

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT PbO-ZEOLIT UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA METILEN BIRU

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION PBO-ZEOLITE COMPOSITE FOR PHOTODEGRADATION METHYLENE BLUE

Oleh : Athoourrohman dan M. Pranjoto Utomo, M.Si

Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

e-mail : urrohman12@gmail.com dan pranjoto_utomo@uny.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempreparasi dan mensintesis senyawa komposit PbO-zeolit dan mengetahui karakter senyawa PbO-zeolit. Komposit PbO-zeolit menggunakan metode sol-gel dengan prekursor zeolit alam dan $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, SEM-EDX dan UV-VIS *Diffuse Reflectance*. Uji aktivitas katalis komposit PbO-Zeolit terhadap metilen biru dilakukan pada keadaan gelap, uji fotokatalis dilakukan dibawah sinar tampak. Komposit PbO-zeolit menggunakan metode sol-gel, hasil analisis komposit PbO-zeolit menunjukkan ukuran kristal sebesar 23,2 nm, menunjukkan adanya serapan PbO pada bilangan gelombang $501,49 \text{ cm}^{-1}$, material zeolit yang terdapat dalam komposit PbO-zeolit berukuran 2 - 8 mikrometer, material timbal oksida (PbO) dengan ukuran 0,5 - 2 mikrometer, komposisi unsur dari komposit PbO-zeolit menunjukkan persentase massa element Pb adalah 2,99% dan besar energi dispersi atom Pb adalah 2,342 keV, energi celah pita (Eg) komposit PbO-zeolit adalah 2,7 eV. Uji adsorpsi metilen biru menunjukkan penyerapan isotherm Freundlich.

Kata Kunci : Fotokatalis, metilen biru, PbO-zeolit

ABSTRACT

This research was aimed to prepare and synthesis composite compounds of PbO-zeolite, to find out the character of PbO-zeolite compounds. The PbO-zeolite composite use the sol-gel method with natural zeolite precursors and $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$. The synthesis results were characterized using XRD, FTIR, SEM-EDX and UV-VIS Diffuse Reflectance. The PbO-Zeolite composite catalyst activity test against methylene blue was performed in the dark, the photocatalyst test was performed under visible light and UV light. The catalyst is used to degrade the methylene blue dye. The PbO-zeolite composite was synthesized by sol-gel method. The result of the analysis PbO-zeolite composite showed that the crystal size was 23.2 nm, the absorption of PbO at 501.49 cm^{-1} , zeolite material contained in PbO-zeolite composite were 2 - 8 micrometer in size, whereas the lead oxide material (PbO) 0.5 to 2 micrometers, PbO-zeolite composite contained 2.99% mass of Pb and the magnitude of the dispersion energy of Pb atom was 2.342 keV, band gap energy (Eg) of PbO-zeolite composite was 2.7 eV. The methylene blue adsorption followed Freundlich isotherm absorption.

Keywords : Photocatalytic, methylene blue, PbO-zeolite

PENDAHULUAN

Kemajuan industri tekstil memberikan dampak positif dengan meningkatkan lapangan pekerjaan serta dampak negatif bagi lingkungan berupa limbah zat warna yang dihasilkan karena dapat mengurangi nilai estetika perairan serta menghalangi sinar matahari menembus perairan

yang dapat mengganggu proses fotosintesis dalam perairan Salah satu zat warna digunakan dalam pewarnaan tekstil adalah metilen biru yang dapat menyebabkan sianosis serta jika tersentuh kulit akan menimbulkan iritasi (Wismayanti, Diantariani & Santi, 2015).

