

## PEMANFAATAN AMPAS KOPI TERAKTIVASI $H_3PO_4$ SEBAGAI BIOSORBEN ZAT WARNA *REMAZOL YELLOW FG*

P. M. I. Wahyuni, I. E. Suprihatin\*, I G. A. K. S. P. Dewi

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana  
Jalan Kampus Unud-Jimbaran, Jimbaran-Bali, Indonesia*

*\*Email: [eka\\_suprihatin@unud.ac.id](mailto:eka_suprihatin@unud.ac.id)*

---

### ABSTRAK

Ampas kopi merupakan salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai biosorben. Biosorben ampas kopi ini dapat digunakan untuk menurunkan kandungan zat warna pada limbah tekstil seperti *Remazol Yellow FG*. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan konsentrasi optimum aktivator  $H_3PO_4$ , kondisi optimum dan kapasitas adsorpsi biosorben ampas kopi. Preparasi biosorben ampas kopi melalui tahap pencucian, pengeringan, pengayakan dan aktivasi dengan penambahan  $H_3PO_4$  berbagai konsentrasi. Karakterisasi ampas kopi meliputi luas permukaan yang dianalisis menggunakan metilen biru, keasaman permukaan, dan identifikasi gugus fungsi dengan Fourier Transform Infrared (FTIR) Shimadzu/IR Prestige 21. Hasil aktivasi biosorben terbaik diperoleh pada konsentrasi  $H_3PO_4$  sebesar 0,3 M (KAH). Kondisi optimum adsorpsi zat warna *Remazol Yellow FG* yakni pada waktu kontak 60 menit dan pH 2. Kapasitas adsorpsi biosorben yang diperoleh sebesar 30,2115 mg/g. Model isotherm yang terbaik yakni isotherm adsorpsi *Langmuir* dengan  $R^2$  sebesar 0,9851

**Kata kunci:** adsorpsi *Langmuir*, ampas kopi, biosorben, limbah tekstil, *Remazol Yellow FG*

### ABSTRACT

Coffee residue is a waste that can be used as a biosorbent to reduce the concentration of dye agents in textile waste, such as *Remazol Yellow FG*. This research aimed to determine the optimum concentration of  $H_3PO_4$  as an activator, the optimum adsorption conditions, and the adsorption capacity of the coffee residue biosorbent. The preparation of the biosorbent was conducted by washing, drying, sieving, and activating with the addition of  $H_3PO_4$  solutions at various concentrations. The biosorbent was characterized for its surface area using the methylene blue method, surface acidity, and functional group contents using Fourier Transform Infrared (FTIR) Shimadzu/IR Prestige 21. The optimum condition for activation using  $H_3PO_4$  was with a concentration of 0,3 M (KAH), while the adsorption of *Remazol Yellow FG* was 60 minutes of contact time and pH 2. The biosorbent adsorption capacity was 30.2115 mg/g. The adsorption process followed a *Langmuir* adsorption isotherm with an  $R^2$  value of 0.9851.

**Keywords:** *Langmuir* adsorption, coffee residue, biosorbent, textile waste, *Remazol Yellow FG*

### PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara terpadat keempat di dunia setelah China, India dan Amerika Serikat. Jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2019 adalah 268.074.565 (Badan Pusat Statistik, 2020). Jumlah penduduk akan terus meningkat, seperti halnya kebutuhan hidup khususnya air bersih. Krisis air bersih terjadi di beberapa daerah di Indonesia yang disebabkan oleh pengolahan air limbah industri yang tidak tepat sehingga berdampak negatif terhadap lingkungan (khususnya air). Salah satu pencemar dalam air limbah industri yang sulit diatasi adalah zat warna. Umumnya pewarna tekstil terbuat dari bahan non-biodegradable karena mengandung senyawa aromatik yang kompleks dan sulit terurai

oleh mikroorganisme (Irawati dkk. 2018). Senyawa organik dalam limbah cair umumnya tergolong teratogen, karsinogen dan mutagen sehingga dapat menimbulkan efek negatif yang serius bagi kesehatan manusia. Pewarna tekstil yang umum digunakan di industri adalah *Remazol Yellow FG* (RYFG).

