

STUDI KOMPARASI ADSORPSI TIGA JENIS ZAT WARNA REMAZOL PADA PERMUKAAN KARBON AKTIF

Ni Luh Putu Ananda Saraswati^{1*}, I Made Oka Riawan², Astrid Alvania Rih¹

¹Program Studi Kimia, Universitas Pendidikan Ganesha, Bali, Indonesia

²Program Studi Biologi, Universitas Pendidikan Ganesha, Bali, Indonesia

*Email: putu.ananda@undiksha.ac.id

ABSTRACT

Remazol is a reactive dye that is widely used in the textile industry with functional groups that can be well covalently bonded to textile fibres, but difficult to decompose, carcinogenic, and harmful to the health and ecosystems. This study specifically aims to analyse the adsorption power of activated carbon on three types of Remazol dyes using batch experiment method as an effective way to reduce the concentration of these dyes in textile industry wastewater. Using activated carbon with the same treatment, Remazol Red dye had the best interaction and was adsorbed in the highest amount on the activated carbon surface (125.16 mg/g), followed by Remazol Blue (16.23 mg/g) and finally Remazol Black dye (11.07 mg/g). The three adsorption processes that occur are in accordance with the Langmuir adsorption isotherm model, with color removal percentage of 74.4 % (Remazol Red), 49.5 % (Remazol Blue), and 48.1 % (Remazol Black). These results are in accordance with the structural studies conducted on the three types of Remazol synthetic dyes, in which Remazol Black with the bulkiest structure has the weakest physical interaction with carbon atoms on the activated carbon surface thus absorbed in the least amount on the adsorbent surface.

Keywords: Remazol dyes, adsorption isotherm, textile wastewater, comparative study

PENDAHULUAN

Pewarna sintetis merupakan jantung dari berbagai jenis industri proses, mulai dari industri tekstil, pengolahan makanan, kosmetik, pewarna rambut, sampai ke industri pembuatan berbagai produk kertas dan cairan tinta (R. Gokulan *et al.*, 2019). Ada sekitar 10.000 jenis zat warna (baik alami maupun sintetis) yang banyak digunakan pada industri tersebut, yang mana produksi untuk pewarna sintetis sendiri saat ini diperkirakan telah mencapai 0,7 juta ton setiap tahunnya (Ahmad and Rahman 2011). Penggunaan pewarna sintetis memberikan banyak keuntungan dalam meningkatkan nilai tambah produk, namun juga menghasilkan kerugian tersendiri terutama saat muara dari proses industri tersebut menghasilkan air limbah yang langsung dibuang secara bebas ke perairan. Pada industri tekstil misalnya, tidak semua zat warna dapat terikat pada serat-serat kain, diperkirakan sebanyak 15% zat warna akan terbuang bersama dengan air limbah (Mishra *et al.*, 2021).

Dalam industri tekstil dikenal beberapa versi pengelompokan jenis zat warna sintetis, yang paling banyak dilakukan adalah berdasarkan mekanisme pewarnaannya yang disebut sebagai zat warna reaktif (*reactive dyes*) dan zat warna pigmen (*pigment dyes*). Pewarna Remazol adalah salah satu contoh dari zat warna jenis pertama, yang sesuai dengan namanya memiliki gugus fungsi yang reaktif dan dapat membentuk ikatan kovalen yang kuat dengan serat-serat selulosa, wol, nilon, dan serat tekstil lainnya (Mughal *et al.* 2013). Senyawa Remazol beredar di pasaran dalam berbagai jenis warna seperti Remazol Red, Remazol Blue, Remazol Black, dan lain sebagainya. Selain gugus fungsi yang reaktif, zat warna Remazol juga mengandung banyak cincin fenol dalam rantai sampingnya serta gugus-gugus lainnya yang menyebabkan senyawa tersebut sulit untuk didegradasi, bersifat toksik dan karsinogenik (Raj *et al.* 2021; Pelosi, dkk. 2014). Beberapa penelitian sebelumnya bahkan menyebutkan bahwa cemaran zat warna Remazol dalam air limbah tekstil yang dibuang ke perairan tidak hanya menyebabkan gangguan yang serius pada ekosistem perairan namun juga menimbulkan munculnya berbagai gangguan kesehatan seperti reaksi alergi dan masalah pernafasan (Rovira *et al.*, 2019; Estlander. 1988)

Salah satu upaya strategis yang dapat dilakukan untuk mengatasi potensi pencemaran zat warna Remazol adalah dengan melakukan proses *pre-treatment* sebelum air limbah industri dibuang ke perairan. Metode *pre-treatment* yang pernah dicoba sangat bervariasi, mulai dari metode fisika, kimia, maupun biologi. Dari sejumlah metode yang pernah digunakan, metode fisika berupa adsorpsi merupakan proses alternatif yang efektif untuk dilakukan, terutama karena prosesnya yang sederhana, dengan biaya yang relatif rendah, dan berbagai modifikasi yang memungkinkan untuk dilakukan untuk semakin meningkatkan efektivitasnya (Bispo *et al.* 2018; R. Gokulan, *et al.*, 2019). Metode adsorpsi juga diyakini sejalan dengan tren penelitian berbasis material ramah lingkungan, karena memungkinkan untuk melibatkan adsorben dari berbagai sumber daya alam atau material komposit di dalam prosesnya (Tan *et al.*, 2015).

