



## Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Alamat Prosiding: [sinta.eng.unila.ac.id](http://sinta.eng.unila.ac.id)



### Kajian pola isoterm adsorpsi zat pewarna kristal violet pada adsorben dari karbon cangkang kelapa sawit dengan pelapisan partikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Buhani <sup>a,\*</sup>, F Luziana <sup>a</sup>, Suharso <sup>a</sup>, M Rilyanti <sup>a</sup>, Sumadi <sup>b</sup> dan D Permatasari <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

<sup>b</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

#### INFORMASI ARTIKEL

#### ABSTRAK

##### Riwayat artikel:

Diterima 28 September 2020

Direvisi 12 Nopember 2020

##### Kata kunci:

Adsorpsi  
Karbon aktif  
Karbon aktif- $\text{Fe}_3\text{O}_4$   
Kristal violet

Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pola isoterm adsorpsi dari karbon aktif (AC) yang berasal dari cangkang kelapa sawit (PPAC) yang dilapisi dengan partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) sebagai adsorben untuk menyerap zat pewarna kristal violet (CV) dalam air. Hasil karakterisasi adsorben PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dibandingkan dengan PPAC meliputi analisis dengan *X-ray diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy-energy dispersive-X ray* (SEM-EDX) menunjukkan bahwa telah terjadi pelapisan partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Proses adsorpsi zat pewarna CV pada PPAC dan PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dilakukan dengan metoda batch pada kondisi pH 10 dengan dosis adsorben sebesar  $2,5 \text{ g L}^{-1}$ , dan waktu kontak 90 menit. Model isoterm adsorpsi zat pewarna CV pada PPAC dan PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  cenderung mengikuti isoterm adsorpsi Freundlich dengan harga  $K_F$  masing-masing sebesar 1,066 dan 2,852 ( $\text{mg g}^{-1}$ ) ( $\text{L mg}^{-1}$ )<sup>1/n</sup>. Proses adsorpsi zat pewarna CV terjadi pada permukaan yang heterogen dengan lapisan multilayer yang terjadi melalui pori-pori karbon aktif serta sifat magnet pada PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  telah meningkatkan jumlah zat pewarna CV yang teradsorpsi.

## 1. Pendahuluan

Krystal violet (CV) adalah pewarna tri-fenilmetan dengan rumus molekul  $\text{C}_{25}\text{N}_3\text{H}_{30}\text{Cl}$  banyak digunakan sebagai agen dermatologis dalam berbagai proses tekstil komersial (Senthilkumar *et al.* 2006). Pewarna kristal violet ditemukan sebagai salah satu agen yang menimbulkan keracunan dalam ekosistem air yang menimbulkan masalah bagi makhluk hidup (Sharma *et al.* 2011). Oleh karena itu, untuk mereduksi bahaya yang dapat ditimbulkan dari sisa penggunaan zat pewarna CV, maka pengurangan zat warna ini pada limbah industri perlu dilakukan, terutam pada pengolahan limbah sebelum terjadi penyebaran ke lingkungan.

Berbagai metode telah banyak digunakan untuk mengurangi zat warna pada limbah seperti oksidasi (Vaiano *et al.* 2015), koagulasi dan flokulasi (Saitoh *et al.* 2014), adsorpsi (Buhani *et al.* 2019) dan pertukaran ion. Dari berbagai metode yang telah disebutkan diatas, metode adsorpsi merupakan metode yang paling banyak digunakan karena memiliki efisiensi yang tinggi (Ali *et al.* 2012). Selain itu, adsorpsi juga memiliki keunggulan lainnya seperti biaya

yang realtif murah, metode yang lebih sederhana, bersifat ramah lingkungan serta tidak adanya efek samping yang beracun (Buhani *et al.* 2015 (des water); Chaudhuri *et al.* 2016; Calvete *et al.* 2010).

Salah satu material yang banyak digunakan sebagai adsorbent zat perwarna organik yang bersifat toksik adalah karbon aktif. Karbon aktif (AC) sering disebut "material masa depan", karena memiliki kemampuan yang sangat baik dalam sejumlah aplikasinya bagi berbagai industri, baik *home industry* maupun *manufacturing industries*.

