

Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Manggis (*Garcinia Mangostana*) dengan Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) sebagai Adsorben untuk Reduksi *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Limbah Cair Industri Tahu

ANISA NURHASANAH,^{1*} ADI MULYANA SUPRIATNA,¹ DAN RIZKA FITRIYANI¹

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati, Jl. A.H. Nasution No.105, Cipadung, Kecamatan Cibiru, Kota Bandung

*alamat email korespondensi: anisanh795@gmail.com

Informasi Artikel

Abstrak/Abstract

Kata Kunci: Adsorben; Adsorpsi; Karbon aktif; Kulit manggis; limbah industri tahu.

Kulit manggis (*Garcinia mangostana*) mengandung senyawa aktif seperti xanton dan lignin yang berpotensi untuk dimanfaatkan secara inovatif sebagai bahan baku dalam produksi karbon aktif, berfungsi sebagai adsorben yang efektif dalam menurunkan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada limbah cair industri tahu, yang melebihi batas baku mutu sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik karbon aktif yang disintesis dari kulit manggis dan menguji efektivitasnya sebagai adsorben. Karbon aktif dibuat melalui proses karbonisasi kulit manggis pada suhu 300°C dan diaktivasi dengan KOH 0,5 M selama 24 jam, kemudian dihaluskan dan diayak dengan ukuran 120 mesh. Variasi massa adsorben yang digunakan adalah 2, 4, dan 6 gram. Uji kadar air menunjukkan hasil 0,17%, sementara kadar abu mencapai 1,41%. Karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan pori-pori terbuka yang termasuk dalam kategori makropori dan mesopori dengan ukuran berkisar antara 3,4 hingga 10,2 µm. Analisis XRD mengindikasikan struktur amorf, sementara FTIR mengungkap adanya gugus fungsi seperti O-H, C-H, C=N, serta gugus khas C=O. Penggunaan karbon aktif dengan massa 6 gram memberikan efisiensi penurunan COD dan BOD tertinggi, masing-masing sebesar 88% dan 92%, dengan kapasitas adsorpsi 5,7 mg/g untuk COD dan 2,9 mg/g untuk BOD. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari kulit manggis efektif dalam menurunkan kadar COD dan BOD pada limbah cair industri tahu.

Keywords: Adsorbent Adsorption; Activated Carbon; Mangosteen Peel; Tofu Industry Wastewater

Mangosteen peel (Garcinia mangostana) contains active compounds such as xanthenes and lignin, which have the potential to be innovatively utilized as raw materials for the production of activated carbon. This activated carbon functions as an effective adsorbent in reducing Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD) levels in tofu industry wastewater, which exceed the quality standards set by the Indonesian Minister of Environment Regulation No. 5 of 2014. This research aims to identify the characteristics of activated carbon synthesized from mangosteen peel and to test its effectiveness as an adsorbent. Activated carbon was produced through the carbonization process of mangosteen peel at 300°C and activated with 0.5 M KOH for 24 hours, then ground and sieved to a size of 120 mesh. The variations in adsorbent mass used were 2, 4, and 6 grams. The water content test showed a result of 0.17%, while the ash content reached 1.41%. Characterization using SEM revealed open pores categorized as macropores and mesopores with sizes ranging from 3.4 to 10.2 µm. XRD analysis indicated an amorphous structure, while FTIR analysis revealed functional groups such as O-H, C-H, C=N, and a distinctive C=O group. The use of 6 grams of activated carbon resulted in the highest COD and BOD reduction efficiency, at 88% and 92%, respectively, with an adsorption capacity of 5.7 mg/g for COD and 2.9 mg/g for BOD. This study shows that activated carbon derived from mangosteen peel is effective in reducing COD and BOD levels in tofu industry wastewater.

PENDAHULUAN

Kulit manggis (*Garcinia Mangostana Linon*) yang dikenal sebagai ‘ratu buah’ karena memiliki rasa dan memiliki banyak manfaat khususnya untuk pengobatan penyakit [1]. dalam kulit manggis terdapat berbagai komponen gizi seperti *xanton*. Xanton dalam kulit manggis merupakan antioksidan kuat yang dapat melindungi tubuh dan lingkungan dari kerusakan yang disebabkan oleh radikal bebas, yang dapat menyebabkan oksidasi yang merusak molekul di lingkungan, sehingga antioksidan dari kulit manggis dapat membantu menetralkannya [2].

Komponen lignin yang tinggi yang terdapat dalam kulit manggis yaitu sebesar 48%, hal ini dapat menunjukkan bahwa kulit manggis mampu dijadikan bahan dalam produksi karbon aktif, sifat berpori dalam kulit manggis sebanding dengan karbon aktif komersial. Sehingga, karbon aktif yang berasal dari kulit manggis dapat dijadikan sebagai penyerap untuk berbagai aplikasi lingkungan. Salah satu hasil penelitian yang dilakukan oleh Nasrullah dkk, (2019), menggunakan karbon aktif kulit manggis dengan aktivasi $ZnCl_2$ untuk adsorpsi metilen biru [3].

