



Adsorpsi Dimetil Ftalat Menggunakan Karbon Aktif Lindi Hitam-diatomit

Luigy Maurizka Yasmine^{1✉}, Ajeng Arum Sari², dan Triastuti Sulistyaningsih¹

¹ Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

² Pusat Penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan 15314, Indonesia

Info Artikel

Diterima Juni 2020

Disetujui Juli 2020

Dipublikasikan Agustus 2020

Keywords:

*dimetil ftalat
komposit
karbon aktif lindi hitam
diatomit*

Abstrak

Dimetil ftalat merupakan salah satu bahan kimia utama pembuatan plastik yang berbahaya bagi kesehatan manusia karena dapat dengan mudah terserap dalam tubuh melalui kulit dan bersifat toksik sehingga perlu dilakukan proses pengolahan limbah. Adsorpsi merupakan salah satu metode alternatif untuk menurunkan kadar dimetil ftalat dalam limbah cair. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh efisiensi penyerapan pada dimetil ftalat menggunakan komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit. Komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit dikontakkan dengan dimetil ftalat menggunakan metode *batch* pada waktu kontak 120 menit suhu 30°C dan pH 5, variasi yang diuji yaitu uji konsentrasi dan dosis adsorben. Pengujian sampel menggunakan GC-MS. Hasil penelitian menunjukkan adsorpsi optimum dimetil ftalat pada konsentrasi 1 ppm dengan waktu kontak 120 menit, dosis adsorben 0,05 gram dan pH 5 sebesar 64,2%.

Abstract

Dimethyl phthalate is one of the main chemicals in the manufacture of plastics which is harmful to human health because it can be easily absorbed in the body through the skin and is toxic so it is necessary to do a waste treatment process. Adsorption is an alternative method for reducing the levels of dimethyl phthalate in liquid waste. The purpose of this study was to determine the effect of adsorption efficiency on dimethyl phthalate using a composite activated carbon from black liquor-diatomite. A composite activated carbon from black liquor-diatomite were contacted with dimethyl phthalate using the batch method at 120 minutes contact time at 30°C and pH 5, the variations tested were the concentration and dosage adsorbent. Testing samples using GC-MS. The results showed optimum dimethyl phthalate adsorption at a concentration of 1 ppm with a contact time of 120 minutes, an adsorbent dose of 0.05 gram and a pH of 5 at 64.2%.

© 2020 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: yasmineluigy@gmail.com

Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari manusia tidak lepas dari plastik, dari mulai alat rumah tangga hingga mainan anak yang rata-rata berbahan dasar plastik. Ftalat dikenal sebagai bahan kimia utama pembuatan plastik yang berbahaya bagi kesehatan manusia karena ftalat dapat dengan mudah terserap dalam tubuh melalui kulit. Efek yang ditimbulkan jika manusia terlalu sering terkontaminasi dengan ftalat adalah cacat lahir, kerusakan organ vital, infertilitas dan kanker (Fulazzaky, 2015)

Penelitian tentang produksi karbon aktif dari lindi hitam sedang menarik untuk diselidiki secara luas. Salah satu produksi lindi hitam dapat dihasilkan dari limbah proses pembuatan bioetanol tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang dapat dijadikan karbon aktif. Indonesia termasuk negara yang kaya akan kelapa sawitnya, kelapa sawit merupakan komoditi perkebunan penghasil minyak sawit (*Crude palm oil*) yang menjanjikan (Suhartati *et al.*, 2016)

Komposit karbon aktif-diatomit banyak digunakan sebagai adsorben dengan aplikasi yang berbeda-beda. Diatomit menunjukkan sifat adsorptif yang baik terhadap polutan anorganik, sedangkan karbon aktif pada dasarnya mikroporous dan hidrofobik, serta baik untuk mengadsorpsi molekul non polar. Karena kedua sifat adsorptif saling melengkapi, maka dapat menjadi salah satu pengadsorpsi yang baik untuk beberapa aplikasi spesifik seperti pemisahan dan proses pemurnian.

Metode

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Stirrer (Termolyne), *pretreatment reactor*, alat *pressing*, timbangan analitik (Sartorius), *flocculation-tester*, Centrifuge (Combi 514R), Furnace (WiseTherm), Fortex (WiseMix), Shaker (LabTech), GC-MS, CHN Analyzer, BET, FTIR (*Fourier Transform Infra Red Spectrophotometer*), SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray*) dan alat-alat gelas. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS), NaOH 10%, PAC (*Poly Aluminium Chloride*), dimetil ftalat (ALDRICH $\geq 99\%$), diatomit, HCl 0,1 N, HCl 0,5 N, NaOH 0,1 N, dan heksana.