Berkaitan dengan banyaknya penggunaan karbon aktif tersebut, maka permintaan pasar akan AC semakin meningkat. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk memproduksi AC dari limbah agroindustri, seperti limbah yang berasal dari cangkang kelapa sawit. Salah satu pemanfaatan AC yang paling umum digunakan adalah sebagai adsorben dalam pengolahan limbah kimia. Akan tetapi seiring dengan peningkatan jumlah dan jenis limbah yang terdapat dilingkungan, maka diperlukan juga peningkatan kualitas AC sehingga memiliki karakter yang lebih spesifik agar dapat lebih efektif sebagai adsorben.

\*Penulis korespondensi.

E-mail: [buhani\\_s@yahoo.co.id](mailto:buhani_s@yahoo.co.id) (Buhani).

Oleh karena itu dilakukan peningkatan kualitas AC, antara lain dengan memberikan sifat magnet pada AC melalui teknik pelapisan partikel superparamagnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Adanya sifat magnet pada karbon aktif dapat memisahkan adsorbat dengan cepat dan proses adsorpsi terjadi pada temperatur ruang (Wong *et al.* 2016). Teknik pelapisan material dengan partikel magnetit merupakan teknik yang ramah lingkungan, karena tidak membentuk produk yang mengandung kontaminasi seperti padatan tersuspensi, selain itu mempercepat proses pemisahan logam dari larutan karena adsorben bersifat magnet (Mohmood *et al.* 2016; Buhani *et al.* 2017). Selain itu, pelapisan AC dengan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  akan menghasilkan AC yang stabil dalam kondisi asam (Qimeng *et al.* 2015). Hasil penelitian Buhani *et al.* (2017) menunjukkan bahwa modifikasi adsorben dengan dengan pelapisan magnetit meningkatkan laju dan kapasitas adsorpsi terhadap adsorbat.

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan adsorben dari material AC yang berasal dari cangkang kelapa sawit (PPAC) yang dilapisi dengan partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) sebagai adsorben untuk menyerap zat pewarna CV. Selanjutnya, adsorben PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dikaji pola isoterm adsorpsinya terhadap zat pewarna CV dalam air.

## 2. Metodologi

### 2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu cangkang kelapa sawit yang berasal dari limbah pengolahan kelapa sawit di Provinsi Lampung, Indonesia. Kristal Violet,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , dan  $\text{NaOH}$ .

### 2.2 Pembuatan adsorben

Cangkang kelapa sawit dibersihkan dan dikeringkan dibawah sinar matahari. selanjutnya dikarbonisasi selama 6 jam sehingga diperoleh karbon dari cangkang kelapa sawit. Karbon dihaluskan dan diayak dengan ayakan berukuran 200 mikron. Karbon yang telah halus diaktivasi secara kimia menggunakan larutan 10%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sesuai dengan perosedur yang telah dilakukan oleh (Senthilkumar *et al.* 2006) untuk menghasilkan powder karbon aktif dari tempurung kelapa sawit (PPAC). Selanjutnya, pembuatan PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dilakukan dengan cara melarutkan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ke dalam 200 mL akuades dan ditambahkan PPAC. Kemudian suspensi dipanaskan pada suhu 80 °C selama 2 jam dan ditambahkan 50 mL larutan basa yang terbuat dari campuran  $\text{KNO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  tetes demi tetes sambil diaduk secara konstan dengan alat pengaduk magnet. Selanjutnya suspensi yang dihasilkan disonikasi pada suhu 80 °C selama 1 jam dan disimpan semalam. Hasil suspensi disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C (Buhani *et al.* 2019).

### 2.3 Karakterisasi Adsorben

Adsorben PPAC dan PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dikarakterisasi dengan XRD (Shimadzu 6000) untuk mengetahui tingkat kekristalan material. Karakterisasi morfologi permukaan dan konstituen unsur diinvestigasi dengan SEM-EDX (Zeiss MA10).