Karbon aktif merupakan jenis karbon yang telah diproses sehingga memiliki struktur yang mampu menyerap bahan-bahan yang larut dalam larutan atau uap, Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben, yaitu untuk menyerap dan menghilangkan berbagai jenis logam berat yang beracun, polutan organik, serta zat warna yang mencemari lingkungan akibat limbah industri [3]. Karakteristik karbon aktif ditentukan melalui uji kualitas yang mencakup analisis fisik dan kimia karbon aktif. Analisis ini meliputi penentuan randemen, kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap, kadar karbon terikat, dan daya serap I_2 . Uji kualitas tersebut harus memenuhi standar yang berlaku, sesuai dengan SNI 06-3730-1995. Pembuatan karbon aktif melalui tahapan seperti penghilangan kandungan air (dehidrasi), konversi bahan organik menjadi unsur karbon dan menghilangkan bagian non karbon (karbonisasi), membakar habis tar perbesar pori (aktivasi) [4]. Pada umumnya proses aktivasi dapat menggunakan kalium hidroksida (KOH) yang merupakan salah satu metode untuk meningkatkan porositas dan luas permukaan karbon aktif, KOH digunakan untuk

membentuk pori – pori meso dan makro [5]. Karbon aktif melibatkan penempelan molekul pada permukaan karbon tanpa melibatkan perubahan kimia dalam molekul adsorbat, sehingga karbon aktif dapat menangkap kontaminan dari air atau udara dalam berbagai aplikasi industri dan lingkungan.

Adsorpsi adalah suatu proses di mana fluida, baik itu cairan maupun gas, melekat pada permukaan padatan dan membentuk lapisan tipis atau film [3]. Keberhasilan dalam proses adsorpsi ditentukan oleh pemilihan adsorben yang tepat. Prinsip dasar proses adsorpsi ini pada pemisahan suatu komponen dari larutan melalui proses adsorpsi yang didasarkan pada tiga mekanisme berbeda, diantaranya, mekanisme sterik, kesetimbangan dan kinetik.

Lingkungan merupakan elemen esensial yang dapat mempengaruhi kehidupan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung, banyak lingkungan mengalami kerusakan yang signifikan akibat tindakan manusia yang kurang bertanggung jawab. Industri memainkan peran krusial dalam pemenuhan kebutuhan ekonomi Masyarakat. Salah satu industri yang mengalami perkembangan pesat adalah industri pangan [6]. Industri tahu adalah salah satu subsektor dalam industri pangan yang menghasilkan limbah cair maupun limbah padat, keduanya menimbulkan masalah bagi lingkungan seperti peningkatan konsentrasi zat - zat tertentu dalam lingkungan yang dapat merusak kualitas lingkungan dan berpotensi menimbulkan gangguan serius terhadap Kesehatan [7]. Penurunan kualitas air secara signifikan, yang tidak hanya berdampak buruk pada kesehatan organisme akuatik, tetapi juga mengganggu keseimbangan ekosistem karena mengandung kimia berbahaya [8].

Menurut Rolia & Amran (2015), limbah tahu yang tidak dikelola dengan baik akan menghasilkan bau yang menyengat dan berwarna hitam, dan mengandung organik, yang berdampak langsung pada kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Selain itu, limbah industri tahu juga mengandung bahan organik dan gas seperti oksigen terlarut (O_2), hidrogen sulfida (H_2S), Karbondioksida (CO_2), dan ammonia (NH_3) [9].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Agus Priyanto, tahun (2015). Mengungkapkan bahwa kandungan ammonium akibat pelarut ammonia dalam air dapat

mengancam ekosistem perairan karena sifat toksik [10].

Penelitian yang dilakukan oleh Angelica Alimsyah dan Alia Damayanti, tahun (2013). Menunjukkan bahwa limbah cair industri tahu memiliki kandungan BOD 5643 - 6870 mg/L dan COD 6870 - 10.500 mg/L kandungan tersebut jauh melebihi standar baku mutu yang ditetapkan yaitu BOD 150 mg/L, COD 300 mg/L [10].

Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) merupakan parameter untuk menilai kandungan zat organik dalam air, sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pengolahan kedelai [11].

Pada umumnya, masalah pencemaran yang disebabkan oleh limbah cair dapat diatasi dengan berbagai metode pengolahan, salah satunya adalah metode adsorpsi menggunakan karbon aktif. Penelitian yang dilakukan oleh Jatu Taufiq Swastha, tahun (2010). Menyatakan bahwa penggunaan metode adsorben dengan karbon aktif dapat menurunkan kadar COD limbah tahu 26,136% dan penurunan BOD pada limbah tahu 51,639% karbon aktif yang digunakan dalam penelitian tersebut berasal dari kulit singkong, menegaskan potensi metode ini sebagai alternatif yang efektif dalam pengolahan limbah cair [12].

Zarah Arwienny Hanami, (2020). Mengungkapkan dalam penelitiannya bahwa, kulit manggis dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif melalui proses karbonisasi dan aktivasi CO_2 . Karbon aktif yang dihasilkan memiliki luas permukaan spesifik sebesar 588,407 m^2/g , kadar air 6,07% dan kadar abu 9,8% dengan kapasitas adsorpsi karbon kulit manggis untuk gas NH_3 sebesar 0,41 mgMH_3/g .

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari karbon aktif yang disintesis dari kulit manggis dan efisiensi adsorben dan massanya dalam penurunan kadar COD dan BOD limbah cair industri tahu juga dalam memperbaiki kualitas air limbah industri tahu.

