

Pemanfaatan Fly Ash dari Sisa Pembakaran Batubara PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dalam Pembuatan Silika Gel Sebagai Adsorben Limbah Zat Warna *Methylene Blue*

Muhammad Nanda Rizki Nurrohmat¹, Erwana Dewi², Robert Junaidi³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Kimia Program Studi D-IV Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

e-mail: rizkimuhammada801@gmail.com

Abstrak

This study aims to obtain the best quality silica gel based on the concentration of NaOH and HCl in the extraction process, so as to obtain the optimal concentration to obtain the best quality silica gel. Fly ash waste has a considerable percentage of SiO₂ content of 30.2 % - 46.4 % after being analyzed using XRD at 2θ angles between 5° and 80°. So it can be used as an alternative raw material for making silica gel. By varying the concentration of NaOH and HCl, silica gel was obtained with the best maximum methylene blue absorption of 357.14 mg in 1 gram of silica gel adsorbent, after being calculated using the Langmuir equation. By using FTIR analysis, the wave number 1023.68 cm⁻¹ was obtained with a sharp intensity, so it is known that the resulting silica gel has silanol and siloxane functional groups with an amorphous structure (irregular crystal shape) porous.

Kata kunci: *Methylene Blue, Silika Gel, Fly Ash, Adsorption.*

Abstract

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan silika gel dengan kualitas terbaik berdasarkan konsentrasi NaOH dan HCl dalam proses ekstraksi, sehingga didapatkan konsentrasi optimal untuk mendapatkan silika gel dengan kualitas terbaik. Limbah fly ash memiliki presentase kandungan SiO₂ yang cukup banyak sebesar 30,2% - 46,4% setelah dianalisa menggunakan XRD pada sudut 2θ antara 5° sampai 80°. Sehingga dapat digunakan sebagai alternatif bahan baku pembuatan silika gel. Dengan memvariasikan konsentrasi NaOH dan HCl didapatkan silika gel dengan kapasitas penyerapan maksimum methylene blue terbaik sebesar 357,14 mg dalam 1 gram adsorben silika gel, setelah dihitung menggunakan persamaan Langmuir. Dengan menggunakan analisa FTIR didapatkan bilangan gelombang 1023,68 cm⁻¹ dengan intensitas tajam, sehingga diketahui bahwa silika gel yang dihasilkan memiliki gugus fungsi silanol dan siloksan dengan struktur amorf (bentuk kristal tidak beraturan) berpori.

Keywords : *Methylene Blue, Silika Gel, Fly Ash, Adsorpsi,*

PENDAHULUAN

Perkembangan Industri terutama dalam bidang tekstil telah menyebabkan beberapa permasalahan lingkungan di negeri sendiri. Salah satunya dalam penggunaan pewarna sintetik menghasilkan kerusakan lingkungan. Salah satu zat warna sintetik yang sering digunakan didalam industri tekstil adalah methylen blue yang bersifat kationik dan sulit diuraikan oleh bakteri dikarenakan kadar zat warna yang tinggi dapat mempengaruhi kehidupan yang ada didalam air.

Ada banyak cara yang telah dikembangkan untuk mengatasi hal tersebut, namun yang murah dan efektif adalah metode adsorpsi. Adsorpsi juga dapat menghilangkan bau serta

menurunkan kadar zat warna dari larutan dengan sempurna tanpa mengubahnya menjadi senyawa yang lebih berbahaya

Silika gel merupakan material anorganik yang mempunyai keunggulan sifat yaitu memiliki kestabilan yang tinggi terhadap pengaruh mekanik dan suhu (Nuryono dan Narsito, 2005). Keunggulan sifat dari silika gel ini mengakibatkan silika gel mempunyai banyak kegunaan, seperti sebagai fasa diam kromatografi dan adsorben.

