

Perbandingan efisiensi adsorben *fly ash* dan dolomit yang berasal dari Sumatera Barat terhadap penyerapan *methylene blue*

Comparing the efficiency of fly ash and dolomite from West Sumatera as adsorbent for adsorption of methylene blue

Desniorita¹, Rita Youfa², Elda Pelita³, Resi Levi Permadani¹, Anang Baharuddin Sahaq¹, dan Miftahurrahmah^{*2}

¹ Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan Politeknik ATI Padang

Kota Padang- Sumatera Barat

² Teknik Kimia Bahan Nabati Politeknik ATI Padang

Kota Padang- Sumatera Barat

³ Kimia Analisis Politeknik ATI Padang

Kota Padang- Sumatera Barat

* e-mail: miftahurrahmah@kemenperin.go.id



INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:

Diterima :

11 Februari 2023

Direvisi :

26 Juni 2023

Diterbitkan :

30 Juni 2023

Kata kunci:

adsorpsi;

dolomit;

fly ash.

Keywords:

adsorption;

dolomite;

fly ash.

ABSTRAK

Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran pabrik kelapa sawit yang mengandung silika dan mineral alkali yang dikenal sebagai komponen penting adsorben. Dolomit diketahui juga sebagai material sedimentasi karbonat yang memiliki kemampuan menyerap logam. Bahan baku utama yang digunakan untuk penelitian adalah *fly ash* yang diperoleh dari Pabrik Kelapa Sawit Mutiara Agam di Provinsi Sumatera Barat, dolomit dari Kamang, dan *methylene blue* (MB) sebagai senyawa model limbah tekstil. Bahan tersebut dikalsinasi 900°C selama 4 jam, kemudian dihaluskan dan diayak agar ukuran partikel seragam. Adsorben dolomit dan *fly ash* dilakukan karakterisasi morfologi dan dilanjutkan dengan uji penyerapan pada larutan MB. Berdasarkan hasil uji penyerapan, adsorben *fly ash* memiliki efisiensi penyerapan tertinggi sebesar 99,236% dibandingkan dengan adsorben dolomit yaitu sebesar 46,9%.

ABSTRACT

Fly ash is a waste of palm oil mill combustion which contains silica and alkaline minerals which are known as important components of adsorbents. Dolomite is also known as a carbonate sedimentation material which has the ability to absorb metals. The main raw materials used in this study were *fly ash* obtained from the Mutiara Agam Palm Oil Mill in West Sumatra, dolomite from Kamang, and methylene blue (MB) as a textile waste model solution. The material was calcined at 900°C for 4 hours, then crushed and sieved so that the particle size was uniform. The morphological characterization of dolomite and *fly ash* adsorbent was tested then followed by an adsorption test in MB solution. The result showed that the *fly ash* adsorbent had the highest adsorption efficiency of 99.236% compared to the dolomite adsorbent which was 46.9%.

1. Pendahuluan

Fly ash pabrik kelapa sawit Sumatera Barat merupakan limbah pada hasil pembakaran yang mengandung silika dan mineral alkali. Limbah yang dihasilkan ini merupakan abu terbang yang terhisap oleh *blower* di dalam *boiler* yang kemudian dihisap oleh *Electric Precipitator*. Pemanfaatan limbah ini telah dikaji pada penelitian sebelumnya yang telah membuat adsorben untuk penyerapan logam dan pemucatan CPO (*crude palm oil*) (Darmayanti et al., 2018; Naufa and Azwardi, 2018; Sulistiyo et al., 2017; Witono and Miryanti, 2015; Zakaria et al., 2012) serta sebagai zeolit (Adany, 2009).

Fly ash diketahui mengandung silika yang terkenal sebagai komponen penting yang berperan sebagai adsorben yang baik. Pada limbah tekstil ada beberapa logam berat yang paling tinggi kadarnya, diantaranya Cr^{2+} (kromium) dan Cu^{2+} (tembaga) yang berasal dari zat pewarna (CrCl_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) maupun zat pengikat warna ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_2$ dan PbCrO_4) (Murniati et al., 2015). Saat ini, diketahui kandungan Cu^{2+} dalam limbah tekstil batik mencapai 0,2629 ppm (Mayangsari and Astuti, 2021), sedangkan yang diizinkan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI, No.32 Tahun 2017 maksimal 0,05 ppm kandungan kromium atau timbal dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan. Oleh sebab itu, berbagai metode terus diupayakan untuk dapat mereduksi kandungan logam pada limbah tersebut.

