



**PAPER – OPEN ACCESS**

## Studi Efektifitas Biochar Dari Ampas Tebu Dimodifikasi Dengan FeCl<sub>3</sub> Untuk Menghilangkan Pewarna Sintetis Batik Indigosol Pink IR

Author : Netti Herlina, et al  
DOI : 10.32734/anr.v7i1.2569  
Electronic ISSN : 2654-7023  
Print ISSN : 2654-7015

*Volume 7 Issue 1 – 2026 TALENTA Conference Series: Agricultura & Natural Resources (ANR)*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).  
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



# Studi Efektifitas *Biochar* Dari Ampas Tebu Dimodifikasi Dengan $\text{FeCl}_3$ Untuk Menghilangkan Pewarna Sintetis Batik Indigosol Pink IR

Netti Herlina, Ananta Dwi Septiyani Nasution

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan 20155, Indonesia

[anantadwi253@gmail.com](mailto:anantadwi253@gmail.com)

## Abstrak

Pewarna batik indigosol *Pink IR* adalah sebuah zat pewarna sintetis yang digunakan dalam proses pembuatan batik yang kerap dapat mencemari lingkungan apabila tidak diolah terlebih dahulu. Untuk itu, dilakukan pembuatan *biochar* untuk menghilangkan pewarna batik indigosol *Pink IR* yang dimodifikasi dengan  $\text{FeCl}_3$  dilakukan dengan cara mencampurkan *biochar* dari ampas tebu dengan  $\text{FeCl}_3$  dengan variasi konsentrasi 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%. Karakterisasi *biochar* bersifat megnetit ( $\text{FeCl}_3$ ) dilakukan dengan bantuan instrumen FT-IR dan SEM. Hasil analisis menunjukkan bahwa *biochar*  $\text{FeCl}_3$  berhasil terbentuk dan memiliki gugus fungsi Fe-O pada porinya. Penentuan kondisi optimum proses adsorpsi dilakukan dengan 3 parameter diantaranya waktu kontak (20, 40, 60, dan 80 menit), konsentrasi  $\text{FeCl}_3$  pada *biochar* (0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%), dan konsentrasi awal larutan zat pewarna (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ppm). Setiap perlakuan dilakukan secara triplo dan uji-t “Paired Two Sample for Means” dengan standar deviasi <2% maka didapatkan waktu optimum adsorpsi pada 40 menit dengan konsentrasi  $\text{FeCl}_3$  pada 0,4% dan konsentrasi awal 100 ppm dengan %removal 95,50% dan kapasitas adsorpsi sebesar 238,74 mg/g.

**Kata Kunci:** Biochar; Ampas tebu;  $\text{FeCl}_3$ ; Adsorpsi; Indigosol *Pink IR*.

## 1. Pendahuluan

Industri batik merupakan salah satu industri textile di Indonesia yang bertujuan selain sebagai pelopor kebudayaan Indonesia juga bertujuan sebagai sarana meningkatkan perekonomian negara. Peningkatan jumlah penduduk dapat mendorong peningkatan peminatan batik yang menyebabkan industri tekstil batik meningkatkan produksi batik setiap tahunnya. Pewarna yang umum dipakai dalam industri tekstil tiedye mencakup zat pewarna reaktif, naftol, serta indigosol pink IR. Indigosol pink IR adalah pewarna dengan warna yang cerah dan tidak mudah pudar. Senyawa ini bersifat beracun, karsinogenik, dan mutagenik, dapat menyebabkan iritasi pada kulit serta mata, dan bahkan bisa mengakibatkan kanker kulit. Indigosol pink IR adalah tinta yang sangat tahan lama dengan dua cincin benzena. Kehadirannya di air sulit terdekomposisi secara alami, sehingga dibutuhkan metode yang efisien untuk menurunkan atau menghapus limbah dari pewarna ini [5].

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengolah limbah pewarna, termasuk pemisahan membran, oksidasi, koagulasi, dekomposisi, pertukaran ion, dan adsorpsi. Metode adsorpsi dianggap sebagai metode yang paling menguntungkan karena prosesnya yang sederhana, efisiensi dan kapasitas adsorpsi yang tinggi, selektif, biaya operasional yang rendah dan tidak adanya efek samping berupa zat beracun. Adsorpsi atau penyerapan adalah peristiwa perubahan konsentrasi yang terjadi di antara dua fase karena fase zat yang satu berhubungan dalam fase yang lain (terjadi di bagian atas) [9]. Biochar merupakan padatan kaya karbon berasal dari biomassa (bahan organik dari tanaman). Biochar dari ampas tebu memiliki beberapa sifat fisikokimia penting seperti luas permukaan dan porositas yang lebih tinggi, densitas massal rendah, kapasitas tukar kation (CEC) yang lebih tinggi, pH netral hingga tinggi, dan kandungan karbon yang lebih tinggi [14].

