

Efektivitas Karbon Aktif Dari Batu Bara Muda dalam Menurunkan COD pada Air Limbah Industri Tahu

Febri Juita Anggraini¹, Rara Arsapita², Yasdi³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Jambi, Muaro Jambi, Indonesia

Email: febri_juita@unj.ac.id

Abstract

Lignite is the lowest quality coal and cannot be traded in the market. One alternative is that lignite coal has a better use value, lignite coal can be used as a material for making activated carbon. Coal which has become activated carbon can be applied to tofu industrial waste water as an adsorbent in absorbing chemical oxygen demand contained in tofu industrial waste water. The purpose of this study was to determine the characteristics of activated carbon from lignite, optimum conditions and isotherm modeling. The method used in the manufacture of activated carbon from lignite is to use an activator in the form of 2 M NaOH with a carbonization temperature of 500°C using variations of 60 minutes and 90 minutes, then the activated carbon is soaked in 2 M HCl solution. Results from carbon characteristics The active lignite coal meets the requirements of SNI 06-3730-1995, the optimum time for reducing COD is 15 minutes with %removal of 66%, the optimum pH for reducing COD is pH 5 with %removal of 63.84% and the isotherm model follows the Harkin isotherm model - Jura with an average relative error of 13.024.

Keywords : Lignite, Activated Carbon, Wastewater

Abstrak

Batu bara muda (*Lignite*) merupakan batu bara dengan kualitas terendah dan tidak dapat diperjual belikan dipasaran, salah satu alternatif pemanfaatan agar batu bara muda (*lignite*) memiliki nilai guna yang lebih baik maka batu bara muda dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan karbon aktif. Batu bara yang telah menjadi karbon aktif dapat di aplikasikan ke dalam air limbah industri tahu sebagai adsorben dalam menyerap *chemical oxygen demand* yang terkandung dalam air limbah industri tahu. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik karbon aktif dari batu bara muda, kondisi optimum dalam menurunkan COD dan pemodelan isotherm. Metode yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif batu bara muda yaitu dengan menggunakan zat aktivator berupa NaOH 2 M dengan suhu karbonisasi 500°C variasi yang digunakan waktu 60 menit dan 90 menit, selanjutnya karbon aktif di rendam dalam larutan HCl 2 M. Hasil dari karakteristik karbon aktif batu bara muda telah memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995, waktu optimum dalam menurunkan COD adalah 15 menit dengan %removal 66%, pH optimum dalam menurunkan COD adalah pH 5 dengan %removal 63,84% dan model isotherm mengikuti model isotherm Harkin-Jura dengan rata-rata relatif kesalahan 13,024.

Kata Kunci: Batu Bara Muda, Karbon Aktif, Air Limbah

1. PENDAHULUAN

Lignite merupakan jenis batu bara muda yang berwarna hitam dan memiliki tekstur seperti kayu, dalam Adi dan Nawir (2018) batu bara muda merupakan batu bara yang memiliki kalor yang paling rendah, selain itu batu bara muda juga memiliki kandungan air sekitar 35% - 75 %, selain itu batu bara muda (*lignite*) memiliki karakteristik fisik yang dapat dilihat dari parameter seperti kelembaban, goresan, berat jenis, kadar abu kadar air, kekerasan dan warna, sedangkan untuk karakteristik kimia dapat dilihat dari

parameter seperti karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, belerang dan nitrogen. Karena memiliki nilai kalor yang rendah dan kandungan air yang tinggi batu bara muda sangat jarang ditambang karena dinilai kurang ekonomis dan tidak masuk dalam kriteria pasar. Salah satu cara untuk memanfaatkan batu bara muda adalah dengan menjadikan batu bara muda sebagai karbon aktif, karena dalam batu bara muda terdapat kandungan karbon yang tinggi yaitu 61,7% (Novananda dkk, 2020).

Karbon aktif merupakan suatu senyawa kimia yang dihasilkan dari pembakaran yang mengandung karbon dan memiliki ruang pori yang berukuran kecil, di mana ruang berpori ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyerap (adsorpsi) pada air limbah. Penurunan COD air limbah tahu menggunakan karbon aktif juga pernah dilakukan oleh Mantong dkk (2018) dengan menggunakan karbon aktif dari tongkol jagung, dengan persentase penurunan COD di dalam air tahu 32,83%. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan berbasis karbon, seperti batu bara muda (*lignite*) (Erawati dan Fernando, 2018).

Air limbah tahu dapat berupa air sisa pencucian bahan, air sisa perendaman dan air sisa endapan tahu. Air limbah tahu yang mengandung polutan yang tinggi apabila dibuang ke lingkungan terutama pada badan air dapat mengakibatkan pencemaran air (Yudhistira dkk, 2016). Limbah cair tahu mengandung bahan organik salah satunya *Chemical Oxygen Demand* (COD). COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik yang terkandung dalam air dan pengoksidasinya dalam air melalui reaksi kimia. Limbah cair industri tahu merupakan sisa air yang dihasilkan dalam proses pembuatan tahu yang mengandung polutan tinggi (Sayow dkk, 2020). Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dari karbon aktif dari batu bara muda, kondisi optimum dalam menurunkan COD dalam air limbah industri tahu berupa waktu dan pH optimum, dan penentuan model isoterm yang sesuai dalam penelitian ini.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa *furnace*, penggerus, ayakan 80 mesh, ph meter, spatula/pengaduk, timbangan digital, kertas saring, oven, spatula, *magnetic stirrer*, desikator, labu ukur, gelas piala, erlenmeyer, corong kaca, pipet ukur, pipet tetes, botol semprot dan *shaker*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa batu bara muda, NaOH 2 M, HCL 2 M, aquades dan air limbah tahu.