Selain *fly ash*, dolomit juga merupakan bahan alam yang tergolong sangat murah dan berpotensi untuk dijadikan adsorben. Dolomit mengandung 44% MgCO_3 dan 53% CaCO_3 . Kedua komposisi tersebut sangat mempengaruhi daya serap dolomit terhadap logam dan juga MB (Albadarin et al., 2014).

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan efisiensi penyerapan dari adsorben *fly ash* pabrik kelapa sawit dan dolomit dari daerah Sumatera Barat. Hal ini bertujuan untuk menjadi kajian awal terhadap kemampuan daya serap dari kedua adsorben yang sangat spesifik tersebut. Hal ini diharapkan menjadi solusi untuk pengolahan limbah pabrik tekstil untuk mengurangi kadar warna pada limbah buangan industri.

2. Metode

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu: persiapan bahan baku, proses adsorpsi dan uji daya serap adsorben. Bahan baku utama yang digunakan untuk penelitian adalah *fly ash* yang diperoleh dari Pabrik Kelapa Sawit Mutiara Agam di Provinsi Sumatera Barat, dolomit dari daerah Kamang, dan *methylene blue* (MB) sebagai senyawa model untuk limbah tekstil. Selain itu dibutuhkan bahan pendukung *aquadest*.

Alat yang akan digunakan dalam melakukan penelitian diantaranya adalah: *oven dryer* (*memmert*), desikator (*pyrex*), *muffle furnace* (*line thermolyne*, model FB1410M-33 at 1100°C), *mixer* (Philips), timbangan digital (*ohaus*), *beaker glass* 1000 ml dan 100 ml (*pyrex*), pipet volume 1 ml dan 5 ml (*pyrex*) dan ayakan.

Variabel penelitian dilakukan dengan konsentrasi awal metilen biru 25 ppm, ketinggian adsorben pada kolom 9 cm, dengan laju alir 500, 700, 950 ml/jam.

2.1. Tahap pembuatan adsorben

Bahan baku yaitu *fly ash* dan dolomit dilakukan persiapan tahap awal sesuai dengan penelitian Seprianto (2010). Kalsinasi *fly ash* dan dolomit dilakukan pada suhu 900°C selama 4 jam untuk menghilangkan senyawa-senyawa pengotor yang mudah menguap, kemudian dihaluskan dan diayak agar ukuran partikel seragam. Adsorben yang telah diayak disimpan pada wadah yang tertutup rapat.

2.2. Tahap adsorpsi

Adsorpsi dilakukan dengan memasukkan adsorben pada suatu wadah yang sudah disiapkan dengan ketinggian 9 cm, dan diameter 5 cm. Wadah tersebut dialiri adsorbat dengan kecepatan 500, 700, dan 950 ml/jam dan dari media adsorpsi masuk ke wadah penampungan. Setiap 15 menit adsorbat diambil pada wadah penampungan untuk dilakukan uji konsentrasi. Untuk mengetahui daya serap adsorben tersebut, baik adsorben *fly ash* atau dolomit.

Uji daya serap adsorben dilakukan dengan menganalisis cairan adsorbat menggunakan Spektrofotometer UV-vis dengan mengukur absorbansi pada λ_{max} yaitu 612 nm. Kurva kalibrasi dibuat pada *range* 5-25 ppm (mg/L) untuk menentukan konsentrasi dari *methylene blue*.

Penurunan konsentrasi menjadi data penting untuk selanjutnya diketahui efisiensi penyerapan. Efisiensi penyerapan dihitung dari selisih konsentrasi awal dan akhir MB dibagi dengan konsentrasi awal MB. Selain itu, karakterisasi adsorben pun dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi dari bahan tersebut. Dalam hal ini dilakukan uji FTIR dan SEM. Uji tersebut diharapkan memberi informasi mengenai komposisi dan morfologi adsorben sebelum dan sesudah adsorpsi.

