

**PEMBUATAN DAN MODIFIKASI KARBON AKTIF PELEPAH KELAPA SAWIT
(*Cocus nucifera* L.) SEBAGAI ADSORBEN METILEN BIRU
(PREPARATION AND MODIFICATION OF ACTIVATED CARBON
FROM PALM OIL (*Cocus nucifera* L.) AS ADSORBENT OF BLUE
METHYLENE)**

Risma Achmad¹, Muhammad Zakir¹, St Fauziah^{1*}

¹ Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin Kampus Tamalanrea Makassar

*Corresponding author: stfauziah@unhas.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 July 2020

Accepted 30 July 2020

Available online

30 July 2020

Keywords:

Langmuir isothermal,
adsorption capacity,
activated carbon,
modified activated
carbon, palm fronds

ABSTRACT

The methylene blue dye adsorbed by activated carbon from oil palm fronds modified with H₂SO₄ has been carried out. This study aims to utilize activated carbon from palm oil frond waste (*Cocus nucifera* L.) as an adsorbent to adsorb toxic methylene blue dye in textile industrial wastewater. The method consisted of several steps, namely: carbonization, carbon activation using 0.3M HCl activator, surface modification, and identification of functional groups using FTIR, characterization of the adsorbent material using SEM, BET, and surface area analysis with methylene blue. The optimal adsorption time of methylene blue by activated carbon is 20 minutes, longer than modified activated carbon which is 15 minutes. Adsorption of methylene blue by activated carbon and modified activated carbon according to the Langmuir isothermal model. The adsorption capacity of activated carbon was lower, namely 9.7847 mg / g compared to the adsorption capacity of modified activated carbon, which was 10.7642 mg/g. This proves that the active carbon modified by H₂SO₄ is better used as an adsorbent for adsorbing methylene blue dye.

© 2020 IJoPAC. All rights reserved

1. Pendahuluan

Industri tekstil di Indonesia sangat berkembang pesat dan menimbulkan dampak bagi lingkungan melalui warna limbah cair yang dihasilkannya dan diketahui mengandung bahan-bahan yang beracun dan berbahaya ^[1]. Salah satu zat warna yang banyak digunakan dalam industri tekstil adalah metilen biru. Senyawa metilen biru merupakan senyawa hidrokarbon aromatik dengan rumus kimia C₁₆H₁₈N₃SCl, dikenal beracun, sulit diuraikan, dan memiliki kemampuan adsorpsi yang sangat kuat. Senyawa tersebut menjadi bahan pewarna tekstil dan digunakan secara luas pada industri tekstil sehingga perlu melalui proses pengolahan sebelum dilepas ke lingkungan. Metilen biru dapat menimbulkan iritasi kulit, sianosis, dan saluran pencernaan jika tertelan dan terhirup ^[2].

Metode yang digunakan untuk menanggulangi dampak bahaya dari limbah zat warna adalah metode adsorpsi. Adsorpsi merupakan metode efisien dan banyak dikembangkan. Salah satu material

yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben untuk pengolahan limbah zat warna yaitu karbon aktif [3]. Karbon merupakan komponen utama organisme dan bahan utama dari batubara, kulit singkong, limbah industri, kayu, kulit kemiri, biji aprikot, dan tempurung kelapa [4]. Unsur karbon memiliki bentuk amorf dan melimpah di alam.

Tempurung kelapa sawit merupakan limbah yang banyak dihasilkan oleh tanaman kelapa sawit yang dimanfaatkan sebagai karbon aktif [5], selain tempurung kelapa sawit, salah satu bagian dari pohon kelapa yang masih belum banyak dimanfaatkan adalah pelepah kelapa sawit. Pelepah kelapa sawit berupa tangkai daun dari tanaman kelapa [6].

Limbah pelepah kelapa sawit yang terbuang tanpa diolah akan membusuk. Oleh karena itu, pemanfaatan pelepah kelapa sawit perlu dilakukan. Salah satu upaya pemanfaatan limbah pelepah kelapa sawit adalah mengolah limbah tersebut menjadi karbon aktif. Karbon aktif dari pelepah kelapa sawit diketahui mengandung karbon total sebesar 73,33 %. Limbah pelepah kelapa sawit yang melimpah, ternyata bisa dimanfaatkan sebagai bahan karbon aktif yang bernilai ekonomi [7].

