



The Effect of Temperature, Stirring, and Contact Time on Reducing Chemical Oxygen Demand (COD) Levels of Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Cocoa Peels Adsorbent (*Theobroma cacao L.*)

Pengaruh Suhu, Kecepatan Pengadukan, dan Waktu Kontak pada Penurunan Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) Limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) Menggunakan Adsorben Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao L.*)

Firstin Rizki Annisa Hasibuan*, Fajar Indah Puspita Sari, dan Occa Roanisca

Department of Chemistry, Universitas of Bangka Belitung Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung, Bangka, Bangka Belitung, 3317

* Corresponding author: firstin13annisa@gmail.com

Received: April 11, 2023 Accepted: May 8, 2023 Published: May 30, 2023

ABSTRACT

Cocoa peels (*Theobroma cacao L.*) are one of the plantation wastes that haven't been used optimally. The content of cocoa peels makes the peels potential to be used as an adsorbent to reduce COD levels of POME. POME is liquid waste from the processing palm oil industry. This study was aimed to determine the characteristics of the cocoa peels adsorbent and the effectiveness of using cocoa peels adsorbent in reducing COD levels of POME. The powder was activated using nitric acid to increase the surface area of the adsorbent. The cocoa peels adsorbent was further characterized to determination water and ash content, FTIR analysis, and SAA. Cocoa peels adsorbent contains 10.40% moisture and 4.08% ash. FTIR analysis showed the presence of groups O-H, C-H, C=C, C-O- C, C-O, C-NO₂ on the adsorbent of cocoa peels. The surface area of the adsorbent cocoa peel increased after activation from 3.48071 m²/g to 3.93845 m² /g. The method used to test the content COD of POME is closed reflux titrimetrically. Adsorption process used variation like temperature, stirring speed, and contact time. The best reduction was obtained at 30°C with a stirring speed of 600 rpm at 120 minutes contact time, with 76.19% removal percentage for COD.

Keywords: Adsorbent, Cocoa Peels, POME, and COD

PENDAHULUAN

Perkembangan industri kelapa sawit semakin pesat di Indonesia. Hal tersebut dapat dilihat dari meningkatnya keberadaan pabrik pengolahan kelapa sawit maupun luas lahannya. Salah satu dampak negatif dari semakin luasnya perkebunan kelapa sawit adalah menghasilkan limbah yang diantaranya

limbah padat dan limbah cair (Widhiastuti *et al.*, 2006). Limbah padat yang dihasilkan selanjutnya dapat dijadikan kompos. Sedangkan limbah cair yang dihasilkan memiliki pengaruh cukup besar terhadap lingkungan karena kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi sehingga rentan mencemari lingkungan (Sisnayati, *et. al.*, 2022)

Limbah cair berwarna coklat yang dihasilkan dari pengolahan industri kelapa sawit disebut *Palm Oil Mill Effluent* (POME). POME yang dihasilkan sekitar 0,7–1 m³ berasal dari satu ton tandan kelapa sawit. Biasanya tingkat keasaman (pH) limbah POME yang keluar dari proses pengolahan sekitar 4,56–4,98 dengan suhu tinggi berkisar antara 70°C sampai 80°C, COD (*Chemical Oxygen Demand*) berkisar antara 57.000–60.000 mg/liter. Tingginya kandungan bahan organik pada limbah cair hasil industri kelapa sawit berpotensi mencemari air tanah dan badan air (Winanti & Prasetyadi, 2019). Sebelum limbah dibuang ke lingkungan, sebaiknya limbah melalui proses pengolahan terlebih dahulu untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Sehingga, diperlukan metode yang efektif untuk mengolah limbah POME. Salah satu metode pemisahan yang efektif untuk menurunkan konsentrasi berbagai polutan dalam limbah adalah adsorpsi (Agustina, et al., 2016). Penelitian yang dilakukan oleh Pandia et al (2017) berhasil menurunkan kadar COD sebesar 56,79% pada limbah cair menggunakan adsorben kulit buah kakao yang diaktivasi menggunakan asam HNO₃ 0,6 M.