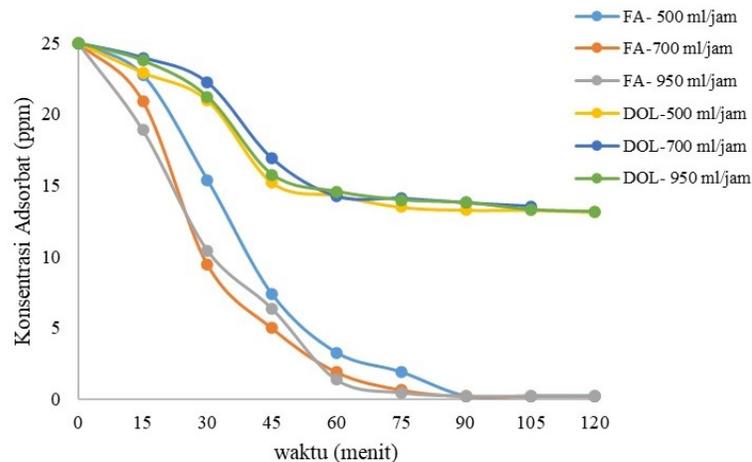
3. Hasil dan pembahasan

Proses adsorpsi dilakukan untuk mengetahui daya serap adsorben *fly ash* dan dolomit. Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa adsorben *fly ash* (FA) dengan laju alir 500 ml/jam mengalami penurunan konsentrasi MB hingga 22,763 ppm pada waktu 15 menit dari konsentrasi awal sebesar 25 ppm, dan terjadi penurunan secara drastis pada waktu 45 menit, yaitu mencapai 7,353 ppm, dan selanjutnya penurunan konsentrasi terjadi secara lambat. Konsentrasi MB akhir pada waktu 120 menit diperoleh sebesar 0,194 ppm. Demikian pula pada laju alir 700 dan 950 ml/jam diketahui bahwa penyerapan sangat lambat setelah 90 menit, sehingga pada operasi ini diketahui titik maksimal terjadinya penyerapan yaitu selama 90 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu tersebut, adsorben telah memasuki tahap jenuh sehingga efisiensi penyerapan cenderung konstan atau semakin menurun (Astuti and Kurniawan, 2015).

Berdasarkan Gambar 1, juga dapat diketahui laju alir optimal untuk kondisi tersebut. Proses adsorpsi dengan adsorben *fly ash* pada laju alir 500 ml/jam terjadi penurunan konsentrasi yang stabil, demikian juga pada

laju alir 700 ml/jam. Sedangkan pada adsorben *fly ash* dengan laju alir 950 ml/jam terlihat sangat tinggi penurunan konsentrasi diawal proses adsorpsi, sehingga penurunannya terlihat lebih ekstrim. Dalam hal ini laju alir yang besar membuat permukaan adsorben pada bagian atas bertebaran secara acak sehingga dapat memperluas kontak permukaan adsorben terhadap

adsorbat. Kontak yang terjadi antara adsorben dan adsorbat akibat laju alir yang besar menyerupai proses pengadukan. Diketahui bahwa pengadukan mampu membantu proses penyerapan akibat kontak antara adsorbat dan adsorben lebih banyak terjadi (Pane and Hanifah, 2022).



Gambar 1. Penyerapan *methylene blue* terhadap adsorben FA (*fly ash*) dan Dolomit

Adsorben dolomit diketahui mengandung ion kalsium dan magnesium yang memiliki kemampuan untuk menyerap MB (Tian et al., 2016). Pada adsorpsi dengan adsorben dolomit dapat dilihat pada Tabel 1 bahwa pada laju alir 500 ml/jam, menit ke-45 efisiensi penyerapan MB terjadi sangat tinggi, yakni mencapai 39,164% pada laju alir 700 ml/jam hanya mencapai 32,412% dan pada laju alir 950 ml/jam mencapai 36,928%. Setelah 45 menit berlangsung efisiensi penyerapan MB pada adsorben dolomit meningkat hingga berkisar 42-47%, hingga proses adsorpsi dihentikan pada 120 menit. Berdasarkan hasil yang diperoleh juga dapat diketahui bahwa laju alir 500 ml/jam mampu menyerap MB pada menit ke-120 mencapai 47,456% sedangkan laju alir 700 ml/jam 46,676% dan laju alir 950 ml/jam yaitu 47,412 %.

