EFEKTIVITAS LIMBAH RAMBUT DI BARBERSHOP SEBAGAI ADSORBEN PADA PROSES FILTRASI DAN ADSORPSI LIMBAH CUCIAN RUMAH TANGGA

EFFECTIVENESS OF HAIR WASTE IN BARBERSHOP AS AN ADSORBENT IN THE FILTRATION AND ADSORPTION PROCESS OF HOUSEHOLD LAUNDRY WASTE

Muchamad Ifad Ramadhani, Faidliyah Nilna Minah
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo KM. 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, 65153, Indonesia
***Email:** ifat23ramadhany@gmail.com

Abstrak
Barbershop adalah suatu tempat di mana masyarakat umum memotong rambut. Saat ini perkembangan barbershop meningkat sangat pesat dan berakibat pada menumpuknya limbah rambut yang belum dimanfaatkan secara optimal. Maka dari itu, salah satu cara untuk meningkatkan nilai guna dari limbah tersebut adalah menjadikannya sebagai karbon aktif yang dapat digunakan sebagai media filtrasi dan adsorpsi yang dapat menyerap kandungan lemak, minyak, dan logam berat pada air limbah, salah satunya adalah air limbah cucian rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh larutan pengaktif NaOH dan konsentrasi larutan pengaktif NaOH terhadap kualitas air limbah cucian rumah tangga. Pengaruh variasi konsentrasi larutan pengaktif NaOH dan perbandingan larutan pengatif NaOH dilakukan dengan membandingkan hasil sebelum analisa (COD, BOD, pH dan TDS) dan sesudah analisa serta dengan membandingkan data dari Permenkes RI No. 32 Tahun 2017. Proses filtrasi dan adsorpsi dilakukan dengan bahan baku limbah rambut yang diproses menjadi karbon aktif dengan variabel pembanding bahan larutan pengaktif NaOH dan konsentrasi larutan pengaktif NaOH 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 dan 0,5 N serta produk yang dihasilkan dari proses filtrasi dan adsorpsi berupa air bersih yang selanjutnya dilakukan analisa COD, BOD, pH dan TDS

Kata kunci: Adsorpsi, filtrasi, air limbah cucian rumah tangga, karbon aktif, limbah rambut manusia

Abstract
Barbershops are places where the general public gets haircuts, generating a significant amount of hair waste that has not been optimally utilized. The increasing number of barbershops has led to an accumulation of hair waste, which can be processed into activated carbon. Activated carbon can serve as a filtration and adsorption medium capable of absorbing fat, oil, and heavy metals from wastewater, including household laundry wastewater. This study aims to determine the effect of NaOH activating solution and its concentration on the quality of treated household laundry wastewater. The influence of NaOH concentration variations was assessed by comparing the parameters of Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), pH, and Total Dissolved Solids (TDS) before and after treatment. The results were also compared with the standards set by Indonesian Ministry of Health Regulation No. 32 of 2017. The filtration and adsorption process was conducted using hair waste, which was processed into activated carbon. The study utilized NaOH as the activating agent with different concentrations of 0.1 N, 0.2 N, 0.3 N, 0.4 N, and 0.5 N. The treated water obtained from the filtration and adsorption process was analyzed based on COD, BOD, pH, and TDS parameters to evaluate its quality

Keywords: *adsorption, filtration, household laundry wastewater, activated carbon, human hair waste*

Pendahuluan

Pertumbuhan suatu wilayah umumnya diikuti oleh peningkatan jumlah penduduk. Tingginya kepadatan penduduk menjadi salah satu indikator perkembangan suatu daerah yang turut memengaruhi berbagai aspek kehidupan, termasuk pengelolaan dan pembuangan limbah domestik, khususnya air limbah hasil kegiatan mencuci. Seiring bertambahnya jumlah penduduk, volume limbah cucian rumah tangga yang dihasilkan juga meningkat.