Salah satu metode alternatif pengolahan limbah zat warna yang telah dikembangkan pada saat ini yaitu metode fotodegradasi dengan menggunakan semikonduktor fotokatalis dan sinar ultraviolet (Widihati, Diantariani, & Nikmah, 2011). Proses fotokatalitik perlu dikembangkan lebih lanjut karena tidak seperti pengolahan limbah konvensional yang hanya memindahkan polutan dari suatu tempat ke tempat lainnya melainkan mampu mengubah polutan menjadi senyawa sederhana dan bersifat ramah lingkungan (Kabra, Chandhary, & Sawhney, 2004). Di antara berbagai macam semikonduktor oksida logam, titanium dioksida atau titania merupakan salah satu semikonduktor oksida yang telah dipelajari secara ekstensif sebagai fotokatalis sejak ditemukan efek sensitasi cahaya oleh Honda dan Fujishima pada tahun 1971. Meskipun TiO_2 lebih umum digunakan sebagai fotokatalis (Lisniwari, Akmar, & Pepi, 2015) timbal oksida (PbO) dapat juga digunakan sebagai fotokatalis semikonduktor PbO yang stabil terhadap cahaya sehingga dapat melakukan degradasi terhadap polutan organik bersifat amfoter serta memiliki *band gap* 1,9 – 2,6 eV.

Beberapa faktor yang mempengaruhi aktivitas fotokatalisis yaitu jarak celah energi atau *band gap* dan rekombinasi pasangan *electron-hole* dari fotokatalis. Kedua faktor tersebut dipengaruhi oleh ukuran partikel dari bahan semikonduktor atau fotokatalis. Oleh karena itu banyak dilakukan usaha untuk

membuat fotokatalis dengan distribusi ukuran partikel yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *experimental design* dengan jenis simulasi penanganan limbah cair industri tekstil. Eksperimen ini dilakukan dengan mengacu pada analisis penelitian yang sudah ada dengan mengubah subjek dan objek agar dapat berjalan dengan signifikan dan stabil.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Penelitian 3 Lab Kimia FMIPA UNY dan khusus untuk analisis karakterisasi dilakukan di LPPT unit 1 dan Laboratorium Fisika UGM.

Target/Subjek Penelitian

Preparasi Zeolit secara Fisika

Preparasi zeolit secara fisika, yaitu dengan mendispersikan zeolit alam ke dalam aquades dengan perbandingan 1 : 3 kemudian diaduk selama 2 jam pada suhu 90°C dengan *magnetic stirrer*. Selanjutnya zeolit didekantasi dengan kertas saring untuk membuang pelarutnya kemudian dilakukan pengeringan pada suhu 120°C dalam oven, dan diakhiri dengan kalsinasi dalam *muffle furnace* pada suhu 300°C selama 2 jam.

Aktivasi Zeolit Secara Kimia dengan Penyeragaman Kation

Mendispersikan zeolit alam dengan NaCl 1 M dengan perbandingan 1:4 kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* pada suhu 120°C

hingga kering. Selanjutnya zeolit didekantasi untuk membuang pelarutnya dengan kertas *Whatman* No. 41 dan mengambil endapan zeolit. Langkah terakhir zeolit dikalsinasi dalam *muffle furnace* pada suhu 300°C selama 3 jam.

Sintesis Komposit PbO-Zeolit

Pengembangan zeolit dilakukan dengan cara mencampurkan zeolit yang sudah diaktivasi, $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ dan pelarut aquades, perbandingan masing-masing komposisi 4:2:15 yang mana zeolit aktivasi sebesar 10 gram dan prekursor PbO 5 gram, Senyawa tersebut dilarutkan dalam gelas ukur yang berisi aquades 1 L, Kemudian campuran diaduk merata dan dimasukkan dalam labu takar. Selanjutnya campuran dipanaskan dan diaduk dengan *magnetic stirrer* pada suhu 50°C selama 2 jam dalam sistem refluks. Supaya terbentuk komposit PbO-zeolit, kemudian ditambahkan larutan NaOH 0,1 M sebanyak 10 mL, diaduk selama 1 jam, Dipisahkan endapannya dan didekantasi dengan kertas saring, dilakukan pengovenan pada suhu 120°C selama 5 jam dilanjutkan kalsinasi dalam *muffle furnace* pada suhu 300°C selama 2 jam.