Alternatif sumber silika yang mulai dikembangkan adalah limbah hasil pembakaran batubara atau lebih dikenal dengan nama fly ash yang umumnya dibuang. Hal ini dapat dilakukan karena fly ash sendiri memiliki kandungan silika yang cukup besar, yaitu sebesar 46,4%. Potensi kandungan silika tersebut menjadikan fly ash dapat dimanfaatkan kembali sebagai adsorben zat methylene blue.

Namun, selain kadar silika fly ash juga memiliki beberapa kandungan kimia yang lain berupa; dengan presentasi sebesar berturut-turut. Sehingga perlu dilakukan proses ekstraksi untuk mendapatkan kandungan silika yang murni untuk membuat silika gel yang diinginkan. Penelitian ini memberikan kesimpulan yang penting bahwa kemampuan adsorpsi silika gel dipengaruhi oleh gugus silanol (Si-OH) dan gugus siloksan (Si-O-Si) pada permukaannya, yang bersifat reaktif terhadap polutan kationik. Selain itu, struktur kerangka 3 dimensi tak beraturan (struktur amorf) juga dapat memainkan peran penting dalam proses adsorpsi. Informasi ini dapat berguna dalam merancang dan mengoptimalkan penggunaan silika gel dalam aplikasi pemurnian air dan pemisahan zat kimia.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas adsorpsi silika gel yang berasal dari sisa pembakaran *fly ash* batubara terhadap zat warna methylene blue dengan variasi konsentrasi NaOH dan HCl.

METODE

Alat

Alat - alat yang digunakan adalah seperangkat peralatan gelas, hot plate, pH meter, desikator, oven, kertas asaring whatman nomor 41, seperangkat alat spektrometri UV-VIS, seperangkat alat spektrometri FTIR, Seperangkat alat XRD

Bahan

Bahan utama penelitian ini berupa abu terbang (*fly ash*) yang diambil dari pt. Pupuk Sriwidjaja, aquades, NaOH (Merck, 98%), H₂SO₄ (Merck, 96%), HCl (Merck, 32%), *methylene blue*.

Perlakuan dan Rancangan Penelitian

Perlakuan dan perancangan penelitian yang digunakan dalam proses pembuatan silika gel dengan variasi terhadap konsentrasi NaOH dan H₂SO₄. Perlakuan dan perancangan penelitian yang digunakan dalam proses pembuatan silika gel adalah sebagai berikut :

Variabel tetap : suhu , waktu

Variabel bebas : Konsentrasi NaOH dan HCl.

Tabel 1. Variasi Komposisi Silika Gel

No.	Konsentrasi NaOH (M)	Konsentrasi HCl (M)
A	2	1
B	2	2
C	3	1
D	3	2

Prosedur Penelitian

Sebanyak 50 gram sampel direndam dengan air panas sebanyak 400 mL selama 2 jam, filtrat dioven selama 24 jam pada suhu 60 °C, mencampurkan 10 gram filtrat yang telah kering dengan 50 mL larutan H₂SO₄ selama 1 jam, menyaring campuran tadi menggunakan kertas saring whatman no.41. Membilas endapan abu dengan aquadest hingga pH netral,

barulah fly ash dioven kembali selama 24 jam dengan suhu 60 °C. 5 gram sampel dicampur dengan 60 mL NaOH dan dipanaskan selama 1 jam pada suhu 90 °C, menyaring larutan Na₂SiO₃, kemudian diteteskan dengan HCl hingga terbentuk gel dan diteruskan sampai pH 7, Diamkan larutan selama 18 jam, menyaring gel yang terbentuk dan dicuci dengan aquadest, mengkalsinasi silika gel didalam furnace pada suhu 550 °C selama 4 jam, setelah itu disimpan didalam desikator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Hasil Uji Kinerja Silika Gel terhadap Methylene Blue

