

Adsorpsi Zat Organik Limbah *Laundry* Menggunakan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz)

Mita Destanti¹, Rahmawati^{1*}, Nirmala Sari¹, Fera Annisa², T. Andi Fadlly¹

¹Universitas Samudra

Jln. Prof. Dr. Thayeb Syarif, Kota Langsa, Aceh

²Universitas Islam Negri Ar-Raniry

Jln. Jl. Prof. Dr. Syech Abdurrauf, Kota Banda Aceh, Aceh

*E-mail: rahmawati@unsam.ac.id

Abstrak

Dalam penelitian ini telah disintesis karbon aktif dari limbah kulit singkong, dengan tujuan untuk menganalisis efektivitasnya dalam menurunkan kadar BOD dan COD pada limbah cair *laundry*. Karbon aktif disintesis melalui proses karbonisasi pada variasi suhu (250°C, 300°C, 350°C) selama 1,5 jam, selanjutnya diaktivasi kimia menggunakan KOH 2% dan aktivasi fisika dengan gelombang mikro. Karakterisasi morfologi menggunakan SEM, dan efektivitas adsorpsi diuji dengan variasi waktu kontak 0 dan 5 hari untuk parameter BOD, COD, pH, dan suhu. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan suhu karbonisasi 300°C menghasilkan struktur pori mikro dan mesopori yang optimal tanpa kerusakan struktural. Perlakuan dengan karbon aktif hasil karbonisasi 300°C (sampel A2) menunjukkan kinerja terbaik, dengan penurunan BOD dari 450 mg/L menjadi 200 mg/L dan COD dari 21,7 mg/L menjadi 3,72 mg/L. Nilai pH dan suhu setelah adsorpsi juga memenuhi baku mutu lingkungan, yaitu pH netral (7) dan suhu 25,7°C. Karbon aktif dari limbah kulit singkong terbukti efektif sebagai adsorben ramah lingkungan untuk pengolahan limbah *laundry*.

Kata kunci: karbon aktif, kulit singkong, limbah *laundry*, BOD, COD, Adsorpsi.

Abstract

In this study, activated carbon from cassava peel waste has been synthesized, with the aim of analyzing its effectiveness in reducing BOD and COD levels in laundry wastewater. Activated carbon was synthesized through a carbonization process at various temperatures (250°C, 300°C, 350°C) for 1.5 hours, then chemically activated using 2% KOH and physically activated with microwaves. Morphological characterization using SEM, and adsorption effectiveness was tested with contact time variations of 0 and 5 days for BOD, COD, pH, and temperature parameters. The results of SEM characterization showed that the carbonization temperature of 300°C produced optimal micro and mesoporous pore structures without structural damage. Treatment with activated carbon from 300°C carbonization (sample A2) showed the best performance, with a decrease in BOD from 450 mg/L to 200 mg/L and COD from 21.7 mg/L to 3.72 mg/L. The pH and temperature values after adsorption also meet environmental quality standards, namely neutral pH (7) and temperature 25.7°C. Activated carbon from cassava peel waste has been proven to be effective as an environmentally friendly adsorbent for laundry waste processing.

Keywords: activated carbon, cassava peel, laundry wastewater, BOD, COD, adsorption.

PENDAHULUAN

Ekosistem perairan dengan kata lain disebut dunia air, menjadi tempat semua elemen di dalamnya saling berinteraksi untuk

menciptakan suatu keseimbangan. Aktivitas manusia, terutama dari sektor industri dan rumah tangga, merupakan penyumbang dominan terhadap penurunan kualitas ekosistem ini. Kontaminan utama tersebut

banyak bersumber dari limbah cair, yang berbentuk cairan mengandung partikel terlarut dan tersuspensi yang rentan terhadap perubahan fisiko-kimia (Leonard, Wahyuni, dan Hasanuddin 2024). Dari beragam jenis limbah domestik, buangan dari bisnis *laundry* muncul sebagai perhatian kritis. Limbah ini mengandung detergen dalam konsentrasi tinggi, yang terdiri atas senyawa surfaktan kompleks yang diperkuat dengan aditif seperti fosfat, bahan pemutih, dan pewangi. Senyawa-senyawa ini bersifat persisten dan berpotensi toksik terhadap organisme air, mengacaukan keseimbangan ekosistem akuatik, serta mencemari sumber air tanah (Klimonda dan Kowalska 2025)

Secara visual, pencemaran dari limbah *laundry* sering dikenali dari banyaknya gelembung busa di permukaan air, yang menandakan tingginya konsentrasi surfaktan ionik. Namun, dampak yang lebih mengkhawatirkan justru terjadi pada tingkat parameter kimiawi. Akumulasi material organik dari detergen meningkatkan beban pencemaran air, yang tercermin dari nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi (Jayanto, Widyastuti, dan Hadi 2021; Rianda, Badriani, dan Kartini 2024). BOD mengukur konsumsi oksigen oleh mikroba untuk mendegradasi material organik secara biologis, sementara COD mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi seluruh materi organik melalui reaksi kimia. Tingginya nilai BOD dan COD mengindikasikan penurunan drastis oksigen terlarut (DO), yang memicu kondisi anaerobik dan berakibat fatal bagi ikan serta biota perairan lain (Rianda dkk. 2024; Shinta Esharikha dan Firra Rosariawari 2023). Oleh karena itu, pencarian teknik yang efisien dan efektif untuk mereduksi kadar BOD dan COD dalam limbah *laundry* merupakan suatu kebutuhan mendesak.

