



Adsorpsi Zat Warna Metil Merah menggunakan *Hydrochar* dari Tempurung Kelapa

Yantus A.B Neolaka^{1,*}, Arvinda C. Lalang¹, Stefania Yani Seran¹

¹Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nusa Cendana, Kupang-85001, Nusa Tenggara Timur, Indonesia

*e-mail korespondensi: yantusneolakaunc@gmail.com

Info Artikel:

Dikirim:

01 Nopember 2022

Revisi:

15 Nopember 2022

Diterima:

28 Nopember 2022

Kata Kunci:

Hydrochar, adsorpsi, metil merah

Abstrak- Telah dilakukan penelitian mengenai studi kinetika, isotherm dan termodinamika adsorpsi zat warna metil merah menggunakan *Hydrochar* berbasis tempurung kelapa. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui mekanisme adsorpsi zat warna metil merah menggunakan adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa teraktivasi pelarut HCl di tinjau dari modeling kinetika, isotherm, dan termodinamika adsorpsi. Kondisi optimum adsorpsi zat warna metil merah menggunakan *Hydrochar* tempurung kelapa dipelajari dengan menggunakan beberapa parameter seperti inisial konsentrasi awal, massa adsorben, pH adsorpsi, waktu kontak, temperatur, dan selanjutnya dilakukan pengkajian terhadap kinetika adsorpsi, isotherm adsorpsi, dan termodinamika adsorpsi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kondisi optimum adsorpsi zat warna metil merah menggunakan *Hydrochar* tempurung kelapa pada parameter inisial konsentrasi awal 30 mg/L, massa adsorben 1 g, pH adsorpsi 4, waktu kontak 10 menit dan temperatur 40°C (313 K). Kinetika adsorpsi zat warna Metil Merah pada adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa mengikuti model kinetika orde kedua semu dengan nilai $R^2 = 0,9812$. Model isotherm adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi zat warna metil merah menggunakan adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa teraktivasi pelarut yaitu model Temkin dengan nilai $R^2 = 0,9553$. Studi termodinamika adsorpsi menggunakan beberapa fungsi seperti $\Delta H^\circ = (-8, 201 \text{ kJ/mol})$, $\Delta S^\circ = (0,034 \text{ kJ/mol})$, $\Delta G^\circ (298 \text{ K}) = -18, 492$, $\Delta G^\circ (303 \text{ K}) = -18, 665$, $\Delta G^\circ (308 \text{ K}) = -18, 837$, $\Delta G^\circ (313 \text{ K}) = -19, 010$. Berdasarkan beberapa fungsi menunjukkan bahwa proses adsorpsi zat warna metil merah menggunakan *Hydrochar* tempurung kelapa berlangsung spontan dan eksotermik pada suhu pada suhu 313 K.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi juga menyebabkan pertumbuhan industri, termasuk produksi tekstil. Peningkatan produksi tekstil merupakan salah satu kontributor utama dampak lingkungan yang negatif. Pengolahan bahan mentah menjadi produk setengah jadi atau produk jadi menimbulkan limbah cair yang mencemari lingkungan [1].

Contoh zat warna yang banyak digunakan dalam industri tekstil adalah methylene red [2]. Metil Merah dengan rumus molekul $C_{15}H_{15}N_3O_2$ dikenal juga dengan C.I Acid Red. 2 yang memiliki sistem kromofor azo yang melekat pada gugus aromatik. Pewarna metil merah dapat menyebabkan iritasi kulit, mata, dan gastrointestinal jika terhirup atau tertelan, dan bersifat mutagenik, mitosis, dan karsinogenik [3]. Metil merah sangat beracun bagi organisme hidup karena sangat sulit terurai dalam limbah cair [4].

Oleh karena itu, penghilangan pewarna dari limbah menjadi penting. Berbagai metode telah digunakan untuk menghilangkan zat warna, termasuk oksidasi kimia dengan ozon, UV dan H_2O_2 , bioremediasi anaerobik, dan adsorpsi. Diantara metode tersebut, metode adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling efektif untuk menghilangkan zat warna dari air limbah [5].

Peristiwa adsorpsi adalah interaksi antara dua fase yang menyebabkan akumulasi partikel yang teradsorpsi pada permukaan [6]. Adsorpsi adalah proses yang terjadi ketika fluida (cair atau gas) melekat pada padatan, akhirnya membentuk film (lapisan tipis) pada permukaan padatan

[7]. Metode menghilangkan pewarna ini sangat tergantung pada jenis sorben yang digunakan. Pewarna dihilangkan dengan berbagai adsorben seperti silika, kitosan, tanah penuh, dan gambut. Salah satu jenis adsorben yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi zat warna adalah karbon aktif [8].

Karbon aktif merupakan bahan berpori yang mengandung 85-95% karbon dan memiliki luas permukaan yang besar tersusun dari unsur karbon bebas. Setiap unsur karbon bebas disebabkan oleh luas permukaannya yang besar, struktur pori (struktur mikro, meso-, dan makro), dan tingkat ikatan kovalen. Karena reaktivitas permukaannya yang tinggi, karbon aktif dapat digunakan untuk membersihkan, menghilangkan bau, dan menghilangkan warna cairan dan uap. Karbon aktif adalah karbon dengan kemampuan yang sangat baik untuk menyerap anion, kation dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik dalam bentuk larutan maupun gas. Beberapa bahan yang banyak mengandung karbon, terutama yang berpori dapat digunakan untuk membuat karbon aktif. Pembuatan karbon aktif menggunakan fisika atau kimia untuk mengaktifkan arang, dilakukan dengan proses [9]. Adsorpsi pewarna menggunakan adsorben yang murah dan tersedia seperti tempurung kelapa.

