

Sintesis Nanopartikel Boehmit (AlO(OH)) Dari Bijih Bauksit Sebagai Adsorben Metilen Biru *Synthesis Of Boehmite (AlO(OH)) Nanoparticles From Bauxite Ore As A Blue Methylene Adsorbent*

1st Aulia Nurlintang
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
aulianurlintang@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Abrar
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
abranselah@telkomuniversity.ac.id

3rd Dani Gustaman Syarif
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
danigustaman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kandungan metilen biru dalam limbah industri tekstil dapat menimbulkan efek samping seperti iritasi saluran pencernaan, iritasi kulit, dan lain – lain. Salah satu upaya untuk menangani hal tersebut adalah menggunakan adsorben yang akan menyerap (adsorpsi) metilen biru. Pada penelitian ini, adsorben nanopartikel AlO(OH) diperoleh dari bijih bauksit dengan proses Bayer. Setelah itu, dikalsinasi dengan suhu 300°C, 400°C, dan 500°C serta dikarakterisasi dengan XRD (*X – Ray Diffraction*) dan SAM (*Surface Area Meter*) dengan metode BET. Hasil XRD menunjukkan sampel dengan kalsinasi 300°C dan 400°C menghasilkan nanopartikel AlO(OH) sedangkan pada suhu kalsinasi 500°C menghasilkan unsur campuran. Nanopartikel AlO(OH) yang dihasilkan memiliki struktur *orthorhombic* serta ukuran kristal 2.73 nm dan 2.28 nm. Hasil BET menunjukkan nanopartikel AlO(OH) dengan kalsinasi 400°C memiliki luas permukaan sebesar 347.657 m²/g dan ukuran partikel 5.73 nm. Hasil pengujian pada metilen biru menunjukkan adsorben nanopartikel AlO(OH) dengan kalsinasi 400°C memiliki kemampuan adsorpsi lebih baik dibanding suhu lainnya. Adsorpsi metilen biru dengan nanopartikel AlO(OH) lebih sesuai dengan isotherm Langmuir dengan nilai $R^2 = 0.9446$ dan kapasitas adsorpsi maksimum 25.773 mg/g. Lalu analisis kinetika adsorpsi lebih sesuai dengan orde 3 dengan nilai konstanta laju reaksi terbesar 0.0001.

Kata Kunci : Adsorben, Adsorpsi, Boehmit (AlO(OH)), Nanopartikel, Proses Bayer

Abstract

The content of methylene blue in textile industry waste can cause side effects such as digestive tract irritation, skin irritation, and others. One of the efforts to deal with this is to use an adsorbent that will absorb (adsorption) of methylene blue. In this study, AlO(OH) nanoparticle adsorbent was obtained from bauxite ore by the Bayer process. After that, it was calcined at temperatures of 300°C, 400°C, and 500°C and characterized by X-Ray Diffraction (XRD) and Surface Area Meter (SAM) with the BET method. The XRD results showed that samples with calcination of 300°C and 400°C produced AlO(OH) nanoparticles, while at calcination temperatures of 500°C produced mixed elements. The resulting AlO(OH) nanoparticles have an orthorhombic structure and crystal sizes of 2.73 nm and 2.28 nm. The BET results showed AlO(OH) nanoparticles with 400°C calcination had a surface area of 347,657 m²/g and particle size of 5.73 nm. The test results on methylene blue showed that the adsorbent of AlO(OH) nanoparticles with 400°C calcination had better adsorption ability than other temperatures. The adsorption of methylene blue with AlO(OH) nanoparticles was more suitable with the Langmuir isotherm with a value of relation coefficient (R^2) = 0.9446 and a maximum adsorption capacity 25,773 mg/g. Then the analysis of adsorption kinetics is suitable with 3rd order with the largest reaction rate constant value of 0.0001.

Keywords: Adsorbent, Adsorption, Boehmite (AlO(OH)), Nanoparticle, Bayer Process

I. PENDAHULUAN

Bauksit merupakan sebuah mineral berwarna kemerahan yang kaya akan alumina (Al₂O₃) dengan persentase kandungan sekitar 45 – 65% [1]. Karena kandungannya, bauksit digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan alumina. *Boehmite* atau Aluminium Oksihidroksida AlO(OH) adalah salah

satu mineral yang terkandung di dalam bauksit dan salah satu bahan pembentuk aluminium oksida (Al_2O_3) selain $\text{Al}(\text{OH})_3$. Selain itu, $\text{AlO}(\text{OH})$ juga banyak digunakan sebagai adsorben, katalis, keramik, penahan api, dan pelapis film karena sifat materialnya [2]–[4].

