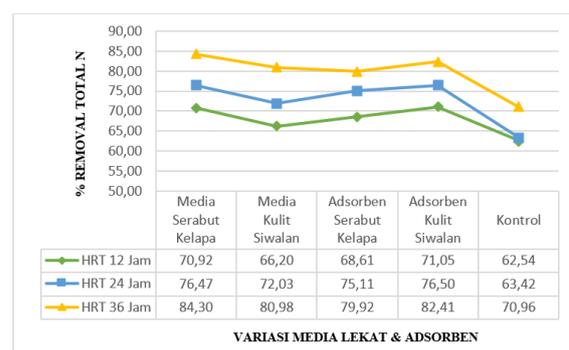


Gambar 6. Penurunan Padatan Tersuspensi (TSS)

Berdasarkan **Gambar 6** kemampuan penurunan TSS mengalami fluktuasi dari HRT ke HRT akibat adanya peningkatan mikroorganisme sehingga menimbulkan adanya partikel tersuspensi serta adanya partikel padatan yang mengendap di sekitar saluran outlet terbawa saat proses pengeluaran efluen. Kemampuan penurunan TSS tertinggi yaitu sebesar 98,15% pada reaktor dengan penambahan media lekat kulit siwalan HRT 36 jam.

Penurunan Total N

Kemampuan penurunan Total N tertinggi dihasilkan oleh reaktor SBR dengan penambahan media lekat biofilm serabut kelapa pada HRT 36 jam mencapai 84,30% penurunan ini terjadi karena adanya reaksi aerob dan anaerob pada siklus pengolahan menggunakan SBR.



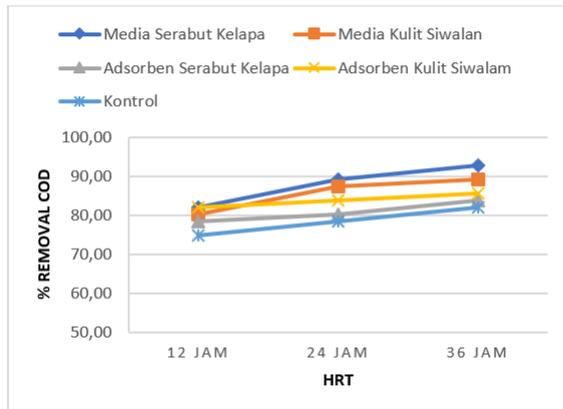
Gambar 7. Penurunan Total N

Pada reaksi aerob dan anaerob terjadi proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang berperan dalam penurunan Total N. Pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi yakni nitrogen ammonium diubah menjadi nitrat ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) dan pada kondisi anaerobik terjadi proses denitrifikasi dimana nitrat yang dihasilkan

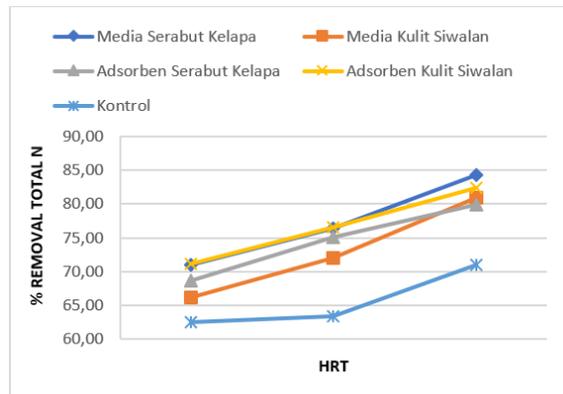
diubah menjadi gas nitrogen ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$) (Essa, 2017). Pada reaktor SBR yang menggunakan media lekat biofilm terjadi kondisi aerob dan anaerob pada saat bersamaan sehingga proses penghilangan Total N menjadi lebih mudah.

Pengaruh Waktu Retensi Hidrolik (HRT)

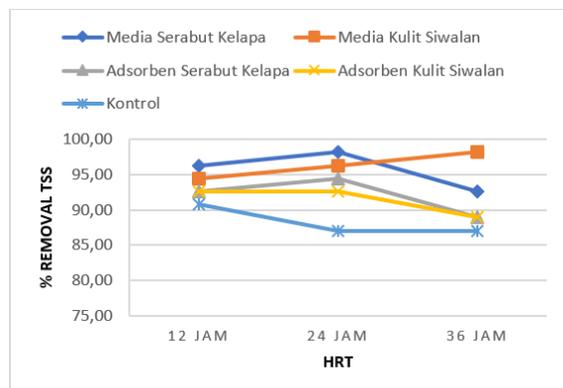
Waktu retensi Hidrolik (HRT) merupakan waktu yang dihabiskan limbah cair dalam reaktor pengolahan.



