

## Reduksi Warna Methylen Blue (MB) dengan Granular Zeolit Klinoptilolit Teraktivasi

Anshah Silmi Afifah<sup>1\*</sup>, Yosef Adicita<sup>2</sup>, I Wayan Koko Suryawan<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Universal

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina

\*surel: [anshah.silmi@uvers.ac.id](mailto:anshah.silmi@uvers.ac.id)

### ABSTRACT

Methylene blue (MB) is a basic dye that is often used in industrial activities in Indonesia. The technology that can be applied in liquid waste processing applications containing MB is adsorption with granular zeolite. The purpose of this experiment is to see the adsorption process using granular zeolite. The zeolite has been granular for 24 hours and activated with the addition of  $KMnO_4$ . This experiment's initial concentration is 1 ppm; 5 ppm 10 ppm; 20 ppm; and 30 ppm. The highest MB color removal efficiency was 85.49%, with the initial MB concentration of 5 ppm. A fairly good correlation was found for the Langmuir isotherm of 0.8248 and the Freundlich isotherm of 0.9523.

### Keywords:

MB,  
adsorption,  
granular zeolite,  
color removal

Submitted: March 2020

Reviewed: January 2021

Published: February 2021

### INTISARI

Zat warna metylen blue (MB) merupakan zat warna dasar yang sering digunakan dalam kegiatan industri di Indonesia. Teknologi yang dapat diterapkan dalam aplikasi pengolahan limbah cair yang mengandung MB adalah adsorpsi dengan granular zeolit. Tujuan dalam percobaan ini adalah untuk mengetahui proses adsorpsi dengan menggunakan granular zeolit. Zeolit yang sudah berbentuk granular dicuci selama 24 jam dan diaktivasi dengan penambahan  $KMnO_4$ . Inisial konsentrasi yang digunakan dalam percobaan ini adalah 1 ppm; 5 ppm 10 ppm; 20 ppm; dan 30 ppm. Efisiensi penyisihan warna MB tertinggi adalah 85,49% dengan inisial konsentrasi MB sebesar 5 ppm. Korelasi yang cukup baik dihasilkan pada masing-masing isotherm Langmuir sebesar 0,8248 dan isotherm Freundlich sebesar 0,9523.

### Kata Kunci:

MB,  
adsorpsi,  
granular zeolite,  
penyisihan warna

Diterima: Maret 2020

Direview: Januari 2021

Dipublikasi: Februari 2021



©2021 Anshah Silmi Afifah, Yosef Adicita, I Wayan Koko Suryawan. Published by Institute for Research and Community Services Universitas Muhammadiyah Palangkaraya. This is Open Access article under the CC-BY-SA License (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>). DOI: <https://doi.org/10.33084/mitl.v6i1.1271>.

## PENDAHULUAN

Zat warna yang sering digunakan karena bahannya mudah didapat dan murah adalah methylen blue (MB). Zat warna MB merupakan zat warna dasar yang penting

dalam proses pewarnaan kulit, kain mori, dan kain katun [1]. MB dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit [2].

Berdasarkan bahaya yang ditimbulkan maka metilen biru yang diperbolehkan di lingkungan relatif rendah. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup yaitu Kep-51/MENLH/10/1995 [3] tentang baku mutu limbah cair, konsentrasi maksimum MB yang diperbolehkan yaitu 5-10 mg/L. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengatasi bahaya dari limbah cair yang mengandung zat warna adalah dengan adsorpsi. Adsorpsi merupakan metode yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair. Adsorpsi adalah fenomena permukaan, maka kapasitas adsorpsi dari suatu adsorben merupakan fungsi luas permukaan spesifik [4]. Bahan baku adsorben adalah bahan yang memiliki pori, karena adsorbs berlangsung pada dinding-dinding pori.

Granular zeolit merupakan material berpori yang penggunaannya sangat luas. Kegunaan granular zeolit didasarkan atas kemampuannya melakukan pertukaran ion (*ion exchanger*), adsorpsi (*adsorption*) dan katalisator (*catalyst*). Granular zeolit memiliki bentuk kristal yang sangat teratur dengan rongga yang saling berkaitan ke segala arah yang menyebabkan luas permukaan granular zeolit sangat besar sehingga sangat baik digunakan sebagai adsorben [5]. Peningkatan daya guna atau optimalisasi granular zeolit sebagai adsorben dapat dilakukan melalui aktivasi secara fisis maupun kimia [6-8]. Proses aktivasi secara fisis dilakukan dengan pemanasan atau disebut juga dengan proses kalsinasi. Pemanasan ini bertujuan untuk

menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal granular zeolit sehingga banyaknya pori dan luas permukaan spesifik bertambah [9]. Aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam klorida [10-12], asam sulfat [10-11], asam fosfat [12] yang bertujuan untuk membersihkan permukaan pori pada zeolit.