### 2.4 Eksperimen Adsorpsi

Proses adsorpsi zat pewarna CV pada adsorben PPAC dan PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dilakukan menggunakan metoda batch melalui proses pengadukan menggunakan shaker (Stuart-reciprocating shaker, SSL2, Cole-Parmer). Proses adsorpsi

zat pewarna CV pada PPAC dan PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dilakukan dengan metoda batch pada kondisi pH 10 dengan dosis adsorben sebesar 2.5 g L<sup>-1</sup>, dan waktu kontak 90 menit dengan konsentrasi awal larutan CV masing-masing 10-300 mg L<sup>-1</sup>. Adsorben dan larutan CV diinteraksikan dengan cara n diaduk menggunakan alat pengaduk pada waktu kontak optimum. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 15 menit. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 591 nm.

Jumlah zat pewarna CV yang teradsorpsi perunit massa adsorben dan persentase CV teradsorpsi ditentukan menggunakan persamaan 1.

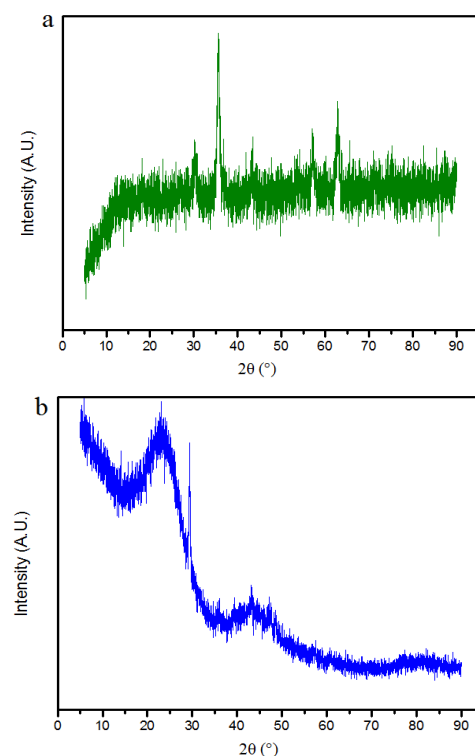
$$q = \frac{(C_o - C_e)v}{w} \quad (1)$$

Dimana  $C_o$  dan  $C_e$  (mg L<sup>-1</sup>) adalah konsentrasi ion logam sebelum dan setelah proses adsorpsi,  $w$  adalah jumlah adsorben (g), dan  $v$  adalah volume larutan (L),  $q$  adalah jumlah CV teradsorpsi perunit massa (mg g<sup>-1</sup>).

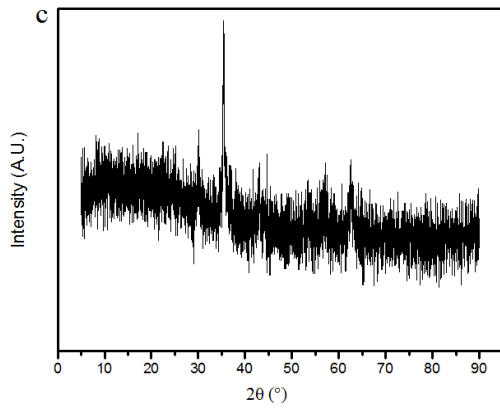
## 3. Hasil dan pembahasan

### 3.1 Karakterisasi adsorben

Pembuatan material PACC dilakukan dengan mengaktifkan karbon dari cangkang kelapa sawit secara kimia menggunakan larutan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  10% dan dilanjutkan dengan proses pelapisan partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  untuk menghasilkan PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Kedua adsorben tersebut dikarakterisasi meliputi tingkat kekristalan dengan XRD dan morfologi permukaan, dan konstituen unsur penyusun material dengan SEM-EDX.