Pembuatan karbon aktif lindi hitam menggunakan metode koagulasi-flokulasi dengan menambahkan variasi PAC (*Poly Aluminium Chloride*) dan *aquadest* yaitu 1:1. Kemudian diaduk cepat 200 rpm selama 10 menit dan pengadukan lambat 50 rpm selama 120 menit, lalu didiamkan selama 24 jam. Sampel disentrifugasi dengan kecepatan 1000 rpm selama 10 menit pada suhu 4°C, kemudian dikeringkan pada suhu 50°C. Lindi hitam kemudian dihaluskan dan diayak sampai berukuran 80 mesh, serbuk lindi hitam dikarbonisasi pada suhu 575°C selama 1 jam (Sari *et al.*, 2015). Lindi hitam yang telah menjadi karbon kemudian diaktivasi menggunakan metode aktivasi fisika pada suhu 725°C, dengan dialiri gas inert (argon) selama 40 menit.

Diatomit dengan karbon aktif lindi hitam dikompositkan dengan perbandingan rasio 3:2, setelah homogen lalu diaktivasi kembali menggunakan metode aktivasi fisika pada suhu 725°C, dengan dialiri gas argon selama 40 menit, aktivasi kimia juga dilakukan dengan menambahkan HCl 0,5 N untuk menghilangkan garam yang mengendap pada pori-pori komposit (Wang *et al.*, 2012). Lalu, sampel dicuci dengan *aquadest* sampai semua residu asam menghilang (netral).

Kajian adsorpsi dimetil ftalat pada komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit menggunakan metode *batch* dan dilakukan dengan beberapa variasi yaitu uji pengaruh konsentrasi optimum dimetil ftalat dan uji pengaruh dosis adsorben. Uji pengaruh konsentrasi optimum dimetil ftalat menggunakan konsentrasi 1, 5, 10, 25 dan 50 ppm. Uji pengaruh dosis adsorben menggunakan 0,25; 0,05; 0,075 dan 0,1 gr, dimana masing-masing variasi dilakukan dengan perlakuan yang sama menggunakan kecepatan agitasi 100 rpm pada suhu 30°C selama 120 menit pada pH 5, kemudian dianalisis menggunakan GC-MS.

Hasil dan Pembahasan

Pembuatan karbon aktif lindi hitam menggunakan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang berasal dari *pilot plant* produksi bioetanol di Pusat Penelitian Kimia LIPI Serpong. TKKS memiliki komposisi seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dilakukan perlakuan awal untuk memisahkan selulosa dengan lignin menggunakan perlakuan fisik dan perlakuan kimia, TKKS dicampurkan dengan NaOH 10% pada *pretreatment reactor*. Penggunaan bahan kimia NaOH bertujuan untuk memisahkan lignin yang melapisi selulosa pada TKKS, dikarenakan NaOH mampu mengikat lignin atau lilin yang menutupi selulosa. Mekanisme yang terjadi adalah saponifikasi ikatan-ikatan ester antar lignin dan hemiselulosa (Sun, 2002). Selain diperoleh padatan TKKS juga diperoleh lindi hitam sebagai residu proses, yang kemudian residu lindi hitam tersebut akan dijadikan karbon aktif. Kemudian dilakukan proses koagulasi-flokulasi menggunakan PAC, menurut Irfan *et al.* (2013) metode koagulasi-flokulasi menggunakan PAC merupakan pilihan terbaik untuk mengolah limbah lindi hitam karena lebih murah daripada metode lain seperti filtrasi membran dan

ozonisasi. Selain itu PAC sangat baik dalam pengurangan warna pada lindi hitam, lumpur yang dibentuk oleh PAC berwarna putih kecoklatan. Gambar 1 menunjukkan hasil yang optimum dalam penghilangan warna dan endapan lumpur sampel.



