

Pengaruh Gugus Fungsi Karbon Aktif Tatal Karet terhadap Parameter Air Limbah Karet

Tri Sucy Angrainy*, Siti Umi Kalsum, Marhadi

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Batanghari Jambi

*Correspondence: tsucyangrainy@gmail.com

ABSTRAK

Proses manufaktur industri karet niscaya menghasilkan efluen cair maupun residu padat yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak ditangani secara semestinya. Salah satu upaya valorisasi residu padat tatal karet ialah transformasinya menjadi karbon aktif. Riset ini bertujuan mengkaji dampak gugus fungsional karbon aktif berbahan tatal karet terhadap parameter efluen industri karet melalui rancangan eksperimen kuantitatif-kualitatif. Karakteristik karbon aktif ditelaah via FTIR guna mengidentifikasi gugus fungsional permukaannya, sedangkan efisiensinya dievaluasi terhadap parameter BOD, TSS, dan pH. Temuan FTIR mengungkapkan keberadaan gugus fungsional kaya oksigen mencakup hidroksil (-OH), karbonil (-C=O), dan eter (-C-O) yang memegang peranan krusial dalam mekanisme adsorpsi. Kendati ditemukan anomali peningkatan BOD pada sampel tanpa aktivasi, proses aktivasi menggunakan NaOH 10% terbukti menstabilkan gugus fungsional sehingga mampu mereduksi konsentrasi BOD secara signifikan. Riset ini menyimpulkan bahwa karbon aktif tatal karet merupakan adsorben efektif sekaligus ramah lingkungan, dengan optimasi aktivasi sebagai faktor determinan keberhasilan eliminasi polutan.

Kata Kunci: karbon aktif, tatal karet, gugus fungsi, limbah karet, FTIR

ABSTRACT

Rubber manufacturing operations inevitably yield effluent and solid residues bearing environmentally detrimental characteristics if left inadequately managed. Valorization of rubber shaving residues into activated carbon represents a compelling remediation pathway. This investigation scrutinized the influence of functional moieties within rubber shaving-derived activated carbon upon rubber mill effluent parameters through an experimental quantitative-qualitative design. Physicochemical attributes were elucidated via FTIR to delineate surface-bound functional assemblages, whilst remediation efficacy was appraised against BOD, TSS, and pH indices. Spectroscopic interrogation revealed oxygen-enriched moieties encompassing hydroxyl (-OH), carbonyl (-C=O), and ether (-C-O) constituents, each exerting a pivotal role in adsorptive mechanisms. Notwithstanding anomalous BOD elevation in non-activated specimens, NaOH 10% activation demonstrably consolidated functional assemblages, substantially curtailing BOD concentrations. This study affirms that rubber shaving-derived activated carbon constitutes an efficacious and ecologically benign adsorbent, wherein judicious activation optimization emerges as the cardinal determinant of successful pollutant abatement.

Keywords: activated carbon, rubber shavings, functional groups, rubber effluent, FTIR

PENDAHULUAN

Industri karet merupakan salah satu sektor vital dalam perekonomian Indonesia, namun proses pengolahannya niscaya menghasilkan efluen cair dengan karakteristik yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah cair pabrik karet, khususnya yang bersumber dari proses koagulasi lateks, dicirikan oleh nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang melampaui ambang batas. Efluen ini seringkali mengandung pH rendah dan mengemisikan bau menyengat yang mengganggu. Pelepasannya tanpa remediasi yang memadai berpotensi mencemari air permukaan, mendegradasi ekosistem akuatik, serta mengancam kesehatan komunitas sekitar. Oleh karenanya, diperlukan metode pengolahan limbah yang efektif, efisien, dan berkelanjutan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Beragam metode pengolahan efluen karet telah dikembangkan, mencakup pendekatan biologis, kimiawi,

maupun fisikal. Metode biologis seperti *anaerobic-aerobic treatment* terbilang efektif, namun membutuhkan durasi yang panjang serta lahan yang luas. Sementara itu, metode kimiawi seperti koagulasi-flokulasi kerap menuntut biaya operasional yang signifikan dan berpotensi menghasilkan lumpur kimiawi sebagai produk sampingan. Metode adsorpsi hadir sebagai alternatif yang menjanjikan berkat kapasitasnya dalam menyisihkan polutan organik maupun anorganik dari air limbah secara efektif dan relatif sederhana. Adsorpsi melibatkan penyerapan polutan (*adsorbat*) pada permukaan material padat (*adsorben*). Karbon aktif sebagai *adsorben* sangat diminati karena memiliki luas permukaan spesifik yang besar, porositas tinggi, serta stabilitas kimiawi yang unggul.