Adsorpsi adalah proses yang terjadi ketika permukaan zat padat bertemu dengan zat tertentu (gas atau cairan) dan dapat didefinisikan sebagai peningkatan densitas atau konsentrasi zat tertentu (gas atau cairan) di permukaan zat padat [5]. Mekanisme proses adsorpsi dapat dibedakan menjadi adsorpsi fisika (*Physisorption*) dan adsorpsi kimia (*Chemisorption*). Pada adsorpsi fisika, permukaan adsorben mengikat adsorbat dengan gaya *van der waals* yang merupakan ikatan lemah dan melepaskan energi rendah [6]. Molekul adsorbat yang telah teradsorpsi dapat terikat satu sama lain sehingga membentuk beberapa lapisan (*multilayer adsorption*) dan menjaga struktur masing – masing [7]. Sedangkan pada adsorpsi kimia, terbentuk ikatan kimia yang kuat antara permukaan adsorben dengan adsorbat (biasanya ikatan kovalen) sehingga dapat terjadi reaksi kimia antara adsorben dan molekul adsorbat [8]. Molekul yang terikat dengan adsorben secara kimia membentuk satu lapisan di permukaan adsorben (*monolayer adsorption*) [7]. Kemampuan adsorpsi suatu adsorben dipengaruhi oleh luas permukaan, jenis adsorbat, struktur adsorbat, konsentrasi adsorbat, temperatur, kecepatan pengadukan, waktu kontak, dosis adsorben, porositas adsorben, dan lain – lain [6], [9]. Berdasarkan hal tersebut, material yang memiliki potensial bagus untuk menjadi adsorben adalah material yang memiliki ukuran nano dan mikro. Karena material tersebut memiliki ukuran yang kecil, luas permukaan yang luas, dan bisa menjadi katalis yang baik [10].

Salah satu material yang memiliki potensi sebagai adsorben adalah nanopartikel $\text{AlO}(\text{OH})$. Karena $\text{AlO}(\text{OH})$ pengolahan yang sederhana dan mudah, sifat mekanik yang sangat baik, dan luas permukaan yang tinggi. Hal tersebut sudah dibuktikan pada beberapa penelitian sebelumnya, seperti penelitian yang dilakukan oleh Kaizhong Feng, dkk. (2015) mengenai sintesis *microspheres* γ – $\text{AlO}(\text{OH})$ serta kemampuan adsorpsinya [4]. Penelitian ini menggunakan bahan aluminium foil dengan cara *hydrothermal* sehingga menghasilkan *microspheres* γ – $\text{AlO}(\text{OH})$ dengan luas permukaan $137 \text{ m}^2/\text{g}$ yang dapat menyerap *Congo Red* sebanyak 80% dalam waktu 90 menit. Hal tersebut

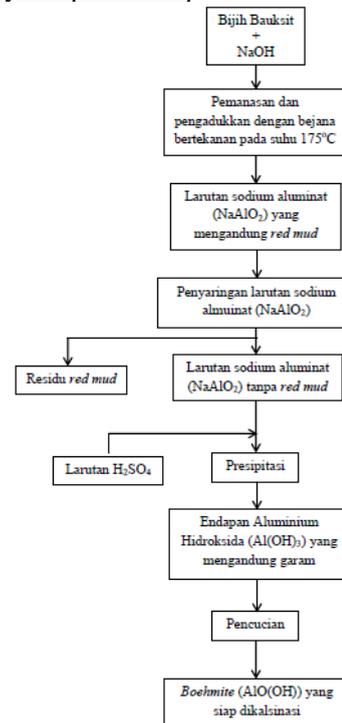
membuktikan bahwa nanopartikel $\text{AlO}(\text{OH})$ memiliki potensial menjadi material adsorben yang bagus untuk degradasi metilen biru.

Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan nanopartikel $\text{AlO}(\text{OH})$ dari bijih bauksit yang diekstraksi dengan proses Bayer dan dikalsinasi dengan variasi suhu kalsinasi 300°C , 400°C , dan 500°C . Nanopartikel $\text{AlO}(\text{OH})$ yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi morfologi dan sifat kristalnya menggunakan XRD dan *Surface Area Meter* dengan metode BET. Setelah itu, nanopartikel $\text{AlO}(\text{OH})$ diuji sebagai adsorben metilen biru dengan memvariasikan waktu pengadukan dan konsentrasi metilen biru. Hasil pengujian akan dianalisis kemampuan adsorpsinya dengan menggunakan isotherm adsorpsi dan kinetika adsorpsi.

II. KAJIAN TEORI

a. Sintesis Nanopartikel $\text{AlO}(\text{OH})$ dari Bijih Bauksit

Sintesis nanopartikel $\text{AlO}(\text{OH})$ dimulai dengan ekstraksi $\text{AlO}(\text{OH})$ dari bijih bauksit menggunakan proses bayer. Setelah itu, disintesis agar menjadi nanopartikel $\text{AlO}(\text{OH})$. Diagram alir proses bayer dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram alir proses bayer

Proses bayer dari bauksit dimulai dengan mencampurkan bauksit dan NaOH dengan perbandingan jumlah bauksit : $\text{NaOH} = 1 : 1,8$. Dengan menggunakan serbuk bauksit sebanyak 100 gram maka NaOH yang diperlukan adalah 180

gram. Lalu aquades sebanyak 1000 ml dipanaskan dengan panci presto menggunakan *hotplate* dan diaduk dengan *magnetic stirrer* berkecepatan 300 rpm hingga mencapai suhu 175°C. Setelah aquades mencapai suhu 175°C, masukkan bauksit + NaOH secara perlahan ke dalam panci presto, kemudian panaskan selama 90 menit. Proses pemanasan ini akan menyebabkan beberapa jenis pengotor terlarut. Kemudian larutan hasil pemanasan didiamkan selama ± 24 jam agar residu larutan (*red mud*) terpisah dan mengendap. Setelah 24 jam, saring larutan dengan kertas saring. *Red mud* yang sudah terpisah disimpan dalam wadah tertentu dan filtrat hasil penyaringan digunakan untuk proses selanjutnya.

