



## SILICA GEL FROM BAGASSE ASH FOR METHYLENE BLUE ADSORPTION

Raisa Anisara<sup>1)</sup>, Gladys Ayu P.K.W<sup>1)\*</sup> dan Agus Taufiq<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Kimia, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Nusa Bangsa, Jl. KH Sholeh Iskandar KM 4 Cimanggu Tanah Sereal, Bogor, 16166, Indonesia;

<sup>2)</sup> Akademi Kimia Analisis Caraka Nusantara, Komplek Timah, JL.Tugu Raya, Tugu, Kec.Cimanggis, Kota Depok, Jawa Barat, 16951, Indonesia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 8 Jul 2024,

Revised 4 Sep 2024,

Accepted 6 Sep 2024,

Available online 7 Sep 2024,

#### Keywords:

- ✓ Silica Gel
- ✓ Bagasse Ash
- ✓ Adsorption
- ✓ Metilen Blue

#### \*corresponding author:

[gladys.paramita@gmail.com](mailto:gladys.paramita@gmail.com)

Phone: +628572080-9028

[https://doi.org/10.31938/jsn.v](https://doi.org/10.31938/jsn.v14i3.738)

[14i3.738](https://doi.org/10.31938/jsn.v14i3.738)

### ABSTRACT

Most silica sources are from non-renewable natural sand or rock materials, which affect the element's diminishing availability in the environment. Because bagasse ash has a relatively high silica concentration, it can be used as a silica source to manufacture silica gel. HCl is added during the sol-gel process of silica gel synthesis. The silica gel's characterization employs FTIR, XRD, and SEM instruments. Characterization results showed that silica gel contains silanol groups identified by the appearance of vibrations at the wavenumber of 3383,93  $\text{cm}^{-1}$  and 1635,17  $\text{cm}^{-1}$ . Vibrations of the siloxane group appear at the wavenumber of 1020,83  $\text{cm}^{-1}$  and 579,88  $\text{cm}^{-1}$ . Silica gel diffractogram showing dilated diffraction peaks at  $2\theta = 22,90^\circ$ . Silica gel has potential as an adsorbent in adsorbing methylene blue dye. The ideal parameters for the methylene blue adsorption process are pH 10 and 45 minutes of contact time., silica gel weight of 0.1 g, and methylene blue concentration of 100 mg/L. Using the Langmuir isotherm rule, the silica gel of bagasse ash has a high adsorption capacity of 56.818 mg/g.

### ABSTRAK

#### Silika Gel dari Bahan Abu Ampas Tebu untuk Adsorpsi Metilen Biru

Sumber silika umumnya bersumber dari material alam pasir atau batuan yang tidak dapat diperbaharui dan berpengaruh pada ketersediaan di alam yang menurun. Abu ampas tebu mempunyai kandungan silika yang relatif tinggi, sehingga berpotensi sebagai sumber silika untuk sintesis silika gel. Metode sol-gel digunakan untuk membuat silika gel dengan menambah HCl. Karakterisasi silika gel yang terbentuk dengan menggunakan instrumen FTIR, XRD dan SEM. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa gugus silanol terdapat dalam silika gel. yang diidentifikasi dengan munculnya vibrasi pada bilangan gelombang 3383,93  $\text{cm}^{-1}$  dan 1635,17  $\text{cm}^{-1}$ . Vibrasi dari gugus siloksan muncul pada bilangan gelombang 1020,83  $\text{cm}^{-1}$  dan 579,88  $\text{cm}^{-1}$ . Difraktogram silika gel abu ampas tebu menunjukkan puncak difraksi yang melebar pada  $2\theta = 22,90^\circ$ . Silika gel berpotensi sebagai adsorben dalam menyerap pewarna metilen biru. Proses adsorpsi metilen biru dilakukan pada kondisi optimum yaitu pada pH 10, waktu kontak selama 45 menit, bobot silika gel 0,1 g dan konsentrasi metilen biru 100 mg/L. Silika gel abu ampas tebu sebagai adsorben memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi sebesar 56,818 mg/g mengikuti kaidah isotherm Langmuir.

Kata kunci: Abu Ampas Tebu, Adsorpsi, Metilen Biru, Silika Gel

### PENDAHULUAN

Ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler karena kandungan karbonnya yang tinggi (Paramitha et al., 2019). Pemanfaatan ampas tebu menghasilkan abu ampas tebu sekitar 0,3% dari berat tebu, sehingga jika pabrik gula dapat menghasilkan 4000 ton ampas tebu setiap hari, maka abu ampas tebu yang dihasilkan yaitu sebesar 12 ton (Akhinov et al., 2010). Limbah abu

ampas tebu ini harus dimanfaatkan dengan lebih baik, sehingga tidak berdampak bagi lingkungan sekitar. Apabila abu ampas tebu dibiarkan dan tanpa dikelola dengan baik, maka akan menimbulkan polusi udara, dapat menimbulkan penyakit pada masyarakat sekitar yang terdampak abu dan merusak estetika lingkungan.

Sumber silika alami biasanya berasal dari pasir atau batuan yang mengandung senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ), yang merupakan material yang tidak



dapat diperbaharui. Penggunaan berlebihan dari sumber silika ini akan berdampak pada ketersediaan silika di alam yang semakin menipis (Hermanto et al., 2018). Kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang relatif tinggi ditemukan dalam limbah abu ampas tebu. Persentase silika yang terkandung dalam abu ampas tebu berkisar antara 60 sampai diatas 80 % (Norsuraya et al., 2016 ; Tadesse et al., 2019 ; Purnawan et al., 2018).

