

PENGARUH SUHU AKTIVASI ARANG TERHADAP KONDISI EQUILIBRIUM DAN PARAMETER TERMODINAMIKA ADSORPSI SENYAWA REMAZOL RED

Ni Luh Putu Ananda Saraswati

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha.

Corresponding author: putu.ananda@undiksha.ac.id

Abstrak

Penggunaan zat warna sintetis dalam jumlah besar (setiap tahunnya mencapai 0,7 juta ton) menyisakan permasalahan pencemaran yang serius karena senyawa kimia ini tidak dapat digunakan seluruhnya dalam proses industri. Pada industri tekstil misalnya, hampir sebanyak 15 % zat warna yang digunakan tidak dapat terikat pada serat-serat tekstil, sehingga terbuang dalam konsentrasi cukup pekat dalam air limbah. Adsorpsi menjadi alternatif metode yang paling banyak digunakan untuk mengurangi konsentrasi zat warna sintetis dalam air limbah, terutama karena prosedurnya sederhana, biaya relatif rendah, dan ketersediaan adsorben yang melimpah. Selain karakteristik adsorben, efektivitas dari proses adsorpsi juga sangat dipengaruhi oleh faktor dan kondisi lingkungan lainnya. Penelitian ini secara khusus bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu aktivasi terhadap karakteristik permukaan karbon aktif yang secara langsung berdampak pada kondisi equilibrium adsorpsi Remazol Red (RR) yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari empat persamaan isotherm adsorpsi yang digunakan sebagai data fitting model, proses adsorpsi mengikuti model Langmuir. Suhu aktivasi memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan kapasitas adsorpsi maksimum (q_m) adsorpsi Remazol Red dari 125 mg/g menjadi 222,2 mg/g setelah dilakukan aktivasi, dan dapat dijadikan salah satu strategi efektif dalam pengelolaan limbah untuk mengurangi pencemaran air.

Kata-kata kunci: Remazol Red, adsorpsi, suhu aktivasi, equilibrium adsorpsi

Abstract

The use of synthetic dyes in large quantities (each year reaching 0.7 million tons) poses a serious pollution problem because these chemical cannot be used entirely in industrial processes. In the textile industry, for example, almost as much as 15% of the dye cannot be bound to textile fibres, so it is wasted in quite concentrated amount in wastewater. Adsorption is the most widely method used to reduce the concentration of dyes in wastewater treatment, mainly because the procedure is simple, relatively low cost, and abundant availability of adsorbents. Apart from the adsorbent characteristics, the adsorption effectiveness is also strongly influenced by other environmental factors and conditions. This study specifically aims to analyse the effect of activation temperature on the surface characteristics of activated carbon used, which directly affects the equilibrium conditions of Remazol Red (RR) adsorption. The results showed that of the four adsorption isotherm equations used as fitting data model, the adsorption process followed Langmuir model. The activation temperature has a significant effect on increasing maximum adsorption capacity (q_m) of Remazol Red adsorption from 125 mg/g to 222.2 mg/g after activation, thus can be used as an effective strategy in wastewater management to reduce water pollution.

Keywords: Remazol Red, adsorption, activated temperature, adsorption equilibrium

Pendahuluan

Zat warna adalah kelompok senyawa kimia yang penggunaannya sangat luas, mulai dari industri tekstil, tinta, kulit, kertas, produksi makanan, kosmetik, pewarna rambut, dan berbagai keperluan penelitian seperti sel foto-degradasi, sel pemanen cahaya, dan lain sebagainya. Berdasarkan sifat dan strukturnya, saat ini dikenal lebih dari 10.000 jenis zat warna yang secara umum dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok zat warna alami dan zat warna sintetis (Gokulan, Prabhu, and

Jegan 2019). Saat ini produksi zat warna sintetis diperkirakan mencapai 0,7 juta ton setiap tahun (Ahmad and Rahman 2011). Sebagian besar zat warna tersebut digunakan dalam industri tekstil. Pada industri ini, zat warna digunakan dalam fase larutan dengan media garam untuk meningkatkan interaksi zat warna dengan serat-serat tekstil. Namun, tidak semua zat warna yang digunakan akan terikat pada serat tekstil. Sebanyak kurang lebih 15 % zat warna (1-5 % hilang pada proses produksi dan 1-10 % hilang selama pemakaian) tertinggal selama proses pengolahan dan menghasilkan sekitar 280 kilo ton zat warna terbuang dalam bentuk air limbah setiap tahunnya (Mishra, Cheng, and Maiti 2021).