Pohon palem merupakan tumbuhan yang tersebar hampir merata di seluruh nusantara. Pohon kelapa juga dikenal sebagai tanaman serba guna karena dari akar hingga daun kelapa sama bermanfaatnya dengan buahnya. Buah merupakan komponen utama kelapa dan berfungsi sebagai bahan baku industri. Buah kelapa terdiri dari beberapa komponen seperti tempurung kelapa, tempurung kelapa, daging kelapa, dan air kelapa. Dahulu tempurung kelapa hanya digunakan sebagai bahan bakar, namun saat ini menjadi bahan baku industri yang penting. Hasil pengolahan kerang adalah arang, arang aktif, tepung kerang dan kerajinan tangan. Karbon aktif tempurung kelapa sangat kompetitif karena kualitasnya yang tinggi dan diklasifikasikan sebagai sumber daya terbarukan. Selain penggunaannya dalam industri farmasi, pertambangan, dan limbah, karbon aktif juga digunakan dalam filter dan pembersih ruangan untuk menyerap polutan dan bau dalam ruangan [10].

Tempurung kelapa sebagian besar dianggap sebagai produk limbah industri dari pengolahan kelapa, ketersediaannya yang melimpah dianggap sebagai masalah lingkungan, tetapi terbarukan dan murah, dapat diolah menjadi produk bernilai ekonomi tinggi, seperti karbon aktif [11]. Cangkang ini mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin sehingga sangat cocok sebagai sumber karbon aktif [12]. Batok kelapa yang digunakan sebagai arang aktif kemudian mengalami proses hidrotermal untuk mendapatkan *Hydrochar* berbahan dasar tempurung kelapa. *Hydrochar* adalah karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi hidrotermal pada suhu dan tekanan tertentu di dalam reaktor. Biasanya, suhu karbonisasi hidrotermal untuk memproduksi *Hydrochar* adalah sekitar 150 sampai 250°C. *Hydrochar* dicirikan oleh kandungan karbon yang tinggi, pH yang rendah dan kapasitas adsorpsi yang tinggi [13]. Dalam paper ini tempurung kelapa dijadikan bahan baku preparasi *Hydrochar* dan kemudian diaktivasi dengan HCl serta diaplikasikan untuk mengadsorpsi metil merah dari dalam larutan berair. Beberapa parameter adsorpsi seperti inisial konsentrasi, massa adsorben, waktu kontak, pH dan suhu akan dilaporkan. Selanjutnya modeling kinetika dan termodinamika adsorpsi juga akan dilaporkan dalam paper ini.

METODE PENELITIAN

Bahan dan reagen penelitian

Bahan yang digunakan adalah *Hydrochar* berbasis tempurung kelapa, HCl 37%, aquades, dan metil merah.

Sintesis dan aktivasi *Hydrochar* dari tempurung kelapa

Sampel tempurung kelapa dicuci bersih dan dikeringkan dibawah sinar matahari selama 4-5 hari. Selanjutnya dihaluskan menggunakan mortal. Serbuk tempurung Kelapa diayak menggunakan ayakan bertingkat 100 mesh. Ditimbang 5 gram serbuk tempurung kelapa dan didispersikan dalam 45 mL aquades, lalu ditempatkan dalam reaktor autoclave baja tahan karat

berlapis teflon 50 mL. Reaktor kemudian disegel, dipanaskan dengan suhu 200°C, selama 15 jam. Reaksi hidrotermal dijalankan dibawah tekanan jenuh air 0,1 mPa. Setelah reaksi, teflon autoklave didinginkan secara bertahap hingga suhu kamar dan produk padat dicuci dengan aquades lalu disaring dengan menggunakan kertas saring whatman ukuran 41 dan dikeringkan pada suhu 80°C selama 24 jam [14]. Selain itu, 25 g *Hydrochar* dicampur dengan 100 ml larutan HCl 0,6 M dan diaduk dengan magnetic stirrer selama 1 jam. Larutan kemudian disaring dengan metode filtrasi vakum menggunakan kertas Whatman ukuran 41 dan corong Buchner. *Hydrochar* yang telah disaring dan dicuci dengan agitasi dalam air suling memiliki pH mendekati netral bila diukur dengan pH meter. Kemudian saring kembali dan keringkan padatan yang dihasilkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 4 jam.

Optimasi konsentrasi awal Metil Merah

Disiapkan enam buah gelas kimia 250 mL yang masing masingnya diisi dengan variasi konsentrasi larutan Metil Merah 10 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L, 40 mg/L, 50 mg/L, dan 60 mg/L sebanyak 100 mL. Selanjutnya ditambahkan *Hydrochar* tempurung kelapa sebanyak 0,5 g pada pH 6. Masing-masing larutan selanjutnya diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 30 menit pada suhu kamar setelah diaduk, selanjutnya didiamkan selama 30 menit. Larutan metil merah lalu di saring dengan menggunakan kertas saring whatman ukuran 41. Filtrat yang didapat selanjutnya diukur absorbansi maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 509 nm.