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka modifikasi karbon aktif perlu dilakukan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsinya.

2. Metode

2.1. Bahan dan alat

Bahan-bahan yang digunakan terdiri atas pelepah kelapa sawit (*Cocus nucifera* L.), akuades, metilen biru, HCl, NaOH, NaHCO₃, Na₂CO₃, H₂SO₄, larutan buffer, Whatman No. 42 dan kertas pH universal (E-Merck). Alat-alat yang digunakan berupa alat-alat gelas laboratorium, cawan porselin, ayakan ukuran 100-200 mesh, labu semprot plastik, oven (tipe SPNISOSFD), desikator, pH meter, *hot plate*, aluminium foil, pengaduk magnetik (Fisher tipe 115), lumpang, neraca analitik (Shimadzu AW220), Spektrofotometer FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) *Prestige-21* (Shimadzu), Spektrofotometer UV-Vis Spektronik 20 D⁺ Shimadzu, SEM (*Scanning Electron Microscope*), dan BET.

2.2. Prosedur penelitian

Preparasi sampel

Pelepah kelapa sawit (*Cocus nucifera* L.) diperoleh dari Kabupaten Wajo. Pelepah kelapa sawit dipotong-potong sepanjang 8 cm dan dibilas menggunakan aquades hingga bersih, selanjutnya dikeringkan dibawah sinar matahari sampai kering.

Karbonasi

Pelepah kelapa yang telah kering, sebanyak 100 gram dimasukkan ke dalam tanur pada temperatur 400 °C selama 15 menit kemudian disimpan dalam desikator kemudian digerus lalu diayak menjadi ukuran 100-200 mesh.

Aktivasi

Karbon yang diperoleh direndam dalam larutan HCl 0,3 M selama 18 jam. Karbon kemudian disaring dengan corong Buchner lalu dicuci dengan akuades hingga pH netral (pH = 7) dan selanjutnya dikeringkan pada suhu 150 °C dalam oven selama 2 jam lalu disimpan dalam desikator.

Modifikasi

Karbon yang sudah diaktivasi dicampur dengan H₂SO₄ pekat dengan perbandingan 5 : 1. Campuran dipanaskan hingga temperatur 65 °C kemudian di-shaker selama 24 jam dengan kecepatan 130 dan dicuci dengan akuades beberapa kali -ulang hingga mendapatkan pH netral. Selanjutnya dikeringkan pada 110 °C selama 24 jam dalam oven.

Penentuan Gugus-gugus fungsi yang bersifat Asam dan Basa

Sebanyak 0,1 gram karbon aktif dimasukkan dalam 4 buah gelas kimia yang berisi larutan

Na_2CO_3 0,05 N, NaOH 0,05 N, NaHCO_3 0,05 N (untuk penentuan gugus fungsional asam) dan HCl 0,05 N (untuk penentuan gugus fungsional basa) masing-masing sebanyak 25 mL, kemudian campuran disimpan selama 24 jam, selanjutnya disaring dan masing-masing filtrat yang diperoleh, dipipet sebanyak 10 mL dan larutan NaHCO_3 , Na_2CO_3 , dan NaOH, kemudian ditambahkan HCl 0,05 N berlebih, lalu dititrasi balik dengan menggunakan larutan NaOH 0,05 N secara konduktometri. Sedangkan filtrat HCl dipipet sebanyak 10 mL dan ditambahkan NaOH 0,05 N berlebih, kemudian dititrasi balik dengan menggunakan HCl 0,05 N secara konduktometri.