Buah kakao (*Theobroma cacao L*) menjadi salah satu hasil perkebunan yang dapat menghasilkan limbah. Seiring dengan meningkatnya penanaman serta produksi buah kakao, maka limbah kulit kakao juga ikut meningkat. Kulit buah kakao mengandung 36,23% selulosa, 1,14% hemiselulosa, dan 20–27,95% lignin (Aji, 2013). Selain mudah didapat, tingginya kandungan selulosa yang terkandung pada kulit kakao, selanjutnya berpotensi untuk dijadikan sebagai adsorben. Salah satunya dapat dijadikan adsorben yang berperan menurunkan parameter pencemaran air (Purnamawati, 2014). Agar daya serap adsorben meningkat, perlu dilakukan aktivasi pada adsorben. Aktivasi merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi pada adsorben yang bertujuan untuk memodifikasi permukaan adsorben.

Selain melakukan aktivasi, proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, kecepatan pengadukan, dan lamanya waktu kontak. Apabila faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi tersebut telah mencapai optimum, maka hasil adsorpsi yang diperoleh juga semakin baik. Sehingga pada penelitian ini perlu dipelajari mengenai karakteristik fisik dan optimasi kondisi pada

proses penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) menggunakan adsorben kulit kakao (*Theobroma cacao L*) dengan variasi suhu, kecepatan pengadukan, dan waktu kontak. Agar didapatkan penurunan COD yang lebih signifikan.

METODOLOGI

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian adalah kulit buah kakao (*Theobroma cacao L.*), akuades, HNO₃ (Merck), Kalium dikromat (K₂Cr₂O₇), H₂SO₄ (Mallinckrodt), HgSO₄ (Merck), Ag₂SO₄ (Merck), Phenanthrolin Monohidrat, FeSO₄·7H₂O (Merck), Ammonium Ferro (Merck).

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian adalah timbangan analitik, oven, *furnace*, *blender*, desikator, buret, mortar, ayakan 100 mesh, *magnetic stirrer*, kertas saring, peralatan gelas, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) DRIFT, dan *Surface Area Analyzer* (SAA) Quantachrome Novatouch Lx4.

Prosedur

Preparasi dan Aktivasi Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao L.*) (Pandia, et al., 2017)

Kulit kakao dipotong kecil-kecil, dicuci lalu dijemur selama 3 jam. Kemudian kulit kakao dioven selama 24 jam pada suhu 80°C. Selanjutnya kulit kakao dihaluskan dan disaring menggunakan ayakan 100 mesh. Sebanyak 100 gram kulit kakao yang telah dihaluskan, diaktivasi dengan mencampurkan kulit buah kakao dan larutan HNO₃ 0,6 M dengan perbandingan 1:10. Pada penelitian Pandia et. al. (2017) variasi perbandingan antara kulit kakao dengan larutan HNO₃ 0,6 M sampai perbandingan 1:6. Kemudian dipanaskan pada suhu 80°C selama 2 jam. Selanjutnya dicuci dengan akuades untuk menghilangkan residu asam. Lalu dioven selama 90 menit pada suhu 110°C.

Penentuan Kadar Air (SNI 06-3730-1995)

Adsorben kulit kakao sebanyak 1 gram dioven selama 2 jam dengan suhu 110°C. Sampel kemudian dimasukkan dalam desikator, lalu beratnya ditimbang hingga konstan.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{berat awal}-\text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\%$$

Penentuan Kadar Abu (SNI 06-3730-1995)

Adsorben kulit kakao sebanyak 0,5 gram dimasukkan ke dalam krus. Krus kemudian dimasukkan dalam tanur pada suhu 600°C selama 1 jam, dinginkan dalam desikator. Lalu ditimbang hingga beratnya konstan

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat arang aktif}} \times 100\%$$

Pengambilan Sampel dan Preparasi POME (SNI 6989.59.2008)

Sampel diambil di PT. Putra Bangka Mandiri. Sampel diambil menggunakan gayung panjang lalu diisi dalam botol plastik polietilen. Lalu sampel air limbah diambil dengan meletakkan botol ke dalam *outlet* IPAL. Apabila sampel tersebut belum digunakan harus dilakukan pengawetan dengan cara menambahkan H₂SO₄ sampai pH < 2 kemudian didinginkan.

Penentuan Suhu Optimum pada Penurunan COD Penurunan COD Limbah POME

Adsorben kulit kakao sebanyak 1 gram dimasukkan dalam gelas beaker yang telah diisi 50 ml POME. Kemudian selama 1 jam larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 200 rpm dan dipanaskan menggunakan *hotplate* dengan variasi suhu 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C. Selanjutnya larutan tersebut disaring dengan kertas saring. Filtrat yang diperoleh diukur konsentrasi COD.

