

## Research Article

## Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

*Methylene Blue Adsorption onto Humic Acid Coated Magnetite Nanoparticles: Isotherm and Kinetics Study*

Ngatijo<sup>1\*</sup>, Nurul Gusmaini<sup>1</sup>, Restina Bemis<sup>1</sup>, Rahmat Basuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universitas Jambi, Prodi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Indonesia

<sup>2</sup>Universitas Pertahanan, Departemen Kimia, Fakultas MIPA Militer, Indonesia

\*correspondence email: [tijo52@yahoo.co.id](mailto:tijo52@yahoo.co.id)

Received: 22/01/2021; Revised: 26/05/2021; Accepted: 28/05/2021;

doi: 10.25273/cheesa.v4i1.8433.51-64

### Abstrak

Nanopartikel magnetit merupakan suatu material dengan sifat magnet yang stabil dan memiliki luas permukaan tinggi. Penyalutan nanopartikel magnetit dengan asam humat (AH) dilaporkan dapat meningkatkan stabilitas, kapasitas adsorpsi, dan kemudahan pemisahan pasca adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat (NpMAH) dengan metode ko-presipitasi dan menentukan parameter adsorpsinya sebagai adsorben *Methylene Blue* (MB) dengan metode *batch*. Keberhasilan sintesis ditunjukkan oleh karakterisasi NpMAH dengan FT-IR, XRD, SEM, dan VSM. Parameter isoterm adsorpsi mengindikasikan bahwa adsorpsi terjadi secara lapis tunggal dengan kapasitas adsorpsi sebesar 56,96 mg/g dan energi adsorpsi sebesar 26,31 kJ/mol pada pH optimum 6,0. Parameter kinetika menunjukkan bahwa adsorpsi mengikuti model kinetika Ho (*pseudo* orde kedua) dengan konstanta laju adsorpsi ( $k_{Ho}$ ) sebesar 12688,71 g/mol menit dan perhitungan MB yang teradsorpsi pada kesetimbangan ( $q_e$ ) sebesar  $2,96 \times 10^{-5}$  mol/g. Perhitungan energi adsorpsi menggunakan model kinetika Santosa dan RBS berturut-turut 25,67 kJ/mol dan 41,25 kJ/mol.

**Kata kunci:** adsorpsi *methylene blue*; asam humat; isoterm adsorpsi; kinetika adsorpsi; nanopartikel magnetit

### Abstract

*Magnetite nanoparticles (NpM) are a magnetic material that is stable and possess high surface area. Coating of magnetite nanoparticles with humic acid was reported to improve stability, adsorption capacity, and ease of separation after adsorption. This work aims to synthesize humic acid coated magnetite nanoparticles (NpMAH) by co-precipitation procedure and determine its adsorption parameters as Methylene Blue (MB) adsorbent by batch method. The success of the NpMAH synthesis was characterized by FT-IR, XRD, SEM, and VSM. The adsorption isotherm parameter indicates that the adsorption occurs in a monolayer with the adsorption capacity of 56.96 mg/g and the adsorption energy of 26.31 kJ/mol at the optimum pH 6.0. The kinetics parameter showed that the adsorption followed the Ho kinetics model (pseudo second order) with adsorption rate constant of 12688.71 g/mol min and the calculation of the adsorbed MB at equilibrium ( $q_e$ ) of  $2.96 \times 10^{-5}$  mol/g. The calculation of adsorption energy by Santosa and RBS kinetics model 41.25 kJ/mol and 25.67 kJ/mol, respectively.*

**Keywords:** humic acid; isotherm adsorption; kinetics adsorption; magnetite nanoparticles; methylene blue adsorption

## Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

### 1. Pendahuluan

Industri tekstil merupakan industri strategis yang skala produksinya stabil bahkan cenderung meningkat mengingat produk yang dihasilkan merupakan kebutuhan pokok [1]. Kegiatan produksi pada industri tekstil tidak dapat dipisahkan dari kegiatan pewarnaan produk pakaian, sehingga terjadi peningkatan limbah zat warna yang menyebabkan masalah lingkungan. Limbah zat warna yang masuk ke perairan selain menimbulkan masalah estetika, juga mengganggu dalam aktivitas kehidupan dalam perairan tersebut karena menghalangi sinar matahari untuk masuk lebih dalam pada perairan tersebut. Terganggunya aktivitas biota perairan tersebut menyebabkan pasokan oksigen dalam air menjadi berkurang dan memicu aktivitas organisme anaerob yang menghasilkan produk berbau tidak sedap [2]. Lebih jauh, limbah zat warna yang tak terdegradasi bersifat karsinogenik yang dapat terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup [3].

Salah satu zat warna yang digunakan secara luas dalam kegiatan pewarnaan adalah *Methylene Blue* (MB). Zat warna MB merupakan zat warna yang memberikan warna dasar biru yang sangat penting dan relatif murah dibandingkan dengan zat warna lainnya. Zat warna MB sering dipakai dalam pewarnaan tekstil, sutra, wol, dan kosmetik [2]. Luasnya penggunaan MB menyebabkan banyaknya limbah MB yang terbuang ke lingkungan. Adanya MB yang tidak terdegradasi pada perairan dapat menyebabkan efek toksik seperti mual, muntah, nyeri perut dan dada, dan hipertensi jika masuk ke dalam tubuh manusia [4]. Efek toksik yang lebih besar praktis dapat terjadi pada organisme perairan yang lebih kecil. Mengingat potensi bahaya limbah MB terhadap

lingkungan dan makhluk hidup perairan, pengurangan MB dalam lingkungan perairan menjadi hal yang sangat penting.

Beberapa teknik pengurangan limbah zat warna telah banyak dilaporkan oleh beberapa peneliti, diantaranya oksidasi dengan proses fenton [5], fotokatalisis [6], filtrasi [7], koagulasi [8], adsorpsi [1][9] dan lain-lain. Diantara teknik diatas, adsorpsi yang menggunakan adsorben ramah lingkungan merupakan metode yang dilaporkan efektif, murah, dan pemisahan adsorben pasca adsorpsi mudah [10]. Salah satu material ramah lingkungan yang memiliki kapasitas adsorpsi besar, murah, dan ketersediannya tinggi adalah asam humat [11].

Asam humat (AH) merupakan produk degradasi akhir dari senyawa organik yang umumnya terdapat dalam tanah gambut sebagai senyawa humus. Asam humat kaya akan gugus fungsi seperti karboksilat, fenolat, amin, tiol, alkoholat dan lain-lain. Asam humat dikenal dapat berinteraksi dengan lebih dari 50 senyawa yang terdiri dari ion logam berat, senyawa radioaktif, dan polutan organik (termasuk zat warna) [12]. Walaupun AH memiliki keunggulan sebagai adsorben, namun AH memiliki beberapa kelemahan diantaranya kestabilan yang rendah pada pH basa, mudah mengalami aglomerasi, dan pemisahan pasca adsorpsi yang relatif sulit [13].