Gambar 1. Lindi hitam setelah proses koagulasi-flokulasi

Pada Gambar 1 menunjukkan hasil yang optimum dalam penghilangan warna dan endapan lumpur pada sampel. Selain itu, pengadukan cepat bertujuan untuk mendispersikan bahan kimia secara merata pada lindi hitam, yang menyebabkan destabilisasi muatan partikel koloid pada limbah dan mengurangi gaya tolak menolak antar partikel koloid, sehingga partikel koloid akan membentuk flok-flok kecil (mikroflok). Pengadukan lambat akan menyebabkan mikroflok beraglomerasi (berkumpul) membentuk flok yang lebih besar dan relatif lebih berat sehingga dapat dengan mudah diendapkan (Klimiuk *et al.*, 1999). Selanjutnya proses pengeringan menggunakan oven dan proses karbonisasi pada sampel. Dapat dilihat Gambar 2 lindi hitam yang telah dihaluskan dan lindi hitam yang telah dikarbonisasi.



(a)

(b)

Gambar 2. Lindi hitam (a), lindi hitam karbonisasi (b)

Pada Gambar 2 menunjukkan lindi hitam yang telah dihaluskan dan dikarbonisasi dengan suhu 575°C selama 1 jam. Karbon aktif memiliki struktur berpori yang dapat menyerap berbagai polutan seperti pewarna dan ion logam. Menurut Sari *et al.* (2017) proses karbonisasi berfungsi untuk menghilangkan kandungan sampel dari unsur-unsur yang tidak mengandung karbon.

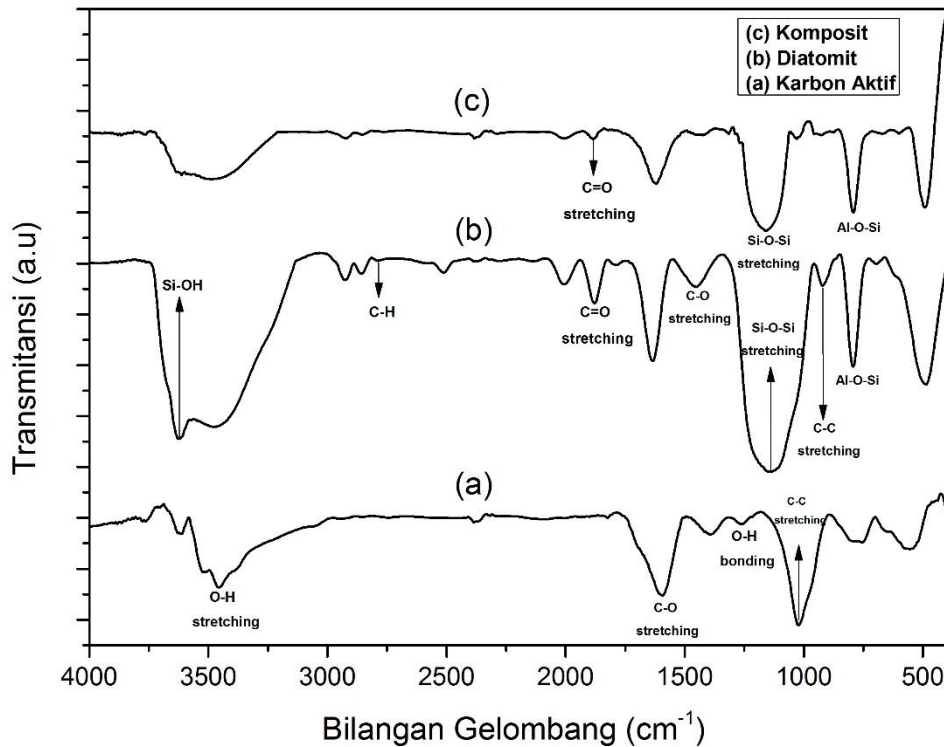


Gambar 3. Komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit

Gambar 3 karbon aktif lindi hitam yang telah dicampurkan dengan diatomit, kemudian material di aktivasi dengan furnace tube suhu 725°C selama 40 menit di aliri gas argon. Gas argon berfungsi sebagai

gas pelindung, sehingga pada proses aktivasi dengan suhu tinggi material tidak teroksidasi dengan oksigen yang akan menyebabkan material terdapat abu.