Penentuan Kecepatan Pengadukan Optimum pada Penurunan COD Limbah POME

Adsorben kulit kakao sebanyak 1 gram dimasukkan dalam gelas beaker yang telah diisi 50 mL POME. Kemudian larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan variasi kecepatan pengadukan 200 rpm, 400 rpm, 600 rpm, 800 rpm, pada suhu 30°C. Selanjutnya larutan tersebut disaring dengan kertas saring. Filtrat yang diperoleh diukur konsentrasi COD.

Penentuan Waktu Kontak Optimum pada Penurunan COD Limbah POME

Adsorben kulit kakao sebanyak 1 gram dimasukkan dalam gelas beaker yang telah diisi 50 mL POME. Kemudian larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 30°C, kecepatan 600 rpm dengan variasi waktu kontak 20 menit, 40 menit, 60 menit, dan 80 menit. Selanjutnya larutan tersebut disaring filtrat yang diperoleh diukur konsentrasi COD.

Pengujian Chemical Oxygen Demand (COD) (SNI 6989.73.2009)

Sampel dimasukkan ke tabung kultur sebanyak 2,5 mL, lalu ditambahkan 1,5 mL larutan *digestion solution* dan 3,5 mL pereaksi H₂SO₄. Tabung ditutup, dikocok hingga homogen. Tabung diletakkan pada alat COD reaktor yang dipanaskan hingga suhu mencapai 150°C. Dilakukan refluks selama 2 jam. Setelah selesai direfluks sampel didinginkan, dipindahkan ke Erlenmeyer, lalu ditambah 2 tetes indikator ferroin. Ditirasi larutan ferro ammonium sulfat (FAS) 0,05 N hingga larutan berubah warna dari hijau menjadi coklat kemerahan. Volume FAS yang telah digunakan dicatat. Kemudian dihitung kadar penurunan COD pada limbah POME yang telah selesai dilakukan pengujian. Rumus Penentuan Nilai COD :

$$\text{Nilai COD sebagai } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ O}_2 = \frac{V_b - V_c \times N \text{ FAS} \times 8000}{V_s} \times f_p$$

V_b : Volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko (mL)

V_c : Volume larutan FAS yang dibutuhkan larutan uji (mL)

V_s : Volume contoh uji (mL)

N FAS : Normalitas larutan FAS (N)

8000 : Nilai ekivalen oksigen x 100

F_p : Faktor pengenceran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivasi Adsorben

Aktivasi adsorben diaktivasi secara kimia menggunakan asam nitrat. Aktivasi mampu mengaktifkan gugus yang terkandung pada adsorben. Aktivasi dilakukan secara kimia menggunakan asam nitrat (HNO₃) 0,6 M. Karena aktivasi secara kimia memerlukan waktu yang singkat, suhu yang lebih rendah, serta kemurnian yang lebih tinggi. Proses ini diperlukan untuk meningkatkan kualitas luas permukaan maupun daya serap pada adsorben kulit buah kakao. Luas permukaan yang besar akan menyebabkan molekul-molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan semakin banyak, sehingga aktivitasnya akan bertambah besar (Sari, *et al.*, 2016). Kulit kakao setelah aktivasi memiliki warna yang lebih gelap. Hal tersebut disebabkan oleh larutan HNO₃ ketika proses aktivasi dan pemanasan yang dilakukan saat aktivasi.