EKSPERIMEN

Material

Bahan utama yang digunakan adalah KH_2PO_4 ; $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; NH_4Cl ; NaOH ; larutan suspensi bibit mikroba; H_2SO_4 ; Na_2SO_3 ;

allythiourea (ATU); CH_3COOH pekat; KI; indikator amilum; $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; H_2SO_4 pekat; HgSO_4 ; Ag_2SO_4 ; KHP ($\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$); H_3NSO_3 ; akuades, dan limbah cair industri tahu.

Alat-alat yang digunakan, kertas saring, tanur, oven, pH meter, ayakan 120 mesh, dan lumpang alu.

Instrumentasi

Scanning Electron Microscope (SEM), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD).

Prosedur

Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif berbahan dasar kulit manggis dipotong dengan ukuran kecil, lalu dijemur selama 3 hari. Pengeringan lebih lanjut menggunakan oven pada suhu 110°C , lalu dihaluskan. Proses karbonisasi menggunakan suhu 300°C selama 1 jam dan disaring dengan ukuran 120 mesh. Proses aktivasi menggunakan KOH 0,5 M dengan rasio 1:3. Karbon yang telah diaktivasi dilanjutkan dengan penetralan dengan akuades dan dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam.

Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi karbon aktif dilakukan dengan menguji kadar air dan kadar abu berdasarkan SNI 06-3730-1995. Selain itu, dilakukan karakterisasi morfologi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk melihat kondisi pori pada permukaannya. Karakterisasi menggunakan FTIR (*IR Prestige 12*) untuk mengetahui gugus fungsi pada karbon aktif melalui pengolahan data yang dilakukan dengan aplikasi Origin Pro 8.5. Analisis kristal karbon aktif dilakukan dengan menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD).

Sampling Air Limbah (SNI 6989.59.2008)

Botol tertutup disiapkan, dicelupkan ke dalam air dengan posisi mulut botol searah dengan aliran air. Botol untuk pengujian BOD diawetkan dengan pendinginan, sedangkan botol untuk pengujian COD ditambahkan H_2SO_4 hingga $\text{pH} < 2$ dan dengan pendinginan.

Analisis Nilai COD

Sebanyak 2,50 mL air limbah industri ditambahkan dengan 1,50 mL digestion solution dan 3,5 mL larutan pereaksi H_2SO_4 dalam ampul 10 mL, ampul dikocok hingga homogen. Selanjutnya, dipanaskan pada suhu $150^\circ C$ dan direfluks selama 2 jam. Campuran didinginkan hingga suhu ruang, dibiarkan suspensi mengendap, dan diukur pada panjang gelombang 600 nm.

Analisis Nilai BOD (SNI 6989.72-2009)

Sampel air limbah dimasukkan ke dalam dua botol DO A₁ dan A₂. Botol dikocok beberapa kali dan ditambahkan akuades pada sekitar mulut botol DO yang telah ditutup. Botol A₂ disimpan dalam lemari inkubator pada suhu $20^\circ C$ selama 5 hari, kemudian dilakukan pengukuran terhadap larutan pada botol A₁ (DO₀) dan A₂ (DO₅) dengan DO meter. Nilai BOD didapatkan dari selisih konsentrasi antara DO₀ dan DO₅.

Penentuan Massa Optimum Karbon Aktif terhadap Limbah Cair Tahu

Karbon aktif menggunakan variasi massa 2;4;6 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer, ditambahkan 500 mL air limbah, adsorpsi dilakukan selama 150 menit dengan kecepatan pengadukan 150 rpm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan limbah dari kulit manggis yang diperoleh dari pasar Bandung. Limbah kulit manggis ini berperan sebagai prekursor dalam sintesis karbon aktif. Setelah karbon aktif diperoleh, maka dilakukan uji Karakterisasi FTIR, SEM dan XRD Kemudian karbon aktif sebagai adsorben ini diaplikasikan terhadap limbah cair Industri Tahu sebagai adsorben. Uji terhadap limbah cair Industri Tahu dianalisis dengan parameter COD dan BOD.

Sintesis Karbon Aktif Kulit Manggis

Karbon aktif merupakan bahan karbon dengan struktur amorf yang memiliki luas permukaan dan Tingkat porositas yang tinggi. Sintesis karbon aktif dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu dehidrasi, kemudian karbonisasi dan

aktivasi [13]. pada tahap dehidrasi yang bertujuan untuk mengurangi kandungan air yang terkandung dalam kulit manggis [14]. pada penelitian ini tahap dehidrasi dilakukan dengan cara menjemur kulit manggis dengan sinar matahari selama 3 hari kemudian untuk pengeringan lebih sempurna dipanaskan dalam oven dengan suhu $120^\circ C$ selama 24 jam, pada tahap dehidrasi terjadi perubahan menjadi kering dan warna menjadi ungu pucat kekuningan.

