

Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification

Rizka Alfi Fadhilah Lubis^{1*}, Hafni Indriati Nasution, Moondra Zubir

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan 20221, Indonesia

*Email : rizkaalfi08@yahoo.com

ABSTRACT

Activated carbon as one of the widely used adsorbent has many application in the environment for the water purification and removing pollutant. Activated carbon can produced from agricultural waste and has not been optimally used. In this paper, these natural sources from agricultural waste materials has been reviewed and the potential as activated carbon. Characteristics of activated carbon that can be used as a activated carbon depends on surface area and pore structure prepared through activation method. Activation method for carbon depends on the precursor and characteristic of activated carbon which are expected. Natural sources can be converted into activated carbon by chemical, physical, or physical-chemical activation. Therefore, this paper is aimed to providing information about methods of production activated carbon has been reported for purify water.

Keywords: activated carbon, adsorption, agricultural waste, water purification

I. Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan mendasar dalam mencakup aktivitas kehidupan manusia sehingga peningkatan kebutuhan jumlah air tidak bisa dihindari. Besarnya kebutuhan air yang dibutuhkan membuat kebutuhan akan pemanfaatan sumber air menjadi lebih banyak. Berdasarkan data BPS pada tahun 2018, sumber air minum utama yang paling banyak digunakan Sumatera Utara berturut-turut adalah air isi ulang sebesar 33,31%, sumur bor/pompa sebesar 20,91%, leding 12,7%, sumur terlindung sebesar 11,53%, mata air terlindung 7,72%, sumur tak terlindung 4,03%, mata air tak terlindung 3,13%, air kemasan bermerk sebesar 2,26%, air permukaan 2,35%, air hujan 1,93% dan lainnya sebesar 0,06 persen. Sebagian besar masyarakat di Sumatera Utara masih menggunakan sumber air tanah berupa sumur terlindung, sumur bor dan sumur tak terlindung.¹

Permasalahan yang timbul adalah kualitas air tanah maupun air sungai yang digunakan pada kegiatan sehari-hari masyarakat kurang memenuhi syarat sebagai air bersih. Menurut UU Lingkungan Hidup No. 32 Tahun 2009 pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Berbagai aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhannya seperti rumah tangga dan kegiatan industri akan menghasilkan limbah yang akan membawa dampak buruk berupa sampah atau limbah yang dapat menurunkan kualitas lingkungan. Sisa buangan aktivitas manusia salah satunya menyebabkan pencemaran air.

Beberapa syarat air bersih adalah air yang memenuhi parameter fisik, kimia, dan biologi.

Proses pengolahan sumber air yang sesuai akan berpengaruh pada kualitas kesehatan. Parameter fisika yang diamati adalah warna, bau, kekeruhan, dan *total dissolve solids* (TDS). Sedangkan parameter kimia yang diamati adalah pH, *chemical oxygen demand* (COD), kadar besi, mangan, kesadahan (*hardness*).

Karbon aktif adalah salah satu adsorben yang digunakan dalam proses penjernihan air. Karbon aktif digunakan luas permukaan besar sehingga daya adsorpsinya lebih tinggi. Dalam pengolahan sumber air, karbon aktif dapat menghilangkan warna, bau dan polutan sehingga meningkatkan kualitas air menjadi sumber air yang layak. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan alam yang mengandung lignoselulosa. Salah satu bahan alam yang potensial untuk dijadikan karbon aktif adalah tandan kosong kelapa sawit.

