

Pengaruh Aktivator dan Laju Alir dengan Metode *Slow Sand Filter* Menggunakan Kombinasi Karbon Aktif Alami untuk Pengolahan Air Telaga

Safitri Wahyu Pratiwi, Aussie Amalia*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: aussieamalia.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 30 Oktober 2024

Disetujui: 11 November 2024

Abstract

Lake water contaminated with domestic sewage is a serious problem as it can pollute the surrounding environment, as in Telaga Rambit, Gresik. Turbid water quality indicates pollution, so a treatment process is needed before use. This study aims to analyse the effect of activator type and flow rate on the filtration process using the slow sand filter (SSF) method, with a combination of coconut shell charcoal and rice husk charcoal media. The flow rate variations used were 0.1 m³/h and 0.3 m³/h, with hydrochloric acid (HCl) and phosphoric acid (H₃PO₄) activators. The results showed that Reactor B, using H₃PO₄ at a flow rate of 0.1 m³/h, was the most effective variation in reducing pollutant levels, namely BOD by 1.9 mg/l, COD by 6.26 mg/l and TSS by 12 mg/l at the 25th sampling time. The H₃PO₄ activator has been shown to increase the adsorption capacity of activated carbon media, particularly in the capture of suspended solids. The low flow rate also provided better stability during the filtration process, allowing for more effective particle retention. After 25 minutes, the filtration media had not reached saturation point, indicating that filtration could be improved with longer contact times.

Keywords: *activator, activated carbon, flow rate, slow sand filter*

Abstrak

Air telaga yang terkontaminasi air limbah domestik menjadi perhatian serius karena dapat mencemari lingkungan sekitar, seperti di Telaga Rambit, Gresik. Kualitas air yang keruh menunjukkan adanya pencemaran sehingga diperlukan proses pengolahan sebelum digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis aktivator dan laju alir pada proses filtrasi menggunakan metode *slow sand filter* (SSF), dengan kombinasi media arang tempurung kelapa dan arang sekam padi. Variasi laju alir yang digunakan adalah 0,1 m³/jam dan 0,3 m³/jam, dengan aktivator asam klorida (HCl) dan asam fosfat (H₃PO₄). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Reaktor B yang menggunakan H₃PO₄ dengan laju alir 0,1 m³/jam, menjadi variasi paling efektif dalam menurunkan kadar pencemar, yaitu BOD sebesar 1,9 mg/L, COD 6,26 mg/L, dan TSS sebesar 12 mg/l dengan waktu sampling ke-25. Aktivator H₃PO₄ terbukti meningkatkan kemampuan adsorpsi media karbon aktif, terutama dalam menangkap partikel tersuspensi. Laju alir yang rendah juga memberikan kestabilan yang lebih baik selama proses filtrasi, memungkinkan penahanan partikel yang lebih efektif. Pada menit ke-25, media filtrasi belum mencapai titik jenuh, menunjukkan bahwa filtrasi masih dapat meningkat dengan waktu kontak yang lebih lama.

Kata Kunci: *aktivator, karbon aktif, laju alir, slow sand filter*

1. Pendahuluan

Air telaga yang terkontaminasi oleh zat pencemar dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk limbah cair rumah tangga yang dibuang secara langsung ke sumber air tanpa melewati tahap pemrosesan. Hal ini menjadi perhatian karena tidak dapat dipastikan apakah air limbah telah memenuhi standar kualitas yang ditetapkan, yang dapat berpotensi mencemari lingkungan sekitar [3]. Contohnya terjadi di Desa Purwodadi, Gresik, di mana sebagian besar masyarakat mengandalkan air telaga untuk pemenuhan kegiatan pokok termasuk mandi dan pembersihan peralatan keperluan sehari-hari. Namun, air Telaga Rambit di desa tersebut memiliki kualitas air yang keruh, menandakan adanya pencemaran di dalamnya. Oleh karena itu, perlu proses pengolahan sebelum digunakan agar tidak mencemari lingkungan, salah satunya melalui filtrasi.