Penentuan luas permukaan

Luas permukaan dari karbon aktif dapat ditentukan dari kemampuan adsorpsinya terhadap metilen biru dengan cara mencampur 0,3 g karbon aktif dengan 25 mL metilen biru 3000 ppm dan selanjutnya distirer selama 90 menit pada 3000 ppm. Kemudian disaring dan filtrat diukur absorbansinya pada λ_{maks} . Kurva kalibrasi dari larutan standar metilen biru dibuat pada konsentrasi 2, 4, 8, 16 dan 32 ppm dan pada λ_{maks} . 664 nm untuk menentukan konsentrasi sampel.

Penentuan waktu optimum

Karbon aktif termodifikasi sebanyak 0,5 gram dimasukkan masing-masing ke dalam 11 erlenmeyer 100 mL. Kemudian ditambahkan 50 mL larutan zat warna dengan konsentrasi 30 mg/L. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi waktu 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35 dan 40 menit. Campuran kemudian dipisahkan menggunakan kertas saring dan filtrat yang diperoleh ditentukan absorbansinya pada λ_{maks} menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Larutan zat warna metilen biru dibuat dengan variasi konsentrasi 30, 60, 160, 210, 250, 300 dan 350 mg/L masing-masing 50 mL. Sebanyak 0,5 gram karbon aktif termodifikasi dimasukkan dalam tiap erlenmeyer yang telah diisi zat warna, kemudian diaduk selama waktu optimum. Selanjutnya disaring dan filtrat yang diperoleh ditentukan absorbansinya pada λ_{maks} menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Preparasi Sampel Pelepah Kelapa Sawit

Pembuatan karbon dimulai dengan tahapan pengumpulan sampel dan penyiapan bahan. Pelepah kelapa sawit diambil dari Desa Appasareng, Kelurahan Paojepe, Kecamatan Keera, Kabupaten Wajo. Gambar 1 merupakan bahan baku yang akan melalui proses pencucian dan pengeringan. Pengeringan dibawah sinar matahari dilakukan untuk menghilangkan kandungan air pada pelepah kelapa sawit yang digunakan ^[6].

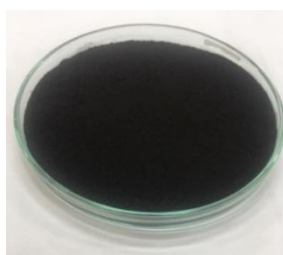


Gambar 1. Sampel Pelepah Kelapa Sawit

3.2 Karbonisasi

Pembuatan karbon dari pelepah kelapa sawit dilakukan dengan proses karbonisasi yaitu proses dekomposisi senyawa organik penyusun struktur bahan melalui pembakaran pada suhu 300-600 °C dan melepaskan unsur-unsur volatil seperti metanol, asam asetat, tar dan hidrokarbon sehingga terbentuk pori ^{[6],[8]}.

Pada penelitian ini, proses karbonisasi dilakukan pada suhu optimum yaitu 400 °C selama 15 menit. Pada suhu dibawah 350 °C, karbonisasi belum mencapai sempurna dan di atas 400 °C mulai terjadi proses pengabuan. Proses karbonisasi ini akan mengeluarkan asap yang sangat banyak, karena banyaknya zat-zat volatil yang terkandung didalam bahan baku. Proses karbonisasi telah berakhir ketika seluruh bahan baku berubah menjadi arang yang berwarna hitam dan tidak banyak lagi asap yang keluar. Hal ini menunjukkan bahwa zat-zat volatil telah menguap dan menyisakan karbon 70-90% ^[9]. Karbon yang terbentuk selanjutnya digerus dan diayak pada ayakan 100 mesh seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Karbon ukuran 100 mesh