II. Adsorpsi

Adsorpsi adalah fenomena yang pengumpulan gas atau zat cair pada permukaan zat padat. Proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses molekul-molekul material menempel pada permukaan zat penyerap akibat gaya van der Waals dan ikatan kimia pada permukaan zat padat. Pada adsorpsi, interaksi antara adsorben dengan adsorbat hanya terjadi pada permukaan adsorben. Molekul yang terikat pada bagian antarmuka disebut adsorbat, sedangkan permukaan yang menyerap molekul-molekul adsorbat disebut adsorben seperti zeolit, karbon aktif, silika, dan *porous clay*.²

2.1. Zeolit

Zeolit adalah satu-satunya bahan kristal dengan struktur pori yang terdefinisi dengan struktur pori mikropori yang baik. Zeolit unik karena adanya aluminium dalam struktur, banyak zeolit memiliki asam kuat di permukaannya sehingga dapat dijadikan katalis perengkahan yang unggul. Air dan kation yang ada di dalam rongga zeolit dapat disubstitusikan dengan molekul lain. Karena sebagian besar kation yang terkandung pada zeolit, kation yang memberikan muatan bebas untuk bermigrasi masuk dan keluar struktur zeolit. Padatan ini adalah penukar ion yang baik. Karakteristik ini digunakan untuk mengetahui kation yang berbeda dalam struktur, membuat tempat selektif untuk keperluan adsorpsi atau katalis.³

Kation-kation dalam kerangka zeolit dapat ditukar dan disubstitusikan tanpa merubah struktur kerangka (isomorfis) dan dapat menimbulkan

gradien medan listrik dalam kanal-kanal dan ruangan-ruangan zeolit. Gradien ini akan dialami semua adsorbat yang masuk ke pori zeolit, karena kecilnya diameter pori yang ukurannya beberapa angstrom. Zeolit yang banyak mengalami substitusi kerangka isomorfis, cenderung memilih molekul-molekul yang polar untuk diadsorpsi. Sebaliknya molekul-molekul non polar akan diserap oleh zeolit dengan rasio Si/Al tinggi.⁴

2.2. Karbon Aktif

Karbon aktif dapat didefinisikan sebagai bahan karbon dengan struktur amorf dan luas permukaan internal yang besar dengan tingkat porositas yang tinggi. Karbon aktif memiliki bentuk karbon mikrokristalin dan non-grafit. Bentuk non-grafit berarti terdiri dari sejumlah kecil hidrogen atau sejumlah besar oksigen dalam strukturnya. Karbon aktif memiliki kinerja tinggi dalam konduktivitas listrik, stabilitas termal yang baik, serta reaktivitas permukaan yang menjadi alasan utama karbon aktif digunakan dalam beberapa tahun terakhir. Karbon aktif mengandung mikropori, mesopori, dan makropori dalam strukturnya. Struktur ini memiliki peran penting dalam menentukan kinerja karbon aktif sebagai adsorben.⁵

Karbon aktif dikategorikan dalam karbon non-grafit karena memiliki kerapatan rendah dan struktur berpori. Karbon aktif dapat diproduksi dari bahan yang mengandung karbon salah satunya dari limbah pertanian seperti cangkang kelapa sawit, kulit buah, tempurung, akar, batang, kulit kayu, bunga, daun, kulit buah. Beberapa kriteria pemilihan bahan baku untuk membuat karbon aktif yaitu kandungan karbon tinggi, kandungan zat anorganik rendah agar hasil abu rendah, berlimpah sehingga biayanya rendah, tingkat degradasi rendah pada penyimpanan, dan kemungkinan menghasilkan karbon aktif dengan hasil persen tinggi.⁵

Karbon aktif telah diakui sebagai salah satu adsorben yang paling populer dan banyak digunakan dalam pengolahan air dan air limbah di seluruh dunia. Sifat adsorptif spesifik arang adalah pertama kali ditemukan oleh Scheele pada tahun 1773 untuk perawatan gas diikuti dengan penghilangan warna pada air pada tahun 1786. Karbon aktif memiliki struktur berpori yang melimpah dan kapasitas adsorpsi yang kuat, banyak digunakan di berbagai industri, termasuk dalam

pemisahan, penghilangan zat warna dan polutan dari air limbah, dan pada proses penjernihan air.⁶