Filtrasi merupakan proses memisahkan unsur dengan mekanisme fisika, reaksi kimiawi, dan mikrobiologi untuk memilah zat tercampur dan agregat kecil melalui bahan berpori misalnya karbon sekam [19]. Karbon dari limbah padi bermanfaat sebagai lapisan penyaring yang optimal mengikat partikel

tersuspensi pada air buangan aktivitas rumah tangga [11]. Sementara itu, tempurung kelapa dapat dikonversi jadi material karbon aktif dikarenakan mengandung unsur dengan luas area yang besar menghasilkan kapabilitas serap maksimal [7]. Senyawa aktivasi yang umum diaplikasikan terdiri dari basa logam alkali, anion klorida, sulfat, dan fosfat alkali tanah, utamanya zinc diklorida, plus asam mineral contohnya asam sulfat dan fosfat [21]. Dalam penelitian ini, digunakan asam fosfat (H_3PO_4) dan asam klorida (HCl). Kedua jenis asam ini dipilih untuk menguji kemampuannya dalam memperluas pori arang serta meningkatkan luas permukaan atau pori-pori yang sudah ada [8]. Dengan demikian, tempurung kelapa dan sekam padi dapat diolah menjadi karbon aktif untuk mengatasi pencemaran air telaga. Kualitas karbon aktif dari tempurung kelapa ditingkatkan dengan menggunakan larutan HCl dan H_3PO_4 , dengan konsentrasi 0,5 M. Hasilnya menunjukkan bahwa larutan HCl menghasilkan kadar air 2,55% dan kadar abu 1,96% dan larutan H_3PO_4 memperoleh nilai kandungan air mencapai 2,8% dan level abu 2,37%, memenuhi ketentuan SNI No 06-3730-1995 [1].

Kemajuan dan inovasi dalam penggunaan tempurung kelapa dan sekam padi sebagai bahan dasar karbon aktif terus berkembang pesat karena memiliki keunggulan efisiensi, ketersediaan, dan ramah lingkungan [12]. Kombinasi media filtrasi, seperti sekam padi, arang, batu zeolit, dan pasir kuarsa, dapat mengurangi kadar BOD, COD, dan TSS. Hasilnya menunjukkan penurunan kadar BOD sebesar 66,67%, COD sebesar 55%, dan TSS sebesar 80% dengan ketebalan sekam padi 5 cm, arang 10 cm, zeolit dan pasir kuarsa 7,5 cm [4]. Metode SSF dipilih karena biaya pembuatan yang murah, bahan yang mudah didapat, efisiensi pengolahan yang tinggi, dan perawatan yang mudah. Penelitian ini menggunakan metode *slow sand filter* dengan kombinasi media filter arang tempurung kelapa dan arang sekam padi dengan tujuan untuk mengetahui efektivitas media dalam menurunkan parameter BOD, COD, dan TSS pada air telaga yang tercemar. Aliran dirancang secara *upflow* dan kontinu dengan memvariasikan jenis aktivator karbon aktif, laju aliran filtrasi, dan waktu sampling sehingga dapat menurunkan kadar pencemar dalam air telaga.

2. Metode Penelitian

2.1 Persiapan Penelitian

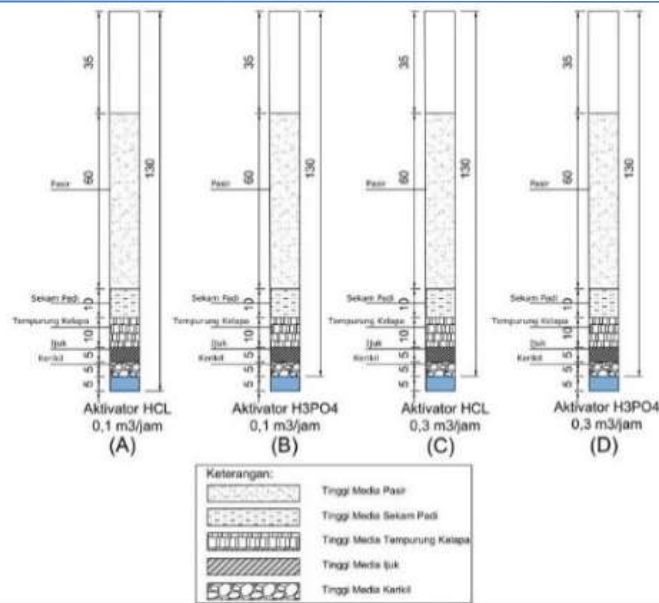
Penelitian diawali dengan melakukan pengujian awal karakteristik air Telaga Rambut, Gresik. Selanjutnya mempersiapkan material yang diperlukan untuk penelitian, yaitu pasir silika dengan ukuran efektif 0,15-0,35 mm berfungsi untuk mengatasi karakteristik fisik air, seperti kekeruhan dan bau [2]. Kedua, arang tempurung kelapa dan sekam padi berukuran ayakan 100 mesh berperan dalam menghilangkan bau serta memisahkan partikel padat dari air, sehingga dapat mengurangi *Total Suspended Solids* (TSS), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) [17]. Ketiga, ijuk berfungsi untuk meratakan aliran air. Terakhir, kerikil berperan sebagai pemisah partikel berukuran besar, media penyangga, dan lapisan dasar reaktor filtrasi [15]. Media media tersebut disusun dalam reaktor filtrasi karena reaktor ini akan menjadi pusat dari seluruh penelitian, tempat berlangsungnya proses filtrasi.

