



Perbandingan Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Tidak Teraktivasi dan Teraktivasi H_2SO_4 0,1M Terhadap Penurunan Cod dan Ph Air Rebusan Kelapa Sawit Melalui Proses *Adsorpsi Batch*

Dwi Anissa Fithry^{1✉}, Oby Vijay Sitorus², Mesy Isni Amanda¹

⁽¹⁾Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau

⁽²⁾PTPN IV Regional III PKS Sei Pagar

DOI: 10.31004/jutin.v9i1.55303

✉ Corresponding author:
[dwiannisa@umri.ac.id]

Article Info	Abstrak
Kata kunci: Karbon aktif TKKS; Adsorpsi batch; chemical oxygen demand (COD); pH; Air rebusan kelapa sawit	Industri kelapa sawit menghasilkan limbah cair berupa air rebusan kelapa sawit yang memiliki kandungan senyawa organik tinggi sehingga menyebabkan nilai Chemical Oxygen Demand (COD) tinggi serta pH yang tidak stabil. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja karbon aktif TKKS teraktivasi dan tidak teraktivasi H_2SO_4 0,1 M dalam menurunkan nilai COD dan menstabilkan pH air rebusan kelapa sawit melalui proses adsorpsi batch. Proses adsorpsi dilakukan secara batch dengan variasi massa adsorben, kecepatan pengadukan, dan waktu kontak tertentu. Karbon aktif teraktivasi dipreparasi menggunakan larutan H_2SO_4 0,1 M, sedangkan karbon aktif non-aktivasi digunakan tanpa perlakuan kimia. Parameter yang dianalisis meliputi nilai COD dan pH sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif TKKS teraktivasi H_2SO_4 0,1 M memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan karbon aktif non-aktivasi dalam menurunkan COD air rebusan kelapa sawit serta menghasilkan pH yang lebih mendekati netral.
Keywords: Activated carbon EFB; Batch adsorption; Chemical oxygen demand (COD); pH; Boiled water Palm oil	Abstract <i>The palm oil industry produces liquid waste in the form of palm oil boiled water which has a high organic compound content, causing high Chemical Oxygen Demand (COD) values and unstable pH. This study aims to compare the performance of activated and unactivated OPEFB activated carbon with 0.1 M H_2SO_4 in reducing COD values and stabilizing the pH of palm oil boiled water through a batch adsorption process. The adsorption process is carried out in batches with variations in adsorbent mass, stirring speed, and certain contact time. Activated activated carbon is prepared using 0.1 M H_2SO_4 solution, while non-activated</i>

activated carbon is used without chemical treatment. The parameters analyzed include COD and pH values before and after the adsorption process. The results of the study showed that 0.1 M H₂SO₄-activated EFB activated carbon had better adsorption capacity than non-activated activated carbon in reducing COD from palm oil boiled water and producing a pH closer to neutral.

1. PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor agroindustri strategis di Indonesia yang berkontribusi besar terhadap perekonomian nasional. Namun, aktivitas pengolahannya menghasilkan limbah padat dan cair dalam jumlah besar yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Salah satu limbah cair yang dihasilkan adalah air rebusan kelapa sawit dari proses sterilisasi tandan buah segar, yang mengandung senyawa organik terlarut tinggi sehingga menyebabkan nilai Chemical Oxygen Demand (COD) tinggi serta pH yang tidak stabil. Kondisi ini dapat menurunkan kualitas lingkungan perairan apabila dibuang tanpa pengolahan yang memadai (Fithry et al., 2023).

Berbagai metode pengolahan limbah cair telah dikembangkan untuk menurunkan beban pencemar organik, salah satunya melalui proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. Metode adsorpsi dikenal efektif, sederhana, serta ekonomis karena karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar dan struktur berpori yang mampu menyerap senyawa organik dari larutan (Dewi et al., 2020). Selain itu, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa karbon aktif efektif digunakan untuk mengadsorpsi residu minyak dan senyawa organik dari limbah pabrik kelapa sawit, sehingga mampu menurunkan parameter pencemar secara signifikan (Ahmad et al., 2010). Efektivitas proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh kondisi operasi seperti kecepatan pengadukan, massa adsorben, serta waktu kontak yang menentukan intensitas perpindahan massa antara adsorben dan adsorbat (Miskah et al., 2018).

Pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan baku karbon aktif menjadi pendekatan yang semakin berkembang karena mendukung konsep keberlanjutan dan ekonomi sirkular. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat yang tersedia melimpah dan memiliki kandungan karbon tinggi sehingga berpotensi dijadikan bahan baku karbon aktif. Penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif berbasis TKKS memiliki karakteristik pori dan luas permukaan yang sesuai untuk aplikasi adsorpsi, terutama setelah melalui proses aktivasi (Foo & Hameed, 2012). Aktivasi kimia, misalnya menggunakan asam sulfat, dapat meningkatkan jumlah gugus fungsi aktif dan memperbaiki struktur pori karbon sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap senyawa organik dalam limbah cair (Fithry et al., 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada perbandingan kinerja karbon aktif TKKS yang tidak teraktivasi dan yang diaktivasi menggunakan H₂SO₄ 0,1 M dalam menurunkan nilai COD serta menstabilkan pH air rebusan kelapa sawit melalui proses adsorpsi batch. Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan adsorben alternatif yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair industri kelapa sawit.

2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk mengevaluasi perbandingan kinerja karbon aktif tandan kosong kelapa sawit (TKKS) teraktivasi dan tidak teraktivasi dalam menurunkan nilai Chemical Oxygen Demand (COD) serta menstabilkan pH air rebusan kelapa sawit melalui proses adsorpsi batch. Tahapan penelitian dilaksanakan secara sistematis sebagai berikut:

1. Persiapan Bahan Baku TKKS.

Tandan kosong kelapa sawit dibersihkan dari kotoran, dicuci menggunakan air mengalir, kemudian dikeringkan hingga kadar air berkurang. Bahan yang telah kering dipotong kecil untuk memudahkan proses karbonisasi.

2. Proses Karbonisasi.

TKKS kering dimasukkan ke dalam furnace dan dikarbonisasi pada suhu tinggi hingga terbentuk arang. Arang hasil karbonisasi didinginkan pada suhu ruang, kemudian digiling dan diayak menggunakan mesh 50 untuk memperoleh ukuran partikel seragam.

3. Aktivasi Kimia Karbon.

Karbon hasil karbonisasi dibagi menjadi dua bagian, yaitu karbon tanpa aktivasi dan karbon untuk aktivasi. Proses aktivasi dilakukan dengan merendam karbon dalam larutan H₂SO₄ 0,1 M selama waktu tertentu,

kemudian dicuci menggunakan akuades hingga pH mendekati netral dan dikeringkan sebelum digunakan sebagai adsorben.

4. Persiapan Sampel Limbah Cair.

Air rebusan kelapa sawit diambil dari unit pengolahan pabrik kelapa sawit dan disaring untuk menghilangkan partikel kasar. Sampel awal dianalisis untuk menentukan nilai pH dan COD sebagai kondisi awal penelitian.

5. Proses Adsorpsi Batch.

Sebanyak 200 mL sampel limbah dimasukkan ke dalam wadah reaksi, kemudian ditambahkan karbon aktif TKKS dengan variasi massa 1 g, 2 g, dan 3 g. Campuran diaduk menggunakan shaker pada variasi kecepatan 50 rpm dan 100 rpm selama waktu kontak yang ditentukan. Setelah proses selesai, campuran disaring untuk memisahkan adsorben dan filtrat.

6. Analisis Parameter.

Filtrat hasil adsorpsi dianalisis nilai pH menggunakan pH meter terkalibrasi, sedangkan nilai COD dianalisis menggunakan metode refluks tertutup. Data sebelum dan sesudah perlakuan dibandingkan untuk menentukan efisiensi penurunan COD dan perubahan pH.

7. Analisis Data.

Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk membandingkan pengaruh aktivasi karbon, massa adsorben, dan kecepatan pengadukan terhadap efektivitas adsorpsi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Bahan dan Sampel.

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang digunakan sebagai bahan baku adsorben menunjukkan karakteristik khas biomassa lignoselulosa dengan kadar air relatif tinggi akibat proses perebusan. Perlakuan pengeringan dan karbonisasi menghasilkan arang dengan kandungan karbon lebih tinggi sehingga siap digunakan sebagai adsorben. Hal ini sejalan dengan penelitian Foo dan Hameed (2012) yang menyatakan bahwa proses karbonisasi meningkatkan stabilitas struktur karbon serta membuka pori awal yang diperlukan untuk tahap aktivasi.

Sampel air rebusan kelapa sawit memiliki warna coklat gelap, berbau tajam, pH awal sekitar 5,28, dan COD awal sebesar 34.350 mg/L yang menunjukkan tingkat pencemaran organik tinggi. Nilai ini memperlihatkan bahwa limbah memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan, sebagaimana dijelaskan oleh Ahmad et al. (2010) bahwa limbah industri sawit umumnya memiliki kandungan organik tinggi yang dapat diturunkan melalui adsorpsi karbon aktif.