Uji Aktivitas Fotokatalisis Degradasi Metilen Biru

Sinar Gelap (tanpa sinar)

Sebanyak 5 mL larutan standar metilen biru dengan konsentrasi total yang berbeda (1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 dan 3×10^{-6} mol/L) ditambahkan 0,1 gram PbO-zeolit. Campuran dimasukkan dalam tabung reaksi yang dibungkus dengan aluminium foil

kemudian diaduk dalam alat *shaker* yang tertutup *black box* selama 24 jam. Campuran tersebut dipisahkan dengan sentrifuge selama 15 menit. Filtrat diukur absorbansinya pada *Spectronic 20* pada panjang gelombang maksimum 663,9 nm untuk menentukan metilen biru teradsorpsi dalam katalis.

Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis data kualitatif dan data kuantitatif yang berupa hasil karakterisasi komposit PbO-zeolit dengan penentuan data menggunakan rumus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

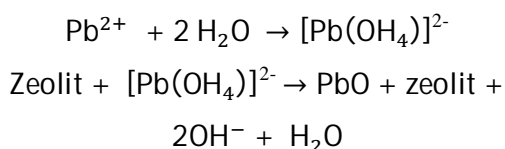
Preparasi Komposit PbO-Zeolit

Tahap pertama preparasi adalah memisahkan pengotor dengan zeolit menggunakan alat pengayak hingga berukuran 100 mesh, zeolit dihaluskan serta dicuci dengan aquades dan diaduk dengan alat stirrer selama 2 jam. Dalam proses pengadukan tersebut zeolit dibersihkan dari zat-zat pengotor dan diharapkan luas permukaan zeolit akan semakin besar.

Proses selanjutnya adalah aktivasi zeolit alam yang dilakukan dengan cara fisika dan kimia. Tujuan dari aktivasi secara fisika ini adalah untuk menghilangkan zeolit dari zat pengotor dan jenis senyawa pengganggu seperti pasir, tanah dan sebagainya. Sedangkan cara kimia digunakan untuk melarutkan pengotor yang bersifat asam maupun basa. Aktivasi secara kimia dilakukan dengan menggunakan larutan NaCl 1 M dan NaOH 0,1 M. Kation-kation yang terdapat dalam zeolit akan digantikan oleh kation

Na^+ , hal ini bertujuan agar proses pertukaran kation pada senyawa Pb^{2+} dapat berjalan.

Pembuatan komposit PbO -zeolit menggunakan metode sol gel, dilakukan dengan cara mencampurkan masing-masing sampel zeolit teraktivasi, dan PbO yang didapatkan dari prekursor $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ padat p.a Merck dan pelarut aquades kemudian campuran tersebut dipanaskan dan diaduk pada suhu 50°C selama 2 jam di *magnetic stirrer* dengan sistem refluks. Supaya terbentuk komposit PbO -zeolit, ditambahkan NaOH 0,1 M sebanyak 10 mL. Kemudian diaduk selama 1 jam, tujuan penambahan NaOH supaya terjadi rekasi hidrolisis yang akan menghasilkan spesies senyawa $\text{Pb}(\text{OH}_4)^{2-}$ yang bersifat reaktif dalam zeolit. Berdasar reaksi berikut :

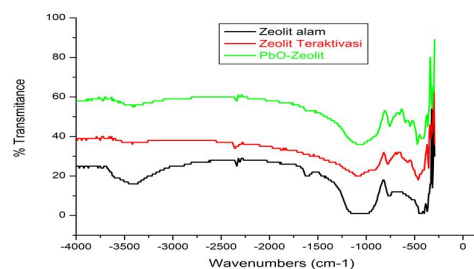


Endapan PbO -zeolit dipisahkan dari larutannya dan dipanaskan didalam oven pada suhu 120°C selama 5 jam dan dilanjutkan kalsinasi pada suhu 400°C .