Zat warna RYFG bersifat reaktif dan sering digunakan oleh industri batik. Zat warna ini sebetulnya secara alami dapat terdegradasi oleh sinar ultraviolet di bawah sinar matahari namun sangat lambat sehingga zat warna akan lebih cepat terakumulasi di dasar air atau tanah sehingga berpotensi mencemari lingkungan (Maghfiroh dkk. 2016).

Metode adsorpsi efektif dalam mengatasi pencemaran yang disebabkan oleh air limbah

industri dengan hasil yang efisien (Satyam dan Patra, 2024). Ukuran molekul adsorbat harus lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben agar adsorpsi dapat berjalan dengan baik. Lamanya waktu tinggal antara adsorben dan adsorbat biasanya sejalan dengan peningkatan kapasitas adsorpsi (Setiorini dkk. 2018).

Ampas kopi banyak digunakan sebagai adsorben atau penyerap karena kandungan selulosa dan hemiselulosa dalam ampas kopi yang cukup tinggi (berturut-turut sebesar 33,57% dan 47,9%) (Diana dkk. 2020). Unsur-unsur dalam ampas kopi mencakup 47,8-58,9% karbon, 1,9-2,3% nitrogen, dan 0,43-1,6% abu (Guntama dkk. 2023). Ampas kopi juga sangat mudah ditemukan, didukung banyaknya *coffee shop* di Bali.

Proses aktivasi adsorben dapat dilakukan dengan metode fisika dan kimia. Pada penelitian ini ampas kopi diaktivasi secara kimiawi menggunakan asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) sebagai aktivatornya, karena dapat membersihkan pori-pori, memperluas permukaan adsorben dan memberikan gugus aktif. (Sahara dkk. 2017).

Dalam artikel ini dilaporkan tentang konsentrasi  $H_3PO_4$  optimum aktivasi biosorben ampas kopi, pH dan waktu kontak optimum, serta kapasitas adsorpsi terhadap zat warna *remazol yellow FG*.

## MATERI DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah ampas kopi yang diperoleh dari beberapa *coffee shop*,  $H_3PO_4$  (p.a), zat warna *remazol yellow FG*, metilen biru, NaOH,  $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ , HCl, indikator PP.

### Alat

Alat yang digunakan adalah neraca analitik, desikator, *magnetic stirrer*, oven, pH meter, alat-alat gelas, ayakan 40 mesh, Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu/UV-1800 dan FTIR Shimadzu/IR Prestige-21.

### Cara Kerja

#### Pembuatan Biosorben

Limbah ampas kopi dicuci dengan aquades hingga filtratnya bening. Ampas kopi dikeringkan dalam oven pada  $70^\circ C$  hingga beratnya konstan dan diayak dengan ukuran 40 mesh. Diperoleh biosorben tanpa aktivasi (K0).

### Aktivasi Biosorben

Biosorben K0 diaktivasi  $H_3PO_4$  dengan variasi konsentrasi 0,1; 0,3; 0,5 dan 0,7 M. Sebanyak 5 gram K0 dicampur 50 mL  $H_3PO_4$  0,1 M dan diaduk selama 4 jam. Campuran disaring dan dibilas hingga pH netral (pH 7). Biosorben dikeringkan pada  $70^\circ C$ . Diperoleh biosorben KA 0,1; 0,3; 0,5 dan 0,7.

