

## Studi Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Komposit Hidroksiapatit – Karbon Aktif Tongkol Jagung

Tria Arum Kusumawati<sup>1</sup>, Adhi Setiawan<sup>1\*</sup>, dan Denny Dermawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [adhi.setiawan@ppns.ac.id](mailto:adhi.setiawan@ppns.ac.id)

### Abstrak

Metilen biru merupakan zat warna yang banyak digunakan pada industri tekstil. Pencemaran zat metilen biru dapat direduksi dengan metode adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan komposit karbon aktif tongkol jagung dan hidroksiapatit (HAp) tulang ikan sebagai adsorben dalam zat warna metilen biru. Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan tongkol jagung (*Zea Mays L.*) yang diolah mejadi karbon aktif dan tulang ikan yang diekstraksi menjadi HAp sebagai komposit adsorben untuk mengetahui kemampuan penyerapan yang dapat mengurangi kontaminasi zat warna metilen biru, serta menganalisis kinetika pada orde nol, satu dan dua. Variasi yang digunakan adalah waktu kontak adsorpsi yaitu 5, 15, 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit, sedangkan konsentrasi larutan sebesar 200 mg/L. Efisiensi penyisihan terbaik dalam menyisihkan metilen biru sebesar 36,96% selama 180 menit. Pada kinetika adsorpsi yang terjadi mengikuti persamaan orde dua dengan nilai  $R^2 = 0,9741$ . Hasil adsorpsi menunjukkan kinetika mekanisme adsorpsi terjadi secara fisika dan kimia dengan didominasi oleh mekanisme secara kimia.

**Keywords:** Adsorpsi, Kinetika, Komposit, Hidroksiapatit, Karbon Aktif

### 1. PENDAHULUAN

Zat warna banyak digunakan pada industri tekstil, plastik, kertas dan industri lainnya. Industri tekstil merupakan salah satu industri yang berkembang pesat di Indonesia, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2019 pada kota Surabaya terdapat 15 industri tekstil. Perkembangan yang pesat menimbulkan masalah bagi lingkungan terutama masalah yang diakibatkan oleh limbah cair pewarna yang mengandung bahan-bahan yang beracun dan berbahaya. Metilen Biru adalah pewarna kationik yang biasa digunakan dalam industri pewarna medis, pemeriksaan diagnostik, dan industri pewarna serat. Senyawa ini berupa kristal berwarna hijau gelap dan ketika dilarutkan dalam air atau alkohol akan menghasilkan larutan berwarna biru. Iritasi mata atau kebutaan, masalah kulit, keracunan, penurunan aliran darah ginjal, penurunan curah jantung, dan muntah merupakan gejala dampak zat warna metilen biru yang tinggi (Ahmad dkk., 2020; Chen dkk., 2021; Yang dkk., 2019).

Adsorpsi dianggap sebagai metode pengolahan yang paling efektif dan menjanjikan karena biaya awal yang rendah, efisiensi tinggi, kemudahan pengoperasian, fleksibilitas tinggi, dan kemudahan desain (Dermawan dkk., 2022). Adsorben adalah komponen paling penting dari sistem dalam pengolahan adsorpsi air dan air limbah. Salah satu adsorben yang umum digunakan adalah karbon aktif, karena memiliki daya adsorpsi yang baik serta luas permukaan adsorpsi yang besar untuk tiap gram karbon aktif. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300-3500 m<sup>2</sup>/gr. Daya serap karbon aktif besar, yaitu 25 - 100% terhadap berat karbon aktif (Dewi dkk., 2020).

Jagung (*Zea mays L.*) merupakan sumber daya alam yang melimpah di Indonesia. Menurut BPS 2015 produksi jagung pada tahun 2015 di Indonesia mencapai 19,61 juta ton dan penghasil jagung terbesar terdapat pada provinsi Jawa timur yaitu sebesar 6,13 juta ton. Tongkol jagung mengandung selulosa (41%) dan hemiselulosa (36%) yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif (Agustina dkk., 2018). Selain limbah biomassa pertanian, limbah biomassa dari sumber daya perairan juga berpotensi menjadi bahan adsorben, sehingga limbah tulang ikan merupakan bahan mentah yang menarik untuk digunakan dalam produksi adsorben. Menurut data BPS

tahun 2017, diperkirakan produksi ikan yang dihasilkan di Jawa Timur sekitar 1,6 juta ton/tahun. Tulang ikan mengandung 60-70% mineral dengan komponen penyusun berupa 30% protein kolagen dan sebagian besar bioapatit, termasuk HAp, dan *carbonated apatite* (Riyanto dkk., 2013). HAp dapat dijadikan suatu adsorben yang dapat membantu untuk mengatasi pencemaran lingkungan, seperti pencemaran zat berwarna dari industri.