Proses karbonisasi pada penelitian ini menggunakan *furnace* dengan suhu $300^\circ C$ selama 1 jam. Suhu optimum kulit manggis pada tahap karbonisasi yaitu $500^\circ C - 800^\circ C$ [3]. Penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan oksidasi lebih lanjut pada karbon yang dapat merusak ikatan C-C dalam bidang struktur hexagonal karbon, hal ini berpotensi menurunkan kualitas permukaan karbon [15]. Pada suhu $300^\circ C$ dianggap kandungan air dan senyawa lain yang mudah menguap telah hilang sehingga pori-pori karbon terbuka. kulit manggis Dalam proses ini senyawa organik yang membentuk struktur bahan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang diurai menjadi struktur karbon berupa grafit heksagonal. Karbonisasi menyebabkan perubahan struktur kulit manggis menjadi karbon [16]. sehingga dalam proses ini terjadi perubahan yang signifikan yaitu kulit manggis yang semula berwarna ungu pucat berubah warna menjadi hitam pekat dan teksturnya menjadi kasar, sehingga perlu dilakukan penggerusan dengan lumpang alu dan di saring dengan saringan 120 mesh.

Adanya perubahan yang signifikan menunjukkan karbon terbentuk dengan baik. Pembentukan struktur pori karbon dimulai pada tahap karbonisasi, unsur non karbon seperti hydrogen dan oksigen dihilangkan dalam bentuk gas melalui penguraian pirolitik bahan awal. Karbonisasi melibatkan penguraian termal material yang mengandung karbon dan penghilangan spesies non-karbon untuk menghasilkan karbon terikat dan struktur pori, namun masih memiliki daya adsorpsi yang rendah. Untuk meningkatkan jumlah pori dan daya adsorpsi diperlukan tahap aktivasi [17]. Pada tahap aktivasi karbon yang sudah di saring menggunakan 120 mesh tujuan dilakukannya penyaringan menggunakan saringan 120 mesh agar memperoleh serbuk karbon aktif dengan ukuran yang seragam, semakin halus karbon aktif,

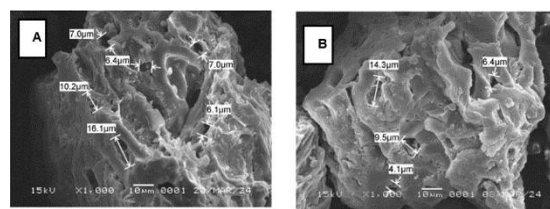
maka daya serap yang dihasilkan juga meningkat [18].

Proses aktivasi kimia pada penelitian ini menggunakan KOH 0,5 M, karbon direndam selama 24 jam dengan larutan KOH 0,5 M dengan perbandingan 1:3. Tujuan dari aktivasi secara kimia untuk meningkatkan porositas dan luas permukaan dari karbon yang dihasilkan dari kulit manggis [19].

Proses aktivasi juga untuk senyawa kontaminan yang berada dalam pro-pori menjadi lebih mudah terlepas, sehingga luas permukaan karbon aktif bertambah besar dan meningkatkan daya serap karbon aktif [15]. pemilihan KOH sebagai agen aktivator untuk karbon aktif dari kulit manggis dilakukan karena KOH adalah basa kuat yang bersifat hidroskopis yang mampu menghilangkan zat-zat pengotor dalam karbon, sehingga meningkatkan jumlah pori-pori karbon [20]. Pada perendaman 24 jam memungkinkan agen aktivator KOH meresap ke dalam kulit manggis secara merata, dan untuk homogenitas dan penetrasi untuk menembus secara menyeluruh ke dalam karbon kulit manggis [21]. Karbon aktif yang telah direndam di cuci hingga pH netral dan di keringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 24 jam. produk karbon aktif yang diperoleh pada penelitian ini menghasilkan rendemen sebesar 58% ; 59% dan 61%. Dari hasil randemen yang dihasilkan karbon aktif kulit manggis terbilang tinggi. Penetapan rendemen dilakukan untuk mengetahui persentase karbon aktif yang dihasilkan setelah proses dari tahap dehidrasi hingga aktivasi [22].

Karakterisasi (Scanning Electron Microscope) SEM

Analisis SEM digunakan untuk studi rinci topografi spesimen. Pada penelitian ini analisis SEM digunakan untuk mengetahui karakteristik morfologi dari karbon aktif kulit manggis dengan menggunakan instrumen SEM [23], pada perbesaran 1000x. pada analisis ini dilakukan perbandingan antara karbon aktif sebelum aktivasi dan sesudah aktivasi yang dapat di lihat pada **Gambar 1**. Terdapat pori – pori dari permukaan adsorben karbon aktif kulit manggis.

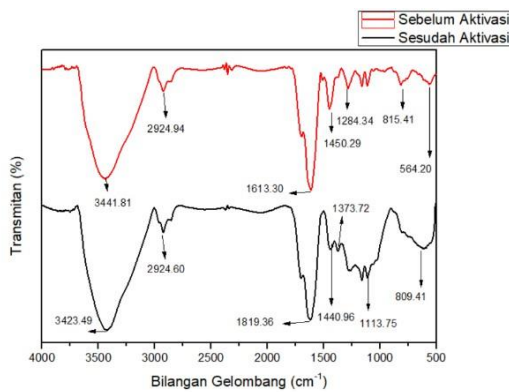


Gambar 1. (a). Hasil Analisis SEM karbon aktif sebelum aktivasi pada Perbesaran 1000x. (b). Hasil Analisis SEM Adsorben Kulit Manggis dengan Aktivasi KOH pada perbesaran 1000x