Salah satu teknologi pengolahan yang telah teruji keampuhannya adalah adsorpsi memanfaatkan karbon aktif (*activated carbon*). Karbon aktif adalah material berbasis karbon yang diproses secara khusus untuk memperoleh luas permukaan yang sangat besar (dapat mencapai 1000-1500 m²/g) serta

kapasitas penyerapan yang tinggi terhadap beragam pengotor, termasuk zat organik (Alongamo dkk. 2021; Charmas, Zięzio, dan Jedynak 2023; Usman dan Wahyuningsih 2022). Keefektifannya bersumber dari struktur berporinya (mikro, meso, dan makro) serta keberadaan gugus fungsi permukaan yang mampu mengikat polutan. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan karbon aktif semakin meluas berkat keunggulannya dalam meningkatkan reaktivitas permukaan dan menyerap polutan tertentu (Blachnio dkk. 2020; Fadlly dan Harmawan 2019; Putra, Farma, dan Darussyamsu 2021).

Meski demikian, kendala utama dalam penggunaan karbon aktif komersial adalah harganya yang relatif tinggi. Hal ini mendorong eksplorasi bahan baku alternatif yang murah, berkelanjutan, dan berasal dari limbah pertanian atau industri. Pendekatan *waste to wealth* ini tidak hanya mengatasi masalah limbah tetapi juga menciptakan nilai tambah. Dua material yang dinilai sangat potensial adalah limbah batok kelapa, kulit singkong, tandan kelapa sawit, tongkol jagung, sekam padi dan ampas tebu (Blachnio dkk. 2020; Mishra, Singh, dan Acharya 2024; Moshood Abioye dan Ani 2017).

Kulit singkong, yang merupakan sisa dari pengolahan tapioka atau keripik, menyumbang sekitar 15-20% dari berat total umbi. Selama ini, pemanfaatannya hanya sebatas untuk pakan ternak atau dibuang sebagai sampah. Padahal, kulit singkong mengandung unsur karbon yang cukup tinggi, yakni sekitar 59,31%, disertai dengan selulosa non-reduksi dan serat kasar (Afifah dkk. 2022; Noor Isnaini Azkiya dkk. 2023). Komponen lignoselulosa ini merupakan prekursor yang sangat baik untuk sintesis karbon aktif. Keberadaan gugus fungsi seperti hidroksil (-OH), amina (-NH₂), sulfhidril (-SH), dan sianida (-CN) pada strukturnya memberikan kemampuan untuk mengikat ion logam dan molekul organik melalui berbagai mekanisme adsorpsi (Alongamo dkk. 2021; Kayiwa dkk. 2021; Rahmawati dkk. 2025). Secara spesifik, dalam konteks adsorpsi molekul organik, gugus fungsi, luas permukaan dan struktur pori yang berkembang selama aktivasi, memungkinkan arang aktif untuk

membentuk interaksi yang kuat dengan kontaminan organik seperti senyawa pewarna, fenol, dan senyawa penyebab nilai BOD/COD tinggi. Mekanisme pengikatannya tidak hanya melalui penjerapan fisik (fisisorpsi) di dalam pori-pori, tetapi juga melalui interaksi kimia (kemisorpsi) seperti ikatan hidrogen, interaksi dipol-dipol, dan gaya van der Waals antara gugus fungsi pada permukaan arang aktif dengan gugus fungsi dari molekul organik target (Riyanto, Hidayati, dan Martono 2023).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan karbon aktif dalam menentukan penurunan kadar oksigen (melalui parameter BOD dan COD), serta parameter pendukung analisis morfologi karbon aktif, dan pengujian pH serta suhu pada limbah limbah *laundry*. Diharapkan dari hasil diperoleh data ilmiah mengenai efektivitas karbon aktif sebagai adsorben yang ramah lingkungan dan berpotensi diterapkan dalam sistem pengolahan limbah *laundry* sederhana, guna mencegah dampak negatif terhadap keberlanjutan ekosistem perairan.

METODE

Alat dan Bahan

Perangkat utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi oven, pH meter universal, furnace, magnetic stirrer, mortar, ayakan 60 mesh, timbangan analitik, hot plate, microwave, kertas saring, corong gelas, gelas beaker, gelas ukur, erlenmeyer, dan labu ukur 250 mL. Bahan utama yang digunakan adalah kulit singkong (*Manihot esculenta* Crantz), larutan KOH 2%, etanol 96%, dan akuades.

Prosedur Preparasi dan Sintesis Karbon Aktif.

Preparasi awal bahan baku diawali dengan pembersihan kulit singkong dari kontaminan fisik, dilanjutkan dengan pencucian menggunakan akuades untuk menghilangkan kotoran tersisa. Selanjutnya, sampel dipotong menjadi bagian-bagian berukuran kecil dan dikeringkan secara open-air drying di bawah sinar matahari selama 5 hari.