Berbagai perlakuan telah coba diaplikasikan pada air limbah industri untuk menurunkan kandungan zat warna sintetis yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Dalam beberapa tahun terakhir, adsorpsi menjadi salah satu metode yang paling banyak diteliti, utamanya karena prosesnya yang sederhana, relatif murah, dengan keberadaan adsorben yang melimpah, dan hasil yang menjanjikan (Günay et al. 2013; Rainert et al. 2021). Material adsorben dapat disintesis dengan mudah dari berbagai material anorganik seperti mineral, partikel silika, oksida logam hidro, dan material berbasis karbon seperti seperti *biochar*, karbon nanotube, karbon monolith, lempung, dan karbon aktif (Anto et al. 2021; Zhang et al. 2020). Namun, tren penelitian berbasis material ramah lingkungan memberikan pengaruh yang besar dalam pemilihan material adsorben, khususnya yang berasal dari alam. Hal ini yang mendorong penggunaan adsorben berbasis karbon mendapat perhatian besar, khususnya karbon aktif yang dapat diproduksi dan dimodifikasi dengan mudah dari tanaman, hewan, bahkan berbagai limbah makanan dan pertanian (*agro-waste*) (Bello et al. 2018; Mishra et al. 2021).

Karbon aktif yang dihasilkan dari sumber alam tanpa perlakuan khusus umumnya memiliki karakteristik permukaan yang buruk. Modifikasi baik secara fisik maupun kimia perlu dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan karbon aktif, ukuran pori, sehingga menghasilkan adsorben dengan daya adsorpsi yang tinggi (Ahmad et al. 2021; Chern and Wu 2001). Selain karakteristik adsorben, daya adsorpsi juga masih dipengaruhi oleh banyak faktor dan kondisi lingkungan lainnya. Studi yang komprehensif terhadap proses yang terjadi selama adsorpsi zat warna sangat perlu dilakukan untuk memberikan gambaran kondisi optimum yang akan sangat diperlukan oleh industri dan pihak terkait.

Pada penelitian ini secara khusus dilakukan studi pengaruh suhu aktivasi arang terhadap kondisi equilibrium dan parameter termodinamika adsorpsi zat warna Remazol Red (RR) pada karbon aktif dari kelapa. Proses adsorpsi dimodelkan dengan empat persamaan isotherm adsorpsi: Freundlich, Langmuir, Toth, dan Sips. Perilaku adsorpsi juga akan diamati berdasarkan studi termodinamika reaksi equilibrium yang terjadi antara molekul zat warna Remazol Red dengan karbon aktif, sehingga memberikan gambaran yang komprehensif untuk lebih jauh dapat diaplikasikan secara nyata dalam penganggulungan air limbah industri.

Metode

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon aktif (dari arang kelapa), zat warna Remazol Red, aquades, dan kertas saring. Peralatan yang digunakan berupa peralatan gelas laboratorium, *furnace*, oven, dan desikator. Karakterisasi dilakukan menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis.

Aktivasi Karbon Aktif

Arang dari kelapa diaktivasi dengan *furnace* (dengan aliran gas N₂ murni) pada suhu aktivasi 900 °C.

Preparasi Zat Warna Remazol Red

Larutan induk Remazol Red 500 ppm sebanyak 500 mL disiapkan dengan melarutkan 0,25 gram serbuk Remazol Red dengan aquades hingga volume 500 mL dalam labu takar 500 mL. Pembuatan larutan Remazol Red berbagai konsentrasi dilakukan dengan mengencerkan sejumlah tertentu larutan induk dengan aquades.