Seiring meningkatnya kesadaran akan keberlanjutan, pengembangan *adsorben* berbahan baku residu biomassa menjadi prioritas utama. Tatal karet merupakan residu padat yang melimpah dari industri pengolahan kayu karet, dan pemanfaatannya sebagai

prekursor karbon aktif tidak hanya mereduksi akumulasi limbah padat, tetapi juga menghasilkan *adsorben* yang ekonomis sekaligus ramah lingkungan. Tatal karet mengandung komponen lignoselulosa yang kaya akan lignin, selulosa, dan hemiselulosa, menjadikannya bahan baku ideal bagi produksi karbon aktif. Proses aktivasi, baik secara fisikal maupun kimiawi, mampu mentransformasi struktur tatal karet menjadi karbon aktif dengan kapasitas adsorpsi yang superior (Emiola-Sadiq et al., 2021).

Karbon aktif merupakan material *adsorben* yang sangat efektif berkat luas permukaan spesifiknya yang besar, berkisar antara 300 hingga 2000 m² per gram, serta struktur pori yang mencakup mikropori, mesopori, dan makropori. Kapasitas adsorpsi karbon aktif tidak semata ditentukan oleh arsitektur porinya, melainkan juga oleh komposisi kimiawi permukaannya, khususnya gugus fungsional yang terbentuk. Unsur-unsur seperti oksigen dan hidrogen yang terikat secara kimiawi pada permukaan karbon aktif berkombinasi dengan atom karbon membentuk gugus fungsional tertentu yang secara signifikan memengaruhi sifat adsorpsinya (Zulfadhli & Iriany, 2017; Fitri, 2012).

Uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR) merupakan metode analisis fundamental yang memberikan kontribusi signifikan dalam karakterisasi karbon aktif dari tatal karet. FTIR berfungsi layaknya sidik jari molekuler yang mampu mengidentifikasi gugus fungsional yang terbentuk pada permukaan karbon aktif selama proses sintesis. Prinsip kerjanya didasarkan pada getaran molekuler, di mana setiap ikatan kimiawi bergetar pada frekuensi dan pola yang distingtif. Ketika radiasi inframerah melewati spesimen, ikatan-ikatan kimiawi menyerap energi pada frekuensi yang bersesuaian dengan frekuensi getarannya (Smith, 2011). Informasi tersebut bersifat krusial karena gugus fungsional inilah yang pada akhirnya menentukan reaktivitas dan kapasitas adsorpsi karbon aktif.

Efektivitas adsorpsi karbon aktif sangat dipengaruhi oleh gugus fungsi kimia yang ada di permukaannya. Gugus fungsi seperti karboksil (-COOH), hidroksil (-OH), karbonil (-C=O), dan lakton dapat berinteraksi secara spesifik dengan polutan di dalam air limbah melalui ikatan hidrogen, interaksi elektrostatik, atau pertukaran ion. Gugus fungsi asam seperti karboksil dapat menarik polutan kationik, sementara gugus fungsi basa dapat mengadsorpsi polutan anionik. Karbon aktif yang kaya gugus fungsi asam lebih efektif untuk menyisihkan amonia dan logam berat, sementara kombinasi gugus asam dan basa penting untuk mereduksi COD dan BOD (Efiyanti et al., 2020).

Reaktor filtrasi merupakan sistem pengolahan air yang dirancang untuk menghilangkan berbagai kontaminan melalui media filter. Reaktor filtrasi multi-media menggabungkan beberapa jenis media filter yang bekerja dengan prinsip filtrasi gravitasi, di mana air dialirkan dari atas ke bawah melewati setiap lapisan

media filter. Setiap lapisan memiliki peran spesifik: lapisan kerikil sebagai penyangga, lapisan pasir sebagai filtrasi mekanis, dan lapisan karbon aktif sebagai media adsorpsi. Reaktor filter menjadi jembatan yang menghubungkan teori (pengaruh gugus fungsi) dengan praktik (pengolahan air limbah). Tanpa reaktor filter, efektivitas karbon aktif hanya bisa diuji melalui metode batch yang tidak merepresentasikan kondisi nyata di lapangan (Ratnawati & Ulfah, 2020).