### Penentuan Keasaman Permukaan

Sebanyak 0,1 gram biosorben K0, KA 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 ditambahkan ke dalam 10 mL NaOH 0,1 M. Campuran diaduk selama 15 menit, kemudian ditambah 2-3 tetes indikator PP dan dititrasi dengan HCl 0,1 M hingga tidak berwarna. Biosorben optimum adalah yang keasaman permukaannya paling tinggi (KAH). Keasaman permukaan biosorben dihitung dengan persamaan:

$$\text{Keasaman total} = \frac{[(V1-V2) \times M \text{ HCl}]}{B} \quad (1)$$

Keterangan:

- V1 = volume HCl blanko (mL)
- V2 = volume HCl biosorben (mL)
- B = massa biosorben (g)

### Penentuan Daya Serap Metilen Biru dan Luas Permukaan

Metilen biru dikalibrasi dengan konsentrasi 1-4 mg/L pada panjang gelombang maksimum ( $\lambda_{max}$ ) 664,40 nm. Sebanyak 0,1 g K0 dan KAH masing-masing ditambah 50 mL metilen biru 50 mg/L diaduk dengan variasi waktu 5, 10, 15, 20, 40 dan 60 menit dan disaring. Absorbansi filtrat diukur dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 664,40 nm. Kapasitas adsorpsi metilen biru dan luas permukaan biosorben dihitung dengan persamaan:

$$Q_e = \frac{C_1 - C_2}{1000} \times V \times \frac{1}{B} \quad (2)$$

$$S = \frac{Q_e \cdot N \cdot a}{M_r} \quad (3)$$

Keterangan:

- Qe = massa adsorbat teradsorpsi (mg/g)
- C<sub>1</sub> = konsentrasi awal adsorbat (mg/L)
- C<sub>2</sub> = konsentrasi akhir adsorbat (mg/L)
- V = volume adsorbat (mL)
- S = luas permukaan biosorben (m<sup>2</sup>/g)
- N = bilangan Avogadro ( $6,022 \times 10^{23}$  molekul/mol)
- a = luas penutupan oleh 1 molekul metilen biru ( $1,97 \times 10^{-18}$  m<sup>2</sup>/molekul)
- M<sub>r</sub> = massa molekul relative matilen biru (319,85 g/mol)

### Penentuan Gugus Fungsi

Biosorben K0, KAH dan KAH setelah penyerapan ditentukan spektra infra merahnya untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung. Analisis ini menggunakan Spektrofotometer Shimadzu/IR Pesticide-21

### Pembuatan Kurva Standar Zat Warna (RYFG)

RYFG berkonsentrasi 20 mg/L diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mendapatkan  $\lambda_{max}$  pada range 300-600 nm. Kurva standar dibuat dengan zat warna RYFG berkonsentrasi 10, 15, 20, 25, 30 dan 35 mg/L yang masing-masing diukur absorbansinya pada  $\lambda_{max}$ .

### Penentuan Kondisi Optimum

Biosorben KAH sebanyak 0,5 g ditambahkan ke dalam 25 mL larutan RYFG 100 mg/L dengan variasi pH 2, 4, 6 dan 8 yang diatur dengan penambahan NaOH atau HCl 0,1 M. Campuran diaduk selama 45 menit dan disaring. Filtrat diukur absorbansinya pada  $\lambda_{max}$  RYFG. Selanjutnya untuk menentukan waktu optimum, 25 mL RYFG pada pH optimum dan 0,5 g KAH dimasukkan kedalam erlenmeyer dan diaduk dengan variasi waktu 30, 45, 60 dan 90 menit. Campuran disaring dan diukur absorbansinya pada  $\lambda_{max}$  RYFG. Zat warna yang teradsorpsi dihitung dengan persamaan (2).

### Penentuan Isoterm Adsorpsi Biosorben pada Kondisi Optimum

Larutan RYFG dengan konsentrasi 50-1000 mg/L pada pH optimum ditambah 0,5 g KAH diaduk selama waktu kontak optimum. Campuran disaring dan diukur absorbansinya pada  $\lambda_{max}$  RYFG. Pola isoterm yang digunakan yaitu *Langmuir* dan *Freundlich* dengan persamaan sebagai berikut:

Persamaan *Langmuir* (Adamson, 1990):

$$\frac{C}{Q_e} = \frac{1}{bK} + \frac{C}{b} \quad (4)$$

Keterangan:

C = konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L)

Q<sub>e</sub> = massa adsorbat teradsorpsi (mg/g)

b = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

K = konstanta kesetimbangan (L/mg)

Dibuat plot antara C/Q<sub>e</sub> terhadap C untuk memperoleh persamaan linear dengan slope  $\frac{1}{b}$  dan intersept  $\frac{1}{bK}$  sehingga nilai K dan b dapat ditentukan.