Karakterisasi Komposit PbO -Zeolit

Spektroskopi Inframerah

Analisis dengan spektroskopi Inframerah pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil perubahan gugus fungsional pada zeolit alam sebelum diaktivasi, zeolit teraktivasi dan sintesis PbO -zeolit. Hasil analisis FTIR dari zeolit alam, zeolit teraktivasi dan PbO -zeolit disajikan pada **Gambar 1**

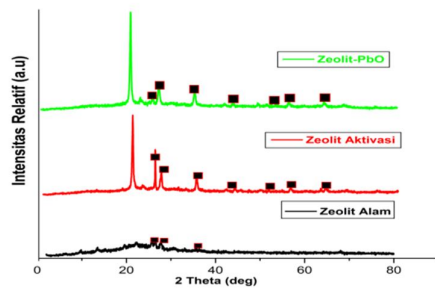


Gambar 1. Spektrum Inframerah zeolit, zeolit Teraktivasi dan PbO -zeolit

Komposit PbO -zeolit memiliki serapan bilangan gelombang yang hampir sama dengan zeolit alam dan zeolit teraktivasi namun terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada daerah serapan $1000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan daerah serapan senyawa logam dan bilangan gelombang $501,49\text{ cm}^{-1}$ merupakan logam PbO yang terkomposit oleh zeolit. Pada zeolit alam yang belum diaktivasi tanpa penambahan NaCl terdapat vibrasi gugus fungsi $-\text{OH}$ regangan dengan bilangan gelombang $3425,58\text{ cm}^{-1}$. Daerah serapan bilangan gelombang $794,67, 786,96$ dan $786,96\text{ cm}^{-1}$ pada zeolit alam, zeolit teraktivasi dan PbO -zeolit secara berurutan merupakan gugus fungsi O-Si-O cenderung tidak ada perubahan. yang signifikan pada ketiga sampel bahkan zeolit aktivasi dan PbO -zeolit memiliki bilangan gelombang yang sama, namun pada zeolit terjadi perbedaan serapan, diduga terdapat pengotor yang berasal dari pelarut maupun saat dilakukan preparasi zeolit. Pada serapan $1072,42, 1095,57, 1080,14\text{ cm}^{-1}$ diduga termasuk dalam gugus Si-O-Si regangan.

Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi XRD menggunakan sumber radiasi Cu-K α , dengan rentang 20⁰ sampai 80⁰, analisis dilakukan dengan menggunakan alat difraktometer sinar X (XRD) Rigaku Miniflex CuK α 1,5406 \AA , tegangan 40 kW dan arus 15 mA. Tujuan digunakan karakterisasi XRD adalah untuk menganalisis struktur kristal yang terdapat dalam sampel zeolit alam, zeolit teraktivasi dan PbO-zeolit. Puncak-puncak pola difraksi zeolit alam, zeolit teraktivasi dan PbO-zeolit disajikan pada **Gambar 2**.



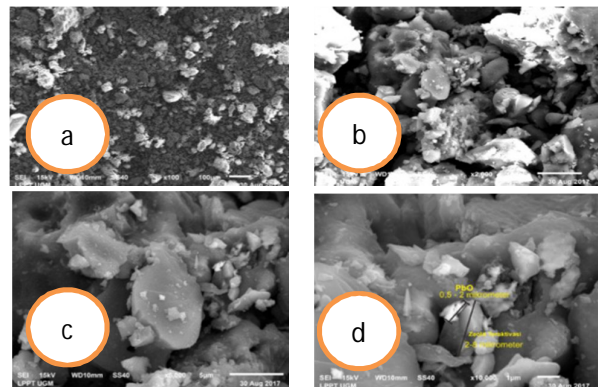
Gambar 2. Pola Difraksi zeolit, zeolit teraktivasi dan PbO-Zeolit