Apabila limbah tersebut dibuang langsung ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan (treatment), kualitas sumber daya air dapat menurun dan berpotensi membahayakan kesehatan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Jika kondisi ini berlangsung secara terus-menerus, pencemaran air dapat semakin parah dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, bahkan menyebabkan kematian organisme yang hidup di dalamnya.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016, parameter air limbah domestik terdiri dari parameter Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS), power of hydrogen (pH), total coliform, minyak dan lemak [1]. Berdasarkan Laporan Rencana Induk Air Limbah Kota Malang tahun 2011, tingkat Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) di Sungai Brantas, dekat efluen IPAL Komunal Mergosono, mencapai 92 mg/L dan 192 mg/L. BOD digunakan untuk mengukur tingkat pencemaran dengan melihat jumlah oksigen yang dipakai oleh mikroorganisme untuk memecah bahan organik dalam air . Oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme dalam proses penguraian tidak secara langsung menunjukkan jumlah bahan organik yang terkandung dalam air, tetapi menggambarkan kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan organik tersebut sebagai sumber energi. Semakin tinggi kebutuhan oksigen dalam proses penguraian, semakin besar pula indikasi kandungan bahan organik dalam air. Limbah rambut umumnya ditemukan di salon atau barbershop. Di kawasan Tumpang, Kabupaten Malang, terdapat empat barbershop, salah satunya True Cut Barbershop, yang setiap harinya memproduksi sekitar 188 gram limbah rambut. Limbah tersebut biasanya dibuang tanpa dimanfaatkan lebih lanjut atau digunakan sebagai bahan pembakaran. Selain itu, rambut limbah ini sering dijual kepada pengepul untuk diolah menjadi wig atau rambut palsu. Penggunaan Karbon Aktif di dunia semakin meningkat. Pada tahun 2007 mencapai 300.000 ton/tahun. Negara besar seperti Amerika Serikat kebutuhan per kapitanya mencapai 0,4 kg/tahun dan Jepang sekitar 0,2 kg/tahun. Kondisi ini berimbas pada harga karbon aktif yang semakin kompetitif. Di dalam negeri harga karbon aktif mencapai Rp. 6.500,00 per kg hingga Rp. 15.000,00 per kg bergantung dari kualitas karbon aktif [2]. Pada pasar Internasional harga karbon aktif dengan bilangan iodine lebih besar dari 1000 m^2/gram mencapai $20 per kg [3].

Produksi karbon aktif saat ini diarahkan untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik maupun internasional. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2018 Indonesia mengalami peningkatan impor karbon aktif sebesar 12.510.895 ton. Sementara itu, pada periode 2012–2014, ekspor karbon aktif mengalami penurunan dengan total sebesar 17.982.317 ton. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya pengembangan alternatif bahan baku karbon aktif yang berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap produk impor. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan limbah rambut sebagai bahan baku karbon aktif yang berpotensi digunakan sebagai media filtrasi dan adsorpsi untuk mengolah limbah cucian rumah tangga. Rambut mengandung α-keratin pada lapisan kutikula (cuticle) dan medula (medulla), serta memiliki struktur mikrofibril pada lapisan korteks (cortex) dan rongga udara pada bagian medula. Karakteristik tersebut memungkinkan rambut dimanfaatkan untuk mengikat dan menyerap minyak atau lemak dari air limbah.

Penelitian Surya (2015) mengenai pemanfaatan limbah rambut sebagai adsorben untuk mengatasi pencemaran minyak di laut menunjukkan bahwa kandungan protein α-keratin pada rambut berpotensi berperan dalam proses adsorpsi[4]. Selain itu, keberadaan pori-pori berukuran kecil pada permukaan rambut dapat mendukung terjadinya adsorpsi secara fisik [5]. Rambut juga memiliki ikatan disulfida yang berperan dalam memberikan kekuatan struktural, ketahanan termal, serta resistensi terhadap degradasi akibat pengaruh fisik dan kimia dari lingkungan. Karakteristik tersebut menjadikan limbah rambut berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan adsorben dalam pengolahan air limbah.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pemanfaatan limbah rambut manusia sebagai bahan dasar karbon aktif dalam pengolahan air limbah cucian rumah tangga melalui metode filtrasi dan adsorpsi. Aktivasi kimia menggunakan larutan NaOH diterapkan dengan memvariasikan waktu aktivasi dan konsentrasi larutan pengaktif, guna mengetahui kondisi yang menghasilkan kualitas adsorben terbaik. Efektivitas adsorben dievaluasi melalui perubahan parameter kualitas air limbah, yaitu pH, TDS, COD, dan BOD, yang kemudian dibandingkan dengan standar baku mutu berdasarkan PERMENKES RI No. 68 Tahun 2016. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah sekaligus menawarkan alternatif solusi yang sederhana, murah, dan ramah lingkungan dalam menangani permasalahan limbah cucian rumah tangga.