Studi Waktu Kontak Optimum

Sebanyak 25 mL larutan Remazol Red 200 ppm dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer berukuran 100 mL. Ke dalam larutan tersebut ditambahkan 25 mg arang untuk selanjutnya dilakukan kontak pada suhu ruang dengan variasi waktu 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit. Konsentrasi Remazol Red yang tersisa kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Studi Isoterm Adsorpsi

Larutan Remazol Red dengan konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm, dan 300 ppm disiapkan dan masing-masing dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer berukuran 100 mL. Ke dalam tiap Erlenmeyer ditambahkan 25 mg arang. Proses kontak dilakukan sampai tercapai kesetimbangan (sesuai dengan waktu kontak optimum yang diperoleh). Konsentrasi Remazol Red yang tersisa dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Studi Equilibrium

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

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

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

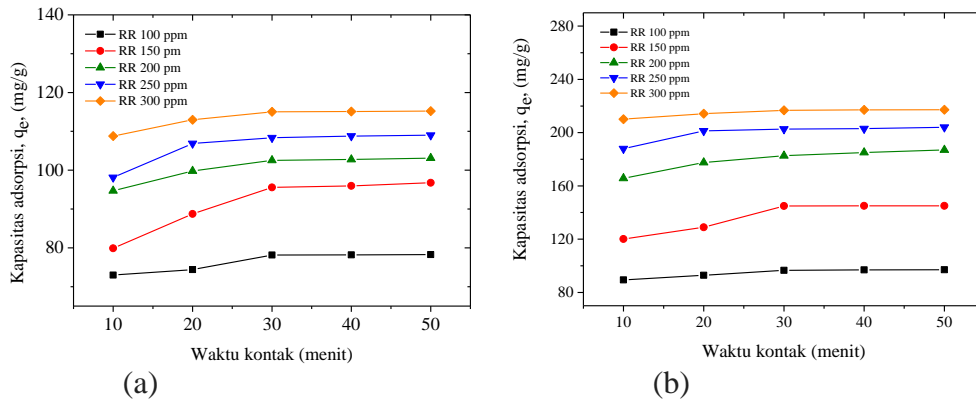
$$\text{Model Temkin: } q_e = \frac{RT}{b} \ln (K_T C_e)$$

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

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), βS pangkat model Sips, K_S koefisien isoterm model Sips (L/g).

Hasil Dan Pembahasan

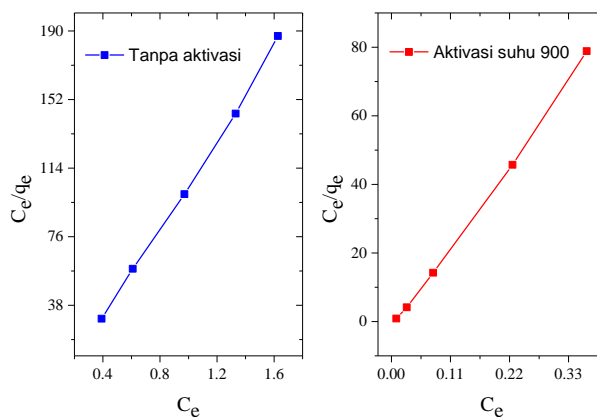
Proses adsorpsi tidak terjadi sekaligus, melainkan perlahan dengan kecepatan serap bergantung pada interaksi yang terjadi antara adsorbat dan adsorben. Hubungan antara kapasitas adsorpsi dengan waktu kontak adsorpsi zat warna Remazol Red oleh arang tanpa dan dengan aktivasi ditunjukkan pada Gambar 1. Terlihat kecenderungan yang sama antara arang tanpa aktivasi dan arang setelah diaktivasi dalam proses menuju equilibrium saat mengadsorpsi larutan Remazol Red. Kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan bertambahnya waktu kontak hingga mencapai titik equilibrium yang dinyatakan di sini sebagai waktu kontak optimum. Berdasarkan gambar grafik terlihat jelas bahwa setelah 30 menit proses adsorpsi masih berlangsung, namun peningkatan kapasitas adsorpsi tidak signifikan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa waktu kontak optimum untuk adsorpsi Remazol Red pada arang tanpa dan dengan aktivasi adalah 30 menit. Analisis berikutnya dilakukan menggunakan data hasil adsorpsi pada waktu kontak tersebut.