Para peneliti sebelumnya telah melakukan modifikasi untuk meningkatkan kestabilan dan kapasitas adsorpsi AH diantaranya dengan menggunakan kitin [13, 14], karboksimetilselulosa (CMC) [15], perlit [16], titanium dioksida [17], attapulgit [18], dan magnetit [19–21]. Selain meningkatkan kestabilan dan kapasitas adsorpsi, modifikasi AH dengan magnetit juga memudahkan pengumpulan

## Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

kembali adsorben pasca adsorpsi dengan magnet eksternal. Sumber AH yang telah dilaporkan peneliti juga bervariasi mulai dari tanah gambut Kalimantan [19], Palembang [20], dan Rawa Pening [21]. Namun, belum banyak dilaporkan mengenai modifikasi AH dari tanah gambut di daerah Jambi dimana daerah Jambi memiliki lahan gambut yang melimpah.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) memodifikasi AH yang berasal dari tanah gambut daerah Jambi dengan nanopartikel magnetit untuk memudahkan pemisahan adsorben pasca adsorpsi dan (2) mempelajari performa dari adsorben yang disintesis melalui kajian isoterm dan kinetika adsorpsi terhadap zat warna MB pada pH optimum. Isoterm adsorpsi dipelajari melalui aplikasi data adsorpsi variasi konsentrasi MB pada model isotherm: empat variasi Langmuir [22][23], Freundlich [24], Dubinin-Radushkevich (DR) [25], dan Temkin [26]. Kinetika adsorpsi dipelajari melalui aplikasi data variasi waktu pada model kinetika Lagergren (*pseudo* orde pertama) [27], Ho (*pseudo* orde kedua) [28], Santosa [29], dan Rusdiarso-Basuki-Santosa (RBS) [30, 31]. Lebih jauh, prediksi energi adsorpsi (E) dari data kinetika Santosa dan RBS akan dibahas menyeluruh dalam artikel ini.

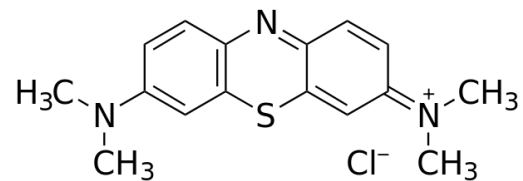
## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Alat dan Bahan

Asam humat (AH) diekstraksi dari tanah gambut yang diambil dari Hutan Geragai Provinsi Jambi dengan kedalaman 10-20 cm dari permukaan tanah. Bahan-bahan kimia untuk ekstraksi AH dan sintesis adsorben adalah NaOH pellet, larutan HCl 36%, larutan HF 48%, serbuk  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , serbuk  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan larutan  $\text{NH}_3$  25% dengan kualitas *pro*

*analyst* dari Merck®. Studi adsorpsi menggunakan adsorbat zat warna MB dari Merck®. Adapun struktur kimia MB disajikan pada Gambar 1.

Instrumen yang digunakan sebagai karakterisasi adalah FT-IR (Shimadzu Prestige 21), XRD (Bruker D2 Phaser 2nd Gen), TEM (JOEL JEM 1400 yang dioperasikan pada 120 kV), dan VSM (OXFORD VSM 1.2H). Deteksi zat warna MB pasca adsorpsi diukur menggunakan UV-Vis spektrofotometer (Shimadzu UV-1800). Analisis ukuran partikel dilakukan dengan bantuan *free software* Image-J.



**Gambar 1.** Struktur kimia zat warna MB

### 2.2 Sintesis NpMAH

Sintesis nanopartikel magnetit-asam humat (NpMAH) diawali dengan ekstraksi AH dari tanah gambut Hutan Geragai, Provinsi Jambi. Ekstraksi AH dilakukan dengan metode alkali mengikuti prosedur yang direkomendasikan oleh IHSS (*International Humic Substance Society*) pada tekanan dan suhu kamar [32]. Sebanyak 500 g serbuk tanah gambut kering yang lolos ayakan 4 *mesh* direndam dalam 1 L NaOH 0,1 M selama 24 jam. Campuran kemudian diambil filtratnya dan diasamkan dengan HCl 36% sampai pH nya dibawah 1. Campuran kembali didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk endapan. Endapan kemudian dipisahkan dari filtrat dengan cara sentrifugasi pada 5000 rpm selama 15 menit. Endapan kering dan lolos ayakan 100 *mesh* ditandai sebagai AH yang belum dimurnikan.

## Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

Pemurnian AH dilakukan dengan metode HCl/HF (1:3) untuk menghilangkan silika, lempung, dan mineral lainnya [33]. Sebanyak 50 g AH yang belum dimurnikan direndam selama 24 jam dalam 250 mL campuran HCl 0,1 M dan HF 0,1 M dengan perbandingan 1:3. Padatan kemudian dipisahkan dengan cara sentrifugasi pada 5000 rpm selama 15 menit. Setelah 3× pengulangan proses pemurnian, padatan dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa Cl<sup>-</sup> selama proses ekstraksi dan pemurnian. Pencucian dengan akuades dihentikan ketika sudah tidak terbentuk endapan putih (AgCl) bila air bekas pencucian ditetesi dengan larutan AgNO<sub>3</sub>.

Sintesis NpMAH dilakukan berdasarkan prosedur Liu dkk. (2008) dengan metode ko-presipitasi [34]. Sebanyak 1,53 g FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, 1,05 g FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O dan 25 mL akuades dipanaskan sampai 90°C. Setelah suhu tercapai, 12,5 mL larutan NH<sub>3</sub> 25% dan larutan 12,5 g AH dalam 12,5 mL NaOH 0,1M ditambahkan secara bersamaan. Campuran dipanaskan pada 90°C sambil diaduk selama 1 jam. Campuran kemudian didiamkan selama 24 jam, kemudian sedimen hitam dipisahkan, dinetralkan dengan akuades dan dikeringkan sebagai Nanopartikel Magnetite-Asam Humat (NpMAH).

### 2.3 Penentuan pH Optimum Adsorpsi

Ditimbang masing-masing 20 mg NpMAH kemudian dikontakkan dengan 25 mL larutan MB 50 ppm pada berbagai pH yaitu antara 2,0–8,0. Pengaturan pH larutan dilakukan dengan penambahan larutan NaOH 0,01 M dan HNO<sub>3</sub> 0,01 M. Campuran kemudian diaduk selama 20 menit, kemudian NpMAH dipisahkan dengan magnet eksternal. Filtrat kemudian

dinalisis dengan UV-Vis spektrofotometer pada panjang gelombang 660 nm. Banyaknya MB yang teradsorpsi pada NpMAH merupakan selisih antara konsentrasi MB pada filtrat dan kontrol (konsentrasi MB awal pada pH tertentu).

### 2.4 Isoterm Adsorpsi MB pada NpMAH

Ditimbang masing-masing 20 mg NpMAH kemudian dikontakkan pada 25 mL larutan MB yang telah divariasikan konsentrasinya dari 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm selama 180 menit pada pH optimum. Konsentrasi MB setelah adsorpsi diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 660 nm.