Filtrat diambil sebanyak 500 ml kemudian dipanaskan selama beberapa menit. Setelah itu, larutan dicampur dengan H₂SO₄ 5M sedikit demi sedikit sembari diaduk hingga terbentuk Aluminium Hidroksida (Al(OH)₃) yang berupa endapan putih dan larutan tercampur dengan rata. Setelah tercampur rata, larutan didiamkan semalam sampai Aluminium Hidroksida (Al(OH)₃) mengendap di dalam larutan. Setelah semalam, pH larutan diukur dan diatur hingga pH larutan mencapai 7. Jika lebih dari 7, maka tambahkan larutan H₂SO₄. Jika pH larutan kurang dari 7, maka tambahkan filtrat hingga pH larutan menjadi 7. Kemudian larutan dicuci untuk menghilangkan garam (Na₂SO₄) dengan air hangat. Setelah itu, campur dan diamkan hingga mengendap. Setelah mengendap, air dibuang lalu diisi kembali. Proses pencucian ini dilakukan berulang kali hingga kadar garam yang terdapat pada endapan berkurang atau hilang. Setelah bersih, larutan disaring endapan putih yang berupa *boehmite* (AlO(OH)) untuk dikalsinasi.

Sampel yang telah disiapkan kemudian dikalsinasi dengan tungku dengan beberapa varian suhu, yaitu 300°C, 400°C, 500°C selama 1 jam. Setelah 1 jam, keluarkan sampel dari tungku dan diamkan hingga suhu sampel menurun. Setelah itu, sampel digerus hingga mendapat nanopartikel AlO(OH). Nanopartikel AlO(OH) yang telah dihasilkan kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan *Surface Area Meter* menggunakan metode *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan nanopartikel AlO(OH) yang diperoleh dan *X – Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kristal lainnya [11], [12].

b. Pengujian Nanopartikel AlO(OH) sebagai Adsorben Metilen Biru

Nanopartikel AlO(OH) yang diperoleh kemudian diuji kemampuan adsorpsinya dengan menggunakan larutan metilen biru. Nanopartikel AlO(OH) sebanyak 10 mg dimasukkan ke dalam 10 ml larutan metilen biru dengan variasi konsentrasi (5 ppm, 10 ppm, 15ppm, 20 ppm, dan 25 ppm) dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan rendah selama 3 – 120 menit. Kemudian metilen biru yang telah tercampur dengan nanopartikel AlO(OH) harus dipisahkan agar tidak terjadi reaksi lanjutan antara keduanya. Pemisahan dilakukan dengan sentrifugasi selama 10 menit dengan alat *centrifuge*.

Setelah itu, larutan metilen biru yang terdegradasi dilihat nilai absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV – Vis. Absorbansi adalah perbandingan antara intensitas cahaya yang terserap dengan intensitas cahaya yang datang. Semakin tinggi konsentrasi metilen biru maka semakin banyak molekul yang dapat menyerap cahaya (absorpsi) sehingga akan menghasilkan nilai absorbansi yang besar dan begitupun sebaliknya [13]. Dengan mengetahui nilai absorbansinya, maka konsentrasi akhir larutan metilen biru yang terdegradasi dapat dihitung dengan persamaan garis dari kurva standar metilen biru. Lalu untuk mengetahui nilai konsentrasi akhir, maka kemampuan adsorpsi nanopartikel AlO(OH) dapat diketahui dengan menghitung kapasitas adsorpsi per waktu menggunakan rumus sebagai berikut [14].