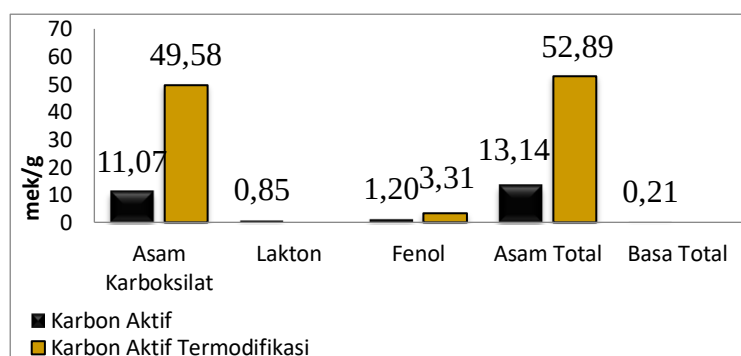
3.3 Aktivasi

Karbon yang diperoleh diaktivasi untuk melepaskan residu-residu dari permukaan pori sehingga diperoleh karbon dengan luas permukaan lebih besar ^[10]. Mineral aktivator yang terdapat diantara sela-sela dari lapisan karbon heksagonal, dapat memisahkan permukaan pori yang menyebabkan kontaminan dalam pori lebih mudah lepas sehingga luas permukaannya makin besar ^{[11],[6]}.

Terdapat dua jenis proses aktivasi yaitu aktivasi secara fisika dan kimia. Pada penelitian ini, aktivator yang digunakan pada proses aktivasi secara kimia adalah HCl 0,3 dengan cara perendaman karbon dalam HCl 0,3 M sehingga residu-residu yang menutupi pori terlepas dan pori-pori karbon akan terbuka ^[12]. Kemudian dilakukan pencucian dan pemanasan untuk melepaskan pengotor-pengotor setelah perendaman, sehingga pori-pori karbon semakin terbuka ^[13].

3.4. Modifikasi Permukaan Karbon Aktif

Karbon aktif yang telah diperoleh selanjutnya dimodifikasi permukaannya menggunakan H₂SO₄. Gugus-gugus fungsi senyawa organik yang mengandung oksigen seperti fenol, asam karboksilat, dan lakton yang terbentuk dari peroses modifikasi tersebut dikarakterisasi menggunakan metode titrasi Boehm yang terlihat pada Gambar 3.

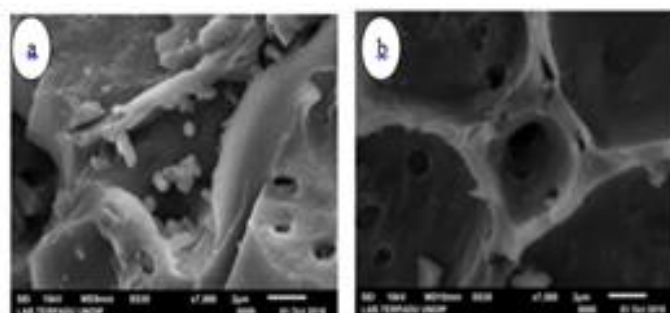


Gambar 3. Histogram konsentrasi gugus fungsi karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi.

Pada karbon aktif termodifikasi oleh H_2SO_4 menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi asam karboksilat dan fenol serta terjadi penurunan konsentrasi lakton dan basa total. Data hasil titrasi Boehm menunjukkan karakter asam-basa dari permukaan karbon aktif dimana terjadi peningkatan konsentrasi total asam dan penurunan konsentrasi total basa setelah modifikasi. Peningkatan gugus fungsi yang mengandung oksigen mengakibatkan penurunan kepadatan elektron pada permukaan karbon aktif termodifikasi sehingga sifat basa dari karbon aktif termodifikasi berkurang.

3.5. Karakterisasi SEM (Scanning Electron Microscope) dan Metode BET

SEM (Scanning Electron Microscope) merupakan salah satu metode untuk mengetahui bentuk permukaan dari suatu bahan. Karakterisasi SEM dilakukan terhadap karbon aktif pelepah kelapa sawit sebelum dan sesudah modifikasi seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil SEM karbon aktif pelepah kelapa sawit sebelum modifikasi (a) dan setelah modifikasi H_2SO_4 (b) pada perbesaran 7.500x

Hasil uji SEM memperlihatkan bahwa struktur karbon aktif sebelum modifikasi dan setelah modifikasi yang diperoleh berbeda. Struktur karbon aktif sebelum modifikasi (Gambar a) memiliki permukaan pori dengan rongga yang kecil, rapat dan tidak beraturan, sedangkan (Gambar b) setelah modifikasi bentuk pori dengan rongga yang besar terlihat lebih jelas. Hal ini dibuktikan melalui analisis dengan metode Brunauer-Emmert-Teller (BET) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