Optimasi Massa adsorben *Hydrochar*

Hydrochar berbasis tempurung kelapa pada berbagai variasi massa yaitu 0,1 g, 0,3 g, 0,5 g, 0,9 g, 1 g, 1,3 g, dan 1,5 g dimasukkan dalam gelas kimia yang berisi 100 mL larutan Metil Merah 30 mg/L. Larutan selanjutnya diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit pada suhu kamar. Didiamkan selama 30 menit. Larutan metil merah lalu di saring dengan menggunakan kertas saring whatman ukuran 41. Filtrat larutan metil merah selanjutnya diukur absorbansi maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 509 nm dilakukan secara duplo.

Optimasi pH

Penetapan pH optimum adsorpsi hidrochar berbahan dasar tempurung kelapa terhadap zat warna metil merah dilakukan pada lima buah gelas kimia. Masing-masing diisi dengan massa optimal sebelumnya dan ditempatkan di setiap gelas kimia berisi 100 mL larutan metil merah 30 mg/L dengan variasi pH 2, pH 3, pH 4, pH 6, dan pH 8. Kemudian pH larutan diukur dengan pH meter. PH larutan dijaga konstan dengan menambahkan buffer pH sesuai dengan pH masing-masing larutan. Larutan kemudian diaduk dengan magnetic stirrer selama 30 menit pada suhu kamar. Diamkan selama 30 menit. Larutan metil merah kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman ukuran 41. Adsorpsi filtrat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 509 nm. PH optimum adalah pH di mana adsorpsi metil merah maksimal.

Optimasi Waktu Kontak

Hydrochar berbahan dasar tempurung kelapa yang dicampur dengan 100ml 30mg/L metil merah memiliki massa optimum dan konstanta pH optimum dari 1 g *hydrochar* tempurung kelapa. Larutan kemudian diaduk pada suhu kamar selama 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 menit. Diamkan selama 30 menit. Campuran tersebut kemudian disaring melalui kertas saring Whatman ukuran 41 hingga diperoleh filtrat. Adsorpsi filtrat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 509 nm. Waktu kontak optimal adalah waktu kontak yang memberikan adsorpsi metil merah tertinggi.

Optimasi Temperatur

Larutan metil merah dibuat dengan konsentrasi optimum dan pH optimum sebelumnya kemudian ditambahkan dengan massa optimum diisi ke dalam gelas kimia 250 mL sebanyak 100 mL. Dengan variasi suhu yaitu, 25°C, 30°C, 35°C dan 40°C, selanjutnya diaduk selama waktu optimum. Didiamkan selama 30 menit. Setelah itu, campuran disaring dengan kertas whatman ukuran 41 sehingga didapatkan filtratnya. Filtrat diukur adsorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 509 nm.

Modeling Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi dipelajari dengan sistem batch untuk variasi waktu kontak 5 menit, 6 menit, 7 menit, 8 menit, 10 menit. Sebanyak 100 mL larutan metil merah dengan konsentrasi optimum 30 mg/L dimasukkan ke dalam masing-masing lima gelas beaker 250 mL yang berbeda. Kondisi pH diatur pada pH optimum, dan ditambahkan dengan dengan massa optimum adsorben *Hydrochar* berbasis tempurung kelapa. Larutan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama variasi waktu kontak dan dikontrol pada suhu optimum. Selanjutnya dilakukan proses pemisahan adsorben menggunakan kertas saring whatman ukuran 41. Filtrate yang dihasilkan untuk masing-masing variasi waktu ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Data hasil analisis spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk menentukan pemodelan kinetika adsorpsi Metil Merah pada adsorben tulang sapi. Model kinetika yang digunakan yaitu model kinetika orde pertama semu, model kinetika orde kedua semu, model kinetika Bangham dan model kinetika Elovich.

Modeling Isotherm Adsorpsi

Isotherm adsorpsi dipelajari dengan batch system pada variasi konsentrasi metil merah 10 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L. Sebanyak 100 mL larutan metil merah pada variasi konsentrasi tertentu dimasukkan ke dalam masing-masing tiga gelas beaker 250 mL yang berbeda. Kondisi pH diatur pada pH optimum, dan ditambahkan dengan dengan adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa pada dosis terbaik (optimum). Larutan diaduk secara gradualisasi selama waktu (optimum) dan dikontrol pada suhu optimum. Selanjutnya dilakukan proses pemisahan adsorben menggunakan kertas saring whatman ukuran 41. Konsentrasi larutan metil merah dalam filtrat untuk masing-masing variasi konsentrasi ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Data hasil analisis dengan spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk pemodelan isotherm adsorpsi Metil Merah pada adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa. Model isotherm adsorpsi yang digunakan yaitu model isotherm Langmuir, model isotherm Freundlich, dan model isotherm Temkin.

Modeling Termodinamika Adsorpsi

Termodinamika adsorpsi dipelajari dengan batch system pada variasi konsentrasi metil merah 10 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L. Sebanyak 100 mL larutan yang mengandung metil merah pada variasi konsentrasi tertentu dimasukkan ke dalam masing-masing lima botol berpenutup karet yang berbeda. Kondisi pH diatur pada pH optimum, dan ditambahkan dengan dengan adsorben *Hydrochar* berbasis tempurung kelapa pada dosis terbaik (optimum). Larutan diaduk selama waktu optimum dan dikontrol pada suhu 313 K. Selanjutnya dilakukan proses pemisahan adsorben menggunakan kertas saring whatman ukuran 41. Konsentrasi metil merah dalam filtrat untuk masing-masing variasi waktu ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Data hasil analisis dengan spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk menghitung nilai konstanta kesetimbangan termodinamika (K_d) berdasarkan pemodelan isotherm adsorpsi metil merah pada adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa yang paling cocok. Proses pengulangan eksperimen dengan menggunakan prosedur yang sama untuk menentukan nilai K_d pada variasi suhu 293 K, 303 K, dan 313 K [15]. Nilai K_d yang diperoleh pada berbagai variasi suhu tersebut akan dihubungkan dengan suhu dalam sebuah grafik berdasarkan plot $\ln K_d$ Vs $1/T$ untuk

menentukan nilai ΔH^0 dan ΔS^0 berdasarkan nilai slope dan intercept sehingga nilai ΔG^0 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan.