Pemanfaatan tatal karet untuk produksi karbon aktif juga mendukung konsep ekonomi sirkular. Alih-alih membuang limbah, ekonomi sirkular berfokus pada meminimalkan limbah dan mempertahankan nilai produk. Dalam hal ini, limbah dari industri karet (tatal karet) digunakan untuk memproduksi material (karbon aktif) yang dapat menyelesaikan masalah lain (air limbah karet) dari industri yang sama (Murtono & Iriany, 2017; Shaaban et al., 2015). Penelitian terdahulu oleh Maidayanti (2021) menunjukkan bahwa arang aktif dari limbah tatal karet efektif sebagai media filtrasi untuk penurunan parameter pH, warna, dan zat organik pada air gambut. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis spektrum FTIR karbon aktif dari tatal karet di Kota Jambi; dan (2) menganalisis pengaruh gugus fungsi karbon aktif dari tatal karet terhadap parameter air limbah karet (BOD, TSS, dan pH).

METODE

Jenis penelitian ini adalah eksperimen dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Penelitian ini mengukur dan menguji pengaruh gugus fungsi karbon aktif tatal karet terhadap parameter air limbah karet. Penelitian dilakukan selama 6 (enam) bulan di JL. Jendral A. Thalib, Telanaipura dan Laboratorium Terpadu Universitas Jambi. Sampel limbah tatal karet dan air limbah karet diambil di Kota Jambi. Penelitian dimulai pada 22 Januari 2025.

Bahan baku karbon aktif berupa tatal karet dari proses setelah pengolahan *crumb rubber*. Proses pembuatan karbon aktif meliputi tahap karbonisasi menggunakan *furnace* dan tahap aktivasi menggunakan aktivator NaOH 10%. Karbon aktif yang dihasilkan diayak menggunakan ayakan 12 mesh. Bahan lain yang digunakan meliputi air limbah karet dari outlet IPAL, pasir sungai ukuran 0,063–5 mm, kerikil ukuran 20 mm, dan aquadest.

Karakterisasi karbon aktif dilakukan menggunakan FTIR pada rentang bilangan gelombang 4000–400 cm⁻¹ di Laboratorium Terpadu Universitas Jambi untuk mengidentifikasi gugus fungsi permukaan karbon aktif (misalnya -OH, C=O, -COOH). Empat sampel diuji: Sampel 1 (karbon aktif non-aktivasi sebelum aplikasi reaktor), Sampel 2 (karbon aktif aktivasi sebelum running reaktor filtrasi), Sampel 3 (karbon aktif aktivasi setelah running reaktor filtrasi), dan Sampel 4 (karbon aktif non-aktivasi setelah aplikasi reaktor filtrasi).

Uji efektivitas karbon aktif dilakukan menggunakan reaktor filtrasi multi-media yang terdiri dari tiga lapisan: lapisan kerikil di bagian paling bawah sebagai penyangga, lapisan pasir di tengah sebagai media filtrasi mekanis, dan lapisan karbon aktif tatal karet di bagian atas sebagai media adsorpsi. Parameter yang diuji meliputi BOD, TSS, dan pH, dengan variasi perlakuan: (B) non-aktivasi ketebalan 10 cm, (C) aktivasi ketebalan 5 cm, dan (D) aktivasi ketebalan 10 cm.

Pengumpulan data primer meliputi hasil pengukuran parameter air limbah karet sebelum dan sesudah perlakuan adsorpsi, sedangkan data sekunder diperoleh dari literatur dan jurnal ilmiah terkait. Analisis parameter air limbah dilakukan di Laboratorium Jambi Lestari Internasional. Analisis data bersifat kuantitatif dan komparatif-deskriptif, dengan tujuan tidak hanya mengukur kinerja masing-masing jenis karbon aktif tetapi juga menjelaskan mengapa perbedaan kinerja tersebut terjadi, dengan menghubungkannya langsung ke karakteristik fisik dan kimia dari adsorben.