Kulit manggis sebelum aktivasi memiliki pori – pori dengan ukuran berkisar 3,4 μm hingga 10,2 μm , pori – pori tampak lebih banyak, kecil dan tersebar merata dibandingkan dengan karbon aktif kulit manggis yang sudah di aktivasi, dengan memiliki pori-pori ukuran berkisar 4,1 μm hingga 14,3 μm , dengan pori-pori yang lebih besar dan tidak teratur. Perbedaan tersebut disebabkan pada proses aktivasi karbon aktif mengakibatkan adanya pelepasan bahan mudah terbang (*volatile*) dari struktur karbon yang kemudian membuka pori – pori pada struktur yang tersisa, membuka pori-pori kecil, dan mengurangi penutupan oleh hidrokarbon di permukaan arang. Pembentukan dan pembesaran pori-pori disebabkan oleh penguapan komponen yang terdegradasi dan pelepasan *volatile*. Dengan berkurangnya senyawa hidrokarbon, pori-pori pada permukaan karbon aktif menjadi lebih terlihat jelas seperti pada, karbon aktif yang sudah di aktivasi [18]. Perbesaran dan pembentukan pori juga disebabkan oleh penguapan komponen selulosa yang terdegradasi [19].

Karakterisasi Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Analisis gugus fungsi karbon aktif dengan metode *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Berdasarkan hasil analisis, didapatkan spektrum mengenai gugus fungsi yang terkandung pada adsorben kulit manggis dapat dilihat pada **Gambar. 2**. yang menunjukkan gugus fungsi adsorben kulit manggis sebelum aktivasi dan sesudah aktivasi



Gambar 3. FTIR Karbon Kulit Manggis Sebelum Aktivasi dan Sesudah Aktivasi

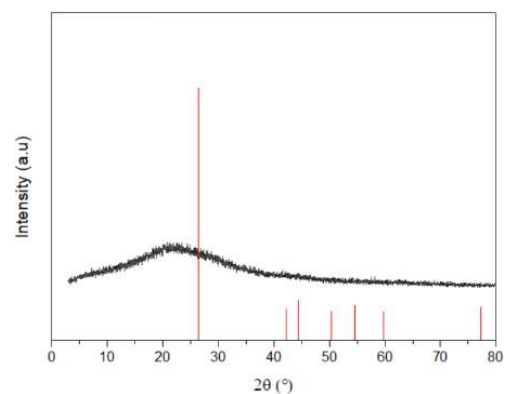
Dari hasil analisis adsorben kulit manggis spektra yang muncul sebelum aktivasi dan sesudah aktivasi menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang pada puncak akhir dan muncul puncak baru pada adsorben kulit manggis setelah aktivasi dengan KOH. Spektrum FTIR dianalisis dalam rentang bilangan gelombang 4000 hingga 400 cm^{-1} .

Hasil analisis adsorben sebelum aktivasi dan sesudah aktivasi pada spektrum 3441.81 cm^{-1} dan 3423.49 cm^{-1} . Adanya gugus O-H kemudian diikuti pada puncak 2924.60 cm^{-1} , dan 2924.94 cm^{-1} diperoleh puncak yang menunjukkan adanya gugus C-H aromatis. Pada puncak spektrum adsorben sebelum aktivasi 1613.30 cm^{-1} mengidentifikasi adanya gugus C=C pada cincin aromatik lignin [24] sedangkan pada spektrum adsorben sesudah aktivasi menunjukkan adanya gugus senyawa baru yaitu pada puncak 1819,36 cm^{-1} terdapat gugus C=O Yang menunjukkan adanya gugus khas yang terdapat pada karbon aktif yang menunjukkan bahwa kulit manggis membentuk zat aktif karbon. Pada spektrum 1440.96 cm^{-1} dan 1450.29 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=N [25]. Pada spektrum yang berkisar pada puncak 815.41 cm^{-1} hingga 564.20 cm^{-1} terlihat gugus fungsi C-O (bending) [26].

Karakterisasi X-ray diffraction (XRD)

Perbandingan pola difraktogram standar dan karbon aktif kulit manggis yang ditunjukkan pada **Gambar 3**, hasil difraktogram menunjukkan bahwa semua padatan memiliki puncak yang

melebar pada rentang sudut 2 theta 20°- 30° yang merupakan puncak karakteristik karbon [27]. Karakterisasi XRD menunjukkan profil difraksi sinar-X dari karbon aktif kulit manggis yang diaktivasi KOH dengan menghasilkan karbon dengan struktur amorf. Sampel karbon aktif dengan puncak melebar dan tidak adanya puncak tajam menunjukkan struktur amorf yang merupakan sifat menguntungkan untuk adsorben yang baik [28].