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

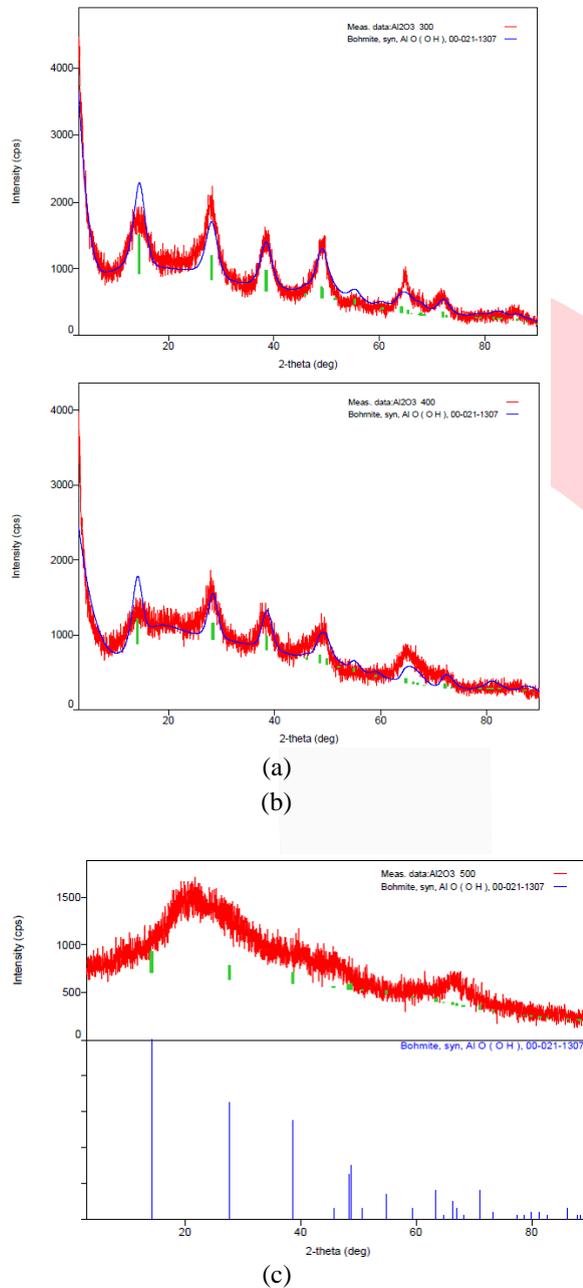
Dengan C_o adalah konsentrasi awal metilen biru sebelum adsorpsi (ppm), C_e adalah konsentrasi akhir metilen biru setelah adsorpsi (ppm), V adalah volume larutan adalah volume metilen biru yang digunakan (liter), dan m adalah massa adsorben yang digunakan (mg).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Karakterisasi dengan XRD

Analisis struktur kristal dengan XRD dilakukan dengan cara mencocokkan puncak – puncak yang muncul dan kesesuaian nilai sudut 2θ pada data yang dianalisis dengan data standarnya [15]. Hasil dari analisis XRD adalah berupa difraktogram yang berbentuk susunan puncak dengan nilai intensitas dan nilai sudut 2θ yang berbeda – beda pada setiap material yang dianalisis

[12]. Dari difraktogram tersebut dapat diketahui struktur kristal, fasa kristal, cacat kristal, ukuran kristal, identifikasi campuran, dan parameter kristal lainnya [11], [12]. Hasil XRD dari AIO(OH) ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. pola difraksi sampel suhu kalsinasi (a) 300°C, (b) 400°C, dan (c) 500°C dengan pola difraksi standar *boehmite* (ICDD No. 021 – 1370)

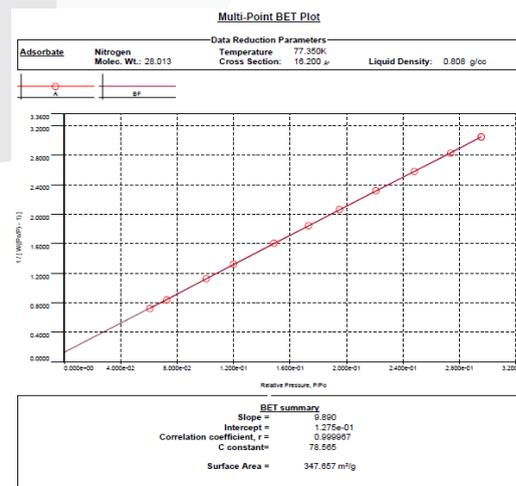
Dari **Gambar 2**, dapat dilihat bahwa ketiga pola difraksi memiliki puncak dan nilai sudut 2θ yang berbeda seiring bertambahnya suhu kalsinasi. Pada puncak pola difraksi sampel suhu kalsinasi 300°C dan 400°C terlihat memiliki nilai sudut 2θ yang hampir sama. Berdasarkan hal itu,

sampel yang dihasilkan dengan suhu kalsinasi 300°C dan 400°C berupa *boehmite* (AIO(OH)) dengan struktur kristal *orthorhombic* berdasarkan standar ICDD (*International Centre for Diffraction Data*) No. 00 – 021 – 1307. Sedangkan pada sampel suhu kalsinasi 500°C terjadi pergeseran puncak dan memiliki nilai sudut 2θ yang sangat berbeda dengan pola difraksi sampel lainnya. Oleh karena itu, pada suhu kalsinasi 500°C telah terjadi transformasi fasa dari AIO(OH) menjadi γ - Al₂O₃. Namun, γ - Al₂O₃ yang dihasilkan belum sempurna sehingga pada suhu kalsinasi suhu 500°C terbentuk γ - Al₂O₃ dan amorf Al₂O₃.