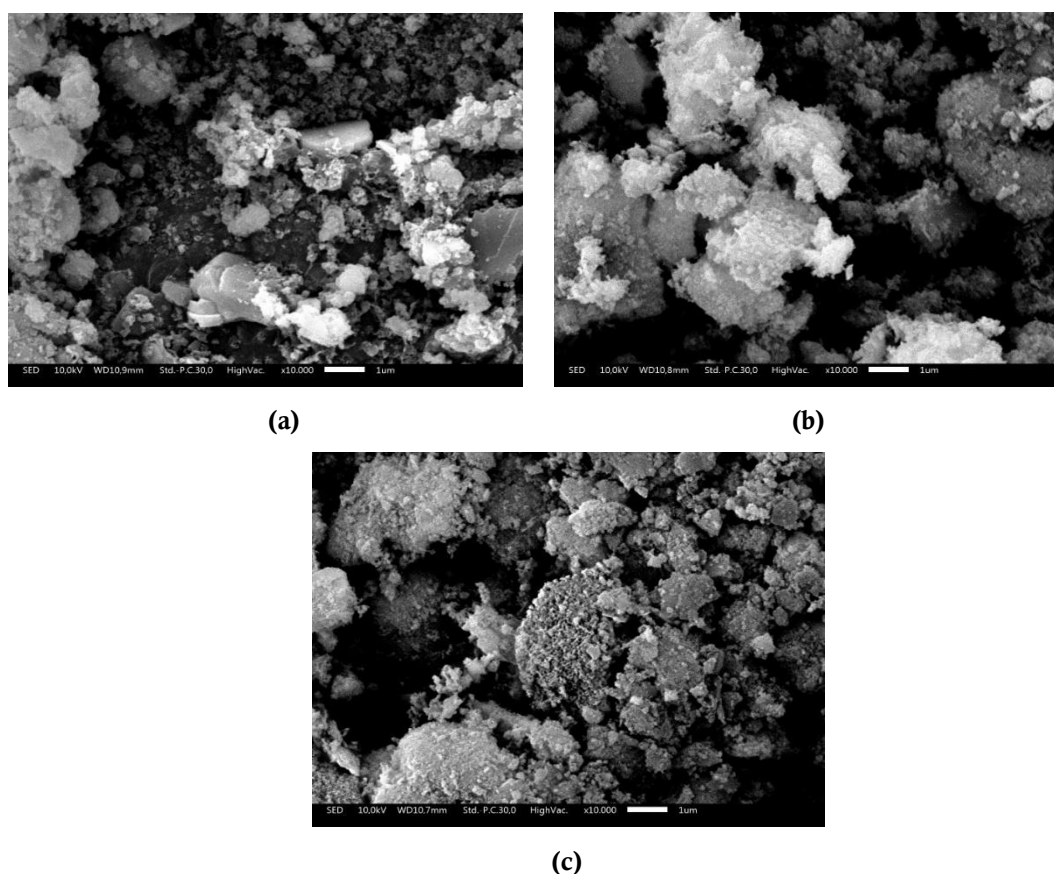
Dilakukan analisis FT-IR pada ketiga material yaitu karbon aktif lindi hitam, diatomit dan komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit. Uji FT-IR untuk mengetahui gugus fungsi yang pada ketiga material tersebut. Seperti pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Kurva spektrum analisis FT-IR

Perbedaan material karbon aktif lindi hitam dengan material diatomit yang telah termodifikasi, menunjukkan karakteristik gugus fungsi yang signifikan. Terdapat beberapa perubahan *peak* (pita serapan) pada grafik FT-IR antara material yang belum dimodifikasi, yaitu karbon aktif dan diatomit dengan material komposit karbon aktif lindi hitam yang telah dimodifikasi dengan diatomit. Pada material diatomit pita serapan pada bilangan gelombang 1045-1080 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi Si-O-Si *stretching* (Silika dan Oksigen), lalu pada bilangan gelombang 790-800 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi Al-O-Si (Tzvetkova, 2016). Adapun gugus silanol (Si-OH) berasal dari air yang terserap oleh material diatomit. Berbeda dengan material sebelumnya, pada material karbon aktif didominasi oleh beberapa macam pita serapan yang berasal dari unsur C, H dan O dalam bentuk gugus -C-C-, O-H, C-O, dan C-H. Dengan adanya modifikasi pada material komposit, pita serapan menunjukkan bahwa puncak gugus Si-O-Si tidak lagi sebesar pada material diatomit dikarenakan adanya kehadiran gugus penyusun dari material karbon aktif, tetapi pada spektrum material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit menunjukkan bahwa material dominan diatomit, dapat dilihat gugus fungsi spesifik diatomit seperti Si-O-Si dan Al-O-Si masih cukup tajam lekukan pita serapannya.