2.2. Preparasi Batu Bara Muda

Sampel batu bara muda (*lignite*) dihancurkan hingga halus dan di lakukan pengayakan dengan ukuran 100 mesh. Tahapan berikutnya sampel batu bara muda (*lignite*) dicampurkan dengan zat aktivator berupa larutan NaOH 2 M, untuk mendapatkan rasio massa batu bara muda dengan larutan NaOH 1:5. Setelah dicampurkan kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 4 jam. Tahapan selanjutnya dilakukan karbonisasi menggunakan *furnace* dengan suhu 500°C dengan variasi waktu 60 menit dan 90 menit, setelah dari *furnace* langsung diangkat dan dimasukkan ke dalam desikator. Tahapan selanjutnya karbon kemudian direndam dengan larutan HCl 2 M kemudian dicuci menggunakan aquades sampai pH netral.

2.3. Penentuan Kadar Air

Cawan porselen yang telah ditimbang dan ditentukan massanya menerima satu gram karbon aktif. Oven yang dipanaskan hingga 115°C digunakan untuk memanggang porselen yang berisi karbon aktif selama 3 jam. Setelah didinginkan dalam desikator,

sampel ditimbang sampai konstan. Rumus perhitungan penentuan kadar air pada karbon aktif yaitu:

$$\text{Kadar air} = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

(1)

Di mana: W_1 = berat arang awal (g)

W_2 = berat contoh setelah dikeringkan (g)

2.4. Penentuan Kadar Abu

Karbon aktif yang sudah jadi ditimbang sebanyak dua gram dan diletakkan dalam cawan yang sudah diketahui beratnya, kemudian karbon aktif dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 800°C selama 3 jam atau sampai semua karbon aktif menjadi abu. Cawan kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Rumus perhitungan penentuan kadar abu pada karbon aktif yaitu:

$$\text{Kadar abu} = \frac{W_1}{W_2} \times 100\%$$

(2)

Di mana: W_1 = berat abu (g)

W_2 = berat karbon aktif pada saat awal (g)

2.5. Daya Serap Iodium

Sampel harus ditimbang hingga 0,5 gram, ditempatkan dalam wadah berwarna gelap, dan ditutup rapat setelah di panaskan dalam oven selama satu jam pada suhu $115 \pm 5^\circ\text{C}$ dan diinginkan dalam desikator. 50 ml larutan iodin 0,1 N harus ditambahkan, diikuti dengan pengadukan suhu kamar selama 15 menit. Setelah itu, pindahkan ke dalam tabung sentrifugal dan aduk hingga cairan terpisah dari karbon aktif. Titrasi 10 ml cairan bening dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N, tambahkan 1 % larutan kanji sebagai indikator, sampai berubah menjadi kuning dari larutan yang redup. Titrasi sering sampai warna biru larutan hilang, yang menunjukkan bahwa Anda telah mencapai titik akhir. Rumus perhitungan penentuan daya serap iodin pada karbon aktif yaitu:

$$DSI = \frac{10 - \frac{V \times N}{0,1} \times 12,59 \times 5}{W}$$

(3)

Di mana: DSI : Daya Serap Iodin (mg/l)

W : Berat Sampel (gr)

V : Volume Titrasi Natrium Tiosulfat (N)

N : Normalisasi Larutan Natrium Tiosulfat 0,1 (N)

2.6. Waktu Optimum

Persentase waktu kontak optimum dalam menurunkan nilai COD pada air limbah industri tahu dengan menggunakan karbon aktif dari batu bara muda sebagai adsorben, untuk menunjukkan nilai penurunan COD digambarkan dengan kurva X dan Y di mana variasi waktu kontak berada pada kurva X dan kurva Y menunjukkan penurunan nilai COD. Dari data yang didapat akan diplot kurva % *removal*, selanjutnya dari variasi waktu yang digunakan akan terdapat waktu kontak yang memiliki penurunan nilai COD yang tinggi. Waktu kontak tersebut merupakan waktu kontak optimum yang digunakan dalam proses adsorpsi. % *removal* COD dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

(4)

Di mana: C_o = Nilai COD sampel limbah tahu awal (mg/l)

C_e = Nilai COD sampel limbah tahu setelah diabsorpsi (mg/l)

2.7. pH Optimum

Persentase pH optimum dalam menurunkan nilai COD pada air limbah industri tahu dengan menggunakan karbon aktif dari batu bara muda sebagai adsorben, untuk menunjukkan % *removal* COD digambarkan dengan kurva X dan Y di mana variasi pH optimum berada pada kurva X dan kurva Y menunjukkan % *removal* nilai COD.

Dari data yang didapat akan diplot kurva % *removal*, selanjutnya dari variasi pH yang digunakan akan terdapat pH yang memiliki %*removal* COD yang tinggi, pH tersebut yang digunakan dalam proses adsorpsi. %*removal* COD dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

(5)

Di mana: C_o = Nilai COD sampel limbah tahu awal (mg/l)

C_e = Nilai COD sampel limbah tahu setelah diabsorpsi (mg/l)