Data pada Tabel 1, menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan pada laju alir yang kecil lebih tinggi dibandingkan dengan laju alir yang besar, yakni semakin tinggi laju alir, maka semakin rendah penyerapan yang terjadi (Arida et al., 2016). Namun demikian untuk menentukan operasi yang maksimum juga akan ditentukan berdasarkan waktu operasi. Waktu operasi erat kaitannya dengan biaya operasional (Miftahurrahmah et al., 2017). Sehingga jika ditinjau secara keseluruhan diketahui bahwa pada adsorben dolomit waktu 60 menit menjadi waktu maksimal proses adsorpsi, dimana setelah waktu tersebut penyerapan terjadi sangat lambat. Laju alir 500 ml/jam merupakan laju alir dengan efisiensi tertinggi pada waktu 60 menit.

Adsorben dolomit dan *fly ash* memiliki komponen dan struktur morfologi yang berbeda, sehingga kemampuan daya serap adsorben juga berbeda. Pada laju 700 ml/jam adsorben *fly ash* mampu menurunkan konsentrasi hingga 4,983 ppm sedangkan dolomit 16,897

ppm pada waktu 45 menit. Pada laju 950 ml/jam *fly ash* mampu menurunkan konsentrasi hingga 6,345 ppm sedangkan dolomit 15,768 ppm. Penyerapan selama 90 menit oleh adsorben *fly ash* mencapai 99,224% sedangkan dolomit hanya 13,275%. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa penyerapan *fly ash* lebih efisien dibandingkan dolomit, dengan laju yang rendah, dalam waktu yang singkat mampu menyerap MB lebih besar dibandingkan dolomit.

Hasil karakterisasi FTIR dari kedua adsorben sebelum dilakukan proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 2. Spektra yang dihasilkan keduanya mempunyai kecenderungan yang sama. Pada *fly ash* terdapat pita serapan dengan panjang gelombang 1025,96; 791,67; 541,59; 482,57; dan 414,48 cm^{-1} dimana diketahui bahwa pada panjang gelombang tersebut menunjukkan adanya ikatan Si-O, yang mana sangat dibutuhkan pada proses penyerapan (El Alouani et al., 2018). Demikian pada adsorben dolomit terdapat juga ikatan silika, namun hanya ada beberapa peak yang muncul yaitu pada 1003,76; 476,90 cm^{-1} . Pada penelitian sebelumnya dilaporkan bahwa dolomit mengandung SiO_2 3,19%; CaO 52,72%; dan MgO 0,39% yang menunjukkan kandungan SiO_2 dalam dolomit sangat rendah (Pelita et al., 2023).

Berdasarkan data FTIR tersebut, dapat diketahui bahwa adsorben *fly ash* memiliki ikatan Si-O yang lebih dapat meningkatkan daya serap dibanding dengan adsorben dolomit. Hal tersebut sesuai dengan data penyerapan yang diperoleh pada Tabel 1. Selain itu, Kandungan silika dan alumina dalam *fly ash* sangatlah penting karena komponen tersebut berperan dalam penyerapan logam dan zat warna (Johari et al., 2016; Visa et al., 2010). Sedangkan pada dolomit, diantaranya yaitu mengandung ion kalsium dan magnesium yang

terbukti dapat menyerap logam-logam berat seperti Cr, As, Cu²⁺ dan Pb²⁺ (Albadarin et al., 2014). Pada penelitian ini dipilih untuk diuji cobakan pada larutan metilen biru. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyerapan adsorben dolomit terhadap zat warna selain kemampuannya dalam menyerap logam-logam berat. Pada penelitian lanjutan, adsorben yang dihasilkan akan diaplikasikan untuk pengolahan limbah industri tekstil yang diketahui banyak mengandung zat warna dan logam berat. Selanjutnya karakterisasi SEM