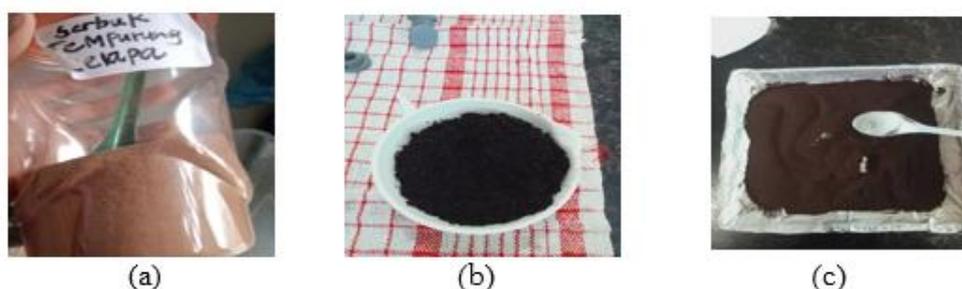
HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi dan Sintesis *Hydrochar* dari tempurung kelapa

Tahap awal dalam penelitian ini adalah preparasi sampel. Tujuan dari preparasi sampel adalah untuk meminimalkan adanya pengotor yang menempel pada tempurung kelapa sehingga tidak mengganggu proses analisis. Limbah yang berupa tempurung kelapa dicuci menggunakan air bersih dan dikeringkan dibawah sinar matahari sampai kering \pm 4-5 hari. Tujuan pengeringan tempurung kelapa dibawah sinar matahari yaitu untuk menghilangkan kadar air sehingga proses penghalusan lebih mudah dilakukan. Selanjutnya limbah tempurung kelapa yang sudah kering dihaluskan dengan ukuran 100 mesh, Penghalusan dan pengayakan tempurung kelapa ini bertujuan untuk mendapatkan ukuran sampel yang lebih kecil dan homogen sehingga luas permukaan sampel tempurung kelapa akan bertambah besar. Ukuran sampel tempurung kelapa yang kecil menyebabkan luas permukaan bidang sentuh dari sampel tempurung kelapa dengan pelarut menjadi lebih efektif.

Hasil ayakan sampel tempurung kelapa kemudian di timbang sebanyak 5gram serbuk tempurung kelapa dan didispersikan dengan 45mL aquades, kemudian sampel distirer selama 30 menit dengan tujuan untuk menghomogenkan limbah tempurung kelapa, lalu sampel ditempatkan dalam reaktor autoclaf baja tahan karat 50 mL, reaktor kemudian disegel dan dipanaskan dengan suhu 200°C selama 15 jam dan tekanan 0,1 MPa. Suhu yang digunakan yaitu 200°C karena suhu yang digunakan untuk membuat *Hydrochar* berkisar antara 180-250°C [16]. Pada suhu 200°C kandungan air pada serbuk tempurung kelapa akan menghilang. Proses hidrotermal sampel tempurung kelapa ini membutuhkan waktu selama 15 jam, hal ini disebabkan karena semakin lama proses hidtrotermal dengan dengan suhu yang tinggi akan semakin banyak pula pori-pori yang terbentuk pada permukaan *Hydrochar* sehingga permukaanya menjadi lebih luas, sedangkan untuk tekanannya disesuaikan dengan tekanan pada oven vacum yang digunakan.

Hasil proses hidrotermal yaitu produk padat berupa *Hydrochar* lalu dicuci dengan aquades dan disaring menggunakan kertas wahtman ukuran 41. Proses penyaringan ini bertujuan agar memisahkan filtrat (aquades) dan residu (*Hydrochar* tempurung kelapa) pada proses penyucian tersebut. Selanjtunya residu berupa *Hydrochar* dikeringkan pada suhu 80°C selama 4 jam. Tujuan dari pengovenan ini adalah untuk mendapatkan *Hydrochar* yang bebas air.



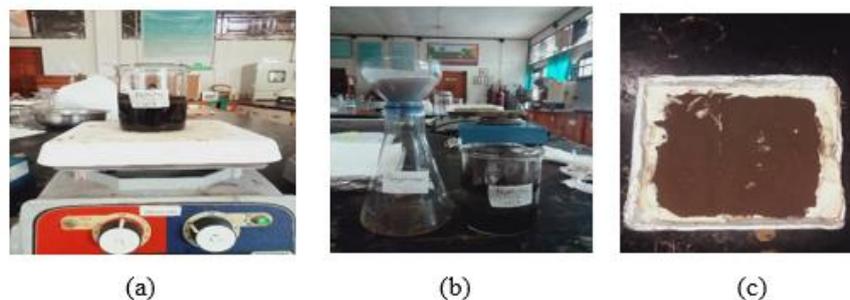
Gambar 1. (a) Serbuk tempurung kelapa (b) *Hydrochar* hasil proses hidrotermal (c) *Hydrochar* tempurung kelapa yang telah dipanaskan.