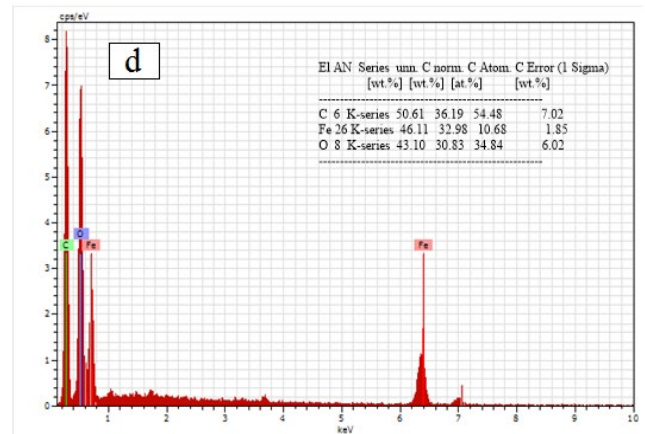
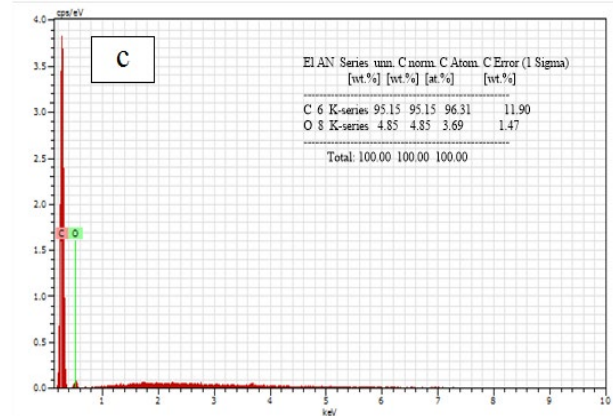


**Gambar 1.** Pola difraksi XRD a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , b) PPAC, dan c) PPAC- $\text{Fe}_3\text{O}_4$



Gambar 1. lanjutan

Gambar 1 menampilkan pola XRD dari  $Fe_3O_4$ , PPAC, dan PPAC- $Fe_3O_4$ . Pada Gambar 1 dapat dilihat, adanya puncak asimetris yang luas pada  $2\theta$  dari  $25-45^\circ$  yang mengindikasikan bentuk karbon amorph yang khas (Wong, *et al.* 2015). Pola XRD pada PPAC- $Fe_3O_4$  menunjukkan terjadinya perubahan berkurangnya fasa karbon amorph ke fasa kristalin yang ditandai adanya puncak difraksi pada  $30.05^\circ$ ;  $35.55^\circ$ ;  $43.37^\circ$ ;  $57.43^\circ$ ; dan  $62.91^\circ$  berasal dari nanokristal  $Fe_3O_4$  (Li *et al.* 2011). seperti yang terdapat pada pola difraksi - $Fe_3O_4$ . Hal ini, menunjukkan bahwa telah terjadi pelapisan partikel  $Fe_3O_4$  pada PPAC.