2.2 Proses Karbonisasi dan Aktivasi

Tempurung kelapa dan sekam padi dipotong menjadi bagian-bagian kecil dan dijemur di bawah sinar matahari. Selanjutnya, dilakukan proses pembuatan karbon dengan menggunakan oven furnace, di mana pemanasan dilakukan selama 1 jam pada suhu 400 °C. Tempurung Kelapa dan Sekam padi yang sudah menjadi karbon dihaluskan hingga mencapai ukuran 100 mesh. Setelah itu, serbuk karbon yang dihasilkan dilakukan proses aktivasi kimia. Proses aktivasi dilakukan dengan merendam serbuk karbon dengan aktivator HCl dan H_3PO_4 0,5 M selama 24 jam. Setelah itu disaring dan dibilas bersama akuades hingga pH menjadi netral. Setelah pH netral, serbuk karbon dipanaskan di oven 1 jam dengan suhu 105 °C dan karbon aktif siap untuk digunakan.

2.3 Variabel

Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas, variabel tetap, dan parameter uji. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi aktivasi larutan menggunakan HCl 0,5 M dan H_3PO_4 0,5 M, laju alir filtrasi sebesar 0,1 dan 0,3 m³/jam, serta waktu pengambilan sampel dimenit ke-5, 10, 15, 20, dan 25. Sementara itu, variabel tetap mencakup arah aliran yang menggunakan metode *upflow*, aliran yang bersifat kontinu, dimensi bak yang berbentuk circular dengan diameter 4 inci dan tinggi 130 cm, ketebalan arang tempurung kelapa dan arang sekam padi masing-masing 10 cm dengan diameter 100 mesh, ketebalan media pasir silika sebesar 60 cm, serta ketebalan ijuk dan kerikil masing-masing 5 cm. Hasil penelitian akan diamati meliputi konsentrasi BOD, COD, dan TSS, yang selanjutnya akan dianalisis dan dibahas.

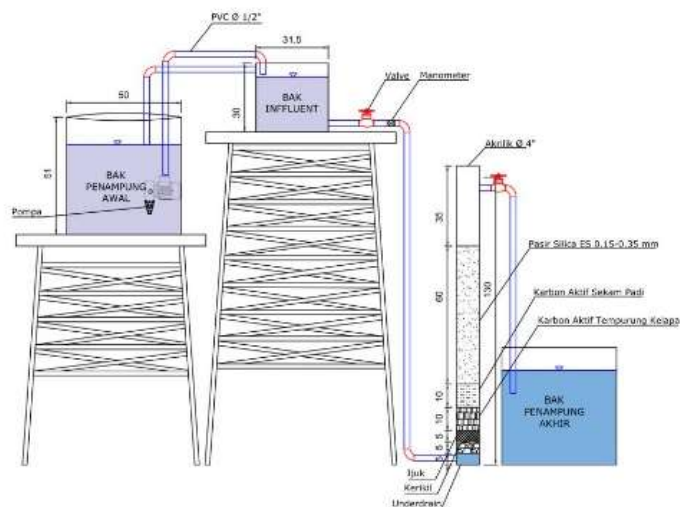


Gambar 1. Variasi Aktivator dan Laju Alir Pada Reaktor Filtrasi
Sumber: Penulis, 2024