Jumlah silika yang tinggi dalam abu ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan silika gel. Pembentukan silika gel dilakukan melalui metode sol-gel, yang melibatkan peralihan dari suatu sistem dengan partikel yang terdispersi dalam cairan (sol) menjadi material (gel) yang mengandung cairan. Metode ini memiliki keunggulan dalam penggunaan suhu rendah, karena memungkinkan peralihan dari suatu sistem dengan partikel yang terdispersi dalam cair (Yusuf et al., 2014). Metode sol-gel umumnya melalui tahapan hidrolisis dan kondensasi. Kontrol pH sangat penting dalam proses sol-gel untuk menghasilkan endapan yang akan membentuk gel homogen dengan menambahkan larutan asam. Silika gel mampu diaplikasikan sebagai penjerap (adsorben) karena mengandung ikatan Si–O–Si (siloksan) dan ikatan Si–OH (silanol), terdapat struktur polimer berbentuk amorf serta mempunyai pori-pori yang besar (Hadi et al., 2013). Abu ampas tebu sebagai sumber silika telah digunakan dalam proses pembuatan silika gel dengan berbagai aplikasi (Maknun et al., 2018; Sholeh et al., 2021)

Pada umumnya industri tekstil menghasilkan limbah berupa cairan berwarna pekat dan berbau menyengat (polutan). Zat warna umumnya mengandung senyawa aromatik yang menyebabkan limbah tersebut sukar terurai atau terdegradasi. Sifatnya yang sukar terurai dan relatif stabil sehingga akan susah untuk menghilangkannya ketika tersebar sebagai polutan di perairan. Limbah cair tersebut mengandung zat warna salah satunya yang cukup dominan seperti metilen biru ( $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$ ). Metode adsorpsi menggunakan zat penjerap (adsorben) tertentu dilakukan untuk mengurangi zat warna metilen biru secara efektif. Berbagai faktor mempengaruhi proses adsorpsi, termasuk pH, waktu kontak, bobot adsorben, dan konsentrasi adsorbat. Adsorben yang digunakan dalam metode adsorpsi harus memiliki selektivitas dan kapasitas adsorpsi yang tinggi dan dapat digunakan berulang kali (Wilhan et al., 2016). Penelitian yang telah dilakukan oleh Ingrachen-Brahmi et al., (2020) menunjukkan

bahwa kapasitas adsorpsi Langmuir silika gel dari kaolin terhadap zat warna metilen biru sebesar 87,33 mg/g. Berdasarkan penelitian tersebut, silika gel dari bahan abu ampas tebu dapat diaplikasikan menjadi adsorben untuk menurunkan kadar metilen biru, sehingga di dalam penelitian ini dilakukan pembuatan adsorben dari abu ampas tebu sebagai adsorben metilen biru.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah arang ampas tebu dari PG Madukismo Yogyakarta, larutan HCl 1 M dan 0,8 M, larutan NaOH 1 N, akuades, kertas saring *Whatman* No. 41, pewarna metilen biru dan *Kiesel Gel 60 (Merck)*.

Alat-alat yang digunakan adalah tungku pembakaran, oven, pengaduk magnet, neraca analitik, peralatan gelas, *hot plate*, *shaker*, ayakan 200 mesh, spektrofotometer UV-Vis *Optizen Pop*, spectrometer *Fourier Transform-Infra Red (FTIR) Bruker Alpha*, *X-Ray Diffraction (XRD) Panalytical Type Empyrean DY 2384* dan *Scanning Electron Microscope (SEM) Thermoscientific Type Quanta 650*.

### Metode

Penelitian ini dilakukan dalam laboratorium dengan metode eksperimental. Penelitian ini mencakup sintesis silika gel abu ampas tebu menggunakan metode sol-gel, karakterisasi silika gel abu ampas tebu, dan penggunaan silika gel abu ampas tebu sebagai adsorben pewarna metilen biru. pH, waktu kontak, bobot, dan konsentrasi yang paling optimum diperlukan untuk penyerapan pewarna metilen biru.

### Pengabuan dan Pencucian Sampel

Arang ampas tebu dikeringkan di udara luar dengan dijemur di bawah sinar matahari dan dibersihkan dari pengotor. Kemudian, arang tersebut dibakar pada suhu 700 °C selama 6 jam dalam tungku pembakaran untuk menghilangkan karbon. Selanjutnya, abu ampas tebu sebanyak 10 g dicampur dengan 60 mL akuades dan diatur sampai pH 1 dengan menambahkan HCl 1 M. Selama dua jam, campuran diaduk menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 350 rpm. Setelah itu, kertas saring *Whatman* No. 41 digunakan untuk menyaringnya. Sisa (abu ampas tebu) yang terbentuk dicuci kembali dengan akuades sebanyak 100 mL. Sisa ini digunakan

untuk membuat natrium silikat (Yusuf et al., 2014; Nur'aeni et al., 2017).

### Ekstraksi Natrium Silikat

Untuk mengekstraksi silikat, sisa pencucian ditambahkan ke larutan NaOH 1 N sebanyak 60 mL dan dipanaskan selama satu jam di dalam labu erlenmeyer tertutup pada suhu  $\pm 80^\circ\text{C}$ . Larutan ini diaduk secara kontinu menggunakan pengaduk magnet. Larutan didinginkan hingga suhu kamar dan kertas saring *Whatman* No. 41 digunakan untuk menyaring endapan yang terbentuk. Ekstraksi tersebut menghasilkan larutan natrium silikat yang akan digunakan untuk membuat silika gel (Yusuf et al., 2014; Nur'aeni et al., 2017).