Karakteristik Adsorben Kulit Buah Kakao

Penentuan kadar air dilakukan untuk mengetahui sifat higroskopis pada adsorben,

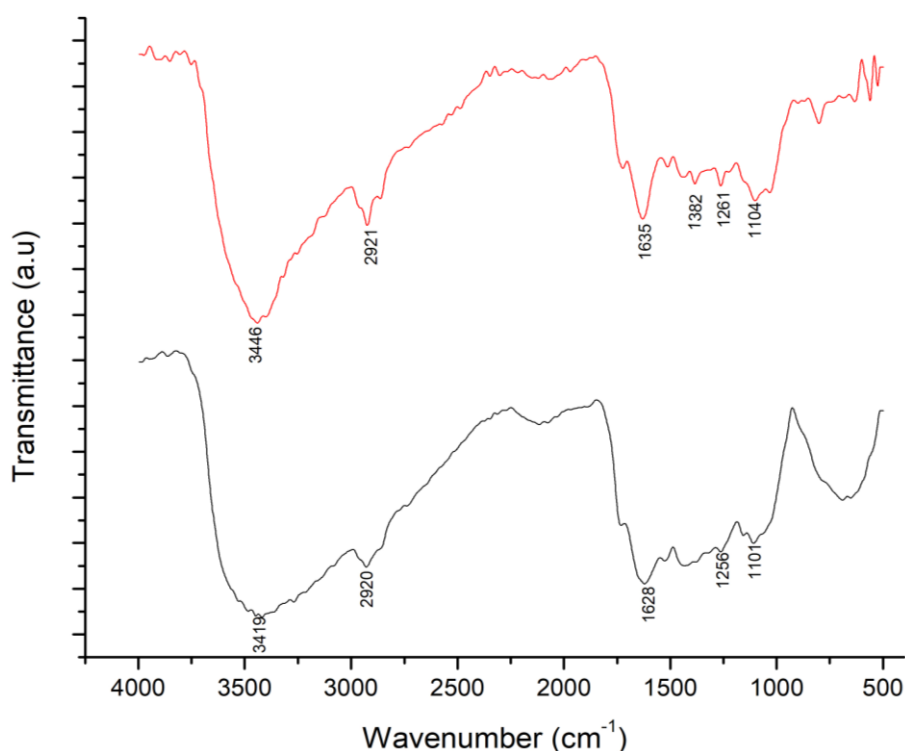
karena besarnya sifat afinitas yang dimiliki adsorben terhadap air (Siregar, *et al.*, 2015). Terikatnya molekul air pada adsorben yang telah diaktivasi menyebabkan pori-pori pada adsorben semakin besar (Rizky, 2015). Kemampuan menyerap adsorbat akan berkurang jika kadar air yang terdapat pada adsorben semakin besar. Berdasarkan SNI 06-3730-1995 tentang syarat mutu dan pengujian arang aktif, kadar air adsorben yang diperbolehkan maksimal 15%. Kadar air adsorben kulit buah kakao yang diperoleh 10,40% sehingga baik untuk digunakan.

Kandungan oksida logam dan pengotor yang tidak menguap ketika proses pengabuan dapat diketahui melalui penentuan kadar abu

(Budiono, *et al.*, 2005). Penyumbatan pori terjadi pada adsorben yang memiliki kandungan abu berlebih, akibatnya kemampuan adsorben untuk mengadsorpsi menurun. Berdasarkan SNI 06-3730-1995 tentang syarat mutu dan pengujian arang aktif, kadar abu adsorben yang diperbolehkan maksimum 10%. Kadar abu adsorben yang diperoleh sebesar 4,08%.

Analisis Fourier Transform Infrared Spectrofotometer

Hasil analisis FTIR pada adsorben kulit buah kakao sebelum dan teraktivasi dapat dilihat pada Gambar 1 dengan membandingkan gugus fungsi yang terdapat pada adsorben.



Gambar 1. Spektrum FTIR pada Adsorben Kulit Buah Kakao (a) Sebelum Aktivasi (b) Setelah Aktivasi

Tabel 1. Gugus Fungsi Kulit Buah Kakao Sebelum dan Setelah Aktivasi

Keterangan Gugus	Bilangan Gelombang	
	Sebelum Aktivasi	Setelah Aktivasi
O-H	3419 cm ⁻¹	3446 cm ⁻¹
C-H	2920 cm ⁻¹	2921 cm ⁻¹
C=C	1628 cm ⁻¹	1635 cm ⁻¹
C-NO ₂	-	1382 cm ⁻¹
C-O- C	1256 cm ⁻¹	1261 cm ⁻¹
C-O	1101 cm ⁻¹	1104 cm ⁻¹

Berdasarkan Gambar 1 dan Tabel 1. dapat dilihat bahwa proses aktivasi adsorben kulit kakao menunjukkan hasil yang tidak signifikan terhadap gugus fungsi adsorben. Adsorben kulit kakao sebelum aktivasi memiliki gugus O-H, C-H, C=C, C-O-C, dan C=O. Gugus O-H yang terlihat dari hasil analisis FTIR merupakan gugus yang berasal dari bahan penyusun adsorben kulit buah kakao seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Gugus hidroksil (O-H) menunjukkan bahwa gugus tersebut dibutuhkan ketika proses adsorpsi, karena gugus O-H dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat (Siburian, *et al.*, 2014). Setelah adsorben mengalami aktivasi, ditemukan adanya gugus C-NO₂. Hal ini terjadi ketika proses aktivasi, karena asam nitrat yang digunakan sebagai aktivator dengan bantuan pemanasan dapat melarutkan pengotor yang ada pada adsorben sehingga adsorben menjadi bersih (Harti, *et al.*, 2014).