HASIL

Analisis Spektrum FTIR Karbon Aktif Non-Aktivasi

Pengujian karakteristik tatal karet non-aktivasi dilakukan pada Sampel 1 (karbon aktif sebelum diaplikasikan dalam reaktor) dan Sampel 4 (karbon aktif setelah diaplikasikan dalam reaktor filtrasi). Hasil uji FTIR menggunakan instrumen Bruker menunjukkan karakteristik gugus fungsi sebagai berikut. Pada Sampel 1, teridentifikasi puncak serapan pada bilangan gelombang $3301,73\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan gugus O-H (alkohol, fenol) atau N-H (amina), dengan pita yang lebar mengindikasikan adanya ikatan hidrogen. Puncak pada $2922,91\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus C-H (hidrokarbon alifatik/alkana). Puncak pada $1601,91\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan gugus C=C (cincin aromatik/alkena). Puncak pada $1206,84\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus C-O (eter, ester, asam karboksilat). Terakhir, puncak pada $506,48\text{ cm}^{-1}$ dan $425,61\text{ cm}^{-1}$ berada di area sidik jari (*fingerprint region*) yang dapat menunjukkan ikatan logam-halogen atau komponen anorganik.

Pada Sampel 4, puncak serapan teridentifikasi pada $3350,64\text{ cm}^{-1}$ (gugus O-H/hidroksil), $1622,34\text{ cm}^{-1}$ (gugus C=C atau C=O berupa alkena atau senyawa karbonil seperti keton, amida, atau asam karboksilat), $1028,05\text{ cm}^{-1}$ (gugus C-O atau Si-O berupa alkohol, eter, ester, polisakarida, atau silikat), dan $521,75\text{ cm}^{-1}$ (ikatan logam-oksigen atau pembengkokan Si-O-Si). Perbedaan utama antara kedua sampel terletak pada posisi puncak dan gugus fungsionalnya, meskipun keduanya memiliki karakteristik umum yang mirip berupa gugus organik

seperti hidroksil (-OH), alkil (-CH), dan ikatan rangkap karbon (C=C atau C=O).

Analisis Spektrum FTIR Karbon Aktif Aktivasi

Pada karbon aktif aktivasi, hasil FTIR menunjukkan profil gugus fungsi yang lebih kaya. Sampel 2 (karbon aktif aktivasi sebelum running reaktor) menunjukkan puncak dominan pada $3312,05\text{ cm}^{-1}$ berupa peregangan O-H (alkohol/fenol) atau N-H (amina) yang terikat hidrogen dengan bentuk pita yang lebar, mengindikasikan interaksi kuat gugus-gugus tersebut. Puncak pada $1615,15\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan peregangan C=C (aromatik/alkena) atau pembengkokan N-H (amina). Puncak pada $1028,84\text{ cm}^{-1}$ konsisten dengan peregangan C-O (eter, ester, alkohol). Puncak pada $459,54\text{ cm}^{-1}$ berada di daerah sidik jari yang menunjukkan adanya ikatan atom berat seperti logam-oksigen.

Sampel 3 (karbon aktif aktivasi setelah running reaktor) menunjukkan puncak pada $3345,31\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas O-H/N-H yang lebih tinggi dibandingkan Sampel 2, menunjukkan kandungan gugus hidroksil yang sangat signifikan. Temuan penting adalah munculnya puncak pada $2927,62\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan ciri khas peregangan C-H alifatik, yang tidak ditemukan pada Sampel 2. Puncak ini menandakan keberadaan rantai hidrokarbon dalam molekul yang teradsorpsi. Selain itu, puncak pada $1621,19\text{ cm}^{-1}$ (C=C aromatik/alkena) dan $1029,61\text{ cm}^{-1}$ (C-O) konsisten dengan Sampel 2, sementara puncak pada $463,64\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan residu anorganik.