### Sintesis Silika Gel

Metode sol-gel dapat digunakan untuk menghasilkan silika gel dari bahan baku abu ampas tebu. Larutan natrium silikat yang dihasilkan dari ekstraksi dinetralkan dengan larutan HCl 0,8 M hingga pH 7 dan diaduk dengan bantuan pengaduk magnet hingga larutan tercampur rata dan didiamkan selama 3 hari, untuk membentuk hidrogel. Kemudian, gel dicuci dengan akuades sebanyak 100 mL dan dipanaskan didalam oven pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 20 jam, hingga terbentuk xerogel. Silika xerogel dicuci kembali dengan akuades dan dikeringkan selama 5 jam di dalam oven pada suhu  $120^\circ\text{C}$  untuk memperoleh silika gel. Selanjutnya, silika gel yang terbentuk digerus dan disaring menggunakan saringan 120 mesh untuk dikarakterisasi (Yusuf et al., 2014; Nur'aeni et al., 2017).

### Karakterisasi Silika Gel Abu Ampas Tebu

Gugus fungsi seperti siloksi, siloksan, dan silanol yang muncul pada bilangan gelombang  $4000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$  pada silika gel diidentifikasi melalui karakterisasi menggunakan FTIR.. Kemudian, XRD pada  $2\theta^\circ$  antara  $10^\circ\text{-}80^\circ$  untuk mengetahui kehadiran kristal, sifat kristal atau kristalinitas dari silika gel. Bentuk morfologi permukaan silika gel dapat diidentifikasi menggunakan SEM.

### Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

Metilen biru ditimbang sebanyak 0,5 g dan dilarutkan pada 500 mL akuades untuk mendapatkan larutan induk dengan konsentrasi 1000 mg/L. Larutan uji 20 mg/L didapatkan dari 5 mL larutan induk yang ditambahkan akuades hingga volume 250 mL. Panjang gelombang

maksimum metilen biru dapat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 600 - 700 nm, (Wilhan et al., 2016).

### Penentuan Kurva Standar Metilen Biru

Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menentukan panjang gelombang maksimum, absorbansi larutan standar metilen biru diukur dengan konsentrasi 0, 1, 2, 3, 4 dan 5 mg/L. Selanjutnya, untuk menghasilkan persamaan regresi linear, konsentrasi pada sumbu x diplot dengan absorbansi pada sumbu y (Wilhan et al., 2016).

### Penentuan pH Optimum Adsorpsi

Silika gel yang dihasilkan ditimbang 0,1 gram dan ditambahkan ke dalam larutan metilen biru 20 mg/L yang volumenya 25 mL. Kemudian, pH larutan diatur menjadi 3, 4, 6, 8, 10, dan 12 dengan menambahkan HCl atau NaOH 1M sambil diaduk selama 60 menit menggunakan *shaker*. Ketika pengadukan selesai, campuran disaring dan filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh pada pengukuran sebelumnya (Wilhan et al., 2016; Ruthmianingsih, 2018).

### Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi

Silika gel ditimbang sebanyak 0,1 g dan dimasukkan ke dalam 25 mL larutan metilen biru konsentrasi 20 mg/L. Kemudian, pH larutan diatur hingga mencapai pH optimum dan diaduk selama 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 dan 120 menit menggunakan *shaker*. Larutan disaring dan filtrat yang dihasilkan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh (Wilhan et al., 2016; Andriana, 2016).

### Penentuan Bobot Optimum Adsorpsi

Silika gel hasil sintesis ditimbang sebanyak 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 g dan masing-masing dimasukkan ke dalam larutan metilen biru 20 mg/L sebanyak 25 mL pada wadah yang berbeda. Kemudian, pH larutan dikondisikan berdasarkan pH optimum yang telah diperoleh sebelumnya dan diaduk selama waktu kontak optimum menggunakan *shaker*. Larutan yang telah diaduk kemudian disaring diukur absorbansi filtratnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang telah ditentukan sebelumnya.

### Penentuan Konsentrasi Adsorbat Optimum Adsorpsi

Silika gel hasil sintesis ditimbang sebanyak 0,1 g. Silika gel dimasukkan ke dalam larutan metilen biru yang dibuat dengan variasi konsentrasi 20, 40, 60, 80 dan 100 mg/L masing-masing sebanyak 25 mL. Kemudian, pH larutan dikondisikan sesuai dengan pH optimum yang telah didapatkan dan diaduk selama waktu kontak optimum menggunakan *shaker*. Setelah selesai diaduk, larutan kemudian disaring dan diukur absorbansi filtratnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (Andriana, 2016).

### Perhitungan Kapasitas dan Efisiensi Adsorpsi (Tigabu, 2017)

Nilai kapasitas adsorpsi dalam mg/g dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = \frac{V \times (C_{awal} - C_{akhir})}{m}$$

Efisiensi adsorpsi dapat dihitung dengan rumus:

$$E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\%$$

Keterangan:

- Q = kapasitas adsorpsi (mg/g)  
 V = volume larutan metilen biru (L)  
 m = bobot silika gel yang digunakan (g)  
 E = efisiensi adsorpsi per bobot adsorben (%)  
 C awal = konsentrasi mula-mula larutan (mg/L)  
 C akhir = konsentrasi larutan setelah adsorpsi (mg/L)

### Perhitungan Isoterm Langmuir (Tigabu, 2017)

Persamaan Isoterm Adsorpsi Langmuir seperti berikut:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} C_e$$

Keterangan:

- Ce = Konsentrasi kesetimbangan metilen biru dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L)  
 Qe = Massa metilen biru yang teradsorpsi per gram silika gel (g)  
 b = Konstanta Langmuir  
 a = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