Berdasarkan pola difraksi pada gambar diatas puncak-puncak yang terlihat pada sampel zeolit teraktivasi yaitu pada sudut $2\Theta = 21,703^0$; $26,636^0$; $28,001^0$; $35,679^0$; $56,38^0$; $64,12^0$ dan $68,81^0$ (Lampiran 1.b). Hasil pencocokan data dengan 2Θ zeolit data JCPDS (*Joint Comitte For Powder Diffraction Standard*) pada No. 6-239 dengan menggunakan *software* PCDFWIN menunjukkan zeolit yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis zeolit *Mordenit* yang memiliki struktur monoklinik dengan beberapa titik puncak dengan persamaan pada $21,446^0$; $26,914^0$; $28,775^0$; $35,567^0$; $56,705^0$; $64,426^0$

dan $68,83^0$. Senyawa komposit PbO-zeolit (*mordenit*) menunjukkan puncak-puncak dari keduanya yaitu, 21.647^0 ; 23.87^0 ; 27.82^0 ; 35.68^0 ; 56.41^0 ; 64.08^0 dan 68.83^0 . Pada pencocokan data komposit PbO-zeolit dilakukan dengan data JCPDS (*Joint Comitte For Powder Diffraction Standard*) dari zeolit *mordenit* No. 6-239 dan senyawa timbal(II) oksida (PbO) dengan no 76-1796 menggunakan *software* PCDFWIN menunjukkan kesamaan di beberapa nilai 2Θ antara lain, $18,705^0$; $24,815^0$; $29,150^0$; $35,68^0$; $56,136^0$; $63,204^0$ dan $68,991^0$.

Analisis Scanning Electron Microscopy-Electron Dispersive X-Ray Analyser (SEM-EDX)

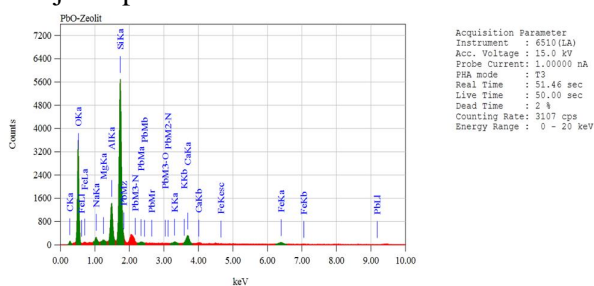
Analisis SEM digunakan untuk menganalisis morfologi (permukaan) dan ukuran partikel dari senyawa komposit PbO-zeolit. Sedangkan hasil analisis EDX digunakan untuk menentukan komposisi senyawa komposit PbO-zeolit. Hasil SEM komposit PbO-zeolit dengan berbagai perbesaran ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Hasil SEM Komposit PbO-Zeolit pada Perbesaran : a. 100 x, b. 2000x c. 5000 x, d. 10.000 x

Analisis dari morfologi SEM sampel komposit PbO-zeolit yang terlihat pada **Gambar 3**. Menunjukkan bahwa struktur PbO-zeolit berbentuk homogen dan monoklinik terdapat permukaan yang menggumpal seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.d** dengan material yang berukuran kecil menempel pada material yang cukup besar ukurannya. Gumpalan yang besar tersebut diduga merupakan senyawa zeolit dengan ukuran sekitar 2-8 mikrometer. Sedangkan material yang menempel pada sampel tersebut tersebar secara acak berwarna putih diduga sebagai timbal(II) oksida dengan ukuran 0,5-2 mikrometer.

Analisis EDX dari sampel komposit PbO-zeolit digunakan untuk mengetahui persentase komposisi persentase massa dari unsur O, Si, Al, PbO, Na, dan Fe yang merupakan komponen element dari zeolit. Hasil spektra EDX dari komposit PbO-zeolit yang disajikan pada **Gambar 4**.



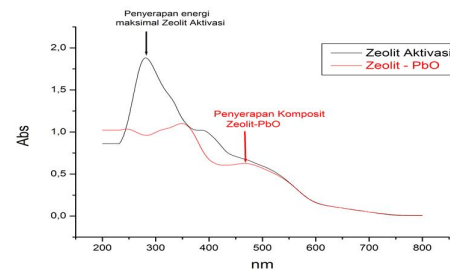
Gambar 4. Spektra EDX dari Komposit PbO-Zeolit

Pada penelitian ini hasil karakterisasi EDX menunjukkan adanya senyawa komponen elemen dari zeolit (mordenit) dan PbO, adapun persentase massa element unsur O = 49,83%, Si = 27,95%, Al = 6,13 %, Na = 1,04% dan Pb = 2,99%,. Besar energi dispersi dari atom

O = 0,525 keV, Si = 1,739 keV, Al = 1,486 keV, Na = 1,041 keV dan Pb = 2,342 keV.