Zeolit alam telah banyak ditemukan dan memiliki peranan penting karena ketersediaannya yang melimpah di alam [13]. Zeolit alam dapat diaktivasi secara fisis yaitu memanfaatkan pemanasan, sedangkan aktivasi kimia dapat dilakukan dengan bantuan asam atau basa [14]. Proses aktivasi dengan panas dapat dilakukan pada suhu antara 20<sup>0</sup>-400<sup>0</sup>C selama beberapa jam [15]. Aktivasi kimia untuk zeolit alam saat ini banyak menggunakan kalium permanganat (KMnO<sub>4</sub>) [16-17]. Pereaksi ini murah dan mudah didapatkan [18].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui proses adsorpsi zat warna MB pada konsentrasi yang berbeda dengan menggunakan granular zeolit yang sudah teraktivasi dengan pemanasan 105<sup>0</sup>C dan penambahan KMnO<sub>4</sub>. Dimana hasil adsorpsi akan mengetahui waktu saat konsentrasi jenuh, Ce (konsentrasi jenuh), dan qe (konsentrasi pada adsorbat pada keadaan setimbang). Sehingga dapat dihitung isotermin Langmuir atau Freundlich, dan dapat ditentukan isotermin yang tepat digunakan untuk masing – masing penyisihan zat warna dan zat organik.

## METODOLOGI

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer 1 L dan alat jartest. Bahan yang digunakan adalah zeolite alam klinoptilolit  $(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  beserta pewarna MB.

### Proses Aktivasi Granular Zeolit

Langkah pertama melakukan pembentukan zeolit menjadi granular dengan menggunakan alu dan lumping. Kemudian dilakukan proses pengayakan sehingga dapat terbentuk granular zeolit dengan ukuran 100 mesh. Kemudian dilakukan pencucian selama 24 jam dan aktivasi dengan penambahan  $\text{KMnO}_4$ . Tujuan utama dari proses aktivasi adalah menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses dan pembentukan pori baru. Adanya interaksi antara zat pengaktivasi yaitu  $\text{KMnO}_4$  dengan struktur atom-atom granular zeolit adalah mekanisme dari proses aktivasi. Kemudian granular zeolit dimasukkan kedalam oven dengan suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Selama aktivasi, granular zeolit mengalami suasana oksidasi yang akan menambah jumlah atau volume pori dan luas permukaan produk melalui proses eliminasi atau penghilangan volatil.

### Pengukuran Konsentrasi Warna

Khopkar menyebutkan panjang gelombang untuk biru-hijau biru adalah 435–700 nm [19]. Dalam penelitian ini digunakan

panjang gelombang 660 nm dalam pembacaan konsentrasi warna. Hal ini ditunjukkan dengan panjang gelombang maksimum berada pada panjang gelombang tersebut. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan larutan standard dengan konsentrasi 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, dan 15 ppm. Kurva kalibrasi menunjukkan persamaan  $y = 0,1944x + 0,0033$  dengan  $R^2 = 0,9994$ .

### Proses Pengolahan

Volume larutan yang digunakan untuk masing masing MB adalah 500 mL. Masing konsentrasi zat warna MB sebesar 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan 30 ppm. Pengolahan dilakukan dengan penambahan granular zeolit dengan berat 5 gram, kemudian dilakukan pengadukan pada *jar test* dengan kecepatan pengadukan 40 rpm. Sampel larutan diambil setiap 5 menit sebanyak 5 mL dan dihentikan ketika tidak terjadi perubahan warna lagi (kondisi jenuh ataupun konstan).

### Perhitungan Kapasitas Adsorpsi dan Isoterm

Kapasitas adsorbs dihitung untuk menghitung banyaknya zat MB yang dapat diserap oleh granular zeolit. Persamaan 1 merupakan yang digunakan untuk menghitung kapasitas Adsorpsi ( $q_e$ ; mg/g) [20].

