

Adsorpsi Warna *Metylen Blue* Menggunakan *Powder dan Granular Activated Carbon* Biji Binjai (*Mangifera Caesia*)

I Wayan Koko Suryawan, Anshah Silmi Afifah, Gita Prajati

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Universal
Kompleks Maha Vihara Duta Maitreya, Sungai Panas, Batam, Indonesia
iwayankokosuryawan@uvers.ac.id

Abstrak

Zat warna *metylen blue* adalah zat warna yang mudah didapat dan sering digunakan dalam berbagai bidang. Pewarna *metylen blue* yang digunakan harus diolah agar tidak terjadi pencemaran air. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan adsorpsi. Proses adsorpsi membutuhkan adsorbet untuk media pengolahan. Binjai (*Mangifera Caesia*) adalah buah yang sering ditemui di daerah Bali dan Kalimantan Selatan. Biji buah Binjai dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan adsorbet dalam proses adsorpsi. Tujuan dalam penelitian ini adalah mengetahui proses adsorpsi oleh *Powder Activated Carbon* (PAC) dan *Granular Activated Carbon* (GAC) dari bahan biji Binjai. Proses pembuatan arang dilakukan secara fisika pada suhu 660°C. Setelah terbentuk arang ukuran adsorbet dibagi menjadi dua jenis media berdasarkan ukuran, yaitu PAC dan GAC. Langkah selanjutnya adalah pencucian adsorbet kemudian aktivasi pada suhu 105°C dan aktivasi secara kimiawi dengan KMnO_4 . Penyisihan zat warna *metylen blue* untuk inisial konsentrasi 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan 30 ppm adalah 57,06%, 90,05%, 91,33%, 94,81%, dan 95,21% (PAC) serta 75,30%, 93,78%, 96,13%, 97,23%, dan 96,86% (GAC). Isoterm yang memiliki nilai R^2 paling tinggi adalah Temkin yaitu diatas 0,95. Hasil perhitungan isoterm Temkin menunjukkan nilai koefisien Temkin (kT) adalah 62,87 L/g (PAC) dan 61,968 L/g (GAC).

Kata kunci: *metylen blue*, biji Binjai, PAC, GAC, isoterm

Abstract

Methylene blue is a dye that easy to find and can be used in various fields. The methylene blue used must be treated so that water pollution does not occur. One of the solutions that can be done is by using adsorption. The adsorption process requires adsorbent for processing media. Binjai (Mangifera Caesia) is fruit that often found in Bali and South Kalimantan areas. Binjai fruit seeds can be used as one of the adsorbent ingredients in the adsorption process. This study aims to determine the process of adsorption by Powder Activated Carbon (PAC) and Granular Activated Carbon (GAC) from Binjai seeds. The process of making charcoal is physically at a temperature of 660°C. After the adsorbent is formed, it is divided into two types of media based on size, PAC and GAC. The next step is washing the adsorbent then activating at 105°C and activating chemically with KMnO_4 . Removal of methylene blue for initial concentration 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, and 30 ppm is 57.06%, 90.05%, 91.33%, 94.81%, and 95.21% (PAC) and 75.30%, 93.78%, 96.13%, 97.23%, and 96.86% (GAC). The isotherm which has the highest R^2 value is Temkin which has a R^2 value above 0.95. The calculation results of Temkin's isotherm show that the value of Temkin coefficient (kT) was 62.87 L/g (PAC) and 61.968 L/g (GAC).

Keywords: *metylen blue*, Binjai seeds, PAC, GAC, and isotherm

I. PENDAHULUAN

Zat warna *metylen blue* adalah zat yang paling umum digunakan untuk pewarnaan katun, kayu dan sutra. Jika terhirup oleh manusia, dalam periode singkat *metylen blue* dapat menyebabkan nafas

tidak stabil, sensasi terbakar, rasa mual, muntah, banyak berkeringat, dan methemoglobinemia [1], [2]. Mengingat dampak yang dapat ditimbulkan oleh *metylen blue* maka penting dilakukan pengolahan. Limbah hasil proses pewarnaan biasanya diolah dengan proses konvensional seperti

dengan proses biosorpsi lumpur aktif. Hasil pengolahan warna secara biologis membutuhkan waktu berhari-hari dan efisiensi kurang dari 80% [3], [4]. Pewarna sintetis dalam air limbah tidak dapat disisihkan secara efisien dengan metode konvensional. Beberapa teknologi seperti ozonisasi dapat menyisihkan warna akan tetapi membutuhkan tenaga yang cukup tinggi [5]. Adsorpsi adalah metode yang sederhana dan ekonomis untuk meningkatkan kualitas air limbah [6]. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup yaitu Kep-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair, konsentrasi maksimum *metylen blue* yang diperbolehkan yaitu 5-10 mg/L [7].

