

PEMANFAATAN ADSORBEN DARI KULIT BUAH KAKAO (*Theobroma cacao* L.) UNTUK MENURUNKAN *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* PADA *PALM OIL MILL EFFLUENT*

*UTILIZATION OF ADSORBENT FROM COCOA PEEL (*Theobroma cacao* L.) TO REDUCE *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* IN *PALM OIL MILL EFFLUENT**

Setiaty Pandia, Astri Devi Yunita Siahaan, Anita Tiurmaida Hutagalung
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater Kampus USU Medan 20155, Indonesia
Email: astrisiahaan@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan adsorben kulit buah kakao dalam mengurangi kandungan COD pada limbah cair kelapa sawit (*Palm Oil Mill Effluent*). Penelitian ini diawali dengan modifikasi adsorben, dimana kulit buah kakao yang telah dibersihkan dan dihaluskan dengan variasi ukuran 70-100 mesh, 100-120 mesh, dan ≥ 120 mesh diaktivasi dengan larutan HNO_3 0,6 M dengan rasio adsorben : HNO_3 (b:v) = 1:2, 1:4, dan 1:6 dengan suhu pemanasan 80 °C selama 2 jam. Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan variasi massa adsorben 1 gram, 1,5 gram, dan 2 gram dalam 50 mL *Palm Oil Mill Effluent* dengan pH 2 dan kecepatan pengadukan 200 rpm, dan variasi waktu kontak 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran partikel ≥ 120 mesh dengan rasio adsorben : HNO_3 (b:v) = 1:4 menghasilkan bilangan iodin tertinggi sebesar 596,684 mg/g. Penurunan terbaik terhadap COD diperoleh pada massa adsorben 1 g dan waktu kontak 2 jam dengan persentase penyisihan sebesar 56,79%. Model kinetika adsorpsi yang mewakili penjerapan COD adalah pseudo orde dua dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,732.

Kata kunci: adsorben, kulit buah kakao, POME, COD

Abstract

This study was aimed to determine the effectiveness of cocoa peel as adsorbents to reduce the content of COD in POME (Palm Oil Mill Effluent). The study was initiated by modifying the adsorbent, where the cleansed and crushed cocoa peels with a size variation of 70-100 mesh, 100-120 mesh, and ≥ 120 mesh were activated with 0.6 M HNO_3 solution at 1:2, 1:4, and 1:6 of adsorbent : HNO_3 ratio while heated at 80 °C for 2 hours. The adsorption process was carried out using variation of adsorbent mass of 1 g, 1.5 g, and 2 g in 50 mL of Palm Oil Mill Effluent at pH 2 and 200 rpm stirring rate, and variation of contact time of 1, 2, 3, 4, and 5 hours. The study results showed that particle size ≥ 120 mesh with adsorbent : HNO_3 ratio 1:4 produced the highest iodine number of 596,684 mg/g. The best adsorbent mass was 1 g at 2 hours contact time with 56.79% removal percentage for COD. The appropriate kinetics model of the adsorption of COD was the pseudo-second order model with the correlation coefficient of 0.732.

Keywords: adsorbent, cocoa peels, COD, POME

Pendahuluan

Pengembangan industri kelapa sawit yang diikuti dengan pembangunan pabrik dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan berupa pencemaran. Limbah cair pabrik kelapa sawit masih memiliki potensi sebagai pencemaran lingkungan karena berbau, berwarna, mengandung nilai COD, BOD serta padatan tersuspensi yang tinggi. Apabila limbah tersebut langsung dibuang ke badan penerima, maka sebagian akan mengendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang tajam dan dapat merusak ekosistem badan penerima [7]. Dengan demikian perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah cair ini. Salah satu

pengolahan alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan metode adsorpsi. Adsorpsi adalah metode pemisahan secara fisika yang efektif untuk mengeleminasi atau menurunkan konsentrasi berbagai polutan terlarut (organik, anorganik) dalam limbah [4]. Adsorben yang murah dapat menjadi alternatif yang layak untuk pengolahan limbah cair [25].