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m \cdot v} \quad (1)$$

Di mana:

1. data konsentrasi awal ( $C_0$ ) zat warna MB (ppm),
2. data konsentrasi akhir saat setimbang ( $C_e$ ) zat warna MB (ppm),

3.  $m$  adalah berat dari granular zeolit yang digunakan (g),
4.  $v$  adalah volume dari larutan MB yang digunakan (L)

Model adsorpsi Langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan *monolayer*. Dalam bentuk yang umum adsorpsi Langmuir dapat ditulis dengan [20].

$$\frac{x}{m} = \frac{q_m bC}{1+bC} \quad (2)$$

Di mana:

1.  $x/m$  merupakan besarnya adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/gr),
2.  $q_m$  adalah maksimum adsorbat yang dapat teradsorpsi,
3.  $b$  adalah konstanta Langmuir (L/mg),
4.  $C$  adalah konsentrasi adsorbat di air pada saat setimbang.

Model adsorpsi Freundlich digunakan jika diasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan site bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikatan pada tiap site. Dimana  $K$  dan  $1/n$  adalah konstanta-konstanta Freundlich. Persamaan linier dapat pula dituliskan dalam model yang lebih umum sebagai berikut [21].

$$\frac{x}{m} = KC^{1/n} \quad (3)$$

Di mana:

1.  $x/m$  menunjukkan besarnya adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/gr),

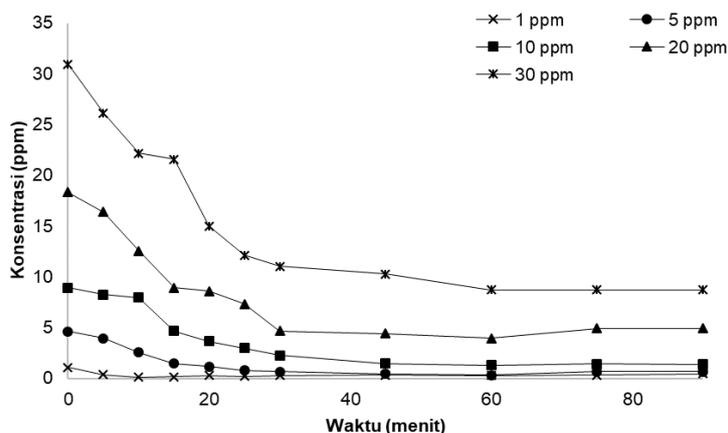
2.  $k$  adalah konstanta Freundlich (mg/g) yang proposional dengan ratio distribusi konsentrasi adsorbat di solid-air.
3.  $C$  adalah konsentrasi adsorbat di air pada saat setimbang (ppm)
4.  $1/n$  menyatakan ketidak linieran (tanpa satuan)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

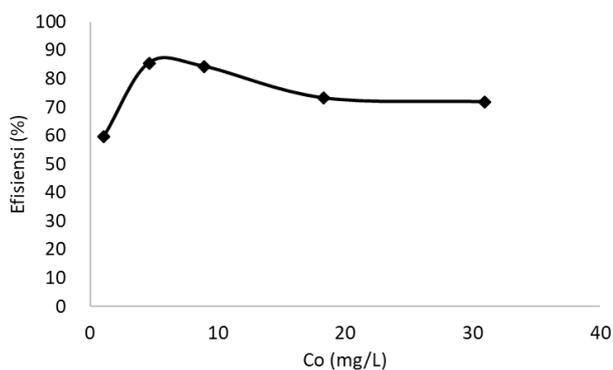
### Penyisihan Warna

Penentuan waktu optimum terjadinya proses adsorpsi granular zeolit terhadap metylen blue dipelajari dengan melakukan adsorpsi pada grafik pengukuran konsentrasi pada Gambar 1. Waktu optimum pengolahan zat warna MB diperoleh pada waktu 90 menit, karena kapasitas adsorpsi terbesar dan konstan pada waktu tersebut. Hal ini dapat dimungkinkan terjadinya kesetimbangan laju reaksi adsorpsi, yaitu laju tertutupnya permukaan adsorben oleh adsorbat. Penurunan zat warna MB cenderung terjadi pada menit ke 30 dan mulai konstan setelahnya.