Gambar 1. Hubungan waktu kontak dengan kapasitas adsorpsi zat warna Remazol Red pada (a) arang tanpa aktivasi dan (b) arang setelah dilakukan aktivasi

Model isoterm adsorpsi digunakan untuk melakukan *data fitting* terhadap data eksperimental, menghasilkan parameter-parameter adsorpsi guna menemukan model terbaik yang sesuai dengan kondisi equilibrium yang terjadi selama proses adsorpsi berlangsung. Data eksperimental yang dihasilkan pada penelitian ini dianalisis menggunakan empat model isoterm adsorpsi yang berbeda: persamaan isoterm Freundlich, Langmuir, Temkin, dan Sips. Persamaan Langmuir, Freundlich, dan Temkin mewakili model isoterm adsorpsi dua parameter, sedangkan persamaan Sips mewakili model adsorpsi tiga parameter. Regresi linier digunakan untuk menentukan isoterm yang paling cocok dan penerapan persamaan isoterm dibandingkan dengan menilai koefisien korelasi (R^2).

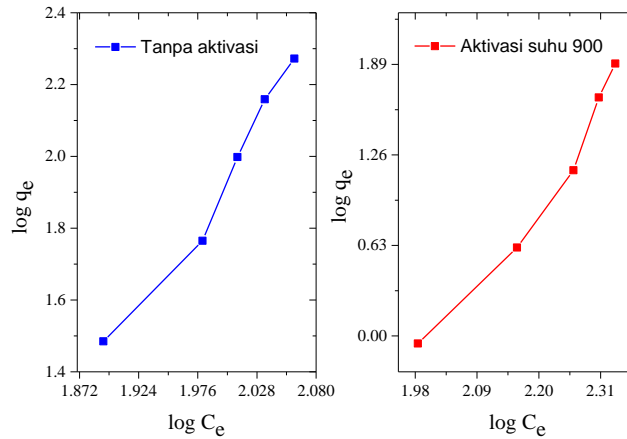
Model Langmuir didasarkan pada asumsi bahwa energi adsorpsi adalah konstan dan tidak tergantung pada cakupan permukaan dimana adsorpsi terjadi pada situs terlokalisasi tanpa interaksi antara molekul adsorbat. Molekul zat warna teradsorpsi pada permukaan adsorben secara homogen membentuk monolayer. Jumlah molekul zat warna Remazol Red yang dapat teradsorpsi pada permukaan adsorben dinyatakan sebagai kapasitas adsorpsi maksimum (q_m). Bentuk linear model isoterm adsorpsi Langmuir adalah: $\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{q_m K_L}$. Hasil *data fitting* yang diperoleh menggunakan model isoterm adsorpsi Langmuir diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil data fitting menggunakan model isoterm adsorpsi Langmuir untuk adsorpsi zat warna Remazol Red pada arang tanpa aktivasi (biru) dan dengan aktivasi (merah)

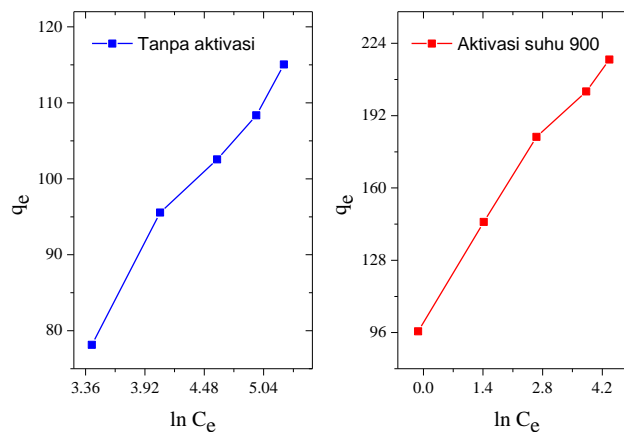
Model isoterm Freundlich merupakan persamaan empiris berdasarkan adsorpsi pada permukaan yang heterogen. Bentuk logaritma linier dari Freundlich adalah: $\log q_e = \log K_F + 1/n \log$

C_e , di mana K_F dan n masing-masing merupakan konstanta Freundlich untuk kapasitas adsorpsi dan intensitas adsorpsi. Grafik yang diperoleh dengan mendistribusikan $\log q_e$ ke $\log C_e$ menurut model isoterm Freundlich untuk kedua sampel diberikan pada Gambar 3. Nilai n dan K_F masing-masing dapat dihitung dari nilai kemiringan dan intersep kurva seperti yang disajikan pada Tabel 1.