Kakao merupakan salah satu komoditas perkebunan yang peranannya cukup penting bagi perekonomian nasional, khususnya penyedia lapangan kerja, sumber pendapatan dan devisa negara. Pada tahun 2015 luas areal perkebunan kakao Indonesia tercatat seluas 1.704.982 hektar dengan total produksi 701.229 ton [10, 22]. Peningkatan luas areal perkebunan

akan meningkatkan produksi buah kakao yang akan menyebabkan produksi limbah kakao semakin tinggi. Limbah buah kakao terbesar berasal dari kulitnya. Selama ini pemanfaatan kulit buah coklat hanya terbatas untuk pakan ternak dan bahan baku pembuatan pupuk [24]. Kulit buah kakao mengandung selulosa 36,23%, hemiselulosa 1,14% dan lignin 20 - 27,95% [5]. Kandungan selulosa yang cukup tinggi dalam kulit buah kakao berpotensi untuk diolah lebih lanjut sebagai adsorben. Sebelum digunakan sebagai adsorben, untuk meningkatkan daya jerap kulit buah kakao dapat dilakukan aktivasi menggunakan larutan asam atau basa. Aktivasi dengan larutan asam paling umum digunakan dan terbukti efektif dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi [10]. Aktivasi kimia sering dipilih karena waktu produksi yang lebih pendek, suhu produksi yang lebih rendah dan kemurnian lebih tinggi [14].

Berdasarkan uraian di atas, adsorben dari kulit buah kakao yang diaktivasi dengan asam nitrat akan diaplikasikan dalam menurunkan kandungan COD pada POME

Teori

POME (*Palm Oil Mill Effluent*) adalah limbah cair volume tinggi yang tidak beracun namun memiliki bau tak sedap. POME rata-rata mengandung BOD sekitar 25.000 mg/L, COD sebesar 50.000 mg/L, padatan tersuspensi sekitar 18.000 mg/L dan kadar minyak bisa melebihi 6000 mg/L [2]. *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan ukuran pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air [20].

Adsorpsi secara luas digunakan sebagai metode pemisahan secara fisika yang efektif untuk mengeleminasi atau menurunkan konsentrasi berbagai polutan terlarut (organik, anorganik) dalam limbah [4]. Untuk penghilangan kontaminan organik dari air limbah industri, adsorpsi menjadi salah satu metode terbaik yang efektif dan ekonomis, sehingga proses adsorpsi cukup diminati [21].

Berdasarkan uraian diatas, apabila POME dibuang langsung ke lingkungan tanpa adanya pengolahan yang tepat akan menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan. Dengan demikian perlu dilakukan suatu pengolahan terhadap limbah cair, dimana dalam penelitian ini menggunakan metode adsorpsi, sehingga sesuai dengan standar baku mutu yang sudah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 mengenai baku mutu air limbah [18].

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Industri Kelapa Sawit

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
BOD ₅	100	0,25
COD	500	0,88
TSS	250	0,63
Minyak dan Lemak	25	0,063
Nitrogen Total	50	0,125
pH	6,0-9,0	
Debit limbah paling tinggi	2,5 m ³ per ton produk minyak sawit (CPO)	

Adsorben adalah zat padat yang dapat menyerap partikel fluida dalam suatu proses adsorpsi [9]. Kapasitas adsorpsi dapat bervariasi, tergantung pada karakteristik adsorben, modifikasi permukaan dan konsentrasi adsorbat [21, 25]. Adapun standar kualitas adsorben berdasarkan SNI 06-3730-1995 [17] diberikan pada Tabel 1.

Tabel 2. Standar Kualitas Adsorben Berdasarkan SNI 06-3730-1995

Jenis Persyaratan	Parameter
Kadar air	Maks. 15%
Kadar abu	Maks. 10%
Kadar zat menguap	Maks. 25%
Kadar karbon terikat	Maks. 65%
Daya serap terhadap yodium	Min. 750 mg/g
Daya serap terhadap benzena	Min. 25%

Berasarkan uraian sebelumnya maka penelitian ini dilakukan untuk mempelajari efektivitas adsorben kulit buah kakao dalam mengurangi kandungan COD pada POME.

Metodologi Penelitian

Bahan Baku dan Peralatan

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit buah kakao, *aquadest*, HNO₃, HCl, Na₂S₂O₃, (Iodium) I₂, Kalium Iodida (KI), dan indikator amilum. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan elektrik, oven, *furnace*, *ball mill*, peralatan *mixing*, termometer ayakan, cawan petri, desikator, kertas saring, buret dan peralatan gelas.