Aktivasi *Hydrochar* Tempurung Kelapa Menggunakan Pelarut HCl

Aktivasi bertujuan untuk memperbesar pori-pori sehingga daya penyerapan adsorbat menjadi lebih maksimal. Aktivasi yang terjadi mengalami perubahan sifat yaitu luas permukaanya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi [17].

Hydrochar tempurung kelapa sebanyak 25 gram kemudian diaktivasi dengan 100 mL larutan HCl 0,6 M. Pada proses pengaktivasian digunakan aktivator HCl karena HCl berperan sebagai aktivator yang bersifat higroskopis, sehingga dapat mengurangi kadar air pada arang aktif

yang dihasilkan. Penggunaan HCl juga berfungsi untuk menghilangkan senyawa-senyawa pengotor yang kemungkinan masih terikat pada adsorben [18]. Larutan tersebut diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam dengan tujuan agar *Hydrochar* dan larutan HCl tersebut tercampur merata. Larutan kemudian disaring menggunakan proses filtrasi vakum dengan kertas whatman ukuran 41 dan corong buchner. Tujuan penggunaan filtrasi vacuum agar menjaga partikel tetap seragam dalam ukuran. Setelah itu, *Hydrochar* dicuci lagi menggunakan aquades sambil diaduk dengan pH mendekati netral saat diukur dengan pH meter. Tujuan pencucian untuk menetralkan *Hydrochar* setelah proses aktivasi. Selanjutnya disaring lagi menggunakan kertas whatman ukuran 41 dan hasil padatnya dikeringkan dalam oven 105°C selama 4 jam agar *Hydrochar* menjadi bebas air.



Gambar 2. (a) Aktivasi *Hydrochar* menggunakan HCl (b) Proses penyaringan aktivasi (c) Hasil *Hydrochar* tempurung kelapa yang di aktivasi dengan pelarut HCl.

Optimasi Parameter Adsorpsi Zat Warna Metil Merah

Pengkajian terhadap parameter isotherm, kinetika dan termodinamika adsorpsi, maka terlebih dahulu dilakukan optimasi beberapa parameter yang mempengaruhi proses adsorpsi seperti inisial konsentrasi, pH, massa adsorben, waktu kontak dan temperatur. Optimasi beberapa parameter tersebut dilakukan dengan menggunakan larutan zat warna metil merah pada variasi konsentrasi tertentu. Sisa larutan zat warna metil merah dalam larutan yang tidak teradsorpsi dilakukan kuantifikasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis berdasarkan prosedur analisis menggunakan metode *Bacth*. Hasil data dari optimasi parameter konsentrasi pada nilai optimum terdapat pada konsentrasi 30 mg/L, massa optimum 1 gram, dengan pH optimum pada pH 4, dan waktu kontak 10 menit dan temperatur pada suhu 40°C (313 K).

Modeling Kinetika Adsorpsi

Studi kinetika dilakukan secara eksperimen dengan mencari jumlah adsorpsi zat warna metil merah yang teradsorpsi pada adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa berdasarkan pengukuran optimasi waktu kontak. Pengukuran Optimasi waktu kontak yang diperoleh dari variasi 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, 60 menit, 70 menit, 80 menit dan 90 menit terdapat nilai optimum pada waktu 10 menit. Optimum waktu kontak dengan kesetimbangan 10 menit maka dilakukan dengan variasi waktu 2, 4, 6, 8, dan 10 menit untuk mengetahui perbedaan hingga mencapai waktu kontak optimum untuk mengukur kinetika adsorpsinya. Kinetika adsorpsi diperlukan untuk memahami mekanisme adsorpsi zat warna metil merah pada adsorben yang digunakan. Pelaksanaan eksperimen untuk mempelajari kinetika adsorpsi dilakukan pada kondisi optimum dengan pH larutan 4, massa adsorben yang digunakan 1 gram dan suhu 40°C. Data adsorpsi zat warna metil pada variasi waktu yang digunakan dianalisis dengan menggunakan model kinetika orde pertama semu, model kinetika orde kedua semu, model kinetika Bangham dan model kinetika Elovich. Model kinetika orde pertama semu dipakai untuk mempelajari mekanisme adsorpsi dengan asumsi bahwa laju adsorpsi dikontrol melalui adsorpsi kimia, yang mencakup pembagian dan transfer elektron antara zat warna metil merah dan gugus fungsi pada adsorben.

Tabel 1. Model matematika kinetika adsorpsi

Model kinetika	Bentuk Linear	Pustaka
Kinetika orde satu semu	$\log(q_e - q_t) = -k_1 \cdot t + \log q_e$	[19]
Kinetika orde dua semu	$\frac{qt}{q_e} + \ln(q_e - qt) = \ln q_e - k_2 \cdot t$	[19]
Bangham	$\log\left(\log \frac{C_0}{C_0 - qt \cdot m}\right) = \log\left(\frac{k_0 \cdot m}{2.303 \cdot V}\right) + \alpha \cdot \log t$	[19]
Elovich	$qt = \frac{1}{\beta} \cdot \ln \beta \cdot \alpha + \frac{1}{\beta} \ln t$	[20], [21]

Tabel 2. Tabel Data Model Kinetika Adsorpsi Zat Warna metil merah menggunakan *Hydrochar* Tempurung Kelapa