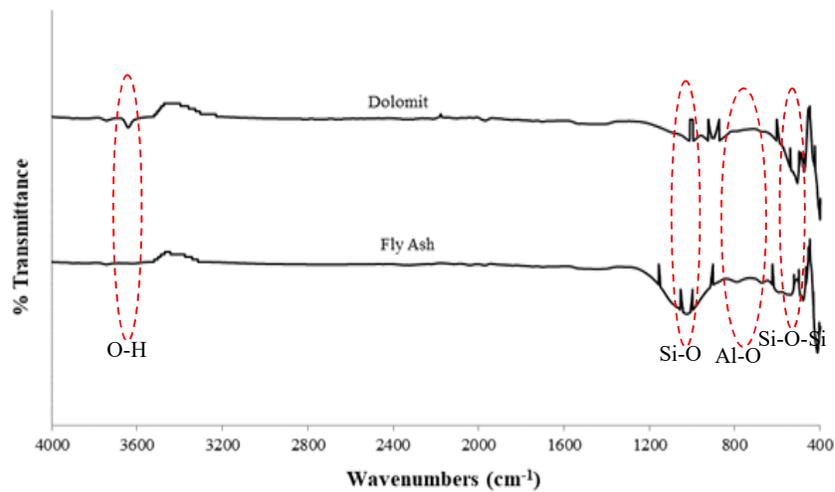
(perbesaran 500-10000 kali) dilakukan untuk mengetahui morfologi adsorben *fly ash* dan dolomit yang sudah dikalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 900°C selama 4 jam.

Berdasarkan Hasil analisa SEM tersebut juga dapat dilihat distribusi partikel dan struktur morfologi permukaan dolomit dan *fly ash*. Pada analisa SEM dengan perbesaran 500-1000 kali terlihat ukuran partikel dolomit beragam yaitu 20-30 µm (Gambar 3).

Tabel 1. Efisiensi penyerapan *methylene blue* oleh adsorben *fly ash* dan dolomit

T (menit)	Laju alir adsorbat (ml/jam) (Adsorben <i>fly ash</i>)						Laju alir adsorbat (ml/jam) (Adsorben dolomit)					
	500		700		950		500		700		950	
	C (ppm)	η (%)	C (ppm)	η (%)	C (ppm)	η (%)	C (ppm)	η (%)	C (ppm)	η (%)	C (ppm)	η (%)
0	25,00	0,00	25,00	0,00	25,00	0,00	25,00	0,00	25,00	0,00	25,00	0,00
15	22,76	8,95	20,93	16,27	18,89	24,44	22,92	8,31	23,98	4,07	23,77	4,93
30	15,40	38,42	9,46	62,17	10,44	58,25	20,98	16,07	22,24	11,06	21,24	15,05
45	7,35	70,59	4,98	80,07	6,35	74,62	15,21	39,16	16,90	32,41	15,77	36,93
60	3,24	87,03	1,90	92,41	1,34	94,62	14,29	42,83	14,24	43,05	14,56	41,77
75	1,88	92,49	0,64	97,43	0,43	98,28	13,48	46,07	14,09	43,63	13,97	44,13
90	0,19	99,22	0,19	99,24	0,20	99,21	13,28	46,90	13,78	44,88	13,78	44,89
105	0,19	99,23	0,19	99,24	0,19	99,23	13,28	46,90	13,54	45,85	13,28	46,87
120	0,19	99,24	0,19	99,23	0,19	99,23	13,14	47,46	13,33	46,68	13,15	47,41