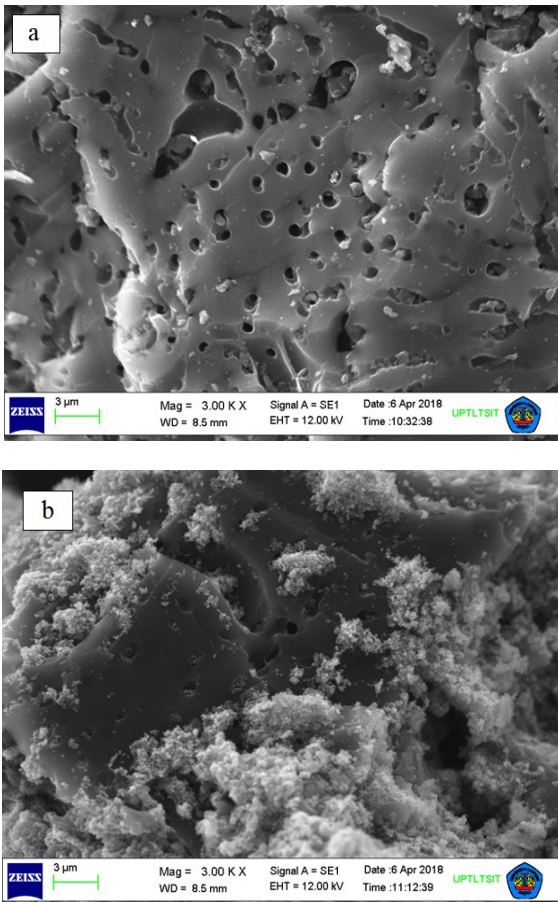


Gambar 2. lanjutan

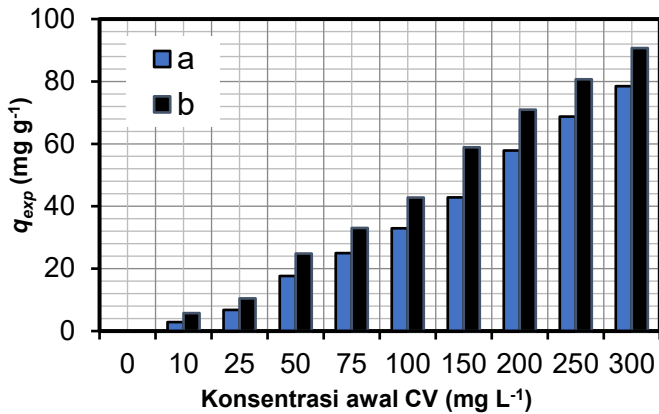
Perbedaan morfologi permukaan antara material PPAC dan PPAC- $Fe_3O_4$  dapat dilihat pada Gambar 2a dan 2b. Pada PPAC terdapat pori-pori yang seragam (Gambar 2a) dan setelah adanya pelapisan partikel  $Fe_3O_4$  terjadi penurunan jumlah pori-pori pada PPAC- $Fe_3O_4$  (Gambar 2b). Penurunan pori pada PPAC- $Fe_3O_4$  dikarenakan terjadi pemblokiran pori-pori yang signifikan oleh pelapisan partikel  $Fe_3O_4$  (Wong *et al.* 2015). Hal ini didukung oleh data yang terdapat pada hasil analisis dengan EDX yang menunjukkan bahwa pada material PPAC- $Fe_3O_4$ , selain adanya unsur C dan O yang merupakan unsur penyusun material PPAC (Gambar 2c) juga terdapat unsur Fe yang berasal dari partikel  $Fe_3O_4$  (Gambar 2d).

### 3.2 Pengaruh konsentrasi adsorbat

Pengaruh konsentrasi awal zat pewarna CV terhadap kemampuan adsorpsi dari PPAC dan PPAC- $Fe_3O_4$  dipelajari melalui interaksi larutan CV pada konsentrasi awal yang bervariasi dengan range antara  $0-300 \text{ mg L}^{-1}$ . Jumlah zat pewarna CV teradsorpsi per gram ( $q_{exp}$ ) vs konsentrasi awal dalam larutan ( $C_0$ ) ditampilkan dalam Gambar 3. Dari Gambar tersebut dapat diamati bahwa terjadi peningkatan jumlah zat pewarna CV yang teradsorpsi dengan meningkatnya konsentrasi zat pewarna CV yang digunakan. Adsorpsi zat pewarna CV meningkat tajam pada konsentrasi awal yang rendah dan secara bertahap meningkat pada konsentrasi tinggi, menunjukkan bahwa PPAC- $Fe_3O_4$  memiliki afinitas adsorpsi yang tinggi terhadap zat pewarna CV. Peningkatan adsorpsi tersebut berkaitan dengan jumlah situs aktif yang tersedia pada permukaan adsorbent (Atar *et al.* 2012).



Gambar 2. Spektra SEM dan EDX dari PPAC (a,c) dan PPAC- $Fe_3O_4$  (b,d)



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi awal adsorbat terhadap jumlah zat pewarna CV teradsorpsi

3.3 Isoterm adsorpsi

Pola isotherm adsorpsi zat pewarna CV pada PPAC dan PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> diinvestigasi menggunakan model isotherm adsorpsi Langmuir (Persamaan 2) dan Freundlich (Persamaan 3), Dubinin-Raduskevich (D-R) (Persamaan 4) (Buhani *et al.* 2013). Model isotherm adsorpsi zat pewarna CV pada PPAC dan PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ditampilkan pada Gambar 4. Data adsorpsi dianalisis dengan persamaan isotherm adsorpsi menghasilkan karakteristik parameter isotherm adsorpsi yang disajikan pada Tabel 1.

Model isotherm adsorpsi Langmuir mengasumsikan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan, permukaan adsorben bersifat uniform dan proses adsorpsi bersifat monolayer yang dinyatakan dalam persamaan 2 (Xin *et al.* 2012).