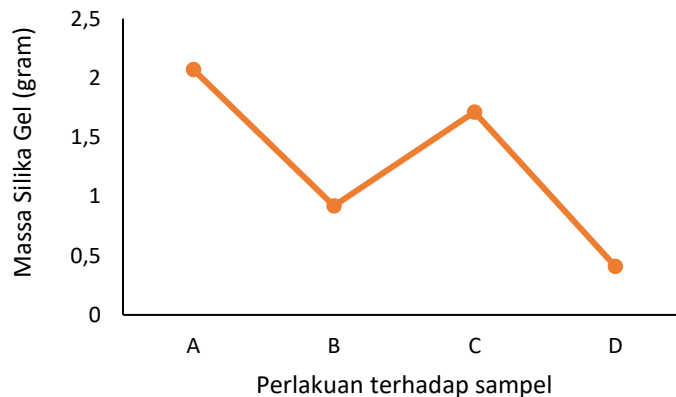
Kode Sampel	Nilai Adsorbansi dari <i>Methylene Blue</i> yang tersisa oleh silika gel (ppm)				
	50	100	150	350	500
A	0.086	0.152	0.242	0.509	0.575
B	0.121	0.221	0.314	0.663	0.748
C	0.108	0.188	0.298	0.628	0.709
D	0.158	0.256	0.496	1.046	1.181

Tabel 3. Analisa Komposisi unsur – unsur pada silika gel dengan XRD

Unsur	Massa (%)	Senyawa	Massa (%)
O	48	SiO ₂	30.2 – 46.4
Si	31.3		
Al	6.8		
Na	5		
Ca	4.5		
S	2.2		
Cl	2.0		
K	0.3		
Total	100		

Pengaruh Konsentrasi NaOH dan HCl pada Pembentukan Silika Gel

Penggunaan NaOH dengan konsentrasi yang lebih tinggi dalam ekstraksi silika dari fly ash memang dapat mengekstrak senyawa oksida lain selain silika. Ini terjadi karena proses ekstraksi silika melibatkan mekanisme reaksi pembentukan ikatan ion antara senyawa oksida dalam fly ash dan NaOH sebagai ekstraktor. Oleh karena itu, kontrol konsentrasi NaOH sangat penting untuk memastikan selektivitas ekstraksi silika yang baik dan menghindari ekstraksi senyawa oksida yang dianggap pengotor dalam aplikasi tertentu.



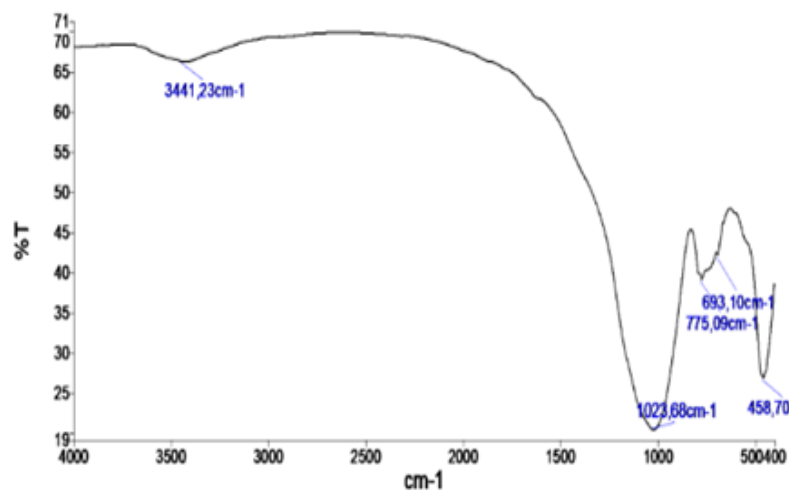
Gambar 1. Hubungan Pembentukan Silika Gel dengan Variasi Konsentrasi NaOH dan HCl

Berdasarkan **Gambar 1**, terlihat bahwa Perlakuan A menghasilkan silika gel lebih banyak dibandingkan dengan Metode C sebesar 2,07 gram. Memang, jika konsentrasi hidroksil ditingkatkan, jembatan siloksan akan hancur, sehingga silika gel menjadi lebih lunak, dan pada pengeringan, massa akan berkurang (Annisa Mustikaning et al, 2013).