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi terkait pengelolaan limbah cair yang mengandung pewarna sintesis indigosol pink IR yang diperoleh dari industri tekstil batik dengan memanfaatkan limbah ampas tebu yang diolah menjadi *biochar* sebagai adsorben. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh *biochar* yang termodifikasi besi dalam mengadsorpsi zat pewarna sintetis indigosol pink IR. Adapun kebaharuan dari penelitian ini ialah, dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh pH, variasi massa  $\text{FeCl}_3$  pada biochar, waktu kontak, dan konsentrasi zat pewarna sintesis indigosol pink IR.

## 2. Materi dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Sumatera Utara dengan menggunakan limbah ampas tebu (*Saccharum officinarum L.*) yang telah diperoleh dari limbah padat usaha minuman es tebu di Kecamatan Percut Sei Tuan, Medan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, pewarna sintesis indigosol pink IR, limbah ampas tebu (diperoleh dari usaha minuman tebu kecamatan Percut sei Tuan), HCL 3M, *aluminium foil*, FeCl<sub>3</sub>, kertas saring, dan aquades DM, pewarna indigosol pink IR. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, Peralatan yang digunakan antara lain, gelas beker ukuran 500 ml, neraca analitik, saringan 100 mesh, *magnetic stirrer*, pH meter, pipet tetes, batang pengaduk, oven, *pirolisis*, labu ukur 1000 ml, labu ukur 100 ml, dan *hot plate*. Sedangkan peralatan instrumen yang digunakan pada penelitian ini ialah, Spektrofotometri genesys UV-VIS, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR).

### 2.1. Preparasi dan Modifikasi Ampas Tebu dengan FeCl<sub>3</sub>

Ampas tebu dibersihkan dan dijemur di bawah sinar matahari agar kadar airnya berkurang. Kemudian, ampas tebu digiling agar lebih halus dan dilakukan karbonisasi melalui pirolisis dengan suhu 350°C selama 1 jam. *Biochar* yang telah dikarbonisasi akan diaktivasi dengan menggunakan HCL 3M dengan tujuan membersihkan pori-pori *biochar* dari zat pengotor. Proses aktivasi ini dilakukan dengan merendam dan mengaduk *biochar* dengan HCL 3M selama 1 jam setelah itu dicuci dengan aquades hingga pH netral dan dikeringkan dengan oven.

Setelah proses pirolisis *biochar* dan proses aktivasi *biochar* dengan HCL 3M, *biochar* kemudian dicuci dengan aquades dan disaring, *biochar* selanjutnya dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 90 menit dan diperoleh massa *biochar* setelah aktivasi dengan HCL ialah sebesar 35,167 gram.

*Biochar* yang telah dihasilkan selanjutnya akan dimodifikasi dengan Besi (III) Klorida (FeCl<sub>3</sub>) dengan variasi konsentrasi 0,1%; 0,2%; 0,3%; 0,4%; dan 0,5%. Campuran antara *biochar* dan FeCl<sub>3</sub> diaduk dengan *magnetic stirrer* dan dikeringkan dengan oven. Adapun rumus massa FeCl<sub>3</sub> pada setiap variasi antara lain:

$$\text{FeCl}_3 \text{ (g)} = \left( \frac{\% \text{ konsentrasi}}{100} \right) \times \text{massa biochar} \quad (1)$$

Dengan massa *biochar* sebesar 35,167 gram maka untuk membuat masing-masing konsentrasi FeCl<sub>3</sub> pada *biochar* dibutuhkan sekitar 7 gram *biochar* dalam masing-masing variasi konsentrasi. Adapun massa yang dibutuhkan untuk membuat *biochar* FeCl<sub>3</sub> 0,1% ialah sebesar 0,007 gram, untuk membuat *biochar* FeCl<sub>3</sub> 0,2% ialah sebesar 0,014 gram, untuk membuat *biochar* FeCl<sub>3</sub> 0,3% ialah sebesar 0,021 gram, untuk membuat *biochar* FeCl<sub>3</sub> 0,4% ialah sebesar 0,028 gram, untuk membuat *biochar* FeCl<sub>3</sub> 0,5% ialah sebesar 0,035 gram.

### 2.2. Pembuatan Larutan Induk dari Zat Pewarna Indigosol Pink IR

Zat pewarna sintesi indigosol pink IR ditimbang sebanyak 1 gram dengan menggunakan neraca analitik, setelah itu dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL dan dilarutkan dengan aquades DM aduk hingga homogen. Setelah itu, masukkan larutan ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan aquades DM hingga tanda batas dan dikocok hingga homogen.

### 2.3. Pembuatan Larutan Kerja zat pewarna Indigosol Pink IR

Larutan induk 1000 ppm diambil 10 mL dan dilakukan pengenceran dalam labu ukur 100 mL untuk mendapatkan larutan kerja 100 ppm. Setelah itu, dilakukan cara yang sama untuk larutan kerja 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ppm dalam labu ukur 100 ml. adapun rumus perhitungan pengenceran:

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2 \quad (2)$$

Keterangan:

M<sub>1</sub> = Konsentrasi larutan induk (ppm)

V<sub>1</sub> = Volume larutan induk (ml)

M<sub>2</sub> = Konsentrasi laruta akhir yang diinginkan (ppm)

V<sub>1</sub> = Volume total larutan akhir yang diinginkan (ppm)