Tahap karbonisasi dilakukan menggunakan furnace pada variasi suhu

250°C, 300°C, dan 350°C dengan waktu tinggal 1,5 jam. Produk karbon yang dihasilkan kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan diayak dengan ayakan 60 mesh untuk memperoleh serbuk dengan ukuran partikel yang seragam.

Serbuk karbon kemudian mengalami aktivasi dua tahap. Aktivasi kimia dilakukan menggunakan larutan aktivator KOH 2% yang direndam selama 1 jam, sedangkan aktivasi fisika dilakukan dengan menggunakan radiasi gelombang mikro (microwave) selama 10 menit. Karbon aktif hasil aktivasi kemudian dinetralisasi hingga mencapai pH netral (≈ 7) untuk menghilangkan sisa alkali. Tahap akhir preparasi melibatkan pengeringan dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam untuk memastikan tidak ada kandungan air yang tersisa (Rahmawati dkk. 2025).

Karakterisasi sampel

Karakterisasi karbon aktif kulit singkong dilakukan untuk menganalisis morfologi permukaan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Karakterisasi berikutnya adalah kemampuan adsorpsi zat organik pada limbah limbah *laundry*. Limbah *laundry* yang diambil adalah air yang masih berada pada corong pencucian, kemudian air tersebut didiamkan selama 5 menit untuk menghilangkan busa. Selanjutnya limbah ini, dimasukkan ke dalam tiga botol. Dilakukan perlakuan pada setiap botol, karbon aktif dimasukan sebanyak 15 gram dalam 150 mL rasio (1:15) dengan variasi suhu dan ditandai dengan nama sampel pada Tabel 1.

Tabel 1. Nama sampel

Nama Sampel	Variasi Suhu
A0	Limbah <i>laundry</i>
A1	Limbah + karbon aktif 250 °C
A2	Limbah + karbon aktif 300 °C
A3	Limbah + karbon aktif 350 °C

Selanjutnya limbah *laundry* diberikan waktu kontak masing-masing sampel tersebut pada hari ke 0 sampai 5 hari. Setiap waktu kontak tersebut dilakukan BOD, COD, pH dan suhu Selanjutnya dilakukan analisis data dari hasil yang diperoleh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi SEM

Berdasarkan Gambar 1(a), karbonisasi pada 250°C memunculkan struktur mikropori yang masih sederhana dan tersebar secara tidak merata, hal ini dikarenakan proses dekomposisi senyawa organik penyusun biomassa yang terhambat. Perlakuan kimia dengan KOH 2% pada suhu ini hanya memberikan dampak terbatas (Hikari dkk. 2024; Perdani, Riyanto, dan Martono 2021; Sulaiman dkk. 2018)

Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa suhu pemanasan optimal 350°C yang diperlihatkan pada Gambar 1(b) menghasilkan perkembangan struktur pori maksimal, dengan karakteristik kombinasi mikropori dan mesopori. Peran aktivator KOH adalah meningkatkan populasi pori aktif melalui mekanisme reaksi pembentukan saluran dalam struktur karbon, sementara stimulasi gelombang mikro mempercepat aromatisasi untuk mencapai porositas tinggi. dengan jumlah rongga yang terbentuk (Chen dkk. 2014; Wahyuni dkk. 2022; Xuyu dkk. 2014)

Sinergi antara karbonisasi suhu optimal bagi kulit singkong ($\geq 300^\circ\text{C}$) dengan aktivasi kimia-fisika ini menghasilkan material karbon aktif dengan area permukaan luas dan morfologi pori yang efektif untuk aplikasi penyerapan. Fenomena pembentukan pori ini digerakkan oleh dekomposisi termal komponen organik, di mana kenaikan temperatur berbanding lurus.

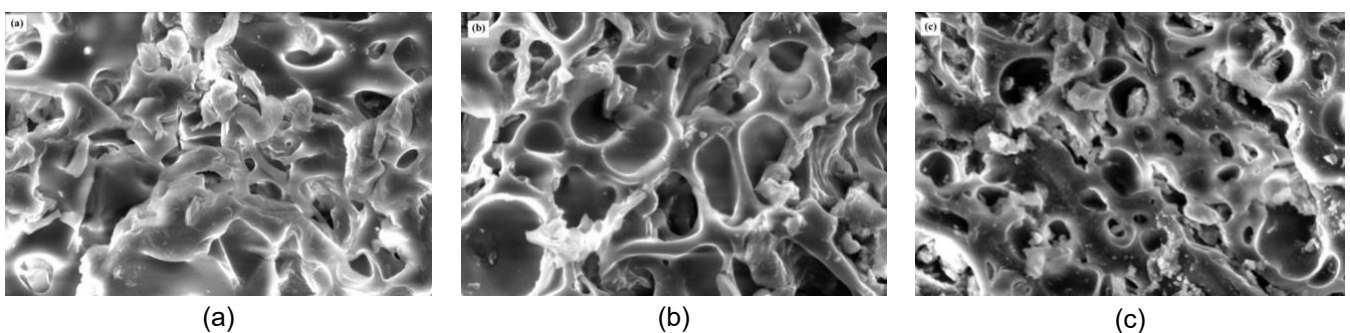
Hasil karakterisasi morfologi permukaan, seperti yang terlihat pada Gambar 1(c), menunjukkan dampak signifikan dari suhu karbonisasi 350°C terhadap integritas

struktural material. Berbeda dengan ekspektasi, suhu setinggi ini justru mendegradasi kekokohan matriks karbon dari kulit singkong yang terbentuk. Teramati bahwa material berhasil membentuk jaringan makropori dan mesopori dengan bukaan yang cukup luas, mengindikasikan dimulainya proses pengembangan pori (Moshood Abioye dan Ani 2017; Xuyu dkk. 2014).