### 2.5 Kinetika Adsorpsi MB pada NpMAH

Ditimbang masing-masing 20 mg NpMAH kemudian dikontakkan pada 25 mL larutan MB 10 ppm selama 10, 30, 60, dan 120 menit pada pH optimum. Konsentrasi MB setelah adsorpsi diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 660 nm.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Karakterisasi NpMAH

Karakterisasi AH, magnetit, dan NpMAH menggunakan FT-IR ditunjukkan oleh Gambar 2. Terlihat bahwa AH memiliki lima serapan khas AH menurut Stevenson [32] yaitu pada bilangan gelombang sekitar 3400, 2900, 1720, 1600, dan 1000-1400 cm<sup>-1</sup>. Serapan pada 3410 cm<sup>-1</sup> menunjukkan ikatan hidrogen gugus O–H dari fenolat dan karboksilat. Puncak pada 2930 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi ulur C–H alifatik. Vibrasi ulur C=O dari COOH ditunjukkan pada munculnya serapan pada 1710 cm<sup>-1</sup>. Puncak pada daerah sekitar 1400 cm<sup>-1</sup> merupakan serapan ion karboksilat yang berasosiasi dengan serapan 1710 cm<sup>-1</sup>. Identifikasi adanya

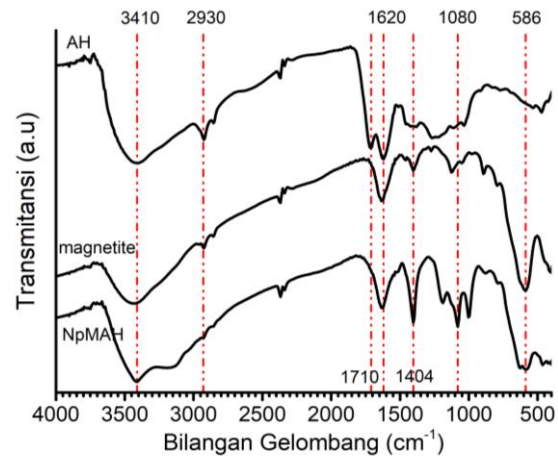
**Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika**

ikatan C-C aromatik ditunjukkan oleh serapan pada panjang gelombang 1620  $\text{cm}^{-1}$ .

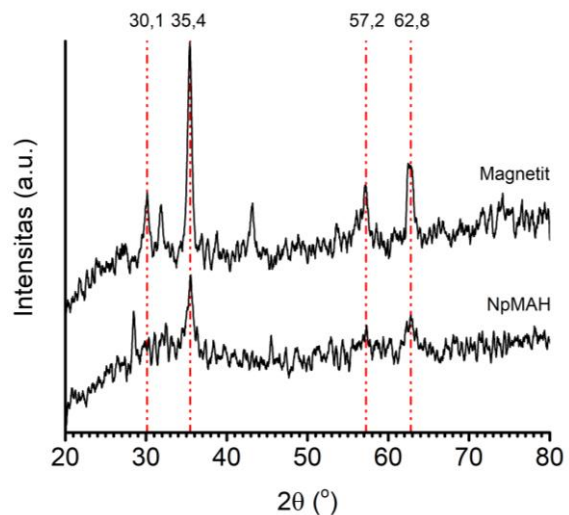
Keberhasilan penyalutan AH pada nanopartikel magnetit diidentifikasi dari hilangnya serapan pada 1710  $\text{cm}^{-1}$  dan munculnya serapan pada 1404  $\text{cm}^{-1}$  dan 586  $\text{cm}^{-1}$ . Hal ini dikaitkan dengan interaksi gugus C=O pada AH dengan oksida besi pada magnetit [34]. Interaksi serupa juga dilaporkan oleh peneliti sebelumnya [35].

Analisis kristalinitas menggunakan XRD ditunjukkan oleh Gambar 3. Terlihat bahwa magnetit memiliki 2 $\theta$  karakteristik yaitu pada = 30,1 $^\circ$ ; 35,4 $^\circ$ ; 57,2 $^\circ$ ; dan 62,68 $^\circ$  yang sesuai dengan struktur spinel kubik terbalik (JCPDS 65-3107) [19]. NpMAH memiliki puncak 2 $\theta$  yang mirip dengan puncak karakteristik magnetit dengan intensitas tertinggi pada 35,4 $^\circ$ . Hal ini mengindikasikan bahwa NpMAH bersifat semi-kristalin daripada amorf.

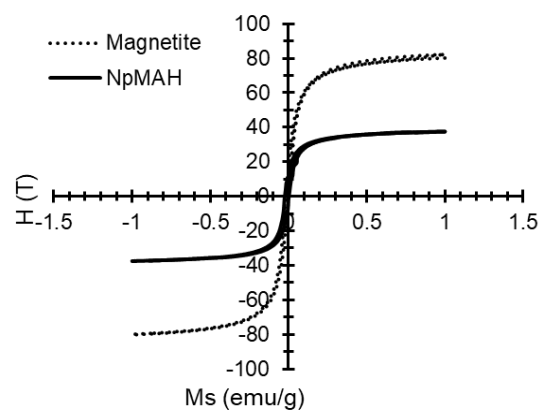
Keberhasilan modifikasi AH dengan magnetit juga dibuktikan dengan adanya penurunan kekuatan magnet dari 80,23 emu/g (magnetit) menjadi 30,63 emu/g (NpMAH). Penurunan kekuatan magnet mengindikasikan terjadinya penurunan kristalinitas pasca modifikasi magnetit dari 89,25% (magnetit) menjadi 63,62% (NpMAH). Namun, walaupun dengan kekuatan magnet 30,63 emu/g, NpMAH masih tertarik dengan kuat dan cepat (kurang dari 2 menit) pada magnet eksternal saat pemisahan adsorben pasca adsorpsi.



**Gambar 2.** Spektra FT-IR dari AH, magnetit, dan NpMAH



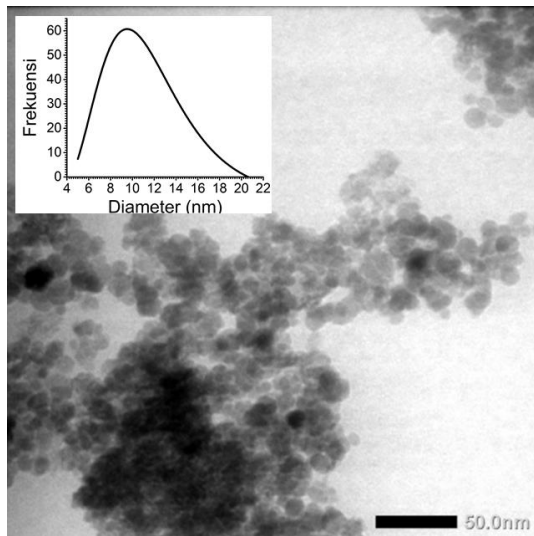
**Gambar 3.** Difraktogram magnetit dan NpMAH



**Gambar 4.** Kekuatan magnet NpMAH (30,63 emu/g) dan magnetit (80,23 emu/g)



**Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika**



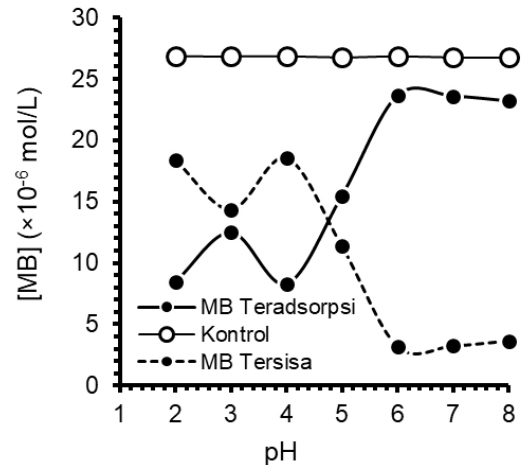
**Gambar 5.** Citra TEM dari NpMAH dan prediksi ukuran diameter NpMAH dengan Image-J