2.8. Penentuan Model Isoterm

Model isoterm yang di uji pada penelitian ini ada 4 yaitu isoterm Langmuir, isoterm Freundlich, isoterm Halsey dan isoterm Harkin-Jura. Dari empat model isoterm yang digunakan akan dilihat penurunan COD pada air limbah industri tahu dengan karbon aktif dari batu bara muda mengikuti model isoterm yang mana. Menurut Kalangh dan Babazadeh (2013) penentuan model isoterm yang akan digunakan dilihat bukan hanya dari nilai regresi (R^2) yang mendekati angka 1 tetapi juga dilihat dari metode evaluasi fungsi error data yang memiliki kesalahan yang paling kecil. Metode evaluasi data yaitu, perhitungan rata-rata kesalahan relatif (ARE), Chi-Square, HYBRID dan MPSD menggunakan persamaan:

$$\text{Rata-rata Kesalahan Relatif (ARE)} = \frac{100}{n} \times \sum \frac{|q_e - q_e^m|}{q_e} \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{Chi-Square}(x^2) = \sum \frac{(q_e - q_e^m)^2}{q_e^m} \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{Hybrid Fractional Error Function (HYBRID)} = \frac{100}{n - p} \sum \frac{(q_e - q_e^m)^2}{q_e} \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{Marquadt's Percent Standard Deviation (MPSD)} = \sqrt{\frac{1}{n - p} \sum \left(\frac{q_e - q_e^m}{q_e} \right)^2} \dots \dots \dots (9)$$

Di mana:

q_e = banyaknya COD yang teradsorpsi dalam keadaan setimbangan (mg/g).

q_e^m = banyaknya COD yang hilang dalam larutan yang dihitung dari model isoterm (mg/g).

n = jumlah data yang digunakan.

p = Konstanta Isoterm

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Karbon Aktif

Pengujian kualitas karbon aktif dilakukan berdasarkan SNI No.06-3730-1995 meliputi sifat fisik dan sifat kimia seperti kadar air, kadar abu dan adsorpsi karbon aktif terhadap iodium. Karakteristik karbon aktif batu bara muda terbaik dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Karbon Aktif Batu Bara Muda Terbaik		
Parameter	Hasil	Syarat Karbon Aktif SNI 06-3730-1995
Kadar Air	2,30%	Maks. 15 %
Kadar Abu	7,73%	Maks. 10 %
Daya Serap Iodium	759,421 mg/g	Min. 750 mg/g

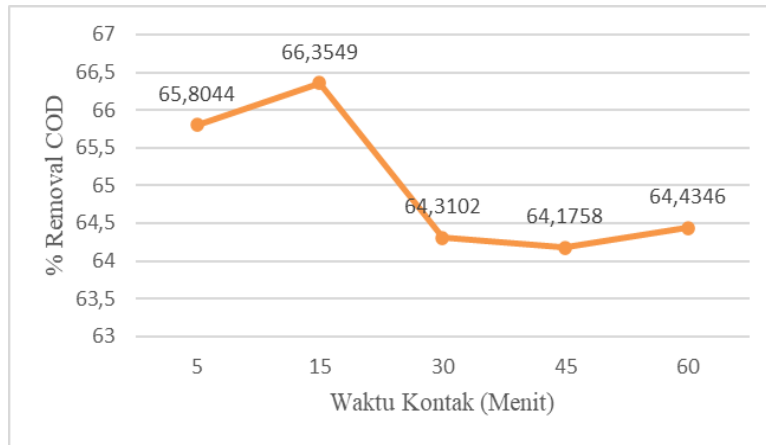
Berdasarkan dari data tabel 1, didapatkan hasil karakteristik karbon aktif yang memenuhi syarat SNI 06-3730-1995 tentang Arang Aktif Teknis adalah karbon aktif batu bara muda dengan waktu pemanasan 90 menit, dimana semua karakteristik yang diuji memenuhi syarat SNI. Suhu yang digunakan dalam pemanasan 500°C dengan variasi waktu 60 menit dan 90 menit, Pemilihan waktu pemanasan sangat berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan, dan variasi waktu ini digunakan untuk menentukan waktu aktivasi yang ideal untuk memaksimalkan penyerapan karbon aktif. Pemilihan waktu yang digunakan dalam penelitian ini juga pernah digunakan dalam penelitian sebelumnya tentang karbon aktif dari serbuk gergaji kayu jati (Rohmah dan Redjeki, 2014).

Waktu Optimum

Hasil pengujian waktu optimum dalam menurunkan COD sebelum dicampurkan dengan karbon aktif batu bara muda dan setelah dicampurkan dengan karbon aktif batu bara muda dapat dilihat pada tabel 2 dan persen *removal* COD dalam air limbah industri tahu menggunakan karbon aktif batu bara muda (*lignite*) dengan variasi waktu tersaji pada gambar 1 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Penurunan COD dalam Air Limbah Tahu dengan Variasi Waktu Kontak

Waktu Kontak (Menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)
5	9566,48	3271,31
15		3218,65
30		3414,25
45		3425,20
60		3402,35