Keterangan: A = laju alir 0,1 m³/jam dan HCL, B = laju alir 0,1 m³/jam dan H₃PO₄, C = laju alir 0,3 m³/jam dan m HCL, D = laju alir 0,3 m³/jam dan H₃PO₄

2.4 Penelitian Utama

Proses kombinasi metode slow sand filter dengan media arang tempurung kelapa dan arang sekam padi dilakukan secara bertahap. Pertama, air diambil dari bak penampung utama sebagai air influent. Bak penampung pertama digunakan untuk menampung air awal, sementara bak penampung kedua yang berada di atasnya menjaga kestabilan aliran air masuk. Untuk mencegah limpahan, pipa overflow mengalirkan air dari bak kedua kembali ke bak pertama. Air dari bak penampung pertama dialirkan ke bak penampung kedua menggunakan pompa *submersible* dengan daya 2000 L/min. Dari bak kedua, air mengalir ke reaktor melalui pipa akrilik 4 inci dengan arah aliran ke atas (*upflow*). Aliran air ini diatur dengan valve agar sesuai dengan kecepatan filtrasi yang telah ditentukan. Di dalam reaktor, air disaring melalui lapisan media pasir silika, arang tempurung kelapa, arang sekam padi, ijuk, dan kerikil. Air yang telah melalui proses filtrasi keluar melalui valve outlet dan sampel air bersih (*effluent*) diambil dari bak penampung akhir untuk diuji lebih lanjut. Terakhir, air hasil filtrasi diuji di laboratorium untuk mengukur parameter seperti BOD, COD, dan TSS.



Gambar 2. Reaktor Filtrasi
Sumber: Penulis, 2024

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Awal

Analisa data yang diperoleh dari hasil analisa pemeriksaan laboratorium mencakup nilai-nilai dari parameter uji, yaitu:

Tabel 1. Karakteristik Awal

No	Parameter Uji	Satuan	Analisis Awal	Baku Mutu	Standar Uji
1	Biological Oxygen Demand (BOD)	mg/L	8	2	SNI 6989.72:2009
2	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	27	10	SNI 6989.2:2009
4	Total Suspended Solid (TSS)	mg/L	69	25	SNI 6989.3:2019

Sumber: Penulis, 2024

3.2 Pengaruh Aktivator dan Laju Alir *Slow Sand Filter* dalam Menurunkan Parameter BOD, COD, dan TSS

Hasil analisis parameter pencemar air telaga setelah proses filtrasi tersaji pada tabel 2, 3, 4, dan 5. Media yang digunakan berupa pasir dan karbon aktif, kemudian efisiensi penurunan pencemar dibandingkan berdasarkan jenis aktivator yang digunakan. Reaktor A menggunakan aktivator HCl dengan laju alir 0,1 m³/jam, reaktor B menggunakan aktivator H₃PO₄ dengan laju alir 0,1 m³/jam, reaktor C menggunakan HCl dengan laju alir 0,3 m³/jam, dan reaktor D menggunakan H₃PO₄ dengan laju alir 0,3 m³/jam. Waktu sampling setelah proses filtrasi dilakukan pada interval waktu 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, dan 25 menit.

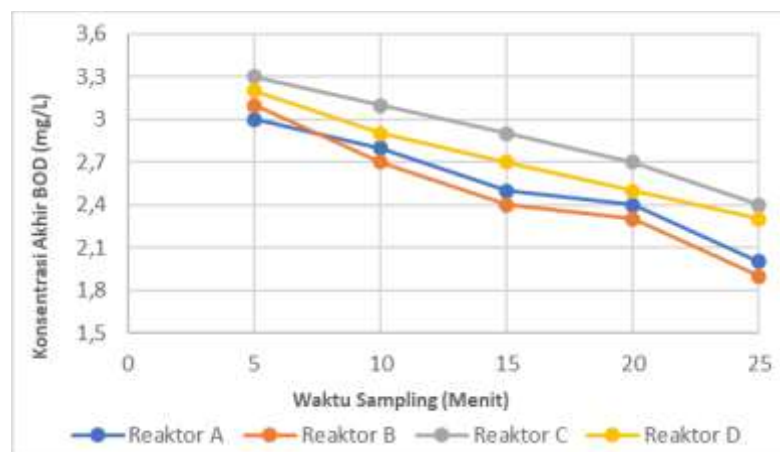
3.2.1 Analisis Pengaruh Aktivator dan Laju Alir Terhadap Penurunan Parameter BOD