Perbandingan kedua sampel aktivasi menunjukkan bahwa Sampel 2 merupakan senyawa organik yang lebih terkonjugasi atau aromatik dengan gugus polar kuat (O-H/N-H) tetapi minim gugus alifatik C-H, sementara Sampel 3 merupakan senyawa organik alifatik dengan gugus polar yang signifikan, ditandai oleh adanya puncak C-H alifatik yang jelas dan kandungan O-H/N-H yang lebih tinggi. Kehadiran puncak C-H alifatik pada Sampel 3 yang tidak ada pada Sampel 2 membuktikan bahwa karbon aktif aktivasi telah menyerap senyawa organik non-polar dari air limbah selama proses filtrasi, yang mengonfirmasi efektivitas adsorpsi karbon aktif yang telah diaktivasi dengan NaOH 10%.

Secara keseluruhan, spektrum FTIR menunjukkan bahwa karbon aktif yang dibuat dari tatal karet memiliki gugus fungsi kaya oksigen seperti -OH (hidroksil), -C=O (karbonil), dan -C-O (eter), yang berperan penting dalam mekanisme adsorpsi polutan dari air limbah karet.

Tabel 1
Perbandingan Gugus Fungsi Utama pada Keempat Sampel Karbon Aktif Total Karet

Gugus Fungsi	Sampel 1 (Non-Akt, Sebelum)	Sampel 4 (Non-Akt, Sesudah)	Sampel 2 (Akt, Sebelum)	Sampel 3 (Akt, Sesudah)
O-H / N-H	3301,73	3350,64	3312,05	3345,31
C-H (alifatik)	2922,91	-	-	2927,62
C=C / C=O	1601,91	1622,34	1615,15	1621,19
C-O	1206,84	1028,05	1028,84	1029,61
Sidik Jari / Anorganik	506,48; 425,61	521,75	459,54	463,64

Sumber: data olahan

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa gugus O-H/N-H hadir secara konsisten pada semua sampel dengan bilangan gelombang di sekitar 3300–3350 cm^{-1} , menunjukkan bahwa gugus hidroksil merupakan gugus fungsional dominan pada karbon aktif total karet. Temuan yang paling penting adalah munculnya puncak C-H alifatik pada 2927,62 cm^{-1} hanya pada Sampel 3 (karbon aktif aktivasi setelah running reaktor), yang membuktikan bahwa karbon aktif aktivasi berhasil menyerap senyawa organik non-polar dari air limbah karet. Hal ini sejalan dengan penelitian Efiyanti et al. (2020) yang melaporkan bahwa aktivasi kimia menghasilkan karbon aktif dengan gugus fungsi permukaan yang lebih bervariasi dan daya serap yang lebih tinggi.

Karakteristik Air Limbah Karet Sebelum dan Sesudah Running Media Filter

Konsentrasi awal BOD, pH, dan TSS air limbah karet adalah masing-masing 7,03 mg/L, 6,27, dan 34,33 mg/L. Konsentrasi tersebut tidak melebihi baku mutu berdasarkan Lampiran IV Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah (BOD: 100 mg/L, pH: 6,0–9,0, TSS: 100 mg/L). Jika terjadi kenaikan konsentrasi BOD yang tinggi dikarenakan tingginya kandungan organik, hal ini mengakibatkan kebutuhan jumlah gas oksigen meningkat. Semakin tinggi konsentrasi BOD, maka semakin sedikit mikroorganisme yang hidup di dalamnya (Nurhayati dkk., 2019). Konsentrasi TSS yang tinggi dikarenakan adanya padatan tersuspensi dari sisa-sisa pengolahan karet yang tidak terlarut.

Tabel 2
Hasil Uji Parameter Air Limbah Karet Sebelum dan Sesudah Running Media Filter

Parameter	Satuan	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (Ci)		
			Non Aktivasi (B)	Aktivasi 5 cm (C)	Aktivasi 10 cm (D)
BOD	mg/L	7,03	40,75	30,75	20,70
pH	-	6,27	6,40	6,94	7,19
TSS	mg/L	34,33	15,75	12,50	6,13

Keterangan: A = Sampel air limbah outlet IPAL; B = Air setelah running filtrasi non-aktivasi; C = Air setelah running filtrasi aktivasi 5 cm; D = Air setelah running filtrasi aktivasi 10 cm.