Selain morfologi kristal, XRD juga dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal menggunakan rumus Debye Scherrer dengan memasukkan nilai panjang gelombang, sudut 2θ , dan FWHM (*Full Width at Half Maximum*) yang diketahui dari karakterisasi XRD. Dari hasil perhitungan tersebut, didapat ukuran rata – rata kristal pada suhu kalsinasi 300°C, 400°C, 500°C masing – masing adalah sebesar 2.73 nm, 2.28 nm, dan 1.66 nm.

b. Hasil Karakterisasi Luas Permukaan (*Surface Area meter*)

Karakterisasi luas permukaan (*Surface Area Meter*) dilakukan untuk mengetahui ukuran luas permukaan pada suatu partikel. Kemudian dari hasil tersebut dapat digunakan untuk mencari ukuran diameter suatu partikel. Karakterisasi ini dilakukan dengan menggunakan Nova 3200e BET *Surface Area Analyzer* (*Quantachrome Instruments*) yang hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 3**.



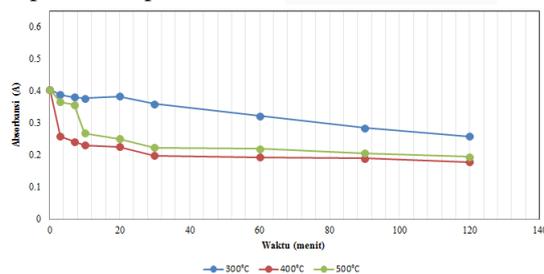
Gambar 3. data karakterisasi luas permukaan nanopartikel AIO(OH) dengan suhu kalsinasi 400°C

Berdasarkan **Gambar 3**, AlO(OH) dengan suhu kalsinasi 400°C memiliki luas permukaan sebesar 347.657 m²/g. Kemudian ukuran diameter partikel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan diperoleh ukuran partikel AlO(OH) dengan suhu kalsinasi 400°C sebesar 5.73 nm. Perhitungan ini juga dilakukan oleh Tsabita Amaliyah dkk. (2021) pada penelitian sintesis nanopartikel ZrO₂ dari pasir zirkon untuk adsorben metilen biru [15]. Penelitian tersebut menghasilkan nanopartikel ZrO₂ dengan luas permukaan 139.066 m²/g dan dengan menggunakan rumus yang sama, didapatkan ukuran partikel sebesar 7.1432 nm.

c. Hasil Pengujian Nanopartikel AlO(OH) sebagai Adsorben Metilen Biru

d. Pengujian Metilen Biru dengan Variasi Suhu Kalsinasi Adsorben

Pada pengujian ini, nanopartikel AlO(OH) yang dikalsinasi pada suhu 300°C, 400°C, dan 500°C sebanyak 10 mg dicampur dengan 10 ml larutan metilen biru 10 ppm. Kemudian campuran tersebut diaduk selama 3, 7, 10, 20, 30, 60, 90, 120 menit. Pengujian ini menggunakan UV-Vis pada setiap menit yang sudah ditentukan. Hasil pengujian dengan variasi suhu kalsinasi adsorben dapat dilihat pada **Gambar 4**.



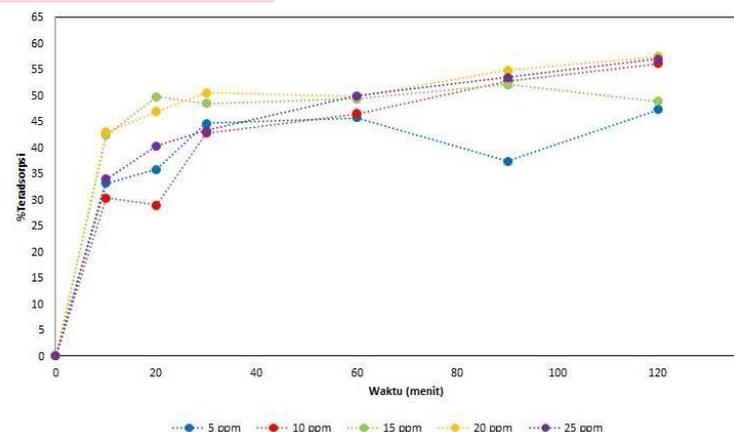
Gambar 4. hubungan antara nilai absorbansi metilen biru dengan waktu pada pengujian variasi suhu kalsinasi nanopartikel AlO(OH)

Seperti yang terlihat pada **Gambar 4**, larutan metilen biru dengan adsorben pada suhu kalsinasi 400°C memiliki nilai absorbansi yang paling kecil dibanding hasil pengujian lainnya. Semakin kecil nilai absorbansi maka semakin kecil nilai konsentrasinya dan warna larutan akan semakin bening. Sehingga dalam rentang waktu 2 jam, nanopartikel AlO(OH) dengan suhu kalsinasi 400°C memiliki perubahan kapasitas adsorpsi yang paling besar diantara suhu kalsinasi nanopartikel AlO(OH) lainnya. Dengan demikian, maka pada pengujian selanjutnya nanopartikel AlO(OH) yang

digunakan adalah nanopartikel AlO(OH) dengan suhu kalsinasi 400°C.