2.3. Silika

Silika adalah senyawa kimia dengan rumus molekul SiO_2 (*silicon dioxida*) yang dapat diperoleh dari silika mineral, nabati dan sintesis kristal. Silika mineral adalah senyawa yang banyak ditemui dalam bahan tambang/galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2).⁷ Silika merupakan suatu padatan berpori, struktur berpori ini berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil ukuran pori-pori silika mengakibatkan luas permukaan semakin besar sehingga kemampuan adsorpsi bertambah. Selain itu, silika mempunyai sifat unik seperti sifat inert, sifat adsorpsi dan pertukaran ion yang baik, mudah dimodifikasi dengan senyawa kimia tertentu untuk meningkatkan kinerjanya, kestabilan mekanik dan kestabilan termal tinggi, serta dapat digunakan untuk prekonsentrasi atau pemisahan analit karena proses pengikatan analit pada permukaan silika bersifat *reversible*.⁸

III. Limbah Pertanian

Limbah pertanian dapat digunakan sebagai karbon aktif karena materialnya yang berlimpah, mudah ditemukan, terbarukan, biaya rendah dan penggunaannya yang ramah lingkungan. Limbah pertanian biasanya ringan, berpori, dan mengandung berbagai senyawa organik seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Penelitian menunjukkan bahwa dalam aktivasi kimia, zat pengaktif mencerna amorf lignin lebih baik daripada biomassa selulosa, sehingga penting untuk memahami karakteristik bahan baku yang digunakan dalam membuat karbon aktif. Biomassa lignoselulosa mengandung 10% -30% lignin, dan bahan-bahan seperti sabut, memiliki sekitar 45% lignin. Lignin adalah polimer tidak larut alami, dan mengandung gugus aldehid dan karbonil, yang membuatnya sangat terpolarisasi.⁹

Beberapa metode sederhana dan murah untuk mendapatkan karbon aktif dari biomassa yaitu menggunakan asam, basa dan garam. Hubungan silang antara komponen lignoselulosa menentukan kesesuaian bahan biomassa untuk karbon aktif. Struktur bahan biomassa, fisiognomi dan sifat kimia dari masing-masing komponen akan mempengaruhi reaktivitas pada proses pembuatan karbon aktif.⁹

IV. Kelapa Sawit

Kelapa Sawit merupakan salah satu tanaman budidaya penghasil minyak nabati berupa *Crude Palm Oil* (CPO), sangat banyak ditanam dalam perkebunan di Indonesia terutama di pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua. Proses pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan limbah padat, cair dan gas. Limbah padat ini antara lain adalah tandan kosong, cangkang/fiber, abu boiler, *solid decanter*, sampah *loading ramp* dan cangkang. Pengolahan 1 (satu) ton tandan buah segar (TBS) kelapa sawit akan menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (*shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, serabut (*fiber*) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50%.¹⁰

Berdasarkan data limbah padat yang dihasilkan tersebut dapat diperkirakan jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh sebuah pabrik kelapa sawit yang berkapasitas 50 ton per jam, yaitu 23.250 ton/hari. Besarnya limbah padat yang tidak diolah dapat menyebabkan permasalahan lingkungan. Tandan kosong merupakan limbah dari pabrik minyak kelapa sawit (PKS) setelah TBS melalui proses *sterilizer* dan *tipler*. Jumlah tandan kosong yang dihasilkan setiap ton TBS yang diolah mencapai sekitar 23%, namun belum banyak dimanfaatkan dan pengelolaannya masih terbatas hanya dibakar. Cangkang merupakan limbah yang dihasilkan dari pemrosesan kernel inti sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa, mempunyai kalor 3.500 kkal/kg-4.100 kkal/kg. Cangkang sawit atau tempurung kelapa sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit yang pemanfaatannya pada industri pengolahan minyak CPO belum maksimal. Dalam proses produksi CPO juga dihasilkan limbah serat yang merupakan sisa perasan buah sawit berupa serabut seperti benang yang memiliki kandungan protein kasar sekitar 4% dan serat kasar 36%, lignin 26%.¹⁰