Prosedur dan Analisis

Preparasi Adsorben

Sampel kulit buah kakao dipotong kecil-kecil, kemudian dicuci dengan air mengalir dan direndam dengan *aquadest* selama 2-3 jam. Selanjutnya kulit buah kakao dimasukkan kedalam oven pada suhu 80 °C selama 24 jam kemudian digiling dengan *ball mill* dan diayak dengan ayakan 70 *mesh*, 100 *mesh* dan 120 *mesh*.

Prosedur Aktivasi Adsorben

Aktivasi adsorben dilakukan dengan mencampurkan adsorben dan larutan HNO₃ 0,6 M dengan rasio adsorben : asam nitrat (b:v) = 1:2, 1:4, dan 1:6 dan dipanaskan selama 2 jam pada suhu 80 °C, kemudian didinginkan dan selanjutnya dicuci dengan air untuk menghilangkan residu asam. Adsorben dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 90 menit. Kemudian dilakukan analisis bilangan iodin terhadap semua variasi adsorben.

Prosedur Penentuan Daya Serap Terhadap Larutan I₂

Sebanyak 1 gram adsorben dimasukkan kedalam oven dan dikeringkan pada suhu 110°C selama 3 jam selanjutnya didinginkan dalam desikator. Selanjutnya ditambahkan 50 mL larutan iod 0,1 N dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit kemudian disaring dan diambil sebanyak 10 mL filtratnya kemudian dititrasi dengan larutan Na₂S₂O₃ 0,1 N. Selanjutnya ditambahkan beberapa tetes indikator amilum 1% dan dititrasi kembali. Prosedur diulangi untuk titrasi blanko.

Prosedur Adsorpsi pada POME

Adsorben ditimbang dengan massa 1 gram dan dicampurkan dalam 50 mL limbah cair kelapa sawit (POME) kemudian diaduk dengan kecepatan pengadukan 200 rpm pada pH 2 selama 1 jam. Campuran kemudian disaring dan diukur kandungan COD dari filtratnya. Prosedur diulangi untuk variasi massa 1,5 gram dan 2 gram, serta pada variasi waktu kontak 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam

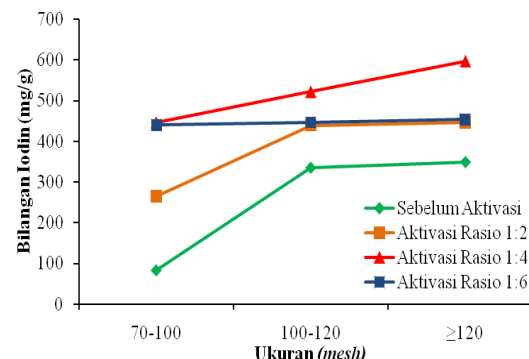
Hasil Dan Pembahasan

Pengaruh Ukuran Partikel dan Rasio Adsorben : Asam Nitrat terhadap Bilangan Iodin

Sebelum dan setelah aktivasi dilakukan analisis terhadap bilangan iodin adsorben. Hasil analisis tersebut digambarkan melalui grafik pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa bilangan iodin pada variasi rasio adsorben :

asam nitrat (b:v) sebelum dan setelah aktivasi cenderung meningkat dengan semakin kecilnya ukuran partikel. Bilangan iodin tertinggi diperoleh pada ukuran ≥ 120 *mesh* dengan rasio 1:4, yaitu 596,684 (mg/g).



Gambar 1. Pengaruh Rasio Adsorben : Asam Nitrat (b:v) terhadap Bilangan Iodin pada Ukuran Partikel Tertentu

Aktivasi dengan larutan asam paling umum digunakan dan terbukti efektif dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi [10], waktu produksi yang lebih pendek, suhu produksi yang lebih rendah dan kemurnian lebih tinggi [14]. Kemampuan daya jerap adsorben juga dipengaruhi oleh ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel, berarti luas permukaan semakin besar dan daya serap yang lebih tinggi [13, 15]. Volume aktivator yang terlalu besar akan mengeliminasi sifat aktif adsorben karena kerusakan yang disebabkan oleh pelarutan dan lepasnya pori pada adsorben [3].

Ketidaksesuaian terjadi pada beberapa titik pada Gambar 1. Hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa penyebab. Pertama, ketidakmerataan adsorben dalam wadah saat proses aktivasi sehingga asam nitrat tidak efektif dalam memodifikasi adsorben. Kedua, proses aktivasi pada rasio 1:6, volume aktivator yang digunakan terlalu besar sehingga struktur adsorben rusak.