Sejauh ini, banyak kajian penelitian yang berhasil menganalisis potensi karbon aktif sebagai adsorben yang menjanjikan dalam menjerap zat warna Remazol, namun belum banyak ditemui studi komparatif yang membandingkan performa suatu karbon aktif dalam mengadsorpsi berbagai jenis zat warna Remazol yang berbeda (Raj *et al.*, 2021; R. Gokulan, *et al.*, 2019; Cardoso *et al.* 2011). Untuk itu penelitian ini secara khusus berfokus pada studi komparatif yang dilakukan terhadap daya adsorpsi karbon aktif dalam menjerap tiga jenis zat warna Remazol, yaitu zat warna Remazol Red, Remazol Blue, dan Remazol Black. Karbon aktif dengan perlakuan preparasi yang sama akan digunakan dalam proses adsorpsi ketiga

jenis zat warna Remazol. Studi equilibrium dilakukan menggunakan empat jenis model isoterm adsorpsi: Langmuir, Freundlich, Temkin, dan Sips. Nilai parameter adsorpsi yang dihasilkan dari *data fitting* menggunakan keempat jenis model tersebut kemudian dianalisis berdasarkan kajian struktur kimia ketiga jenis zat warna Remazol.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon aktif, zat warna Remazol Red, Remazol Blue, Remazol Black, aquades, dan kertas saring. Peralatan yang digunakan berupa peralatan gelas laboratorium, oven, dan desikator. Karakterisasi dilakukan menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis.

Preparasi Zat Warna Remazol

Larutan induk Remazol Red, Remazol Blue, dan Remazol Black 500 ppm masing-masing sebanyak 500 mL disiapkan dengan melarutkan masing-masing 0,25 gram serbuk pewarna dalam aquades hingga volume 500 mL. Pembuatan larutan Remazol Red, Remazol Blue, dan Remazol Black berbagai konsentrasi dilakukan dengan mengencerkan sejumlah tertentu larutan induk dengan aquades. Pada penelitian ini, variasi konsentrasi Remazol Red dibuat 10 kali besar dibandingkan seri konsentrasi larutan zat warna Remazol lainnya berdasarkan studi pendahuluan yang dilakukan terhadap kemampuan daya serap zat warna dan mempertimbangkan nilai serapan yang dapat terbaca dengan baik menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis.

Studi Isoterm Adsorpsi

Sebanyak 25 mL larutan zat warna berbagai konsentrasi dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer berukuran 100 mL. Ke dalam tiap-tiap labu ditambahkan 25 mg karbon aktif yang telah diaktivasi sebelumnya dalam pemanasan oven bersuhu 100 °C selama 2 jam. Proses kontak pada suhu ruang dilakukan pada berbagai variasi waktu sesuai dengan penelitian pendahuluan yang dilakukan. Konsentrasi zat warna yang tersisa dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Studi Equilibrium Adsorpsi

Studi equilibrium dilakukan dengan melakukan *data fitting* menggunakan empat jenis model persamaan isoterm adsorpsi. Keempat model isoterm adsorpsi tersebut dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

$$\text{Model Freundlich: } q_e = K_F (C_e)^{1/n_F}$$

$$\text{Model Langmuir: } q_e = \frac{K_L q_m C_e}{1 + K_L C_e}$$

$$\text{Model Temkin: } q_e = \frac{RT}{b} \ln (K_T C_e)$$

$$\text{Model Sips: } q_e = \frac{K_S C_e^{\beta_S}}{1 + a_S C_e^{\beta_S}}$$

dengan q_e kapasitas adsorpsi (mmol/g), C_e konsentrasi kesetimbangan zat warna dalam larutan (mmol/L), n_F pangkat model Freundlich, K_F koefisien model Freundlich (L/g), q_m kapasitas adsorpsi maksimum (mmol/g), K_L koefisien kesetimbangan model Langmuir (L/mmol), b panas adsorpsi model Temkin (J/mol), K_T konstanta isoterm Temkin (L/g), a_S koefisien model Sips (L/mmol), β_S pangkat model Sips, K_S koefisien isoterm model Sips (L/g).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Zat Warna Remazol