Persamaan Isoterm Adsorpsi Freundlich seperti berikut:

$$\log Q_e = \log k + \frac{1}{n} \log C_e$$

Keterangan:

- Qe = Massa metilen biru yang teradsorpsi per gram silika gel (g)

- Ce = Konsentrasi kesetimbangan metilen biru dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L)  
 k dan n = Konstanta empiris Freundlich yang tergantung pada sifat padatan, adsorben dan suhu

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Silika Gel dari Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu diperoleh dari arang PG. Madukismo, Yogyakarta. Di pabrik gula, arang ampas tebu digunakan sebagai bahan bakar untuk ketel uap. Proses karbonisasi senyawa organik yang terkandung dalam ampas tebu menghasilkan arang. Untuk menghasilkan silika gel, arang ampas tebu dikalsinasi selama 6 jam pada suhu 700 °C dalam tanur, untuk menghilangkan senyawa-senyawa organik dan karbon yang berasal dari arang. Kenaikan suhu dalam pembakaran juga menyebabkan materi padat berubah menjadi gas begitupun beberapa senyawa oksida menurun dikarenakan degradasi termal (Channoy et al., 2018).

Pembuatan silika gel melibatkan penambahan larutan NaOH 1N untuk membentuk larutan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), setelah direaksikan dengan silika dalam abu ampas tebu yang telah dicuci. Senyawa NaOH merupakan satu pelarut yang dapat melarutkan senyawa  $\text{SiO}_2$  karena kelarutan silika dalam basa kuat sangat besar. Silika gel dapat disintesis dengan menggunakan metode sol-gel. Proses tersebut melibatkan penambahan asam yang akan direaksikan dengan natrium silikat untuk pembentukan silika hidrosol ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) disertai pembentukan  $\text{Si}(\text{OH})_4$ . Silika hidrosol ini akan menghasilkan silika gel apabila dalam pH netral, hal ini mengakibatkan perubahan antara sol ke gel (Khadijah, 2016).



Gambar 1. Silika Gel Abu Ampas Tebu

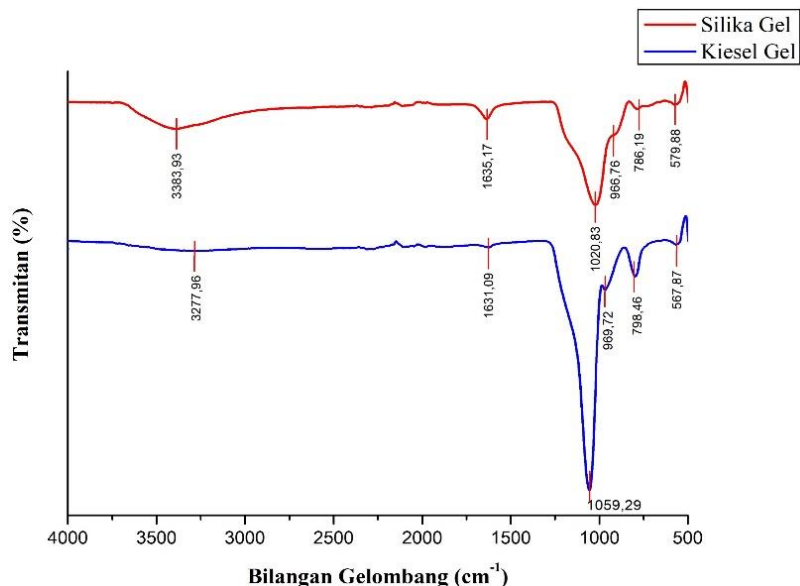
Penampakan fisik silika gel berupa padatan berwarna putih dan berbentuk serbuk halus. Berdasarkan penelitian Nur'aeni et al., (2017) didapatkan rendemen silika gel abu ampas tebu

sebesar 11,83 %, sedangkan rendemen silika gel abu ampas tebu yang didapatkan dari sintesis ini sebesar 7,46 %. Kandungan silika pada abu ampas tebu (bahan baku penelitian) yang berbeda dapat menyebabkan perbedaan pada hasil rendemen ini.

**Spektrum FTIR Silika Gel**

Silika gel hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan FTIR dan dibandingkan dengan kiesel gel 60. Kiesel gel 60 digunakan sebagai pembanding untuk memastikan keberadaan gugus silanol dan siloksan yang muncul pada silika gel hasil sintesis. Gugus hidroksil pada daerah serapan 3383,93  $\text{cm}^{-1}$  dan 3277,96  $\text{cm}^{-1}$  muncul pada kedua spectra FTIR silika gel dengan serapan yang melebar pada daerah ulur yang berasal dari penyusun silika gel yaitu silanol (Si-OH) (Gambar 2). Keberadaan gugus hidroksil (O-H) diperkuat juga dengan munculnya vibrasi