Keterangan: T = Waktu, C = konsentrasi, dan η = efisiensi

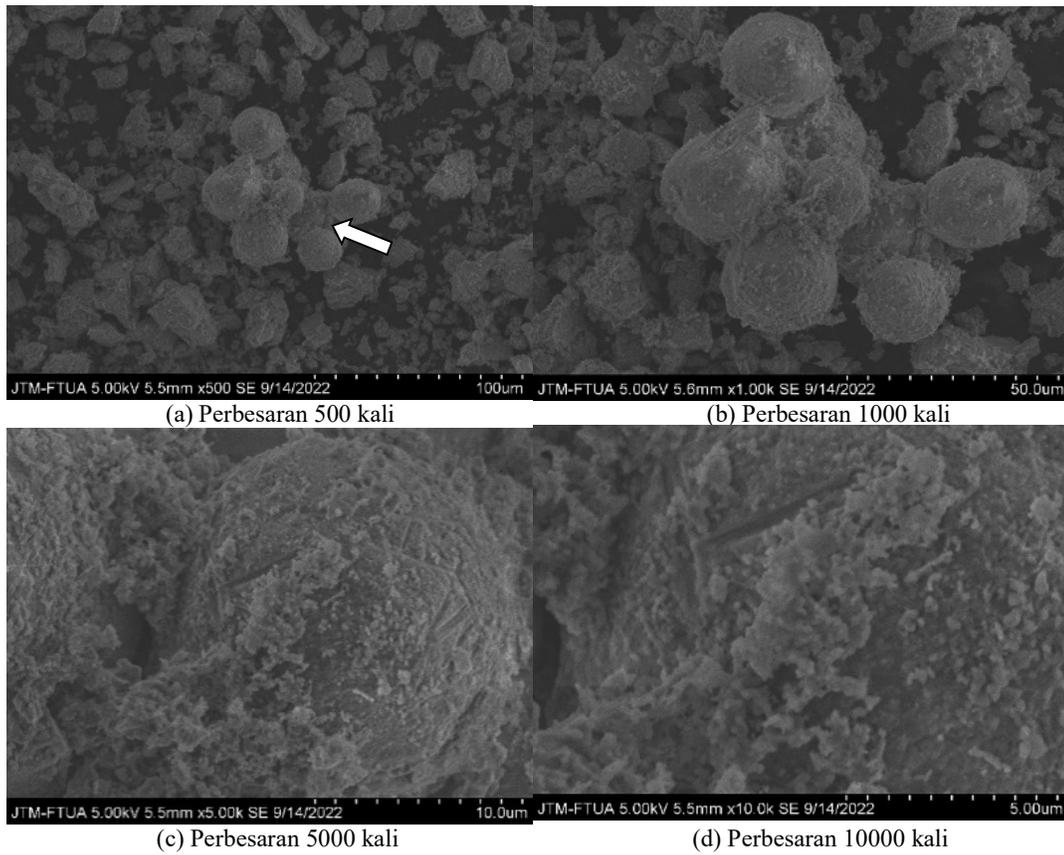


Gambar 2. Hasil FTIR dari adsorben *fly ash* dan dolomit

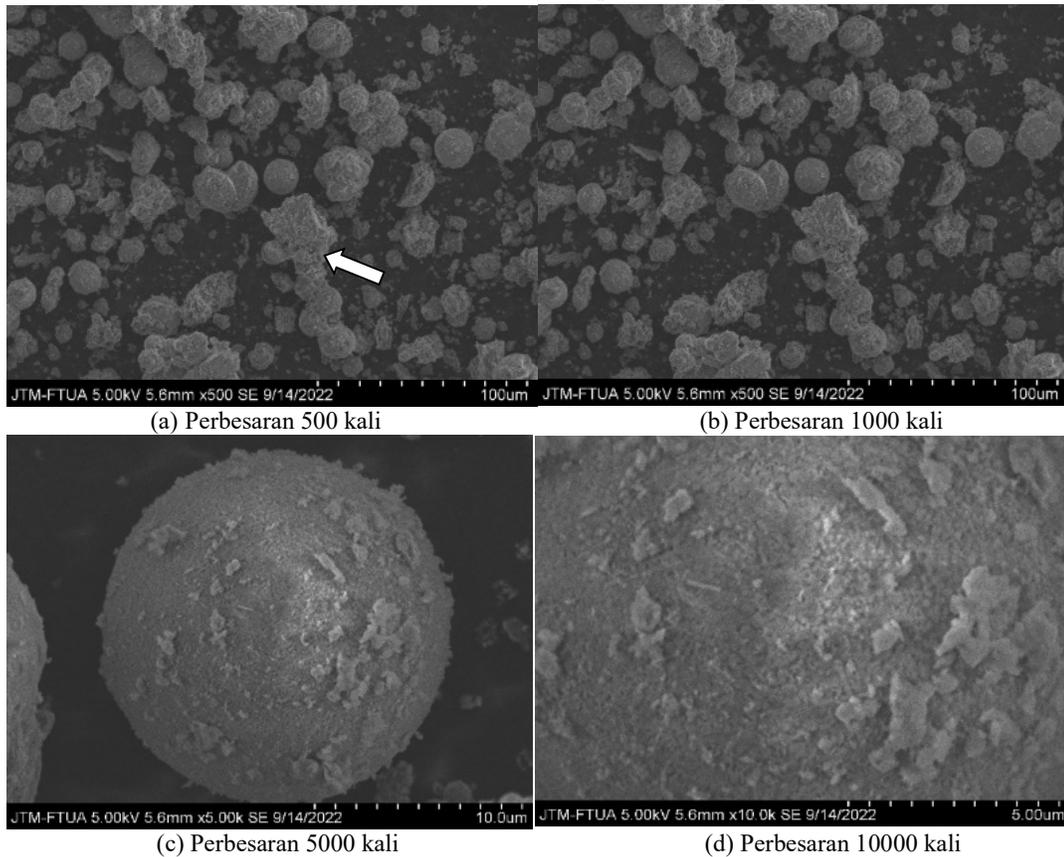
Beberapa kali perbesaran bertujuan untuk meninjau perubahan bentuk permukaan adsorben. Gambar 3(a) diketahui adsorben dolomit dengan perbesaran 500 kali terlihat butiran atau permukaan yang beragam. Sebagian besar berbentuk lingkaran, persegi dan berbentuk acak. Dan pada perbesaran 1000 kali, terlihat adanya beberapa gumpalan yang menyatu. Secara keseluruhan permukaan adsorben berbentuk granula bertumpuk-tumpuk yang disebut dengan aglomerasi (gumpalan) partikel dolomit. Sebagaimana diketahui bahwa hal ini akan memperkecil permukaan kontak adsorben terhadap larutan sampel. Pada perbesaran 5000 kali mulai terlihat adsorben dengan permukaan yang tidak halus. Sehingga perbesaran 10000 kali dilakukan untuk melihat lebih detail permukaan kasar tersebut. Rongga yang terlihat diketahui menjadi tempat terjadinya penyerapan.