Efisiensi tertinggi dalam penelitian ini adalah 85,49% dengan inisial konsentrasi MB sebesar 5 ppm. Efisiensi penyisihan warna MB pada inisial konsentrasi 1 ppm menunjukkan nilai paling rendah. Kemudian efisiensi meningkat pada inisial konsentrasi 5 ppm dan menurun kembali pada inisial konsentrasi 10 ppm sampai dengan 30 ppm (Gambar 2).



Gambar 1. Penyisihan warna MB pada masing-masing waktu pengambilan sampel



Gambar 2. Perubahan Efisiensi Penyisihan Warna MB pada Setiap Inisial Konsentrasi (Co)

Penelitian lain juga menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 87,41 % dalam penyisihan warna MB dengan 4A-zeolit [22]. Modifikasi penyisihan warna MB juga telah dilakukan sebelumnya dengan penambahan fotokatalis TiO<sub>2</sub> terhadap zeolit<sup>[23-25]</sup>. Jika dibandingkan dengan penyisihan warna MB dengan Adsorpsi karbon aktif mampu menyisihkan warna tertinggi mencapai 97,23% [26].

Teknologi adsorpsi dengan zeolit dapat ditambahkan dengan teknologi lain seperti oksidasi. Salah satu contoh adalah dengan teknologi ozon yang mampu menyisihkan warna MB sebesar 98,9% pada waktu 10

menit [27]. Teknologi oksidasi dengan aliran ozon merupakan teknologi yang dapat digabung dengan teknologi lain dan sangat efektif dalam pengolahan limbah industri tekstil yang mengandung zat warna [28-29]. Gabungan antara proses oksidasi dan adsorpsi zeolit dapat menyisihkan warna MB sebesar 92,4% [30]. Dalam penelitian lain integrasi proses ozon dan adsorpsi zeolit juga dapat menyisihkan senyawa arsen [31].

Penambahan pengolahan lanjut dalam sistem pengolahan air limbah tekstil sangat diperlukan dalam rangkadar ulang air dan menurunkan dampak lingkungan. Adsorpsi merupakan salah satu pengolahan lanjut yang dapat digunakan sebagai daur ulang air dengan biaya yang relatif murah [32]. Teknologi lain yang disarankan untuk digunakan sebagai pengolahan lanjut adalah oksidasi dengan ozon [33-34]. Untuk mendapatkan efisiensi yang lebih optimal integrasi pengolahan tersebut sangat disarankan. Tabel 1 menjelaskan konsentrasi awal (Co) adalah nilai masing – masing konsentrasi saat sebelum dilakukannya perlakuan *jar test*. Nilai kapasitas adsorpsi qe

juga meningkat seiring bertambahnya konsentrasi MB pada larutan. Kapasitas adsorpsi terbesar pada inisial konsentrasi MB sebesar 30 ppm dengan kapasitas 2,22 mg/g. Hasil ini memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian terdahulu

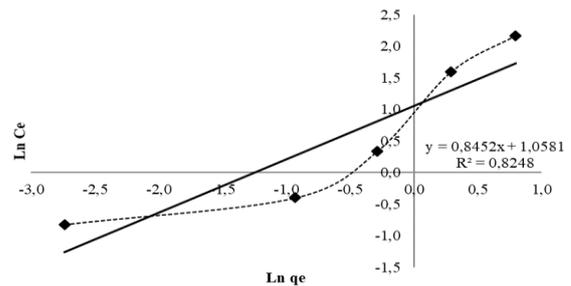
yang memiliki nilai 1.82 mg/g [35]. Purnomo juga menghasilkan nilai yang lebih rendah pada *activated carbon* kulit kopi sebagai adsorben warna MB dengan kapasitas adsorpsi 0,33 mg/g adsorben [36].

Tabel 1. Hasil perhitungan nilai  $q_e$  dan masing-masing konstanta untuk perhitungan isoterm adsorpsi

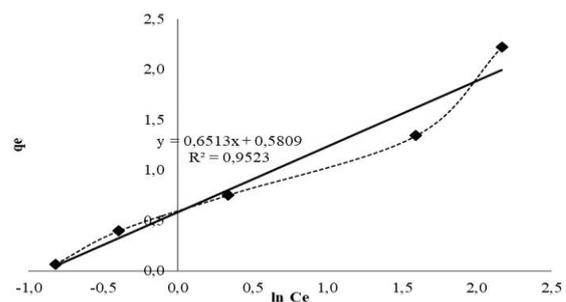
V (L)	W (g)	Co (ppm)	Ce (ppm)	$q_e$ (ppm)	1/ $q_e$	1/Ce	Ln $q_e$	Ln Ce
0,5	5	1,1	0,44	0,06	15,45	2,27	-2,74	-0,82
0,5	5	4,82	0,67	0,40	2,53	1,49	-0,93	-0,40
0,5	5	9,93	1,40	0,75	1,33	0,71	-0,28	0,34
0,5	5	19,77	4,91	1,34	0,75	0,20	0,29	1,59
0,5	5	30,95	8,72	2,22	0,45	0,11	0,80	2,17