Model Kinetika	Parameter
Orde Pertama Semu	$R^2 = 0,928$ $K_1 = 297,547/\text{Menit}$ $q_e = 0,192 \text{ mg/g}$
Orde Kedua Semu	$R^2 = 0,9812$ $K_2 = 0,142 \text{ g/mg menit.}$ $q_e = 0,614 \text{ mg/g}$
Bangham	$R^2 = 0,8525$ $K_o = 0,25 \text{ L/g}$
Elovich	$R^2 = 0,5135$ $\alpha = 339,9305 \text{ mg/g. menit}$ $\beta = 0,4459$

Berdasarkan Tabel 2 Terlihat bahwa data hasil eksperimen kinetika adsorpsi zat warna metil merah menggunakan adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa memiliki kesesuaian yang baik untuk dijelaskan dengan menggunakan model kinetika orde kedua semu. Hal ini dapat dipertimbangkan berdasarkan tingginya linearitas hubungan antara variabel yang digunakan dalam model tersebut, dimana nilai koefisien korelasi R^2 mencapai 0,9812. Hasil kinetika adsorpsi diperoleh nilai k sebesar $0,142 \text{ g/mg. menit}$, sedangkan nilai q_e zat warna metil merah pada adsorben tempurung kelapa diperoleh sebesar $0,614 \text{ mg/g}$. Nilai konstanta laju adsorpsi menunjukkan laju adsorpsi zat warna metil merah pada adsorben tempurung kelapa untuk mencapai waktu adsorpsi optimum dan kesetimbangan. Nilai koefisien korelasi data eksperimen pada model kinetika Elovich yang menunjukkan kesesuaian terhadap data eksperimen yang rendah ($R^2 = 0,5135$) mengindikasikan bahwa adsorpsi zat warna metil merah tidak seluruhnya didominasi oleh proses kemisorpsi, dan informasi lainnya yang dapat diperoleh dari model Elovich ialah heterogenitas permukaan adsorben yang relatif rendah [22].

Modeling Isotherm Adsorpsi

Isotherm adsorpsi digunakan untuk 1) Mengetahui interaksi antara adsorben dan adsorbat 2) Menentukan kondisi konsentrasi optimum untuk menghasilkan adsorpsi yang maksimal 3) menggambarkan hubungan antara jumlah spesi zat warna metil merah yang

teradsorpsi oleh adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa teraktivasi pelarut HCl dengan konsentrasi zat warna metil merah yang tertinggal dalam larutan saat kesetimbangan tercapai pada keadaan suhu konstanta [23]. Isotherm adsorpsi dipelajari dengan sistem batch pada variasi konsentrasi zat warna metil merah 10, 20, dan 30 mg/L dengan kondisi pH diatur pada pH optimum (pH 4) dan ditambahkan dengan dengan adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa dengan massa optimum (1 gram), kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnet selama waktu 30 menit dan dikontrol pada suhu optimum (40°C), Selanjutnya dilakukan proses pemisahan adsorben menggunakan kertas saring. Filtrate yang dihasilkan untuk masing-masing variasi konsentrasi ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Data hasil analisis dengan spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk pemodelan isotherm adsorpsi zat warna metil merah pada adsorben. Model isotherm adsorpsi yang digunakan yaitu model isotherm *Langmuir*, model isotherm *Freundlich*, model isotherm *Dubinin-Radushkevich (DKR)*, model isotherm *Temkin* dan isotherm *Brunauer-Emmett-Teller (BET)*.

Tabel 3. Formula matematik adsorpsi Isotherm

Model Isotherm	Bentuk linear	Referensi
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{C_e}{q_m \cdot K_L}$	[24]
Freundlich	$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \cdot \log C_e$	[25]
Dubinin-Radushkevich (DKR)	$\ln q_e = \ln q_s - k_{DKR} \cdot \varepsilon^2$	[25]
Temkin	$q_e = \left(\frac{R \cdot T}{b_T} \cdot \ln A_T \right) + \left(\frac{R \cdot T}{b_T} \cdot \ln C_e \right)$	[24]
Brunauer-Emmett-Teller (BET)	$\frac{C_e}{[(C_0 - C_e) \cdot q_e]} = \frac{1}{B \cdot q_m} + \frac{(B - 1)}{B \cdot q_m} \cdot \frac{C_e}{C_0}$	[26]
Redlich-Peterson	$\ln \frac{C_e}{q_e} = \beta \cdot \ln C_e - \ln A$	[24]
Harkin-Jura	$\frac{1}{q_e^2} = \frac{B}{A} - \left(\frac{1}{A} \right) \cdot \log C_e$	[27].
Javonovic	$\ln q_e = \ln q_{max} - K_J \cdot C_e$	[28]

Tabel 4. Data Model Isotherm Zat Warna Metil Merah Menggunakan *Hydrochar* Tempurung Kelapa

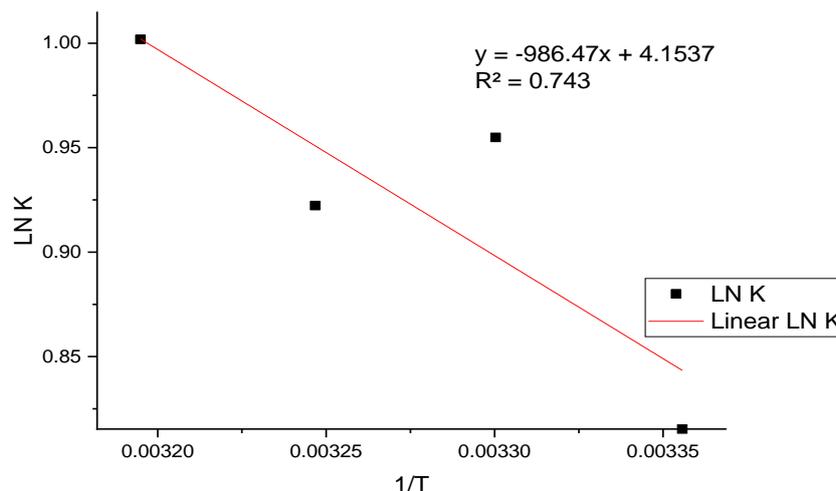
Model Isotherm	Parameter
Langmuir	$R^2 = 0,7451$ $q_o = 2,278 \text{ mg/g}$ $b = 1,867 \text{ L/mg}$