Demikian pula pada Gambar 4(a) yang menunjukkan banyaknya partikel-partikel adsorben *fly ash*, secara

umum terlihat berbentuk butiran lingkaran. Pada perbesaran 1000 kali (Gambar 4(b)) belum juga terlihat jelas permukaan adsorben, sehingga terus dilakukan perbesaran. Gambar 4(c) terlihat partikel dengan bentuk seperti bola dengan permukaan kasar. Selanjutnya dilakukan perbesaran 10000 kali (Gambar 4(d)) pada sampel *fly ash* terlihat granula yang menyerupai dolomit namun dengan ukuran yang relatif lebih kecil. Dapat diketahui bahwa struktur granula pada *fly ash* terlihat terpisah-pisah dibandingkan dengan partikel dolomit yang cenderung membentuk aglomerasi berukuran besar. Hal tersebut diketahui sangat berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan. Adsorben dengan permukaan yang berongga atau permukaan kasar mempunyai kemampuan penyerapan lebih tinggi dibandingkan adsorben dengan permukaan halus (Pane and Hanifah, 2022; Slamet and Imas, 2017).



Gambar 3. Hasil karakterisasi SEM dari adsorben dolomit pada beberapa perbesaran



Gambar 4. Hasil karakterisasi SEM dari adsorben *fly ash* pada beberapa perbesaran

Berdasarkan hasil morfologi diketahui bahwa *fly ash* mempunyai kapasitas penyerapan lebih baik dibandingkan dolomit. Hal tersebut didukung dengan adanya data penyerapan dan efisiensinya, sehingga dapat dipastikan bahwa *fly ash* lebih efektif sebagai penyerap *methylene blue*.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini diantaranya yaitu adsorben *fly ash* memiliki daya serap terhadap *methylene blue* yang lebih tinggi dibandingkan dengan dolomit. Hal tersebut diketahui berdasarkan tingginya kandungan silika pada *fly ash* kelapa sawit. Selain itu uji SEM menunjukkan bahwa permukaan *fly ash* memiliki luas kontak yang lebih besar dibandingkan dengan dolomit. Dari hasil uji penyerapan menunjukkan adanya relevansi dari pernyataan bahwa adsorben *fly ash* memiliki efisiensi penyerapan *methylene blue* tertinggi mencapai 99,236% sedangkan dolomit hanya 46,9%.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada tim peneliti yang sudah membantu hingga penelitian ini berjalan dengan lancar. Kepada analis laboratorium instrumen Politeknik ATI Padang, dan mahasiswa TKBN 2021 yang juga ikut berpartisipasi dalam penelitian ini.