#### 2.4. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Dan Pembuatan Kurva Kalibrasi

Larutan indigosol pink IR 100 ppm diukur daya adsorbansi maksimumnya dengan rentang panjang gelombang 400-700 nm dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis [8]. Panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh sebelumnya digunakan untuk membuat kurva kalibrasi dengan larutan indigosol pink IR 20-120 ppm

#### 2.5. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Zat Pewarna Indigosol Pink IR

Setelah diambil dan ditimbang sebanyak 10 mg biochar FeCl<sub>3</sub> yang telah dimodifikasi, kemudian dibuat larutan zat pewarna sintesis indigosol Pink IR sebanyak 25 mililiter dengan konsentrasi 100 ppm. Larutan limbah yang mengandung zat pewarna sintesis diaduk dengan biochar FeCl<sub>3</sub> dengan variasi waktu kontak 20, 40, 60, dan 80 menit. Setelah itu, dilakukan analisis dengan spektrofotometri UV-Vis untuk memastikan bahwa zat pewarna sintesis telah disingkirkan dari larutan [8].

#### 2.6. Pengaruh Konsentrasi FeCl<sub>3</sub> Pada Biochar Terhadap Adsorpsi Zat Pewarna Indigosol Pink IR

Biochar FeCl<sub>3</sub> yang telah diaktivasi dan diubah ditimbang 10 mg dengan neraca analitik dan dimasukkan ke dalam gelas kimia. Larutan indigosol pink IR 100 ppm kemudian dipipet sebanyak 25 ml dan kemudian dimasukkan ke dalam beaker gelas 100 ml yang berisi biochar. Setelah itu, magnetic stirrer digunakan untuk mengaduk campuran selama waktu yang tepat dengan kecepatan 450 rpm [8].

#### 2.7. Pengaruh Konsentrasi Zat Pewarna Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Untuk mencapai konsentrasi FeCl<sub>3</sub> yang ideal, biochar yang telah dimodifikasi ditimbang sebanyak 10 mg dan dimasukkan ke dalam beaker gelas 100 mL. Selanjutnya, larutan indigosol pink IR 100 ppm dipipet sebanyak 25 mL, dan kemudian dimasukkan ke dalam beaker gelas yang telah diisi dengan biochar [8]

#### 2.8. Uji Daya Adsorpsi Larutan Dengan Biochar Non Modifikasi FeCl<sub>3</sub>

Biochar yang telah dipirolisis dengan suhu 350°C selanjutnya akan digunakan sebagai adsorben dalam penyerapan molekul zat pewarna sintesis indigosol pink IR [8].

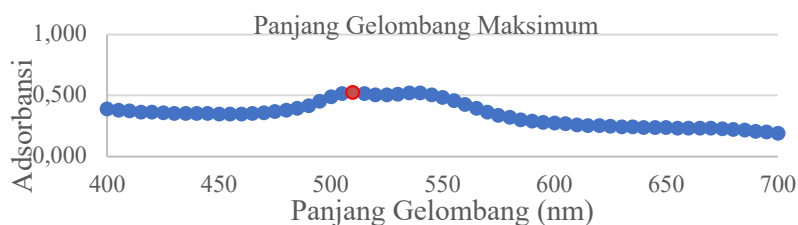
#### 2.9. Uji Kinetika Adsorpsi Pada Larutan Indigosol Pink IR

Pada penelitian ini, proses adsorpsi dilakukan selama 65 menit dengan pengambilan sampel setiap 5 menit sekali. Jumlah biochar yang digunakan pada uji kinetika ini adalah 0,060 gram, sedangkan volume larutan zat warna yang digunakan sebanyak 150 mL. Penambahan massa biochar dan volume larutan dilakukan secara proporsional terhadap waktu pengamatan, agar konsentrasi relatif antara adsorben dan adsorbat tetap seimbang selama proses berlangsung [8].

### 3. Hasil Dan Pembahasan

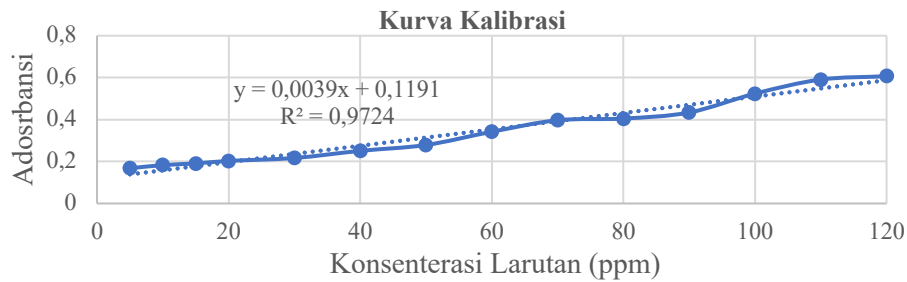
#### 3.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Pembacaan daya adsorbansi yang baik dalam penggunaan proses adsorpsi oleh alat spektrofotometer UV-Vis sebaiknya dilakukan pada rentang panjang gelombang 0,00-2,00 [10]. Berdasarkan data yang diperoleh dari spektrofotometri UV-Vis dipilih panjang gelombang 510 nm dengan adsorbansi maksimum sebesar 0,524 yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Panjang Gelombang Maksimum