Berikut adalah hasil pengujian *slow sand filter* dengan variasi aktivator dan laju alir pada penurunan parameter BOD dan waktu sampling dilakukan dimenit ke-5, 10, 15, 20, dan 25. Penurunan parameter terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Penurunan Parameter BOD Pada Setiap Reaktor

Reaktor	Analisis awal (mg/L)	Hasil Akhir Nilai BOD (mg/L)					Rata-rata (%)
		5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	
A	8	3	2,8	2,5	2,4	2	2,54
B	8	3,1	2,7	2,4	2,3	1,9	2,48
C	8	3,3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,88
D	8	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,72

Sumber: Hasil Analisis, 2024



Gambar 3. Penurunan Nilai Konsentrasi Akhir Parameter BOD Pada Setiap Reaktor

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Karbon aktif teraktivasi HCl pori-porinya lebih kecil, sehingga lebih efektif untuk menyerap senyawa organik ringan, namun kurang efisien untuk senyawa yang lebih kompleks. Sebaliknya, aktivasi dengan H₃PO₄ menghasilkan karbon aktif dengan porositas dan luas permukaan yang lebih besar, memungkinkan penjerapan senyawa organik yang lebih berat dan kompleks. Aktivasi HCl hanya membersihkan permukaan pengotor, sementara H₃PO₄ meningkatkan ukuran pori dan luas permukaan. Karbon aktif dengan H₃PO₄

10% memiliki pori berdiameter 8,041 μm dan luas 50,78 μm^2 , lebih besar dibandingkan aktivasi dengan KOH 10% [13].

Proses penurunan BOD dioptimalkan oleh gaya Van der Waals, yang menarik molekul polutan ke permukaan karbon aktif, terutama pada karbon dengan aktivator H_3PO_4 yang lebih luas porinya. Gaya elektrostatis pada permukaan karbon juga berperan dengan menarik ion-ion dalam air, sementara gaya difusi membantu senyawa berpindah ke pori-pori karbon. Dengan pori lebih besar, karbon aktif H_3PO_4 meningkatkan efisiensi adsorpsi, seperti yang terbukti dalam studi [10], yang menunjukkan penurunan BOD dari 301 mg/L menjadi 95 mg/L. Pada laju alir rendah (0,1 m^3/jam) di Reaktor A dan B, karbon aktif memiliki waktu kontak lebih lama dengan air, sehingga penjerapan senyawa organik lebih optimal. Sebaliknya, pada laju alir tinggi (0,3 m^3/jam) di Reaktor C dan D, waktu kontak singkat mengurangi efektivitas penurunan BOD. Reaktor B dengan H_3PO_4 pada laju 0,1 m^3/jam menunjukkan efisiensi terbaik dalam menurunkan BOD, karena waktu kontak yang cukup memungkinkan proses adsorpsi berjalan optimal di mana konsentrasi akhir BOD menjadi 1,9 mg/L pada menit ke-25.

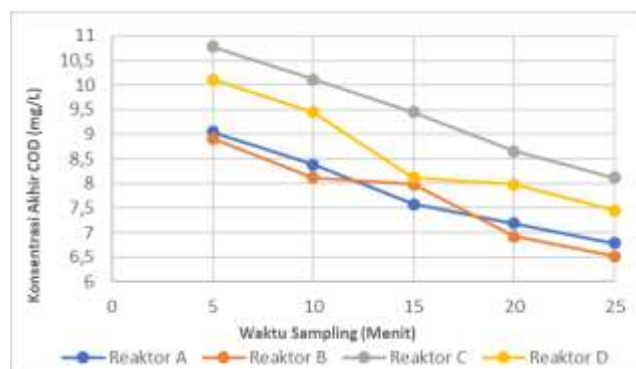
3.2.2 Analisis Pengaruh Aktivator dan Laju Alir Terhadap Penurunan Parameter COD

Berikut adalah hasil pengujian *slow sand filter* dengan variasi aktivator dan laju alir pada penurunan parameter COD dan waktu sampling dilakukan dimenit ke-5, 10, 15, 20, dan 25. Penurunan parameter terlihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Hasil Penurunan Parameter COD Pada Setiap Reaktor