Gambar 1. Grafik %Removal COD Dalam Penentuan Waktu Optimum

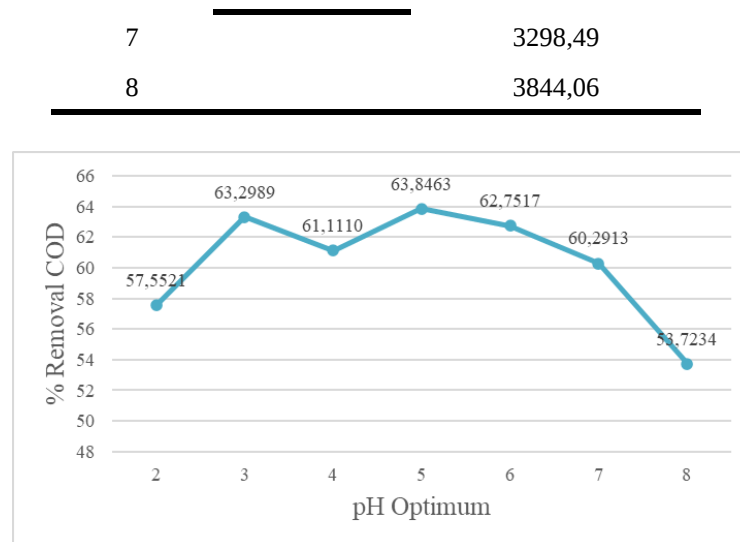
Pada penambahan karbon aktif batu bara muda pada air limbah industri tahu dengan variasi waktu, memperlihatkan terjadinya penurunan nilai COD dalam air limbah industri tahu akibat terjadinya proses adsorpsi. Penurunan tertinggi nilai COD dalam air limbah industri tahu terjadi pada variasi pengadukan dengan waktu 15 menit sebanyak 3218,65 mg/l. Berdasarkan gambar 1 menunjukan pada waktu kontak 5 menit masih tersedia pori-pori adsorben yang belum terisi dengan adsorbat, sehingga pada saat terjadi penambahan waktu kontak masih terdapat menyerap adsorbat yang dapat terserap ke dalam adsorben. Waktu kontak optimum terjadi pada waktu 15 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 66, 35 %. Penurunan penyerapan COD dalam air limbah industri tahu terjadi pada waktu telah memasuki 30 menit kemudian dengan %removal penyerapan COD oleh adsorben sebesar 64,31%, penyerapan terus menurun seiring dengan penambahan waktu kontak. Penurunan penyerapan COD pada air limbah industri tahu terjadi pada 30 menit, 45 menit dan 60 menit ini terjadi karena proses desorpsi yaitu proses adsorpsi telah mengalami kesetimbangan pada % Removal 64 %. Proses desorpsi yaitu pelepasan kembali adsorbat dari dalam pori-pori adsorben karena karbon aktif telah mendekati jenuh oleh adsorbat yang teradsorpsi dan mengalami kesetimbangan sehingga COD yang awalnya terjerap oleh adsorben terlepas kembali, sehingga persentase penyerapan di waktu 30 menit lebih terjadi penurunan penyerapan oleh adsorben (Andika dkk, 2016).

pH Optimum

Hasil pengujian pH optimum dalam menurunkan COD sebelum dicampurkan dengan karbon aktif batu bara muda dan setelah dicampurkan dengan karbon aktif batu bara muda dapat dilihat dari tabel 3 dan %removal COD dalam air limbah industri tahu menggunakan karbon aktif dari batu bara muda (*lignite*) dengan variasi waktu tersaji pada gambar 2 berikut.

Tabel 3. Penurunan COD dalam Air Limbah Industri Tahu dengan Variasi pH

pH Optimum	Co (mg/L)	Ce (mg/L)
2	8306,72	3526,02
3		3048,65
4		3230,40
5		3003,18
6		3094,11



Gambar 2. Grafik %removal COD Dalam Penentuan pH Optimum

Penurunan nilai COD dalam air limbah industri tahu yang paling tinggi terjadi pada pH 5 dengan konsentrasi penurunan COD sebesar 3003,18 mg/l. Pada gambar 2 menunjukkan pH 5 paling optimum dalam menurunkan nilai COD dalam air limbah industri tahu menggunakan karbon aktif batu bara muda sebagai adsorbennya. Variasi pH 5 dengan efisiensi adsorpsi %removal COD dalam air limbah industri tahu yaitu sebesar 63,84%, sedangkan efisiensi adsorpsi terendah dengan %removal COD dalam air limbah industri tahu terjadi pada pH 8 yaitu sebesar 53,72%. Berdasarkan gambar 15 di atas, kapasitas penyerapan COD dalam air limbah industri tahu pada pH 2 sebesar 57,55% dan mengalami peningkatan penyerapan COD dalam air limbah industri tahu pada pH 3 sebesar 63,29%. Selanjutnya pada saat pH dinaikan menjadi lebih tinggi (memasuki kondisi basa) terjadinya penurunan penyerapan COD dalam air limbah industri tahu. Menurut Nurafriyanti dkk (2017), efisiensi adsorpsi adsorbat pada pH netral hingga basa mengurangi penyerapan. Ketika pH netral, adsorbat akan mengalami reaksi hidrolisis dalam larutan, membuat reaksi tidak stabil dan mengurangi kapasitas adsorpsi karbon aktif, sedangkan pada kondisi basa atau pH basa, adsorbat akan membentuk endapan hidroksida sehingga menyebabkan adsorpsi prosesnya sulit.