Adsorpsi merupakan teknologi yang lebih unggul daripada teknik pengolahan air limbah lain dalam hal biaya, fleksibilitas desain, kemudahan operasi, dan ketidapekaan terhadap polutan beracun sehingga adsorpsi tidak mengakibatkan pembentukan zat berbahaya [8]. Adsorbet yang digunakan dalam proses adsorpsi dapat berbahan alami, biosorben, limbah pertanian, perkebunan dan industri. Salah satu produksi perkebunan yang cukup langka adalah Buah Binjai (*Mangifera Caesia*). Produksi buah Binjai banyak ditemukan di daerah Bali dan Kalimantan Selatan [9], [10]. Biji buah Binjai dalam penelitian ini digunakan untuk bahan pembuatan karbon aktif. Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya menggunakan biji buah kelompok *Mangifera* berhasil menyisihkan berbagai polutan seperti logam [11]-[14], warna [15]-[17], dan bahan organik [18], [19].

Bahan baku untuk pembuatan karbon aktif dapat berupa substansi dengan konsentrasi karbon dan mineral yang relatif tinggi. Preparasi bahan baku karbon aktif diproses dengan termal, dengan kehadiran reagen kimia atau karbonisasi melalui proses gasifikasi. Jika bahan baku berukuran kecil seperti serbuk gergaji kayu maka akan didapatkan karbon aktif berbentuk bubuk atau biasa disebut *Powder Activated Carbon* (PAC). Bahan baku yang memiliki tekstur cukup keras dapat dijadikan partikel-partikel keras yang relatif besar seperti dalam kasus batok kelapa maka disebut *Granular Activated Carbon* (GAC). Adsorpsi dalam air limbah sering digunakan untuk menyisihkan bahan-bahan yang tidak *biodegradable*, misalnya bahan organik *non-biodegradable* atau senyawa organik *refractory*. Adsorpsi sering dikelompokkan sebagai pengolahan tingkat lanjut atau pengolahan tersier.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui proses adsorpsi *metylen blue* dengan menggunakan PAC dan GAC dari bahan biji buah Binjai. Hasil adsorpsi akan menunjukkan waktu saat konsentrasi jenuh, C_e (konsentrasi jenuh), dan q_e (konsentrasi pada adsorbat) pada keadaan setimbang. Beberapa

penelitian menunjukkan penyisihan zat warna dalam karbon aktif yang menggunakan biji dari *genus* mangga mengikuti isoterm Langmuir dan Freundlich [15], [17], serta Temkin [16].

II. METODE PENELITIAN

Langkah penelitian dijelaskan berdasarkan diagram alir seperti pada Gambar 1. Biji buah Binjai yang disiapkan dimasukan *oven* pada suhu 105°C untuk menghilangkan kadar airnya. Kemudian biji buah potong menjadi ukuran kurang dari 10 cm dan dibakar pada suhu 600°C. Karbon yang terbentuk dari proses pembakaran, disiapkan dan dipecah menjadi butiran dan bubuk. Karbon yang berbentuk butiran dan bubuk dimasukan media pengayak. Hal ini dilakukan untuk menentukan luas permukaan. Dalam percobaan ini digunakan media berbentuk *granular* dan *powder*. GAC berukuran 2,4-4,6 mm, sedangkan untuk PAC berukuran 50-75 μ . Berat adsorbet yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500 mg.

Langkah berikutnya adalah melakukan pencucian terhadap GAC dan PAC selama 24 jam dan aktivasi dengan penambahan $KMnO_4$ 1%. Tujuan utama dari proses aktivasi adalah menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi serta untuk membuat beberapa pori baru. Adsorbet GAC dan PAC dimasukkan ke dalam *oven* dengan suhu 105°C selama 24 jam. Selama aktivasi, GAC dan PAC mengalami proses oksidasi yang akan menambah jumlah atau volume pori dan luas permukaan produk melalui proses eliminasi atau penghilangan volatil produk pirolisis.

Pembacaan absorbansi pada spektrofotometer perlu dilakukan untuk kalibrasi warna. Terdiri dari larutan *metylen blue* yang terdiri dari 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, 5 ppm, dan 10 ppm serta blanko (*aquadest*). Volume limbah yang digunakan adalah 500 mL dimana ditambahkan pada masing-masing konsentrasi zat warna *metylen blue* sebesar 1 mg/L, 5 mg/L, 10 mg/L, 20 mg/L dan 30 mg/L.