### 3.2. Penentuan Kurva Adsorbansi Pada Indigosol Pink IR



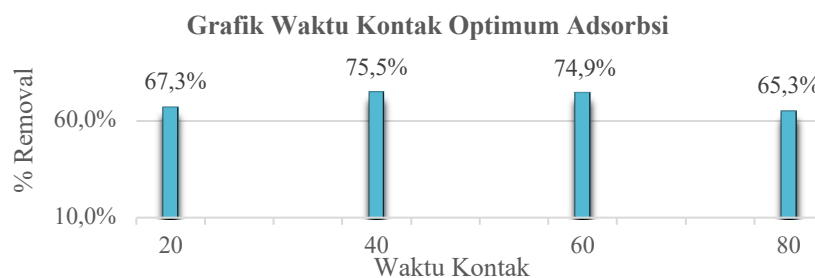
Gambar 2. Kurva Kalibrasi

Menurut [10], kurva adsorbansi dapat dimanfaatkan untuk mengetahui konsentrasi akhir dari larutan setelah proses adsorpsi pada tahap berikutnya dengan menginput nilai absorbansi ke dalam persamaan regresi linear yang telah didapatkan.

Nilai koefisien regresi yang mendekati satu menunjukkan bahwa kurva regresi yang dibuat memiliki tingkat kesalahan yang kecil. Sehingga, dapat digunakan untuk perhitungan konsentrasi akhir dan %*removal* sampel zat pewarna.

### 3.3. Penentuan Waktu Adsorpsi Maksimum Pada Indigosol Pink IR

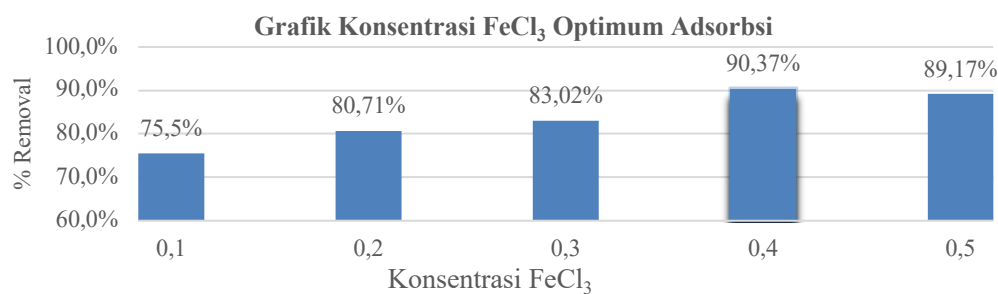
Variasi lama waktu kontak dalam penelitian ini adalah 20, 40, 60, dan 80 menit. Proses perlakuan adsorpsi untuk setiap variasi waktu dilakukan sebanyak tiga kali. Lama kontak antara adsorben dan adsorbat menentukan gaya adsorpsi molekul zat terlarut. Ini memungkinkan difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang lebih cepat [6].



Gambar 3. Grafik Removal Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Indigosol Pink IR

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa, peningkatan presentase *removal* pada proses adsorbansi variasi waktu kontak ini disebabkan karena adsorben *biochar* yang digunakan masih banyak memiliki sisi yang aktif, sehingga *biochar* semakin banyak menyerap adsorbat seiring dengan penambahan waktu kontak. terjadi penurunan persentase *removal* pada waktu 60 menit, hal ini dikarenakan seluruh sisi *biochar* yang aktif telah jenuh oleh adsorbat sehingga terjadi penurunan persentase *removal* dan terjadi proses desorpsi atau pelepasan kembali molekul adsorbat yang telah diadsorpsi sebelumnya.

### 3.4. Pengaruh Variasi Konsentrasi $\text{FeCl}_3$ pada Biochar Ampas Tebu

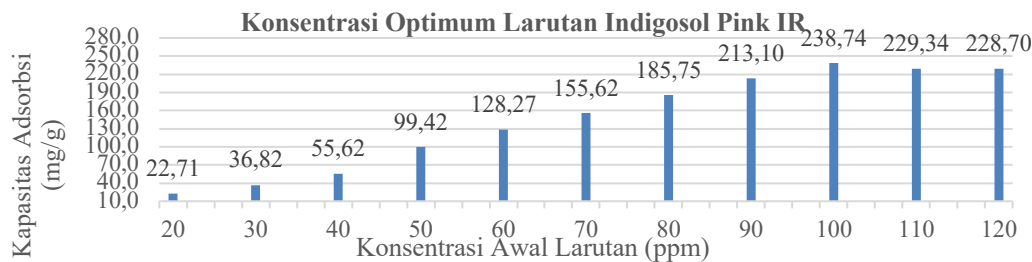


Gambar 4. % Removal Zat Pewarna Parameter Konsentrasi  $\text{FeCl}_3$  pada Biochar

Gambar 4 menunjukkan bahwa % *removal* zat pewarna indigosol pink IR mengalami kenaikan pada konsentrasi  $\text{FeCl}_3$  sebesar 0,1%, 0,2%, 0,3% dan 0,4%. Kenaikan %*removal* tersebut disebabkan karena pengaruh  $\text{FeCl}_3$  yang membantu *biochar* menyerap adsorbat.