Persamaan *Freundlich* (Kumar dkk. 2013):

$$\log Q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad (5)$$

n = konstanta yang menyatakan lapisan multilayer

Dibuat plot antara log Q<sub>e</sub> terhadap log C untuk memperoleh persamaan linear dengan slope  $\frac{1}{n}$  dan intersept log K sehingga nilai K dan n dapat ditentukan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Keasaman Permukaan dan Jumlah Situs Aktif

Keasaman permukaan ditentukan untuk mengetahui jumlah mmol situs asam pada tiap gram biosorben ampas kopi. Situs asam yang tinggi dapat meningkatkan daya adsorpsi adsorben. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 1. Jumlah situs aktif biosorben KA 0,3 paling tinggi yakni  $6,0746 \times 10^{20}$  molekul/g, dibandingkan KA 0,7 dengan jumlah situs aktif paling rendah yakni  $4,2339 \times 10^{20}$  molekul/g. Naiknya situs aktif disebabkan oleh aktivator yang berperan dalam melarutkan pengotor yang menutupi pori-pori serta dapat menghambat proses adsorpsi (Sahara dkk. 2017). KA 0,7 memiliki situs aktif paling sedikit diduga akibat konsentrasi aktivator yang tinggi dapat merusak struktur biosorben sehingga situs aktifnya berkurang (Muljani dan Erliyanti, 2018). Biosorben yang bersifat asam mengandung situs asam Bronsted dan asam Lewis yang berguna untuk mengikat adsorbat (Mustikawati dkk. 2018). Ampas kopi teraktivasi optimum adalah KA 0,3 yang selanjutnya dinamakan biosorben KAH.

**Tabel 1** Keasaman permukaan biosorben

Biosorben	Keasaman permukaan rata-rata (mmol/g)	Jumlah situs aktif x10 <sup>-20</sup> (molekul/g)
K0	0,7642±0,0098	4,6020
KA 0,1	0,9323±0,05	5,6145
KA 0,3	1,0087±0,12	6,0746
KA 0,5	0,9934±0,02	5,9825
KA 0,7	0,7031±0,11	4,2339

Keterangan:

K0 :biosorben ampas kopi tanpa aktivasi

KA 0,1 :biosorben ampas kopi teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,1 M

KA 0,3 :biosorben ampas kopi teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,3 M

KA 0,5 :biosorben ampas kopi teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,5 M

KA 0,7 :biosorben ampas kopi teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,7 M

### Daya Serap Metilen Biru dan Luas Permukaan

Daya serap terhadap metilen biru mengindikasikan kemampuan biosorben dalam mengadsorpsi larutan berwarna berukuran 1,5-2,5 nm. Luas permukaan pada biosorben berhubungan dengan kemampuan biosorben dalam mengadsorpsi adsorbat, dimana semakin tinggi luas permukaan suatu biosorben semakin banyaklah adsorbat yang teradsorpsi (Siswarni dkk. 2017).

Pada penelitian ini diperoleh daya serap dan luas permukaan biosorben K0 berturut-turut sebesar 12,0347 mg/g dan 44,6371 m<sup>2</sup>/g sedangkan KAH berturut-turut sebesar 12,1199 mg/g dan 44,9532 m<sup>2</sup>/g. Perbedaan luas permukaan biosorben K0 dan KAH disebabkan pengotor dalam pori-pori KAH telah larut oleh activator. Namun perbedaannya kurang signifikan, hal ini mungkin karena waktu aktivasi ampas kopi yang kurang lama, sehingga pengotor dalam pori belum seluruhnya larut.