Teori

Air limbah bila tidak dikelola secara baik akan dapat menimbulkan gangguan [6]. Rambut adalah bagian dari kulit (kelenjar kulit atau lapisan dermis) yang tumbuh di hampir seluruh permukaan kulit manusia, kecuali pada telapak tangan dan telapak kaki. Selain berfungsi sebagai pelindung tubuh dari panas, dingin, dan faktor-faktor lain yang dapat menyebabkan cedera, rambut juga memiliki peran penting dalam aspek estetika. Hal ini terlihat dari berbagai cara pengelolaan rambut seperti mengurai, mengikat, membando, mengepang, meluruskan, menggimbal, mengeriting, dan lain sebagainya [4].

Arang merupakan material padat berpori yang umumnya mengandung sekitar 85–95% karbon dan dihasilkan melalui proses pemanasan bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Proses pemanasan dilakukan dengan membatasi masuknya udara agar bahan mengalami karbonisasi tanpa mengalami oksidasi berlebihan. Arang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar maupun adsorben untuk menyerap zat pencemar. Kemampuan adsorpsinya dipengaruhi oleh luas permukaan internal dan struktur pori yang dimiliki. Untuk meningkatkan kemampuan penyerapan tersebut, arang dapat melalui proses aktivasi menggunakan bahan kimia atau perlakuan termal pada suhu tertentu. Proses aktivasi ini mengubah karakteristik fisik dan kimia arang sehingga menghasilkan material dengan daya adsorpsi yang lebih baik, yang dikenal sebagai karbon aktif [7].

Proses aktivasi merupakan tahapan penting dalam pembuatan karbon aktif karena bertujuan meningkatkan luas permukaan dan membentuk struktur pori yang mendukung kemampuan adsorpsi. Karbon aktif umumnya memiliki luas permukaan spesifik sekitar 500–1.500 m^2/g. Proses aktivasi dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Aktivasi kimia dilakukan dengan menggunakan bahan kimia untuk membantu proses dehidrasi dan pembentukan pori pada bahan baku. Dalam metode ini, bahan mentah dicampurkan dengan zat pengaktif, kemudian diproses pada kondisi suhu tertentu. Beberapa bahan kimia yang dapat digunakan sebagai aktivator antara lain H_2SO_4, KOH, NaOH, HCl, $ZnCl_2$, Na_2CO_3, H_3PO_4, HNO_3, dan $CaCl_2$. Salah satu keunggulan metode aktivasi kimia adalah kemampuannya menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi, bergantung pada jenis aktivator dan kondisi proses yang digunakan.

Sementara itu, aktivasi fisika merupakan proses pengembangan struktur pori karbon melalui perlakuan suhu tinggi dengan bantuan gas pengaktif, seperti uap air (steam) dan karbon dioksida (CO_2). Gas-gas tersebut bereaksi dengan karbon sehingga membentuk dan memperluas pori-pori pada material. Selama proses aktivasi, massa karbon dapat berkurang secara signifikan akibat reaksi yang berlangsung, tetapi kemampuan adsorpsinya dapat meningkat. Keberhasilan aktivasi fisika dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku, terutama kandungan karbon, komponen volatil, dan ketahanan material terhadap reaksi pengikisan (burn-off).