Reaktor	Analisis awal (mg/L)	Hasil Akhir Nilai COD (mg/L)					Rata-rata (%)
		5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	
A	27	9,05	8,39	7,59	7,19	6,79	7,80
B	27	8,92	8,12	7,99	6,92	6,26	7,64
C	27	10,78	10,12	9,45	8,65	8,12	9,42
D	27	10,12	9,45	8,12	7,99	7,45	8,63

Sumber: Hasil Analisis, 2024



Gambar 4. Penurunan Nilai Konsentrasi Akhir Parameter COD Pada Setiap Reaktor

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Karbon aktif yang diaktivasi dengan H_3PO_4 mampu menjerap polutan dengan lebih efisien karena memiliki area permukaan yang luas dan pori-pori berukuran besar, sehingga lebih banyak kontaminan dapat ditangkap secara efektif. Tempurung kelapa yang diaktivasi dengan H_3PO_4 memiliki pori lebih banyak dibandingkan dengan teraktivasi HCl [20]. Struktur pori yang lebih besar pada aktivasi H_3PO_4 memungkinkan penjerapan senyawa organik kompleks, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi dan mempercepat penurunan COD [16]. Proses adsorpsi dalam *slow sand filter* dipengaruhi oleh gaya van der Waals, gaya elektrostatis, dan gaya difusi. Karbon aktif H_3PO_4 , dengan luas permukaan lebih besar, efektif menarik polutan anorganik yang berkontribusi terhadap COD, terutama pada laju alir rendah yang memberi waktu kontak lebih lama. Pada laju alir 0,1 m^3/jam , karbon aktif H_3PO_4 menunjukkan efisiensi tinggi dalam menurunkan COD, dengan waktu kontak lebih lama yang memungkinkan senyawa terjerap optimal. Berdasarkan hasil penelitian, Reaktor B dengan H_3PO_4 dan laju alir rendah terbukti paling efektif dalam pengolahan air mampu menurunkan nilai COD menjadi 6,26 mg/L pada menit ke-25. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi ini mendukung filtrasi dan adsorpsi secara maksimal, bahwa laju alir tinggi dapat mengurangi efisiensi penurunan COD karena waktu kontak yang lebih singkat [17].

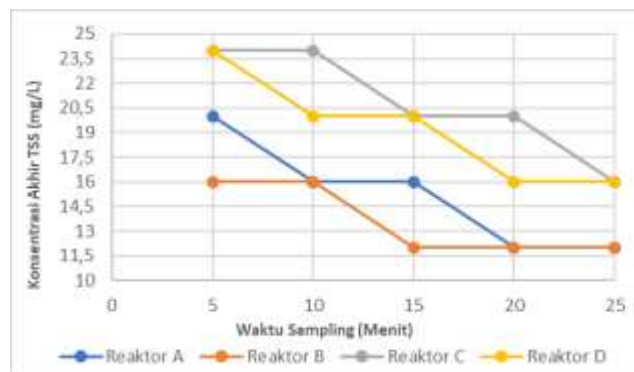
3.2.3 Analisis Pengaruh Aktivator dan Laju Alir Terhadap Penurunan Parameter TSS

Berikut adalah hasil pengujian *slow sand filter* dengan variasi aktivator dan laju alir pada penurunan parameter TSS dan waktu sampling dilakukan dimenit ke-5, 10, 15, 20, dan 25. Penurunan parameter terlihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Penurunan Parameter TSS Pada Setiap Reaktor

Reaktor	Analisis awal (mg/L)	Hasil Akhir Nilai TSS (mg/L)					Rata-rata (%)
		5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	
A	69	20	16	16	12	12	15,2
B	69	16	16	12	12	12	13,6
C	69	24	24	20	20	16	20,8
D	69	24	20	20	16	16	19,2