Hasil yang didapatkan dari percobaan dari pengukuran warna dimana data konsentrasi awal (C_0) zat warna, konsentrasi akhir saat setimbang (C_e), dan zat warna digunakan untuk menghitung konsentrasi terlarut dalam adsorbat saat setimbang (q_e). Setelah didapat semua data dari variasi konsentrasi tersebut kita dapat menghitung kapasitas adsorpsi (q_e) dengan persamaan berikut

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{mv} \quad (1)$$

dengan m adalah berat dari adsorban dan v adalah volume dari larutan yang digunakan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung isoterm kemampuan PAC dan GAC biji buah Binjai dalam menyisihkan zat warna *metylen blue* adalah Langmuir, Freundlich, dan Temkin. Isoterm Langmuir dalam bentuk yang persamaan linier dapat ditulis dengan [20]

$$\frac{1}{x/m} = \frac{1}{q_m b} \frac{1}{C} + \frac{1}{q_m} \quad (2)$$

dimana x/m merupakan besarnya adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/gr), q_m adalah maksimum adsorbat yang dapat teradsorpsi, b adalah konstanta Langmuir (L/mg) dan C adalah konsentrasi adsorbat di air pada saat setimbang. Dengan eksperimen laboratorium, kapasitas adsorpsi maksimum (q_m) dan konstanta Langmuir (b) dapat diperoleh.

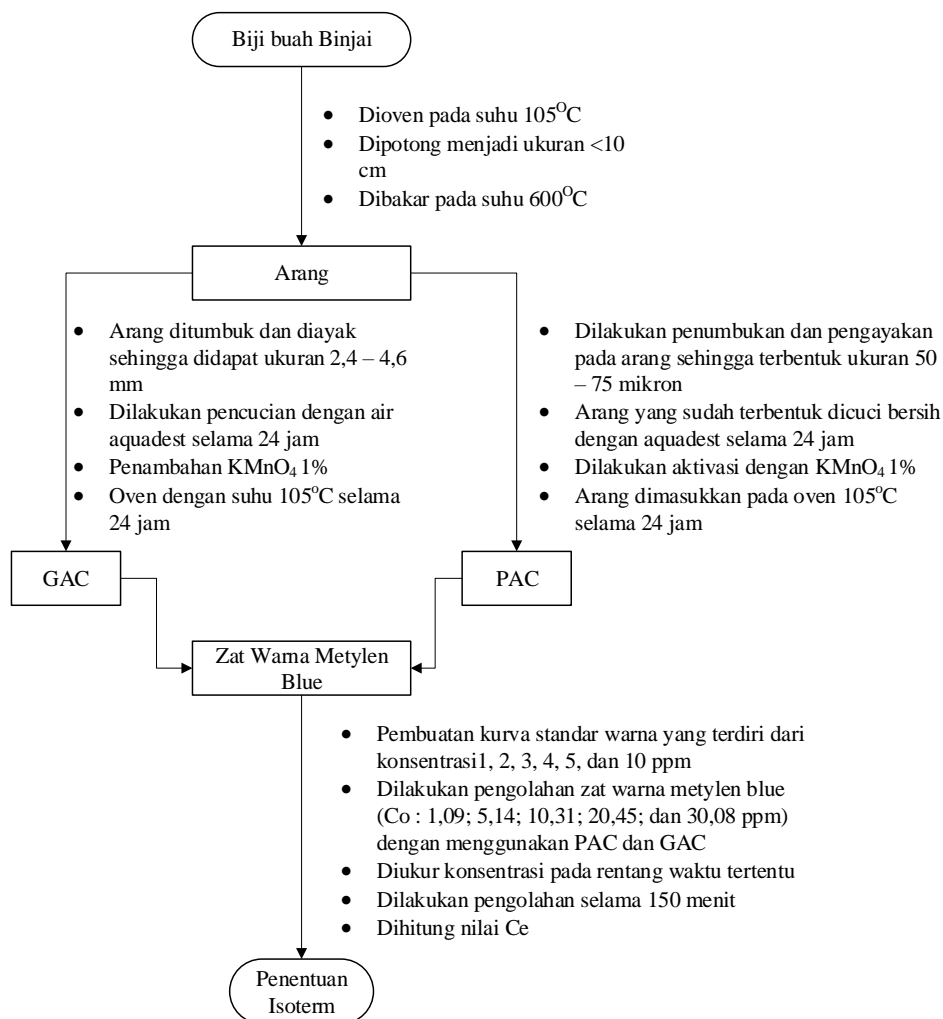
Perlu dilakukan pembuatan persamaan linier terhadap persamaan 3 dalam penentuan isoterm Freundlich terhadap konstanta K dan $1/n$. Data