### Gugus Fungsi Biosorben

Hasil analisa FTIR biosorben K0 dan KAH (Tabel 2) menunjukkan adanya gugus fungsi –OH diduga berasal dari pektin, selulosa, hemiselulosa dan lignin dalam ampas kopi (Nurhidayat dkk. 2023). Namun puncak gugus –OH lebih banyak tampak pada biosorben KAH dibandingkan K0 karena adanya pemutusan rantai polimer akibat proses aktivasi. Keberadaan –NH dan C-H diduga dari sisa kafein dalam ampas kopi karena kafein mengandung gugus metil (-CH<sub>3</sub>) yang berkontribusi pada serapan C-H, serta gugus amina pada gugus -NH (Nurhidayanti dkk. 2021). Pita yang cukup tajam dihasilkan oleh getaran tekuk ikatan O-H yang memastikan adanya senyawa seperti pektin dan selulosa (Sutisna dkk. 2023)

Getaran C=C aromatic dan C-O diduga berasal komponen utama kopi seperti kafein, asam klorogenat dan senyawa fenolik yang menyumbangkan pita serapan pada rentang tersebut (Deswardani dkk. 2022). Dugaan gugus P-O-C pada biosorben KAH menandakan adanya gugus fosfat yang terikat akibat aktivasi oleh H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Gugus fungsi ini akan memberikan muatan negatif pada adsorben, sehingga dapat menurunkan efisiensi penyerapan RYFG yang bersifat anionik (negatif) (Zulichatun dkk. 2018).

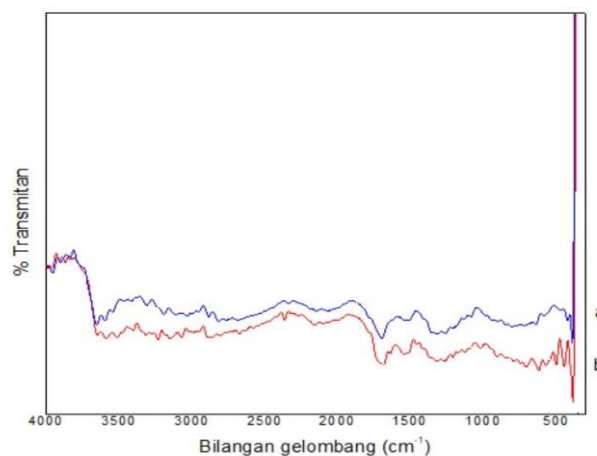
Hasil pengamatan spektra biosorben K0 dan KAH menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan dan hanya terjadi sedikit pergeseran bilangan gelombang serta

intensitasnya menjadi lebih besar. Hal ini membuktikan bahwa proses aktivasi tidak menghilangkan gugus dalam biosorben ampas kopi dan gugus fungsi pada biosorben KAH lebih banyak.

Spektra FTIR biosorben ampas kopi yang diperoleh ini sama seperti pada penelitian Lafi dkk. (2014) mengenai ampas kopi sebagai adsorben zat warna *Toluidine Blue* dan *Crystal Violet*.

### Pengaruh pH terhadap Daya Adsorpsi Biosorben

pH merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi karena dapat mempengaruhi muatan adsorben (Anggraini dkk. 2021). Pada Tabel 3 terlihat pH optimum terjadi pada larutan RYFG pH 2 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 4,9035 mg/g. Penurunan drastis terjadi dari pH 4 ke 6 dan 8, diduga karena perubahan distribusi muatan pada biosorben dan zat warna sebagai akibat terjadinya reaksi protonasi dan deprotonasi gugus dalam biosorben. Jumlah ion H<sup>+</sup> lebih melimpah pada pH 2 sehingga permukaan biosorben bermuatan positif, sedangkan zat warna RYFG bermuatan negatif akibat terdisosiasi menjadi gugus sulfonat (-SO<sup>3-</sup>). Perbedaan muatan tersebut mengakibatkan adanya interaksi elektrostatik antara adsorben dan zat warna RYFG sehingga proses adsorpsi terjadi lebih efektif. Pada pH yang lebih tinggi terjadi penurunan kapasitas adsorpsi karena diduga lebih banyak ion OH<sup>-</sup> yang menyebabkan permukaan biosorben lebih bermuatan negatif sehingga akan terjadi tolakan elektrostatik dengan zat warna RYFG (Duan dkk. 2020).