Gambar 2. XRD Karbon Aktif Kulit Manggis

Kadar Abu Karbon Aktif Kulit Manggis

Analisis kadar abu pada karbon aktif dilakukan untuk menentukan kandungan oksida-logam dalam karbon aktif yang terdiri dari mineral-mineral yang tidak dapat menguap (*non-volatil*) selama proses karbonisasi. Keberadaan abu sangat mempengaruhi kualitas karbon aktif. Kandungan abu yang berlebihan dapat menyebabkan penyumbatan pori-pori pada karbon aktif sehingga mengurangi luas permukaannya [29]. Berdasarkan SNI No. 06-3730-1995 menyatakan bahwa syarat baku mutu kadar abu pada karbon aktif maksimal 10%. Pada penelitian ini kadar abu karbon aktif kulit manggis menghasilkan sebesar 1,41%, jika dibandingkan, kadar abu karbon aktif kulit manggis tidak melampaui baku mutu yang telah ditetapkan dan memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan dan baik untuk digunakan dalam aplikasi adsorben. Agen aktivator KOH memiliki kemampuan korosif sehingga dapat melepaskan zat-zat yang menempel pada permukaan karbon, berupa mineral anorganik dan oksida logam yang menutupi pori-pori karbon [30].

Kadar Air Karbon Aktif Kulit Manggis

Analisis kadar air pada karbon aktif kulit manggis dilakukan untuk mengetahui sifat higroskopos karbon aktif. Kandungan air yang tinggi dalam karbon aktif dapat menurunkan kualitas daya adsorpsi terhadap gas maupun cairan [31]. Berdasarkan SNI No. 06-3730-1995 menyatakan bahwa syarat baku mutu kadar air karbon aktif yaitu maksimal 15%. Pada penelitian ini dihasilkan kadar air sebesar 0,17%. Kadar air pada karbon aktif kulit manggis ini tidak melebihi baku mutu yang telah ditentukan sehingga memenuhi standar kualitas dan baik untuk digunakan pada aplikasi adsorben. kadar air pada karbon aktif ini disebabkan oleh sifat KOH yang merupakan basa kuat dan higroskopis yang tinggi, KOH akan dengan mudah mengikat air selama proses aktivasi, sehingga mengurangi kadar air pada karbon aktif. Penurunan kadar air ini meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif. Reaksi aktivasi karbon aktif menggunakan KOH akan mengeluarkan air yang terjebak pada rongga karbon karena KOH merupakan *dehydrating agent* atau dapat menghidrasi [30]. Terikatnya molekul air oleh agen aktivator maka akan adanya peningkatan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif kulit manggis.

Karakterisasi Air Limbah Industri Tahu

Sampel air limbah diambil dari salah satu usaha Industri Tahu di daerah Manisi Kota Bandung, dengan sampling inlet kemudian dilakukan pengukuran kadar COD dan BOD yang menghasilkan analisis sampel limbah Industri Tahu, ditampilkan pada **Tabel 1**. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, dapat dilihat bahwa parameter sampel limbah cair Industri Tahu tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Tabel. 1 Hasil Analisis Limbah Industri Tahu

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Pengujian
1	COD	mg/L	300	7852
2	BOD	mg/L	150	3823

Berdasarkan hasil analisis yang dapat digunakan sebagai data awal, yang menunjukkan bahwa nilai kadar COD dan BOD dalam limbah industri tahu jauh melebihi ambang batas baku

mutu yang telah ditetapkan. Jika limbah tersebut tidak dilakukan pengolahan dan mengalir ke badan air, hal ini dapat menyebabkan bau busuk, kematian organisme [32], munculnya masalah pencemaran lingkungan yang parah dan gangguan ekosistem [33]. Dari berbagai dampak tersebut, maka diperlukan pengelolaan limbah cair industri tahu untuk menurunkan kadar COD dan BOD dengan adanya pengelolaan proses adsorpsi pada adsorben kulit manggis yang telah di aktivasi.

Pengaruh Variasi Massa Adsorben Terhadap Penurunan Kadar COD

COD (*Chemical Oxygen Demand*) mengindikasikan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan semua bahan organik dalam air. COD merupakan pengujian yang digunakan untuk menentukan karakteristik kimia pada limbah industri tahu. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk sampel limbah industri tahu adalah adsorpsi dengan adsorben kulit manggis yang sudah di aktivasi dan dihaluskan dengan ukuran 120 mesh. Adsorben kulit manggis divariasikan menjadi 2 gram, 4 gram, dan 6 gram. Hasil pengukuran COD setelah penambahan adsorben karbon aktif kulit manggis menunjukkan terjadinya penurunan kadar COD dari 7852 mg/L kadar sebelum ditambahkan adsorben dan setelah ditambahkan adsorben karbon aktif kulit manggis menjadi 1.167,28 mg/L ; 970,04 mg/L ; dan 941,04 mg/L. efisiensi penurunan kadar COD dengan menggunakan adsorben kulit manggis pada penambahan 2 gram sebesar 85%, dengan kapasitas adsorpsi 1,6 mg/L, penambahan 4 gram 84% dengan kapasitas adsorpsi 8,6 mg/L dan 6 gram sebesar 88% kapasitas adsorpsi 5,7 mg/L.

Penurunan kadar COD disebabkan oleh proses adsorpsi yang terjadi ketika adsorben dari kulit manggis ditambahkan ke dalam limbah industri tahu, senyawa organik akan di serap atau di ikat oleh adsorben kulit manggis, akibatnya, nilai COD yang awalnya tinggi menjadi lebih rendah. Semakin banyak adsorben yang digunakan, semakin tinggi pula kemampuan adsorpsinya [34].