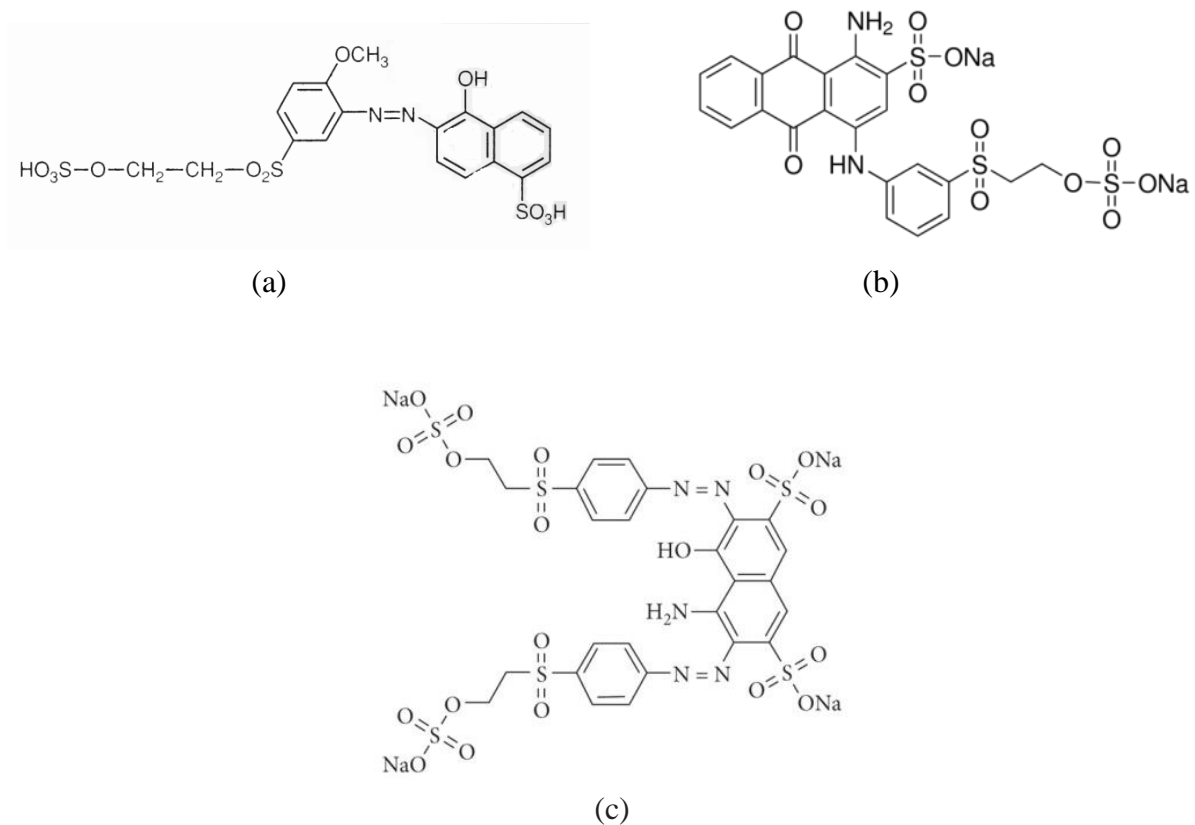
Pewarna Remazol larut dalam air, memiliki sifat tahan luntur dan intensitas warna yang tinggi sehingga sangat diminati untuk digunakan dalam industri tekstil. Tabel 1 merangkum karakteristik dari zat warna Remazol Red, Remazol Blue, dan Remazol Black.

Tabel 1. Karakteristik zat warna Remazol

	Remazol Red	Remazol Blue	Remazol Black
Rumus empiris	$C_{19}H_{18}N_2O_{11}S_3$	$C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$	$C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_6$
Massa molekul (g/mol)	560,5	626,5	991,8
λ maks (nm)*	520	624.5	600.5

* merupakan nilai yang diperoleh pada penelitian ini

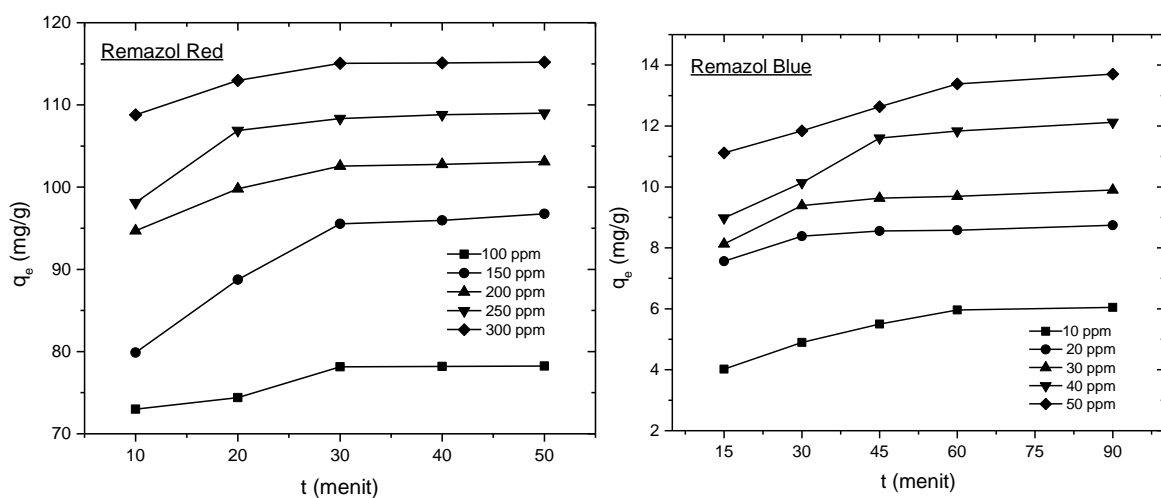
Seperti halnya kelompok zat warna reaktif lainnya, zat warna Remazol mengandung gugus kromofor dengan substituen yang dapat membentuk ikatan kovalen dengan serat-serat tekstil. Zat warna Remazol Red mengandung kromofor berupa gugus azo dengan struktur yang lebih ramping dibandingkan zat warna Remazol Black yang juga mengandung kromofor azo dengan struktur yang lebih *bulky*. Sementara itu Remazol Blue mengandung kromofor berupa gugus antrakuinon di dalam strukturnya yang sedikit lebih *bulky* dibandingkan zat warna Remazol Red. Dengan demikian urutan ke-*bulky*-an ketiga struktur senyawa Remazol dari yang paling *bulky* adalah Remazol Black, Remazol Blue, dan Remazol Red. Struktur ketiga jenis zat warna tersebut diberikan pada Gambar 1.