e. Pengujian Adsorben dengan Variasi Konsentrasi Metilen Biru

Pengujian ini dilakukan dengan mencampurkan antara adsorben dan larutan metilen biru dengan beberapa variasi konsentrasi. Adsorben yang digunakan adalah nanopartikel AlO(OH) dengan suhu kalsinasi 400°C sebanyak 10 mg dan larutan metilen biru yang digunakan memiliki konsentrasi 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm sebanyak 10 ml. Kemudian larutan metilen biru dengan konsentrasi yang berbeda – beda dicampur dengan adsorben lalu diaduk dalam waktu 10, 20, 30, 60, 90, dan 120 menit. Hasil pengujian dengan variasi konsentrasi larutan metilen biru disajikan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. kurva hubungan %teradsorpsi terhadap waktu pada pengujian variasi konsentrasi metilen biru

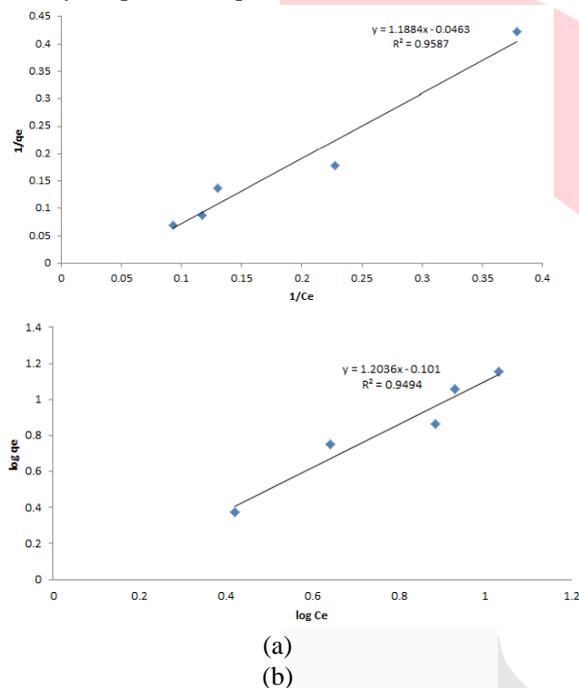
Pada **Gambar 5**, %Teradsorpsi menunjukkan persentase penurunan kadar metilen biru dalam kurun waktu tersebut yang dapat dihitung dengan rumus berikut [16].

$$\%T = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan nilai C_0 adalah konsentrasi awal dan C_e adalah konsentrasi akhir. Berdasarkan grafik, terlihat nilai %T semakin naik seiring bertambah lamanya waktu kontak antara adsorben dan larutan metilen biru pada tiap – tiap konsentrasi yang digunakan. Nilai %T terbesar pada penelitian kali ini adalah sebesar 56.971% di konsentrasi 25 ppm pada waktu 120 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 14.243 mg/g.

f. Isoterm Adsorpsi

Analisis isoterm adsorpsi dapat dilakukan dengan memplotkan data dari pengujian variasi konsentrasi menjadi kurva kesetimbangan garis lurus. Dari kurva tersebut akan diperoleh persamaan garis lurus dan koefisien regresi (R^2). Persamaan garis yang diperoleh dapat menunjukkan nilai kemampuan adsorpsi, sedangkan nilai R^2 digunakan untuk menentukan model isoterm yang sesuai dengan adsorpsi pada penelitian ini. Model isoterm Langmuir ditentukan dengan memplotkan grafik $1/C_e$ terhadap $1/q_e$ sedangkan isoterm Freundlich ditentukan dengan memplotkan grafik $\log q_e$ terhadap $\log C_e$ yang hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. grafik (a) isoterm Langmuir, (b) isoterm Freundlich

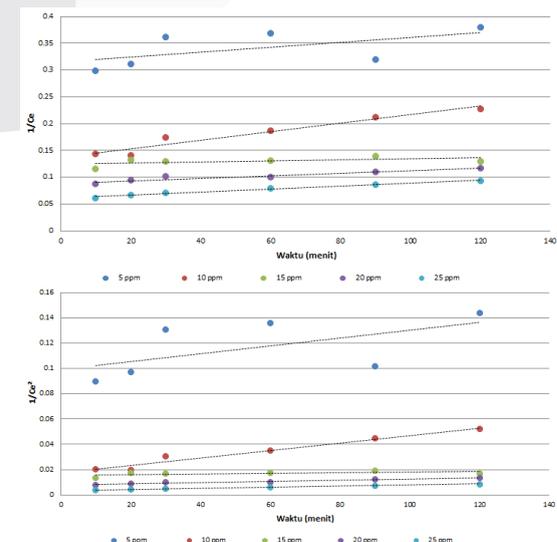
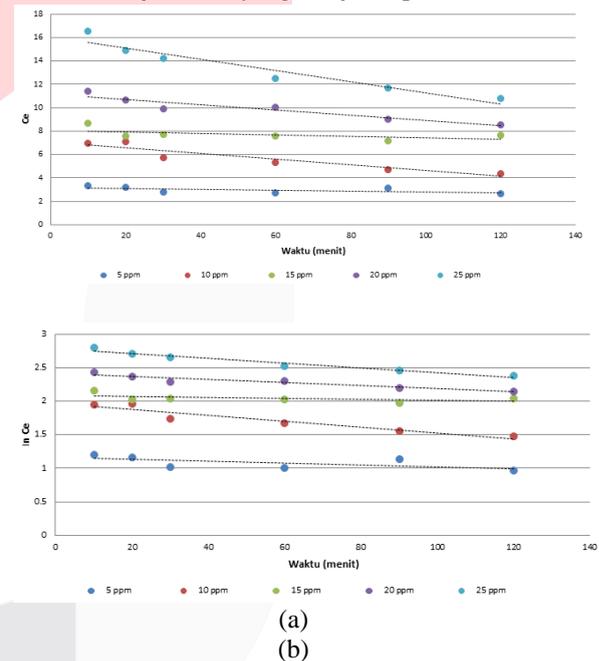
Dari grafik tersebut, persamaan garis isoterm Langmuir yang terbentuk adalah $y = 1.1884x - 0.0463$ dengan nilai $R^2 = 0.9587$, nilai kapasitas adsorpsi maksimum (q_m) = 21.6 mg/g, dan nilai konstanta langmuir (K_L) = 0.039. Kemudian persamaan garis isoterm Freundlich yang terbentuk adalah $y = 1.2036x - 0.101$ dengan nilai $R^2 = 0.9494$, nilai $n = 0.8308$, dan nilai konstanta Freundlich (K_F) = 1.2618.