Pengaruh Variasi Massa Adsorben Terhadap Penurunan Kadar BOD

Analisis BOD dilakukan untuk mengetahui perubahan pencemar organik pada air limbah industri tahu dengan metode adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif kulit manggis dengan variasi 2 gram, 4 gram, dan 6 gram. Hasil pengukuran setelah penambahan adsorben karbon aktif kulit manggis terjadinya penurunan kadar COD dari 3823 mg/L, setelah ditambahkan adsorben menjadi 351,39 mg/L, 315,39 mg/L, dan 300,09 mg/L, sehingga efisiensi penurunan kadar BOD dengan menggunakan adsorben kulit manggis pada penambahan 2 gram sebesar 90%, dengan kapasitas adsorpsi 8,6 mg/L, 4 gram 91%, kapasitas adsorpsi 4,3 mg/L, dan 6 gram 92% dengan kapasitas adsorpsi 2,9 mg/L. Penurunan kadar ini di sebabkan karena pada karbon aktif kulit manggis memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi yang dapat menyerap dan menghilangkan senyawa organik yang terlarut dalam limbah cair tahu. senyawa tersebut dapat di adsorpsi sehingga mengurangi kadar BOD.

SIMPULAN

Dari penelitian ini karbon aktif yang disintesis dari limbah kulit manggis setelah aktivasi KOH menunjukkan kadar air sebesar 0,17% dan kadar abu sebesar 1,41%. Analisis SEM mengungkapkan bahwa karbon aktif yang telah diaktivasi memiliki pori-pori yang lebih besar dan lebih teratur dibandingkan sebelum aktivasi. Spektrum FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi penting seperti O-H, C-H, C=O, dan C=N pada karbon aktif setelah aktivasi. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa kulit manggis berpotensi menjadi adsorben untuk menurunkan kadar BOD dan COD limbah pabrik tahu. Kondisi optimum yang diperoleh adalah pada variasi massa adsorben 6 gram dengan kapasitas dan efisiensi adsorpsi untuk BOD dan COD sebesar 2,9 mg/g; 92%, dan 5,7 mg/g; 88%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf laboratorium Kimia UIN Sunan Gunung Djati, ucapan terimakasih kepada seluruh Dosen dan Staf jurusan Kimia UIN Sunan Gunung Djati dan

semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Y. Chen, B. Huang, M. Huang, and B. Cai, "On the preparation and characterization of activated carbon from mangosteen shell," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 42, no. 5, pp. 837–842, 2011, doi: 10.1016/j.jtice.2011.01.007.
- [2] E. Yatman, "Kulit buah manggis mengandung xanton yang berkhasiat tinggi," *Widya*, no. 324, pp. 2–9, 2012.
- [3] A. Nasrullah *et al.*, "Mangosteen peel waste as a sustainable precursor for high surface area mesoporous activated carbon: Characterization and application for methylene blue removal," *J. Clean. Prod.*, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.11.094.
- [4] F. Cheremisinoff, P. N dan Ellerbusch, *Carbon Adsorption Handbook*, Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan. 1978.
- [5] C. Dai *et al.*, "H₃PO₄ solution hydrothermal carbonization combined with KOH activation to prepare argy wormwood-based porous carbon for high-performance supercapacitors," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 444, pp. 105–117, 2018, doi: 10.1016/j.apsusc.2018.02.261.
- [6] Sandi Richa Diari, "Analisis Kualitas Air Dan Distribusi Limbah Cair Industri Tahu Di Sungai Murong Kecamatan Jogoroto Kabupaten Jombang," *Swara Bhumi*, vol. 5, no. 82, pp. 59–66, 2019.
- [7] I. Andika, I. Mudita, N. Siti, and I. Utama, "Peternakan Tropika Peternakan Tropika," *J. Trop. Anim. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 60–80, 2015.
- [8] D. Dudgeon *et al.*, "Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges," *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.*, vol. 81, no. 2, pp. 163–182, 2006, doi: 10.1017/S1464793105006950.
- [9] H. Pagoray, S. Sulistyawati, and F. Fitriyani, "Limbah Cair Industri Tahu dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air dan Biota Perairan," *J. Pertan. Terpadu*, vol. 9, no. 1, pp. 53–65, 2021, doi: 10.36084/jpt.v9i1.312.
- [10] A. Priyanto, *Sintesis dan Aplikasi Silika*