Kemampuan adsorpsi karbon aktif sangat dipengaruhi oleh struktur pori dan luas permukaan yang dimilikinya. Proses adsorpsi terjadi ketika molekul adsorbat berinteraksi dengan permukaan adsorben akibat adanya gaya tarik antarmolekul dan perbedaan energi pada permukaan tersebut. Karbon memiliki kemampuan penyerapan yang relatif terbatas terhadap zat warna dalam kondisi tertentu. Namun, kapasitas adsorpsinya dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi menggunakan uap air atau bahan kimia untuk mengembangkan struktur pori dan memperluas permukaan aktif karbon [8].

Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben dalam pengolahan air karena mampu menyerap berbagai senyawa pencemar, termasuk fenol dan senyawa organik bermolekul besar. Efektivitas proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain karakteristik fisik dan kimia adsorben, seperti luas permukaan, ukuran pori, dan komposisi kimia, serta karakteristik adsorbat, seperti ukuran molekul, polaritas, dan komposisi kimia. Selain itu, konsentrasi adsorben dan adsorbat dalam fase cair, pH, suhu, serta waktu kontak juga berperan dalam menentukan hasil adsorpsi [9].

Aktivasi fisika merupakan metode pengembangan struktur pori karbon melalui pemanasan pada suhu tinggi dengan bantuan gas pengaktif. Gas yang umum digunakan dalam proses ini meliputi uap air (H_2O), karbon dioksida (CO_2), dan oksigen (O_2). Gas-gas tersebut dapat bereaksi dengan karbon untuk membentuk atau memperluas pori-pori, sehingga meningkatkan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi material. Proses ini juga dapat membantu menghilangkan komponen volatil serta sebagian pengotor yang masih terdapat dalam bahan karbon [10].

Metodologi Penelitian

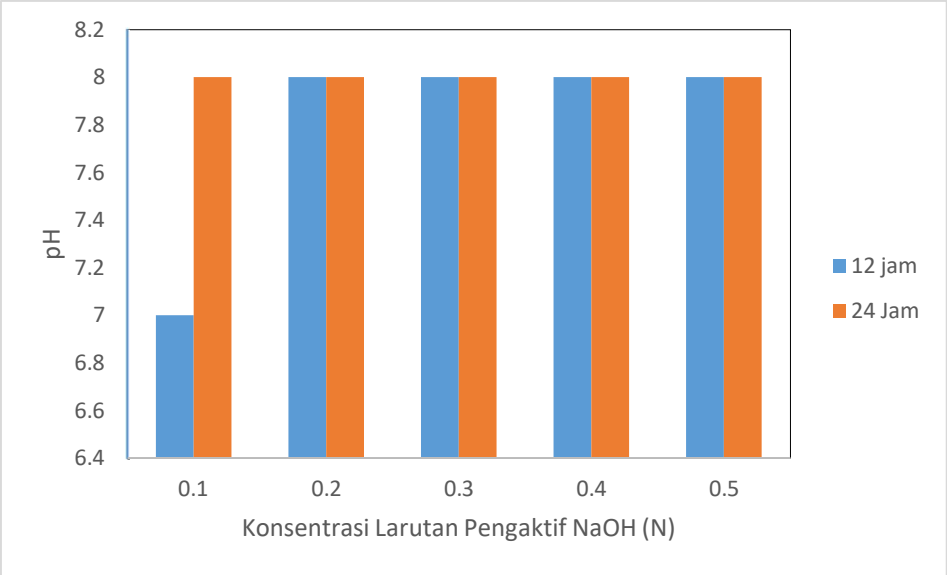
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yang bertujuan untuk mengetahui hubungan sebab akibat dari perlakuan yang diberikan terhadap objek yang diteliti. Eksperimen ini dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Teknik Kimia Institut Teknologi Nasional Malang. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi dalam mengatasi masalah penumpukan limbah rambut serta mengurangi pencemaran air akibat limbah dari cucian rumah tangga, dengan menggunakan metode filtrasi dan adsorpsi dengan bahan baku limbah rambut manusia yang diproses menjadi karbon aktif dengan NaOH dan konsentrasi larutan pengaktif NaOH 0,1 N ; 0,2 N ; 0,3 N ; 0,4 N dan 0,5 N serta produk yang dihasilkan dari proses filtrasi dan adsorpsi berupa air bersih yang selanjutnya dilakukan analisa COD,BOD,TDS, dan pH. Dari hasil analisis tersebut, akan dilakukan perbandingan dengan produk yang dihasilkan melalui penyaringan konvensional untuk mengetahui tingkat efisiensinya, serta dibandingkan dengan standar yang ditetapkan dalam Permenkes RI No. 32 Tahun 2017.