Berdasarkan persamaan 2 dan persamaan 3 serta Tabel 1 maka dapat dilihat masing-masing persamaan linier persamaan Isoterm Langmuir dan Freundlich. *Intercept* dan *slope* dapat dicari berdasarkan Gambar 3. Masing-masing grafik persamaan menunjukkan korelasi yang cukup kuat yaitu  $R^2$  sebesar 0,8248 pada persamaan Langmuir dan  $R^2$  sebesar 0,9523 pada persamaan Freundlich.

Adsorpsi zat warna MB menggunakan granular zeolit menunjukkan nilai koefisien korelasi hanya sebesar 0,8248 pada Isoterm Langmuir, dibandingkan dengan Isoterm Freundlich (Tabel 2). Hasil ini berbanding terbalik dengan Aysan dkk, dengan hasil koefisien korelasi 0,95 dengan isoterm Langmuir pada Adsorpsi MB dengan *naturally* adsorbant zeolite [37-38].



(a) Persamaan Isoterm Langmuir



(b) Persamaan Isoterm Freundlich

Gambar 3. Persamaan Linier untuk Isoterm Langmuir (a) dan Isoterm Freundlich (b) dalam Penyisihan Warna MB

Hasil perhitungan dengan Isoterm Langmuir menunjukkan nilai kapasitas Adsorpsi hanya sebesar 0,95 mg/g. Penelitian terdahulu dengan menggunakan Kaolin kapasitas Adsorpsi MB sebesar 52.76 mg/g dengan Isoterm Langmuir [39].

Penelitian lain menunjukkan nilai korelasi yang tinggi untuk isoterm Freundlich dengan nilai 0,999 [38]. Nilai Kf yang didapatkan dalam penelitian ini menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Saputra dkk, hasil Kf yang ditunjukkan adalah  $0.52 \text{ (mg.g}^{-1}\text{)(mg.L}^{-1}\text{)n}$ .

Tabel 2. Hasil koefisien untuk Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich

Isoterm Langmuir	Persamaan linier $= 0,8452x + 1,0581$	$R^2$ 0,8248	q (mg/g) 0,95	B 1,25
Isoterm Freundlich	Persamaan linier $y = 0,6513x + 0,5809$	$R^2$ 0,9523	1/n 0,65	Kf (mg.g <sup>-1</sup> )(mg.L <sup>-1</sup> )n 1,79

## KESIMPULAN

Proses penyisihan warna MB dalam menggunakan granular zeolit memiliki efisiensi tertinggi sebesar 85,49% dengan inisial konsentrasi 5 ppm. Isotermn adosorbsi memperlihatkan korelasi yang cukup kuat yaitu  $R^2$  sebesar 0,8248 pada persamaan Langmuir dan  $R^2$  sebesar 0,9523 pada persamaan Freundlich. Koefisien q pada persamaan Langmuir memiliki nilai 0,95 mg/g, sedangkan untuk koefisien Kf pada persamaan Freundlich memiliki nilai  $1,79 \text{ (mg.g}^{-1}\text{)(mg.L}^{-1}\text{)n}$ . Proses pengolahan MB dengan zeolit klinoptilolit mengikuti model isotherm yang diikuti adalah Freundlich.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syahvalensi, N., Rokhmat, M., & Wibowo, E. (2019). Pengaruh Penambahan Karbon Pada Fotokatalist Berbahan Dasar Tio<sub>2</sub> Untuk Mendegradasi Methylene Blue. *eProceedings of Engineering*, 6(1).
- [2] Hamdaoui, O., & Chiha, M. (2007). Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran. *Acta Chimica Slovenica*, 54(2).
- [3] Keputusan Menteri Lingkungan Hidup yaitu Kep-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair
- [4] Rahmalia, W., Yulistira, F., Ningrum, J., Qurbaniah, M., & Ismadi, M. (2015). Pemanfaatan potensi tandan kosong kelapa sawit (*Elais guineensis* Jacq) sebagai bahan dasar c-aktif untuk adsorpsi logam perak dalam larutan.
- [5] Pandia, S., & Warman, B. (2016). Pemanfaatan Kulit Jengkol Sebagai Adsorben Dalam Penyerapan Logam Cd (II) Pada Limbah Cair Industri Pelapisan Logam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(4), 57-63.
- [6] Anggara, P. A., Wahyuni, S., & Prasetya, A. T. (2013). Optimalisasi Zeolit Alam Wonosari dengan Proses Aktivasi secara