Pada konsentrasi  $\text{FeCl}_3$  0,5% terjadi penurunan sebesar 89,17%. Hal ini terjadi karena penambahan konsentrasi  $\text{FeCl}_3$  pada *biochar*. Partikel  $\text{FeCl}_3$  dapat menyumbat pori-pori *biochar* sehingga kemampuan *biochar* dalam mengadsorpsi zat warna menjadi kurang efektif. Menurut penelitian yang telah dilakukan [1], penurunan efisiensi adsorpsi pada konsentrasi  $\text{FeCl}_3$  0,5% dapat disebabkan karena adanya *blocking* pori-pori akibat endapan besi yang berlebihan.

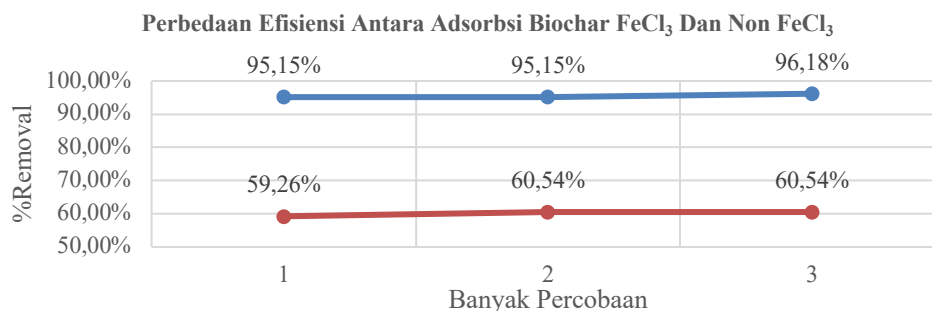
### 3.5. Penentuan Konsentrasi Optimum Adsorpsi Larutan Indigosol Pink IR



Gambar 5. Pengaruh Konsentrasi Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan awal, kapasitas penyerapan adsorbat meningkat [6]. Jumlah molekul yang terlibat dalam interaksi antara molekul adsorbat dan adsorbat meningkat seiring dengan konsentrasi larutan, yang menghasilkan peningkatan kecepatan adsorpsi antara molekul adsorbat dan adsorbat [10].

### 3.6. Perbandingan %*removal* terhadap Biochar non Modifikasi $\text{FeCl}_3$ dan Biochar Modifikasi $\text{FeCl}_3$



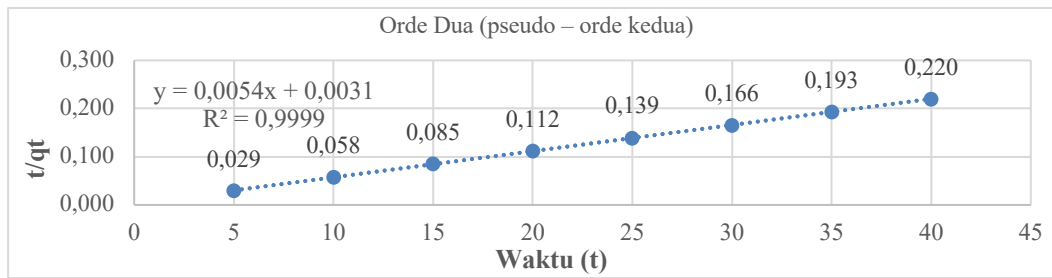
Gambar 6. Perbedaan Efisiensi Antara Adsorpsi Biochar  $\text{FeCl}_3$  Dan Non  $\text{FeCl}_3$

Beberapa faktor dapat menjelaskan peningkatan efisiensi adsorpsi biochar teraktivasi  $\text{FeCl}_3$ . Pertama,  $\text{FeCl}_3$  berfungsi sebagai pengikat logam dan agen pengoksidasi, atau aktivator garam logam, yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan jumlah situs aktif dan luas permukaan tertentu biochar. Selama proses aktivasi, ion  $\text{Fe}^{3+}$  dapat berinteraksi dengan gugus fungsional oksigen di permukaan *biochar* seperti  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$ , dan  $-\text{C}=\text{O}$ , yang menghasilkan kompleks  $\text{Fe}-\text{O}-\text{C}$  yang bersifat polar dan bermuatan positif.

### 3.7. Kinetika Adsorpsi

Nurkhalifah (2024) menyatakan bahwa kinetika adsorpsi menunjukkan tingkat kecepatan penyerapan adsorben terhadap adsorbatnya, yang menjadikannya komponen penting dalam proses adsorpsi.

Model kinetika yang digunakan dalam penelitian ini ialah persamaan orde satu semu dan orde dua. dengan dua model kinetika tersebut, nilai konstanta ( $k$ ) yang ditentukan melalui nilai koefisien regresi ( $R^2$ ) yang paling tinggi pada salah satu model kinetika tersebut. apabila nilai regresi semakin mendekati angka 1 maka hasil adsorpsi akan semakin bagus.