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, kondisi paling baik untuk menghasilkan adsorben kulit buah kakao dengan bilangan iodin yang paling tinggi yaitu 596,684 (mg/g) adalah pada ukuran ≥ 120 *mesh* untuk rasio 1:4.

Karakteristik Adsorben Kulit Buah Kakao

Karakterisasi adsorben kulit buah kakao bertujuan untuk mengetahui kualitas adsorben yang dihasilkan. Karakterisasi adsorben meliputi penentuan kadar air, kadar abu, dan kadar zat mudah menguap.

Karakterisasi kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang terdapat pada

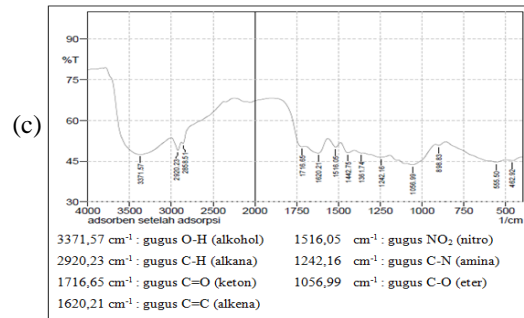
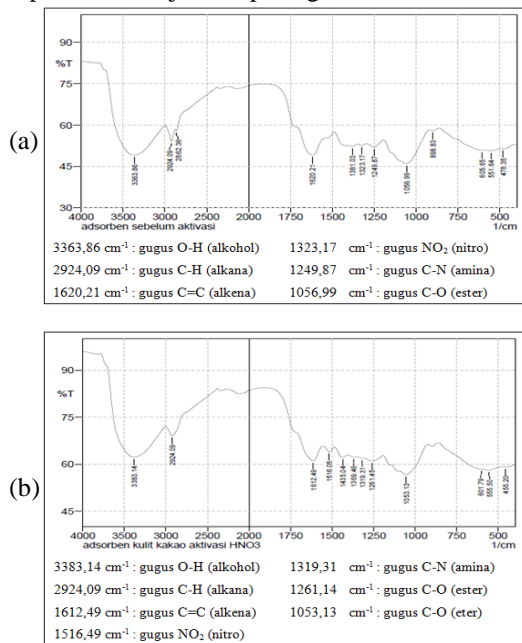
adsorben. Semakin besar kadar air adsorben, maka akan mengurangi kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat [26]. Kadar air adsorben kulit buah kakao yang diperoleh sebesar 9%. Angka ini memenuhi standar SNI [17] yaitu kurang dari 15%.

Kadar abu dilakukan untuk mengetahui banyaknya oksida-oksida logam atau garam-garam mineral dan pengotor yang terkandung dalam adsorben [26]. Abu dapat mengganggu proses adsorpsi karena kandungan abu yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori sehingga menurunkan kemampuan adsorpsi [1]. Kadar abu adsorben kulit buah kakao yang diperoleh sebesar 0,52%. Angka ini memenuhi standar SNI yaitu kurang dari 10% [17].

Besarnya kadar zat mudah menguap mengarah kepada kemampuan daya serap. Kadar zat mudah menguap yang tinggi akan mengurangi daya jerap [23]. Kadar zat mudah menguap adsorben kulit buah kakao yang diperoleh sebesar 84%. Angka ini tidak memenuhi standar SNI maksimum 25% [17]. Tingginya kadar zat mudah menguap pada adsorben dapat disebabkan oleh suhu pemanasan yang kurang optimal sehingga zat mudah menguap yang menutupi pori tidak teruapkan secara maksimal.