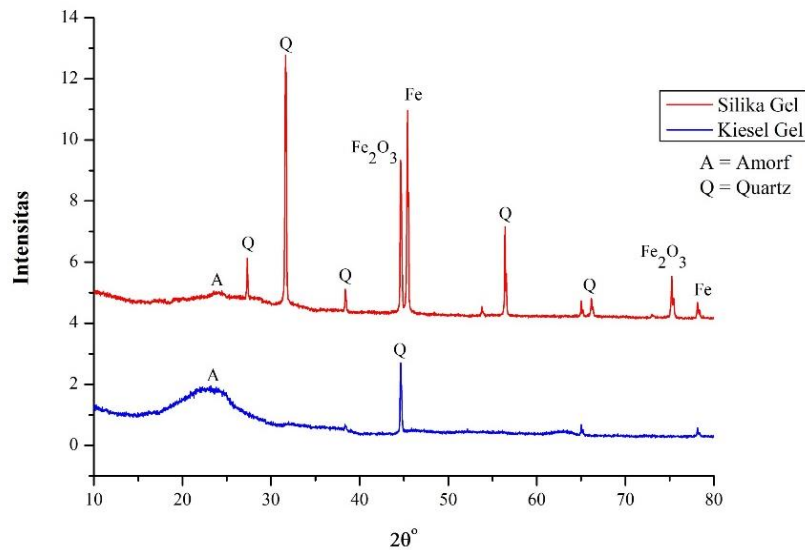
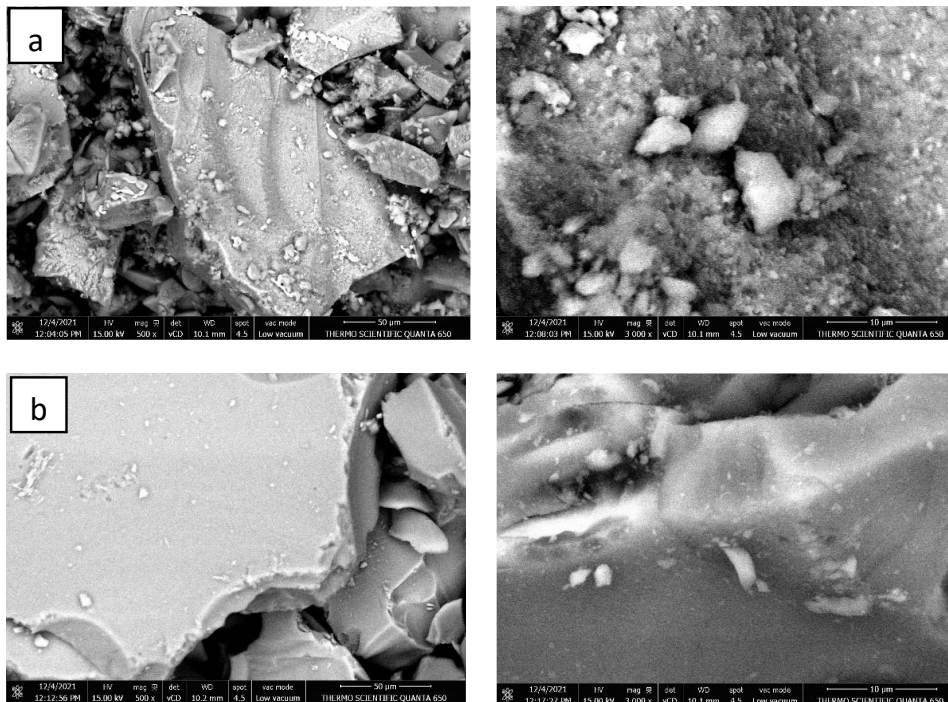
tekuk gugus O-H yang terikat pada silika dengan daerah serapan 1635,17  $\text{cm}^{-1}$  dan 1631,09  $\text{cm}^{-1}$ . Vibrasi ulur asimetri pada atom oksigen antartetrahedral Si-O dari siloksan (Si-O-Si) dapat diamati pada bilangan gelombang 1020,83  $\text{cm}^{-1}$  dan 1059,29  $\text{cm}^{-1}$ . Hal ini diperkuat juga dengan munculnya vibrasi tekuk Si-O-Si pada daerah serapan bilangan gelombang 579,88  $\text{cm}^{-1}$  dan 567,87  $\text{cm}^{-1}$ . Pita serapan pada bilangan gelombang 966,76  $\text{cm}^{-1}$  dan 969,72  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan keberadaan gugus siloksi (Si-O). Pada bilangan gelombang 786,19  $\text{cm}^{-1}$  dan 796,46  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi ulur simetri Si-O dari gugus siloksi. Hasil sintesis silika gel menunjukkan terdapat gugus silanol dan siloksan yang mirip dengan kiesel gel 60. Berikut ini interpretasi serapan FTIR silika gel abu ampas tebu dan kiesel gel 60 yang dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Spektrum FTIR Silika Gel dan Kiesel Gel 60

Tabel 1. Serapan Bilangan Gelombang FTIR Silika Gel Abu Ampas Tebu

Rentang Frekuensi (cm <sup>-1</sup> )	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )		Interpretasi Gugus Fungsi
	Silika Gel	Kiesel Gel 60	
3700-3200	3383,93	3277,96	Vibrasi ulur Si-OH
1650-1630	1635,17	1631,09	Vibrasi tekuk Si-OH
1200-1020	1020,83	1059,29	Vibrasi ulur asimetri Si-O-Si
970-950	966,76	969,72	Vibrasi ulur Si-O <sup>-</sup> (Siloksi)
800-730	786,19	796,46	Vibrasi ulur simetri Si-O <sup>-</sup> (Siloksi)
600-450	579,88	567,87	Vibrasi tekuk Si-O-Si

Gambar 3. Difraktogram Silika Gel dan *Kiesel Gel 60*Gambar 4. Morfologi a) Silika Gel Abu Ampas Tebu dan b) *Kiesel Gel 60*  
Keterangan: Perbesaran 500 kali (kiri) dan 3000 kali (kanan)

### Difraktogram Silika Gel

Difraktogram silika gel abu ampas tebu dan *kiesel gel 60* menunjukkan puncak difraksi yang melebar pada  $2\theta = 22,90^\circ$  dan  $22,54^\circ$  sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Pola difraksi yang melebar menunjukkan silika gel dan *kiesel gel 60* bersifat amorf. Struktur amorf ini tidak dapat mendifraksikan sinar-X yang ditembakkan oleh alat secara penuh, akibatnya puncak difraksi melebar. Penghamburan

menyebabkan sudut difraksi sinar-X yang dibaca oleh alat menjadi tidak teratur (Yusuf et al., 2014).