percobaan laboratorium yang diperoleh diplot dengan $\ln(x/m)$ sebagai sumbu y dan $\ln C$ sebagai sumbu x . x/m menunjukkan besarnya adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/gr), K adalah konstanta Freundlich (mg/g) yang proposional dengan rasio distribusi konsentrasi adsorbat di solid-air, $1/n$ menyatakan ketidakinleran (tanpa satuan), dan C adalah konsentrasi adsorbat di air pada saat setimbang [21]. Grafik yang diperoleh adalah garis linier dengan *slope* adalah $1/n$ dan *intercept* adalah $\ln K$.

$$\ln(x/m) = \ln K + \frac{1}{n} \ln C \quad (3)$$

Dalam persamaan Temkin nilai konsentrasi yang sangat rendah dan besar diabaikan. Konsentrasi akan menurun secara linier daripada logaritmik [22]. Model yang diberikan oleh persamaan Temkin yaitu

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(K_T C_E) \quad (4)$$



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

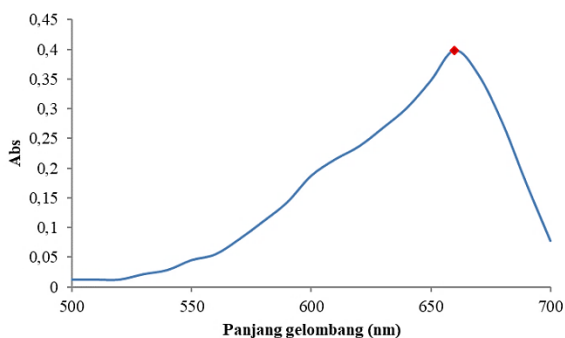
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum

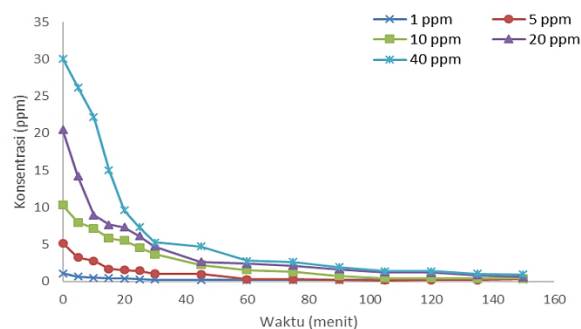
Berdasarkan Gambar 2, terlihat absorbansinya dilakukan dalam rentang panjang gelombang 500-700 nm. Hal ini didasarkan oleh Khopkar yang menyebutkan panjang gelombang untuk warna biru-hijau biru adalah 435-700 nm [23]. Dalam gambar terlihat nilai terbesar pada gelombang 660 nm. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan untuk mengetahui ketika absorpsi mencapai maksimum sehingga meningkatkan proses absorpsi larutan terhadap sinar. Beberapa penelitian juga menyebutkan larutan *metylen blue* memiliki panjang gelombang maksimum sebesar 660 nm [24]-[26]. Hasil pengukuran panjang gelombang maksimum *metylen blue* sesuai dengan hasil yang didapat dalam percobaan.

B. Penyisihan Konsentrasi Warna

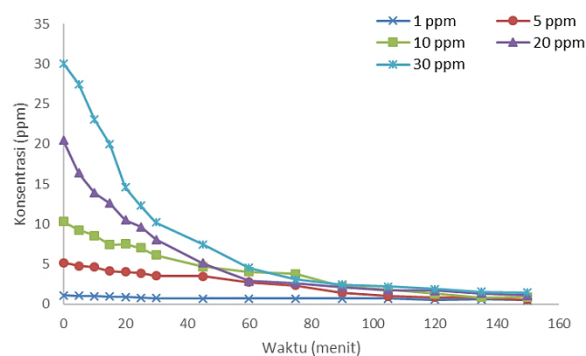
Hasil pengukuran konsentrasi warna untuk PAC dan GAC dapat dilihat pada Gambar 3. Penurunan zat warna pada PAC dan GAC menunjukkan konsentrasi zat warna sudah mengalami kejenuhan pada menit ke-90, dimana penurunan warna tidak drastis. Dalam pengamatan secara fisik juga terlihat warna biru sudah mulai menghilang sehingga warna sudah menjadi jauh lebih jernih sehingga konsentrasi zat warna sudah menurun. Zat warna pada PAC memiliki efisiensi penyisihan warna dari pada GAC. Terbukti GAC lebih cepat menyisihkan zat warna [27]. C_0 adalah nilai masing-masing konsentrasi saat sebelum dilakukannya perlakuan, sedangkan C_e adalah konsentrasi saat jenuh. PAC dan GAC dalam waktu optimum pada waktu 150 menit menunjukkan penyisihan warna di atas 90% pada inisial konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan 30 ppm (Tabel 1). Pada konsentrasi rendah dengan inisial konsentrasi 1 ppm menunjukkan efisiensi terendah karena kemampuan adsorbat yang spesifik. Penyisihan warna dengan media GAC menunjukkan efisiensi terbesar.