Selain itu, dari Gambar 1, kadar silika tertinggi pertama dan kedua diperoleh pada Perlakuan A dan C, dengan menggunakan konsentrasi HCl 1M. Memang semakin tinggi konsentrasi suatu asam tertentu maka semakin besar pula jumlah proton yang terkandung dalam larutan tersebut, sehingga gugus silanol akan meningkat dan mempengaruhi pembentukan silika (Meidinariasty, et al. 2020).

Analisis FTIR silika pada fly ash

Uji Fourier Transform Infra Red (FTIR) digunakan untuk menentukan gugus fungsi yang terdapat pada adsorben. Tes FTIR mengungkapkan keberadaan gugus fungsi dengan menunjukkan melalui puncak besar rasio % transmisi spektrum serapan (sumbu Y) yang menutupi bilangan gelombang (sumbu X).

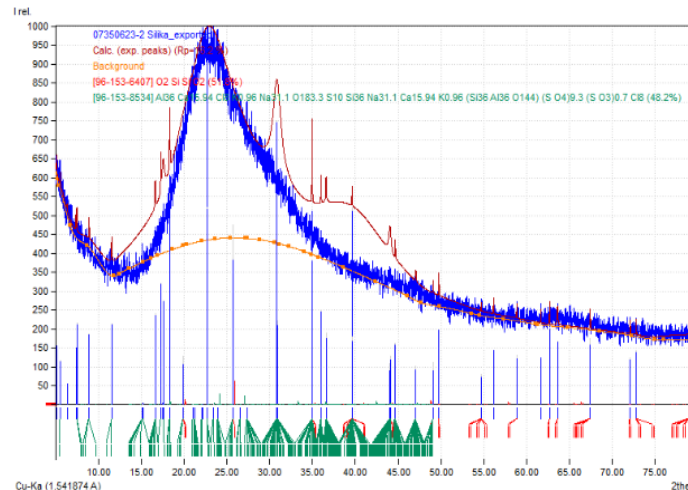


Gambar 2. Spektra FTIR dari silika dalam fly ash

Berdasarkan data spektral pada Gambar 2, spektrum abu terbang menunjukkan bahwa pita serapan pada bilangan gelombang $3441,23 \text{ cm}^{-1}$ merupakan osilasi ulur gugus -OH bilangan gelombang $1023,68 \text{ cm}^{-1}$, lebar dengan intensitas kuat vibrasi ulur asimetris Si-O-Si, membuktikan adanya gugus Si-O dalam struktur TO_4 . Lebar puncak menunjukkan banyaknya gugus Si-OH, sehingga kristalinitas pada struktur fly ash berkurang. Penyerapan pada $775,09 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan osilasi peregangan Si-O-Si simetris diikuti dengan mode bending Si-O pada $458,70 \text{ cm}^{-1}$, menunjukkan adanya struktur berpori pada abu layang.

Analisa Silika Hasil Ekstraksi dengan XRD

Salah satu teknik yang sering digunakan untuk tujuan ini adalah difraksi sinar-X (XRD), yang memanfaatkan pemantulan sinar-X oleh kisi kristal untuk mengidentifikasi fase kristalin dalam sebuah bahan dan mengukur parameter struktur kisi seperti panjang ikatan dan sudut antara atom-atom dalam kisi kristal. Selain itu, teknik ini juga dapat memberikan informasi tentang ukuran partikel, distribusi ukuran partikel, dan sifat kristalinitas dari material tersebut. XRD adalah alat yang sangat berguna dalam karakterisasi material, terutama dalam bidang ilmu material dan kimia. Pola difraksi hasil XRD dapat dilihat pada **Gambar 3**.