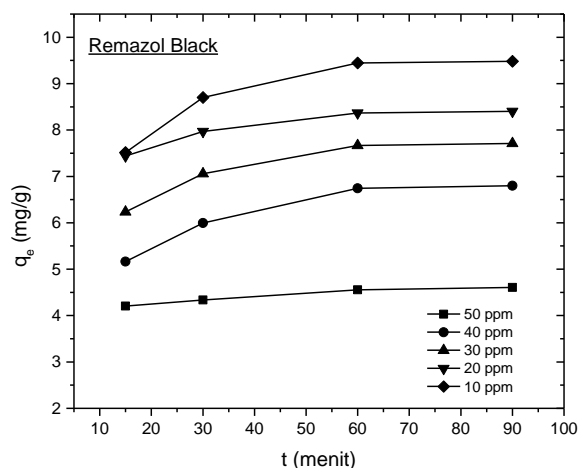


Gambar 1. Struktur zat warna: (a) Remazol Red, (b) Remazol Blue, dan (c) Remazol Black

Studi Komparasi Adsorpsi

Proses adsorpsi tidak terjadi sekaligus, melainkan perlahan dengan kecepatan serap bergantung pada interaksi yang terjadi antara adsorbat dan adsorben. Hubungan antara kapasitas adsorpsi dengan waktu kontak adsorpsi zat warna Remazol Red, Remazol Blue, dan Remazol Black ditunjukkan pada Gambar 2.





Gambar 2. Hubungan waktu kontak dengan kapasitas adsorpsi zat warna Remazol Red, Remazol Blue, dan Remazol Black

Kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan bertambahnya waktu kontak hingga mencapai titik equilibrium yang dinyatakan di sini sebagai waktu kontak optimum. Berdasarkan gambar grafik terlihat bahwa zat warna Remazol Red terjerap paling cepat pada permukaan karbon aktif dibandingkan dengan zat warna Remazol Blue dan Remazol Black. Pada adsorpsi Remazol Red, waktu kontak optimum tercapai pada menit ke-30 sementara Remazol Blue dan Remazol Black mencapai kondisi equilibrium atau waktu optimum adsorpsi pada menit ke-60. Temuan waktu kontak optimum pada menit ke-60 dari zat warna Remazol Blue dan Remazol Black juga pernah dilaporkan oleh beberapa penelitian adsorpsi serupa menggunakan karbon aktif dari material alami yang berbeda (Gokulan, *et al.*, 2019; Rainert *et al.* 2021; Raj *et al.* 2021). Setelah waktu optimum tercapai, proses penjerapan zat warna pada permukaan karbon aktif masih berlangsung namun peningkatan kapasitas adsorpsi tidak terjadi signifikan karena permukaan karbon aktif telah jenuh dengan zat warna.