Pengaruh Aktivasi terhadap Perubahan pH.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan karbon aktif teraktivasi menghasilkan perubahan pH yang relatif kecil dibandingkan karbon tanpa aktivasi. pH akhir berada pada kisaran 5,22–5,44, sedangkan pada karbon tanpa aktivasi pH meningkat hingga 6,59. Stabilitas pH pada karbon teraktivasi menunjukkan adanya gugus fungsi permukaan yang lebih terkendali akibat perlakuan kimia. Fenomena ini sesuai dengan temuan Dewi et al. (2020) bahwa aktivasi kimia mampu memodifikasi sifat permukaan karbon aktif sehingga memengaruhi interaksi dengan larutan.

Penurunan COD oleh Karbon Aktif TKKS.

Penggunaan karbon aktif TKKS teraktivasi menunjukkan penurunan COD yang signifikan dibandingkan karbon tanpa aktivasi. Efisiensi penurunan meningkat seiring bertambahnya massa adsorben dan kecepatan pengadukan. Pada kondisi terbaik (3 g, 100 rpm), COD turun hingga 8.500 mg/L dengan efisiensi 75,25%. Peningkatan kinerja ini disebabkan oleh luas permukaan dan jumlah situs aktif yang lebih besar akibat aktivasi kimia, yang meningkatkan kemampuan adsorpsi senyawa organik. Hasil ini konsisten dengan penelitian Ahmad et al. (2010) yang menunjukkan karbon aktif efektif mengadsorpsi senyawa organik limbah sawit.

Sebaliknya, karbon tanpa aktivasi hanya mampu menurunkan COD secara terbatas dengan efisiensi di bawah 20%. Keterbatasan ini menunjukkan bahwa struktur pori dan luas permukaan adsorben belum berkembang optimal. Foo dan Hameed (2012) juga menegaskan bahwa aktivasi merupakan faktor kunci dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi karbon berbasis biomassa.

Pengaruh Massa Adsorben dan Kecepatan Pengadukan.

Peningkatan massa adsorben dari 1 g menjadi 3 g meningkatkan efisiensi penurunan COD karena jumlah situs adsorpsi yang tersedia bertambah. Selain itu, kecepatan pengadukan 100 rpm menghasilkan kinerja lebih baik dibanding 50 rpm karena meningkatkan kontak antara adsorben dan adsorbat sehingga mempercepat difusi massa. Temuan ini sejalan dengan Miskah et al. (2018) yang menyatakan bahwa intensitas pengadukan berpengaruh langsung terhadap efektivitas proses adsorpsi.

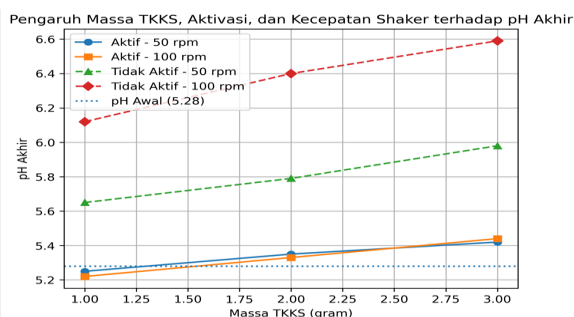
Analisis Perbandingan Kinerja Adsorben.

Secara keseluruhan, karbon aktif TKKS teraktivasi menunjukkan kinerja lebih unggul dibandingkan karbon tanpa aktivasi baik dari aspek stabilitas pH maupun penurunan COD. Aktivasi kimia terbukti meningkatkan performa adsorben melalui peningkatan karakteristik permukaan dan jumlah gugus aktif. Hasil penelitian ini mendukung pendekatan pemanfaatan limbah biomassa sebagai adsorben alternatif yang efektif dan berkelanjutan dalam pengolahan limbah cair industri sawit.