- Fisis dan Kimia. Indonesian Journal of Chemical Science, 2(1).
- [7] Mustopa, R. S., & Risanti, D. D. (2013). Karakterisasi Sifat Fisis Lumpur Panas Sidoarjo dengan Aktivasi Kimia dan Fisika. Jurnal Teknik ITS, 2(2), F256-F261.
- [8] Aidha, N. N. (2013). Aktivasi zeolit secara fisika dan kimia untuk menurunkan kadar kesadahan (Ca dan Mg) dalam air tanah. Jurnal kimia dan Kemasan, 35(1), 58-64.
- [9] Emelda, L., Putri, S. M., & Ginting, S. (2013). Pemanfaatan zeolit alam teraktivasi untuk adsorpsi logam Krom ( $\text{Cr}^{3+}$ ). Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan, 9(4), 166-172.
- [10] Mutiara Valentina, M., Martina, E., & Masyithah, Z. (2015). Pembuatan Gliserol Tribenzoat Dengan Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis H-Zeolit Teraktivasi Oleh Asam Klorida Dan Asam Sulfat. Jurnal Teknik Kimia USU, 5(1).
- [11] Martina, E., & Masyithah, Z. (2016). Pembuatan Gliserol Tribenzoat Dengan Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis H-Zeolit Teraktivasi Oleh Asam Klorida Dan Asam Sulfat. Jurnal Teknik Kimia USU, 5(1), 58-64.
- [12] Subariyah, I., Zakaria, A., & Purwamargapratala, Y. (2014). Karakterisasi Zeolit Alam Lampung Teraktivasi Asam Klorida dan Termodifikasi Asam Fosfat. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah, 16(3).
- [13] Lestari, D. Y. (2010, October). Kajian modifikasi dan karakterisasi zeolit alam dari berbagai negara. In Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia (pp. 1-6).
- [14] Kurniasari, L., Djaeni, M., & Purbasari, A. (2011). Aktivasi zeolit alam sebagai adsorben pada alat pengering bersuhu rendah. Reaktor, 13(3), 178-184.
- [15] Rosita, N., Erawati, T., & Moegihardjo, M. (2004). Pengaruh perbedaan metode aktivasi terhadap efektivitas zeolit sebagai adsorben. Majalah Farmasi Airlangga, 4(1), 17-33.
- [16] Ekawati, R., Taslimah, T., & Pardoyo, P. Pengaruh Aktivasi Zeolit Dengan  $\text{KmnO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  Dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  Terhadap Adsorpsifitas Ion  $\text{Na}^+$  Dan  $\text{Mg}^{2+}$  Diujikan Pada Air Tanah Karimunjawa Blok I. Jurnal Sains Dan Matematika, 18(4), 150-157.
- [17] Listiana, L. (2008). Pengaruh Perlakuan Hcl Pada Kristalinitas Dan Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam Terhadap Ion  $\text{Ca}^{2+}$ .
- [18] Hasan, F. A. Penetapan Kadar Hidrogen Peroksida Dalam Sediaan Pewarna Rambut Secara Titrasi Redoks Menggunakan Alat Autotitrator.
- [19] Khopkar, S.M. 2003. Konsep Dasar Kimia Analitik. Jakarta : UI Press.
- [20] Tchobanoglous, G. (1991) Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. 3rd Edition, Metcalf & Eddy, Inc., McGraw Hill
- [21] Sawyer, C.N., McCarty, P.L. dan Parkin, G.F. 1994. Chemistry for Environmental Engineering. Fourth Edition. McGraw-Hill.
- [22] Baheri, B., Ghahremani, R., Peydayesh, M., Shahverdi, M., & Mohammadi, T. (2016). Dye removal using 4A-zeolit/polyvinyl