Namun, observasi lebih dekat mengungkapkan kerusakan struktural yang krusial. Dinding-dinding penyusun pori tampak tipis, tidak kontinu, dan mengalami fraktur serta keruntuhan yang ekstensif di berbagai bagian, menciptakan morfologi yang mirip dengan pecahan kaca. Diduga kuat, paparan energi termal yang berlebih telah menyebabkan dekomposisi dan gasifikasi yang terlalu agresif terhadap komponen lignoselulosa penyusun dinding sel. Proses ini tidak hanya mengikis material pembentuk dinding pori tetapi juga menghambat pembentukan ikatan karbon yang stabil dan kuat. Alih-alih menghasilkan struktur berpori yang kokoh, kondisi ini menghasilkan kerangka karbon amorf yang rapuh, dimana dinding pori kehilangan integritas mekaniknya dan menjadi sangat rentan terhadap collapse akibat tegangan termal selama proses aktivasi fisika melalui microwave (Moshood Abioye dan Ani 2017).

Karakterisasi BOD

Analisis *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) atau Kebutuhan Oksigen Biokimia pada limbah limbah *laundry* dilakukan dengan tujuan utama untuk mengkuantifikasi beban pencemar organik yang terkandung di dalamnya. Nilai BOD dapat dilihat pada Tabel 2 serta Gambar 2. Pada gambar dan tabel



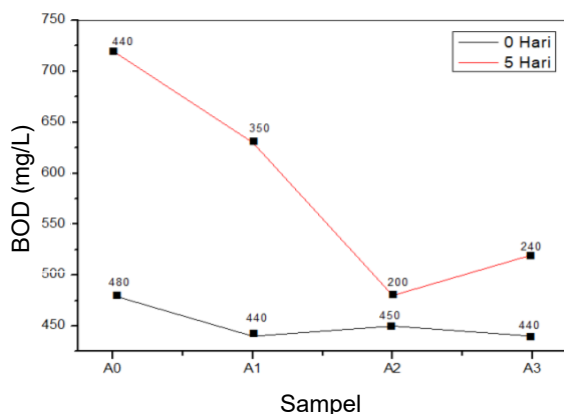
Gambar 1. Hasil analisis SEM pada pembesaran 5000x (a) Suhu 250°C, (b) Suhu 300°C, dan (c) Suhu 350°C.

dibawah menjelaskan bahwa pada proses adsorpsi pada waktu kontak 0 dan 5 hari.

Tabel 2 Nilai BOD 0 hari dan 5 hari

Variasi	Waktu kontak (hari)	Hasil analisis BOD (mg/l)
A0	0	480mg/l
	5	440 mg/
A1	0	440 mg/l
	5	350 mg/l
A2	0	450 mg/l
	5	200 mg/
A3	0	440 mg/l
	5	240 mg/l

Pada waktu kontak awal ($t=0$), diperoleh hasil tingginya nilai BOD disebabkan karena adanya bahan-bahan kimia yang terdapat dalam deterjen yang digunakan pada saat proses pencucian. Pada proses adsorpsi selama waktu kontak 5 hari diperoleh nilai BOD terlihat menurun. Nilai BOD yang dihasilkan pada hari ke 5 masih diatas ambang baku mutu yang telah ditetapkan Menteri Lingkungan Hidup No 5 2014 yaitu 100mg/l. Pada tahap ini terlihat bahwa karbon aktif yang digunakan dapat menurunkan efisiensi penurunan nilai BOD, akan tetapi belum layak untuk dibuang keperairan (Rochma dkk. 2017).



Gambar 2. BOD dengan variasi waktu kontak

Penggunaan karbon aktif dengan volume yang lebih banyak dapat menurunkan kadar nilai BOD, sedangkan pada penelitian ini hanya menggunakan karbon aktif sebanyak 1:15. Pada penelitiannya (Arita, Adipati, dan Sari 2014) mereka menggunakan karbon aktif dari limbah kulit salak sebesar 20 gram dan air limbah industri tekstil sebanyak 100mg/L