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (2)$$

Dimana  $C_e$  (mg L<sup>-1</sup>) adalah konsentrasi kesetimbangan larutan CV,  $q_e$  (mg g<sup>-1</sup>) adalah kapasitas adsorpsi CV pada saat kesetimbangan,  $q_m$  kapasitas adsorpsi monolayer adsorben dan  $K_L$  adalah konstanta kesetimbangan (L mg<sup>-1</sup>).  $K_L$  dan  $q_m$  dapat ditentukan dari persamaan linier plot  $\log 1/q_e$  versus  $C_e$  yang akan menghasilkan garis lurus dengan  $1/q_m K_L$  sebagai slope dan  $1/q_m$  sebagai intersep. Untuk model isotherm Freundlich merupakan Persamaan empiris yang digunakan untuk menggambarkan sistem heterogen dan adsorpsi pada multilayer (Shao *et al.* 2016) yang dinyatakan melalui persamaan 3.

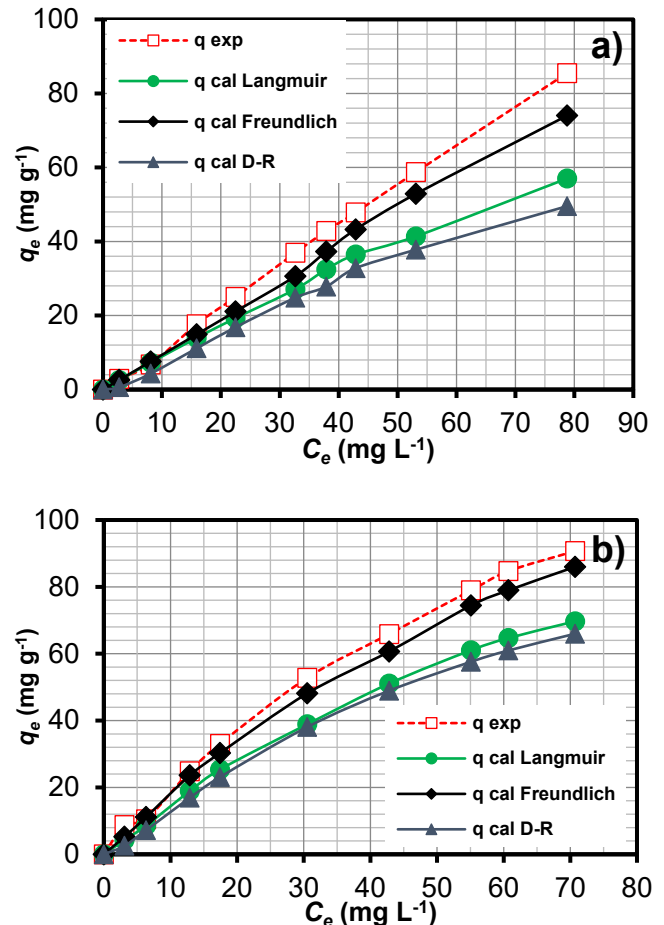
$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

Dimana,  $K_F$  ((mg g<sup>-1</sup>) (L mg<sup>-1</sup>)<sup>1/n</sup>) adalah faktor kapasitas adsorpsi dan  $n$  adalah faktor intensitas adsorpsi, dengan harga  $n$  berkisar antara 1-10 (Buhani *et al.* 2018). Selanjutnya, plot  $\log q_e$  versus  $\log C_e$  akan menghasilkan  $K_F$  dan eksponen  $n$ .

Isoterm D-R dapat digunakan untuk menerangkan adsorpsi yang terjadi pada permukaan homogen dan heterogen. Model isotherm adsorpsi D-R dapat dinyatakan sebagai persamaan 4.

$$\ln q_e = q_{DR} - 2B_{DR} RT \ln(1 + 1/C_e) \quad (4)$$

Dimana,  $R$  konstanta gas (8.314 kJ mol<sup>-1</sup>), dan  $T$  adalah temperatur absolut (K),  $q_{DR}$  dan  $B_{DR}$  merupakan konstanta isotherm D-R dalam mg g<sup>-1</sup> dan mol<sup>2</sup> kJ<sup>-2</sup>. Selanjutnya plot  $\log q_e$  vs  $\ln(1 + 1/C_e)$  akan menghasilkan *slope* dan *intercept*.