Hasil

Pada proses adsorpsi menggunakan adsorben berbahan dasar rambut manusia, dilakukan pengamatan terhadap pengaruh variasi waktu aktivasi, yaitu lama perendaman rambut dalam larutan NaOH, terhadap kualitas adsorben berdasarkan parameter pH. Hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan aktivasi selama 12 jam menyebabkan peningkatan pH air limbah cucian rumah tangga. Secara teoritis, waktu aktivasi dapat memengaruhi karakteristik permukaan adsorben dan interaksinya dengan adsorbat. Nilai pH larutan juga berpengaruh terhadap interaksi elektrostatik antara ion dalam larutan dan gugus fungsi pada permukaan adsorben. Pada kondisi pH rendah, protonasi permukaan adsorben dapat meningkatkan interaksi dengan anion tertentu, sedangkan perubahan kondisi larutan dapat memengaruhi proses adsorpsi [11].

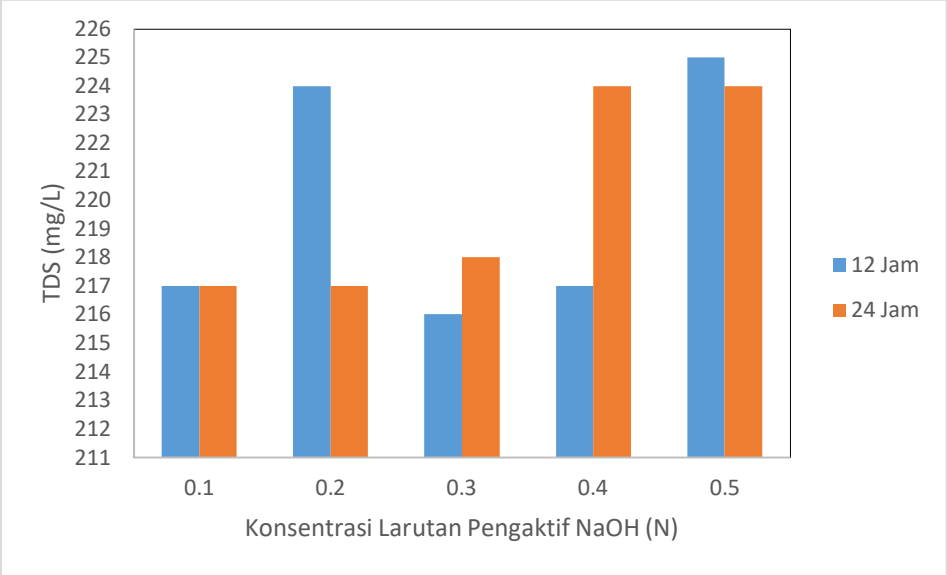
Tabel 1. Tabel perbandingan hasil analisa dengan standar baku mutu

Kondisi operasi	Volume sampel (mL)	Analisa				PERMEN LHK No. 68 th 2016			Permenkes RI No. 32 Tahun 2017
		pH	TDS (mg/L)	Kadar COD (mg/L)	Kadar BOD (mg/L)	pH	Kadar COD (mg/L)	Kadar BOD (mg/L)	TDS (mg/L)
0,1 N (12 jam)	100	7	217	4433	-2,76	6-9	30	100	1000
0,2 N (12 jam)		8	224	6238	-2,64				
0,3 N (12 jam)		8	216	5562	-3,31				
0,4 N (12 jam)		8	217	4826	-2,59				
0,5 N (12 jam)		8	225	4711	-3,42				
0,1 N (24 jam)		8	217	4970	-3,52				
0,1 N (24 jam)		8	217	4720	-3,56				
0,1 N (24 jam)		8	218	4370	-4,04				
0,1 N (24 jam)		8	224	4808	-4,34				
0,1 N (24 jam)		8	224	5151	-2,55				