Gambar 3. Hasil data fitting menggunakan model isoterm adsorpsi Freundlich untuk adsorpsi zat warna Remazol Red pada arang tanpa aktivasi (biru) dan dengan aktivasi (merah)

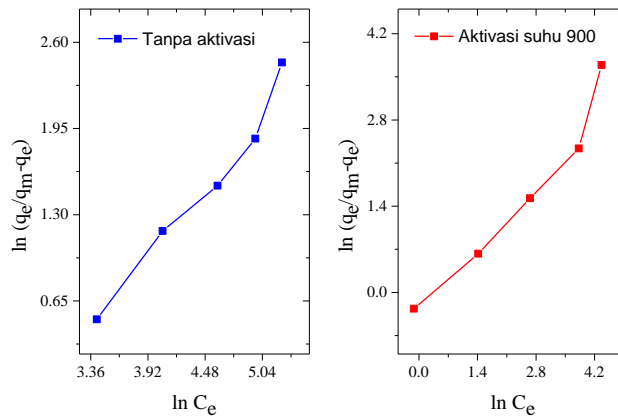
Model isoterm adsorpsi Temkin diperoleh dengan mengalurkan q_e terhadap $\ln C_e$ sesuai dengan persamaan: $q_e = \frac{RT}{b} \ln C_e + \frac{RT}{b} \ln K_T$. Hasil data fitting yang diperoleh menggunakan model isoterm adsorpsi Temkin diberikan pada Gambar 4. Nilai koefisien b dan K_T berturut-turut diperoleh dari gradien dan intersep kurva yang diperoleh, dan hasilnya dinyatakan pada Tabel 1.



Gambar 4. Hasil data fitting menggunakan model isoterm adsorpsi Temkin untuk adsorpsi Remazol Red pada arang tanpa aktivasi (biru) dan dengan aktivasi (merah)

Model isoterm adsorpsi Sips merupakan model 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 α_s . Hasil *data fitting* yang diperoleh menggunakan model isoterm adsorpsi Sips diberikan pada Gambar 5. Ketiga parameter adsorpsi Sips ditentukan secara matematis menggunakan nilai kemiringan dan intersep kurva yang disajikan secara utuh pada Tabel 1.



Gambar 4. Hasil data fitting menggunakan model isoterm adsorpsi Sips untuk adsorpsi Remazol Red pada arang tanpa aktivasi (biru) dan dengan aktivasi (merah)

Tabel 1 merangkum semua parameter adsorpsi dan nilai konstanta korelasi (R^2) yang diperoleh dari empat model isoterm yang digunakan untuk menganalisis data equilibrium adsorpsi Remazol Red pada permukaan arang tanpa aktivasi dan dengan aktivasi. Model Langmuir memberikan nilai koefisien korelasi (R^2) tertinggi, yang menunjukkan bahwa molekul zat warna Remazol Red teradsorpsi pada permukaan arang secara homogen membentuk monolayer. Suhu aktivasi secara signifikan berpengaruh pada efektivitas proses adsorpsi yang terjadi, dan dapat dilihat dengan jelas dari nilai parameter adsorpsi yang diperoleh. Adsorpsi dari arang dengan aktivasi pada 900 °C menunjukkan parameter adsorpsi Langmuir yang lebih besar dengan nilai q_m dan K_L berturut-turut sebesar 222,2 mg/g dan 0,437 L/mg, dibandingkan dengan arang tanpa aktivasi dengan q_m dan K_L berturut-turut sebesar 125 mg/g dan 0,052 L/ mg.