**Gambar 1.** Spektra IR K0 (a) dan KAH (b)

**Tabel 2.** Data Spektrum IR Biosorben Ampas Kopi tak teraktivasi (K0) dan teraktivasi (KAH)

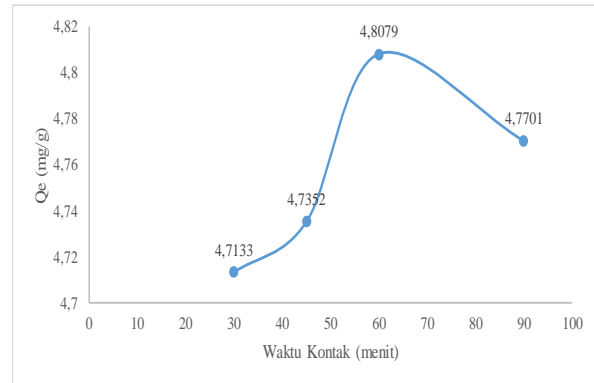
Kemungkinan gugus fungsi	Pustaka (Silverstein dkk., 2002)	Bilangan gelombang ( $cm^{-1}$ )	
		K0	KAH
-OH	3800-3000	3663	3650, 3578, 3510
-NH	3330-3060	3307	3224
C-H	3000-2840	2881	2884
-OH tekuk	1694	1697	1675
C=C aromatik	1520-1552	1520	1546
C-O	1320-1000	1258	1280
P-O-C alifatik	1050-970	-	1015
P-O-C aromatik	994-855	-	914
C-H aromatik keluar bidang	675-400	650, 432	618, 497, 442

**Tabel 3.** Kapasitas adsorpsi zat warna pada berbagai pH

pH larutan RYFG	Kapasitas adsorpsi (mg/g)
2	$4,9035 \pm 0,005$
4	$0,3201 \pm 0,02$
6	$-0,1010 \pm 0,04$
8	$-0,1292 \pm 0,02$

### Waktu Optimum Adsorpsi

Waktu kontak mempengaruhi daya adsorpsi adsorben, semakin lama waktu kontak akan memungkinkan semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi hingga kondisi kesetimbangan. Pada Gambar 2 yang menunjukkan daya serap zat warna RYFG meningkat hingga menit ke 60. Menit ke 90 terjadi penurunan yang mungkin disebabkan biosorben telah mencapai keadaan jenuh. Proses adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kontak 60 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 4,8079 mg/g. Pada tahap awal proses adsorpsi berlangsung cepat karena banyak situs aktif yang berinteraksi dengan molekul adsorbat. Jika adsorben telah mencapai titik jenuh, jumlah adsorbat yang teradsorpsi akan menurun dan tidak terjadi peningkatan signifikan meskipun waktu kontak diperpanjang (Sugiharto dkk. 2020).



**Gambar 2.** Kurva kapasitas adsorpsi pada berbagai waktu kontak

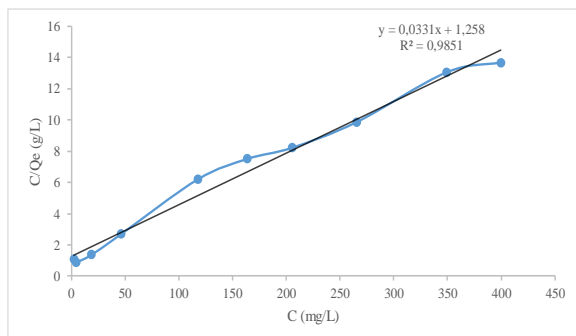
### Isoterm Adsorpsi Biosorben pada Kondisi Optimum

Penentuan tipe isoterm bertujuan untuk interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat. Isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi secara monolayer, sedangkan *Freundlich* mengasumsikan proses adsorpsi terjadi multilayer. Terlihat pada Tabel 4 jika dilihat dari persamaan regresinya tipe isoterm yang terjadi yakni *Langmuir* karena nilai  $R^2$  yang lebih mendekati 1 dibandingkan tipe *Freundlich*. Perbedaan nilai regresi yang tidak jauh berbeda memungkinkan adsorpsi yang terjadi tidak sepenuhnya monolayer. Grafik isoterm dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