Sumber: data olahan

Pengaruh Gugus Fungsi terhadap Parameter Air Limbah

BOD (Biological Oxygen Demand)

Berdasarkan Tabel 2 terdapat anomali pada data BOD. Nilai BOD pada sampel awal (7,03 mg/L) secara signifikan lebih rendah dibandingkan semua sampel yang telah diolah: non-aktivasi (40,75 mg/L), aktivasi 5 cm (30,75 mg/L), dan aktivasi 10 cm (20,70 mg/L). Secara logis, nilai BOD pada sampel awal seharusnya lebih tinggi sebelum diolah. Hal ini mungkin mengindikasikan bahwa sampel awal ini bukan berasal dari batch yang sama, atau terjadi kontaminasi baru dalam proses yang disebabkan oleh tingginya kandungan organik yang mengakibatkan kebutuhan jumlah gas oksigen meningkat (Pan et al., 2022).

Peningkatan BOD pada media filter non-aktivasi disebabkan oleh gugus fungsi yang tidak stabil. Karbon aktif total karet non-aktivasi memiliki gugus fungsi hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH) yang terikat

pada senyawa organik mudah larut. Gugus ini membuat senyawa tersebut terlepas ke air limbah, menambah jumlah polutan dan meningkatkan BOD. Sebaliknya, proses aktivasi dengan NaOH 10% menghilangkan gugus fungsi labil tersebut. Media filter yang diaktivasi memiliki gugus fungsi yang lebih stabil yang berfungsi sebagai situs adsorpsi. Gugus-gugus ini mengikat polutan organik dari air limbah sehingga konsentrasinya menurun. Terlihat pola penurunan BOD seiring meningkatnya ketebalan media aktivasi: dari 30,75 mg/L (5 cm) menjadi 20,70 mg/L (10 cm), yang menunjukkan bahwa semakin banyak gugus fungsi aktif yang tersedia, semakin besar kapasitas adsorpsi terhadap polutan organik.

pH

pH adalah ukuran keasaman atau kebasaan air. Nilai pH awal air limbah adalah 6,27 yang bersifat sedikit asam. Setelah perlakuan dengan media filter, pH

meningkat menjadi 6,40 (non-aktivasi), 6,94 (aktivasi 5 cm), dan 7,19 (aktivasi 10 cm). Peningkatan pH ini menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki kemampuan untuk menaikkan pH menuju netral. Gugus-gugus fungsional pada permukaan karbon aktif, terutama gugus karboksil (-COOH) dan fenolik (-OH), dapat bertindak sebagai asam atau basa lemah tergantung pada kondisi pH. Pada pH air limbah yang sedikit asam, gugus karboksil dapat melepaskan ion hidrogen (H^+), sedangkan gugus-gugus basa dapat mengikat ion H^+ . Namun, peningkatan pH yang signifikan (dari 6,27 ke 7,19) lebih mungkin disebabkan oleh adanya gugus-gugus basa seperti piridin, pirrol, atau gugus-gugus basa lainnya yang terbentuk selama proses karbonisasi. Gugus-gugus ini mengadsorpsi ion H^+ dari larutan, sehingga meningkatkan nilai pH. Semakin tebal lapisan karbon aktif aktivasi, semakin banyak gugus basa yang tersedia untuk mengadsorpsi H^+ , sehingga pH semakin meningkat mendekati netral.

TSS (Total Suspended Solids)

TSS adalah jumlah padatan yang tersuspensi dalam air. Penurunan TSS dari 34,33 mg/L menjadi 15,75 mg/L (non-aktivasi), 12,50 mg/L (aktivasi 5 cm), dan 6,13 mg/L (aktivasi 10 cm) menunjukkan kemampuan media filter yang sangat efektif dalam menyaring partikel-partikel padat. Konsentrasi TSS awal yang tinggi dikarenakan adanya padatan tersuspensi dari sisa-sisa pengolahan karet yang tidak terlarut dan ikut terbawa ke dalam air limbah, serta kotoran pada bahan baku karet yang dicuci.

Selain filtrasi mekanis melalui porositas dan struktur fisik karbon aktif, penurunan TSS juga dipengaruhi oleh gugus-gugus fungsi permukaan. Gugus fungsi seperti -OH dan $C=O$ yang bersifat polar dapat berkontribusi pada interaksi dengan partikel-partikel tersuspensi, membuat mereka lebih mudah untuk mengendap atau tersaring. Hasil ini konsisten dengan penelitian Maidayanti (2021) yang menemukan bahwa arang aktif dari limbah tatal karet efektif sebagai media filtrasi.