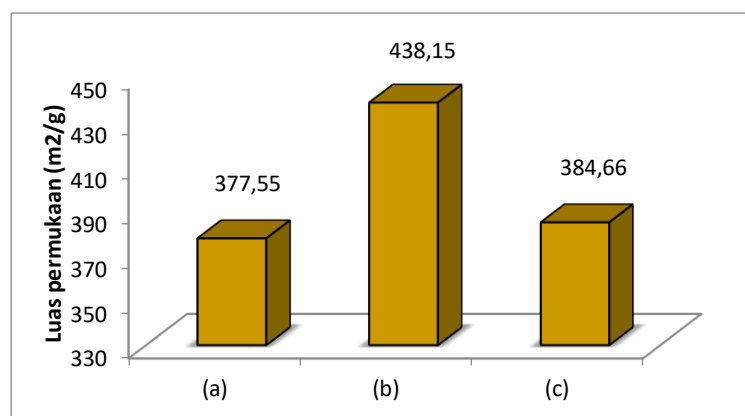
Tabel 1. Hasil analisis metode BET karbon aktif pelepah kelapa sawit sebelum modifikasi dan setelah modifikasi

Sampel	$V_{\text{pori}} (\text{cm}^3/\text{g})$	$d_{\text{pori}} (\text{nm})$
Sebelum Modifikasi	0,067	3,374
Setelah Modifikasi	0,520	3,111

Berdasarkan data BET karbon aktif termodifikasi dalam penelitian ini termasuk karbon aktif mesopori karena diameter pori yang dihasilkan sekitar 2 nm – 5 nm.

Luas Permukaan

Luas permukaan dari karbon, karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi dapat ditentukan menggunakan metode metilen biru dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Luas permukaan (a) karbon, (b) karbon aktif, dan (c) karbon aktif termodifikasi

Pada proses modifikasi H_2SO_4 mengakibatkan luas permukaan menjadi menurun, hal ini dikarenakan H_2SO_4 akan mengoksidasi sebagian karbon sehingga pori-pori menjadi rusak dan menurunkan luas permukaan. Selain itu proses modifikasi dengan H_2SO_4 mengakibatkan diameter pori mengecil. Hal ini disebabkan penambahan gugus sulfonat ($R-SO_3^-$) yang menutupi permukaan pori sehingga diameter pori semakin mengecil.

Penentuan Waktu Optimum

Hasil penentuan waktu optimum terhadap adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.

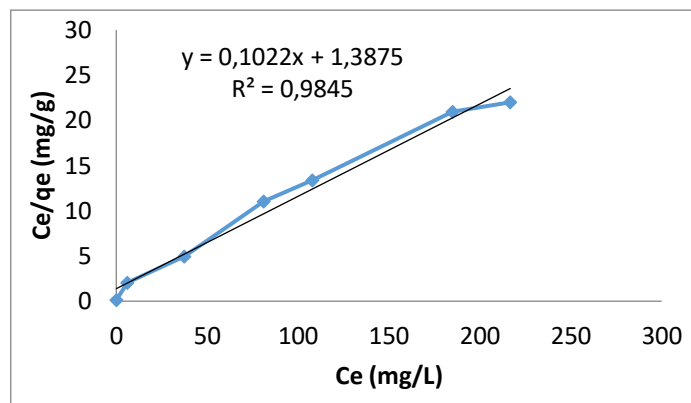
Tabel 2. Jumlah metilen biru yang teradsorpsi oleh karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi

Waktu (Menit)	qe (mg/g)	
	Karbon aktif	Karbon aktif termodifikasi
3	2,47	2,78
5	2,49	2,79
7	2,52	2,79
10	2,57	2,80
15	2,61	2,82
20	2,63	2,80
25	2,59	2,77
30	2,54	2,76
35	2,47	2,75
40	2,40	2,72