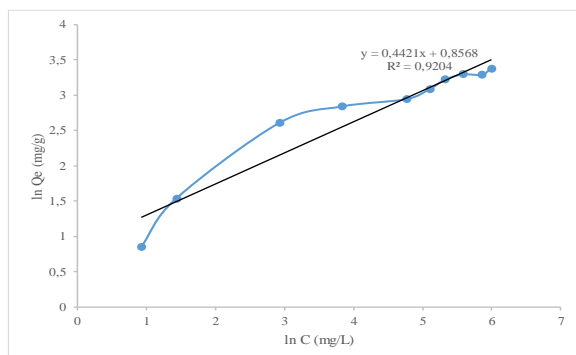
**Tabel 4.** Persamaan regresi tipe isoterm

Tipe isoterm	$R^2$
<i>Langmuir</i>	0,9851
<i>Freundlich</i>	0,9204

Nilai kapasitas adsorpsi maksimal biosorben KAH terhadap zat warna RYFG diperoleh sebesar 30,2115 mg/g yang berarti setiap 1 gram biosorben KAH dapat mengadsorpsi RYFG sebesar 30,2115 mg. Energi adsorpsi yang diperoleh sebesar 9,0139 KJ/mol, yang menyatakan jenis interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat adalah secara fisika (fisisorpsi) karena energi adsorpsinya yang  $<20$  KJ/mol. Fisisorpsi terjadi karena adanya gaya tarik Van Der Waals yang ikatannya bersifat lemah/ mudah lepas dibandingkan dengan kemisorpsi yang ikatannya lebih kuat karena terjadi pembentukan ikatan kimia (Domiruddin dkk. 2018).



**Gambar 3.** Grafik isoterm adsorpsi *Langmuir* biosorben KAH



**Gambar 4.** Grafik isotherm adsorpsi *Freundlich* biosorben KAH

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, konsentrasi aktivator optimum  $H_3PO_4$  pada biosorben ampas kopi sebesar 0,3 M dengan kondisi optimum adsorpsi zat warna RYFG pada pH 2 dan waktu kontak 60 menit. Kapasitas adsorpsi biosorben sebesar 30,2115 mg/g.

### DAFTAR PUSTAKA

Adamson. 1990. *Physical Chemistry of Surface*. John Wiley and Sons Inc. New York.

Anggraini, N., Tuty, E. dan Fitri, H. 2021. Pengaruh pH dalam Pengolahan Air Limbah Laboratorium Dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 20(2): 345-354

Badan Pusat Statistik. 2020. *Statistik Indonesia 2020*. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta

Deswardani, F., Damris, M. dan Poni, D. 2022. Karakterisasi  $TiO_2$ /Karbon Aktif Dari Ampas Kopi Dan Uji Adsorpsi-Nya Terhadap Limbah Tetrasiklin. *Journal Online of Physics*. 8(1)

Diana, Nur, I., Fakhri, F. dan Irfansyah. 2020. Preparasi Karbon Berpori dari Limbah Ampas Kopi sebagai Matriks pada Pembuatan Slow Release Fertilizer. *Eksergi*. 17(1): 11-14

Domiruddin, Winda, R. dan Anis, S. 2018. Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II) Pada Bioarang Daun Ketapang (*Terminalia catappa* Linn). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 7(4):83-92

Guntama, D., Mubarakah, N., Lukman, N., Samuel, A., Audin, T. Ayu, L. 2023. Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi Arabika (*Coffea arabica*) dengan Aktivator Asam Klorida (Asam Klorida (HCl)) dan Asam Fosfat ( $H_3PO_4$ ) Sebagai Adsorben Logam Kromin (Cr) pada Limbah Tekstil. *Jurnal Migasian*. 7(1): 1-11

Irawati, Heni. 2018. Adsorpsi Zat Warna Kristal Violet Menggunakan Limbah Kulit Singkong (*Manihot esculenta*). *Berkala MIPA*. 25(1): 17-31

Kumar, A., Chaudhary, P., dan Verma, P. 2013. Adsorption of Reactive Red 194 Dye from Textile Effluent by Using Class Fly Ash. *Ind. Eng. Chem. Res*. 1(2): 111-116.