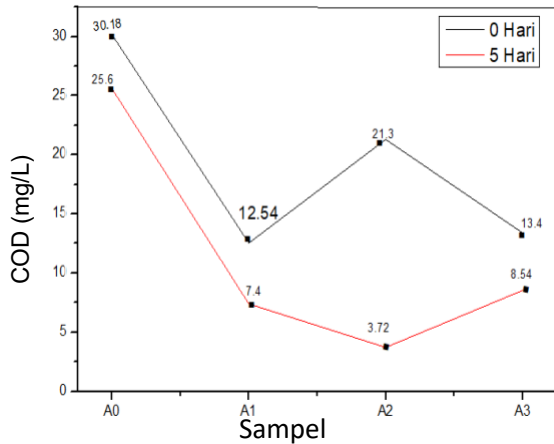
selama waktu kontak 0 hari memperoleh nilai BOD 120mg/L dan pada 5 hari memperoleh nilai sebesar 60mg/L. Hal ini dijelaskan juga oleh (Bayu andika,2020) bahwa dalam penelitian diggunakan karbon aktif sebanyak 50 gram dan 150 mL pada waktu 0 hari memperoleh nilai BOD sebesar 110mg/L, dan pada waktu kontak 5 hari sebesar 50 mg/L.)(Andika, Wahyuningsih, dan Fajri 2020). Dari informasi tersebut dapat dilihat bahwa penambahan karbon lebih banyak dapat berpengaruh untuk penurunan kadar BOD pada air limbah.

Karakterisasi COD

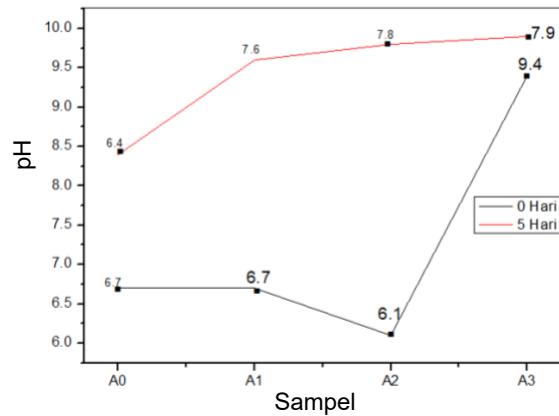
Analisis COD bertujuan untuk mengetahui jumlah oksigen dalam penguraian bahan organik secara kimiawi pada limbah cair. Hasil nilai COD dapat dilihat pada Grafik pada Gambar 3, serta Tabel 3.

Berdasarkan data pada Gambar 3 dan tabel 2, diperoleh nilai COD awal (hari ke-0) untuk setiap sampel. Sampel A0 mencatat nilai COD sebesar 30,18 mg/L (Moshood Abioye dan Ani 2017), sementara sampel perlakuan A1, A2, dan A3 masing-masing memiliki nilai awal sebesar 12,54 mg/L; 21,30 mg/L; dan 13,40 mg/L.

Setelah melalui proses adsorpsi dengan waktu kontak selama 5 hari, terjadi perubahan signifikan pada nilai COD akhir. Sampel A0 mengalami penurunan menjadi 26,60 mg/L. Sementara itu, pada sampel perlakuan dicatat nilai akhir COD sebagai berikut: A1 sebesar 7,40 mg/L, A2 sebesar 3,73 mg/L, dan A3 sebesar 8,54 mg/L. Seluruh nilai COD yang diperoleh dari seluruh sampel setelah perlakuan tersebut telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, yaitu sebesar 200 mg/L.



Gambar 3. COD dengan variasi waktu kontak



Gambar 4. Grafik pH dengan variasi waktu kontak sampel.

Tabel 3 Nilai COD 0 hari dan 5 hari

Sampel	Waktu kontak (hari)	Hasil analisis COD (mg/l)
A0	0	30.18 mg/l
	5	26.6 mg/l
A1	0	12,5 mg/l
	5	7,40 mg/l
A2	0	21,7 mg/l
	5	3,7 mg/l
A3	0	13,4 mg/l
	5	8,8 mg/l

Penurunan nilai COD ini mengindikasikan efektivitas proses adsorpsi dalam mereduksi beban pencemar organik. Menurut Usman dkk (2022), pengolahan limbah dengan menggunakan karbon aktif sebagai adsorben mampu menguraikan kadar bahan organik dan bekerja secara optimal (Usman dan Wahyuningsih 2022). Lebih lanjut, penurunan parameter COD tersebut didukung oleh temuan Daroini dkk. (2020) yang menyatakan bahwa peningkatan jumlah karbon aktif akan memperluas permukaan dan jumlah pori-pori, sehingga meningkatkan kapasitas penyerapan zat-zat organik dalam limbah (Daroini 2020).

Karakterisasi Potensial Hidrogen (pH)

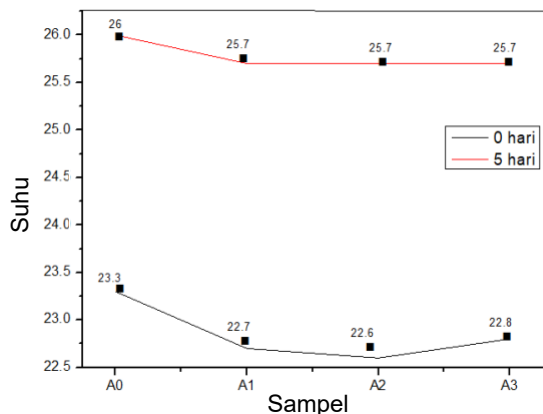
Analisis pH menggunakan alat pHmeter sehingga didapatkan Gambar 4 dibawah ini.