Puncak difraksi dengan intensitas tajam menunjukkan adanya struktur silika *quartz* dalam silika gel abu ampas tebu yang muncul pada  $2\theta = 27,25^\circ$ ;  $31,60^\circ$ ;  $38,13^\circ$ ;  $56,25^\circ$ ;  $66,41^\circ$ , sedangkan pada *kiesel gel 60* muncul puncak difraksi pada  $2\theta = 44,55^\circ$ . Hal ini menunjukkan silika gel abu ampas tebu dan *kiesel gel 60* memiliki struktur silika kristalin fasa *quartz* karena mendekati  $2\theta$

pada standar yang dicantumkan ICSD 16-2490 (Fauziyah, 2015). Fasa kristalin didapatkan dengan melakukan pemanasan pada suhu dan tekanan yang tinggi sehingga kristalinitas silika meningkat dan terbentuk struktur kristalin. Difraktogram silika gel hasil sintesis menunjukkan adanya puncak difraksi pada  $2\theta = 44,47^\circ$  dan  $75,29^\circ$  yang merupakan puncak dari pengotor berupa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menurut data JCPDS 39-1346 (Singh et al., 2017). Berdasarkan JCPDS 65-4899, puncak difraksi pada  $2\theta = 45,38^\circ$  dan  $83,81^\circ$  merupakan puncak dari pengotor berupa logam Fe (Lin et al., 2013). Pengotor berupa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ini diperkirakan berasal dari pembentukan silika gel yang belum murni.

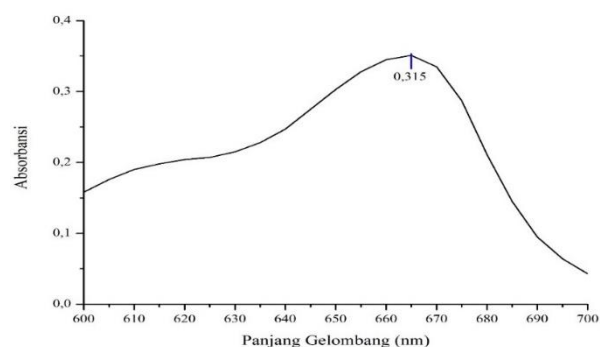
### Hasil SEM Silika Gel

Mikrograf SEM silika gel hasil sintesis dan kiesel gel 60 dapat dilihat pada Gambar 4. Gumpalan-gumpalan (*cluster*) dengan ukuran butiran yang beragam dan tersebar tidak merata terlihat pada permukaan silika gel abu ampas tebu. Permukaan kiesel gel 60 terlihat lebih halus dan rata. Di sisi lain, silika gel hasil sintesis memiliki bentuk yang menyerupai granula, dengan pori, yang merupakan gabungan antarmolekul silika gel (Pertama et al., 2014). Bentuk permukaan silika gel berupa granula-granula seperti kristal karena dipengaruhi oleh proses pengeringan dan waktu pemeraman pada berlangsungnya proses pembentukan partikel silika gel. Morfologi permukaan silika gel sebagai adsorben akan berpengaruh pada kemampuan silika gel dalam menyerap metilen biru. Hal ini terkait dengan ukuran partikel silika gel. Semakin kecil ukuran partikel akan menyebabkan luas permukaan semakin besar, sehingga diharapkan adsorpsi terjadi lebih efektif dibandingkan dengan permukaan yang memiliki ukuran partikel besar.

### Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

Spektrum cahaya metilen biru, yang memiliki warna biru sebagai warna komplementernya, terdeteksi pada panjang gelombang visibel/tampak antara 600 dan 700 nm. Panjang gelombang maksimum metilen biru, ditentukan berdasarkan absorbansi maksimumnya. (Day and Underwood, 1986). Panjang gelombang maksimum yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu 665 nm, hasil ini menunjukkan puncak serapan maksimum metilen biru yang sesuai dengan penelitian Wilhan et al., (2016) yang menunjukkan bahwa pengukuran

absorbansi metilen biru dalam konsentrasi larutan dapat dilakukan pada panjang gelombang 665 nm.



Gambar 5. Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

### pH Optimum Adsorpsi

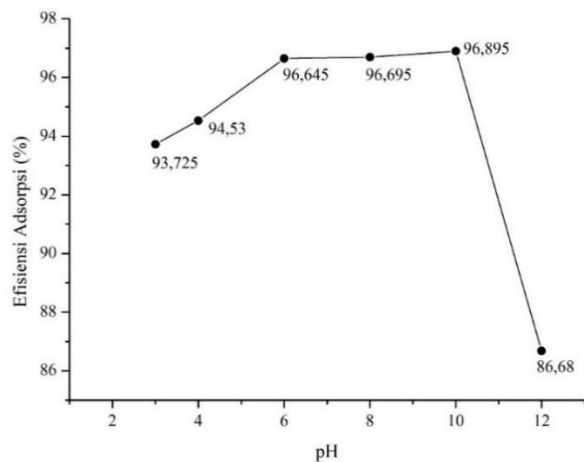
Hasil optimasi pH menunjukkan bahwa efisiensi adsorpsi bertambah seiring dengan kenaikan pH 3-10 namun mengalami penurunan yang drastis pada pH 12. Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui bahwa penyerapan metilen biru yang memiliki efisiensi adsorpsi paling besar yaitu pada pH 10 dengan nilai efisiensi 96,895 %. Hasil ini sesuai dengan penelitian Zannah (2020) yang menunjukkan bahwa kondisi optimum pH dalam adsorpsi metilen biru yaitu pada larutan yang bersifat basa (pH 10). Menurut Aisyahlika et al.,(2018), pH larutan berpengaruh terhadap aktivitas gugus aktif adsorben. Nilai pH dapat memengaruhi kelarutan dan muatan pada permukaan adsorben. Reaksi protonasi dan deprotonasi pada gugus-gugus fungsi adsorben menyebabkan perubahan distribusi muatan permukaan adsorben dan zat warna.