Gambar 2. Panjang gelombang maksimum *metylen blue* (λ_{maks})



(a)



(b)

Gambar 3. Penyisihan zat warna meylen blue oleh terhadap waktu dengan detensi 150 menit: (a) PAC, (b) GAC

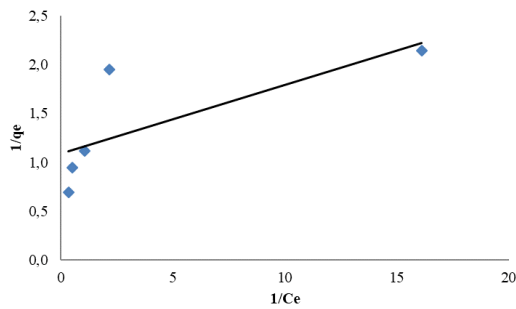
Tabel 1. Hasil penyisihan berdasarkan inisial konsentrasi dan media PAC dan GAC

Co	Powder		Granular	
	Ce	Efisiensi ¹	Ce	Efisiensi ¹
ppm	ppm	%	ppm	%
1,09	0,47	57,06	0,27	75,30
5,14	0,51	90,05	0,32	93,78
10,31	0,89	91,33	0,40	96,13
20,45	1,06	94,81	0,57	97,23
30,08	1,44	95,21	0,95	96,86

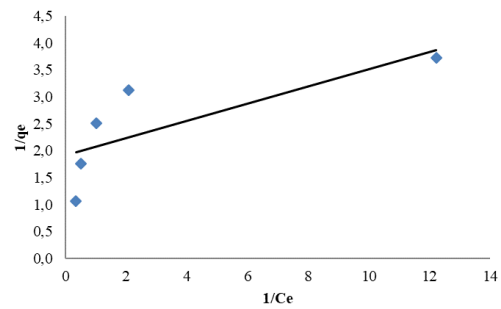
¹ efisiensi pada waktu detensi (td) = 150 menit

C. Isoterm Penyisihan Warna *Metylen Blue*

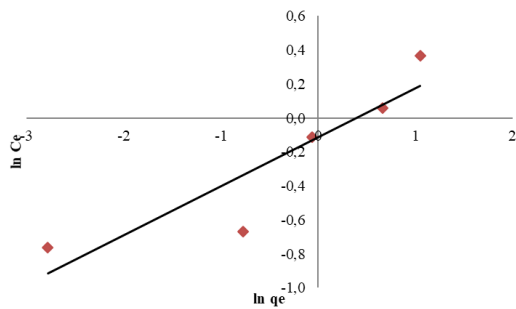
Penentuan model kinetika adsorpsi terhadap penyisihan zat warna oleh PAC dan GAC dilakukan dengan pengukuran konsentrasi larutan *metylen blue* (1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan 30 ppm) setiap selang waktu tertentu hingga dicapai konsentrasi jenuh. Terdapat tiga model kinetika yang digunakan untuk menguji proses adsorpsi PAC dan GAC biji buah Binjai yaitu model isoterm Langmuir, Freundlich, dan Temkin.