Berdasarkan grafik pada gambar 4, nilai pH awal (waktu kontak 0 hari) untuk masing-masing sampel adalah sebagai berikut: sampel A0 sebesar 6,4; A1 sebesar 6,7; dan A2 sebesar 6,1. Ketiga sampel tersebut menunjukkan kondisi asam lemah yang telah mendekati netral. Di sisi lain, sampel A3 menunjukkan nilai pH 9,4 yang mengindikasikan sifat basa. Tingginya pH pada sampel A3 diduga kuat disebabkan oleh proses pencucian karbon aktif yang kurang optimal setelah aktivasi kimia menggunakan kalium hidroksida (KOH). Senyawa KOH yang bersifat basa dan masih tertinggal pada permukaan karbon diduga menjadi penyebab meningkatnya nilai pH awal.

Setelah menjalani proses adsorpsi selama 5 hari, terjadi perubahan nilai pH pada semua sampel. Sampel A0 mengalami kenaikan menjadi 6,7; A1 menjadi 7,6; A2 menjadi 7,8; dan A3 turun drastis menjadi 7,9. Hasil ini menunjukkan bahwa pH seluruh sampel telah mencapai kondisi netral dan memenuhi baku mutu pembuangan limbah cair sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No.P.5/MENLHK/SETJEN/KUM.1/2/2014. Hal ini sejalan dengan pernyataan Aziz (2020) yang menyatakan bahwa suatu larutan dikatakan netral apabila memiliki nilai pH sekitar 7 (Aziz, Henri, dan Adi 2020).

Karakterisasi Suhu

Hasil pengukuran suhu limbah laundry dapat disajikan grafik 5 dibawah ini.



Gambar 5. Grafik suhu dengan variasi waktu kontak sampel.

Hasil pengukuran pada grafik gambar 5, menampilkan suhu awal (waktu kontak 0 hari) untuk masing-masing sampel sebagai berikut: sampel A0 sebesar 23,3°C; A1 sebesar 22,7°C; A2 sebesar 22,6°C; dan A3 sebesar 22,8°C. Rendahnya suhu awal diduga disebabkan oleh kondisi air limbah yang belum terpapar oleh udara luar maupun radiasi matahari secara langsung. Setelah menjalani proses adsorpsi selama 5 hari, tercatat kenaikan suhu pada semua sampel: A0 menjadi 26,0°C; A1 menjadi 25,7°C; A2 menjadi 25,0°C; dan A3 menjadi 25,7°C. Nilai suhu akhir tersebut masih berada dalam kisaran normal untuk perairan alam, yaitu antara 25–30°C, sehingga memenuhi standar baku mutu lingkungan.

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, sampel A2 (variabel karbonisasi suhu 300°C) menunjukkan kinerja terbaik. Sampel ini berhasil menurunkan nilai BOD hingga 200 mg/L dan COD hingga 3,72 mg/L, serta menstabilkan pH pada kondisi netral (7) dan suhu pada 25,7°C (suhu ruang). Efektivitas sampel A2 ini didukung oleh proses aktivasi yang optimal, di mana pori-pori karbon aktif terbuka dengan baik sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Hal ini sesuai dengan penelitian Usman dkk. (2022) yang menyatakan bahwa aktivasi yang tepat dapat meningkatkan luas permukaan dan memperbanyak pori-pori karbon aktif, sehingga mampu menurunkan parameter pencemar seperti BOD, COD, serta menstabilkan pH dan suhu limbah (Usman dan Wahyuningsih 2022).

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa karbon aktif dari limbah kulit singkong (*Manihot esculenta* Crantz) terbukti efektif sebagai adsorben untuk menurunkan kadar pencemar organik pada limbah cair laundry. Efektivitas adsorpsi karbon aktif tersebut sangat dipengaruhi oleh proses karbonisasi, dimana suhu 300°C terbukti optimal dalam membentuk struktur pori yang stabil dan fungsional. Pada suhu ini, dekomposisi termal komponen lignoselulosa berlangsung sempurna tanpa menyebabkan kerapuhan struktural, sehingga menghasilkan karbon dengan luas permukaan tinggi dan distribusi pori (mikro dan mesopori) yang ideal untuk menjebak molekul polutan. Variasi suhu karbonisasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik dan kinerja karbon aktif. Suhu karbonisasi 300°C (sampel A2) menghasilkan karbon aktif dengan performa terbaik, yang ditunjukkan oleh kemampuan menurunkan nilai BOD hingga 200 mg/L dan COD hingga 3,72 mg/L, serta menstabilkan pH pada kondisi netral (7) dan suhu pada 25,7°C. Hasil ini telah memenuhi baku mutu lingkungan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, sementara BOD menunjukkan penurunan substansial namun masih memerlukan optimasi lebih lanjut untuk mencapai baku mutu. Efektivitas adsorpsi tersebut didukung oleh struktur morfologi karbon aktif yang memiliki porositas optimal akibat sinergi antara aktivasi kimia (KOH) dan fisika (microwave). Karbonisasi pada suhu yang tepat (300°C) tidak hanya mengoptimalkan pembentukan pori tetapi juga mempertahankan integritas mekanik dinding pori, sehingga mencegah keruntuhan struktur selama proses aktivasi dan aplikasi adsorpsi. Dengan demikian, limbah kulit singkong berpotensi sebagai bahan baku yang murah, ramah lingkungan, dan berkelanjutan untuk produksi karbon aktif dalam pengolahan limbah laundry.