Silika gel mengalami deprotonasi sehingga mengaktifkan gugus aktif silika gel yang cenderung mengandung spesi negatif seperti  $\text{Si-O}^-$  dan  $\text{OH}^-$  yang dapat berinteraksi dengan ion bermuatan positif ( $\text{N}^+$ ) yang terkandung dalam metilen biru. Hal ini dapat meningkatkan interaksi silika gel dan metilen biru dengan gaya tarik menarik yang terjadi semakin besar. Zat warna kationik yang bermuatan positif pada metilen biru akan menghambat penyerapan dalam lingkungan asam. Penghambatan adsorpsi metilen biru terjadi karena interaksi repulsif yang disebabkan muatan yang sama antara muatan metilen biru dan muatan pada daerah di sekitar permukaan pori-pori silika gel (Riapanitra et al., 2006; Zannah, 2020).

### Waktu Kontak Optimum Adsorpsi

Penyerapan metilen biru mencapai tingkat efisiensi adsorpsi tertinggi sebesar 97,45 % pada

waktu kontak 45 menit. Temuan ini sejalan dengan penelitian Herawati et al. (2018), yang menunjukkan waktu kontak ideal untuk adsorpsi metilen biru, yaitu 45 menit. Pada waktu kontak lainnya terlihat tidak terdapat peningkatan adsorpsi yang cukup tajam, sehingga dapat diperkirakan terjadi proses desorpsi (adsorbat dilepas kembali oleh adsorben) dan pori dalam silika gel telah terisi penuh, sehingga tidak terjadi proses adsorpsi lanjutan (Huda & Yulitaningtyas, 2018). Proses adsorpsi diawali dengan molekul metilen biru yang masuk dan menyebar ke dalam permukaan pori silika gel yang amorf. Metilen biru yang teradsorpsi akan mengalami desorpsi/pelepasan ketika pori silika gel telah jenuh. Proses ini mengakibatkan waktu adsorpsi menjadi lebih lama. Laju awal adsorpsi akan mengalami peningkatan dan akan menurun secara bertahap hingga keadaan setimbang. Kondisi ini terjadi karena masih banyak pori yang tersedia pada awal proses adsorpsi sebagai tempat masuk adsorbat. Pori ini juga merupakan tempat terjadinya interaksi antara situs aktif permukaan silika gel dengan metilen biru (Riwayati et al., 2019).

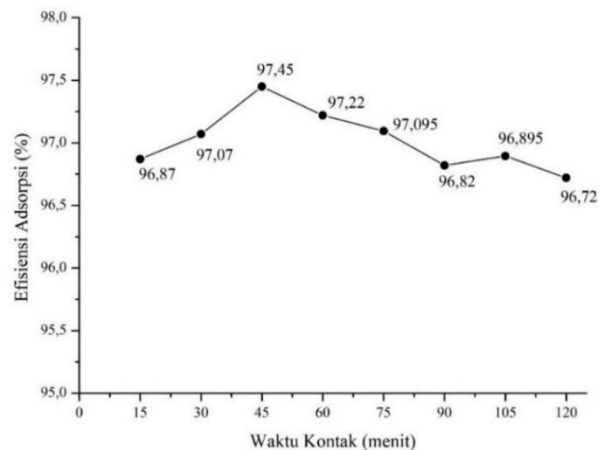


Gambar 6. Pengaruh pH Larutan terhadap Adsorpsi Metilen Biru

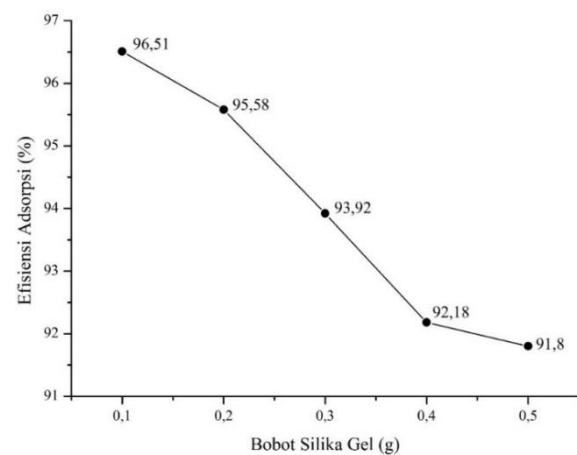
### Bobot Optimum Adsorpsi

Penjerapan metilen biru optimum pada bobot silika gel 0,1 g memiliki efisiensi adsorpsi sebesar 96,51 %. Keadaan optimum menyebabkan tidak ada lagi metilen biru yang dapat diserap. Efisiensi adsorpsi tertinggi didapatkan pada bobot silika gel yang paling kecil. Hasil ini memiliki kemiripan dengan penelitian Ingrachen-Brahmi et al., (2020) yang menunjukkan kondisi optimum bobot silika gel dalam mengadsorpsi metilen biru yakni pada bobot silika gel sebesar 0,1 g dan semakin

bertambahnya bobot silika gel, maka semakin menurun kemampuan adsorpsinya. Hal ini disebabkan metilen biru yang digunakan terbatas mengindikasikan situs aktif silika gel saling tumpang tindih atau terjadi penggumpalan luas permukaan adsorben, sehingga metilen biru sulit untuk berinteraksi dengan permukaan silika gel (Riwayati et al., 2019). Grafik antara variasi bobot silika gel dengan efisiensi adsorpsinya ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Metilen Biru