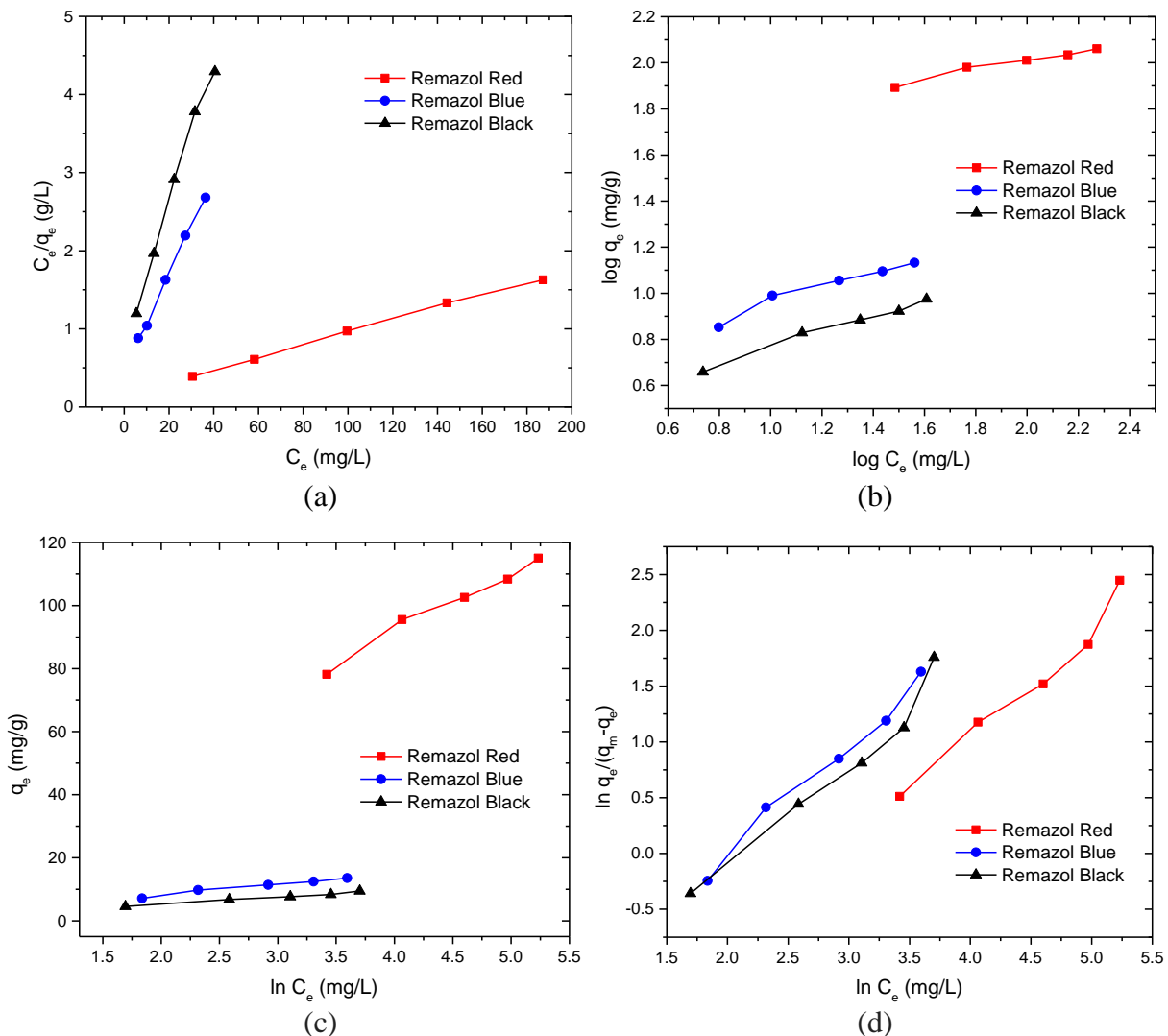
Pada penelitian ini, isoterm adsorpsi dipelajari menggunakan empat persamaan isotherm adsorpsi: Langmuir, Freundlich, Temkin, dan Sips, guna mengidentifikasi model yang paling sesuai untuk menjelaskan ketiga proses adsorpsi yang terjadi pada permukaan karbon aktif. Persamaan isotherm adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan Temkin mewakili model isotherm adsorpsi dua parameter, sementara persamaan isotherm adsorpsi Sips mewakili model adsorpsi tiga parameter. Regresi linier digunakan untuk menentukan isotherm yang paling sesuai dengan cara membandingkan nilai koefisien korelasi atau linieritas kurva (nilai R^2) dari semua model isotherm adsorpsi yang digunakan untuk menganalisis data.

Isoterm adsorpsi Langmuir mengasumsikan molekul adsorbat teradsorpsi pada permukaan adsorben secara homogen dan monolayer dengan bentuk linier persamaan isotherm:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{q_m K_L}$$

Isoterm adsorpsi Freundlich merupakan persamaan empiris berdasarkan

adsorpsi pada permukaan adsorben yang heterogen. Bentuk logaritma linier dari persamaan Freundlich adalah: $\log q_e = \log K_F + 1/n \log C_e$, di mana K_F dan n masing-masing merupakan konstanta Freundlich yang menyatakan kapasitas adsorpsi dan intensitas adsorpsi. Isoterm adsorpsi Temkin juga merupakan model dua parameter dengan bentuk linier persamaan: $q_e = \frac{RT}{b} \ln C_e + \frac{RT}{b} \ln K_T$. Sementara isoterm adsorpsi Sips menerapkan sistem adsorpsi tiga parameter yang diperoleh dengan mengalurkan $\ln \left(\frac{q_e}{q_m - q_e} \right)$ terhadap $\ln C_e$ sesuai dengan bentuk linier: $\ln \left(\frac{q_e}{q_m - q_e} \right) = \frac{1}{s_p} \ln C_e + \ln \alpha_s$. Hasil *data fitting* adsorpsi ketiga zat warna Remazol pada permukaan karbon aktif menggunakan model persamaan Langmuir, Freundlich, Temkin, dan Sips. diberikan pada Gambar 3. Paramater adsorpsi yang ditentukan nilainya dengan metode matematika sederhana dari tiap-tiap model isoterm adsorpsi disajikan pada Tabel 2.