Gambar 7 Kinetika Adsorpsi Biochar Terhadap Zat Pewarna

Tabel 1. Model Kinetika Adsorpsi Indigosol Pink IR

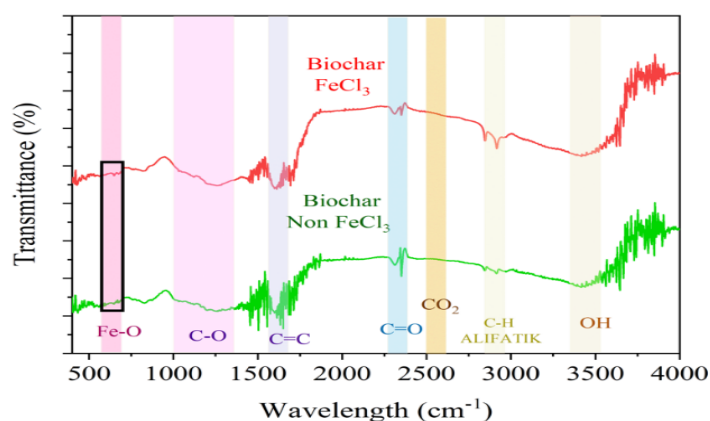
| Model Kinetika | Slope | Intercept | r       | R <sup>2</sup> | Qe        | K1    |
|----------------|-------|-----------|---------|----------------|-----------|-------|
| Orde Satu      | 0.02  | 1.03      | 0.8808  | 0.77577        | 10.81     | 0.06  |
| Orde Dua       | 0.005 | 0.0031124 | 0.99997 | 0.99994        | 184.19205 | 0.009 |

Dalam kasus ini, pengujian laju adsorpsi menunjukkan kemampuan penyerapan yang dilakukan melalui penentuan orde reaksi secara eksperimen. Grafik dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme adsorpsi zat pewarna sintetis indigosol pink IR dengan biochar modifikasi  $\text{FeCl}_3$ .

Pada gambar diatas dapat disimpulkan bahwa nilai  $R^2$  ada orde dua lebih tinggi daripada nilai  $R^2$  pada orde satu. berdasarkan hal ini, maka kinetika adsorpsi pada larutan indigosol pink IR mengikuti kinetika adsorpsi orde 2. Model kinetika adsorpsi orde dua mengindikasikan bahwa proses adsorpsi pewarna sintetis dengan *biochar* yang dimodifikasi dengan  $\text{FeCl}_3$  terjadi dengan adanya proses kemisorpsi dan mekanisme adsorpsi yang terjadi ialah reaksi tak balik (*irreversible*).

### 3.8. Analisis Gugus Fungsi Biochar dari Ampas Tebu Dimodifikasi $\text{FeCl}_3$

Setelah *biochar* dimodifikasi dengan  $\text{FeCl}_3$  terjadi pergeseran pada pita serapan menjadi  $34,25,58 \text{ cm}^{-1}$  yang menandakan terjadinya interaksi antara gugus  $-\text{OH}$  dengan ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Pada gelombang  $2910,58\text{-}2966,52 \text{ cm}^{-1}$  yang ada pada *biochar* tidak dimodifikasi terdapat gugus  $\text{C-H}$ . setelah terjadi modifikasi, pita serapan bergeser ke  $2840,79\text{-}2916,37 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan bahwa adanya perubahan struktur akibat reaksi dengan  $\text{FeCl}_3$ . Hal ini berarti bahwa proses modifikasi dapat mempengaruhi rantai karbon atau menyebabkan dekomposisi sebagian dari struktur tersebut. Pada spektrum  $1600,92 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1637,36 \text{ cm}^{-1}$  terdapat perubahan pada pita serapan  $\text{C=C}$  aromatik atau  $\text{C=O}$  karbonil. Grafik Stack FT-IR *biochar* modifikasi  $\text{FeCl}_3$  dan non modifikasi  $\text{FeCl}_3$  dapat dilihat pada Gambar 8.