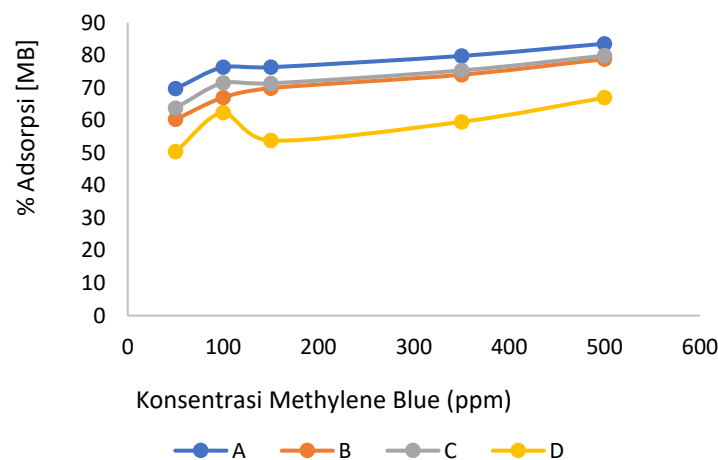


Gambar 3. Grafik XRD Silika Gel

Pola pada difraksi gel silika menunjukkan puncak yang lebar dengan pusat puncak $2\theta = 23,44$. Menurut (Kalaphaty, 2000) bentuk puncak yang lebar dengan pusat puncak sekitar $2\theta = 22$ menunjukkan bahwa silika bersifat amorf (tidak beraturan). Puncak tajam pada $2\theta = 22,75$ menunjukkan bahwa serbuk silikon mengandung senyawa SiO_2 berupa mineral amorf.

Uji Penyerapan Gel Silika dalam Larutan *Methylene Blue*

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi *methylene blue* pada konsentrasi besar adsorben silika gel. Hasil penyerapan silika terhadap larutan *methylene blue* dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Gambar 4**.



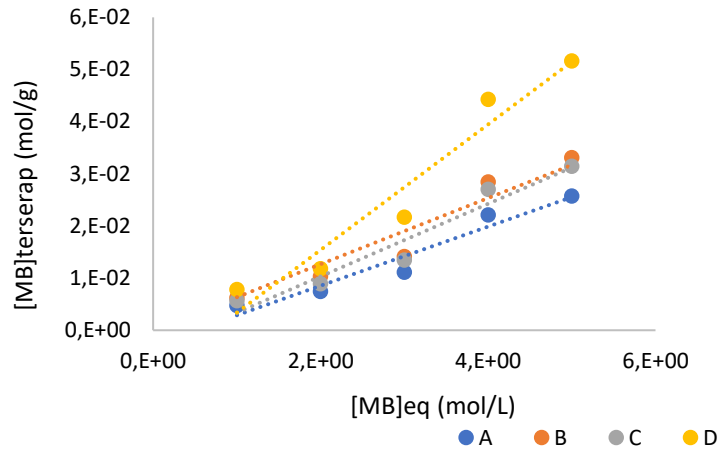
Gambar 4. Grafik Kemampuan Adsorpsi Silika Gel dengan Variasi Konsentrasi *Methylene Blue*

Dari Gambar 4 terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi suatu larutan dengan massa yang sama yaitu 0,1 g adsorben, semakin kecil *methylene blue* yang terserap oleh adsorben. Terlihat bahwa adsorben silika gel dengan massa 0,1g memiliki kapasitas adsorpsi yang baik dengan konsentrasi *methylene blue* yang tinggi, karena situs aktif pada adsorben belum terisi penuh oleh *methylene blue*, sehingga dapat dikatakan dengan massa 0,1 g adsorben terdapat serapan metilen biru yang optimal pada konsentrasi larutan 500 ppm.