Tabel 1. Kandungan lignoselulosa pada limbah pengolahan kelapa sawit

Limbah	Kandungan (w/w%)			Referensi
	Lignin	Selulosa	Hemi selulosa	
Cangkang	44	27,7	21,6	[11]
Tandan Kosong	18,1 – 25	17,1 – 59,7	22,1 – 48	[12]
Serat	15,1	51,2	28,2	[13]

V. Pembuatan Karbon Aktif

5.1. Karbonisasi

Pembuatan karbon aktif melalui tahap karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi adalah fase untuk memperkaya kandungan karbon dengan menghilangkan spesies non-karbon menggunakan dekomposisi termal. Porositas awal arang meskipun masih relatif rendah, dapat dikembangkan pada tahap ini sebelum mengalami perkembangan lebih lanjut dalam proses aktivasi. Dalam proses produksi, bahan organik pertama kali dikarbonisasi pada suhu 600–700°C dan melepaskan sebagian besar komponen volatil yang merupakan hasil pemecahan dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Produk dari tahap karbonisasi adalah padatan dengan kandungan karbon tinggi, biasanya dalam kisaran 25-50% dihitung berdasarkan massa, tergantung pada bahan awal dan parameter proses yang digunakan. Pemilihan parameter karbonisasi yang cermat adalah penting karena proses ini meninggalkan efek yang signifikan pada produk akhir.¹⁴

Tabel 2. Proses karbonisasi limbah pengolahan kelapa sawit dari penelitian sebelumnya

Prekursor	Suhu (°C)	Heating rate (°C/min)	N ₂ flow rate (L/min)	Waktu (min)	Referensi
Cangkang	700	10	0,15	120	[15]
	550	-	-	60	[16]
Tandan Kosong	900	25	2,5	30	[17]
	600	23	2,5	30	[18]
Serat	700	10	0,15	120	[19]

5.2. Aktivasi Karbon

Proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan volume pori, memperbesar diameter pori-pori dan meningkatkan porositas karbon aktif. Proses aktivasi dapat dilakukan dengan tiga metode. Aktivasi fisika, aktivasi kimia, dan aktivasi fisika-kimia. Aktivasi fisika biasanya menggunakan uap atau CO₂. Untuk aktivasi fisika, uap lebih efektif

daripada CO₂, karena dapat menghasilkan karbon aktif dengan permukaan yang relatif lebih besar.¹⁴

Salah satu metode pengaktifan untuk menghasilkan karbon aktif adalah aktivasi kimia. Dalam aktivasi kimia agen pengaktifan, seperti ZnCl₂, KOH, NaOH, dan H₃PO₄, digunakan untuk mengaktifkan karbon. Prosedurnya sederhana yaitu larutan yang mengandung bahan aktivasi kimia meresap ke permukaan biomassa, dikeringkan dalam oven, dan akhirnya diaktifkan di tungku selama 1 hingga 4 jam. Keuntungan menggunakan metode aktivasi kimia adalah hasil karbon akhir yang lebih tinggi, proses satu langkah, umumnya suhu aktivasi lebih rendah, dan penyesuaian porositas yang lebih mudah. Tahap karbonisasi dan aktivasi dapat dilakukan dengan dua cara berbeda, dalam proses dua tahap, di mana tahap karbonisasi dan aktivasi dipisahkan dalam waktu, atau dalam proses satu tahap, di mana karbonisasi dan aktivasi dilakukan secara berurutan dalam reaktor yang sama.²⁰

Pada fase awal proses aktivasi, karbon yang tidak terorganisir dihilangkan, membuka lignin dengan agen pengaktif sehingga mengarah pada pengembangan struktur mikro. Pada fase terakhir, pori-pori akan melebar dan pori-pori ukuran besar terbentuk ketika dinding antara pori-pori terbakar habis. Tahap ini ini menghasilkan peningkatan transipora dan makroporositas, sedangkan volume mikropori menurun. Dengan demikian, aktivasi adalah ukuran penting dalam produksi karbon aktif.¹⁴