Gambar 8. Pengaruh HRT Terhadap Penurunan COD



Gambar 9. Pengaruh HRT Terhadap Penurunan Total N



Gambar 10. Pengaruh HRT Terhadap Penurunan TSS

Berdasarkan Gambar 8 dan Gambar 9 HRT mempengaruhi persentase penurunan COD dan Total N, semakin lama HRT yang digunakan maka semakin tinggi efisiensi penurunan COD dan Total N hal ini dipengaruhi oleh semakin lama waktu yang terjadi dari setiap fase pada pengolahan air limbah menggunakan SBR, terutama pada fase aerob dimana lamanya waktu aerasi akan membuat mikroorganisme mendapat waktu mengolah senyawa organik yang lebih lama (Novirina Hendrasarie et al., 2021). Pada Gambar 10 menunjukkan terjadinya fluktuasi kemampuan penurunan padatan tersuspensi (TSS) yang disebabkan oleh adanya deattachment atau pengelupasan media lekat dan adanya adsorben yang tersuspensi selain itu terdapat pengaruh lain berupa terbawanya padatan yang mengendap di sekitar saluran outlet saat proses pengeluaran efluen (draw).

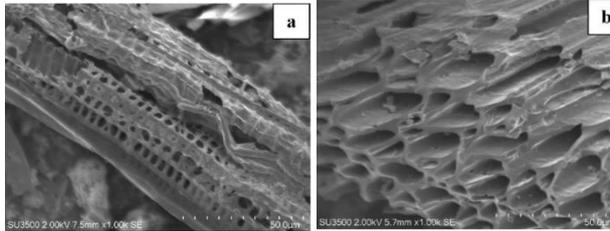
Identifikasi Mikroorganisme Pada Sequencing Batch Reactor (SBR)

Identifikasi mikroorganisme dalam reaktor SBR bertujuan untuk mengetahui jenis mikroorganisme yang berperan dalam proses penurunan konsentrasi senyawa polutan organik selama proses pengoperasian SBR. Dalam proses pengolahan, bakteri berperan mengoksidasi material organik serta transformasi nutrisi. Bakteri akan menghasilkan polisakarida dan material polimer yang membantu flokulasi biomassa.

Berdasarkan hasil identifikasi yang didapat, mikroorganisme yang berpengaruh dalam proses pengolahan antara lain adalah *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus sp.* Bakteri *Pseudomonas* termasuk filum *Proteobacteria*. Bakteri ini bekerja pada proses denitrifikasi mengubah nitrat menjadi nitrit dan melepas gas nitrogen. Proses denitrifikasi menjadi proses lanjutan dari nitrifikasi dalam penguraian kadar pencemar. Mikroorganisme yang ada pada media lekat biofilm adalah grup yang sama dengan mikroorganisme pada lumpur aktif. *Bacillus sp.* memiliki kemampuan untuk menggunakan senyawa polutan organik dalam air limbah dengan cara melepaskan enzim untuk menguraikan senyawa organik sehingga menghasilkan produk sampingan berupa kerdendioksida (CO_2), metana (CH_4), air (H_2O) dan energi sebagai penunjang aktivitas metabolisme (Retnosari et al., 2013).

Hasil Analisis SEM (*Scanning*)

Analisis SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan untuk mengetahui struktur permukaan dari masing-masing adsorben. Analisis SEM dilakukan di Laboratorium Instrumen UPN “Veteran” Jawa Timur, hasil analisa terlihat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Hasil Analisis SEM : (a) adsorben serabut kelapa dan (b) adsorben kulit buah siwalan dengan perbesaran 1000 kali

Morfologi permukaan kedua adsorben yang digunakan memiliki perbedaan. Struktur bentuk pori adsorben serabut kelapa adalah seperti cincin, dangkal dan memiliki ukuran lebih seragam sedangkan struktur pori adsorben kulit buah siwalan adalah memanjang, dalam dan cenderung kurang beraturan ukurannya. Terbentuknya pori-pori disebabkan oleh adanya proses penguapan senyawa organik yang terdegradasi (Novirina Hendrasarie & Maria, 2021; M. F. Attallah, I. M. Ahmed, 2013). Pada adsorben kulit buah siwalan memiliki pori-pori memanjang dan lebih dalam hal ini berkaitan dengan kemampuan adsorben tersebut dalam menyerap kandungan organik yang ada pada air limbah dimana pada reaktor dengan penambahan adsorben kulit buah siwalan memiliki kemampuan penurunan parameter COD dan Total N yang lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben serabut kelapa. Removal atau penurunan parameter pencemar dapat terjadi karena adanya perbedaan berat molekul atau perbedaan polaritas yang membuat sebagian atau seluruh molekul polutan melekat di permukaan partikel adsorben (Said, 2017).