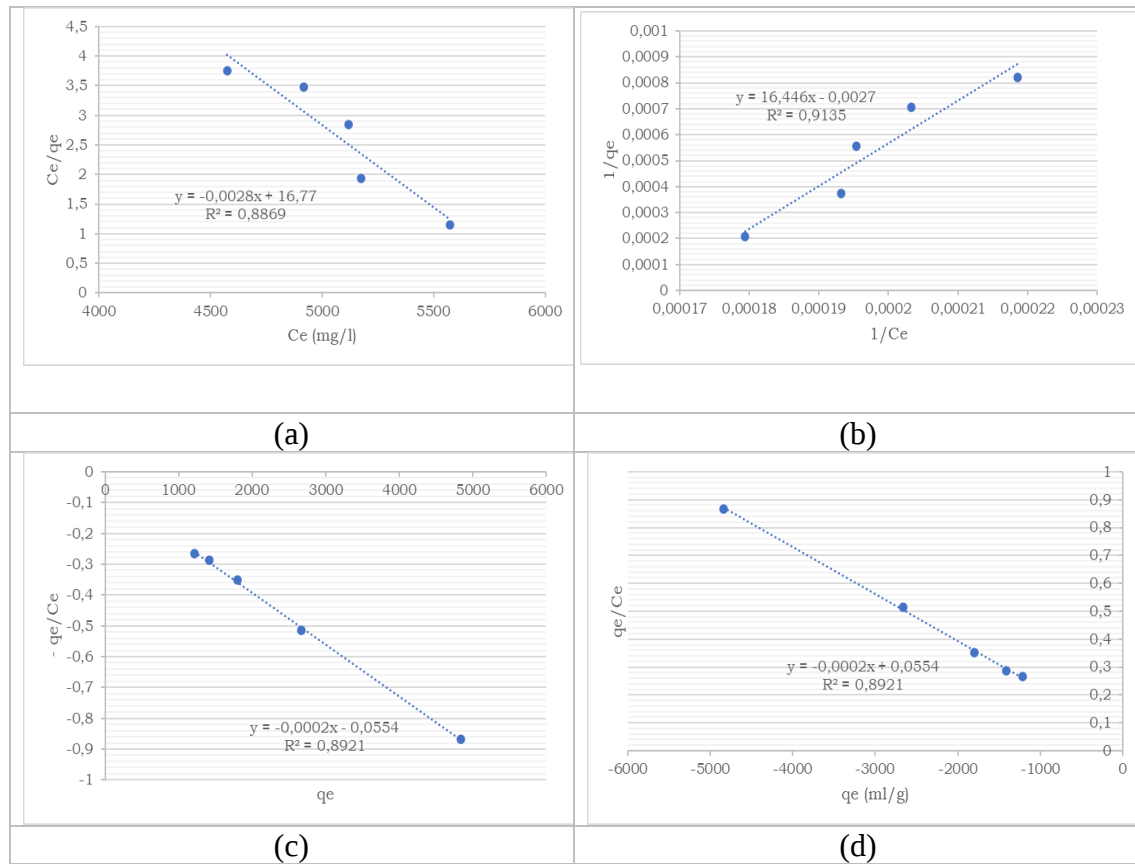
Penentuan Model Isoterm

Penentuan model isoterm proses adsorpsi dilakukan pada kondisi optimum yaitu waktu kontak optimum 15 menit pada pH 5 dengan suhu ruangan. Mengetahui persamaan isoterm yang akan digunakan dalam penentuan adsorpsi menggunakan adsorben terhadap penurunan COD dalam air limbah industri tahu, maka dilakukan perhitungan dan pengeplotan data menggunakan masing-masing persamaan isoterm tersebut.

Tujuan penggunaan isoterm adsorpsi adalah untuk mendapatkan persamaan kesetimbangan yang dapat digunakan untuk menentukan massa adsorben yang dapat mengadsorpsi adsorbat. Mengetahui persamaan isoterm yang akan digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi adsorben COD pada air limbah industri tahu, dilakukan perhitungan persamaan dari setiap isoterm yang digunakan. Selanjutnya akan dipilih persamaan yang menghasilkan garis regresi linier paling banyak dengan konstanta regresi linier terbesar (R^2) (Yustinah ddk, 2019).

Isoterm Langmuir

Isoterm Langmuir digunakan untuk mengasumsikan bahwa lapisan yang terbentuk adalah lapisan tunggal, dimana ikatan antara adsorben dan adsorbat cukup kuat karena terbentuk ikatan kimia.



Gambar 3. Kurva isoterm (a) Isoterm Langmuir I, (b) Isoterm Langmuir II, (c) Isoterm Langmuir III, dan (d) Isoterm Langmuir IV

Gambar 3 menunjukkan plot empat persamaan Langmuir linier dan data eksperimen untuk penyerapan adsorben dan ditemukan bahwa isoterm Langmuir tipe 2 memberikan lebih cocok dengan data kesetimbangan eksperimental. Pengplotan kurva isoterm Langmuir dapat dilinierkan menjadi setidaknya empat bentuk yang berbeda seperti gambar diatas dan sederhana regresi linier akan menghasilkan estimasi parameter yang berbeda. Menurut Yadav dan Singh (2017) bentuk linier yang paling populer digunakan adalah Langmuir tipe 1 dan Langmuir tipe 2. Paling cocok diperoleh dengan menggunakan Langmuir tipe 2 karena penyimpangan yang diminimalkan dari persamaan yang dipasang menghasilkan distribusi kesalahan terbaik. Data persamaan isoterm langmuir yang diperoleh dari kurva dapat digunakan untuk menghitung q_m dan K_l , data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.

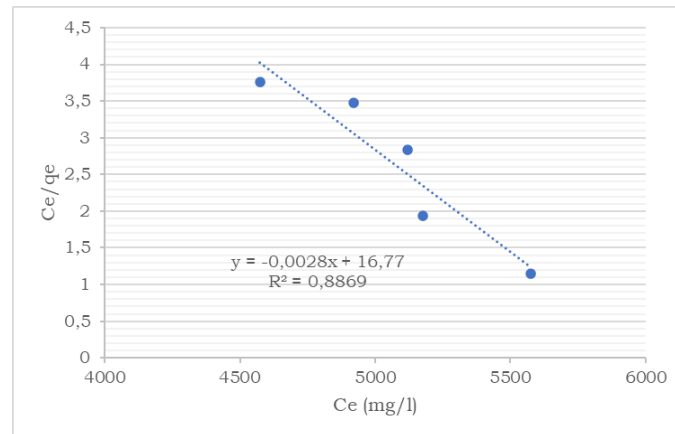
Tabel 4. Konstanta Isoterm Langmuir Adsorpsi COD Pada Air Limbah Industri Tahu pada Karbon Aktif Batu Bara Muda