Sumber: Hasil Analisis, 2024



Gambar 5. Penurunan Nilai Konsentrasi Akhir Parameter TSS Pada Setiap Reaktor

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Proses filtrasi yang dijelaskan oleh [14] menunjukkan bahwa partikel koloid berukuran $\pm 1 \mu\text{m}$ dan bakteri sepanjang $\pm 15 \mu\text{m}$ dapat tersaring melalui butiran pasir berdiameter $\pm 150 \mu\text{m}$ dengan celah sekitar $\pm 20 \mu\text{m}$. Dalam mekanisme ini, partikel tersuspensi melekat pada permukaan butiran pasir melalui gaya elektrostatis, sementara partikel yang lebih berat keluar dari aliran dan berkontak langsung dengan media filter. Proses difusi mendukung perpindahan partikel dari konsentrasi tinggi ke rendah, menyebabkan transfer massa yang mendukung perlekatan polutan pada media. Pada laju alir rendah, karbon aktif yang diaktivasi dengan H_3PO_4 menunjukkan efektivitas lebih tinggi ketika menjerap substrat kecil karena memiliki permukaan dan pori yang besar. Aktivasi H_3PO_4 menghasilkan lebih banyak pori dibandingkan aktivasi HCl , meningkatkan kemampuan adsorpsi partikel tersuspensi [5]. Gaya Van der Waals yang terbentuk antara karbon aktif dan partikel TSS juga berperan penting dalam efektivitas jerapan [6]. Kondisi laju alir rendah pada Reaktor B memberikan waktu kontak lebih lama, mendukung proses filtrasi optimal.

Sebaliknya, pada laju alir tinggi, waktu kontak singkat mengurangi efektivitas filter dalam menangkap partikel TSS yang lebih besar, terutama pada karbon aktif teraktivasi HCl struktur pori yang kecil. Meskipun karbon aktif dengan aktivasi H_3PO_4 tetap memiliki kapasitas adsorpsi tinggi, efektivitasnya tetap menurun pada laju alir tinggi karena keterbatasan waktu kontak. Laju alir tinggi mengurangi waktu kontak efektif, sehingga efisiensi penurunan TSS menurun [18]. Aktivator H_3PO_4 pada laju alir rendah ($0,1 \text{ m}^3/\text{jam}$) terbukti lebih stabil dalam mendukung filtrasi dengan mengurangi turbulensi, menjadikan Reaktor B sebagai varian paling optimal dalam menurunkan TSS pada menit ke-25 sebesar 12 mg/L .

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan kesimpulan bahwa Reaktor B yang menggunakan aktivator H_3PO_4 dengan laju alir $0,1 \text{ m}^3/\text{jam}$, merupakan variasi paling efektif dalam pengolahan air telaga. Reaktor ini menghasilkan penurunan signifikan pada BOD, COD, dan TSS, masing-masing sebesar $1,9 \text{ mg/L}$, $6,26 \text{ mg/L}$, dan 12 mg/L pada menit ke-25. Efektivitas ini disebabkan oleh kemampuan H_3PO_4 dalam meningkatkan area permukaan karbon aktif sehingga lebih optimal dalam menangkap partikel tersuspensi, sementara laju alir rendah memberikan stabilitas dalam proses filtrasi yang dapat mengganggu proses pengendapan partikel sehingga memungkinkan lebih banyak partikel tertahan di lapisan filtrasi, menunjukkan bahwa aktivator dan laju alir berpengaruh terhadap penurunan parameter BOD, COD, dan TSS pada air telaga.