Hasil citra TEM dengan perbesaran skala 50 nm menunjukkan bahwa NpMAH yang disintesis memiliki ukuran nano, berbentuk bulat tidak beraturan dan teragregasi (Gambar 5). Menggunakan *free software* pengolah gambar TEM, yaitu *Image-J* diperoleh ukuran diameter rata-rata sekitar 10 nm (Inset Gambar 5). Hasil ini sesuai dengan penelitian Liu dkk. (2008) bahwa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/AH yang disintesis oleh Liu memiliki inti partikel nano dengan ukuran khas ~10 nm dengan seluruh permukaan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/AH berada dalam bentuk agregat [34].

**3.2 pH Optimum Adsorpsi**

pH sangat mempengaruhi adsorpsi MB pada NpMAH. Pada pH rendah, NpMAH akan mengalami protonasi sehingga situs aktif menjadi tidak bermuatan dan MB yang bermuatan positif tidak teradsorpsi secara maksimal (Gambar 6). Namun, seiring dengan naiknya pH, NpMAH akan mengalami deprotonasi dan situs aktif akan bermuatan negatif sehingga adsorpsi terjadi secara maksimal. pH optimum adsorpsi terjadi pada pH 6,0

dimana MB teradsorpsi paling banyak pada NpMAH. Beberapa penelitian adsorpsi MB juga memiliki pH optimum yang mirip [36][37]. Pada pH >6,0 adsorpsi MB sedikit mengalami penurunan akibat kompetisi antara adsorben yang bermuatan negatif dengan ion OH<sup>-</sup> yang juga berinteraksi dengan MB [38].



**Gambar 6.** pH optimum adsorpsi MB pada NpMAH

**3.3 Isoterm Adsorpsi MB pada NpMAH**

Parameter isoterm adsorpsi dihasilkan dari aplikasi data eksperimen variasi konsentrasi pada model linier dari 4 ekspresi isoterm Langmuir (Persamaan 1-4) [22][23], Freundlich (Persamaan 5) [24], DR [25] (Persamaan 6), dan Temkin (Persamaan 7) [26].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L b} + \frac{1}{b} C_e \quad \text{.....(1)}$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{b} + \frac{1}{b K_L C_e} \quad \text{.....(2)}$$

$$q_e = b - \frac{q_e}{K_L C_e} \quad \text{.....(3)}$$

$$\frac{q_e}{C_e} = b K_L - q_e K_L \quad \text{.....(4)}$$

$$\ln q_e = \ln B + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{.....(5)}$$

$$\ln q_e = \ln q_D - B_D \varepsilon^2 \quad \text{.....(6)}$$

**Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika**

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e \quad \dots\dots(7)$$

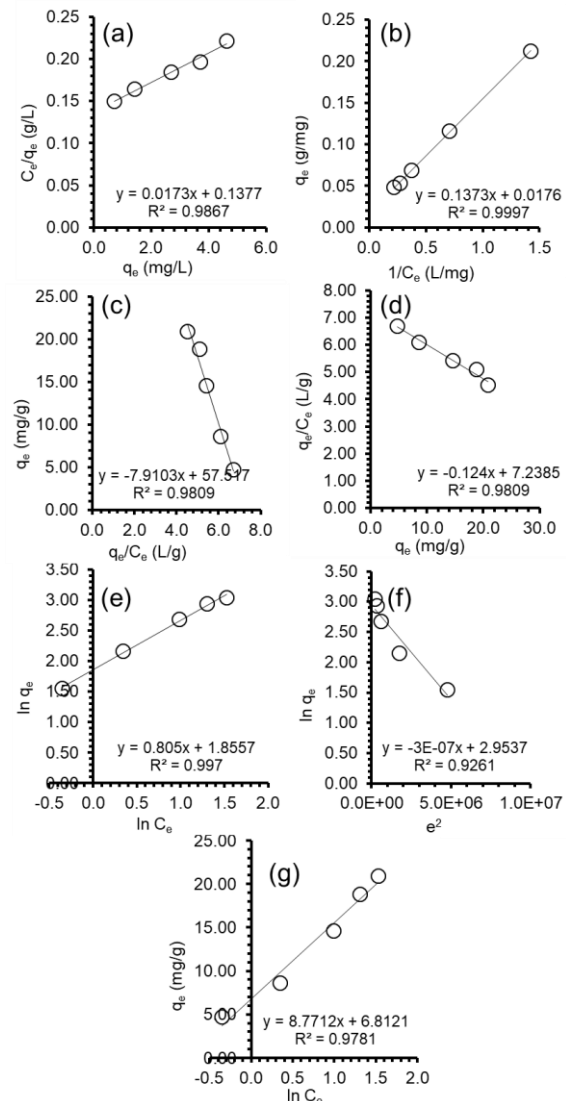
Aplikasi data terhadap *plot* pada Persamaan (1)-(7) disajikan pada Gambar 7. Terlihat bahwa tiap model memiliki nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang bervariasi, dengan  $R^2$  terbaik diperoleh dari model Langmuir-2. Berdasarkan model Langmuir-2 diperoleh kapasitas adsorpsi MB pada NpMAH sebesar 56,96 mg/g dengan energi adsorpsi ( $E_L$ ) sebesar 26,31 kJ/mol (Tabel 2). Kapasitas adsorpsi NpMAH pada penelitian ini relatif lebih besar jika dibandingkan penelitian sebelumnya seperti terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perbandingan kapasitas adsorpsi MB terhadap beberapa adsorben dalam literatur

No	Adsorben	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Referensi
1.	Kulit pohon kelapa	14,93	[40]
2.	Limbah agroindustri	17,43	[41]
3.	Serbuk kertas bekas	30,77	[42]
4.	Limbah pohon pepaya	32,25	[43]
5.	Kulit walnut	36,62	[44]
6.	NpMAH	56,96	Penelitian ini
7.	Humin	60,20	[37]
	Kaolinit	72,57	[45]
8.	AH-Perlit	82,80	[16]
9.	AH/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	93,08	[38]
10.	AH-Magnetit	200,00	[46]

Besarnya energi adsorpsi ini mengindikasikan bahwa adsorpsi MB pada NpMAH terjadi melalui interaksi fisik atau pertukaran ion [39]. Kecocokan data isoterm dengan model isoterm Langmuir menunjukkan bahwa MB teradsorpsi secara lapis tunggal (*monolayer*), tidak ada

interaksi antar MB setelah teradsorpsi, dan satu situs diasumsikan hanya dapat mengikat satu molekul MB.



**Gambar 7.** Adsorpsi MB pada NpMAH menggunakan model linear dari (a) Langmuir-1, (b) Langmuir-2, (c) Langmuir-3, (d) Langmuir-4, (e) Freundlich, (f) Dubinin-Radushkevich, dan (g) Temkin.