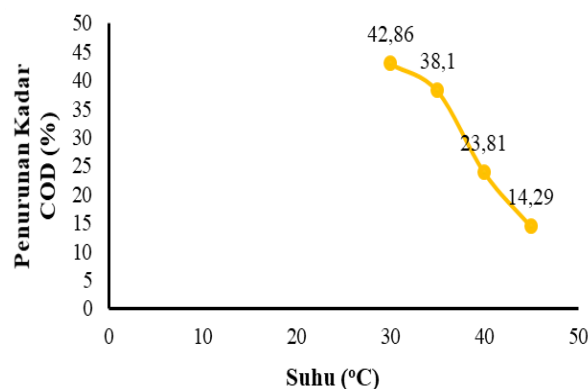
Analisis Luas Permukaan

Hasil pengujian diketahui bahwa sebelum aktivasi luas permukaan adsorben kulit buah kakao sebesar 3,48071 m²/g, sedangkan adsorben kulit buah kakao setelah diaktivasi mengalami peningkatan menjadi 3,93845 m²/g. Asam Nitrat (HNO₃) yang digunakan sebagai aktivator dalam proses aktivasi memiliki kelebihan mampu memperluas porositas adsorben dan menyebabkan masuknya sebagian besar nitrat ke dalam struktur adsorben sehingga mampu meningkatkan daya serap (Zulkifli, *et al.*, 2015). Aktivasi menjadikan permukaan adsorben menjadi terbuka dan membentuk pori. Banyaknya pori pada permukaan adsorben menjadikan adsorben lebih efektif untuk mengadsorpsi adsorbat.

Penentuan Suhu Optimum pada Penurunan COD Limbah POME

Penentuan suhu optimum dilakukan dengan mencampurkan 50 mL limbah POME dengan 1 gram adsorben kulit buah kakao selama 1 jam dengan kecepatan 200 rpm dengan variasi suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C, dan 45°C. Hasil pengujian COD pada limbah POME menggunakan variasi suhu dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan gambar 2, dapat dilihat bahwa pada suhu 30°C proses adsorpsi telah optimal. Persentase daya serap yang diperoleh pada suhu 30°C yaitu 42,86%. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa akibat adanya pelepasan energi karena

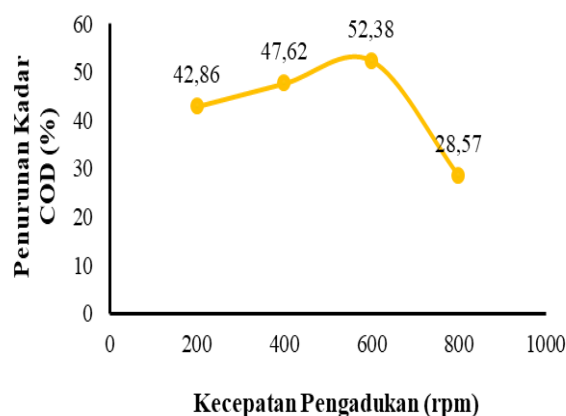
interaksi antara adsorbat dengan adsorben menyebabkan proses adsorpsi terjadi secara eksotermik. Semakin tinggi suhu maka rata-rata energi kinetiknya semakin besar, sehingga partikel dalam larutan bergerak lebih cepat mengakibatkan adsorbat yang telah diadsorpsi oleh adsorben akan terlepas kembali (Aisyahlika, *et al.*, 2018).



Gambar 2. Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Penurunan Kadar COD Limbah POME

Penentuan Kecepatan Pengadukan Optimum pada Penurunan COD Limbah POME

Penentuan kecepatan pengadukan dilakukan dengan mencampurkan 50 mL POME dengan 1 gram adsorben kulit buah kakao selama 1 jam pada suhu ruang dengan variasi kecepatan 200 rpm, 400 rpm, 600 rpm, dan 800 rpm. Hasil pengujian COD pada limbah POME menggunakan variasi kecepatan pengadukan dapat dilihat pada Gambar 3.