Lafi, R., Anouar, F., Amor, and H., Hameed. 2014. Coffe Waste as Potential Adsorbent for The Removal of Basic Dyes from Aqueous Solution. *Korean J. Chem. Eng*. 1-9.

Maghfiroh, L., Ita U. dan Hendro J., 2016. Pengaruh pH Terhadap Penurunan Zat Warna *Remazol Yellow FG* oleh Adsorben Selulosa Bakterial Nata De Coco. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 5(2): 126-129.

Muljani, S. dan Erliyanti, N. 2018. Adsorben dari Limbah Industri Keramik untuk Penjernihan CPO. *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brosohardjono XIV Surabaya 4 Juli*: B 10-1 sampai 10-4.

Mustikawati, S., Simpen, N., dan Ratnayani, O. 2018. Adsorpsi Zat Warna Tekstil *Remazol Brilliant Blue* oleh Limbah Canang Daun Kelapa. *Jurnal Kimia*. 12(2): 195-200.

Nurhidayanti, N., Nur, I. dan Dhonny, S. 2021. Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Kopi sebagai Adsorben Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Arsen

- Pada Limbah Cair PT PXI. *Jurnal Tekno Insentif*. 15(2): 76-87
- Nurhidayat, Tamrin, Nur, A. 2023. Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin Pada Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao L.*) Berdasarkan Perbedaan Tingkat Kematangan Buah. *Jurnal Riset Pangan*. 1(1): 78-95
- Sahara, E., Sibarani, J., dan Kartini, N. P. W. 2017. Pemanfaatan Arang Aktif dari Limbah Tanaman Gumitir (*Tagetes erecta*) Teraktivasi Asam Fosfat sebagai Adsorben Ion  $Pb^{2+}$  dan  $Cu^{2+}$  dalam Larutan. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 5(2): 67-74.
- Sahara, E., Wahyu, D.S., & I Putu, A.S.M. 2017. Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) yang Diaktivasi dengan  $H_3PO_4$ . *Jurnal Kimia*, 11(1): 1-9
- Satyam, S. dan Patra, S. 2024. Innovations and Challenges in Adsorption-Based Wastewater. *Helion*. 10(9)
- Setiorini, I., Agusdin, Vina, M., Wilman, M. dan Anton, S. 2018. Pengaruh Massa Adsorben Karbon Aktif Batubara Terhadap Penyerapan Kandungan Nilai Cod Dan Toc Dalam Limbah Kain Jumputan Pada Rancang Bangun Alat Adsorber. *Jurnal Teknik Kimia Patra Akademika*. 9(1): 14-28
- Silverstein, RM., G.C. Bassler dan T.C. Morrill. 2002. *Penyelidikan Spektrometik Senyawa Organik Edisi 4 Terjemahan Hartomo*. Erlangga. Jakarta.
- Siswarni, M., Lara I., dan Dandri S. 2017. Pembuatan Biosorben dari Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) untuk Penyerapan Zat Warna. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6(2): 7-13.
- Sugiharto, A., Imam, H., Ahmad, F. dan Tasya, H. 2020. Pengaruh Waktu Kontak Abu Sekam Padi dan Poly Aluminium Chloride untuk Menurunkan Konsentrasi Zat Warna Rhodamin B dengan Metode AdsorpsiFluidisasi. *Jurnal Teknik Kimia*. 7(1): 77-81
- Sutisna, Ilma, E., Misto, Imam, R., Tri, M., Siswanto, Edy, S. dan Edy, W. 2023. Sintesis Satu Langkah Komposit  $TiO_2$ -Karbon Aktif Menggunakan Metode Hidrotermal dengan Variasi Massa Karbon Aktif. *Positron*. 13(1): 21-30.