KESIMPULAN

Efektifitas Sequencing Batch Reactor yang terbaik dalam mengolah air limbah domestik adalah dengan penambahan media lekat serabut kelapa dengan persentase penurunan COD, TSS, dan Total N sebesar 92,86%, 98,15% dan 84,30%. Waktu retensi hidrolik (HRT) terbaik dalam menurunkan parameter pencemar pada penelitian ini adalah pada HRT 36 jam untuk setiap reaktor SBR.

Dimana setiap reaktor mencapai persentase penurunan parameter COD dan Total N tertinggi pada HRT 36 jam, kecuali pada parameter TSS. Dari penelitian yang dilakukan terdapat mikroorganisme yang berperan dalam proses pengolahan menggunakan SBR yaitu mikroorganisme *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus sp.*

DAFTAR PUSTAKA

- Essa, N. (2017). *Aplikasi Sequencing Batch Biofilter Granular Pada*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Haque, E. A. (2017). *Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Dengan Sistem Lumpur Aktif Model SBR Skala Laboratorium*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hendrasarie, N, Zarfandi, F., Rosariawari, F., & Putro, R. (2021). Addition of Fixed Bed Biofilm in Sequencing Batch Reactor to Remove Carbon-Nitrogen for Apartment Wastewater. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1125(1), 012089. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1125/1/012089>
- Hendrasarie, Novirina, & Andhika, A. P. (2021). Efektivitas Penambahan Green Adsorbent Di Sequencing Batch Reactor Untuk Menurunkan Parameter Bod, Tss, Dan Warna Pada Limbah Industri Batik. *EnviroUS*, 2(1), 9–17. <https://doi.org/10.33005/enviroUS.v2i1.52>
- Hendrasarie, Novirina, & Maria, S. H. (2021). Combining grease trap and Moringa Oleifera as adsorbent to treat wastewater restaurant. *South African Journal of Chemical Engineering*, 37(December 2020), 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.05.004>
- Hendrasarie, Novirina, R., F., H., R. K., & Andhika. (2021). Kombinasi Proses Koagulasi-Flokulasi dengan Sequencing Batch Reactor untuk Menurunkan Kandungan Organik Pada Limbah Batik. *Jurnal Jukung*, 7 (2), 131–139.
- Indriyati. (2018). Pengolahan Limbah Cair Organik Secara Biologi Menggunakan Reaktor Anaerobik Lekat Diam. *Jurnal Air Indonesia*, 1(3), 340–343.

- <https://doi.org/10.29122/jai.v1i3.2361>
- M. F. Attallah, I. M. Ahmed, M. M. H. (2013). Treatment of industrial wastewater containing Congo Red and Naphthol Green B using low-cost adsorbent. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 1106–1116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-012-0947-4>
- Metcalf, W. &, & Eddy, C. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Companies, Inc.
- Pinandari, A. W., Fitriana, D. N., & Suhartono, E. (2011). Uji Efektifitas Dan Efisiensi Filter Biomassa Menggunakan Sabut Kelapa (*Cocos nucifera*) Sebagai Bioremoval Untuk Menurunkan Kadar Logam (Cd , Fe , Cu), Total Padatan Tersuspensi (TSS) Dan Meningkatkan pH Pada Limbah Air Asam Tambang Batubara. *Prestasi*, 1(1).
- Purnama, H., & Setiati. (2004). Adsorpsi Limbah Tekstil Sintetis dengan Jerami Padi. *Gelagar Jurnal Teknik*, 15(1), 1–9.
- Retnosari, Ayu, & Shovitri, M. (2013). Kemampuan Isolat *Bacillus* sp. Dalam Mendegradasi Limbah Septik. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2(1), 2337–3520.
- Said, N. I. (2017). Aplikasi Bio-Ball Untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean. *Jurnal Air Indonesia*, 1(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v1i1.2276>
- Said, N. I., & Marsidi, R. (2018). Tinjauan Aspek Teknis Pemilihan Media Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Air Indonesia*, 1(Vol. 1 No. 3 (2005): Jurnal Air Indonesia). <https://doi.org/10.29122/jai.v1i3.2355>
- Sekarani, F. A. (2019). *Pengaruh Waktu Retensi Hidrolik (HRT) dan Laju Aerasi Terhadap Penurunan COD, N Total dan TSS Menggunakan Powdered Activated Carbon - Sequencing Batch Reactor (PAC-SBR)*. UPN “Veteran” Jawa Timur.
- Widyasari, R. M., & Tangahu, B. V. (2016). Perencanaan Reed-bed dalam Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Tanaman *Canna indica* (Studi Kasus: Rusunawa Penjaringan Sari 1 dan 2). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 1–6. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16473>
- Zarfandi, F. I. (2019). *Pengolahan Limbah Domestik Apartemen Menggunakan Sequencing Batch Reactor Dengan Media Ijuk Dan Sabut Kelapa*. UPN “Veteran” Jawa Timur.