Tabel 3. Proses aktivasi karbon limbah pengolahan kelapa sawit dari penelitian sebelumnya

Prekursor	Metode Aktivasi	Peng aktif	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Referensi
Cangkang	Kimia	HCl	-	240	[15]
	Kimia	ZnCl ₂	-	60	[16]
Tandan Kosong	Fisika	-	900	15	[17]
	Fisika	-	900	15	[18]
Serat	Fisika-kimia	KOH/CO ₂	862	60	[19]

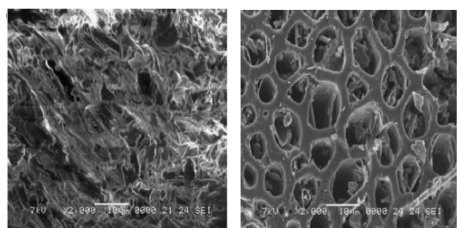
VI. Karakterisasi Karbon Aktif

Porositas karbon aktif, volume pori, ukuran, luas permukaan dan karakteristik struktural lainnya menentukan kapasitas adsorpsi. Analisis FTIR mengidentifikasi kelompok fungsional dan bahan kimia dalam sampel sangat penting dalam

karakterisasi karbon aktif dan dalam prediksi kinerja adsorpsi. Sifat permukaan dan gugus fungsi karbon aktif bergantung pada prekursor, yang mengaktifkan agen, proses dan kondisi aktivasi.

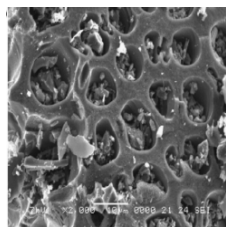
Tan et al (2008) telah mempublikasikan tentang potensi cangkang kelapa sawit sebagai karbon aktif untuk adsorpsi *methylene blue* di perairan menunjukkan puncak utama spektrum FTIR dalam rentang: 3572 cm⁻¹(O – H), 2278 cm⁻¹ (C≡C), 1236 cm⁻¹(C-O-C) dan 664 cm⁻¹(C-Cl) menunjukkan bahwa permukaan karbon aktif dipengaruhi oleh perlakuan asam yaitu lebih banyak gugus asam seperti karboksilat dan eter.¹⁵

Alam et al (2009) telah melaporkan penelitian tentang pembuatan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit untuk menghilangkan fenol dalam perairan. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh hasil tentang morfologi pori dari karbon aktif tersebut berikut ini:¹⁸



Gbr. 1 (a) TKKS

(b) Karbon aktif TKKS



(c) Karbon aktif komersil.¹⁸

Gambar 1(a) adalah SEM dari bahan baku tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan perbesaran 2000 ×. Pada gambar 1(a) bahwa sangat sedikit pori pada permukaan sampel. Namun, setelah proses aktivasi di bawah kondisi persiapan optimal suhu aktivasi 900°C, 15 menit waktu aktivasi dan gasifikasi CO₂ pada 0,1 L/mnt, pori-pori mulai terbentuk dengan berbagai ukuran dan bentuk yang berbeda dikembangkan seperti ditunjukkan pada gambar (b). Pori-pori pada gambar (b) sebanding dengan karbon aktif komersial pada gambar (c) yang memiliki banyak pengotor. Selama aktivasi fisik dengan gas CO₂, difusi zat pengoksidasi melalui matriks karbon mungkin telah meningkat. Mikro-porositas terbuka

dan melebar ini menunjukkan bahwa CO₂ efektif dalam menciptakan pori-pori yang berkembang dengan baik pada permukaan prekursor, sehingga mengarah ke karbon aktif dengan luas permukaan yang besar dan struktur berpori yang memiliki kapasitas adsorpsi tinggi untuk fenol.¹⁸