Model Isoterm	Persamaan	R ²	qm	Kl
langmuir I	$y = -0,0028 x + 16,77$	0,8869	-357,14	-0,0001649
langmuir II	$y = 16,446 x - 0,0027$	0,9135	370,37	0,0001641
langmuir III	$y = -0,0002x - 0,0554$	0,8921	0,0554	0,0002
langmuir IV	$y = -0,0002 x + 0,0554$	0.8921	0,0002	5000

Berdasarkan hasil dari Tabel 4 menunjukkan bahwa setiap tipe dari isoterm Langmuir memiliki nilai konstanta yang berbeda, di mana Langmuir tipe 2 memiliki nilai konstanta yang baik dengan persamaan $y = 16,446x - 0,0027$ dengan memiliki nilai regresi (R^2) 0,9135, di mana nilai q_m yang dihasilkan sebanyak 370,37 dan nilai K_L 0,0001641 dari nilai konstanta langmuir dapat dilakukan perhitungan rata-rata kesalahan relatif dengan kesalahan relatif Langmuir tipe 2 adalah 91,162. Menurut Ayawei (2017) nilai K_L adalah konstanta Langmuir yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi (mg/g), yang dapat dikorelasikan dengan variasi area yang sesuai dan porositas adsorben yang menyatakan bahwa luas permukaan dan volume pori yang besar akan menghasilkan kapasitas adsorpsi. Karakteristik penting dari isoterm Langmuir dapat dinyatakan dengan konstanta tak berdimensi yang disebut faktor pemisahan, sedangkan q_m adalah kapasitas adsorpsi monolayer maksimum dari adsorben (mg/g).

Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich digunakan untuk mengasumsikan bahwa ikatan berlapis antara adsorben dan adsorbat disebabkan oleh gaya van der Waals sehingga ikatan yang terbentuk tidak akan terlalu kuat. Pengujian isoterm Freundlich dilakukan dengan pembuatan kurva Log q_e terhadap Log C_e .



Gambar 4. Kurva Isoterm Freundlich

Berdasarkan gambar 4 dapat dilihat bahwa adsorpsi COD dalam air limbah industri tahu dengan menggunakan karbon aktif dari batu bara muda dapat juga mengikuti persamaan dari model isoterm freundlich, isoterm freundlich berlaku untuk proses adsorpsi yang terjadi pada permukaan heterogen, isoterm ini memberikan ekspresi yang mendefinisikan heterogenitas permukaan dan distribusi eksponensial dari situs aktif dan energinya (Ayawei dkk, 2017). Nilai regresi tertinggi $R^2 = 0,8773$, yang juga mendekati angka 1, dapat digunakan untuk menunjukkan bahwa angka ini menunjukkan bahwa persamaan isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa adsorpsi benar-benar terjadi sesuai dengan gaya Van Der Waals untuk menjaga ikatan agar tidak terlalu kuat. Data persamaan isoterm freundlich yang diperoleh dari kurva yang didapat digunakan untuk menghitung nilai n dan K_f , data tersebut dapat dilihat pada tabel 5.

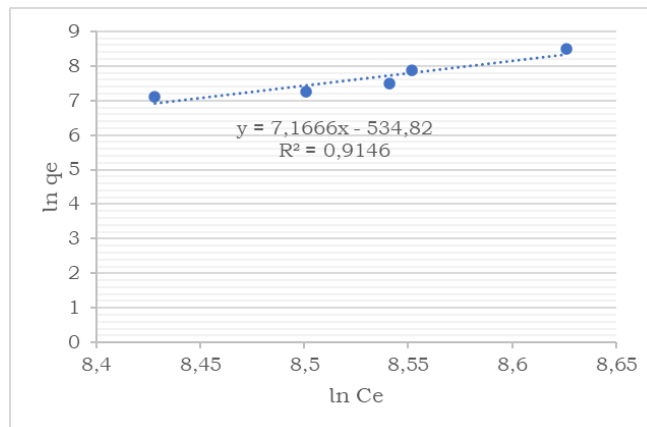
Tabel 5. Konstanta Isoterm Freundlich Adsorpsi COD Pada Air Limbah Industri Tahu pada Karbon Aktif Batu Bara Muda

Model Isoterm	Persamaan	R^2	n	k_f
Freundlich	$y = 7,1699x - 23,239$	0,8774	0,1393	$5,4945 \times 10^{-2}$

Berdasarkan hasil dari Tabel 5 menunjukkan bahwa dari persamaan freundlich $y = 7,1699x - 23,239$ menghasilkan nilai regresi (R^2) 0,8774, dari persamaan ini dapat dilakukan perhitungan kesalahan relatif. Isoterm freullich memiliki nilai konstanta n sebanyak 0,1395 dan nilai konstanta Kf sebanyak $5,4945 \times 10^{-2}$, dari dua nilai konstanta tersebut dapat dilakukan perhitungan rata-rata kesalahan relatif, kesalahan relatif yang didapatkan sebanyak 17,19. Menurut Ayawei (2017) di mana Kf adalah kapasitas adsorpsi (L/mg) dan n adalah adsorpsi intensitas itu juga menunjukkan distribusi relatif dari energi dan heterogenitas situs adsorbat.