Isoterm Adsorpsi Langmuir

Dari data uji perubahan konsentrasi larutan, dapat dihitung nilai absorbansi maksimum metilen biru dari adsorben silika gel. Nilai serapan *methylene blue* dan kesetimbangan

methylene blue akan diplot secara grafis merupakan persamaan linier isotermal Langmuir, dimana nilai R^2 akan diperoleh dari persamaan ini, yang berguna dalam menentukan model isoterm adsorpsi silika gel pada *methylene blue*. Grafik persamaan linier isoterm Langmuir dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Grafik Persamaan Isoterm Langmuir

Berdasarkan gambar 5 diperoleh nilai R^2 terbesar yaitu 0.9429 dan persamaan linier $y = 0.012x - 0.0028$, Anda telah berhasil mendapatkan konstanta Langmuir sebesar 0,0028. Dengan konstanta ini, Anda dapat menghitung kapasitas maksimum (Q_m) dari adsorben silika gel yang digunakan dalam penelitian ini, yang ternyata sebesar 357.14 mg dari *methylene blue* yang terserap dalam satu gram adsorben silika gel yang teraktivasi.

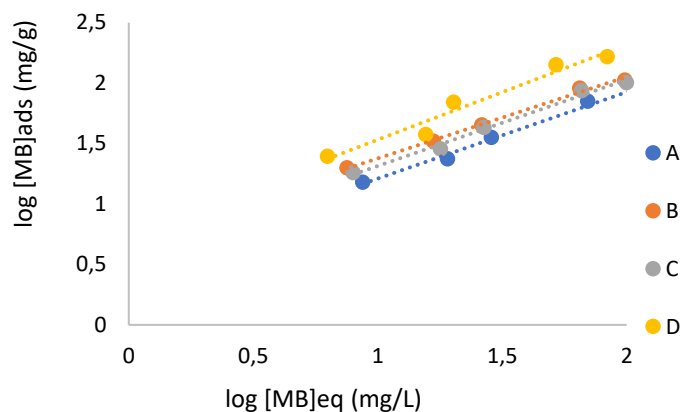
Isoterm Adsorpsi Freundlich

Adapun perhitungan dari persamaan pemodelan isoterm Freundlich dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 4. Nilai Mekanisme Adsorpsi Isoterm Langmuir dan Freundlich

Isoterm	Konstanta	Harga
Langmuir	Q_m	357.14
	b	0.0028
	R^2	0.943
Freundlich	n	1.399
	K_f	0.494
	R^2	2.003

Dari tabel diatas didapat nilai log kesetimbangan *methylene blue* dan log adsorpsi *methylene blue* untuk menghitung model isoterm dari adsorpsi silika gel terhadap *methylene blue*, dengan membuat plot log kesetimbangan methylene blue versus log adsorpsi methylene blue dan kemudian menentukan persamaan linear isoterm Freundlich. Setelah itu, dapat menghitung nilai R^2 dari persamaan linear tersebut untuk mengevaluasi sejauh mana persamaan tersebut cocok dengan data yang nantinya diplot untuk sebagai grafik persamaan linear isoterm Freundlich. Grafik persamaan linear dari isoterm Freundlich tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Persamaan Isoterm Freundlich