Karakteristik Gugus Fungsi pada Adsorben dengan Spektrofotometri FTIR

Gugus-gugus fungsi yang terdapat pada adsorben dapat disimpulkan dengan membandingkan dengan literatur [6]. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Hasil Spektrofotometri FTIR pada Adsorben (a) Sebelum Aktivasi, (b) Setelah Aktivasi, (c) Setelah Adsorpsi

Hasil analisis FTIR untuk adsorben sebelum dan setelah aktivasi dengan membandingkan gugus fungsi yang terdapat pada adsorben, dapat dilihat bahwa proses aktivasi tidak memberikan hasil yang jauh berbeda terhadap gugus-gugus fungsi yang terkandung pada adsorben. Pada adsorben sebelum dan setelah aktivasi terdapat gugus alkohol, alkana, alkena, nitro, amina dan ester. Sedangkan pada adsorben setelah adsorpsi terdapat gugus alkohol, alkana, keton, alkena, nitro, amina dan eter

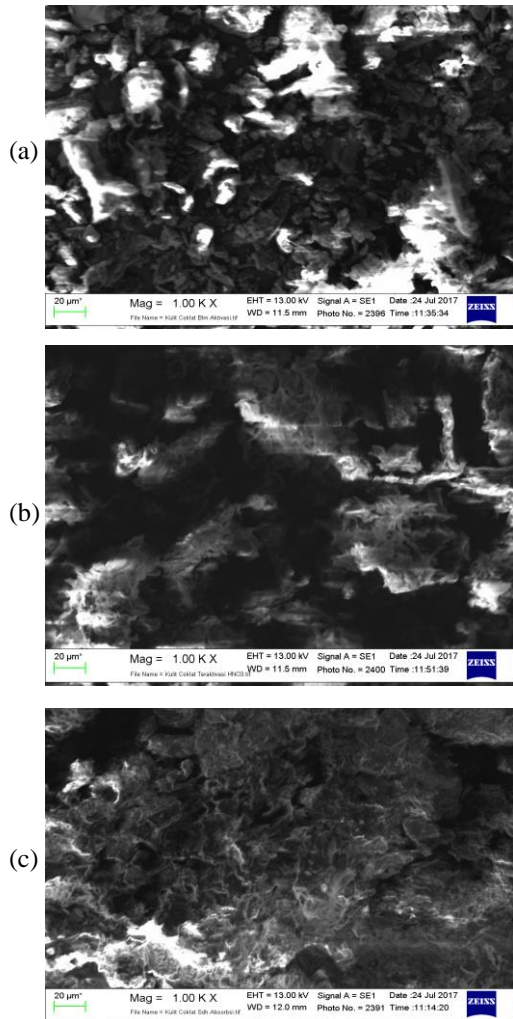
Gugus hidroksil (–OH) yang terkandung dalam adsorben menunjukkan bahwa gugus tersebut diperlukan dalam adsorpsi [3, 12]. Namun, dapat terlihat perubahan intensitas gugus –OH pada kulit buah kakao sebelum aktivasi terdapat gugus –OH yang ditunjukkan dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 3363,86 cm⁻¹ sebelum aktivasi dengan intensitas 49,12 dan setelah diaktivasi menjadi 3383 cm⁻¹ dengan intensitas sebesar 62,28. Hal ini dikarenakan larutan HNO₃ telah mendekomposisikan garam-garam mineral yang terdapat pada sampel seperti kalsium yang berikatan dengan adsorben kulit buah kakao. Berkurangnya garam-garam mineral tersebut mengindikasikan terbentuknya gugus fungsi –OH [10].

Pada adsorben yang telah dikontakkan dengan POME terlihat bahwa terdapat pergeseran bilangan gelombang gugus –OH menjadi 3371,57 cm⁻¹ yang mengindikasikan terjadinya interaksi antar gugus –OH dari adsorben dengan adsorbat. Gugus keton merupakan senyawa yang menyebabkan kekeruhan [3]. Gugus amina pada adsorben sebelum dan setelah aktivasi serta adsorben yang digunakan pada adsorpsi diperkirakan berasal dari protein kulit buah coklat [16]. Gugus nitro pada adsorben sebelum dan setelah aktivasi serta adsorben yang digunakan pada

adsorpsi kemungkinan diperoleh dari tanah dan pupuk tanaman [3].