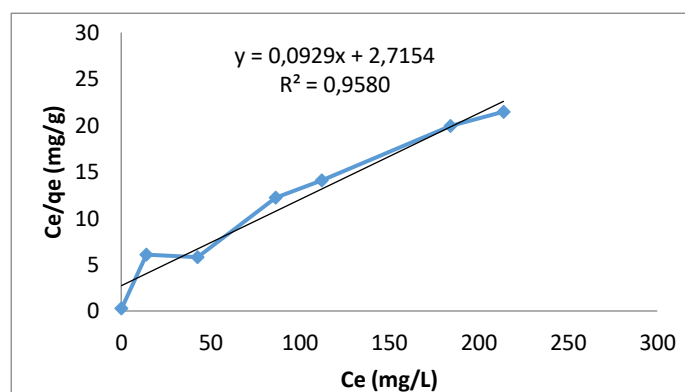
Berdasarkan data hasil penelitian ini, maka waktu optimum adsorpsi zat warna menggunakan karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi adalah 20 menit dan 15 menit. Waktu ini digunakan selanjutnya dalam menentukan kapasitas adsorpsi.

Penentuan Kapasitas Adsorpsi

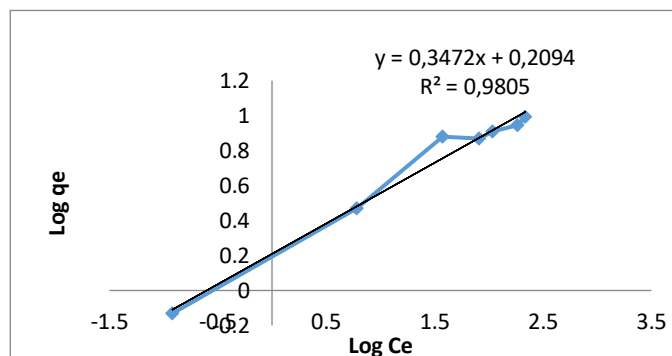
Penentuan kapasitas adsorpsi dapat digunakan beberapa model isothermal adsorpsi, seperti isothermal Langmuir dan isothermal Freundlich. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6,7,8, dan 9.



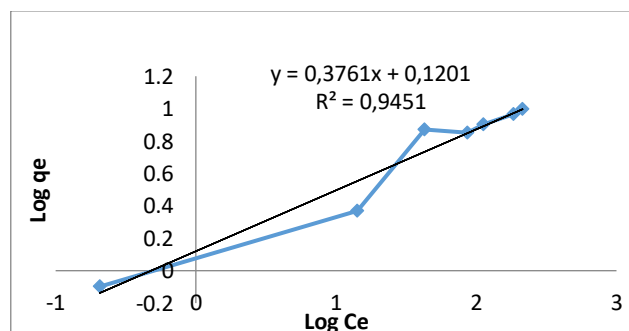
Gambar 6. Kurva Isotermal Langmuir dari adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif



Gambar 7. Kurva Isotermal Langmuir dari adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif termodifikasi.



Gambar 8. Kurva Isotermal Freundlich untuk adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif

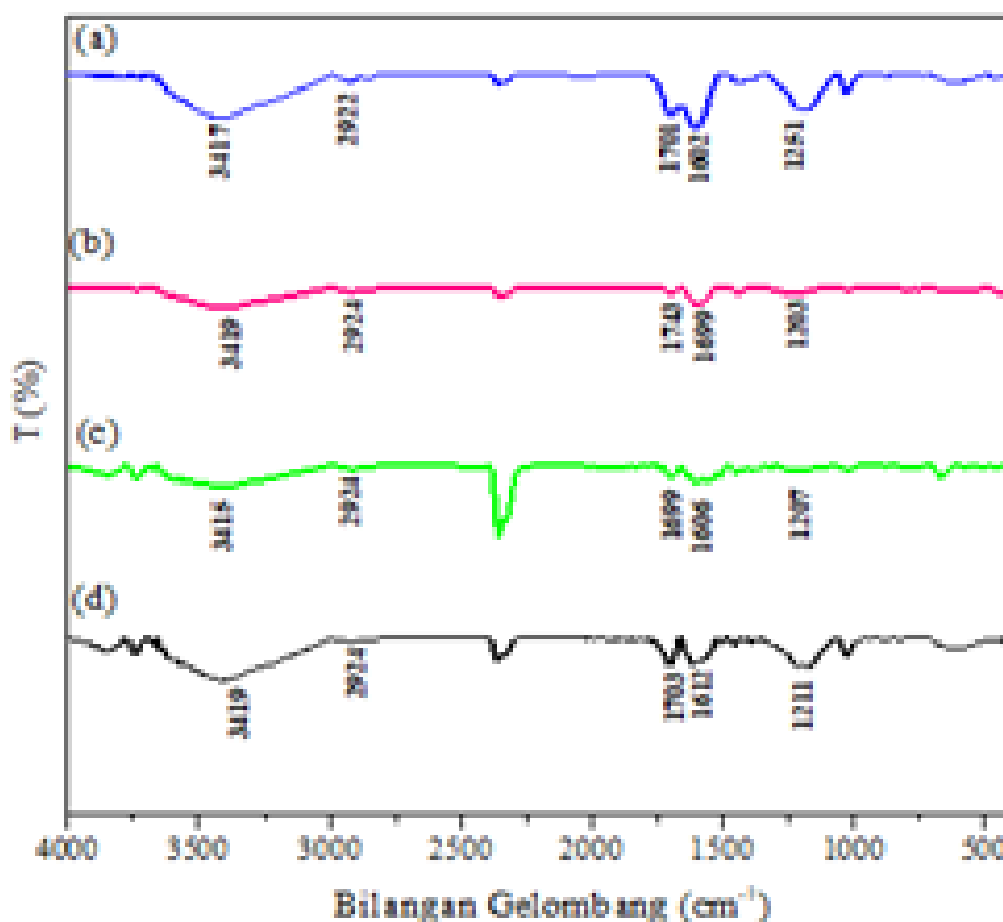


Gambar 9. Kurva Isotermal Freundlich dari adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif termodifikasi.

Model isothermal adsorpsi yang sesuai untuk karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi terhadap metilen biru dapat diketahui dari koefisien korelasi (R^2) yang mendekati nilai 1. Berdasarkan perbandingan dari kedua model isothermal adsorpsi tersebut linearitas isothermal adsorpsi model Langmuir lebih mendekati nilai 1 dibandingkan dengan isothermal Freundlich. Nilai kapasitas adsorpsi karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi terhadap metilen biru menggunakan isothermal Langmuir berturut-turut adalah 9,7847 mg/g dan 10,7642 mg/g.

Karakterisasi FTIR

Beberapa gugus fungsi yang terlibat dalam adsorpsi metilen biru dapat diketahui dengan melihat pergeseran bilangan gelombang spektrum FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 8. Gugus fungsi yang terlibat adalah OH, C=O, C=C, CH₃, CH₂, dan C-O.



Gambar 8. Spektrum FTIR (a) karbon aktif sebelum adsorpsi, (b) karbon aktif setelah adsorpsi, (c) karbon aktif termodifikasi sebelum adsorpsi dan (d) karbon aktif termodifikasi setelah adsorpsi

Data spectrum FTIR dari karbon aktif termodifikasi sebelum dan setelah adsorpsi tidak menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang yang signifikan pada gugus karbon aktif termodifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi yang terjadi antara karbon aktif termodifikasi dan zat warna metilen biru adalah adsorpsi kimia. Adsorpsi kimia terjadi karena interaksi antara sisi aktif adsorben dengan zat teradsorpsi yang merupakan penyerapan pada lapisan tunggal (*monolayer adsorption*).