REFERENSI

- Afifah, Dini Nur, Neni Damajanti, Maulani Mustholidah, dan Hariyanti. (2022). "Delignification of Cassava Peel by Using Alkaline Hydrogen Peroxide Method: Study of Peroxide Concentration, Solid/Liquid Ratio, and pH." *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan* 6(2):128–37. doi:10.33795/jtkl.v6i2.334.
- Alongamo, Brice Armel Ajouafeu, Lydie Dodo Ajifack, Julius Numbonui Ghogomu, Ndi Julius Nsami, dan Joseph Mbadcam Ketcha. (2021). "Activated Carbon from the Peelings of Cassava Tubers (Manihot esculenta) for the Removal of Nickel(II) Ions from Aqueous Solution." *Journal of Chemistry* 2021(1):5545110. doi:https://doi.org/10.1155/2021/5545110.
- Andika, Bayu, Puji Wahyuningsih, dan Rahmatul Fajri. (2020). "PENENTUAN NILAI BOD DAN COD SEBAGAI PARAMETER PENCEMARAN AIR DAN BAKU MUTU AIR LIMBAH DI PUSAT PENELITIAN KELAPA SAWIT (PPKS) MEDAN." *Qumica Jurnal Kimia sains dan terapan* 2(1). <https://doi.org/10.33059/jq.v2i1>
- Arita, Susila, Adelia Sartika Adipati, dan Deasy Puspita Sari. (2014). "Pembuatan Katalis Heterogen Dari Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa) Dan Diaplikasikan Pada Reaksi Transesterifikasi Dari Crude Palm Oil." *Jurnal Teknik Kimia* 20(3):31–37. doi.org/10.12911/22998993/152341
- Aziz, Aziz, Henri Henri, dan Wahyu Adi. (2020). "Ragam Vegetasi Hutan Rawa Air Tawar di Taman Wisata Alam Jering Menduyung, Bangka Barat." *Jurnal Ilmu Lingkungan* 18(1):200–208. doi:10.14710/jil.18.1.200-208.
- Blachnio, Magdalena, Anna Derylo-Marczewska, Barbara Charnas, Malgorzata Zienkiewicz-Strzalka, Viktor Bogatyrov, dan Mariia Galaburda. (2020). "Activated Carbon from Agricultural Wastes for Adsorption of Organic Pollutants." *Molecules* 25(21):5105. doi:10.3390/molecules25215105.
- Charnas, Barbara, Magdalena Zięzio, dan Katarzyna Jedynak. (2023). "Assessment of the Porous Structure and Surface Chemistry of Activated Biocarbons Used for Methylene Blue Adsorption." *Molecules* 28(13). doi:10.3390/molecules28134922.
- Chen, L. Z., D. X. Miao, X. J. Feng, dan J. Z. Xu. (2014). "Preparation and Characterization of Activated Carbon from Reedy Grass Leaves by Chemical Activation with Koh." *Adv. Mater. Res.* 881–883:579. doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.881-883.579
- Fadlly, Teuku Andi, dan Tisna Harmawan. (2019). "Karakteristik energi gap (Eg) komposit ZnO/karbon aktif dari tandan sawit (Elaeis guineensis Jack) untuk aplikasi sel surya." *jurnal Fisika* 9(2). <https://doi.org/10.15294/jf.v9i2.23334>
- Hikari, Hasna Nadia, Lathifa Putri Wiedhya Syahrani, Luthfia Luthfia, Sofiyana Khoirunnisa, dan Siti Rachmawati. (2024). "Utilization of Activated Charcoal from Cassava Peel and Straw in Reducing Cadmium Levels in Putri Cempo Landfill Leachate." *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan* 21(2):492–503. doi:10.14710/presipitasi.v21i2.492-503.
- Jayanto, Galih Dwi, Margaretha Widyastuti, dan M. Pramono Hadi. (2021). "Laundry Wastewater Characteristics and Their Relationship with River Water Quality as an Indicator of Water Pollution. Case Study: Code Watershed, Yogyakarta" disunting oleh R. Che Omar, J. T. Sri Sumantyo, B. White, A. Cardenas Tristan, E. Haryono, D. R. Hizbaron, dan R. F. Putri. *E3S Web of Conferences* 325:02011. doi:10.1051/e3sconf/202132502011.
- Kayiwa, R., H. Kasedde, M. Lubwama, dan J. B. Kirabira. (2021). "The potential for commercial scale production and application of activated carbon from cassava peels in Africa: A review." *Bioresource Technology Reports* 15:100772. doi:10.1016/j.biteb.2021.100772.
- Klimonda, Aleksandra, dan Izabela Kowalska. (2025). "Water Recovery from Laundry Wastewater by Integrated Purification