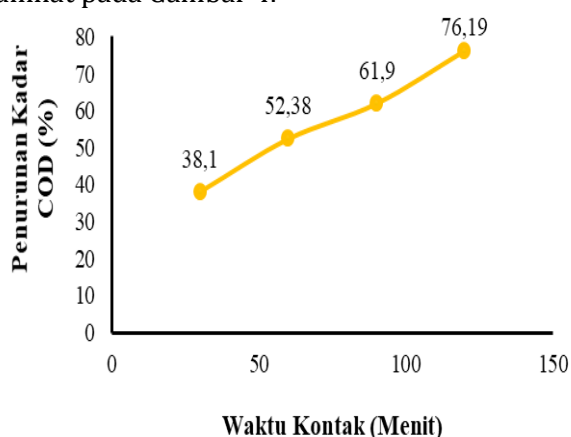
Gambar 3. Grafik Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Penurunan Kadar COD Limbah POME

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kecepatan 600 rpm proses adsorpsi telah optimal. Hal tersebut dapat dilihat pada kecepatan 600 rpm yang telah

menyerap COD sebesar 52,38%. Penurunan daya adsorpsi terjadi karena partikel adsorbat yang seharusnya terikat pada pori-pori adsorben terlepas. Adsorpsi berlangsung lambat jika pengadukan terlalu lambat namun jika pengadukan terlalu cepat kemungkinan terjadi tumbukan antar molekul menjadi rendah karena kecepatan pengadukan terlalu tinggi (Syauqiah, *et al.*, 2011). Pengadukan yang terlalu cepat menyebabkan adsorben dan partikel adsorbat tidak sempat untuk membentuk ikatan yang kuat (Sirajuddin, *et al.*, 2017).

Penentuan Waktu Kontak Optimum pada Penurunan COD Limbah POME

Penentuan waktu kontak dilakukan dengan mencampurkan 50 mL limbah POME dengan 1 gram adsorben kulit buah kakao dengan kecepatan 600 rpm pada suhu 30°C dengan variasi 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Hasil pengujian COD pada limbah POME menggunakan variasi waktu kontak dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penurunan Kadar COD Limbah POME

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa pada waktu kontak 120 menit proses adsorpsi telah optimal. Persentase daya serap yang diperoleh pada waktu 120 menit yaitu 76,19%. Waktu kontak merupakan salah satu faktor yang menentukan proses adsorpsi, karena sebelum optimum lamanya waktu kontak memungkinkan proses difusi dan penempelan adsorbat berlangsung lebih baik (Sukmawati & Utami, 2014). Kemampuan adsorpsi dan zat yang teradsorpsi akan meningkat jika waktu kontak yang digunakan semakin lama (Gaikwad & Mane, 2015).

KESIMPULAN

Karakteristik adsorben kulit buah kakao teraktivasi asam nitrat (HNO_3) memiliki warna yang lebih gelap dari pada adsorben kulit buah kakao tanpa aktivasi dan tidak berbau. Kadar air yang terkandung pada adsorben kulit buah kakao sebesar 10,40%, dan kadar abu yang terkandung pada adsorben kulit buah kakao sebesar 4,08%. Hasil Analisis FTIR pada adsorben kulit buah kakao teraktivasi asam nitrat terdapat penambahan gugus $\text{C}-\text{NO}_2$. Luas permukaan adsorben kulit buah kakao mengalami peningkatan dari 3,48071 m^2/g menjadi 3,93845 m^2/g setelah aktivasi. Pada suhu 30°C persentase penyisihan COD sebesar 42,86%. Penyisihan COD terbesar diperoleh pada kecepatan pengadukan 600 rpm sebesar 52,38%. Pada waktu kontak 120 menit persentase penyisihan COD sebesar 76,19%.