Garcia et al (2018) mengamati tentang pembuatan karbon aktif dari cangkang inti sawit untuk menghilangkan *methylene blue* (MB) dalam air, menunjukkan karbon aktif yang dihasilkan dari variasi sampel karbon aktif yang divariasikan C1-500, C1-550, C2-500, dan C2-550 memiliki area permukaan spesifik mikropori mewakili 70 hingga 80% dari total luas permukaan spesifik BET. Hanya sampel C1-550, yang memiliki volume mesopori (0,258 cm³/g) yang secara signifikan lebih besar daripada sampel lain (antara 0,075 cm³/g dan 0,136 cm³/g).¹⁶

Tabel 4. Karakteristik tekstur sampel karbon aktif dari cangkang kelapa sawit.

	C1-500	C1-550	C2-500	C2-550
Luas permukaan spesifik BET (m ² /g)	857	1058	511	628
Luas permukaan spesifik mikropori (m ² /g) ^a	682	721	415	503
Luas permukaan spesifik mesopori (m ² /g)	175	337	96	125
Jumlah volume pori (cm ³ /g)	0,429	0,571	0,257	0,318
Volume mikropori (cm ³ /g)	0,293	0,313	0,181	0,217
Volume mesopori (cm ³ /g) ^b	0,136	0,258	0,075	0,102

^a Luas permukaan mikropori = Luas permukaan spesifik BET – luas permukaan mesopori

^b Volume mesopori = Jumlah volume pori – volume mikropori.¹⁶

VII. Penjernihan Air

Razi et al (2018) telah melaporkan penelitian tentang efisiensi penggunaan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit untuk *greywater*, perlakuan dimulai dengan membuat karbon aktif yang diaktivasi dengan H₃PO₄, lalu merancang sistem tiga lapisan yang terdiri dari karbon aktif cangkang kelapa sawit (diameter 5 mm dan kedalaman 80 mm terletak di bagian bawah filter), pasir (diameter 3 mm; kedalaman 600 mm) dan kerikil (diameter 5 mm; kedalaman 50 mm). Sampel air dan *greywater* sebanyak 1 L dilewatkan melalui sistem yang telah

dilakukan pada tingkat hidrolis 400 mL/menit yang dilakukan selama 2 jam. Sampel dikumpulkan setelah interval 5, 15, 30 dan 60 menit. Lalu dianalisis kekeruhan, COD, TSS dan TDS. Persentase penghilangan untuk setiap parameter dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Removal (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \%$$

Dimana C_0 adalah konsentrasi awal parameter, C_t adalah konsentrasi akhir dari parameter dalam air yang disaring.²¹

Tabel 5. Karakteristik sampel air sebelum diperlakukan dengan karbon aktif cangkang kelapa sawit.²¹

Parameter	Sampel air permukaan	Sampel Greywater	Standar air minum
pH	6,3	8,46±0,5	6,5-9
Turbidity (NTU)	27,01±3,7	258±6,8	5-50
COD (mg/L)	26,33±3,78	506±50,67	25-90
TDS (mg/L)	314±49	4±1,2	0-1000
TSS (mg/L)	25,66±3,51	26±4,22	50

Setelah diperlakukan dengan karbon aktif cangkang kelapa sawit diperoleh hasil bahwa sampel pH air dan *greywater* selama proses perawatan menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dihasilkan bahwa pH sampel *greywater* menurun dari 8,46 menjadi di bawah 6,8 setelah 30 detik perlakuan dengan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit. Penurunan nilai pH *greywater* disebabkan oleh penghapusan senyawa deterjen dari limbah melalui adsorpsi oleh karbon aktif dari cangkang kelapa sawit. Karbon aktif memiliki potensi tinggi untuk menghilangkan senyawa organik yang mengandung deterjen dan pewarna dari *greywater*.