Hasil penelitian dari Setiawan (2020) mengenai biokomposit HAp dari cangkang telur ayam dan biochar sekam padi, diketahui persentase maksimum metilen biru yang dapat diadsorpsi dari hasil penelitian ini sebesar 91%, kemampuan komposit HAp-biochar dalam mengadsorpsi metilen biru lebih baik dibandingkan dengan material penyusunnya (HAp dan biochar). Berdasarkan beberapa hasil penelitian, untuk memaksimalkan proses adsorpsi maka pada penelitian ini dilakukan kajian pemanfaatan tulang ikan menjadi HAp yang dikompositkan dengan karbon aktif tongkol jagung sebagai adsorben yang dapat meningkatkan proses adsorpsi untuk mengurangi kontaminasi zat warna metilen biru pada limbah cair.

## 2. METODE

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dan dilaksanakan di laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tongkol jagung, tulang ikan, NaOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, etanol, larutan metilen biru, aquades. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah furnace, oven, alat gelas laboratorium, neraca analitik, spektrofotometer UV-Vis, pH meter, hotplate, dan *magnetic stirrer*.

### 2.1 Pembuatan Arang Aktif

Pembuatan karbon aktif tongkol jagung dilakukan dengan cara memotong tongkol jagung menjadi bagian kecil-kecil sekitar 1-2,5 cm, selanjutnya dikarbonasi dimasukkan dalam tanur atau furnace secara berkala selama 60 menit pada suhu 600°C (Anjali dkk., 2022). Arang tongkol jagung yang dihasilkan dari proses karbonisasi kemudian ditumbuk, diayak dengan ayakan 100 mesh. Arang dapat dilakukan aktivasi dengan larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,1M dalam perbandingan 1:10 (b/v) selama 24 jam. Selanjutnya karbon dicuci dengan akuades dan disaring dengan kertas saring hingga pH filtrat netral. Kemudian karbon yang sudah siap diletakkan kembali ke oven pada temperatur 150°C dengan waktu pemanasan selama 3 jam untuk mengaktifkan karbon di dalamnya.

### 2.2 Pembuatan Hidroksiapatit

Pembuatan HAp tulang ikan dilakukan dengan merendam tulang ikan dalam larutan NaOH 5% dengan perbandingan 1:14 (b/v) pada suhu 70°C dan kecepatan 400 rpm selama 5 jam. Selanjutnya endapan putih disaring dan dibersihkan dengan menggunakan akuades sebelum dikeringkan selama 1 jam pada suhu 100°C. Endapan putih selanjutnya diolah selama 1 jam dengan NaOH 50% dalam perbandingan 1:6 (b/v) pada 100°C. Proses filtrasi diulang beberapa kali dilanjutkan dengan membilas larutan dengan air suling ntuk memastikan larutan yang dihasilkan jernih. Endapan putih yang telah disaring kemudian dilarutkan menggunakan 200 mL air suling dan pH diubah menjadi pH 7 menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (85%, Bendosen) dengan molaritas 0,1 M, larutan diaduk terus menerus selama 1 jam dan kemudian dikeringkan selama 2 jam pada suhu 100°C untuk menghasilkan adsorben HAp. (Selimin, M.A., 2022).

### 2.3 Pembuatan Komposit Hidroksiapatit – Karbon Aktif

Kombinasi karbon aktif dari tongkol jagung dengan HAp tulang ikan masing masing dengan variasi 2:1 (HAp : Karbon). Tambahkan ethanol 96% sambil diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 5 jam. Produk komposit dikeringkan menggunakan oven pada suhu 120°C selama 5 jam. Setelah kering, kemudian digerus hingga halus menggunakan mortar dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Komposit dikalsinasi pada temperatur 500°C selama 5 jam. (Rayendra dkk., 2015).

### 2.4 Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Kontak

Penentuan pengaruh waktu kontak terhadap daya adsorpsi metilen biru dilakukan dengan menambahkan 0,025 gram adsorben komposit ke dalam 50 ml larutan metilen biru konsentrasi 200 mg/L dan diaduk dengan variasi waktu 5, 15, 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit.