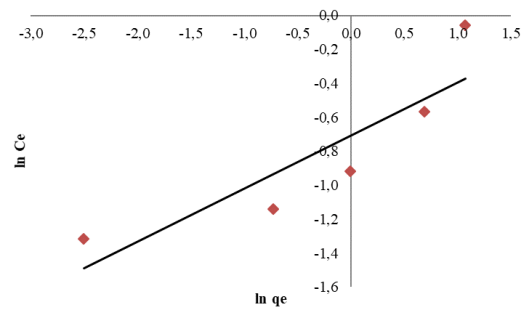
(a)



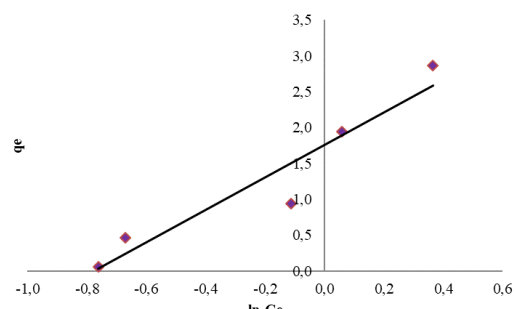
(a)



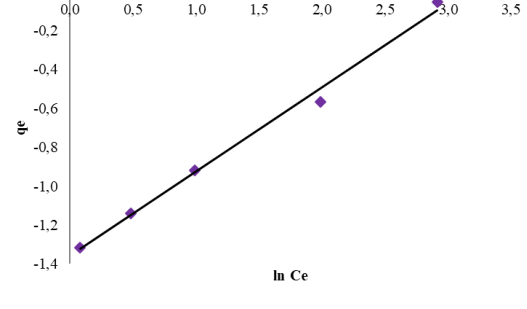
(b)



(b)



(c)



(c)

Gambar 4. Grafik persamaan linier isotherm penyisihan warna meylen blue dengan PAC biji Binjai: (a) Langmuir, (b) Freundlich, (c) Temkin

Gambar 5. Grafik persamaan linier isotherm penyisihan warna meylen blue dengan GAC biji Binjai: (a) Langmuir, (b) Freundlich, (c) Temkin

Isoterm Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan. Setiap situs aktif hanya terdapat satu molekul yang dapat diadsorpsi. Menurut Schnoor, proses adsorpsi yang terjadi di lingkungan pada umumnya bersifat isothermal karena perbedaan suhu [28]. Nilai R^2 untuk isotherm Langmuir cukup rendah yaitu 0,557 untuk PAC dan 0,585 untuk GAC (Gambar 4(a) dan Gambar 5(a)). Berarti hubungan antara $1/C_e$ dan $1/q_e$ cukup rendah. Nilai koefisien Langmuir K_L menunjukkan 12,008 L/mg dan 15,425 L/mg untuk PAC dan GAC. q_{maks} menunjukkan hasil yang cukup rendah yaitu 0,521 mg/g PAC dan 0,921 mg/g GAC. Dibandingkan dengan q_{maks} pada sintesa buah Salak dalam penggunaan persamaan Langmuir menunjukkan hasil 387,38 mg/g [29].

Pada persamaan Freundlich untuk penyisihan warna didapat nilai K_F dan n . Nilai n untuk PAC adalah 3,197 dan 3,469 untuk GAC (Gambar 4(b) dan Gambar 5(b)). Nilai ini menunjukkan nilai yang melebihi dari satu karena adanya peningkatan energi digunakan lebih dulu, diikuti oleh *site* yang lebih lemah dan seterusnya [28]. Pada percobaan ini hasil isotherm untuk kedua media memiliki kemiripan nilai. Hal ini mungkin terjadi karena terdapat persamaan afinitas pada permukaan PAC dan GAC, sehingga dapat disimpulkan bahwa permukaan adsorben adalah heterogen. Permukaan tidak homogen tersebut memungkinkan terjadinya proses adsorpsi secara multilayer pada permukaan adsorben PAC dan GAC. Koefisien Freundlich (K_F) menunjukkan nilai 0,493 mg/g (GAC) dan 0,892 mg/g (PAC) dalam penyisihan warna *metylen blue*. K_F ini memiliki nilai yang sedikit lebih rendah dibanding hasil [15]. Penyisihan Kongo merah

memiliki nilai K_F lebih tinggi dari percobaan dalam penelitian ini [30].