Tabel 1. Parameter adsorpsi dari semua model yang Digunakan

		Tanpa aktivasi	Aktivasi pada 900 °C
Freundlich			
K_F (L/g)	Konstanta model Freundlich	1.499	1.591
n	Faktor heterogenitas model Freundlich	0.494	0.623
R^2	Koefisien korelasi	0.957	0.967
Langmuir			
K_L (L/mg)	Konstanta isoterm Langmuir	0.052	0.437
q_m (mg/g)	Kapasitas adsorpsi maksimum model Langmuir	125.0	222.2
R^2	Koefisien korelasi	0.998	0.999
Temkin			
K_T (L/mg)	Konstanta ikatan equilibrium	2.085	51.526
b	Konstanta energi isoterm Temkin constant	128.7	93.5
R^2	Koefisien korelasi	0.981	0.988
Sips			
q_m (mg/g)	Kapasitas adsorpsi <i>monolayer</i>	125.0	222.2
$1/s_p$	Pangkat dari isoterm Sips	0.983	0.813
α_s (mg/L)	Konstanta Sips berkaitan dengan energi adsorpsi	0.056	0.677
R^2	Koefisien korelasi	0.966	0.941

Penutup

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa adsorpsi zat warna Remazol Red pada arang tanpa dan dengan aktivasi pada suhu 900°C berlangsung optimal dan mencapai kesetimbangan pada waktu kontak 30 menit. Model isoterm Langmuir sesuai digunakan untuk menganalisis data equilibrium adsorpsi yang dihasilkan, dengan nilai K_L dan q_m masing-masing 0,052 L/mg dan 125 mg/g (untuk arang tanpa aktivasi); 0,437 L/mg dan 222,2 mg/g (untuk arang dengan aktivasi). Berdasarkan studi termodinamika, proses adsorpsi diketahui bersifat endotermik dengan nilai ΔG° adsorpsi sampel tanpa dan dengan aktivasi berturut-turut sebesar 7348, 27 J/mol dan 2051,59 J/mol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terselenggara atas dukungan dana riset dari Universitas Pendidikan Ganesha melalui Skema Penelitian Dosen Pemula tahun 2021 dengan No Kontrak: 239/UN48.16/LT/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Junaid, Francesco Patuzzi, Umer Rashid, Muhamamd Shahabz, Chawalit Ngamcharussrivichai, and Marco Baratieri. 2021. "Exploring Untapped Effect of Process Conditions on Biochar Characteristics and Applications." *Environmental Technology and Innovation* 21:101310. doi: 10.1016/j.eti.2020.101310.
- 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. doi: 10.1016/j.cej.2011.03.045.
- Anto, Susaimanickam, M. P. Sudhakar, Tharifikhan Shan Ahamed, Melvin S. Samuel, Thangavel Mathimani, Kathirvel Brindhadevi, and Arivalagan Pugazhendhi. 2021. "Activation Strategies for Biochar to Use as an Efficient Catalyst in Various Applications." *Fuel* 285(May `2020):119205. doi: 10.1016/j.fuel.2020.119205.
- Bello, Kabiru, Balladka Kunhanna Sarojini, Badiadka Narayana, Anjali Rao, and Kullaiah Byrappa. 2018. "A Study on Adsorption Behavior of Newly Synthesized Banana Pseudo-Stem Derived Superabsorbent Hydrogels for Cationic and Anionic Dye Removal from Effluents." *Carbohydrate Polymers* 181:605–15. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.11.106.
- Chern, Jia Ming, and Chia Yuan Wu. 2001. "Desorption of Dye from Activated Carbon Beds: Effects of Temperature, PH, and Alcohol." *Water Research* 35(17):4159–65. doi: 10.1016/S0043-1354(01)00127-0.
- 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. doi:

10.1080/15226514.2019.1612845.

- Günay, Ahmet, Bahri Ersoy, Sedef Dikmen, and Atilla Evcin. 2013. "Investigation of Equilibrium, Kinetic, Thermodynamic and Mechanism of Basic Blue 16 Adsorption by Montmorillonitic Clay." *Adsorption* 19(2–4):757–68. doi: 10.1007/s10450-013-9509-4.
- 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. doi: 10.1016/j.jece.2020.104901.
- 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. doi: 10.1016/j.jece.2020.104990.
- Zhang, Ailin, Xin Li, Jia Xing, and Guoren Xu. 2020. "Adsorption of Potentially Toxic Elements in Water by Modified Biochar: A Review." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8(4):104196. doi: 10.1016/j.jece.2020.104196.