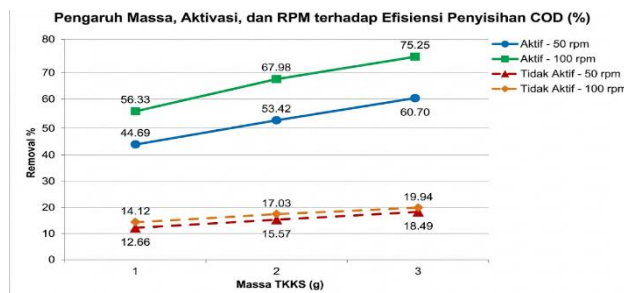
Rekap Uji COD dan PH

Massa TKKS	Aktivasi	shaker (rpm)	PH Awal	PH Akhir	Aktivasi	COD Awal (mg/L)	COD Akhir (mg/L)	Massa TKKS	Removal %
1g	Aktif	50	5,28	5,25	Aktif	34.350	19.000	1g	44.69%
2g	Aktif	50	5,28	5,35	Aktif	34.350	16.000	2g	53.42%
3g	Aktif	50	5,28	5,42	Aktif	34.350	13.500	3g	60.70%
1g	Aktif	100	5,28	5,22	Aktif	34.350	15.000	1g	56.33%
2g	Aktif	100	5,28	5,33	Aktif	34.350	11.000	2g	67.98%
3g	Aktif	100	5,28	5,44	Aktif	34.350	8.500	3g	75.25%
1g	Tidak	50	5,28	5,65	Tidak	34.350	30.000	1g	12.66%
2g	Tidak	50	5,28	5,79	Tidak	34.350	29.000	2g	15.57%
3g	Tidak	50	5,28	5,98	Tidak	34.350	28.000	3g	18.49%
1g	Tidak	100	5,28	6,12	Tidak	34.350	29.500	1g	14.12%
2g	Tidak	100	5,28	6,40	Tidak	34.350	28.500	2g	17.03%
3g	Tidak	100	5,28	6,59	Tidak	34.350	27.500	3g	19.94%

Grafik pH dan COD



Gambar 1. Rekapitulasi pH seluruh perlakuan



Gambar 2. Rekapitulasi COD seluruh perlakuan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa aktivasi kimia karbon aktif tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menggunakan H_2SO_4 0,1 M secara signifikan meningkatkan kinerja adsorpsi dalam pengolahan air rebusan kelapa sawit. Karbon aktif TKKS teraktivasi menunjukkan kemampuan penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) yang jauh lebih tinggi dibandingkan karbon aktif tanpa aktivasi pada seluruh variasi massa adsorben dan kecepatan pengadukan.

Kondisi optimum dicapai pada massa adsorben 3 gram dengan kecepatan shaker 100 rpm, di mana nilai COD berhasil diturunkan dari 34.350 mg/L menjadi 8.500 mg/L dengan efisiensi penurunan sebesar 75,25%. Peningkatan efisiensi adsorpsi sejalan dengan bertambahnya massa adsorben dan meningkatnya kecepatan pengadukan, yang memperbaiki kontak antara adsorben dan adsorbat serta mempercepat proses perpindahan massa. Dari aspek pH, karbon aktif TKKS teraktivasi mampu menjaga kestabilan pH air rebusan kelapa sawit, dengan perubahan pH yang relatif kecil dan tetap berada pada kisaran asam lemah. Sebaliknya, penggunaan TKKS tidak teraktivasi cenderung menyebabkan kenaikan pH yang lebih signifikan akibat pelepasan senyawa basa alami dari biomassa. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi kimia tidak hanya meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap senyawa organik, tetapi juga berperan dalam pengendalian perubahan pH limbah. Dengan demikian, karbon aktif TKKS teraktivasi H_2SO_4 0,1 M berpotensi besar sebagai adsorben alternatif yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair industri kelapa sawit, khususnya dalam menurunkan beban pencemar organik dan menjaga kestabilan pH sebelum pembuangan ke lingkungan.

5. REFERENSI

- Ahmad, A. L., Sumathi, S., & Hameed, B. H. (2010). Adsorption of residue oil from palm oil mill effluent using powder and granular activated carbon. *Bioresource Technology*, 101(1), 221–225. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.020>
- Dewi, R., Sari, N., & Pratiwi, D. (2020). Karakteristik dan aplikasi karbon aktif sebagai adsorben dalam pengolahan limbah cair. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2), 85–92.
- Fithry, D. A., Lubis, R., & Haryanto, B. (2023). Pemanfaatan karbon aktif berbasis biomassa untuk pengolahan limbah cair industri. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 18(1), 45–53.
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2012). Preparation and characterization of activated carbon from oil palm empty fruit bunch for adsorption applications. *Chemical Engineering Journal*, 184, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.027>
- Miskah, S., Ardiansyah, R., & Lestari, D. (2018). Pengaruh kecepatan pengadukan dan waktu kontak terhadap proses adsorpsi limbah cair menggunakan karbon aktif. *Jurnal Teknik Kimia*, 24(3), 112–1
- Nasution, H. (2015). Aktivasi kimia karbon aktif dari biomassa menggunakan asam sulfat dan pengaruhnya terhadap daya adsorpsi. *Jurnal Teknologi Kimia*, 9(2), 67–74.
- Putra, R. S., Yuliana, S., & Prasetyo, E. (2018). Pemanfaatan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit untuk penurunan COD limbah cair kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 28(1), 23–31.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). *Fundamentals of analytical chemistry* (9th ed.). Cengage Learning.
- Standar Nasional Indonesia. (1995). *SNI 06-3730-1995: Karbon aktif teknis*. Badan Standardisasi Nasional.
- Sumardi, & Untara, T. (2020). Rancang bangun dan kinerja shaking water bath untuk aplikasi laboratorium. *Jurnal Instrumentasi*, 4(2), 55–62.
- Ahmad, A., Ismail, S., & Bhatia, S. (2003). Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. *Desalination*, 157(1–3), 87–95. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00387-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00387-4)