Hasil aplikasi data pada model Freundlich menunjukkan bahwa terdapat beberapa situs yang mampu melakukan adsorpsi secara multilapis (*B*) dengan kapasitas adsorpsi yang cukup besar yaitu  $1,73 \times 10^4$  mg/g (sekitar 303 kali dari adsorpsi lapis tunggal Langmuir-2). Walau

**Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika**

demikian, lapisan terluar memiliki energi adsorpsi yang sangat lemah yaitu 0,28 kJ/mol yang terukur dari energi adsorpsi Temkin (Tabel 2). Pada lapis diantara lapis pertama (Langmuir) dengan lapis terluar (Freundlich), isoterm DR mengukur bahwa pada kapasitas 1356,83 mg/g ( $q_D$ , lapis ke-24 dari lapis pertama) energi adsorpsi terukur sebesar 9,6 kJ/mol. Hasil ini memberikan fakta bahwa semakin luar lapisan MB yang teradsorpsi pada NpMAH, maka energi adsorpsinya akan semakin kecil.

**3.4 Kinetika Adsorpsi MB pada NpMAH**

Investigasi kinetika adsorpsi dilakukan menggunakan aplikasi variasi waktu pada model linear dari Lagergren (Persamaan 8) [27], Ho (Persamaan 9) [28], Santosa (Persamaan 10) [29], dan Rusdiarso-Basuki-Santosa/RBS (Persamaan 11) [30, 31].

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_{Lag} t \quad \dots\dots(8)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_{Ho}(q_e^2)} + \frac{1}{q_e} t \quad \dots\dots(9)$$

$$\frac{1}{C_0 - Xq_e} \ln\left(\frac{q_e(C_0 - Xq_t)}{C_0(q_e - q_t)}\right) = k_s t \quad \dots\dots(10)$$

$$\ln\left(\frac{C_0 C_b - x_e x}{x_e - x}\right) = k_a \left(\frac{C_0 C_b - x_e^2}{x_e}\right) t - \ln\left(\frac{x_e}{C_0 C_b}\right) \quad \dots\dots(11)$$

Profil adsorpsi MB pada NpMAH sebagai fungsi waktu disajikan pada Gambar 8a. Adsorpsi MB terjadi dengan cepat pada 30 menit pertama, kemudian melambat dan mencapai kesetimbangan setelah 120 menit. Banyaknya MB yang teradsorpsi saat tercapai kesetimbangan dicatat sebagai  $q_e$  eksperimen, yaitu terukur sebesar  $2,89 \times 10^{-5}$  mol/g adsorben. Aplikasi data kinetika pada persamaan (8)-(11) disajikan pada Gambar 8b-8f. Model yang paling mewakili sistem kinetika penelitian ini berdasarkan linearitasnya adalah model kinetika Ho, yaitu dengan  $R^2$  sebesar 0,9997 (Tabel 3). Parameter yang dihasilkan dari kinetika Ho adalah konstanta laju adsorpsi ( $k_{Ho}$ ) sebesar 12688,71 g/mol menit dan MB yang teradsorpsi pada kesetimbangan ( $q_e$ ) sebesar  $2,96 \times 10^{-5}$  mol/g.

**Tabel 2.** Penentuan parameter isoterm adsorpsi MB pada NpMAH

Parameter	Isoterm Model			
	Langmuir-1	Langmuir-2	Langmuir-3	Langmuir-4
$R^2$	0,9867	0,9997	0,9809	0,9809
$b$ (mol/g)	$1,80 \times 10^{-4}$	$1,78 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$1,83 \times 10^{-4}$
$b$ (mg/g)	57,68	56,96	64,00	58,38
$K_L$ (L/mol)	40268,70	40895,85	50000	39661
$E_L$ (kJ/mol)	27,27	26,31	26,81	26,23
	Freundlich	DR	Temkin	
$R^2$	0,9970	0,9261	0,9781	
$n$	1,24	-	-	
$B$ (mol/g)	$5,4 \times 10^{-2}$	-	-	
$B$ (mg/g)	$1,73 \times 10^4$	-	-	
$q_D$ (mol/g)	-	$4,24 \times 10^{-3}$	-	
$q_D$ (mg/g)	-	1356,83	-	
$E_D$ (kJ/mol)	-	9,60	-	
$b_T$ (kJ/mol)	-	-	0,28	
$A_T$ (L/g)	-	-	2,17	

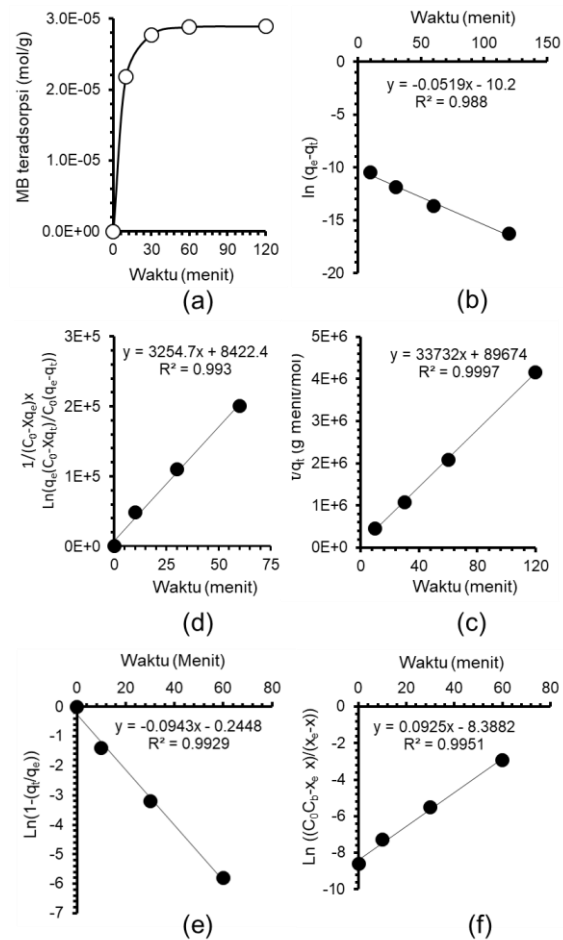


**Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika**

Walaupun memiliki linearitas terbaik, model kinetika Ho memiliki beberapa kelemahan yaitu parameter yang dihasilkan sangat minim untuk dilakukan studi silang dengan parameter lain, misalnya parameter isoterm adsorpsi. Parameter yang dihasilkan dari kinetika Ho adalah  $k_{Ho}$  dan  $q_e$  hasil perhitungan. Sedangkan untuk dilakukan studi silang dengan parameter isoterm adsorpsi, model kinetika perlu menghasilkan tetapan laju desorpsi ( $k_{des}$ ). Melalui hubungan  $K=k_{ads}/k_{des}$ , dimana  $K$  merupakan parameter isoterm adsorpsi, maka studi silang antara parameter kinetika dan isoterm adsorpsi dapat dilakukan. Namun, satu-satunya hal yang dapat dibandingkan dari parameter Ho adalah hasil perhitungan  $q_e$  dengan eksperimental  $q_e$ . Perbandingan hasil perhitungan  $q_e$  ( $2,96 \times 10^{-5}$  mol/g) dan hasil eksperimental  $q_e$  ( $2,89 \times 10^{-5}$  mol/g) pada penelitian ini memiliki nilai yang sangat dekat, yang mengkonfirmasi bahwa adsorpsi benar-benar mengikuti model kinetika Ho.