Karakteristik Morfologi Permukaan Adsorben Dari Kulit Buah Kakao Dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Hasil Analisis SEM ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



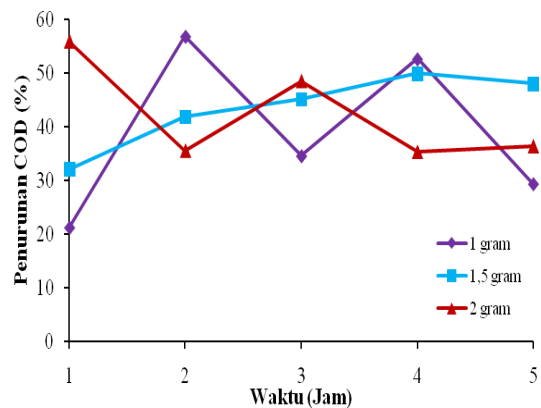
Gambar 3. Hasil SEM Adsorben (a) Sebelum Aktivasi, (b) Setelah Aktivasi, (c) Setelah Adsorpsi

Hasil SEM untuk adsorben kulit buah kakao tanpa perlakuan pada gambar (a) dapat dilihat bahwa adsorben memiliki bentuk tidak beraturan dan memiliki sedikit pori, yang disebabkan oleh zat pengotor yang menutupi pori adsorben. Gambar (b) menunjukkan permukaan adsorben kulit buah kakao setelah aktivasi menggunakan HNO_3 . Setelah penambahan HNO_3 , permukaan adsorben memiliki bentuk yang tidak teratur dan berpori, yang menandakan terjadinya pertambahan luas permukaan akibat aktivasi oleh HNO_3 [19]. Pada gambar (c) menunjukkan permukaan adsorben

setelah proses adsorpsi terlihat bahwa pori adsorben tertutupi oleh adsorbat yang menempel pada pori selama proses adsorpsi.

Pengaruh Massa Adsorben dan Waktu Kontak terhadap Adsorpsi COD

Konsentrasi COD pada POME sebelum adsorpsi adalah 5121 mg/L. Sedangkan hasil analisis konsentrasi COD setelah adsorpsi pada POME ditunjukkan pada Gambar 4. Pada gambar dapat dilihat bahwa konsentrasi COD setelah adsorpsi yang dihasilkan berfluktuasi untuk setiap kondisi operasi.



Gambar 4. Pengaruh Waktu Kontak terhadap % Penjerapan COD untuk Massa Adsorben Tertentu

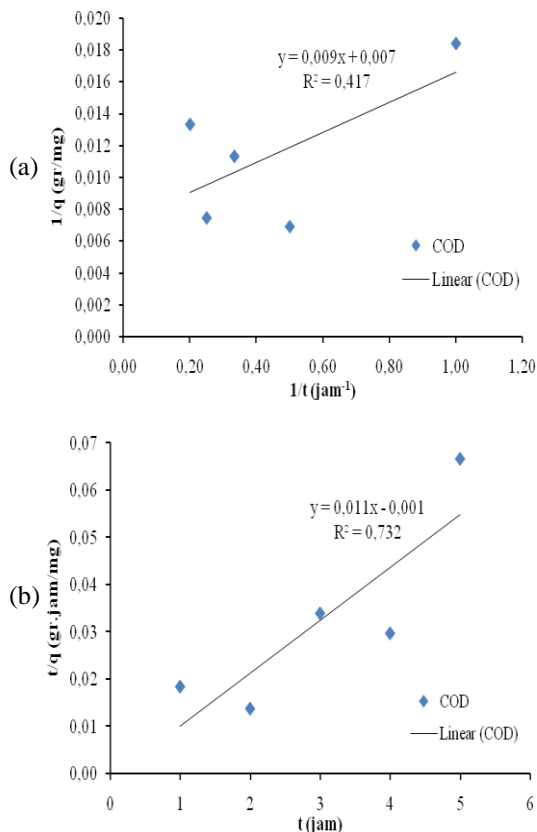
Semakin banyak massa adsorben yang digunakan akan semakin luas permukaan (tapak aktif adsorben) [10, 19]. Kemampuan adsorpsi cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu kontak [21]. Berdasarkan hasil yang diperoleh massa adsorben yang semakin banyak dan waktu kontak yang semakin lama tidak memberikan peningkatan daya jerap yang signifikan terhadap COD. Hal ini dimungkinkan karena beberapa kemungkinan. Pertama, tapak aktif dalam jumlah yang besar membutuhkan waktu untuk mencapai keadaan setimbang menjadi lebih lama. Kedua, kadar air dan zat mudah menguap yang terkandung didalam adsorben juga akan mempengaruhi kemampuan daya jerap terhadap adsorbat. Tingginya kadar air dan kadar zat mudah menguap memungkinkan tertutupnya pori-pori adsorben sehingga adsorpsi tidak berlangsung secara optimal.