Isoterm Halsey

Isoterm adsorpsi ini mengevaluasi adsorpsi sistem *multilayer* dan menggambarkan kondensasi pada jarak yang relatif besar dari permukaan. Demikian pula, untuk model isoterm Freundlich, model Halsey adalah cocok untuk adsorpsi *multilayer* serta heterogeny permukaan di mana panas adsorpsi tidak terdistribusi secara merata (Gholitabar dan Tahermansouri, 2017). Pengujian isoterm Halsey dilakukan dengan cara pembuatan kurva $\ln q_e$ dan $\ln C_e$. Hasil kurva dari isoterm Halsey dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Kurva Isoterm Halsey

Berdasarkan gambar 5 dapat dilihat bahwa adsorpsi COD dalam air limbah industri tahu dengan menggunakan karbon aktif dari batu bara muda dapat juga mengikuti persamaan dari model isoterm Halsey. Penerapan isoterm Halsey untuk mempelajari karbon aktif dari batu bara muda dibuat dengan aktivasi NaOH dan HCl untuk penurunan COD pada air limbah industri tahu. Data persamaan isoterm Halsey yang diperoleh dari kurva yang didapat digunakan untuk menghitung nilai kH dan nH yang digunakan untuk mencari nilai q_e 'm, data tersebut dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Konstanta Isoterm Halsey Adsorpsi COD Pada Air Limbah Industri Tahu pada Karbon Aktif Batu Bara Muda

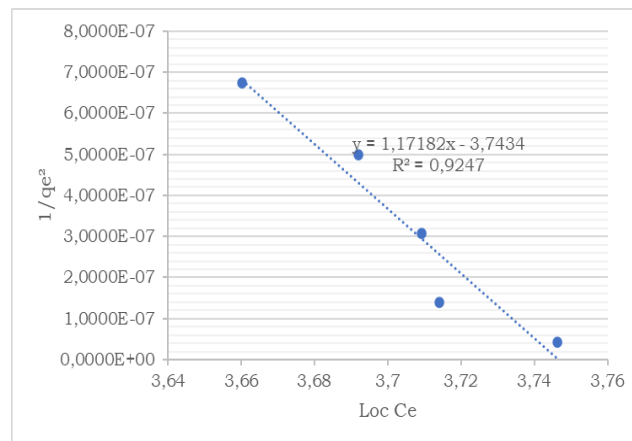
Model Isoterm	Persamaan	R^2	kH	nH
Halsey	$y = 7,1666 x - 534,82$	0,9146	3833,83	0,1395

Berdasarkan hasil dari Tabel 6 menunjukan bahwa didapatkan nilai regresi (R^2) sebesar 0,9146, dari persamaan ini dapat dilakukan perhitungan kesalahan relatif. Isoterm Halsey memiliki nilai konstanta kH sebanyak 3833,84 dan nilai nH sebanyak 0,1395 dari dua nilai konstanta tersebut dapat dilakukan perhitungan rata-rata kesalahan relatif, kesalahan

relatif yang didapatkan sebanyak 24,946. Menurut Ayawei (2017) di mana Kf adalah kapasitas adsorpsi (L/mg) dan n adalah adsorpsi intensitas itu juga menunjukkan distribusi relatif dari energi dan heterogenitas situs adsorbat.

Isoterm Harkin-Jura

Isoterm Harkin-Jura menjelaskan bahwa adsorpsi yang terjadi pada adsorben permukaan adalah adsorpsi multilayer karena adsorben memiliki pori yang heterogeny distribusi (Ayawei et al., 2017). Konstanta isoterm direpresentasikan sebagai B dan A yang dapat diperoleh dari kemiringan dan intersep dengan memplot $1/qe^2$ versus $\log (Ce)$ masing-masing (Liu dan Wang, 2013). Hasil kurva dari isoterm Harkin-Jura dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Kurva Isoterm Harkin-Jura

Berdasarkan gambar 6 dapat dilihat bahwa adsorpsi COD dalam air limbah industri tahu dengan menggunakan karbon aktif dari batu bara muda dapat juga mengikuti persamaan dari model isoterm Harkin-Jura. Penerapan isoterm Harkin-Jura untuk mempelajari karbon aktif dari batu bara muda dibuat dengan aktivasi NaOH dan HCl untuk penurunan COD pada air limbah industri tahu. Data persamaan isoterm Harkin-Jura yang diperoleh dari kurva yang didapat gunakan untuk menghitung nilai konstanta A dan B, yang digunakan untuk menghitung nilai qe_m dari isoterm Harkin-Jura. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Konstanta Isoterm Harkin-Jura Adsorpsi COD Pada Air Limbah Industri Tahu pada Karbon Aktif Batu Bara Muda

Model Isoterm	Persamaan	R ²	A	B
Halsey	$y = -1,7182x - 3,7434$	0,9247	0,8534	0,2279

Berdasarkan hasil dari Tabel 7 menunjukan bahwa dari persamaan Harkin-Jura $y = -1,7182x - 3,7434$ menghasilkan nilai regresi (R^2) 0,9247, dari persamaan ini dapat dilakukan perhitungan metode fungsi *error*. Isoterm Harkin-Jura memiliki nilai qe_m tertinggi yaitu 4970,84 dimana nilai qe_m menjelaskan tentang banyaknya COD yang hilang dalam larutan yang dihitung dengan model isoterm Harkin-Jura. Selain itu dalam isoterm Harkin-Jura ini ter dapat nilai konstanta yaitu A dan B yang menjelaskan tentang luas permukaan adsorben (Ayawei, 2017). Nilai konstanta Harkins jura A akan

menunjukkan kapasitas adsorpsi secara kualitatif, dimana semakin kecil nilai konstanta isotherm maka semakin kecil kapasitas adsorpsi.