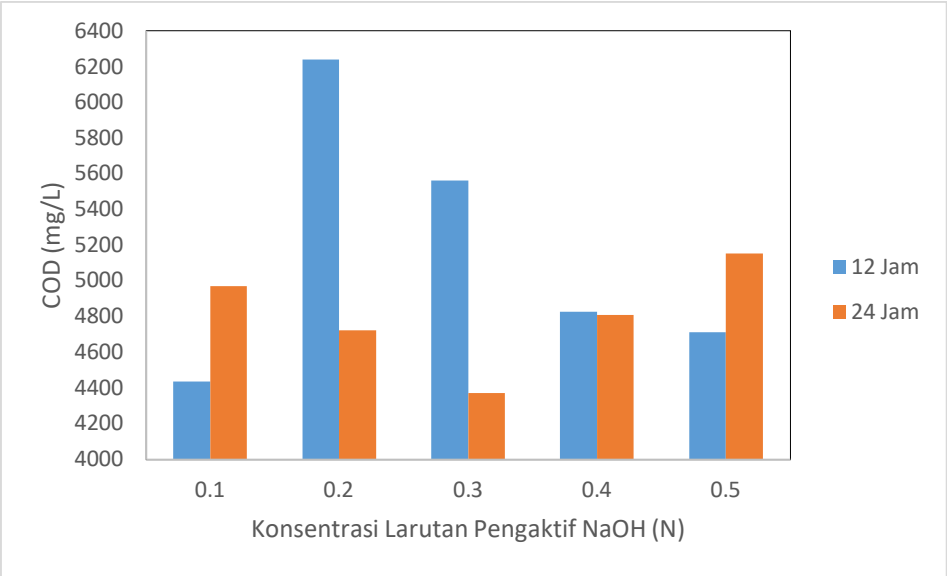
Gambar 1. Pengaruh variasi waktu aktivasi kimia terhadap pH air limbah cucian rumah tangga

Berdasarkan Gambar 1, nilai pH pada variasi waktu aktivasi 12 jam dimulai dari angka 7, kemudian meningkat hingga mencapai nilai 8 dan selanjutnya cenderung stabil. Perubahan ini menunjukkan adanya peningkatan pH selama proses pengolahan, meskipun penyebabnya perlu dikonfirmasi melalui pengujian lebih lanjut. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, rentang pH yang dipersyaratkan adalah 6–9. Dengan demikian, nilai pH akhir sebesar 8 masih berada dalam rentang baku mutu tersebut. Namun, kesesuaian pH saja belum cukup untuk menyatakan bahwa air limbah telah memenuhi seluruh persyaratan baku mutu.