## 2.5 Perhitungan Efisiensi Penyisihan

Efisiensi dinyatakan dengan persentase, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$\text{Efisiensi Penyisihan (\%)} = \frac{C_a - C_e}{C_a} \times 100\% \quad (1)$$

## 2.6 Analisis Kinetika Adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi merupakan laju adsorpsi dari suatu adsorben terhadap adsorbat yang memiliki persamaan untuk menentukan konstanta laju dari adsorpsi yaitu orde nol, satu dan dua. Persamaan kinetika adsorpsi orde nol, orde satu dan orde dua dinyatakan pada persamaan (2), (3) dan (4):

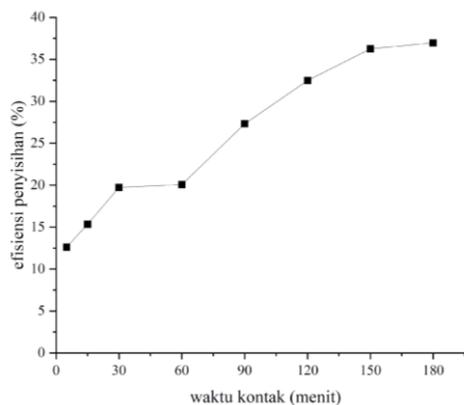
$$C_e = -kt + C_a \quad (2)$$

$$\ln C_e = -kt + \ln C_a \quad (3)$$

$$\frac{1}{c} = kt + \frac{1}{c_a} \quad (4)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Analisis Pengaruh Waktu Kontak terhadap Efisiensi Penyisihan Metilen Biru

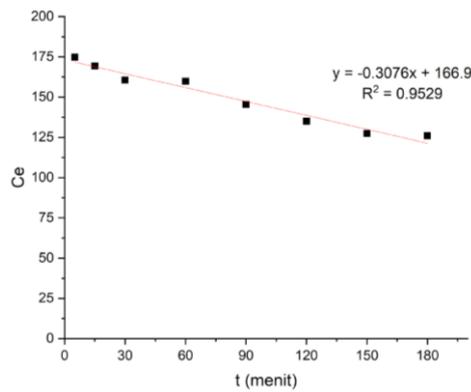


Gambar 1. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Efisiensi Penyisihan Metilen Biru

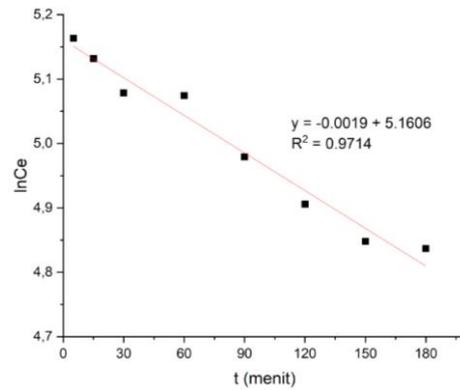
Analisis pengaruh waktu kontak terhadap penyisihan metilen biru dilakukan dengan massa adsorben 0,025 gram dan konsentrasi larutan 200 mg/L. Gambar 1 menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung cepat pada permulaan, dikarenakan masih tingginya molekul adsorbat pada larutan sehingga menurunkan halangan transfer massa antara adsorben-adsorbat. Selain itu, konsentrasi yang tinggi pada permulaan adsorpsi menyebabkan adanya gaya dorong yang mempercepat proses penyerapan molekul pewarna pada permukaan adsorben. Efisiensi penyisihan tertinggi pada waktu kontak 180 menit yaitu sebesar 36,96%.

### 3.2 Analisis Kinetika Adsorpsi

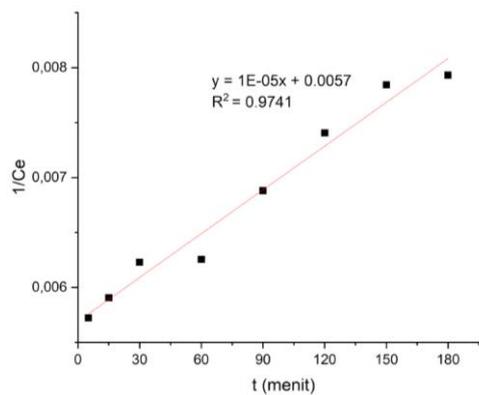
Kinetika adsorpsi merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi karena menunjukkan tingkat kecepatan penyerapan adsorben terhadap adsorbatnya. Kemampuan penyerapan dapat dilihat dari laju adsorpsinya dalam hal ini pengujian terhadap laju adsorpsi yang dilakukan melalui pembelian orde reaksi secara eksperimen (Widihati, 2012). Orde reaksi yang digunakan yaitu orde nol, orde satu dan orde dua. Penentuan orde reaksi ini ditentukan melalui pengaruh variasi waktu. Variasi waktu yang digunakan yaitu 5, 15, 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit dengan konsentrasi adsorbat 200 ppm. Kurva regresi linear menghubungkan antara perbandingan waktu dan konsentrasi akhir ( $C_e$ ). Berikut ini beberapa model kinetika adsorpsi metilen biru ditunjukkan pada Gambar 2 sampai dengan 4.