Gambar 4. Isoterm adsorpsi zat pewarna CV pada a) PPAC dan b) PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Parameter adsorpsi CV oleh PPAC dan PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang terdapat dalam Tabel 1 menunjukkan koefisien regresi persamaan linier ( $R^2$ ) model isotherm adsorpsi Freundlich (PPAC dan PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> masing-masing 0,992 and 0,991 ) lebih besar dibandingkan dengan isotherm D-R dan Langmuir. Hal ini, menunjukkan bahwa isotherm adsorpsi zat pewarna CV lebih sesuai dengan model isotherm adsorpsi Freundlich yang didukung dengan pola adsorpsi dari hasil eksperimen lebih mendekati model Freundlich (Gambar 4). Isotherm adsorpsi Freundlich menggambarkan bahwa proses adsorpsi zat pewarna CV terjadi pada permukaan yang heterogen dengan lapisan multilayer. Hal ini mengindikasikan bahwa adsorpsi zat pewarna CV pada PPAC dan PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> didominasi oleh interaksi fisika yang terjadi melalui pori-pori karbon aktif serta sifat magnet dari adsorben pada PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> telah meningkatkan jumlah zat pewarna CV yang teradsorpsi (Buhani *et al.* 2019). Pada Tabel 1 dapat diamati bahwa (jumlah CV teradsorpsi yang ditentukan dari hasil eksperimen ( $q_{m(exp)}$ ) pada PPAC dan PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> masing-masing sebesar 88,495 dan 95,715 mg g<sup>-1</sup>.

Tabel 1. Parameter isotherm adsorpsi Langmuir, Freundlich, and D-R untuk adsorpsi zat pewarna CV pada PPAC and PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

	Adsorben	ACC	ACC-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
	$q_{m(exp)} (mg g^{-1})$	88,495	95,715
<b>Model</b>			
<b>Langmuir</b>			
	$q_m (mg g^{-1})$	81,301	84,746
	$K_L \times 10^{-2} (L mol^{-1})$	1,454	2,106
	$R^2$	0,539	0,664
<b>Freundlich</b>			
	$K_F (mg g^{-1}) (L mg^{-1})^{1/n}$	1,066	2,852
	$n$	0,985	1,210
	$R^2$	0,992	0,991
<b>Dubin-Raduskevich</b>			
	$q_{DR} (mg g^{-1})$	96,188	119,677
	$B_{DR}$	$2,6 \times 10^{-6}$	$2,7 \times 10^{-7}$
	$R^2$	0,934	0,963

#### 4. Kesimpulan

Pelapisan partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> pada PPAC untuk menghasilkan adsorben berbasis karbon yang bersifat magnet telah meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon terhadap zat pewarna kristal violet. Kecenderungan model adsorpsi zat pewarna CV mengikuti model isotherm adsorpsi Freundlich menggambarkan bahwa proses adsorpsi zat pewarna CV terjadi pada permukaan yang heterogen dengan lapisan multilayer, ini mengindikasikan bahwa adsorpsi zat pewarna CV pada PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> didominasi oleh interaksi fisika yang terjadi melalui pori-pori karbon aktif serta sifat magnet dari adsorben pada PPAC-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> telah meningkatkan jumlah zat pewarna CV yang teradsorpsi.

#### Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi/ Badan Riset dan Inovasi Nasional Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui kontrak dengan No. 179/SP2H/AMD/LT/DPRM/2020.

#### Daftar pustaka

- Ali, I., Asim, M., Khan, T.A. (2012) Low-cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater, *Journal of Environmental Management*, 113, 170–183.
- Atar, N., Olgun, A., Wang, S. (2012) Adsorption of cadmium(II) and zinc(II) on boron enrichment process waste in aqueous solutions: Batch and fixed-bed system studies, *Chemical Engineering Journal*, 192, 1–7.
- Buhani, Suharso, Fitriyani, A.Y. (2013) Comparative study of adsorption ability of Ni(II) and Zn(II) ionic imprinted