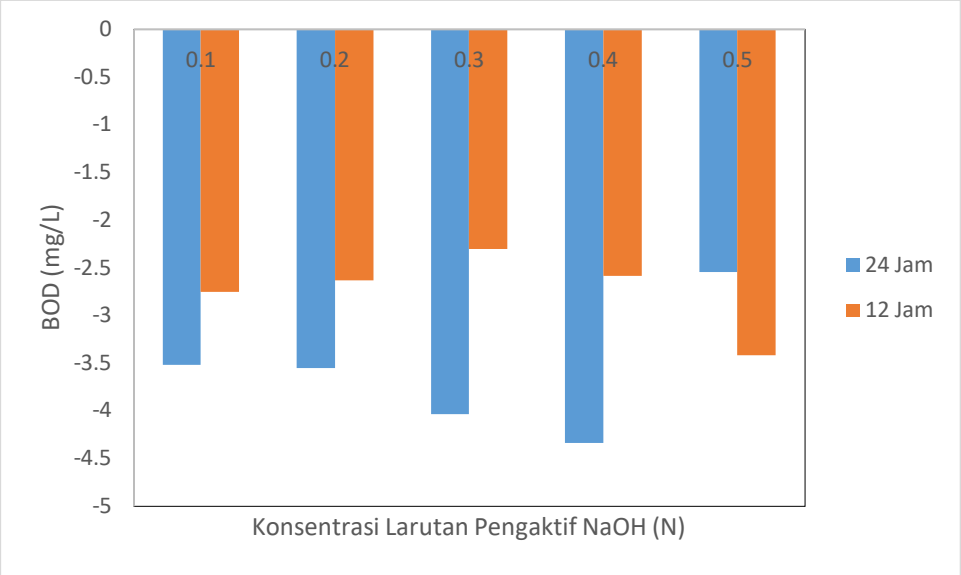
Gambar 2. Pengaruh variasi waktu aktivasi kimia terhadap nilai TDS air limbah cucian rumah tangga

Berdasarkan Gambar 2, nilai TDS pada variasi waktu aktivasi 12 jam menunjukkan pola fluktuatif. Nilai TDS mengalami peningkatan pada konsentrasi NaOH 0,2 N, kemudian menurun pada konsentrasi 0,3 N. Selanjutnya, nilai TDS kembali meningkat pada konsentrasi 0,4 N dan mencapai nilai tertinggi pada konsentrasi 0,5 N dengan waktu aktivasi yang sama, yaitu 12 jam. Fluktuasi tersebut diduga berkaitan dengan perubahan karakteristik struktur karbon selama proses perendaman dalam larutan NaOH. Proses aktivasi dapat memengaruhi struktur pori dan komponen yang mudah larut pada material karbon, sehingga berpotensi meningkatkan jumlah padatan terlarut dalam air. Sebaliknya, aktivasi yang kurang optimal dapat menyebabkan pembentukan pori belum berlangsung secara maksimal, sehingga kemampuan adsorpsi adsorben menjadi kurang efektif. Namun, mekanisme tersebut perlu dikonfirmasi melalui pengujian lebih lanjut untuk memastikan penyebab perubahan nilai TDS pada setiap variasi konsentrasi.



Gambar 3. Pengaruh variasi waktu aktivasi kimia dan variabel konsentrasi pengaktif NaOH terhadap nilai COD air limbah cucian rumah tangga

Berdasarkan Gambar 3, terlihat adanya fluktuasi nilai COD pada variabel waktu aktivasi 12 jam dan 24 jam, di mana waktu aktivasi 12 jam menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan 24 jam akibat pengaruh sejumlah faktor. Durasi kontak yang optimal untuk proses adsorpsi adalah 60 menit; waktu kontak yang terlalu singkat akan menghambat tercapainya titik kesetimbangan adsorpsi, sehingga efisiensi penyisihan atau penurunan kadar COD menjadi berkurang (Khairrudin et al., 2022).



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi larutan pengaktif NaOH dan variasi waktu aktivasi kimia 12 dan 14 jam terhadap nilai BOD air limbah cucian rumah tangga

Berdasarkan Gambar 4 di atas, nilai DO (Dissolved Oxygen) awal tercatat lebih rendah daripada DO akhir, yang mengindikasikan adanya penyimpangan atau abnormalitas selama proses berlangsung. Kondisi ini ditunjukkan pada variasi waktu aktivasi 12 jam sebelum inkubasi, dengan rincian nilai untuk masing-masing konsentrasi sebagai berikut: 0,1 N sebesar 0,5 mg/L; 0,2 N sebesar 0,73 mg/L; 0,3 N sebesar 0,34 mg/L; 0,4 N sebesar 0,39 mg/L; dan 0,5 N sebesar 0,30 mg/L.