Analisis Spektrofotometri UV-Vis

Material sampel komposit PbO-zeolit yang telah disintesis selanjutnya dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis 1700 (*Ultraviolet Visible Diffuse Reflectance*) *pharmaspec Spectrophotometer Spectacular Reflectance Attachment* untuk mengetahui bertujuan untuk mengetahui hasil absorbansi atom dan energi celah pita. Hasil karakterisasi UV-Vis *Diffuse Reflectance* yang diperoleh dari data absorbansi zeolit dan komposit PbO-zeolit ditampilkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Spektrum Absorbansi Sampel Zeolit dan Komposit PbO-Zeolit

Pada panjang gelombang maksimum 281 nm dengan nilai absorbansi 1,882 yang merupakan daerah sinar UV. Untuk senyawa komposit PbO-zeolit mengalami penyerapan absorbansi pada panjang gelombang 467 nm dengan nilai absorbansi 0,626 yang merupakan daerah sinar UV.

Uji Aktivitas Fotokatalitik dalam Komposit PbO-Zeolit

Pada penelitian ini dilakukan pengujian material komposit PbO-zeolit sebagai semikonduktor fotokatalis terhadap zat warna metilen biru. Pada komposit PbO-zeolit yang telah berhasil dipreparasi dan sintesis dan menghasilkan energi celah pita sebesar 2,7 eV, oleh karena itu komposit PbO-zeolit dapat digunakan untuk reaksi fotodegradasi metilen biru.

Isoterm Adsorpsi Komposit PbO-Zeolit

Pengujian pola isoterm adsorpsi metilen biru pada variasi tanpa sinar (sinar gelap) yang sesuai dengan proses penyerapan katalis komposit PbO-zeolit terhadap larutan metilen biru dilakukan dengan perhitungan persamaan Langmuir dan Freundlich. Uji adsorpsi Langmuir dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{Ce}{\left(\frac{x}{m}\right)} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} Ce$$

Sedangkan pada uji Freundlich menurut I Nyoman Sukarta (2008), menggunakan persamaan berikut :

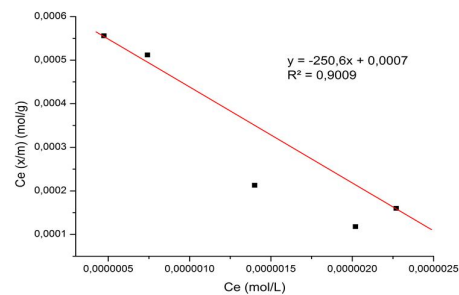
$$\text{Log}\left(\frac{x}{m}\right) = \log k + \frac{1}{n} \log Ce$$

$$\text{Log} (x/m) = \log k + 1/n \log Ce$$

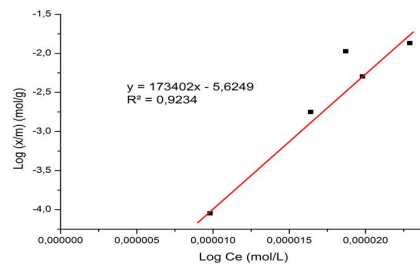
Keterangan :

- Ce = konsentrasi larutan metilen biru setelah proses adsorpsi (mol/L)
- $\frac{x}{m}$ = jumlah metilen biru teradsorpsi pada tiap 1 gram katalis (mol/gram)
- b = parameter afinitas atau konstanta Langmuir

a dan k = kapasitas / daya adsorpsi maksimum. Persamaan Langmuir didapatkan dengan memplotkan nilai Ce/(x/m) dengan nilai Ce (mol/L) dan persamaan Freundlich didapatkan dengan memplotkan Log (x/m) (mol/g) dengan nilai Log Ce. Hasil pemetaan persamaan Langmuir dan Freundlich adalah sebagai berikut :