Freundlich	$R^2 = 0,8738$ $n = 0,116$ $k_f = 11,703 \text{ mg/g}$
Temkin	$R^2 = 0,955$ $b_T = 6,991$ $A_T = 1,463 \text{ L/g}$
DKR	$R^2 = 0,882$ $q_s = 27065,1 \text{ mg/g}$
BET	$R^2 = 0,606$ $C_{BET} = 240,488$ $q_s = 0,00078 \text{ mg/g}$

Berdasarkan kelima model grafik dan data parameter dapat dilihat bahwa model isotherm adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi zat warna metil merah menggunakan adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa teraktivasi pelarut HCl yaitu model Temkin. Model Temkin menunjukkan bahwa panas adsorpsi (fungsi temperatur) semua molekul dalam lapisan akan menurun secara linear sebagai akibat dari meningkatnya cakupan permukaan persamaan regresi yang diperoleh dari plot q_e VS $\ln C_e$ adalah $y = 372,2x + 141,73$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9553.

Kajian Termodinamika Adsorpsi

Parameter termodinamika seperti perubahan energi bebas Gibbs (ΔG^0), perubahan entalpi (ΔH^0), dan perubahan entropi (ΔS^0) menyediakan informasi mengenai arah dan perubahan energi internal yang berhubungan dengan proses adsorpsi. Secara umum, nilai ΔG^0 dan ΔH^0 , yang negatif mengindikasikan bahwa proses adsorpsi spontan dan eksotermik, dan sebaliknya jika bernilai positif maka mengindikasikan mekanisme adsorpsi yang tidak spontan dan endotermis. Perhitungan Nilai $\ln K$ selanjutnya diplotkan terhadap $1/T$ mengikuti bentuk linear persamaan Van't Hoff sehingga diperoleh kurva seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Adsorpsi Van't Hoff pada adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa

Berdasarkan persamaan regresi pada kurva maka parameter-parameter termodinamika dapat dihitung dan diperoleh data seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Data Termodinamika

Suhu (K)	ΔG° kJ/mol	ΔH° kJ/mol	ΔS° kJ/mol
298	-18,492	-8,201	0,034
303	-18,665	-8,201	0,034
308	-18,837	-8,201	0,034
313	-19,010	-8,201	0,034

Tabel 5 menunjukkan bahwa proses adsorpsi zat warna metil merah menggunakan hidrochar tempurung kelapa bersifat spontan dan eksotermik pada suhu 313 K. Hal ini terlihat dari nilai ΔG° dan ΔH° . Adsorpsi zat warna metil merah memiliki nilai negatif pada setiap temperatur adsorpsi. Fenomena ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi bersifat spontan. Nilai ΔG° pada penelitian ini menurun dengan meningkatnya suhu. Hal ini menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi mengurangi daya dorong dan mengurangi proses adsorpsi molekul adsorben ke adsorben.

KESIMPULAN

Adsorben berbasis *Hydrochar* dari tempurung kelapa berhasil disintesis dan diaktivasi menggunakan metode hidrotermal. Adsorben tersebut lalu digunakan untuk mengadsorpsi zat metil merah dari dalam larutan berair. Modeling kinetika adsorpsi zat warna metil merah pada adsorben *Hydrochar* tempurung kelapa mengikuti model kinetika orde kedua semu dengan nilai $R^2 = 0,9812$ dan konstanta laju secara berturut-turut sebesar 0,142 g/mg menit dan Kapasitas adsorpsi sebesar 0,614 mg/g. Model isotherm adsorpsi zat warna metil merah mengikuti model Temkin dengan nilai $R^2 = 0,9553$. Studi termodinamika menunjukkan bahwa proses adsorpsi zat warna metil merah menggunakan *Hydrochar* tempurung kelapa berlangsung spontan dan eksotermik pada suhu pada suhu 313 K.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Krim, S. Nacer, and G. Bilango, "Kinetics of Chromium Sorption on Biomass Fungi from Aqueous Solution," *Am. J. Environ. Sci.* 2, vol. 2, no. 1, pp. 27–32, 2006.
- [2] I. T. dan K. Wijaya, "Pembuatan Dan Uji Fotoaktivitas Komposit TiO₂-," 2004.
- [3] P. Ayu, A. Putra, H. Sanjaya, and I. Dewata, "Degradasi Zat Warna Metil Merah Dengan Katalis ZnO Menggunakan Metode Fotosonolisis," *Chem. J. State Univ. Padang*, vol. 10, no. 2, pp. 56–58, 2021.
- [4] M. R. H. Mas Haris and K. Sathasivam, "The removal of methyl red from aqueous solutions using banana pseudostem fibers," *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 9, pp. 1690–1700, 2009.
- [5] T. T. Kyaw, K. S. Wint, and K. M. Naing, "Studies on the Sorption Behavior of Dyes on Cross-linked Chitosan Beads in Acid Medium," *2011 Int. Conf. Biomed. Eng. Technol. IPCBEE*, vol. 11, pp. 174–178, 2011.
- [6] C. Pujiastuti and E. Adi, Saputro, "Model Matematika Adsorpsi Zeolit alam Terdapat Ion Zn Pada Air Limbah Elektrokplating," *Tek. Kim.*, vol. 2, p. 2, 2008.
- [7] E. Widjajanti, R. Tutik, and M. P. Utomo, "Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah Dan Metil Jingga," *Pros. Semin. Nas. Penelitian, Pendidik. dan Penerapan MIPA, Fak. MIPA, Univ. Negeri Yogyakarta*, pp. 115–122, 2011.
- [8] E. Sahara, N. K. Dahliani, and I. B. P. Manuaba, "Pembuatan Dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) Dengan Aktivator NaOH," *J. Kim.*, p. 174, 2017.
- [9] M. Lempang, "Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif," *Info Tek. EBONI*, vol. 11, no. 2, pp. 65–80, 2014.
- [10] Z. Mahmud and Y. Ferry, "Prospek Pengolahan Hasil Samping Buah Kelapa," *Perspekt. Rev. Penelit. Tanam. Ind.*, vol. 4, no. 2, pp. 55–63, 2015.
- [11] G. S. Pambayun, R. Y. E. Yulianto, M. Rachimoellah, and E. M. M. Putri, "Pembuatan

- Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah,” *Tek. Pomits*, vol. 2, no. 1, pp. 116–120, 2013.
- [12] N. Prabarini and D. . Okayadnya, “Penyisihan Logam Besi (Fe) pada Air Sumur dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri,” *Ilm. Tek. Lingkungan*, vol. 5, no. 2, pp. 33–41, 2016.
- [13] S. Eskandari, A. Mohammadi, M. Sandberg, R. L. Eckstein, K. Hedberg, and K. Granström, “Hydrochar-Amended Substrates for Production of Containerized Pine Tree Seedlings Under Different Fertilization Regimes,” *Agronomy*, vol. 9, no. 7, 2019.
- [14] L. N. Khanifa, M. Mulyatun, and E. T. Suryandari, “Uji Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cu^{2+} Menggunakan Hidrochar Eichhornia Crassipes Termodifikasi H_2O_2 ,” *Walisongo J. Chem.*, vol. 2, no. 2, p. 64, 2019.
- [15] T. Alizadeh and S. Amjadi, “Preparation of nano-sized Pb^{2+} imprinted polymer and its application as the chemical interface of an electrochemical sensor for toxic lead determination in different real samples,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 190, no. 1–3, pp. 451–459, 2011.
- [16] B. Triyono, M. H. Gusman, D. Hutapea, P. Prawisudha, and A. D. Pasek, “State of the art teknologi hidrotermal untuk pengolahan sampah kota menjadi bahan bakar padat,” *Proceeding Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XV (SNTTM XV)*, vol. 6, no. 4, pp. 5–6, 2016.
- [17] T. Sembiring and T. Naga, “Pengenalan Dan Proses Pembuatan Arang Aktif,” 2003.
- [18] A. H. Surest, I. Permana, and R. G. Wibisono, “Cangkang Biji Ketapang,” pp. 1–11, 2009.
- [19] K. L. Tan and B. H. Hameed, “Insight into the adsorption kinetics models for the removal of contaminants from aqueous solutions,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 74, pp. 25–48, 2017.
- [20] K. L. Tan and B. H. Hameed, “Insight into the adsorption kinetics models for the removal of contaminants from aqueous solutions,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 74, pp. 25–48, 2017.
- [21] J. Wang and X. Guo, “Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 390, p. 122156, 2020.
- [22] Y. A. B. Neolaka *et al.*, “The adsorption of Cr(VI) from water samples using graphene oxide-magnetic (GO- Fe_3O_4) synthesized from natural cellulose-based graphite (kusambi wood or *Schleichera oleosa*): Study of kinetics, isotherms and thermodynamics,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 6544–6556, 2020.
- [23] É. C. Lima, M. A. Adebayo, and F. M. Machado, “Kinetic and equilibrium models of adsorption,” in *Carbon nanomaterials as adsorbents for environmental and biological applications*, Springer, 2015, pp. 33–69.
- [24] N. Ayawei, A. N. Ebelegi, and D. Wankasi, “Modelling and interpretation of adsorption isotherms,” *J. Chem.*, vol. 2017, pp. 1–11, 2017.
- [25] Y. A. B. Neolaka *et al.*, “The adsorption of Cr(VI) from water samples using from natural cellulose-based graphite (kusambi wood or *Schleichera oleosa*): Study of kinetics , isotherms and thermodynamics,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 6544–6556, 2020.
- [26] P. Taylor, S. Bhuvaneshwari, and V. Sivasubramanian, “equilibrium , kinetics , and breakthrough studies for adsorption of Cr(VI) on chitosan Equilibrium , Kinetics , and Breakthrough Studies for Adsorption of Cr(VI) on Chitosan,” no. March, pp. 37–41, 2014.
- [27] S. N. Alam, N. Sharma, and L. Kumar, “Synthesis of graphene oxide (GO) by modified hummers method and its thermal reduction to obtain reduced graphene oxide (rGO),” *Graphene*, vol. 6, no. 01, pp. 1–18, 2017.
- [28] C. R. Girish, “Various isotherm models for multicomponent adsorption: A review,” *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 10, pp. 80–86, 2017.