Berdasarkan nilai R^2 pada dua model analisis isoterm adsorpsi, nilai R^2 pada isoterm Langmuir lebih mendekati 1 dibandingkan nilai R^2 pada isoterm Freundlich. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi *monolayer* sesuai dengan model isoterm Langmuir. Selain itu, karena nilai n pada isoterm

Freundlich memiliki nilai kurang dari 1, maka proses adsorpsi metilen biru pada penelitian kali ini adalah adsorpsi kimia (*chemisorption*).

g. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menggambarkan laju adsorpsi yang terjadi, yaitu perubahan konsentrasi teradsorpsi atau konsentrasi larutan terhadap waktu [17]. Kinetika adsorpsi pada penelitian ini, dapat dianalisis menggunakan beberapa model kinetika adsorpsi. Dari data perubahan konsentrasi terhadap waktu yang telah didapatkan kemudian dihubungkan dengan model kinetika persamaan orde 0, persamaan orde 1, persamaan orde 2, dan persamaan orde 3 menjadi grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 7**. Dari grafik tersebut, didapat nilai konstanta laju reaksi yang disajikan pada **Tabel 1**.



(c) (d)
Gambar 7. grafik kinetika adsorpsi (a) orde 0, (b) orde 1, (c) orde 2, dan (d) orde 3

Tabel 1. parameter kinetika adsorpsi

Model	Parameter	Konsentrasi MB				
		5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm	25 ppm
Orde 0	R^2	0.33	0.87	0.30	0.883	0.92
	K_0	0.00	0.02	0.00	0.022	0.04
Orde 1	R^2	0.33	0.90	0.30	0.901	0.95
	K_1	0.00	0.00	0.00	0.002	0.00
Orde 2	R^2	0.34	0.93	0.30	0.914	0.97
	K_2	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
Orde 3	R^2	0.34	0.96	0.30	0.924	0.98
	K_3	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00

Jika nilai R^2 semakin mendekati 1, maka model kinetika adsorpsi tersebut akan sesuai dengan adsorpsi yang terjadi. Dari **Tabel 1** terlihat nilai R^2 yang lebih besar pada model kinetika adsorpsi orde 3 untuk beberapa konsentrasi, yaitu 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm. Sedangkan pada konsentrasi 15 ppm, nilai R^2 lebih besar pada

model kinetika adsorpsi orde 1. Pada kinetika adsorpsi, suatu reaksi memiliki model kinetika orde 0 jika laju reaksi tidak dipengaruhi oleh konsentrasi. Sedangkan model orde 1, 2, dan 3 menyatakan bahwa laju reaksi dipengaruhi oleh konsentrasi. Berdasarkan nilai R^2 , model kinetika adsorpsi yang sesuai dengan penelitian ini, yaitu model orde 3 (konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm) dan model orde 1 (konsentrasi 15 ppm). Kemudian dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini, konsentrasi sangat mempengaruhi laju reaksi. Selain itu, model kinetika adsorpsi menghasilkan konstanta laju reaksi. Semakin besar nilai konstanta maka semakin cepat laju reaksinya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

- Nanopartikel AIO(OH) berhasil didapatkan pada suhu kalsinasi 300°C dan 400°C dengan struktur kristal *orthorhombic* yang memiliki ukuran rata – rata kristal masing – masing sebesar 2.73 nm dan 2.28 nm.
- Nanopartikel AIO(OH) dengan suhu kalsinasi 400°C memiliki luas permukaan sebesar 347.657 m²/g dengan ukuran diameter partikel sebesar 5.73 nm.
- Hasil dari pengujian pada metilen biru menunjukkan bahwa nanopartikel AIO(OH) bersuhu kalsinasi 400°C memiliki kemampuan adsorpsi paling baik diantara suhu kalsinasi lainnya.
- Dalam analisis isoterm, nanopartikel AIO(OH) sesuai dengan isoterm Langmuir dengan R^2 sebesar 0.9446 dan konstanta Langmuir sebesar 0.0219 yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi *monolayer*. Lalu didapat nilai kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 25.773 mg/g.
- Analisis kinetika adsorpsi menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi terhadap waktu dengan model kinetika adsorpsi orde 3 yang memiliki nilai R^2 mendekati 1 pada konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm. Sedangkan konsentrasi 15 ppm mengikuti kinetika adsorpsi orde 1.