SIMPULAN

Silika gel yang berhasil dibuat dari *fly ash* dengan metode sol-gel telah mencapai hasil yang baik. Silika kondisi terbaik dengan konsentrasi NaOH 2M dan konsentrasi HCl 1M (Perlakuan A), silika gel ini memiliki kemampuan penyerapan (adsorpsi) yang mengikuti model Langmuir memiliki nilai kapasitas penyerapan (adsorpsi) sebesar 357.14 mg/g. Selain itu, kemampuan adsorpsi silika gel ini mencapai 77.16 %, yang merupakan hasil yang sangat baik dalam adsorpsi *methylene blue* dari larutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alver, E., & Metin, A.U. 2012. Anionic Dye Removal from Aqueous Solutions Using Modified Zeolite: Adsorption Kinetics and Isotherm Studies. *Chemical Engineering Journal*. (200-202): 59-67.
- Bagian Quality Control PT Semen Baturaja. 2021. Komposisi Kimia Abu Terbang. 2021 : PT Semen Baturaja.
- Brinker, C.J., & Scherer, G.W. 1990. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. New York: Academic Press Inc.
- Budiharti, G. (2015). Sintesis Nanopartikel Silika Menggunakan Metode Sol-Gel. *Program Studi Fisika, FMIPA, Unesa. Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 4(3), 22-25
- Chen, He, Lv, Xu, Yang, Liu, & Wei. 2015. Selective Adsorption of Cationic Dyes by UiO-66-NH₂. *Applied Surface Science*. (327): 77-85.
- Hadi, I., Arsa, M., & Sudiarta, I.W. 2013. Sintesis Silika Gel dari Abu Sekam Padi dan Abu Limbah Pembakaran Batu-Bata dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Kimia*. Vol 7 (1): 31-38.
- Kalapathy, U., Proctor, A., & Shultz, J. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. Vol 73: 257-262.
- Kurniyasari. 2012. "Sintesis dan Karakterisasi Membran Komposit Alumina Silika Berpori dan Aplikasinya untuk Pemisahan Gas Metanol-Etanol". Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Jakarta: FMIPA UI.
- Meidinariasty, Aneasari, Indah Purnamasari, Mustain Zamhari, Jekasyah Permadi, Nadia Zaky Fadillah, Sakinah Luthfiah, dan Fadarina. (2020). Pengaruh Variasi Jenis Abu Boiler dan Kosentrasi HCl Terhadap Sifat Fisis Silika Gel Hasil Sintesis. *Jurnal Kinetika*, 11(03), 28-33.
- Mc.Cabe, Warren L. 2002. *Unit Operation of Chemical Engineering*. Edition 4th. Mc. Grow Hill International Book Co : Singapor
- Orthman. 2000. *Pencemaran Air dan pemanfaatan Limbah Industri*. Rajawali: Jakarta.
- Palupi, E. 2006. "Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂". Skripsi. Bogor: FMIPA IPB.

- Pijarn, Jaroenworluck, Sunsaneeyametha, & Stevens. 2010. Synthesis and Characterization of Nanosized-Silica Gels Formed under Controlled Conditions. *Powder Technology*. (203): 462-468.
- Proctor, A., Clark, P.K., & Parker, C.A. 1995. Rice Hull Ash Adsorbent Performance Under Commercial Soy Oil Bleaching Conditions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. (72): 459-462.
- Retnosari, A. 2013. "Ekstraksi dan Penentuan Kadar Silika (SiO₂) Hasil Ekstraksi dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara". Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Jember: Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Rozi, F. 2014. "Pemanfaatan Arang Aktif untuk Mendegradasi Raksa dalam Limbah Cair Hasil Proses Amalgamasi Emas". Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Jember: FMIPA Universitas Jember.
- Vogel, A.I. 1985. Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro. Jakarta: PT Kalman Media Pustaka.
- Welveni. 2010. Pemanfaatan Limbah Padat Abu Fly Ash Batubara menjadi Bahan Baku Pembuatan Silika Gel. Riau : Universitas Negeri Riau.
- Widihati, I.A.G., Diantariani, N.P., & Nikmah, Y.F. 2011. Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al₂O₃. *Jurnal Kimia*. Vol 5 (1): 31-42.
- Yully, A., Muhdarina, & Nurhayati. 2015. Bioarang Limbah Daun Ketapang (*Terminalia catappa* L.) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru dalam Larutan Berair. *JOM FMIPA*. Vol 2 (1): 246-252.
- Zelentsov, V., Datsko, T., & Dvornikova, E. 2012. Adsorption Models for Treatment of Experimental Data on Removal Fluorine from Water by Oxihydroxides of Aluminum. *ROMAI Journal*. Vol 8 (1): 209-215.