Selain dilakukan analisis FT-IR, ketiga material juga dianalisis menggunakan SEM-EDX, untuk mengetahui struktur maupun bentuk permukaan material. Hasil analisis SEM-EDX ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil SEM material karbon aktif (a), diatomit (b) dan komposit (c)

Hasil analisis SEM masing-masing perbesaran 10.000 kali menunjukkan material diatomit menempel pada permukaan karbon aktif sehingga mekanisme adsorpsi yang terjadi cukup efektif dan efisien. Dengan memodifikasi kedua material tersebut menjadi komposit sejumlah sistem multi fasa gabungan antara dua material yang memiliki sifat dan karakteristik saling mendukung pada mekanisme penyerapan senyawa polutan dalam limbah cair. Selain itu, diduga sampel diatomit berubah menjadi mesopori dengan menempelkan beberapa gugus fungsi ke pori-pori karbon aktif, sehingga mengakibatkan penyempitan ukuran pori-pori pada material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit (Hadjar, 2008). Lebih lanjut, secara fisik material karbon aktif berwarna hitam pekat sedangkan material diatomit berwarna coklat muda. Proses modifikasi perbandingan 2:3 pada karbon aktif-diatomit menghasilkan material komposit yang memiliki warna hitam yang berasal dari dominasi warna material karbon aktif. Kandungan penyusun material karbon aktif, diatomit dan komposit disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan penyusun material karbon aktif, diatomit dan komposit

Elemen (Wt%)	Material		
	Karbon Aktif	Diatomit	Komposit
C	56,35	9,84	14,08
O	37,41	41,82	36,03
Na	0,43	0,26	-
Al	5,09	0,99	2,79
Si	0,72	46,37	46,38
Mg	-	0,14	0,15
Ca	-	0,14	-
Fe	-	0,44	0,56

Hasil analisis EDX dapat diketahui bahwa material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit mengandung unsur-unsur yang terdapat pada material karbon aktif lindi hitam maupun material diatomit. Sebelum proses modifikasi, unsur terbesar penyusun dari material diatomit adalah silika, sedangkan pada material karbon aktif unsur terbesar yang terkandung adalah karbon. Setelah proses modifikasi, persentase unsur penyusun material komposit karbon aktif-diatomit menjadi lebih seimbang antara karbon, silika,

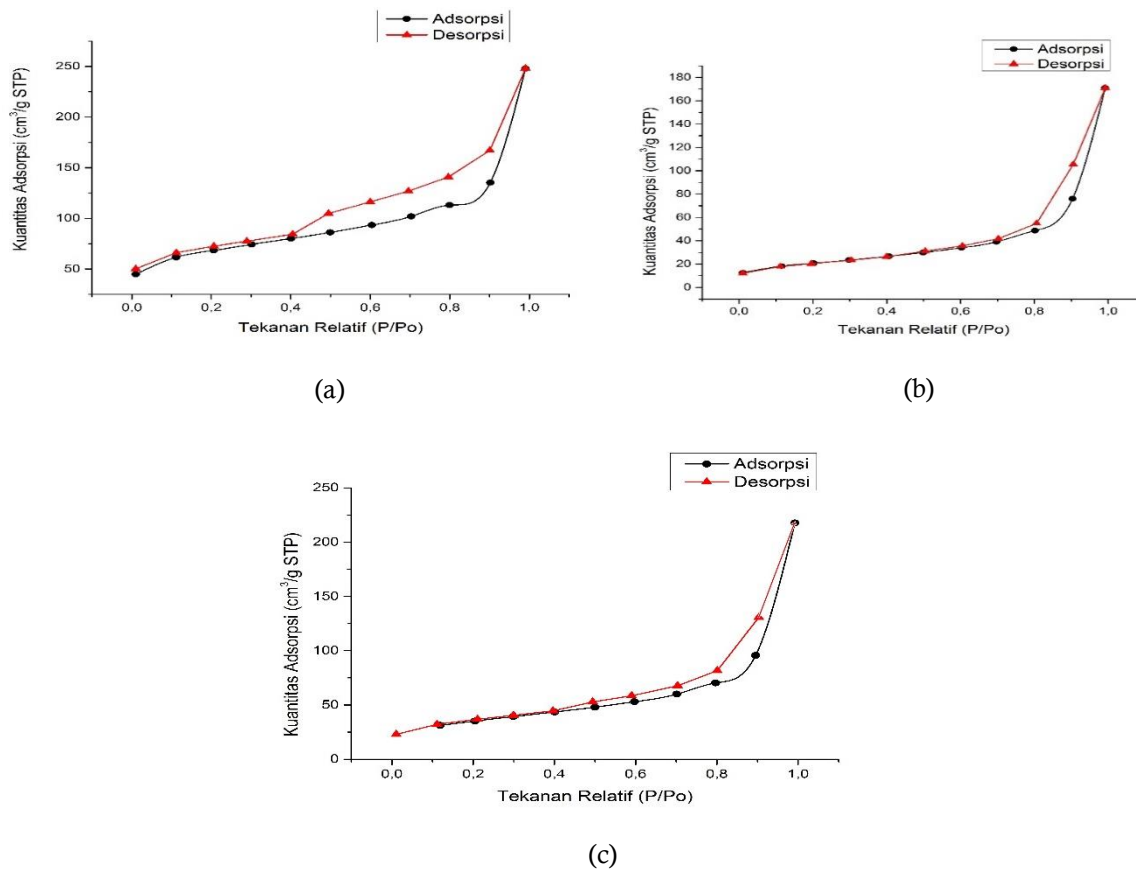
serta beberapa unsur penyusun lainnya, seperti oksigen, aluminium dan sebagainya. Dalam proses modifikasi material komposit menyebabkan perubahan unsur dari penyusun material tersebut, ini dibuktikan juga pada analisis FT-IR yang menunjukkan bahwa material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit mengandung bahan penyusun antara karbon aktif lindi hitam dengan diatomit. Untuk mengetahui luas permukaan material, dilakukan uji BET yang hasilnya terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis BET