Gambar 3. Hasil *data fitting* menggunakan model isoterm adsorpsi: (a) Langmuir, (b) Freundlich, (c) Temkin dan (d) Sips untuk ketiga zat warna Remazol

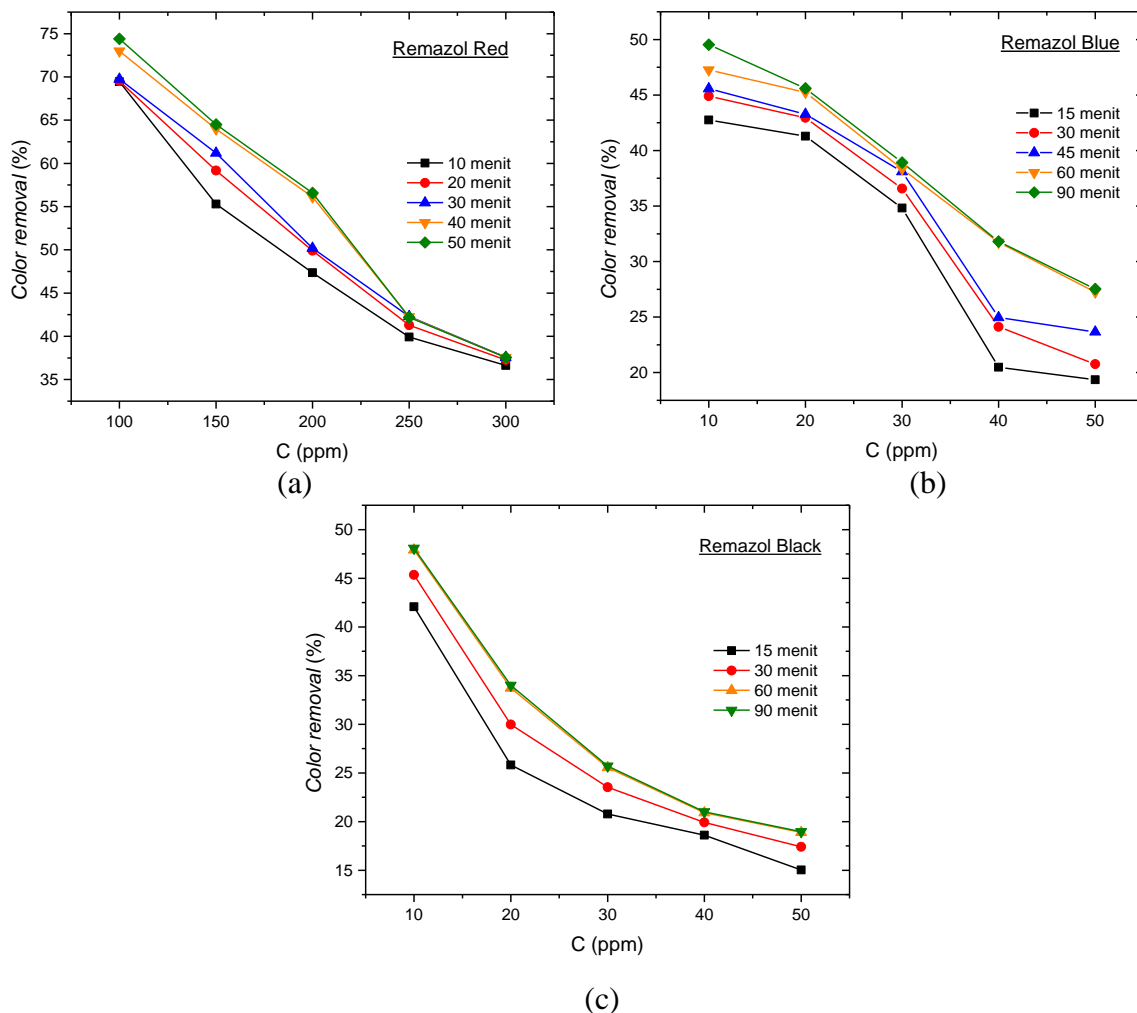
Berdasarkan tabulasi parameter adsorpsi pada Tabel 2, khususnya komparasi nilai koefisien korelasi semua model isoterm adsorpsi, terlihat bahwa adsorpsi ketiga zat warna Remazol mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir, yang mengindikasikan bahwa molekul zat warna Remazol Red, Remazol Blue, dan Remazol Black teradsorpsi pada permukaan karbon aktif secara homogen membentuk monolayer. Dengan perlakuan preparasi karbon aktif yang sama, Remazol Red memiliki interaksi yang paling kuat sehingga terjerap dalam jumlah paling banyak pada permukaan karbon aktif, diikuti oleh zat warna Remazol Blue dan terakhir Remazol Black. Hal ini terlihat jelas dalam keempat kurva pada Gambar 3 dan terindikasi juga dari nilai parameter adsorpsi semua model yang digunakan, utamanya dari nilai kapasitas adsorpsi maksimum (q_m) dan konstanta isoterm (K_L) model Langmuir.