Isoterm Temkin dapat menjelaskan proses adsorpsi pada media yang tidak homogen, mekanisme proses adsorpsi yang terjadi adalah secara kimia [31]. Hasil yang ditunjukkan berdasarkan R^2 memiliki nilai yang paling tinggi jika dibandingkan dengan Langmuir dan Freundlich (Tabel 2). Koefisien Temkin menunjukkan nilai 62,87 L/g dan 61,968 L/g untuk PAC dan GAC (Gambar 4(c) dan Gambar 5(c)). Nilai ikatan pada kondisi kesetimbangan atau energi ikatan saat kondisi maksimum K_T pada masing-masing variasi media tidak terlalu jauh berbeda, yaitu 62,87 L/g dan 61,968 L/g. Nilai K_T dengan menggunakan asam humat dari ekstrak humus sungai yang memiliki nilai 62,214 L/g [32] tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian ini.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses adsorpsi dengan menggunakan GAC dan PAC dari biji Binjai melalui percobaan. Hasil adsorpsi menunjukkan penyisihan zat *metylen blue* pada inisial konsentrasi 1 ppm sampai 30 ppm meningkat seiring kenaikan inisial konsentrasi pada waktu detensi 150 menit yaitu 57,06% - 95,21% (PAC) dan 75,30% - 96,86% (GAC). Perhitungan pada isotherm Langmuir (PAC 0,585 dan GAC 0,557) dan Freundlich (PAC 0,779 dan GAC 0,820) menunjukkan nilai R^2 yang cukup rendah. Isoterm Temkin dapat menjelaskan adsorpsi secara kimia pada warna *metylen blue* dalam lapisan adsorbat yang semakin banyak dan terdistribusi seragam pada layer hingga terjadi ikatan maksimum.

Tabel 2. Rekapitulasi perhitungan isotherm penyisihan *metylen blue* dengan PAC dan GAC

Isoterm Langmuir			
Adsorben	R^2	qm (mg/g)	kL (L/mg)
GAC	0,585	0,521	12,008
PAC	0,557	0,921	15,425
Isoterm Freundlich			
Adsorben	R^2	n	kF (mg/g)
GAC	0,779	3,197	0,493
PAC	0,820	3,469	0,892
Isoterm Temkin			
Adsorben	R^2	kT (L/g)	B_T
GAC	0,993	62,87	2,298
PAC	0,914	61,968	2,265

REFERENSI

- [1] D. Ghosh and K. Bhattacharyya, "Adsorption of methylene blue on kaolinite," *Applied Clay Science*, vol. 20, p. 295–300, 2002.
- [2] O. Hamdaoui and M. Chiha, "Removal of Methylene blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran," *Acta Chimica Slovenica*, vol. 54, pp. 407-418, 2006.
- [3] I. Sastrawidana, "Studi perombakan zat warna tekstil remazol red RB secara aerob menggunakan bakteri enterobacter aerogenes yang diisolasi dari lumpur limbah tekstil," *Jurnal Kimia*, vol. 5, pp. 117-124, 2011.
- [4] P. Komala, Y. Dewilda, M. Zulfan and Z. Wulandari, "Karakterisasi Produk Biomassa Seluler dalam Bioreaktor Membran pada Biodegradasi Zat Warna Azo Remazol Black 5," *Jurnal Reaktor*, vol. 15, pp. 139-147, 2015.
- [5] I. Suryawan, Q. Helmy and S. Notodarmojo, "Textile wastewater treatment: colour and COD removal of reactive black-5 by ozonation.," *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 106, pp. 1-6, 2018.
- [6] E. Forgacs, T. Cserhati and G. Oros, "Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review," *Environment International*, vol. 30, p. 953–971, 2004.
- [7] Keputusan, "Menteri Lingkungan Hidup yaitu Kep-51/MENLH/10/1995".
- [8] M. Rafatullaha, O. Sulaimana, R. Hashima and A. Ahmadb, "Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 177, p. 70–80, 2010.
- [9] K. Rosyidah, H. Latifah and M. Astuti, "Isolasi Dan Karakterisasi Senyawa α -Amirin Dari Kulit Batang Binjai (*Mangifera Caesia*)," *Valensi*, vol. 2, p. 389-392, 2011.
- [10] N. Vipriyanti, "Pengembangan jalur agrowisata kaje-kelod di Buleleng Barat-Bali," *Agrimeta: Jurnal Pertanian Berbasis Keseimbangan Ekosistem*, vol. 1, pp. 1-20, 2011.
- [11] T. Kanjilal, S. Babu, K. Biswas, C. Bhattacharjee and S. Datta, "Application of mango seed integuments as bio-adsorbent in lead removal from industrial effluent," *Desalination and Water Treatment*, vol. 56, pp. 984-996, 2014.
- [12] S. Mise and T. Patil, "Adsorption Studies of Chromium(VI) on Activated Carbon Derived from *Mangifera indica* (Mango) Seed Shell," *Journal of The Institution of Engineers*, vol. 96, p. 237–247, 2015.
- [13] M. Moyo, V. VPakade and S. Modise, "Biosorption of lead(II) by chemically modified *Mangifera indica* seed shells: Adsorbent preparation, characterization and performance assessment," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 111, pp. 40-51, 2017.