REFERENSI

- Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, *Kajian Kebijakan Pengembangan Industri Mineral Sebagai Kawasan Ekonomi Khusus*, vol. 1. 2012.
- C. Bowen *et al.*, "Synthesis of Porous AIOOH Nanospindle via Hydrothermal Route and Its Application in Pb(II) Removal," no. Ii, pp. 0–6, 2019.

- [3] S. Elbasuney, "Continuous hydrothermal synthesis of AlO(OH) nanorods as a clean flame retardant agent," *Particuology*, vol. 22, pp. 66–71, 2015, doi: 10.1016/j.partic.2014.11.011.
- [4] K. Feng, D. Rong, W. Ren, and X. Wen, "Hierarchical flower-like γ -ALOOH and γ -Al₂O₃ microspheres: Synthesis and adsorption properties," *Mater. Express*, vol. 5, no. 4, pp. 371–375, 2015, doi: 10.1166/mex.2015.1239.
- [5] F. Rouquerol, J. Rouquerol, K. S. W. Sing, G. Maurin, and P. Llewellyn, "Introduction," in *Adsorption by Powders and Porous Solids: Principles, Methodology and Applications: Second Edition*, 2014, pp. 1–24.
- [6] I. Syauqiah, M. Amalia, and H. A. Kartini, "ANALISIS VARIASI WAKTU DAN KECEPATAN PENGADUK PADA PROSES ADSORPSI LIMBAH LOGAM BERAT DENGAN ARANG AKTIF," *Info Tek.*, vol. 12, no. 1, pp. 11–20, 2011.
- [7] G. Job and R. R  ffler, *Physical Chemistry from a Different Angle: Introducing Chemical equilibrium, Kinetics and Electrochemistry by Numerous Experiments*. 2015.
- [8] M. Masruhin, R. Rasyid, and S. Yani, "PENJERAPAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DENGAN MENGGUNAKAN LIGNIN HASIL ISOLASI JERAMI PADI," *J. Chem. Process Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 6, 2018, doi: 10.33536/jcpe.v3i1.188.
- [9] R. A. Sanada, S. S. Moersidik, and N. Suwartha, "Adsorpsi Zat Warna Kationik (Methylene Blue) Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Batu Bara serta Efisiensi Regenerasinya," *Skripsi*, 2014.
- [10] S. Ali, Y. Abbas, Z. Zuhra, and I. S. Butler, "Synthesis of γ -alumina (Al₂O₃) nanoparticles and their potential for use as an adsorbent in the removal of methylene blue dye from industrial wastewater," *Nanoscale Adv.*, vol. 1, no. 1, pp. 213–218, 2019, doi: 10.1039/c8na00014j.
- [11] A. A. Bunaciu, E. gabriela Udri  tioiu, and H. Y. Aboul-Enain, "X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications," *Crit. Rev. Anal. Chem.*, vol. 45, no. 4, pp. 289–299, 2015, doi: 10.1080/10408347.2014.949616.
- [12] Masruroh, A. B. Manggara, T. Papolaka, and R. T. T, "Penentuan Ukuran Kristal (Crystallite Size) Lapiran Tipis PZT dengan Metode XRD melalui Pendekatan Persamaan Debye Scherrer," *Jur. Fis. dan Kim. FMIPA Univ. Brawijaya*, vol. 1, no. 2, pp. 24–29, 2013.
- [13] R. Gusnedi, "Analisis Nilai Absorbansi dalam Penentuan Kadar Flavonoid untuk Berbagai Jenis Daun Tanaman Obat," *Pillar of Physics*, vol. 2, pp. 76–83, 2013.
- [14] L. M. Estiaty, "Kesetimbangan Dan Kinetika Adsorpsi Ion Cu²⁺ Pada Zeolit-H," *J. Ris. Geol. dan Pertamb.*, vol. 22, no. 2, pp. 127–141, 2013, doi: 10.14203/risetgeotam2012.v22.63.
- [15] T. A. Athifah, Abrar, and D. Gustaman Syarif, "Sintesis Nanopartikel ZrO₂ dari Pasir Zirkon dengan Metode Presipitasi untuk Adsorben Metilen Biru," vol. 8, no. 1, pp. 459–467, 2021.
- [16] I. Widihati, N. Diantariani, and Y. Nikmah, "Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al₂O₃," *J. Kim.*, vol. 5, no. 1, pp. 31–42, 2011.
- [17] E. Wibowo, M. Rokhmat, Sutisna, Khairurrijal, and M. Abdullah, "Reduction of seawater salinity by natural zeolite (Clinoptilolite): Adsorption isotherms, thermodynamics and kinetics," *Desalination*, vol. 409, pp. 146–156, 2017, doi: 10.1016/j.desal.2017.01.026.