Material	Luas Permukaan (m^2/g)	Vol. Pori (cm^3/g)	Jari Pori (nm)
Diatomit	72,293	0,264	14,637
Karbon Aktif	228,381	0,383	6,713
Komposit	121,22	0,33	11,112

Material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit memiliki luas permukaan yang lebih kecil dari karbon aktif, diduga karena rasio komposit yaitu 2:3 untuk karbon aktif:diatomit, yang ditunjukkan bahwa diatomit memiliki luas permukaan $72,293 \text{ m}^2/\text{g}$, sehingga dapat mempengaruhi luas permukaan dari komposit itu sendiri. Hasil analisis BET didukung oleh hasil analisis SEM, pada hasil analisis SEM gambar permukaan material menunjukkan bahwa material diatomit menempel pada karbon aktif, sehingga terjadi penyempitan ukuran pori-pori pada material komposit.

Didapatkan pula hasil isoterm adsorpsi-desorpsi material karbon aktif lindi hitam, diatomit dan komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit. Hasil diperoleh disajikan pada Gambar 6..



Gambar 6. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi material karbon aktif (a), diatomit (b) dan komposit (c)

Dari ketiga kurva tersebut menunjukkan bahwa sifat komponen awal material karbon aktif lindi hitam dan diatomit sangatlah berpengaruh pada tekstur material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit. Dalam hal ini isoterm diatomit dan komposit memiliki kuantitas adsorpsi dan desorpsi yang relatif sama, yaitu kisaran pada $40\text{-}50 \text{ cm}^3/\text{g}$ STP dan tekanan relatif kisaran $0,4\text{-}0,5 \text{ P}/\text{Po}$, hasil tersebut menunjukkan pengaruh material diatomit. Sementara tekanan relatif pada kisaran $0,7\text{-}0,83 \text{ P}/\text{Po}$ menunjukkan adanya efek material karbon aktif.

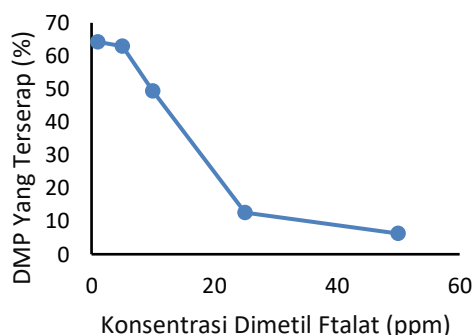
Kurva tersebut memberikan kesimpulan bahwa ukuran pori komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit memiliki jenis mesopori dan masuk ke dalam isoterm adsorpsi-desorpsi tipe IV. Ini disebabkan adanya perbedaan bentuk dan ukuran agregat pada kedua sampel karbon aktif dan diatomit, serta pori-pori dari kedua material yang mengalami proses disintegrasi agregat selama perlakuan panas yang mendorong perubahan ukuran pori (Tzvetkova *et al.*, 2016)

Analisis CHN juga dilakukan untuk mengetahui komposisi karbon, hidrogen dan nitrogen pada material. Hasil analisis CHN akan dibuktikan dengan hasil analisis EDX. Dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis CHN