Daftar pustaka

- Adany, F., 2009. Sintesis zeolit ultrastable Y (usy) dari zeolit Y yang dibuat dengan penambahan CTABR sebagai zat pengarah mesopori 1–6.
- Albadarin, A.B., Mo, J., Glocheux, Y., Allen, S., Walker, G., Mangwandi, C., 2014. Preliminary investigation of mixed adsorbents for the removal of copper and methylene blue from aqueous solutions. *Chem. Eng. J.* 255, 525–534.
- Arida, C.V.J., de Luna, M.D.G., Futralan, C.M., Wan, M.W., 2016. Optimization of As(V) removal using chitosan-coated bentonite from groundwater using box–behnken design: effects of adsorbent mass, flow rate, and initial concentration. *Desalin. Water Treat.* 57, 18739–18747.
- Astuti, W., Kurniawan, B., 2015. Adsorpsi Pb^{2+} dalam limbah cair artifisial menggunakan sistem adsorpsi kolom dengan bahan isian abu layang batubara serbuk dan granular. *J. Bahan Alam Terbarukan* 4, 27–33.
- Darmayanti, L., Notodarmodjo, S., Damanhuri, E., 2018. Penyisihan logam Cu (II) dari larutan dengan fly ash batu bara. *J. Neo Tek.* 4, 30–38.
- El Alouani, M., Alehyen, S., El Achouri, M., Taibi, M., 2018. Removal of cationic dye - methylene blue-from aqueous solution by adsorption on fly ash-based geopolymer. *J. Mater. Environ. Sci.* 9, 32–46.
- Johari, K., Saman, N., Song, S.T., Chin, C.S., Kong, H., Mat, H., 2016. Adsorption enhancement of elemental mercury by various surface modified coconut husk as eco-friendly low-cost adsorbents. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 109, 45–52.
- Mayangsari, N.E., Astuti, U.P., 2021. Model kinetika adsorpsi logam berat Cu^{2+} menggunakan selulosa daun nanas. *J. Chemurg.* 05, 15–21.
- Miftahurrahmah, Suhendrayatna, Muhammad Zaki, 2017. Penyisihan ion logam merkuri (Hg^{2+}) menggunakan adsorben berbahan baku limbah pertanian Dan gulma tanaman. *J. Tek. Kim. USU* 6, 7–11.
- Murniati, T., Inayati, Budiastuti, S., 2015. Batik dengan metode elektrolisis konsentrasi logam berat di sungai. *J. Ekosains* VII, 77–83.
- Naufa, M., Azwardi, 2018. Aktivasi adsorben fly ash batubara dan pemanfaatannya sebagai pemucat crude palm oil (CPO). *J. Tek. dan Teknol.* 2025, 1–5.
- Pane, R.S., Hanifah, T.A., 2022. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap daya adsorpsi arang aktif buah jabon putih (*Anthocephalus cadamba* Miq.) sebagai adsorben ion merkuri (II) 22, 552–555.
- Pelita, E., Youfa, R., Sahaq, A. B., Miftahurrahmah, Permadani, R. L., Jerry, 2023. Effect of dolomite addition on the performance of palm oil mill fly ash for methylene blue adsorption. *Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA)*, 6(1), 63-74.
- Seprianto, D., 2010. Pengaruh kompaksi dan holding time terhadap densitas paduan aluminium/fly ash yang dibuat dengan metallurgi serbuk. *Austenit*, 2(01).
- Slamet, Imas, K.K., 2017. Pemanfaatan limbah fly ash untuk penanganan limbah cair amonia 39, 69–78.
- Sulistiyo, Y.A., Andriana, N., Piluharto, B., Zulfikar, Z., 2017. Silica gels from coal fly ash as methylene blue adsorbent: Isotherm and kinetic studies. *Bull. Chem. React. Eng. & Catal.* 12, 263–272.
- Tian, Y., Cui, G., Liu, Y., Li, H., Sun, Z., Yan, S., 2016. Self-assembly synthesis of hollow double silica @ mesoporous magnesium silicate magnetic hierarchical nanotubes with excellent performance for fast removal of cationic dyes. *Appl. Surf. Sci.* 387, 631–641.
- Visa, M., Bogatu, C., Duta, A., 2010. Simultaneous adsorption of dyes and heavy metals from multicomponent solutions using fly ash. *Appl. Surf. Sci.* 256, 5486–5491.
- Witono, J.R.B., Miryanti, Y.I.P.A., 2015. Pengembangan adsorben activated fly ash untuk reduksi ion Cu^{2+} dan Cr^{6+} dalam limbah cair industri tekstil. *Lemb. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy.*
- Zakaria, A., Rochaeni, H., Djasmari, W., 2012. Karakterisasi dan pemanfaatan abu terbang aktivasi fisika dalam menyerap ion logam Cu^{2+} .