- alcohol mixed matrix membrane adsorbents: preparation, characterization, adsorption, kinetics, and thermodynamics. *Research on Chemical Intermediates*, 42(6), 5309-5328.
- [23] Andari, N. D. (2019). Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit untuk degradasi metilen biru. *Chemistry Progress*, 7(1).
- [24] Dini, E. W. P. (2019). Degradasi metilen blue menggunakan fotokatalis ZnO-zeolit. *CHEMISTRY PROGRESS*, 7(1).
- [25] Alfina, B. T., Wardhani, S., & Tjahjanto, R. T. (2015). Sintesis TiO<sub>2</sub>-n/zeolit untuk Degradasi Metilen Biru. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 1(1), pp-599.
- [26] Suryawan, I., Afifah, A., & Prajati, G. (2018). Adsorpsi warna metylen blue menggunakan powder dan granular activated carbon biji binjai (*Mangifera Caesia*). *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 3.
- [27] Gao, L., Zhai, Y., Ma, H., & Wang, B. (2009). Degradation of cationic dye methylene blue by ozonation assisted with kaolin. *Applied Clay Science*, 46(2), 226-229.
- [28] Suryawan, I. W. K., Afifah, A. S., & Prajati, G. (2019, June). Pretreatment of endek wastewater with ozone/hydrogen peroxide to improve biodegradability. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2114, No. 1, p. 050011). AIP Publishing.
- [29] Suryawan, I., Siregar, M. J., Prajati, G., & Afifah, A. S. (2019). Integrated ozone and anoxic-aerobic activated sludge reactor for endek (Balinese textile) wastewater treatment. *Journal of Ecological Engineering*, 20(7).
- [30] Osias, J. M. L., Chen, Y. C., Lin, D. Y., Shih, Y. C., Caparanga, A. R., & Chen, B. H. (2019, October). Degradation of methylene blue utilizing cobalt-impregnated zeolite beta via sulfate radical-based advanced oxidation process. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 344, No. 1, p. 012041). IOP Publishing.
- [31] Rusmana, Y. F., Notodarmojo, S., & Helmy, Q. (2019, June). Arsenic removal in groundwater by integrated ozonation and adsorption by activated carbon and zeolite. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 536, No. 1, p. 012073). IOP Publishing.
- [32] Elysabeth, T. (2016). Adsorpsi Logam Berat Besi dan Timbal Menggunakan Zeolit Alam Bayah Teraktivasi. *Jurnal Chemtech*, 1(01).
- [33] Wantoputri, N. I., Notodarmojo, S., & Helmy, Q. (2019, June). Reactive Black-5 Removal by Ozonation as Post Treatment. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 536, No. 1, p. 012083). IOP Publishing.
- [34] Suryawan, I. W. K., Helmy, Q., & Notodarmojo, S. (2020, January). Laboratory scale ozone-based post-treatment from textile wastewater treatment plant effluent for water reuse. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1456, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.

- [35] Fungaro, D. A., Bruno, M., & Grosche, L. C. (2009). Adsorption and kinetic studies of methylene blue on zeolite synthesized from fly ash. *Desalination and Water Treatment*, 2(1-3), 231-239.
- [36] Purnomo, S. E. (2010). Pembuatan Arang Aktif Dari Kulit Biji Kopi dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue (Kation) dan Naphthol Yellow (Anion). Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- [37] Aysan, H., Edebali, S., Ozdemir, C., Karakaya, M. C., & Karakaya, N. (2016). Use of chabazite, a naturally abundant zeolit, for the investigation of the adsorption kinetics and mechanism of methylene blue dye. *Microporous and Mesoporous Materials*, 235, 78-86.
- [38] Saputra, O. A., Prameswari, M. D., Kinanti, V. T. D., Mayasari, O. D., Sutarni, Y. D., Apriany, K., & Lestari, W. W. (2017, February). Preparation, Characterization and Methylene Blue Dye Adsorption Ability of Acid Activated-Natural Zeolite. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 172, No. 1, p. 012039). IOP Publishing.
- [39] Mouni, L., Belkhiri, L., Bollinger, J. C., Bouzaza, A., Assadi, A., Tirri, A., ... & Remini, H. (2018). Removal of Methylene Blue from aqueous solutions by adsorption on Kaolin: Kinetic and equilibrium studies. *Applied Clay Science*, 153, 38-45.