Santosa [29] dan Rusdiarso *dkk.* [30][31] mengembangkan model kinetika yang menghasilkan parameter  $k$  desorpsi ( $k_{des}$ ) yang dapat dibandingkan dengan parameter isoterm adsorpsi ( $K$ ), melalui hubungan  $k_{ads}/k_{des}=K$  sehingga dapat dilakukan studi silang apakah parameter kinetika tersebut benar-benar menggambarkan nilai aslinya. Hasil aplikasi data kinetika penelitian ini pada model Santosa menunjukkan nilai  $R^2$  yang cukup baik (0,9930) dengan tetapan laju adsorpsi ( $k_s$ ) dan desorpsi ( $k_{ds}$ ) berturut-turut sebesar 3254,70 L/mol menit dan  $1,92 \times 10^{-4}$  menit<sup>-1</sup>. Tetapan laju desorpsi ( $k_{ds}$ ) model Santosa didapat dari *plot*  $\ln(1 - \{q_t/q_e\})$  lawan  $t$  (Santosa-2, Gambar 8e) dengan slope merupakan fungsi dari  $k_s C_0 + k_{ds}$ . Menggunakan rumus energi

adsorpsi,  $E_s = -RT \ln K_s$  dimana  $K_s$  merupakan  $k_s/k_{ds}$  maka diperoleh  $E_s=41,25$  kJ/mol. Nilai  $E_s$  cukup jauh dari nilai  $E_L$  dari Langmuir sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai  $k_s$  dan  $k_{ds}$  tidak menggambarkan adsorpsi MB pada NpMAH.



**Gambar 8.** (a) Profil adsorpsi MB pada NpMAH sebagai fungsi waktu, dan model linear dari model kinetika adsorpsi (b) Lagergren, (c) Ho, (d) Santosa-1, (e) Santosa-2, dan (f) RBS.

Linieritas ( $R^2$ ) aplikasi data variasi waktu pada model kinetika RBS juga cukup baik (0,9951). Parameter yang dihasilkan dari model RBS adalah  $k_a = 567,19$  L/mol menit,  $k_d = 1,82 \times 10^{-2}$  menit<sup>-1</sup>, dan  $q_e = 2,36 \times 10^{-5}$  mol/g (Tabel 3). Dengan perhitungan yang sama dengan  $E_s$ ,

**Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika**

diperoleh nilai  $E_{RBS} = 25,67$  kJ/mol, dimana nilai  $E_{RBS}$  ini sangat dekat dengan nilai  $E$  dari Langmuir-2 (26,31 kJ/mol). Selain itu, perbandingan nilai perhitungan  $q_e$  dari model kinetika RBS ( $2,36 \times 10^{-5}$  mol/g) dan hasil eksperimental  $q_e$  ( $2,89 \times 10^{-5}$  mol/g) pada penelitian ini memiliki nilai yang

cukup dekat. Dari hasil analisis ini, dapat disimpulkan bahwa model kinetika RBS relatif sesuai untuk menggambarkan adsorpsi MB pada NpMAH dan dapat digunakan untuk memprediksi energi adsorpsi hanya dari data kinetika.

**Tabel 3.** Parameter kinetika adsorpsi MB pada NpMAH

Parameter	Model Kinetika			
	Lagegren	Ho	Santosa	RBS
$R^2$	0,9880	0,9997	0,9930	0,9951
$k_{Lag}$ (menit <sup>-1</sup> )	0,0519	-	-	-
$q_e$ (mol/g)	$3,72 \times 10^{-5}$	$2,96 \times 10^{-5}$	-	$2,36 \times 10^{-5}$
$k_{Ho}$ (g/mol menit)	-	12688,71	-	-
$k_s$ (L/mol menit)	-	-	3254,70	-
$k_{ds}$ (menit <sup>-1</sup> )	-	-	$1,92 \times 10^{-4}$	-
$K_s$ (L/mol)	-	-	$1,70 \times 10^7$	-
$k_a$ (L/mol menit)	-	-	-	567,19
$k_d$ (menit <sup>-1</sup> )	-	-	-	$1,82 \times 10^{-2}$
$K_{RBS}$ (L/mol)	-	-	-	31180

**4. Kesimpulan**

Penyalutan nanopartikel magnetit dengan AH dari tanah gambut Hutan Geragai (NpMAH), Provinsi Jambi telah berhasil dilakukan. Keberhasilan penyalutan diidentifikasi dari karakterisasi dengan FT-IR, XRD, VSM dan TEM. Adsorpsi MB pada NpMAH terjadi secara lapis tunggal dengan kapasitas adsorpsi sebesar 56,96 mg/g dan energi adsorpsi sebesar 26,31 kJ/mol pada pH optimum 6,0. Nilai kapasitas adsorpsi NpMAH pada penelitian ini terlihat cukup besar dibandingkan dengan adsorben MB pada beberapa literature sebelumnya. Kajian kinetika adsorpsi MB pada NpMAH mengikuti model Ho (*pseudo orde kedua*) dengan  $k_{Ho}$  sebesar 12688,71 g/mol menit dan  $q_e$  sebesar  $2,96 \times 10^{-5}$  mol/g. Studi silang terhadap prediksi energi adsorpsi menggunakan model kinetika Santosa dan RBS menunjukkan bahwa model RBS memiliki nilai energi adsorpsi (25,67

kJ/mol) yang lebih dekat dengan nilai energi adsorpsi dari isoterm Langmuir (26,31 kJ/mol).

**Ucapan Terimakasih**

Terima kasih kepada Universitas Jambi yang telah memberikan dukungan finansial melalui skema Penelitian Gambut (No Kontrak: 453/UN21.18/PG/SPK/2020).

**Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika**

**Daftar Rujukan**

- [1] Hikmawati, D. I., & Haqiqi, E. R. (2019). Surface Chemical Structure and Morphological Analysis of Fallen Teak Leaves (*Tectona grandis*) Powder for Methylene Blue Adsorption. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 2(1), 42–49.
- [2] Fitriani, D., Dwita Oktiarini, L., & others. (2015). Pemanfaatan Kulit Pisang Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue. *GRADIEN: Jurnal Ilmiah MIPA*, 11(2), 1091–1095.
- [3] Sanjaya, H. (2017). Degradasi Methylene Blue Menggunakan Katalis ZnO-Peg Dengan Metode Fotosonolisis. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(02), 21–29.
- [4] Huda, T., & Yulitaningtyas, T. K. (2018). Kajian adsorpsi methylene blue menggunakan selulosa dari alang-alang. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 1(01), 9–19.
- [5] Weng, C.-H., & Huang, V. (2015). Application of Fe<sub>0</sub> aggregate in ultrasound enhanced advanced Fenton process for decolorization of methylene blue. *Journal of industrial and Engineering Chemistry*, 28, 153–160.
- [6] Adeleke, J. T., Theivasanthi, T., Thiruppathi, M., Swaminathan, M., Akomolafe, T., & Alabi, A. B. (2018). Photocatalytic degradation of methylene blue by ZnO/NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Applied surface science*, 455, 195–200.
- [7] Widyaningsih, S., Dwiasi, D. W., & Hidayati, D. (2014). Penurunan konsentrasi zat warna dalam limbah batik menggunakan membran dari *Sargassum* sp. *Molekul*, 9(2), 166–174.
- [8] Novianti, D. L., & Tuhu, A. (2014). Penurunan TSS Dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektro Koagulasi. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1), 37–44.
- [9] Ngatijo, N., Basuki, R., Rusdiarso, B., & Nuryono, N. (2020). Sorption-desorption profile of Au (III) onto silica modified quaternary amines (SMQA) in gold mining effluent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 103747. doi: 10.1016/j.jece.2020.103747
- [10] Ngatijo, N., Basuki, R., Nuryono, N., & Rusdiarso, B. (2019). Comparison of Au(III) Sorption on Amine-Modified Silica (AMS) and Quaternary Amine-Modified Silica (QAMS): A Thermodynamic and Kinetics Study. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(2), 337–346. doi: 10.22146/ijc.33758
- [11] Santosa, S. J., Siswanta, D., & Sudiono, S. (2014). *Dekontaminasi Ion Logam Dengan Biosarben Berbasis Asam Humat, Kitin, dan Kitosan*. UGM PRESS.
- [12] Barot, N. S., & Bagla, H. K. (2009). Extraction of humic acid from biological matrix - dry cow dung powder. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 2(4), 217–221. doi: 10.1080/17518250903334290
- [13] Rusdiarso, B., & Basuki, R. (2020). Stability Improvement of Humic Acid as Sorbent through Magnetite and Chitin Modification. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 23(5), 152–159. doi: 10.14710/jksa.23.5.152-159
- [14] Santosa, S. J., Siswanta, D., Sudiono, S., & Utarianingrum, R. (2008). Chitin-humic acid hybrid as adsorbent for Cr(III) in effluent of tannery wastewater treatment. *Applied Surface Science*, 254(23), 7846–7850. doi: 10.1016/j.apsusc.2008.02.102
- [15] Lu, S., Liu, W., Wang, Y., Zhang, Y., Li, P., Jiang, D., ... Li, Y. (2019). An adsorbent based on humic acid and carboxymethyl cellulose for efficient dye removal from aqueous solution. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 790–797. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.095
- [16] Luo, W. J., Gao, Q., Wu, X. L., & Zhou, C. G. (2014). Removal of Cationic Dye (Methylene Blue) from Aqueous Solution by Humic Acid-Modified Expanded Perlite: Experiment and Theory. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 49(15), 2400–2411. doi: 10.1080/01496395.2014.920395
- [17] Chen, Q., Yin, D., Zhu, S., & Hu, X. (2012). Adsorption of cadmium(II) on humic acid coated titanium dioxide. *Journal of Colloid and Interface Science*, 367(1), 241–248. doi: 10.1016/j.jcis.2011.10.005
- [18] Zhang, X., Lei, Q., Wang, X., Liang, J., Chen, C., Luo, H., ... Jiang, J. (2019). Removal of Cr(III) Using Humic Acid-Modified Attapulgite. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 145(6), 1–9. doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001541
- [19] Koesnarpadi, S., Santosa, S. J., Siswanta, D., & Rusdiarso, B. (2017). Humic Acid Coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticle for Phenol Sorption. *Indonesian Journal of Chemistry*, 17(2), 274–283. doi: <https://doi.org/10.22146/ijc.22545>

**Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika**

- 
- [20] Basuki, R., Santosa, S. J., & Rusdiarso, B. (2017). The novel kinetics expression of Cadmium (II) removal using green adsorbent horse dung humic acid (Hd-Ha). In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1823). doi: 10.1063/1.4978074
- [21] Kustomo, K., & Santosa, S. J. (2019). Studi kinetika dan adsorpsi zat warna kation (metilen biru) dan anion (metil orange) pada magnetit terlapis asam humat. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 1(2), 64–69.
- [22] Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surface of glass, mica, and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, 40(9), 1361–1403. doi: 10.1021/ja02242a004
- [23] Basuki, R., Yusnaidar, Y., & Rusdiarso, B. (2018). Different style of Langmuir isotherm model of non-competitive sorption Zn(II) and Cd(II) onto horse dung humic acid (HD-HA). *AIP Conference Proceedings*, 2026, 020009. doi: 10.1063/1.5064969
- [24] Freundlich, H. (1906). Über die Adsorption in Lösungen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 57U(1), 385–470. doi: 10.1515/zpch-1907-5723
- [25] Dubinin, M. M., & Radushkevich, L. V. (1947). The equation of the characteristic curve of the activated charcoal USSR. *Proceedings of the Academy of Sciences, Physical Chemistry Section*, 55, 331–337.
- [26] Tempkin, M. I., & Pyzhev, V. (1940). Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalyst. *Acta Phys. Chim. USSR*, 12(1), 327–356.
- [27] Lagergren, S. (1898). Kungliga svenska vetenskapsakademiens. *Handlingar*, 24(4), 1–39.
- [28] Ho, Y. S., McKay, G., Wase, D. A. J., & Forster, C. F. (2000). Study of the sorption of divalent metal ions on to peat. *Adsorption Science and Technology*, 18(7), 639–650. doi: 10.1260/0263617001493693
- [29] Santosa, S. J. (2014). Sorption kinetics of Cd(II) species on humic acid-based sorbent. *Clean - Soil, Air, Water*, 42(6), 760–766. doi: 10.1002/clen.201200684
- [30] Rusdiarso, B., Basuki, R., & Santosa, S. J. (2016). Evaluation of Lagergren kinetics equation by using novel kinetics expression of sorption of Zn 2+ onto horse dung humic acid (HD-HA). *Indonesian Journal of Chemistry*, 16(3), 338–346. doi: 10.22146/ijc.1158
- [31] Basuki, R., Ngatijo, Santosa, S. J., & Rusdiarso, B. (2018). Comparison the new kinetics equation of noncompetitive sorption Cd(II) and Zn(II) onto green sorbent horse dung humic acid (HD-HA). *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13(3), 475–488. doi: 10.9767/bcrec.13.3.1774.475-488
- [32] Stevenson, F. J. (1994). *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York: John Wiley & Sons.
- [33] Basuki, R., Santosa, S. J., & Rusdiarso, B. (2017). Ekstraksi adsorben ramah lingkungan dari matriks biologi : asam humat tinja kuda. *Chempublish Journal*, 2(1), 13–25.
- [34] Liu, J. F., Zhao, Z. S., & Jiang, G. Bin. (2008). Coating Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticles with humic acid for high efficient removal of heavy metals in water. *Environmental Science and Technology*, 42(18), 6949–6954. doi: 10.1021/es800924c
- [35] Illés, E., & Tombácz, E. (2003). The role of variable surface charge and surface complexation in the adsorption of humic acid on magnetite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 230(1–3), 99–109. doi: 10.1016/j.colsurfa.2003.09.017
- [36] El-Sayed, G. O. (2011). Removal of methylene blue and crystal violet from aqueous solutions by palm kernel fiber. *Desalination*, 272(1–3), 225–232. doi: 10.1016/j.desal.2011.01.025
- [37] Santosa, S. J., Kunarti, E. S., Aprilita, N. H., Wulandari, B., & Bawani, D. N. (2019). Sorption mechanism and performance of peat soil humin for Methylene blue and p-Nitrophenol. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(1), 198–210. doi: 10.22146/ijc.33635
- [38] Zhang, X., Zhang, P., Wu, Z., Zhang, L., Zeng, G., & Zhou, C. (2013). Adsorption of methylene blue onto humic acid-coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 435, 85–90. doi: 10.1016/j.colsurfa.2012.12.056
- [39] Siyal, A. A., Shamsuddin, M. R., Rabat, N. E., Zulfiqar, M., Man, Z., & Low, A. (2019). Fly ash based geopolymer for the adsorption of anionic surfactant from aqueous solution. *Journal of Cleaner Production*, 229, 232–243. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.384
- [40] Parvin, S., Rahman, M. W., Saha, I., Alam, M. J., & Khan, M. M. R. (2019). Coconut tree bark as a potential low-cost adsorbent for the removal of methylene blue from wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 146, 385–392. doi: 10.5004/dwt.2019.23598
-

**Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika**

---

- [41] Meili, L., Lins, P. V. S., Costa, M. T., Almeida, R. L., Abud, A. K. S., Soletti, J. I., ... Erto, A. (2019). Adsorption of methylene blue on agroindustrial wastes: Experimental investigation and phenomenological modelling. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 141, 60–71. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2018.07.011
- [42] Labiebah, G., Gunawan, G., Djunaidi, M. C., Haris, A., & Widodo, D. S. (n.d.). Removal of Methylene Blue Using Used Paper Powder. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(1), 23–28.
- [43] Rangabhashiyam, S., Lata, S., & Balasubramanian, P. (2018). Biosorption characteristics of methylene blue and malachite green from simulated wastewater onto Carica papaya wood biosorbent. *Surfaces and Interfaces*, 10, 197–215.
- [44] Uddin, M. K., & Nasar, A. (2020). Walnut shell powder as a low-cost adsorbent for methylene blue dye: isotherm, kinetics, thermodynamic, desorption and response surface methodology examinations. *Scientific Reports*, 10(1), 1–13. doi: 10.1038/s41598-020-64745-3
- [45] Mouni, L., Belkhiri, L., Bollinger, J.-C., Bouzaza, A., Assadi, A., Tirri, A., ... Remini, H. (2018). Removal of Methylene Blue from aqueous solutions by adsorption on Kaolin: Kinetic and equilibrium studies. *Applied Clay Science*, 153, 38–45. doi: 10.1016/j.clay.2017.11.034
- [46] Chen, R. P., Zhang, Y. L., Wang, X. Y., Zhu, C. Y., Ma, A. J., & Jiang, W. M. (2015). Removal of methylene blue from aqueous solution using humic-acid coated magnetic nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*, 55(2), 539–548. doi: 10.1080/19443994.2014.916233



**Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika**

**Nomenklatur**

$A_T$	Parameter Temkin (L/g)
$b$	Kapasitas adsorpsi lapis tunggal Langmuir (mol/g atau mg/g)
$B$	Kapasitas multilapis Freundlich (mol/g atau mg/g)
$B_D$	Energi bebas DR (mol <sup>2</sup> /J <sup>2</sup> )
$b_T$	Parameter energi adsorpsi Temkin (J/mol)
$C_0$	Konsentrasi awal MB (mol/L)
$C_b$	Konsentrasi MB teradsorpsi dalam volume tertentu [ $C_b = bw/v$ ] (mol/L)
$C_e$	Konsentrasi MB pada kesetimbangan (mol/L)
DR	Dubinin-Radushkevich
$\varepsilon$	Potensial Polanyi [ $\varepsilon = RT \ln (1 + 1/C_e)$ ] (J <sup>2</sup> /mol <sup>2</sup> )
$E_D$	Energi adsorpsi isoterm DR [ $E_D = (2B_D)^{-1/2}$ ] (kJ/mol)
$E_L$	Energi adsorpsi isoterm Langmuir [ $E_L = -RT \ln K_L$ ] (kJ/mol)
$E_{RBS}$	Energi adsorpsi kinetika RBS [ $E_{RBS} = -RT \ln K_{RBS}$ ] (kJ/mol)
$E_S$	Energi adsorpsi kinetika Santosa [ $E_S = -RT \ln K_S$ ] (kJ/mol)
$k_{ads}$	Tetapan laju adsorpsi secara umum
$k_{des}$	Tetapan laju desorpsi secara umum
$k_{dS}$	Kontanta laju desorpsi kinetika Santosa [ $k_{dS}$ didapat dari $k_S C_0 + k_{dS}$ yang merupakan <i>slope</i> dari <i>plot</i> $\ln (1 - \{q_t/q_e\})$ lawan $t$ ] (menit <sup>-1</sup> )
$k_d$	Konstanta laju desorpsi kinetika RBS [ $k_d = k_a(C_0 - x_e)(C_b - x_e)/x_e$ ] (menit <sup>-1</sup> )
$k_{Ho}$	Konstanta laju adsorpsi kinetika Ho (L/mol menit)
$k_{Lag}$	Konstanta laju adsorpsi kinetika Lagergren (menit <sup>-1</sup> )
$K_L$	Konstanta kesetimbangan Langmuir (L/mol)
$k_{RBS}$	Konstanta laju adsorpsi kinetika RBS (L/mol menit)
$K_{RBS}$	Tetapan kesetimbangan kinetika RBS [ $K_{RBS} = k_{RBS}/k_d$ ] (L/mol)
$k_S$	Konstanta laju adsorpsi kinetika Santosa (L/mol menit)
$K_S$	Tetapan kesetimbangan kinetika Santosa [ $K_S = k_S/k_{dS}$ ] (L/mol)
MB	<i>Methylene Blue</i>
$m_r$	Berat molekul adsorbat (MB) (g/mol)
$n$	parameter heterogenitas permukaan adsorben (tanpa satuan)
$T$	Temperatur mutlak (K)
$q_D$	Konstanta kapasitas isoterm DR (mol/g)
$q_e$	Banyaknya MB yang teradsorpsi pada kesetimbangan (mol/g)
$q_t$	Banyaknya MB yang teradsorpsi pada waktu $t$ (mol/g)
$t$	Waktu (menit)
R	Tetapan gas ideal (8,314 J/mol K)
$R^2$	Koefisien korelasi/Linearitas (0 – 1)
RBS	Rusdiarso-Basuki-Santosa
$v$	Volume medium adsorpsi (L)
$w$	Berat adsorben (g)
$x$	Konsentrasi MB teradsorpsi setelah waktu $t$ (mol/L)
$x_e$	Konsentrasi MB teradsorpsi pada kesetimbangan (mol/L)
$X$	Hasil dari $w/v m_r$ persamaan Santosa (g/L)