- [14] T. Kose, A. Gharde, N. Meshram, B. Gharde and S. Gholse, "Application of mangifera indica seed shell for effective adsorption of Fe(II) and Mn(II) from aqueous solution," *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, vol. 14, pp. 919-924, 2015.
- [15] D. Singh, V. Sowmya, S. Abinandan and S. Shanthakumar, "Removal of Malachite Green Dye by Mangifera indica Seed Kernel Powder," *Journal of The Institution of Engineers*, vol. 99, pp. 103-111, 2018.
- [16] O. Bello, B. Lasisi and O. E. V. Adigun, "Scavenging Rhodamine B dye using moringa oleifera seed pod," *Chemical Speciation & Bioavailability*, vol. 29, pp. 120-134, 2017.
- [17] M. Dávila-Jiménez, M. Elizalde-González and V. Hernández-Montoya, "Performance of mango seed adsorbents in the adsorption of anthraquinone and azo acid dyes in single and binary aqueous solutions," *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 6199-6206, 2009.
- [18] K. Imrana, K. Mohana, N. Kumara, B. Naika and K. Seshiah, "Removal of BTEX from aqueous solution using Mangifera indica (Mango) seed: Kinetics and equilibrium studies," *International Journal of Applied Environmental Sciences*, vol. 12, pp. 1337-1358, 2017.
- [19] A. Bhatnagar, A. Minocha, E. Kumar, M. Sillanpää and B. Jeon, "Removal of Phenolic Pollutants from Water Utilizing Mangifera indica (Mango) Seed Waste and Cement Fixation," *Separation Science and Technology*, vol. 44, pp. 3150-3169, 2009.
- [20] I. Langmuir, "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 40, pp. 1362-1403, 1918.
- [21] E. Voudrias, F. Fytianos and E. Bozani, "Sorption Description isotherms of Dyes from aqueous solutions and Waste Waters with Different Sorbent materials," *GlobalNEST International Journal*, vol. 4, pp. 75-83, 2002.
- [22] M. Tempkin and V. Pyzhev, "Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalyst," *Acta Physico-Chimica Sinica*, p. 327-356, 1940.
- [23] S. Khopkar, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, Jakarta: UI Press, 2003.
- [24] J. Yu, L. Wu, J. Lin, P. Li and Q. Li, "Microemulsion-mediated solvothermal synthesis of nanosized CdS-sensitized TiO₂," *Chemical Communications*, pp. 1552-1553, 2003.
- [25] G. Li, S. Ciston, Z. Saponjic, L. Chen, N. Dimitrijevic, T. Rajh and K. A. Gray, "Synthesizing mixed-phase TiO₂ nanocomposites using a hydrothermal method for photo-oxidation and photoreduction applications," *Journal of Catalysis*, vol. 253, pp. 105-110, 2008.
- [26] K. Kadirvelu, M. Kavipriya, C. Karthika, M. Radhika, N. Vennilamani and S. Pattabhi, "Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions," *Bioresource Technology*, vol. 87, pp. 129-132, 2003.
- [27] M. Durala, L. Cavasa, S. Papageorgiou and F. Katsarosc, "Methylene Blue Adsorption On Activated Carbon Prepared From Posidonia Oceanica (L.) Dead Leaves: Kinetics And Equilibrium Studies," *Chemical Engineering Journal*, vol. 168, pp. 77-85., 2011.
- [28] J. Schnoor, *Environmental Modelling : Fate And Transport Of Pollutants In Water, Air And Soil*, New Jersey: John Wiley and Sons Inc, 1996.
- [29] R. Tanumiharja, A. Putranto and A. Andreas, "Sintesa Karbon Aktif dari Kulit Salak dengan Aktivasi Kimia-Senyawa ZnCl₂ dan Aplikasinya pada Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, vol. Yogyakarta, pp. C9-1 - C9-7, 2015.
- [30] M. Ibrahim and S. Sani, "Comparative Isotherms Studies on Adsorptive Removal of Congo Red from Wastewater by Watermelon Rinds and Neem-Tree Leaves," *Open Journal of Physical Chemistry*, vol. 4, pp. 139-146, 2014.
- [31] S. Gao, C. Wang and Y. Pei, "Comparison of Different Phosphate Species Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals," *Journal of Environmental Science*, vol. 25, pp. 986-992, 2013.
- [32] E. Inam, O. O. Udo, J. B. Edet, U. J. Etim and N. O. Offiong, "Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution by Humic Acid Extracted from Freshwater River Humus," *Journal of Materials and Environmental Sciences*, vol. 9, pp. 1324-1334, 2018.