- Systems.” *Membranes* 15(4):125.
doi:10.3390/membranes15040125.
- Leonard, Franita, Wahyuni, dan Hasanuddin. (2024). “Identifikasi Risiko Pencemaran Air Limbah Domestik.” *Jurnal Media Teknik Sipil* 2(1):33–42.
doi:10.56963/judiateks.v2i1.369.
- Mishra, Ranjeet Kumar, Bineeta Singh, dan Bishnu Acharya. (2024). “A comprehensive review on activated carbon from pyrolysis of lignocellulosic biomass: An application for energy and the environment.” *Carbon Resources Conversion* 7(4):100228.
doi:https://doi.org/10.1016/j.crcon.2024.100228.
- Moshood Abioye, Adekunle, dan Farid Nasir Ani. (2017). “ADVANCEMENT IN THE PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM BIOMASS USING MICROWAVE HEATING.” *Jurnal Teknologi* 79(3).
doi:10.11113/jt.v79.7249.
- Noor Isnaini Azkiya, S. Sigit Udjiana, Arya Rizqy Irangga, dan Anatasya Tania Febiyanti. (2023). “The Potential of Cassava Peel Waste as a Material of Biodegradable Plastic Using Calcium Silicate Filler.” *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan* 7(2):85–91.
doi:10.33795/jtkl.v7i2.1721.
- Perdani, Fahmi Puteri, Cucun Alep Riyanto, dan Yohanes Martono. (2021). “Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Berdasarkan Variasi Konsentrasi H₃PO₄ dan Lama Waktu Aktivasi.” *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)* 4(2):72–81.
doi:10.20885/ijca.vol4.iss2.art4.
- Putra, Sorensen Febrian, Siska Alicia Farma, dan Rahmawati Darussyamsu. (2021). “Community Empowerment in The Management of Organic Waste of Households as An Effort to Reduce Environmental Pollution.”
doi.org/10.24036/prosemnasbio/vol1/73
- Rahmawati, Rahmatul Fajri, T. Andi Fadlly, Nirmala Sari, Fera Annisa, dan Siti Sarah Husna. (2025). “The Effect of Microwave Time Radiation on Pore Characteristics of Cassava Peel Activated Carbon (*Manihot Esculenta* Crantz).” *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)* 14(2):349–58.
doi:10.23887/jst-undiksha.v14i2.95528.
- Rianda, Aldo Purba, Ririn Endah Badriani, dan Audiananti Meganandi Kartini. (2024). “Efisiensi penurunan kadar COD dalam air limbah industri laundry Menggunakan metode elektrokoagulasi.” *Jurnal Rekayasa Proses* 8(2):171–78.
doi:https://doi.org/10.22146/jrekpros.12392.
- Riyanto, Cucun Alep, Nur Ayu Hidayati, dan Yohanes Martono. (2023). “Reducing Chemical Oxygen Demand and Turbidity Levels in Laundry Waste Using Activated Carbon from Water Hyacinth Leaves.” *Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA)* 6(2):164–75.
doi:10.20885/ijca.vol6.iss2.art8.
- Rochma, Nikmatul, Sulistyaning Titah, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Institut Teknologi, Sepuluh Nopember, dan A. Analisa Karakteristik Limbah. (2017). “Penurunan Bod dan Cod Limbah Cair Industri Batik Menggunakan Karbon Aktif Melalui Proses Adsorpsi Secara Batch.” 6(2):2–7.
- Shinta Esharikha dan Firra Rosariawari. (2023). “Analisis Penurunan BOD dan Fosfat Limbah Laundry pada Free Floating Plant Wetland dengan Variasi Aerasi.” *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi* 2(6):1030–37.
doi:10.55123/insologi.v2i6.2769.
- Sulaiman, Nurul Syuhada, Rokiah Hashim, Mohd Hazim Mohamad Amini, Mohammed Danish, dan Othman Sulaiman. (2018). “Optimization of activated carbon preparation from cassava stem using response surface methodology on surface area and yield.” *Journal of Cleaner Production* 198:1422–30.
doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.061.
- Usman, Rahmawati, dan Puji Wahyuningsih. (2022). “Improving the Quality of Palm Oil Liquid Waste Using Nanocomposite TiO₂/EPB Activated Carbon through Adsorption-Photodegradation.” *Journal of Aceh Physics Society* 11(3):70–74.
doi:10.24815/jacps.v11i3.25626.
- Wahyuni, Dwiria, Mega Nurhanisa,

Abdurrahman Bahtiar, dan Rutdiyanti Rutdiyanti. (2022). "Optimasi Sintesis Karbon Aktif dari Bambu Buluh (*Schizostachyum brachycladum*) dengan Variasi Suhu Karbonisasi untuk Penyerapan Besi pada Air Sumur Gambut." *Jurnal Fisika Unand* 11(3):292–98.
doi:10.25077/jfu.11.3.292-298.2022.

Xuyu, Wang, Sai Wang, Xueqiong Yin, Junhua Chen, dan Li Zhu. (2014). "Activated Carbon Preparation from Cassava Residue Using a Two-Step KOH Activation: Preparation, Micropore Structure and Adsorption Capacity." *Journal of Biobased Materials and Bioenergy* 8:35–42.
doi:10.1166/jbmb.2014.1408.