Massa adsorben 1 g dan waktu kontak 2 jam dipilih sebagai kondisi adsorpsi terbaik dengan konsentrasi COD setelah adsorpsi adalah 2213 mg/L dan persentase penjerapan 56,79%. Konsentrasi COD tersebut masih berada diatas standar yang diizinkan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 mengenai Baku Mutu

Air Limbah industri kelapa sawit [18], yaitu sebesar 500 mg/L.

Penentuan Model Kinetika Adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi penting dilakukan dalam menentukan mekanisme adsorpsi dan laju serapan adsorbat serta menentukan waktu yang dibutuhkan pada proses adsorpsi. Kinetika adsorpsi tersebut diperoleh dengan menggunakan model kinetika pseudo orde satu dan pseudo orde dua. Penentuan model kinetika adsorpsi yang sesuai dapat ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi (R^2) yang paling mendekati angka 1 [11].



Gambar 5. Grafik Kinetika Adsorpsi COD Pemodelan (a) Pseudo Orde Satu dan (b) Pseudo Orde Dua

Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa model persamaan pseudo orde satu memiliki nilai $R^2 = 0,417$ dan persamaan pseudo orde dua memiliki nilai $R^2 = 0,732$. Nilai koefisien korelasi (R^2) orde dua lebih mendekati angka 1 dibandingkan dengan orde satu. Hal ini menunjukkan pemodelan pseudo orde dua menjadikan data adsorpsi lebih presentatif. Jika pemodelan ini sesuai percobaan, maka mekanisme adsorpsi melibatkan reaksi kimia (*chemical reaction*) antara adsorbat dan adsorben [8].

Kesimpulan

Bilangan iodin adsorben paling besar adalah 596,684 mg/g yang diperoleh pada aktivasi dengan ukuran partikel adsorben ≥ 120 mesh dengan rasio adsorben : asam nitrat (b:v) 1:4. Hasil analisis FTIR adsorben dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi POME melibatkan gugus hidroksil (-OH). Dengan demikian, adsorben dari kulit buah kakao yang diaktivasi dengan asam nitrat dapat diaplikasikan dalam menurunkan kandungan COD pada POME. Kondisi paling baik pada adsorpsi COD pada POME dengan persentase penyerapan paling tinggi adalah massa adsorben 1 gram dan waktu kontak 2 jam. Pemodelan kinetika adsorpsi terbaik berdasarkan koefisien korelasinya adalah persamaan orde dua.

Daftar Pustaka

- [1] A. Gustama, Pembuatan Arang Aktif Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Adsorben dalam Pemurnian Biodiesel, Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2012.
- [2] A. L. Ahmad, C. Y. Chan, S. R. Abd Shukor, dan M. D. Mashitah, Separation of Oil and Carotenes from Palm Oil Mill Effluent by Adsorption Chromatography with Silica Based Adsorbent, Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, Vol. 4 (2009) 717-722.
- [3] A. M. Siburian, A. S. D. Pardede, dan S. Pandia, Pemanfaatan Adsorben dari Biji Asam Jawa Untuk Menurunkan Bilangan Peroksida pada CPO (Crude Palm Oil), Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 3 No. 4 (2014) 12-17.
- [4] A. Mohammad-Khah dan R. Ansari, Activated Charcoal: Preparation, characterization and Applications : A review article, International Journal of Chem Tech Research, Vol. 1 No. 4 (2009) 859-864.
- [5] A. Muzakki, Substitusi Dedak Padi dengan Kulit Buah Kakao Difermentasi Aspergillus niger terhadap Performans itik Raja Umur 1-7 Minggu, Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2011.
- [6] D. A. Skoog dan D. M. West, Principles of Instrumental Analysis Edisi ke 2, Saunders College, Philadelphia, 1980.
- [7] D. Y. Nasution, Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit yang Berasal dari Kolam Akhir (Final Pond) dengan Proses Koagulasi Melalui Elektrolisis, Jurnal Sains Kimia, Vol. 8 No. 2 (2004) 38-40.
- [8] H. Liu, C. Wang, J. Liu, B. Wang, dan H. Sun, Competitive adsorption of Cd(II),