- dari Abu Daun Bambu Petung untuk Mengurangi Kadar Amonium Nitrat pada Limbah CairTahu. 2015.
- [11] Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia,” <https://jdih.maritim.go.id/>, pp. 1–83, 2014.
- [12] J. T. Swastha, “Dalam penelitian Richi Yulianto, tahun (2020). Menyatakan bahwa limbah tahu memiliki kadar Biological Oxygen Demand (BOD) antara (1070 – 2600mg/l), Chemical Oxygen Demand (COD) (1940 – 4800 mg/l), dan suhu mencapai 40oC - 46oC, dan pH 4,5 – 5,7. Gas-gas y,” Universitas Negeri Semarang, 2010.
- [13] R. Alfi *et al.*, “Microporous and Mesoporous Materials-2020-03-Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water-Rizka Alfi Fadhilah Lubis.pdf,” *Indones. J. Chem. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 67–73, 2020.
- [14] D. Tani, *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif*.
- [15] R. S. D. Lestari, D. K. Sari, A. Rosmadiana, and B. Dwiper mata, “Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Dengan Aktivator Asam Fosfat Serta Aplikasinya Pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas,” *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 12, no. 2, p. 419, 2016, doi: 10.36055/tjst.v12i2.6607.
- [16] D. D. Jaya and M. Khair, “Pembuatan Karbon Aktif melalui Karbonisasi Batang Kelapa Sawit,” *Chem. J. State Univ. Padang*, vol. 9, no. 1, pp. 7–10, 2020.
- [17] F. Marsh, Harry ; rodriguez, *Activated Carbon*, Illustrate. Elsevier, 2006.
- [18] I. Febriana, E. Kurniawati, and M. Mayangsari, “Pemanfaatan Tongkol Jagung Pada Pembuatan Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivator (Na_2CO_3) Serta Pengaruhnya Terhadap Sampel Air Sumur Gali Menggunakan Parameter Ph, Turbidity, Total Suspended Solid (TSS) & Total Dissolved Solid (TDS),” *J. Cakrawala Ilm.*, vol. Vol.2, No., pp. 1–12, 2023.
- [19] C. Dai *et al.*, “ H_3PO_4 solution hydrothermal carbonization combined with KOH activation to prepare Argy wormwood-based porous carbon for high-performance supercapacitors,” *Appl. Surf. Sci.*, 2018, doi: 10.1016/j.apsusc.2018.02.261.
- [20] A. Prayogatama and T. Kurniawan, “Modifikasi Karbon Aktif dengan Aktivasi Kimia dan Fisika Menjadi Elektroda Superkapasitor,” vol. 11, no. 1, pp. 47–58, 2022.
- [21] J. Khajonrit, T. Sichumsaeng, O. Kalawa, and S. Chaisit, “Progress in Natural Science : Materials International Mangosteen peel-derived activated carbon for supercapacitors,” *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.*, vol. 32, no. 5, pp. 570–578, 2022, doi: 10.1016/j.pnsc.2022.09.004.
- [22] V. Yuli, “Studi pembuatan arang aktif dari tiga jenis arang produk agroforestry desa nglanggeran, patuk, gunung kidul, daerah istimewa yogyakarta,” *Pengemb. Pengelolaan dan Pemanfaat. Has. Hutan Rakyat di Indones.*, pp. 180–186, 2005.
- [23] R. Karolina and I. Nasution, *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) TM 3000 : TEORI DAN APLIKASINYA*, no. December 2022. 2023.
- [24] B. Aritonang, N. F. Ambarwati, and E. M. Sinaga, “Synthesis and Characterization of Activated Charcoal from Salak Skin As an Adsorbent Against BOD , COD , and TSS Levels in Textile Industry Liquid Waste Sintesis dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Kulit Salak Sebagai Adsorben Terhadap Kadar BOD , COD dan ,” vol. 2, no. 6, pp. 2611–2626, 2022.
- [25] V. Anggun and S. Maulina, “Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H_3PO_4) dan Asam Nitrat (HNO_3) TALENTA Conference Series Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pel,” vol. 1, no. 2, 2018.
- [26] J. Kimia and M. Science, “Sintesis dan karakterisasi selulosa termetilasi sebagai biokomposit hidrogel,” vol. 7, no. 1, 2020.
- [27] T. A. Mulyati, F. E. Pujiono, I. Ilmu, K. Bhakti, J. Kh, and W. Hasyim, “AKTIVATOR KOH,” no. 2, pp. 1–7, 2017.

- [28] A. Saban, Jasruddin, and Husain, "Pengaruh Konsentrasi Aktivator (NaOH Dan HCl) Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Dari Tongkol Jagung," no. 2, pp. 219–228, 2023.
- [29] I. Wahyuni and R. Fathoni, "Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Variasi Waktu Aktivasi," vol. 03, no. 1, pp. 11–14, 2019.
- [30] Faisal and U. Pato, "Studi Konsentrasi Kalium Hidroksida (KOH) Terhadap Kualitas Karbon Aktif Tempurung Kluwak," *JOM FAPERTA*, vol. 8, pp. 1–13, 2021.
- [31] Y. Dian, I. Siregar, R. Heryanto, A. Riyadhi, and T. H. Lestari, "Karakterisasi Karbon Aktif Asal Tumbuhan dan Tulang Hewan Menggunakan FTIR dan Analisis Kemometrika," vol. 1, no. November, pp. 103–116, 2015.
- [32] W. P. Pangestu, H. Sadida, and D. Vitasari, "Pengaruh Kadar BOD, COD, pH dan TSS Pada Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Media Filter Adsorben Alam dan Elektrokoagulasi," *Media Ilm. Tek. Lingkungan.*, vol. 6, no. 2, pp. 74–80, 2021, doi: 10.33084/mitl.v6i2.2376.
- [33] A. A. Amri and T. Widayatno, "Penurunan Kadar BOD, COD, TSS, Dan PH Pada Limbah Cair Tahu Dengan Menggunakan Biofilter," *J. Inov. Tek. Kim.*, vol. 8, no. 1, p. 6, 2023, doi: 10.31942/inteka.v18i1.8089.
- [34] I. Pratiwi and A. Setiorini, Indah, "Penurunan Nilai PH , COD , TDS , TSS Pada Air Sungai Menggunakan Limbah Kulit Jagung Melalui Adsorben Abstrak," vol. 8, pp. 55–62, 2023.