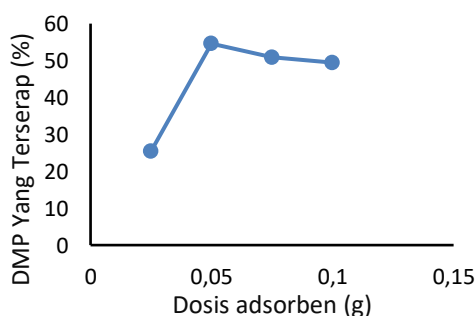
Material	Carbon (%)	Hidrogen (%)	Nitrogen (%)
Karbon Aktif	35,749	3,723	0,660
Diatomit	0,496	1,348	0,136
Komposit	11,619	1,629	0,304

Hasil analisis CHN menunjukkan bahwa material yang banyak mengandung karbon adalah karbon aktif, terbukti pada analisis EDX juga karbon aktif memiliki kandungan senyawa karbon (C) yang dominan. Sedangkan material diatomit memiliki kandungan senyawa karbon, hidrogen dan nitrogen paling sedikit, ini dikarenakan diatomit merupakan batuan sedimen yang mengandung silika (Arik, 2002). Kemudian pada material komposit memiliki kandungan karbon sebesar 11,619%, dikarenakan pada material komposit juga mengandung unsur penyusun dari diatomit, ini dibuktikan dalam analisis FTIR maupun EDX yang menunjukkan bahwa kandungan material komposit terdiri dari unsur penyusun karbon aktif dan diatomit. Kajian adsorpsi yang dilakukan yaitu untuk mengetahui konsentrasi optimum dan dosis adsorben optimum dalam adsorpsi dimetil ftalat pada material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



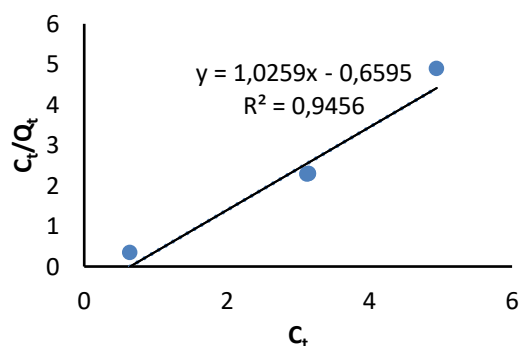
Gambar 7. Kurva uji pengaruh konsentrasi

Hasil pada Gambar 7 menunjukkan efisiensi penyerapan senyawa dimetil ftalat pada konsentrasi 1 ppm sebesar 64,2%. Kemudian diuji dengan konsentrasi yang lebih pekat yaitu 5, 10, 25 dan 50 ppm menunjukkan penurunan efisiensi penyerapan yang cukup banyak. Ini dikarenakan semakin pekat larutan yang di kontakkan oleh material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit akan semakin sulit terjerap, karena material akan jenuh oleh dimetil ftalat sehingga material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit tidak mampu lagi menyerap dimetil ftalat.

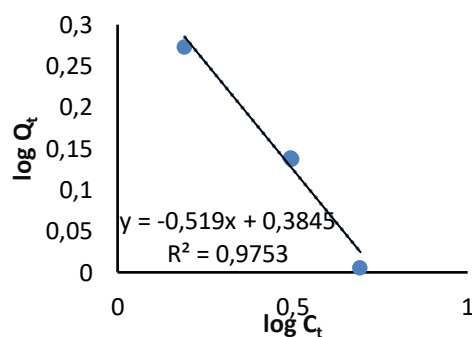


Gambar 8. Kurva uji pengaruh dosis adsorben

Gambar 8 menunjukkan bahwa dosis adsorben seberat 0,025 gr mengalami penurunan senyawa dimetil ftalat sebesar 25,4% lalu dosis adsorben di tambahkan menjadi 0,05 gr menjadi 54,5%. Kemudian pada dosis adsorben 0,075 dan 0,1 gr terjadi penurunan efisien penyerapan yang tidak banyak. Ini diduga material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit lebih didominasi oleh proses adsorpsi secara fisika melalui gaya *van der waals* pada permukaan komposit maka dari itu dimetil ftalat hanya menempel pada permukaan material sehingga mudah terlepas kembali (Yuan, 1997). Yang terakhir dilakukan juga uji isoterm adsorpsi *Langmuir* dan *Freundlich*, sehingga didapatkan hasil seperti pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Kurva isoterm adsorpsi *Langmuir*



Gambar 10. Kurva isoterm adsorpsi *Freundlich*

Nilai koefisien korelasi (r) dari kedua persamaan tersebut, yaitu *Langmuir* dan *Freundlich* yang memiliki nilai r^2 yang paling besar atau mendekati satu merupakan kurva yang paling sesuai. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (r), adsorpsi dimetil ftalat oleh material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit mengikuti persamaan Freundlich dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,9753. Dengan demikian, dapat diasumsikan bahwa material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit memiliki pusat-pusat aktif adsorben heterogen dan adsorbat membentuk lapisan multimolekuler pada permukaan adsorben (Edwin, 2015).