5. Referensi

- [1] Amin, M. (2023). Pengaruh Aktivator HCl, H₃PO₄, NH₄Cl Terhadap Kualitas Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa. *Majalah Teknik Industri*, 31(1), 33-40.
- [2] Artiyani, A., dan Firmansyah, N. H. (2016). Kemampuan Filtrasi Upflow Pengolahan Filtrasi Up Flow Dengan Media Pasir Zeolit Dan Arang Aktif Dalam Menurunkan Kadar Fosfat Dan Deterjen Air Limbah Domestik. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 6(1), 8-15.
- [3] Bakkara, C. G., dan Purnomo, A. (2022). Kajian Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat Di Indonesia. *Jurnal Teknik ITS*, 11(3), D75-D81.
- [4] Bermuli, F. Z., Manganka, I. R., dan Dundu, A. K. (2023). Metode Filtrasi Dengan Media Sekam Padi, Arang, Batu Zeolit Dan Pasir Kuarsa Untuk Menurunkan Kadar BOD, COD Dan TSS Pada Air Limbah Domestik. *TEKNO*, 21(86), 1867-1873.
- [5] Chairunnisa, Z. N., & Fuadi, A. (2023). Efektivitas Adsorben Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa untuk Pengolahan Limbah Cair Pabrik Tahu. *Inovasi Teknik Kimia*, 8(1), 17-25.
- [6] Desiana, N., Ngatijo, N., & Lagowa, M. I. (2022). Pengelolaan Air Limbah Tambang Dengan Metode Bioadsorpsi Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 18(2), 97-103.
- [7] Dwityaningsih, R., Rahayu, T. E. P. S., Handayani, M., dan Nurhilal, M. (2023). Pengaruh Variasi Konsentrasi H₃PO₄ Sebagai Zat Aktivator Terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Sekam Padi. *Infotekmesin*, 14(1), 98-104.
- [8] Erawati, E., dan Fernando, A. (2018). Pengaruh jenis aktivator dan ukuran karbon aktif terhadap pembuatan adsorbent dari serbuk gergaji kayu sengon (*Paraserianthes Falcataria*). *Jurnal Integrasi Proses*, 7(2), 58-66.
- [10] Fachria, R., Ramdan, H., & Aryantha, I. N. P. (2019). Efektivitas pengolahan limbah cair industri penyamakan kulit Sukaregang Garut dengan adsorben karbon aktif dan ijuk. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*, 379-388.
- [11] Gudadhe, S. K. (2022). Rice Husk Is Use to Treatment of Gray Water. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci*, 9(1), 96-99.
- [12] Hatina, S., & Komala, R. (2020). Pemanfaatan HCl dan CaCl₂ sebagai zat aktivator dalam pengolahan limbah industri tahu. *Jurnal Redoks*, 5(1), 20-31.
- [13] Hasan, R., Tedja, T., Riani, E., & Sugiarti, S. (2016). Pengaruh Aktivasi Fisika dan Kimia Arang Aktif Buah Bintaro Terhadap Daya Serap Logam Berat Krom. *Biopropal Industri*, 7(1), 35-45.
- [14] Huisman, L. dan Wood, W.E. (1974), *Slow Sand Filtration Handbook*. World Health Organisation, Geneva, Switserland.Indonesia: 3981.
- [15] Kusniawati, E., Sari, D. K., dan Putri, M. K. (2024). Pemanfaatan Sekam Padi Sebagai Karbon Aktif Untuk Menurunkan Kadar Ph, Turbidity, TSS, dan TDS. *Journal Of Innovation Research And Knowledge*, 2(10), 4183-4198.
- [16] Mulia, M. H. (2022). Pengolahan Air Bersih Dengan Metode Filtrasi Menggunakan Media Pasir Besi (Doctoral dissertation, uin ar-raniry).
- [17] Nustini, Y., dan Allwar, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Menjadi Arang Tempurung Kelapa Dan Granular Karbon Aktif Guna Meningkatkan Kesejahteraan Desa Watuduwur, Bruno, Kabupaten Purworejo.
- [18] Rahayu, A., Maryudi, M., Nuraini, N., Amrillah, N. A. Z., Mulyadi, I., & Hanum, F. F. (2023). Reduction of COD, pH and Phosphate Levels in Laundry Wastewater Using Multi Soil Layering (MSL) Method. *Jurnal Sains Natural*, 13(1), 31-38.
- [19] Riandi, I., Slamet, S., dan Hidayah, N. (2021). Perbedaan Ketebalan Media Filtrasi Arang Sekam Padi Terhadap Penurunan Kekeruhan Pada Air Bersih di PT. X. *Jurnal Kesehatan Siliwangi*, 2(2), 567-575.
- [20] Verayana, M. P., & Iyabu, H. (2019). Pengaruh aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap karakteristik (morfologi pori) arang aktif tempurung kelapa serta uji adsorpsi pada logam timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 13(1), 67-75.
- [21] Wulandari, F., Erlina, E., Bintoro, R. A., Budi, E., Umiatin, U., dan Nasbey, H. (2014, October). Pengaruh Temperatur Pengeringan Pada Aktivasi Arang Tempurung Kelapa Dengan Asam Klorida dan Asam Fosfat Untuk Penyaringan Air Keruh. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* (Vol. 3, pp. 289-293).