Metode Evaluasi Fungsi Error

Metode analisis digunakan untuk mendefinisikan hubungan yang paling pas untuk mengukur distribusi adsorbat dan juga dalam verifikasi konsistensi model adsorpsi dan asumsi teoritis model adsorpsi. Menurut Ayawei (2017) Studi telah menunjukkan bahwa struktur kesalahan data eksperimen biasanya berubah selama transformasi isotherm adsorpsi ke dalam bentuk linier isotherm. Data analisis kesalahan isotherm dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8. Evaluasi Fungsi Error Untuk Menentukan Model Isotherm Dengan Metode Linier

Model Isotherm	R ²	Kesalahan Relatif	Chi-Square	HYBRID	MPSD
Langmuir I	0,8896	13,024	72,6512	24,55	0,5511
Langmuir II	0,9135	92,162	96,6127	88,02	1,7821
Langmuir III	0,8921	63,522	94,1332	72,93	1,4587
Langmuir IV	0,8921	89,39	91,2987	92,22	1,8446
Freudlich	0,8773	17,18	82,7553	38,32	0,7665
Halsey	0,9146	24,946	30,1773	26,9125	0,5384
Harkin-Jura	0,9247	14,704	10,6034	19,5975	0,4427

Tabel 8 menjelaskan tentang penggunaan dari model isotherm monolayer dan multilayer dengan nilai regresi (R²) menunjukkan evaluasi fungsi error data dengan metode linier. Metode ini biasanya digunakan dalam pemasangan model isotherm. Namun dalam beberapa kasus, R² tidak cukup untuk menyimpulkan hasil yang didapatkan. Untuk memastikan kesesuaian data dengan model, maka fungsi kesalahan lainnya diperlukan. Percobaan ini digunakan beberapa kriteria tambahan yaitu chi-square, rata-rata kesalahan relatif atau ARE, HYBRID dan MPSD. Menurut Ayawei (2017) penentuan model isotherm dapat menggunakan metode evaluasi fungsi error data menggunakan Chi-square, ARE, HYBRID dan MPSD bertujuan untuk mengetahui tingkat kedekatan model isotherm dengan data eksperimen. Dengan kata lain, penyimpangan dari model terhadap data eksperimen dapat dihitung secara kuantitatif. Empat model isotherm yang digunakan hanya model isotherm Harkin-Jura yang memiliki nilai evaluasi fungsi error data yang lebih kecil dari pada 3 isotherm lain yang digunakan. Model isotherm Harkin-Jura merupakan isotherm yang mengasumsikan bahwa adsorpsi yang terjadi merupakan multilayer pada permukaan penyerapan yang memiliki distribusi pori heterogen (Tsamo dkk, 2019).

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan untuk hasil karakteristik karbon aktif batu bara muda yang di uji adalah berupa kadar air, kadar abu dan daya serap iodium dengan nilai secara berturut-turut sebesar 2,30 %; 7,73 %; dan 759,421 mg/g, nilai ini memenuhi standar SNI 06-3730-1995. Untuk waktu kontak optimum dalam menurunkan COD dalam air limbah industri tahu menggunakan karbon aktif dari batu bara muda yaitu pada waktu 15 menit dengan persentase penyerapan 66,3558 %. pH optimum untuk menurunkan COD dalam air limbah industri tahu menggunakan karbon aktif dari batu bara muda yaitu pada pH 5 dengan persentase penyerapan 63,8463%. Model isotherm adsorpsi yang sesuai dengan penurunan COD dalam air limbah industri tahu menggunakan karbon aktif dari batu bara muda yaitu mengikuti model isotherm Harkin-Jura

5. REFERENCES

- Ayawei, N., Ebelegi, A. N., & Wankasi, D. 2017. *Modelling and interpretation of adsorption isotherms*. *Journal of chemistry*, <https://doi.org/10.1155/2017/3039817>.
- Badan Nasional Indonesia. 2008. Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. SNI No. 6989.59:2008. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta
- Badan Nasional Indonesia. 2009. Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) Dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri. SNI No. 6989.2:2009. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta
- Novananda, A., Rahmawati, I., Sani, S., Astuti, D. H., & Suprianti, L. 2020. Karbon Aktif Dari Batu bara Lignite Dengan Proses Aktivasi Menggunakan Hidrogen Fluorida. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(1), 8-14.
- Nurafriyanti, N., Prihatini, N. S. & Syaunqiah, I. 2017. Pengaruh Variasi pH Dan Berat Adsorben Dalam Pengurangan Konsentrasi Cr Total Pada Limbah Artifisial Menggunakan Adsorben Ampas Daun Teh', *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 3(1), hal. 56–65.
- Erawati, E., & Ardiansyah, F. 2018. Pengaruh jenis aktivator dan ukuran karbon aktif terhadap pembuatan adsorbent dari serbuk gergaji kayu sengon (*Paraserianthes Falcataria*). *Jurnal Integrasi Proses* 7.2 hal. 58-66.
- Pitulima, J. 2018. Studi Daya Serap Karbon Aktif Batubara Terhadap Penurunan Kadar Logam Cu Dalam Larutan CuSO₄. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian pada Masyarakat*. ISBN: 978-602-61545-0-7.
- Rauf, A. S. R. A. S., Widodo, S., Widodo, S., Nawir, A., & Nawir, A. 2018. Peningkatan Nilai Kalori pada Batu bara Lignit dengan Metode Aglomerasi Air dan Minyak Sawit pada PT. Indonesia Power Ujj Pllu Barru. *Jurnal Geomine*, 6(3), 124-130.
- Yustinah, Y., Hudzaifah, H., Aprilia, M., & Ab, S. 2019. Kesenimbangan adsorpsi logam berat (Pb) dengan adsorben tanah diatomit secara batch. *Jurnal Konversi*, 9(1), 12.