REFERENSI

- Agustina, T. E., Sulistyono, B. & Anugrah, R. (2016). Pengolahan Palm Oil Mill Effluent (POME) dengan Metode Fenton dan Kombinasi Adsorpsi-Fenton. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(3), pp. 1-8.
- Aisyahlika, S. Z., Firdaus, M. L. & Elvia, R.. (2018). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (Cerbera odollam) Terhadap Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 dan Reactive Blue-198. *ALOTROP, Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 2(2), pp. 148-155.
- Aji, D.P., Sri U & Suparwi. (2013). Fermentasi Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) Menggunakan *Aspergillus Niger* Pengaruhnya Terhadap Kadar Vfa dan N-Nh Secara In-Vitro. *Jurnal Ilmiah Peternakan* 1(3): 774 -780.
- Budiono, Ari, S. & Gunawan. (2005). *Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa dengan Asam Sulfat dan Asam Fosfat untuk Adsorpsi Fenol*. Yogyakarta: Universitas Diponegoro.
- Gaikwad, S. & Mane, S. J. (2015). Reduction of Chemical Oxygen Demand by Using Coconut Shell Activated Carbon and Sugarcane Bagasse Fly Ash. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(7), pp. 642-645.
- Harti, R., Allwar & Fitri, N. (2014). Karakterisasi dan Modifikasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit dengan Asam Nitrat untuk Menyerap Logam Besi dan Tembaga dalam Minyak Nilam. *Indonesian*

- Journal of Chemical Research*, 2(1), pp. 74-83.
- Pandia, S., Siahaan, A., Hutagalung, A. (2017). Pemanfaatan Adsorben dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao L.*) untuk Menurunkan *Chemical Oxygen Demand* pada *Palm Oil Mill Effluent*. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(3), pp. 34-40.
- Purnamawati, H., & Utami, B. (2014). *Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Kakao (Theobroma cocoa L.) Sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B*. Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika (SNFPF), 5(1), 12-18.
- Rizky, I. P. (2015). *Aktivasi Arang Tongkol Jagung Menggunakan HCl sebagai Adsorben Ion Cd (II)*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Sari, T. I., Muhsin & Wijayanti, H., (2016). Pengaruh Metode Aktivasi Pada Kemampuan Kaolin Sebagai Adsorben Besi (Fe) Air Sumur Garuda. *Konversi*, 5.
- Siburian, A. M., Pardede, A. S. D. & Pandia, S. (2014). Pemanfaatan Adsorben dari Biji Asam Jawa untuk Menurunkan Bilangan Peroksida pada CPO (Crude Palm Oil). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(4), pp. 12-17.
- Sirajuddin, Syahrir, M. & Syahrir, I. (2017). Optimasi Kecepatan Pengadukan pada Proses Adsorpsi Limbah Cair Laundry untuk Menurunkan Kadar Surfaktan Menggunakan Batu Bara. *TK-017*, pp. 1-8.
- Siregar, R. D., Zaharah, T. A. & Wahyuni, N. (2015). Penurunan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Menggunakan Arang Aktif Biji Kapuk (Ceiba petandra). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 4(2), pp. 62-66.
- Sisnayati, S., Dewi, D.S., Komala, R., Meilianti, M., & Faizal, M. 2022. Pengolahan Limbah Palm Oil Mill Effluent (POME) Menggunakan Proses Aerasi Dalam Kolom Aerator Plat Berlubang. *Jurnal Teknik Kimia*, 28 (3), pp. 107-115.
- SNI 06-3730-1995, *Arang Aktif Teknis*, Badan Standarisasi Nasional
- SNI 06-6989.73-2019, Air dan air limbah – Bagian 73: Cara Uji Kebutuhan Oksigen kimiawi *Chemical Oxygen Demand / COD* dengan refluks tertutup secara titrimetri.
- SNI 6989.59.2008. Metode Pengambilan Contoh Air Limbah
- Syauqiah, I., Amalia, M. & Kartini, H. A. (2011). Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengadukan pada proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif. *Info Teknik*, 12(1), pp. 11-20.
- Widhiastuti, R., D. Suryanto, Mukhlis & H. Wahyuningsih. (2006). Pengaruh Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit sebagai Pupuk Terhadap Biodiversitas Tanah. *Jurnal Ilmiah Pertanian Kultura* 41 (1) : 1-8.
- Winanti, W. S. & Prasetyadi, W. (2019). Pengolahan Palm Oil Mill Effluent (POME) menjadi Biogas dengan Sistem Anaerobik Tipe Fixed tanpa Proses Netralisasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(1), pp. 143-150.
- Zulkifli, Taer, E. & Sugianto. (2015). Pembuatan Karbon Aktif Monolit dari Kayu Karet Menggunakan Aktivator KOH dan HNO₃ untuk Aplikasi Supercapacitor. *JOM FMIPA*, 2(1), pp. 1-7.