Simpulan

Material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit dapat mengadsorpsi dimetil ftalat sebanyak 64,2% pada konsentrasi 1 ppm dengan waktu kontak 120 menit pH 5 dan dosis adsorben optimum yaitu 0,05 gr sebesar 54,5%, material komposit karbon aktif lindi hitam-diatomit memiliki pusat aktif adsorben heterogen dan adsorbat membentuk lapisan multimolekuler pada permukaan adsorben ini dibuktikan dengan uji isoterm adsorpsi dimana nilai koefisien korelasi (r) mengikuti persamaan isoterm adsorpsi *Freundlich* yaitu $r = 0,9753$.

Daftar Pustaka

Arik, H., Kadir, S., & Aruntas, H.Y. 2002. Characteristics and Temperature of Ankara Kizilcahamam Diyatomitlerinini Optional Investigation of Phase Transformation. *Journal of Institute of Science Technology*, 15: 103-103

- Edwin, E., Sherliy., Syarifuddin., Paulina, T., 2015. Pemanfaatan Karbon Aktif Tempurung Kenari sebagai Adsorben Fenol dan Klorofenol dalam Periran. *Marina Chimica Acta*, 6: 9-15
- Fulazzaky, M. 2015. *Mikro Polutan dalam Air Limbah dan Pilihan Teknologi untuk Pengolahan.* (Review). Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Hadjar, H., Hamdi, B., Jaber, M., Brendle, Z., Kessaissia, H., Balard., & Donnet, J.B. 2008. *Elaboration and Characterization of New Mesoporous Materials from Diatomite and Charcoal.* 107. 219-226
- Irfan, M.B., Tahir, I., Naz, A., Naeem, A.K., Ruaf, S., & Amir. 2013. The Removal of COD, TSS, and Colour of Black Liquor by Coagulation-Flocculation Process at Optimized pH, Settling and Dosing Rate. *Arabian Journal of Chemistry*, 1878-5352
- Klimiuk, E., Filipkowska, U., & Korzeniowska, A. 1999. Effect of pH and Coagulant Dosage of Coagulation of Reactive Dyes from Model Wastewater by Polyalumunium Chloride (PAC). *Polish Journal of Enviromental Studies*, 2: 73-79
- Sari, A.A., Amriani, F., Muryanto, M., Triwulandari, E., Sudiyani, Y., Barlianti, V., & Hadibarata, T. 2017. Mechanisme, Adsorption Kinetics and Applications of Carbonaceous Adsorbents Derived from Black Liquor Sludge. *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 77: 236-243
- Sari, A.A., Kurniawan, H.H., Nurdin, M., & Abimanyu, H. 2015. Decolorization of Black Liquor Wastewater Generated from Bioethanol Process by Using Oil Palm Empty Fruit Bunches. *Energy Procedia*, 68: 254-262
- Suhartati, S., Puspito, R., Rizali, F., & Anggraini, D. 2016. Analisis Sifat Fisika dan Kimia Lignin Tandan Kosong Kelapa Sawit Asal Desa Sape, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 24-29
- Sun, Y., Cheng, J. 2002. Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review. *Bioresource Technology*, 83: 1
- Tzvetkova, P., Nickolov, R., Tzvetkova, C. 2016. Diatomite/Carbon Adsorbent for Phenol Removal. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 51 (2): 202-209
- Yuan, P., Wu, D.Q., He, H.P., & Lin, Z.Y. 1997. The Hydroxyl Species and Acid Sites on Diatomite Surface: A Combined IR and Raman Study. *Applied Surface Science Journal*, 227: 30-39
- Wang, Z, Nie, E., Li, J., Yang, M., Zhao, Y., Luo, X., & Zheng, Z. 2012. Equilibrium and Kinetics of Adsorption of Phospate onto Iron-Doped Activated Carbon. *Enviromental Science and Pollution Research*, 19(7): 2908-2917