- Zn(II), and Ni(II) from their binari and ternary acidic systems using tourmaline, *Journal of Environmental Management*, Vol. 128 (2013) 727-734.
- [9] H. Mugiono, Kompetisi Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd^{2+}) dan Tembaga (Cu^{2+}) Dalam Larutan Biner Menggunakan Adsorben Batang Jagung (*Zea mays*), Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2016.
- [10] H. Purnamawati dan B. Utami, Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) Sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B, *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*, Vol. 5 No. 1 (2014) 12-18.
- [11] Hidayati dan Y. Suyono, Kinetika Adsorpsi Logam Zn Menggunakan Biomassa *Pseudomonas*, *BIOPROPAL INDUSTRI*, Vol. 5 No.1 (2014) 37-43.
- [12] I. Mandasari dan A. Purnomo, Penurunan Ion Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air dengan Serbuk Gergaji Kayu Kamper, *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 5 No. 1 (2016) F11-F16.
- [13] J. Elmariza, T. A. Zaharah, dan S. Arreneuz, Optimasi Ukuran Partikel, Massa dan Waktu Kontak Karbon Aktif Berdasarkan Efektivitas Adsorpsi β -Karoten Pada CPO, *JKK*, Vol. 4 No. 2 (2015) 21-25.
- [14] J.G. Akpa dan C.G.J. Nmegbu, Adsorption of Benzene on Activated Carbon from Agricultural Waste Materials, *Research Journal of Chemical Sciences*, Vol. 4 No. 9 (2014) 34-40.
- [15] Krisnawati, Penjerapan Logam Cd, Fe dan Zn dengan Adsorben Cangkang Telur Bebek yang Telah Diaktivasi, Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2013.
- [16] M. Malimongan, N. L. Nafie, dan P. Taba, Pemanfaatan Kulit Buah Coklat (*Theobroma cacao*) Sebagai Biosorben Ion Logam Ni(II), www.repository.unhas.ac.id, 2015, Diakses pada tanggal 28 September 2016.
- [17] O. P. Wardhani, Adsorpsi β -Karoten yang Terkandung dalam Minyak kelapa Sawit (Crude Palm Oil) Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Skripsi. Universitas Sumatera Utara, Medan, 2015.
- [18] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup, Baku Mutu Air Limbah, www.pelatihanlingkungan.com, 2015, diakses pada 13 April 2016.
- [19] R. R. Mohammed dan M. F. Chong, Treatment and Decolorization of Biologically Treated Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Banana Peel as Novel Biosorbent, *Journal of Environmental Management*, Vol. 132 (2014) 237-249.
- [20] S. Fatimah, N. A. Mumtaz, dan N. Hidayati, Penurunan Kadar COD dan TSS dengan Menggunakan Teknik Pipe Filter Layer pada Limbah Industri Keripik Singkong, *POLITEKNOSAINS*, Vol. 15 No. 2 (2016) 36-43.
- [21] S. Gaikwad dan S. J. Mane, Reduction of Chemical Oxygen Demand by using Coconut Shell Activated Carbon and Sugarcane Bagasse Fly Ash, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, Vol. 4 No. 7 (2015) 642-645.
- [22] Statistik Perkebunan Indonesia, Perkembangan Luas Area Perkebunan 2013-2015, www.ditjenbun.pertanian.go.id, 2014, Diakses pada 16 Maret 2016.
- [23] W. O. V. Verlina, A. W. Wahab, dan Maming, Potensi Arang Aktif Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Emisi Gas CO, NO, dan NO_x Pada Kendaraan Bermotor, www.repository.unhas.ac.id, 2015, Diakses pada 9 September 2017.
- [24] Y. F. Masitoh dan M. M. Sianita B., Y. F. Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Buah Coklat (*Theobroma cacao* L.) Sebagai Adsorben Logam Berat Cd (II) dalam Pelarut Air, *UNESA Journal of Chemistry*, Vol. 2 No. 2(2013) 23-28.
- [25] Y.S. Jagtap dan S. B Kankal, Investigation of Optimum Operating Parameters for Pollutant Removal from Distillery Spent Wash, *International Journal of Engineering and Technology (IJERT)*, Vol. 3 No. 7 (2014) 1566-1570
- [26] Y. V. D. Puspita, M. S. Ibnu, dan S. Wonorahardjo, Karakterisasi dan Uji Kemampuan Serbuk Ampas Kelapa Asetat Sebagai Adsorben Belerang Dioksida (SO_2), www.karya-ilmiah.um.ac.id, 2013, Diakses pada 9 September 2017.