Kesimpulan

Variasi waktu aktivasi kimia menggunakan larutan NaOH memberikan pengaruh terhadap kualitas adsorpsi karbon aktif berbahan limbah rambut manusia, meskipun durasi aktivasi yang lebih lama tidak selalu menjamin peningkatan kualitas adsorpsi, sebagaimana telah diuraikan pada bagian pembahasan. Waktu aktivasi optimum dicapai pada 12 jam, dengan perolehan nilai pH sebesar 7, TDS sebesar 217 mg/L, COD sebesar 4433 mg/L, dan BOD sebesar -2,59 mg/L. Kendati kadar COD dan BOD belum sepenuhnya memenuhi standar baku mutu, karbon aktif ini terbukti efektif dalam menurunkan nilai pH serta konsentrasi TDS pada air limbah domestik (cucian rumah tangga). Selain waktu aktivasi, konsentrasi larutan pengaktif NaOH juga memengaruhi kualitas adsorben berbahan dasar rambut. Peningkatan konsentrasi tidak serta-merta menjamin hasil penyerapan yang lebih baik, sebagaimana telah diuraikan pada bagian pembahasan. Berdasarkan hasil penelitian, konsentrasi NaOH yang paling optimal adalah 0,1 N dengan waktu aktivasi 12 jam, yang menghasilkan nilai pH sebesar 7 dan TDS sebesar 217 mg/L. Namun, pada kondisi tersebut parameter COD dan BOD masih belum memenuhi ambang batas standar baku mutu berdasarkan PERMENKES RI No. 68 Tahun 2016.

Daftar Pustaka

[1] Permen LHK, “Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016,” Angew. Chemie Int. Ed. 6(11), 951–952., pp. 10–27, 2016.

[2] Pari, Gustan, et al. "Mutu Arang Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu." *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, vol. 27, no. 4, 2009, pp. 381-398, doi:10.20886/jphh.2009.27.4.381-398.

[3] R.M. Suzuki, A.D. Andrade, J.C. Sousa, M.C. Rollemberg, Preparation and characterization of activated carbon from rice bran, Bioresource Technology, Volume 98, Issue 10, 2007, Pages 1985-1991, ISSN 0960-8524, https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.08.001.

[4] S. A. Surya, "Pemanfaatan Limbah Rambut Manusia Sebagai Pelampung Adsorben Pencemaran Minyak di Lautan," Karya Tulis Ilmiah. Univ. Sebel. Maret, pp. 1– 30, 2015.
[5] H. G. Roh, S. G. Kim, and J. Jung, "Adsorption of heavy-metal ions (Pb2+, Cu2+) on perm-lotion-treated human hair," Korean J. Chem. Eng., vol. 31, no. 2, pp. 310– 314, 2014, doi: 10.1007/s11814-013-0222-5.
[6] Rohmah and A. T. Sugiarto, "Penurunan TS (TOTAL SOLID) pada limbah cair industri perminyakan dengan teknologi AOP," Pros. Semin. Nas. eknoin Bid. Tek. Kim. dan TekstTil, vol. 2, no. 1, pp. 44–48, 2014.
[7] Akhmadi, Zainal & Suharno, Suharno. "Efektivitas Limbah Rambut Dalam Menurunkan Kadar Minyak Oli Pada Air Limbah Bengkel". Jurnal Vokasi Kesehatan. 3. 17, 2017. https://doi.org/10.30602/jvk.v3i1.83.
[8] Sylvia, Novi & Dewi, Rozanna & Fitriani,. "Panduan Optimasi Adsorpsi Dengan Karbon Aktif. Indonesia". 2025.
[9] N. P. Cheremisinoff, Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies. United State of America: Butterworth Heinemann., 2002.
[10] Ramadhani, Lia, Imaya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani and Erwan Adi Saputro. "Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa." *Jurnal Teknik Kimia* (2020): n. pag.
[11] A. Artiyani and N. H. Firmansyah, "Kemampuan Filtrasi Upflow Pengolahan Filtrasi Up Flow dengan Media Pasir Zeolit dan Arang Aktif Dalam Menurunkan Kadar Fosfat dan Deterjen Air Limbah Domestik," J. Ind. Inov., vol. 6, no. 1, pp. 8–15, 2016.