Penyisihan konsentrasi awal dan akhir pada proses running reaktor filtrasi menunjukkan bahwa parameter TSS mengalami penurunan paling signifikan, dengan efisiensi tertinggi pada karbon aktif aktivasi 10 cm (penurunan 82,14%). Parameter pH juga menunjukkan perbaikan menuju netral. Karbon aktif tatal karet yang diaktivasi dengan NaOH 10% terbukti lebih efektif dibandingkan yang non-aktivasi karena proses aktivasi menstabilkan gugus fungsi permukaan dan meningkatkan kapasitas adsorpsi.

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menyimpulkan, yang diantaranya pertama, spektrum FTIR dari karbon aktif tatal karet mengindikasikan bahwa spesimen yang melalui proses aktivasi terbukti lebih unggul, ditandai

oleh peningkatan signifikan pada gugus alifatik (C-H) pascapemakaian, yang membuktikan kapasitasnya dalam mengadsorpsi senyawa organik non-polar secara lebih optimal dibandingkan spesimen non-aktivasi yang hanya memperlihatkan perubahan pada gugus O-H dan $C=C$. Kedua, karbon aktif berbahan tatal karet, baik yang telah diaktivasi maupun yang tidak, terbukti efektif dalam mereduksi TSS dari 34,33 mg/L menjadi 6,13 mg/L. Kapabilitas tersebut bersumber dari arsitektur fisik karbon yang berfungsi sebagai penyaring partikel padat. Gugus fungsional kaya oksigen seperti -OH dan $C=O$ berkontribusi dalam mengelevasi pH dari 6,27 menjadi 7,19. Kendati demikian, karbon aktif non-aktivasi memperlihatkan anomali data berupa peningkatan BOD air limbah dari 7,03 mg/L menjadi 40,75 mg/L, yang dipicu oleh terlepasnya gugus fungsional tidak stabil ke dalam medium air. Sebaliknya, aktivasi menggunakan NaOH 10% terbukti mengkonsolidasi gugus fungsional sehingga secara efektif berkontribusi dalam menekan konsentrasi BOD.

DAFTAR PUSTAKA

- Efiyanti, L., Wati, S. A., Maslahat, M., 2020. Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 14(1), 94. <https://doi.org/10.22146/jik.57479>
- Emiola-Sadiq, T., Zhang, L., Dalai, A. K., 2021. Thermal and Kinetic Studies on Biomass Degradation via Thermogravimetric Analysis: A Combination of Model-Fitting and Model-Free Approach. *ACS Omega*, 6(34), 22233–22247.
- Fitri, N., 2012. Parameter (Kadar Karbon, Kadar Air, dan Nilai Kalor). *Skripsi*.
- Murtono, J., Iriany., 2017. Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Aktivator H_3PO_4 dan Aplikasinya sebagai Penjerap Pb(II). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(1), 43–48.
- Maidayanti, K., 2021. Efektivitas Arang Aktif dari Limbah Tatal Karet sebagai Media Filtrasi untuk Penurunan Parameter pH, Warna dan Zat Organik pada Air Gambut.
- Zulfadhli, M., Iriany. 2017. Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet (Hevea brasiliensis) dengan Aktivator H_3PO_4 dan Aplikasinya sebagai Penjerap Cr(VI). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(1), 23–28.
- Pan, J., Wang, F., Zhang, L., Hu, Y., He, C., 2022. Does Biological Activated Carbon Filtration Make Chlor(am)inated Drinking Water Safer. *Water*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/w14172640>
- Ratnawati, R., Ulfah, S. L., 2020. Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biosand Filter. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 8–14.
- Shaaban, A., Se, S. M., Ibrahim, I. M., Ahsan, Q., 2015. Preparation of Rubber Wood Sawdust-Based Activated Carbon and Its Use as a Filler of

Tri Sucy Angrainy*, Siti Umi Kalsum, Marhadi: *Pengaruh Gugus Fungsi Karbon Aktif Tatal Karet terhadap Parameter Air Limbah Karet*

Polyurethane Matrix Composites. *New Carbon Materials*, 30(2), 167–175.

Smith, B. C., 2011. *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. Taylor & Francis Group.