Gambar 2. Model Kinetika Orde Nol



Gambar 3. Model Kinetika Orde Satu



Gambar 4. Model Kinetika Orde Dua

Tabel 1. Kinetika Adsorpsi

Keterangan	Orde Nol	Orde Satu	Orde Dua
R <sup>2</sup>	0,9529	0,9714	0,9741
Nilai Konstanta Laju Reaksi	-0,3076	-0,0019	1×10 <sup>-5</sup>

Berdasarkan data perhitungan parameter kinetika adsorpsi pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa adsorpsi mengikuti model kinetika adsorpsi orde dua, ditandai dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang paling mendekati 1. Untuk adsorben memiliki nilai  $R^2 = 0,9741$  dengan nilai  $K_2=1 \times 10^{-5}$ . Nilai K merupakan parameter kinetika adsorpsi yang memaknai tentang cepat atau lambat suatu proses adsorpsi itu berlangsung. Semakin besar nilai K, makin cepat proses adsorpsi berlangsung (Andreas dkk., 2015).

Proses adsorpsi yang mengikuti model kinetika orde dua memiliki makna bahwa kecepatan penyerapan adsorben karbon aktif terhadap metilen biru per satuan waktu berbanding lurus dengan penurunan konsentrasi adsorbat ( $1/C_e$ ), sehingga pada awal proses adsorpsi memiliki pengurangan konsentrasi larutan yang cukup drastis, kemudian kecepatan adsorpsi terus menurun hingga tercapai kondisi setimbang saat sudah tidak ada lagi zat warna yang dapat teradsorpsi ke dalam karbon aktif (Andreas dkk., 2015).

#### 4. KESIMPULAN

Pengaruh variasi waktu kontak terhadap proses adsorpsi metilen biru memiliki efisiensi penyisihan sebesar 36,96% pada waktu 180 menit. Kinetika adsorpsi yang terjadi mengikuti persamaan orde dua dengan nilai  $R^2 = 0,9741$  dengan nilai  $K_2=1 \times 10^{-5}$  yang didominasi oleh mekanisme secara kimia.

## 5. DAFTAR NOTASI

Ca = Konsentrasi awal

Ce = Konsentrasi akhir

k = Konstanta kinetika (menit<sup>-1</sup>)

t = Waktu (menit)

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. dan Fitriana, A. 2018. Proses Peningkatan Luas Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung. Seminar rekayasa teknologi semrestek, Halaman 440–446.
- Ahmad, dkk. (2020). Removal of methylene blue dye using rice husk, cow dung, and sludge biochar: Characterization, application, and kinetic studies. *Bioresour. Technol.* Vol. 306, Nomor 123202
- Andreas, A., Putranto, A., dan Sabatini, T. C. (2015). Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak Aktivasi Kimia-Senyawa KOH sebagai Adsorben Proses Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Teknik Kimia*, Halaman 1–7.
- Chen, Q., dkk. (2021). Synergetic effect on methylene blue adsorption to biochar with gentian violet in dyeing and printing wastewater under competitive adsorption mechanism. *Case Stud. Therm. Eng.* Vol. 26, Nomor 101099
- D. Dermawan, dkk. (2022). A novel magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> carbon-shell (MFC) functionalization with lanthanum as an adsorbent for phosphate removal from aqueous solution. *International Journal of Environmental Science and Technology.* Vol. 185, Nomor 115122
- Dewi, Rozanna, Azhari & Indra Nofriadi. 2020. Aktivasi Karbon dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* Volume 9, Nomor 2, Halaman 12-22
- Rayendra, A.F., Wardhani, S., Tjahjanto, R.T., 2014. Pengaruh Komposisi TiO<sub>2</sub>- Bentonit Terhadap Degradasi Metilen Biru. *Kimia.Studentjournal* 2, Halaman 555– 561.
- Riyanto, Bambang, Akhiruddin Maddu & Nurrahman. 2013. Material Biokeramik Berbasis Hidroksiapatit Tulang Ikan Tuna. *JPHPI* 2013, Volume 16, Nomor 2, Halaman 119-132
- Selimin, M.A., dkk. 2022. Adsorption efficiency of hydroxyapatite synthesised from black tilapia fish scales for chromium (VI) removal. *Materials Today: Proceedings* 57. 1142–1146
- Setiawan, Hendri, dkk. 2020. Biokomposit Hidroksiapatit dari Cangkang Telur Ayam dan Biochar dari Sekam Padi sebagai Adsorben Ion Tembaga dan Metilen Biru. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, Volume 29, Nomor 1, Halaman 1 – 14
- Widihati, I. A. G., Suastuti, N. G. A. M. D. A., dan Nirmalasari, M. A. Y. 2012. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium (Cr) menggunakan Arang Batang Pisang (Musa Paradisiaca), *Jurnal Kimia*, Volume 6, Nomor 1, Halaman 8-16.
- Yang, S., dkk. (2019). Generation of high-efficient biochar for dye adsorption using frass of yellow mealworms (Larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus) fed with wheat straw for insect biomass production. *J. Clean. Prod.* Vol. 227, Halaman 33–47