- amino-silica hybrid toward target metal in solution, *Asian Journal of Chemistry*, 25(5), 2875–2880.
- Buhani, Narsito, Nuryono, E.S., Kunarti, Suharso. (2015) Adsorption competition of Cu(II) ion in ionic pair and multi-metal solution by ionic imprinted amino-silica hybrid adsorbent, *Desalination and Water Treatment*, 55, 1240–1252.
- Buhani, Rinawati, Suharso, D.P., Yuliasari, S.D., Yuwono. (2017) Removal of Ni(II), Cu(II), and Zn(II) ions from aqueous solution using *Tetraselmis* sp. biomass modified with silica-coated magnetite nanoparticle, *Desalination and Water Treatment*, 80, 203–213
- Buhani, Puspitarini, M., Rahmawaty, Suharso, Rilyanti, M., Sumadi. (2018) Adsorption of phenol and methylene blue in solution by oil palm shell activated carbon prepared by chemical activation, *Oriental Journal Of Chemistry*, 34(4), 2043–2050.
- Buhani, Hariyanti, F., Suharso, Rinawati, Sumadi. (2019) Magnetized algae-silica hybrid from *Porphyridium* sp. biomass with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> particle and its application as adsorbent for the removal of methylene blue from aqueous solution, *Desalination and Water Treatment*, 142, 331–340.
- Calvete, T., Lima, E.C., Cardoso, N.F., Dias, S.L.P., Ribeiro, E.S. (2010) Removal of brilliant green dye from aqueous solutions using home made activated carbons, *Clean-Air Soil Water*, 38, 521–532.
- Chaudhuri, H., Dash, S., Ghorai, S., Pal, S., Sarkar, A. (2016) SBA-16: Application for the removal of neutral, cationic, and anionic dyes from aqueous medium, *Journal of Environmental Chemical*, 4(1), 157–166.
- Li, Q., Qi, Y., Gao, C. (2015) Chemical regeneration of spent powdered activated carbon used in decolorization of sodium salicylate for the pharmaceutical industry, *Journal of Cleaner Production*, 86, 424–431.
- Mohmood, I., Lopes, C.B., Lopes, I., Tavares, C.B., Soares, C.B., Duarte, A.C., Trindade, T., Ahmad, I., Pereira, E. (2016) Remediation of mercury contaminated saltwater with functionalized silica coated magnetite nanoparticles, *Science of the Total Environment*, 557-558, 712–721.
- Qimeng, L., Yanshan, Q., Canzhu, G. (2015) Chemical regeneration of spent powdered activated carbon used in decolorization of sodium salicylate for the pharmaceutical industry, *Journal of Cleaner Production*, 86, 424–431.
- Saitoh, T., Saitoh, M., Hattori, C., Hiraide, M. Rapid (2014) Removal of cationic dyes from water by co precipitation with aluminum hydroxide and sodium dodecyl sulfate, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 752–758.
- Senthilkumar, S., Kalaamani, P., Subburaam, C.V. (2006) Liquid phase adsorption of crystal violet onto activated carbons derived from male flowers of coconut tree, *Journal Hazardous Materials*, B136, 800–808.
- Shao, Y., Zhou, L., Bao, C., Ma, J., Liu, M., Wang, F. (2016) Magnetic responsive metal-organic frameworks nanosphere with core-shell structure for highly efficient removal of methylene blue, *Chemical Engineering Journal*, 283, 1127–1136.
- Sharma, M., Anubha, K., Kaushik, C.P. (2011) Waste biomass of *Nostoc linckia* as adsorbent of crystal violet dye: Optimization based on statistical model, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65(3), 513-521.

- Vaiano, V., Sacco, O., Sannino, D., Ciambelli, P. (2015) Nanostructured N-doped TiO<sub>2</sub> coated on glass spheres for the photocatalytic removal of organic dyes under UV or visible light irradiation, *Applied Catalysis B: Environmental*, 170–171, 153–161.
- Wong, K.T., Yoon, Y., Snyder, S.A., Jang, M. (2016) Phenyl-functionalized magnetic palm-based powdered activated carbon for the effective removal of selected pharmaceutical and endocrine-disruptive compounds, *Chemosphere*, 152, 71–80.
- Xin, X., Wei, Q., Yang, J., Yan, L., Feng, R., Chen, G. Du, B., Li, H. (2012) Highly efficient removal of heavy metal ions by amine-functionalized mesoporous Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles, *Chemical Engineering Journal*, 184, 132-14.