Gambar 6. Grafik Persamaan Isoterm Langmuir



Gambar 7. Grafik Persamaan Isoterm Freundlich

Pengujian persamaan Langmuir dan persamaan Freundlich dibuktikan dengan grafik linear pada **Gambar 6** dan **Gambar 7** yang menunjukkan harga koefisien determinasi $R^2 \geq 0,9$ (mendekati nilai 1). Persamaan Langmuir bernilai $y = 250,6x + 0,0007$ sedangkan isoterm Freundlich bernilai $y = 173402x - 5,6249$. Pada Gambar 25 terlihat bahwa nilai R^2 persamaan isoterm langmuir bernilai $R^2 = 0,9009$ sedangkan pada **Gambar 7** persamaan isoterm Freundlich bernilai $R^2 = 0,9232$. Dari adsorpsi komposit

PbO-zeolit terhadap larutan metilen biru dihasilkan bahwa yang memenuhi standar adsorpsi adalah persamaan Freundlich dengan nilai $R^2 = 0,9232$ (mendekati $R^2 = 1$).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

1. Komposit PbO-zeolit yang telah disintesis memiliki ukuran kristal sebesar 23,20 nm, menunjukkan adanya serapan PbO pada bilangan gelombang $501,49 \text{ cm}^{-1}$, material zeolit yang terdapat dalam komposit PbO-zeolit berukuran 2 -8 mikrometer, sedangkan material timbal oksida (PbO) dengan ukuran 0,5 - 2 mikrometer, komposisi unsur dari komposit PbO-zeolit menunjukkan persentase massa element Pb = 2,99% dan besar energi dispersi dari atom Pb = 2,342 keV, energi celah pita (E_g) komposit PbO-zeolit adalah 2,7 eV.
2. Proses isoterm adsorpsi komposit PbO-zeolit mengikuti pola isoterm Freundlich dengan persamaan bernilai $y = 173402x + 5,6249$ dan nilai $R^2 = 0,9243$.

DAFTAR PUSTAKA

- Kabra, K., Chandhary, R & Sawhney R.L. (2004). Treatment of Hazardous Organic and Inorganic Compounds Through Aqueous-Phase Photocatalysis : A Review Ind. Eng. Chem. Res. No. 24 Vol 43.76837697
- Lisniwari, Akmal Mukhtar, & Pepi H.Y. (2006). Sintesis Timbal Oksida (PbO) Serta Uji Degradasi terhadap Metanil Kuning. Universitas Riau : Riau
- Tayade, Rajesh J., Praveen K. Surolia, Manoj a. Lazar, and Raksh V. Jasra. (2008). Enhanced Photocatalytic Activity by Silver Metal Ion Exchanged NaY Zeolite Photocatalysts for the

Degradation of Organic Contaminants and Dyes in Aqueous Medium.” *Industrial & Engineering Chemistry Research* 47(20):7545–51.

- Tukur, Nasiru M., & Sulaiman Al-Khattaf. (2011). “Comparison Studies of Xylene Isomerization and Disproportionation Reactions between SSZ-33, TNU-9, Mordenite and ZSM-5 Zeolite Catalysts.” *Chemical Engineering Journal* 166(1):348–57
- Widihati I.A.G., Diantariani N.P., & Nikmah Y.F. (2011). Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al_2O_3 . *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA : Universitas Udayana.
- Wismayanti, D.A., Diantariani N. P., & Santi, S.R. (2015). Pembuatan komposit ZnO-arang aktif sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana*, Bukit Jimbaran, Bali : ISSN 1907-9850
- Yousefi, R., Khorsand Zak, A., Jamali S., F., Huang, N. M., Basirun, W. J., & Sookhajian, M. (2014). Synthesis and characterization of single crystal PbO nanoparticles in a gelatin medium. *Ceramics International*, 40(8 PART A), 11699–11703.
- Zuhriah, S. (2011). Degradasi Zat Warna *Methyl Orange* menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit dengan Sinar UV. *Skripsi*, dipublikasikan. Malang FMIPA Universitas Brawijaya.