Hasil studi equilibrium adsorpsi tersebut sesuai dengan kajian struktur ketiga jenis zat warna Remazol. Remazol Red memiliki struktur paling ramping dan cenderung lurus dengan massa molekul yang kecil sehingga memiliki gaya antar molekul berupa interaksi fisik yang baik dengan atom-atom karbon pada permukaan karbon aktif. Hal ini yang menyebabkan Remazol Red dapat terjerap dengan sangat baik dan dalam jumlah yang paling banyak pada karbon aktif. Sebaliknya, Remazol Black dengan struktur yang paling *bulky*, mengandung banyak cincin fenol pada rantai strukturnya sehingga mengurangi interaksi fisik dengan atom karbon pada permukaan karbon aktif. Remazol Blue memiliki struktur yang secara umum lebih *bulky* dari Remazol Red dengan jumlah cincin fenol lebih banyak. Adsorpsi zat warna Remazol Blue memiliki tren yang serupa dengan Remazol Black dengan nilai parameter adsorpsi yang sedikit lebih tinggi.

Tabel 2. Parameter adsorpsi dari semua model yang digunakan

		Remazol Red	Remazol Blue	Remazol Black
Langmuir				
K_L (L/mg)	Konstanta isoterm Langmuir	0,0514	0,1313	0,1151
q_m (mg/g)	Kapasitas adsorpsi maksimum model Langmuir	125,16	16,229	11,074
R^2	Koefisien korelasi	0,9983	0,9971	0,9904
Freundlich				
K_F (L/g)	Konstanta model Freundlich	40,299	4,0597	2,5928
N	Faktor heterogenitas model Freundlich	4,9556	2,9129	2,8696
R^2	Koefisien korelasi	0,9674	0,9485	0,9847
Temkin				
K_T (L/mg)	Konstanta ikatan equilibrium	5,4306	2,1894	1,9065
B	Konstanta energi isoterm Temkin constant	128,74	715,52	1047,1
R^2	Koefisien korelasi	0,9805	0,9788	0,9878
Sips				
q_m (mg/g)	Kapasitas adsorpsi <i>monolayer</i>	125,16	16,229	11,074
$1/s_p$	Pangkat dari isoterm Sips	0,9831	0,9965	0,9683
α_s (mg/L)	Konstanta Sips berkaitan dengan energi adsorpsi	0,0563	0,1329	0,1275
R^2	Koefisien korelasi	0,9660	0,9848	0,9593

Performa adsorpsi ketiga jenis zat warna Remazol yang dinyatakan dalam persen pengurangan konsentrasi zat warna atau *color removal* diberikan pada Gambar 4. Ketiga jenis zat warna Remazol memiliki karakteristik tren *color removal* yang sama: semakin lama waktu kontak zat warna dengan karbon aktif semakin besar nilai persen pengurangan konsentrasi zat warna. Pada waktu kontak yang sama, proses adsorpsi dari zat warna dengan konsentrasi awal lebih pekat memiliki persen *color removal* yang lebih kecil dibandingkan dengan adsorpsi yang konsentrasi awal zat warnanya lebih encer. Tren yang sama juga dilaporkan pada penelitian lainnya (Gokulan, *et al.*, 2019; Rainert *et al.* 2021). Persentase penghilangan zat warna terbesar dihasilkan dari proses adsorpsi zat warna Remazol Red (74,4 %), diikuti oleh Remazol Blue (49,5 %) dan terakhir Remazol Black (48,1 %).



Gambar 4. Persen pengurangan konsentrasi zat warna (*color removal*) dari: (a) Remazol Red; (b) Remazol Blue dan (c) Remazol Black