Berkurangnya kekeruhan air permukaan dan *greywater* dihasilkan bahwa penurunan kekeruhan maksimum dari *greywater* dicatat setelah 60 menit dengan persentase maksimum mencapai 55%, Pengurangan maksimum COD dalam *greywater* dicapai karbon aktif dari cangkang kelapa sawit setelah 30 dan 60 menit masing-masing 55,84% dan 56,44%). Hasil ini mengungkapkan peran karbon aktif cangkang kelapa sawit dalam menghilangkan zat kimia dari *greywater*. Pada *greywater*, sebagian besar zat kimia larut dalam air. Dalam sampel *greywater*, nilai pengurangan TDS maksimum setelah 5 dan 15 menit dengan karbon aktif cangkang kelapa sawit mencapai 22,14 dan 21,97%. Pengurangan TSS tertinggi dicapai *greywater* adalah 42,11%, ini mengungkapkan bahwa karbon aktif cangkang kelapa sawit bertindak lebih efisien dalam pengurangan TSS daripada TDS. Hal ini dapat dijelaskan oleh afinitas TSS yang lebih tinggi dibanding TDS terhadap

permukaan karbon aktif cangkang kelapa sawit dalam interaksi adsorbat-adsorben.²¹

VIII. Kesimpulan

Karbon aktif adalah adsorben yang paling banyak digunakan dalam proses adsorpsi. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai limbah seperti limbah pengolahan kelapa sawit yang telah dipaparkan. Karbon aktif yang dibuat dari bahan alam limbah pengolahan kelapa sawit dapat memberikan luas permukaan dan daya adsorpsi yang baik yang dapat dibandingkan dengan karbon aktif komersil. Karbon aktif dari limbah juga tersedia dengan material yang ekonomis dan melimpah sehingga dapat membantu mengurangi limbah pengolahan kelapa sawit. Proses aktivasi pada karbon menjadi salah satu proses yang berpengaruh pada morfologi karbon aktif dan meningkatkan kemampuan adsorpsi. Salah satu pemanfaatan karbon aktif adalah pada proses penjernihan perlakuan pada *greywater* yang telah dipublikasikan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan.

Referensi

1. Badan Pusat Statistik. (2019). "Statistik Kesehatan dan Perumahan Provinsi Sumatera Utara 2018". Internet: <https://sumut.bps.go.id/publication/2019/07/08/532f40cbef23b18265f800f2/statistik-kesehatan-dan-perumahan-provinsi-sumatera-2018.html>, Juli. 25, 2019 [Mei. 28, 2020].
2. Mheemed, A.H. (2018, Des.). "A General Overview on the Adsorption." *Indian Journal of Natural Sciences*. 9(51), pp. 16127 – 16131
3. Dabrowski, A., (2001, Okt). "Adsorption from Theory to Practice." *Advances in Colloid and Interface Science*. 93, pp. 135 – 224
4. Lestari, D.Y. (2010, Okt). "Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara." *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*, pp. 1–6
5. Yahya, M.A. (2018, Jun). "A Brief Review on Activated Carbon Derived From Agriculture By-Product." *Recent Advancement on Applied Physic Industrial Chemistry and Chemical Technology*, pp. 1 – 8
6. Bhatnagar, A., Hogland, W., Marques, M., dan Sillanpää, M. (2013, Mar). "An Overview of the Modification Methods of Activated Carbon