Gambar 8. Gugus Fungsi Biochar  $\text{FeCl}_3$  dan Non  $\text{FeCl}_3$

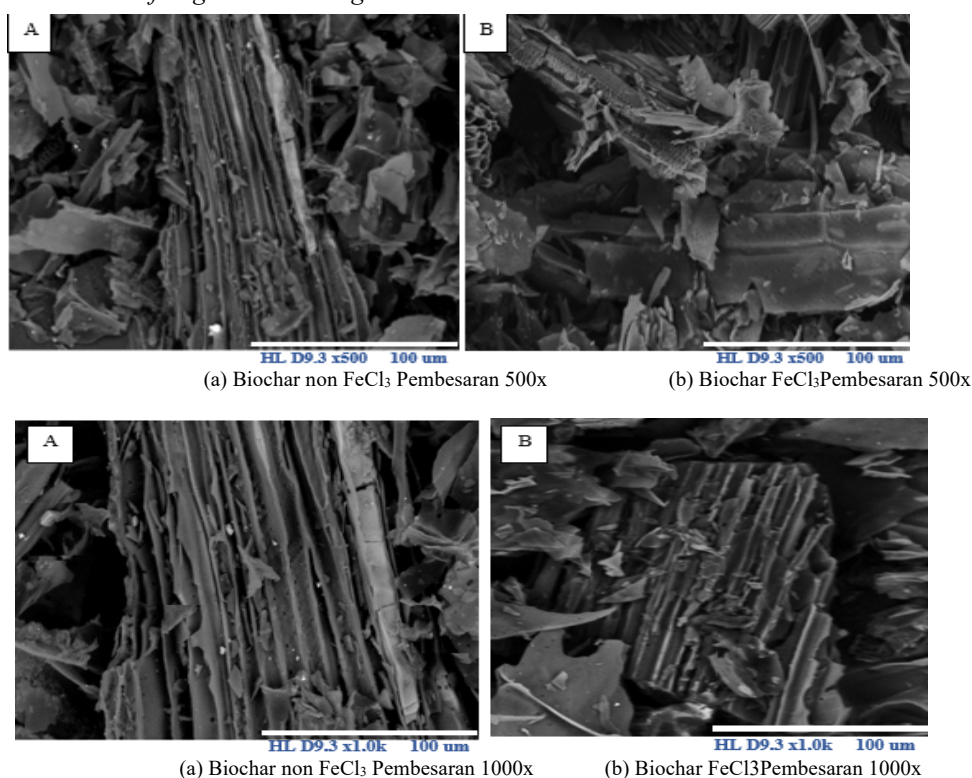


Tabel 2. Data Gugus Fungsi antara Biochar FeCl<sub>3</sub> dan non FeCl<sub>3</sub>

| No. | Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> ) |                           | Gugus Fungsi    |
|-----|----------------------------------------|---------------------------|-----------------|
|     | Biochar non FeCl <sub>3</sub>          | Biochar FeCl <sub>3</sub> |                 |
| 1.  | 3424,04 – 3547,09                      | 3425,58                   | -OH             |
| 2.  | 2910,85 – 2966,52                      | 2850,79 – 2916,37         | C-H (alifatik)  |
| 3.  | 2312,65                                | -                         | CO <sub>2</sub> |
| 4.  | 1600,92 – 1637,36                      | 1604,77 – 1695,43         | C=O             |
| 5.  | 1442,75                                | 1463,97                   | C=C             |
| 6.  | -                                      | 1300-1000                 | C-O             |
| 7.  | -                                      | 1120,64                   | Fe-O            |

Setelah modifikasi, pita serapan berubah menjadi 1604,77 cm<sup>-1</sup> dan 1695,43 cm<sup>-1</sup>. Hal ini dapat diartikan bahwa adanya interaksi atau kompleksasi ion Fe<sup>3+</sup> dengan gugus karbonil atau aromatik yang dapat memaksimalkan proses adsorpsi. Maka dari itu, ion Fe telah berhasil berikatan atau teradsorpsi pada permukaan *biochar* dan menciptakan gugus aktif tambahan yang berperan dalam meningkatkan efisiensi adsorpsi zat warna.

### 3.9. Analisis Struktur Morfologi Biochar dengan SEM

Gambar 9. Analisa SEM pada Biochar FeCl<sub>3</sub> dan non FeCl<sub>3</sub>

Berdasarkan analisis SEM diatas, biochar yang tidak dimodifikasi dengan FeCl<sub>3</sub> menunjukkan morfologi permukaan yang lebih halus dan struktur pori yang terbuka. Hal ini mengindikasikan bahwa biochar dalam bentuk yang alami tanpa adanya penambahan material logam. Sebaliknya, pada gambar terdapat biochar yang dimodifikasi menggunakan FeCl<sub>3</sub> menunjukkan permukaan yang lebih kasar serta adanya indikasi aglomerasi atau endapan logam yang menutup sebagian pori-pori biochar. Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya ion Fe yang terdispersi pada permukaan biochar dan memberikan gugus aktif tambahan. Gugus tersebut merupakan gugus aktif seperti Fe-OH dan Fe-O yang mampu berinteraksi langsung dengan adsorbat (seperti zat warna, logam, dan nutrisi) melalui mekanisme seperti kompleksasi, pertukaran ligan atau interaksi elektrostatis [13]. Modifikasi dengan FeCl<sub>3</sub> dapat mengubah muatan permukaan biochar menjadi lebih positif, terutama pada kisaran pH netral-asam sehingga lebih efektif menarik molekul bermuatan negatif (anion) [1]



#### 4. Kesimpulan

*Biochar* sebelum dan sesudah dimodifikasi dengan  $\text{FeCl}_3$  menunjukkan hasil yang berbeda pada analisa FT-IR. Terdapat gugus baru yaitu Fe-O pada *biochar* yang telah dimodifikasi pada spektrum  $112,64 \text{ cm}^{-1}$ . *Biochar* yang telah dimodifikasi menunjukkan hasil efektivitas yang lebih tinggi daripada *biochar* non modifikasi.