4. Kesimpulan

Modifikasi permukaan pada karbon aktif pelepah kelapa sawit menggunakan H_2SO_4 menunjukkan bahwa permukaan karbon aktif mengalami peningkatan gugus fungsi terutama asam karboksilat, lakton dan fenol. Waktu optimum adsorpsi karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi sebagai adsorben metilen biru yaitu 20 menit dan 15 menit dengan nilai q_e yaitu 2,63 mg/g dan 2,82 mg/g. Penentuan kapasitas adsorpsi karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi sebagai adsorben metilen biru sesuai dengan persamaan adsorpsi Langmuir dimana kapasitas adsorpsinya yaitu 9,7847 mg/g dan 10,7642 mg/g. Waktu optimum dan kapasitas adsorpsi yang baik adalah karbon aktif termodifikasi.

Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya tentang studi modifikasi permukaan karbon aktif yaitu sebaiknya dalam proses aktivasi karbon dari biomassa limbah pelepah kelapa sawit digunakan aktivator dan modifikator lainnya serta perlu diperhatikannya metode yang digunakan didalam penyerapan zat warna metilen biru dengan menggunakan karbon aktif.

Daftar Pustaka

- [1] Krim, L., Salmoune, N., and Goma, B., (2006), Kinetics of Chloromium Sorption on Biomass Fungi from Aqueous Solution, *American Journal of Environmental Science*, 2(1): 31-36.
- [2] Hamdaoui, O., dan Chiha, M., (2006), Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Wheat Bran, *Acta Chimica Slovenia*, 54(2): 407-418.
- [3] Handayani, L. W., Riwayanti, I., dan Ratnani, R.D., (2015), Adsorpsi Pewarna Metilen Biru Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi, *Momentum*, 11(1): 19-23.
- [4] Harti, R., Allwar., dan Fitri, N., (2014), Karakterisasi dan Modifikasi karbon aktif Tempurung kelapa sawit dengan asam nitrat untuk Menjerap logam besi dan tembaga dalam Minyak nilam, *Indonesian Journal of Chemical Research*, 2(1): 74-83.
- [5] Irawan, A., Puspa, R., dan Mekawati, R., (2010), Material dengan Kandungan Karbon Tinggi dari Pirolisis Tempurung Kelapa untuk Reduksi Bijih Besi, *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, 7(2): 21-26.
- [6] Ramdja, A.F., Halim, M., dan Handi, J., (2008), Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa (*Cocus Nucifera*), *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2): 1-7.
- [7] Rizal, M., (2013), Uji adsorbansi metilen blue dengan menggunakan pelepah kelapa sebagai adsorben, Skripsi diterbitkan, Jurusan Kimia, UIN Syarif Hidayatullah, Tangerang Selatan.
- [8] Surest, A.H., Kasih, J.A.F., dan Wisanti, A., 2008, Pengaruh Suhu, Konsentrasi Zat Aktivator dan Waktu Aktivasi terhadap Daya Serap Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri, *Jurnal Teknik. Kimia*, 15(2): 17-21
- [9] Miranti, S.T., 2012, *Pembuatan Kabon Aktif Dari Bambu Dengan Metode Aktivasi Terkontrol Menggunakan Activating Agent H_3PO_4 dan KOH*, Skripsi tidak diterbitkan, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- [10] Aisyah, S., Yulianti, E., dan Fasya, A.G., 2010, Penurunan Angka Peroksida dan Asam Lemak Bebas (FFA) pada Proses Bleaching Minyak Goreng Bekas oleh Karbon Aktif Polong Buah Kelor (*Moringa oleifera*. Lamk) dengan Aktivasi NaCl, *Alchemy*, 1(2): 53-103.

- [11] Koleangan, H.S.J., dan Wuntu, A.D., 2008, Kajian Stabilitas Termal dan Karakter Kovalen Zat Pengaktif pada Arang Aktif Limbah Gergajian Kayu Meranti (*Shorea spp*), *Chemistry. Prog*, **1**(1): 43-46.
- [12] Aqbar, M., 2013, *Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cu^{2+} pada Karbon Aktif Sekam Padi yang Irradiasi Gelombang Ultrasonik*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar
- [13] Lempang, M., Syafii, W., dan Pari, G., 2011, Struktur dan Komponen Arang serta Arang Aktif Tempurung Kemiri, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, **3**(23): 278-294.