- for Its Water Treatment Applications.” *Chemical Engineering Journal*. 219, pp. 499 – 511
7. Della, V.P., Kuhn, I., and Hotza, D. (2002, Des). “Rice Husk Ash an Alternate Source for Active Silica Production. *Materials Letters* 57, pp.818-821.
 8. Hardyanti, I.S., Nuraini, I., Hardjono, D.S., Apriliani, E., Wibowo, E.A.P. (2017, Okt). “Pemanfaatan Silika (SiO₂) dan Bentonit sebagai Adsorben Logam Berat Fe pada Limbah Batik.” *Jurnal Sains Terapan*. 3(2), pp. 37 – 41
 9. Ukanwa, K.S., Patchigolla, K., Sakrabani, R., Anthony, E., dan Mandavagane, S. (2019, Nov). “A Review of Chemicals to Produce Activated Carbon from Agricultural Waste Biomass.” *Sustainability*. 11(22), pp. 1 – 35
 10. Susanto, J.P., Santoso, A.D., Suwedi, N., (2017, Jul). “Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA.” *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 18(2), pp. 165 – 172
 11. Rugayah, A. F., Astimar, A. A., dan Norzita, N. (2014, Sep). “Preparation and Characterization of Activated Carbon from Palm Kernel Shell by Physical Activation with Steam.” *Journal of Oil Palm Research*. 26(3), pp. 251–264
 12. Pogaku, R., Hardinge, B.S., Vuthaluru, H., dan Amir, H.A. (2016, Mei). “Production of Bio-Oil from Oil Palm Empty Fruit Bunch by Catalytic Fast Pyrolysis: A Review.” *Biofuels*. 7(6), pp. 647 - 660
 13. Ramli, R., Junadi, N., Beg, M., Yunus, R.M. (2015). “Microcrystalline Cellulose (MCC) from Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) Fiber Via Simultaneous Ultrasonic and Alkali Treatment.” *International Journal of Chemical, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*. 9(1), pp. 8–11
 14. Nor, N. M., Lau, L. C., Lee, K. T., & Mohamed, A. R. (2013, Des). “Synthesis of Activated Carbon from Lignocellulosic Biomass and Its Applications in Air Pollution Control—A Review.” *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 1(4), pp. 658–666
 15. Tan, I. A. W., Ahmad, A. L., dan Hameed, B. H. (2008, Apr). “Enhancement of Basic Dye Adsorption Uptake from Aqueous Solutions Using Chemically Modified Oil Palm Shell Activated Carbon.” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 318(1-3), pp. 88–96
 16. García, J. R., Sedran, U., Zaini, M. A. A., dan Zakaria, Z. A. (2017, Apr). “Preparation, Characterization, and Dye Removal Study of Activated Carbon Prepared from Palm Kernel Shell.” *Environmental Science and Pollution Research*. 25(6), pp. 5076–5085
 17. Amosa, M. K., Jami, M. S., Ma’an, F. R., Jimat, D. N., dan Muyibi, S. A. (2015, Agt). “A Two-Step Optimization and Statistical Analysis of COD Reduction from Biotreated POME Using Empty Fruit Bunch-Based Activated Carbon Produced from Pyrolysis.” *Water Quality, Exposure and Health*. 7(4), pp. 603–616
 18. Alam, M. Z., Ameer, E. S., Muyibi, S. A., dan Kabbashi, N. A. (2009, Des). “The Factors Affecting the Performance of Activated Carbon Prepared from Oil Palm Empty Fruit Bunches for Adsorption of Phenol.” *Chemical Engineering Journal*. 155(1-2), pp. 191 – 198
 19. Hameed, B. H., Tan, I. A. W., dan Ahmad, A. L. (2008, Okt). “Optimization of Basic Dye Removal By Oil Palm Fibre-Based Activated Carbon Using Response Surface Methodology.” *Journal of hazardous materials*. 158(2-3), pp. 324–332
 20. Bergna, D., Varila, T., Romar, H., dan Lassi, U. (2018, Jul). “Comparison of the Properties of Activated Carbons Produced in One-Stage and Two-Stage Processes.” *C—Journal of Carbon Research*. 4(3), pp. 1–10
 21. Razi, M.A.M, Al-Gheethi, A., Al-Qaini, M., dan Yousef, A. (2018, Okt). “Efficiency of Activated Carbon from Palm Kernel Shell for Treatment of Greywater. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*. 25(3), pp. 103-110