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa adsorpsi zat warna Remazol Red pada permukaan karbon aktif berlangsung optimal dan mencapai kesetimbangan pada waktu kontak 30 menit, sementara adsorpsi Remazol Blue dan Remazol Black pada waktu kontak 60 menit. Ketiga jenis zat warna Remazol sesuai dengan model isotherm adsorpsi Langmuir yang mengindikasikan bahwa proses adsorpsi terjadi secara homogen membentuk monolayer. Remazol Red memiliki interaksi fisik paling kuat dan terjerap dalam jumlah yang paling banyak pada karbon aktif, (125,16 mg/g) diikuti oleh Remazol Blue (16,23 mg/g) dan terakhir Remazol Black (11,07 mg/g). Hasil studi komparasi kondisi equilibrium adsorpsi ketiga jenis zat warna sesuai dengan kajian struktur kimia masing-masing pewarna Remazol.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Mohd Azmier, and Nazira Khabibor Rahman. 2011. "Equilibrium, Kinetics and Thermodynamic of Remazol Brilliant Orange 3R Dye Adsorption on Coffee Husk-Based Activated Carbon." *Chemical Engineering Journal* 170 (1): 154–61. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.03.045>.
- Bispo, Mozart Daltro, Jaderson Kleveston Schneider, Diego Da Silva Oliveira, Debora Tomasini, Gabriela Pereira Da Silva Maciel, Tiago Schena, Bruna Onorevoli, et al. 2018. "Production of Activated Biochar from Coconut Fiber for the Removal of Organic Compounds from Phenolic." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6 (2): 2743–50. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.029>.
- Cardoso, Natali F., Rodrigo B. Pinto, Eder C. Lima, Tatiana Calvete, Camila V. Amavisca, Betina Royer, Marta L. Cunha, Thais H.M. Fernandes, and Isis S. Pinto. 2011. "Removal of Remazol Black B Textile Dye from Aqueous Solution by Adsorption." *Desalination* 269 (1–3): 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.10.047>.
- Estlander, Tuula. 1988. "Allergic Dermatoses and Respiratory Diseases from Reactive Dyes." *Contact Dermatitis*. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0536.1988.tb02836.x>.
- Gokulan, R., A. Avinash, G. Ganesh Prabhu, and J. Jegan. 2019. "Remediation of Remazol Dyes by Biochar Derived from Caulerpa Scalpelliformis - An Eco-Friendly Approach." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7 (5): 103297. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103297>.
- Gokulan, R., G. Ganesh Prabhu, and J. Jegan. 2019. "A Novel Sorbent Ulva Lactuca-Derived Biochar for Remediation of Remazol Brilliant Orange 3R in Packed Column." *Water Environment Research* 91 (7): 642–49. <https://doi.org/10.1002/wer.1092>.
- Gokulan, Ravindiran, Ganapathy Ganesh Prabhu, and Josephraj Jegan. 2019. "Remediation of Complex Remazol Effluent Using Biochar Derived from Green Seaweed Biomass." *International Journal of Phytoremediation* 21 (12): 1179–89. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1612845>.

- Javaid Mughal, M., Rehana Saeed, M. Naeem, M. Aleem Ahmed, Arfa Yasmien, Qasim Siddiqui, and Mansoor Iqbal. 2013. "Dye Fixation and Decolourization of Vinyl Sulphone Reactive Dyes by Using Dicyanidiamide Fixer in the Presence of Ferric Chloride." *Journal of Saudi Chemical Society* 17 (1): 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.02.017>.
- Mishra, Saurabh, Liu Cheng, and Abhijit Maiti. 2021. "The Utilization of Agro-Biomass/Byproducts for Effective Bio-Removal of Dyes from Dyeing Wastewater: A Comprehensive Review." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9 (1): 104901. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104901>.
- Pelosi, B. T., L. K.S. Lima, and M. G.A. Vieira. 2014. "Removal of the Synthetic Dye Remazol Brilliant Blue r from Textile Industry Wastewaters by Biosorption on the Macrophyte *Salvinia Natans*." *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 31 (4): 1035–45. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140314s00002568>.
- Rainert, Karine Thaise, Hayssa Carolini Alamar Nunes, Marcel Jefferson Gonçalves, Cristiane Vieira Helm, and Lorena Benathar Ballod Tavares. 2021. "Decolorization of the Synthetic Dye Remazol Brilliant Blue Reactive (RBBR) by *Ganoderma Lucidum* on Bio-Adsorbent of the Solid Bleached Sulfate Paperboard Coated with Polyethylene Terephthalate." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9 (2): 104990. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104990>.
- Raj, Abhay, Ashutosh Yadav, Abhay Prakash Rawat, Anil Kumar Singh, Sunil Kumar, Ashutosh Kumar Pandey, Ranjna Sirohi, and Ashok Pandey. 2021. "Kinetic and Thermodynamic Investigations of Sewage Sludge Biochar in Removal of Remazol Brilliant Blue R Dye from Aqueous Solution and Evaluation of Residual Dyes Cytotoxicity." *Environmental Technology and Innovation* 23: 101556. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101556>.
- Rovira, Joaquim, and José L. Domingo. 2019. "Human Health Risks Due to Exposure to Inorganic and Organic Chemicals from Textiles: A Review." *Environmental Research* 168: 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.027>.
- Tan, Xiaofei, Yunguo Liu, Guangming Zeng, Xin Wang, Xinjiang Hu, Yanling Gu, and Zhongzhu Yang. 2015. "Application of Biochar for the Removal of Pollutants from Aqueous Solutions." *Chemosphere* 125: 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>.