Kinerja *biochar* yang telah dimodifikasi pada kondisi optimum diperoleh pada waktu 40 menit dengan kosentrasi  $\text{FeCl}_3$  pada *biochar* sebesar 0,4% dan kapasitas adsorpsi maksimum pada konsentrasi larutan zat warna 100 ppm sebesar 238,74 mg/g dengan nilai %removal sebesar 95,50%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa *biochar* yang dimodifikasi dengan  $\text{FeCl}_3$  secara efektif dapat digunakan sebagai adsorben pengolahan limbah zat warna.

Penelitian ini masih terbatas pada proses regenerasi *biochar* setelah tahap adsorpsi zat pewarna sintetis. Sehingga, diperlukan kajian lebih lanjut mengenai bagaimana meregenerasikan *biochar*  $\text{FeCl}_3$  setelah proses adsorpsi zat pewarna sintetis dilakukan.

#### 5. Referensi

- [1] Adeel, M., Grasel Frois, C. F., Berruti, I., Sirtori, C., Malato, S., & Rizzo, L. (2025). Activation of peroxymonosulfate by (sunlight) $\text{FeCl}_3$ -modified biochar for efficient degradation of contaminants of emerging concern: Comparison with  $\text{H}_2\text{O}_2$  and effect of microplastics. *Chemical Engineering Journal*, 507(February), 160782. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.160782>
- [2] Apriyani, N. (2018). Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 3(1), 21–29. <https://doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640>
- [3] Ekinci, S., & Guzel, F. (2019). Adsorption of Toxic Indigo Carmine Dyestuff from Aqueous Solution by Chitosan and Chitosan Phthalate. *Applied Chemical Engineering*, 2(2), 1–7. <https://doi.org/10.24294/ace.v1i2.624>
- [4] Hadi Sutopo, Suhartati Tati, Y. Y. (2023). Penyuluhan penggunaan bahan pengawet sintetis dalam makanan bagi ibu-ibu PKK dan masyarakat di Desa. *Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(2), 203–210.
- [5] Humaira, I., & Sanjaya, H. (2023). Bantuan termal, uap, dan  $\text{CO}_2$  digunakan dalam metode aktivasi fisik, yang berlandaskan pada pemutusan ikatan karbon dan molekul organik. Biasanya, proses ini dilakukan dengan pemanasan di tungku pada suhu antara  $800^\circ\text{C}$  dan  $900^\circ\text{C}$  dalam media karbon. Reaksi i. *Periodic*, 12(2), 75. <https://doi.org/10.24036/periodic.v12i2.117679>
- [6] Idan, I. J., Abdullah, L. C., Choong, T. S. Y., & Jamil, S. N. A. B. M. (2018). Equilibrium, kinetics and thermodynamic adsorption studies of acid dyes on adsorbent developed from kenaf core fiber. *Adsorption Science and Technology*, 36(1–2), 694–712. <https://doi.org/10.1177/0263617417715532>
- [7] Janu, R., Mrlik, V., Ribitsch, D., Hofman, J., Sedláček, P., Bielská, L., & Soja, G. (2021). Biochar surface functional groups as affected by biomass feedstock, biochar composition and pyrolysis temperature. *Carbon Resources Conversion*, 4(November 2020), 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2021.01.003>
- [8] Nurkhalifah, D. (2024). Modifikasi Biochar Dengan Asam Sulfat Untuk Meningkatkan Serapan Logam Pb. Universitas Jambi, 1–73.
- [9] Nurlela. (2018). Pengolahan Limbah Cair Industri Kerajinan Songket Tradisional dengan Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif. *Journal Health and Science*, 3(2), 44.
- [10] Prichard, L., & Barwick, V. (2003). Preparation of Calibration Curves A Guide to Best Practice Contact Point: Prepared by: Lgc, June, 1–27. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36338.76488>
- [11] Utoul, W. P., Santoso, E., Yuhaneke, G., Triantini, A. I., Fatqi, M. R., Huda, M. F., & Nurfitriani, N. (2019). Studi Adsorpsi Zat Warna Naphthol Yellow S Pada Limbah Cair Menggunakan Karbon Aktif Dari Ampas Tebu. *Jurnal Kimia*, 13(1), 104. <https://doi.org/10.24843/jchem.2019.v13.i01.p16>
- [12] Yaashikaa PR, Kumar PS, Varjani S, Saravanan A. A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. *Biotechnol Rep (Amst)*. 2020 Nov 21;28:e00570. doi: 10.1016/j.btre.2020.e00570. PMID: 33304842; PMCID: PMC7718465
- [13] Yang, Q., Wang, X., Luo, W., Sun, J., Xu, Q., Chen, F., Zhao, J., Wang, S., Yao, F., Wang, D., Li, X., & Zeng, G. (2018). Efektivitas dan mekanisme adsorpsi fosfat pada biochar yang dimodifikasi besi yang dihasilkan dari lumpur aktif limbah. *Bioresource Technology*, 247(August 2017), 537–544. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.136>
- [14] Zafeer, M. K., Menezes, R. A., Venkatachalam, H., & Bhat, K. S. (2024). *Biochar* berbasis ampas tebu dan potensinya dalam berbagai aplikasi: sebuah tinjauan. *Bahan-bahan Emergent*, 7(1), 133–161. <https://doi.org/10.1007/s42247-023-00603-y>