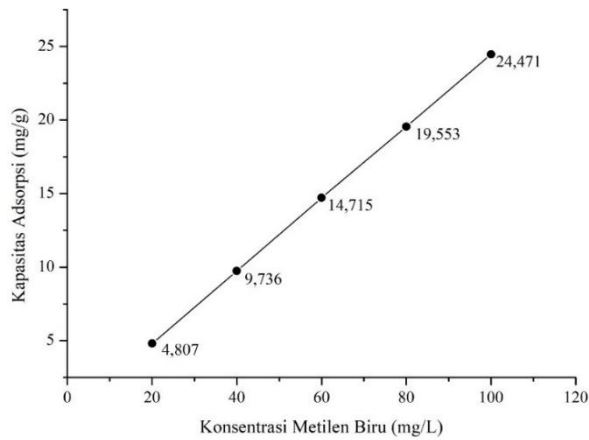


Gambar 8. Pengaruh Bobot Silika Gel terhadap Adsorpsi Metilen Biru

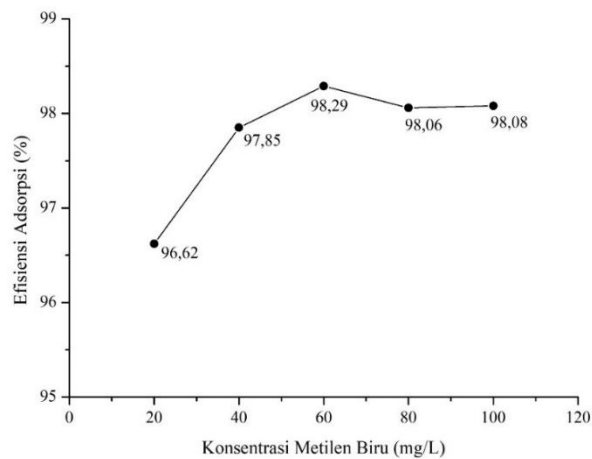
### Konsentrasi Adsorbat Optimum Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi metilen biru mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan konsentrasi metilen biru yang digunakan (Gambar 9). Kapasitas adsorpsi yang paling tinggi sebesar 24,471 mg/g pada konsentrasi metilen biru 100 mg/L. Konsentrasi zat warna yang meningkat seiring dengan meningkatnya kapasitas adsorpsi diakibatkan oleh peningkatan interaksi elektrostatis antara situs aktif pada permukaan

silika gel dengan molekul metilen biru (Zein et al., 2019).



Gambar 9. Kapasitas Adsorpsi Silika Gel terhadap Metilen Biru



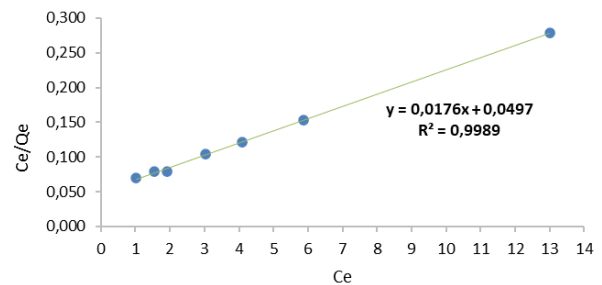
Gambar 10. Efisiensi Adsorpsi Silika Gel terhadap Metilen Biru

Hasil efisiensi adsorpsi yang paling tinggi dapat dilihat pada Gambar 10, yaitu sebesar 98,29 %. Akan tetapi, setelah adanya kenaikan mencapai konsentrasi 100 mg/L penjerapannya mengalami kesetimbangan atau adsorben telah jenuh terlihat dari grafik tidak mengalami perubahan efisiensi yang signifikan. Konsentrasi metilen biru 100 mg/L merupakan konsentrasi optimum dalam penjerapan metilen biru, karena kapasitas adsorpsinya paling besar walaupun efisiensi penjerapannya sedikit turun sebesar 98,08 %. Hal tersebut disebabkan situs aktif dan luas permukaan silika gel tidak sebanding dengan jumlah metilen biru yang ada dalam larutan. Situs aktif tidak tersedia untuk mengikat metilen biru pada konsentrasi awal metilen biru, sehingga

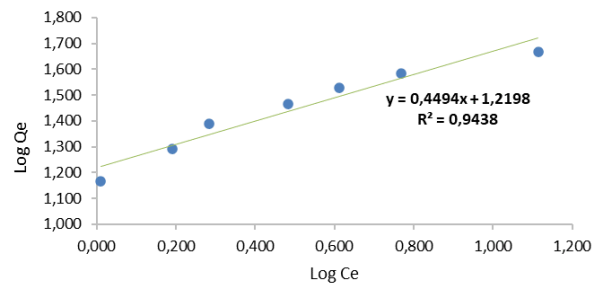
masih ada metilen biru yang tidak terjerap oleh silika gel dan mengalami penurunan efisiensi adsorpsinya.

### Isoterm Adsorpsi

Berdasarkan kurva pada Gambar 11 dan 12 dapat dilihat bahwa nilai linearitas dari isoterm adsorpsi Langmuir lebih besar dibandingkan dengan isoterm Freundlich. Persamaan linear yang didapatkan dari kurva isoterm Langmuir yaitu  $y = 0,0176x + 0,0497$  dengan nilai regresi sebesar 0,9989, sedangkan persamaan linear isoterm Freundlich yaitu  $y = 0,4494x + 1,2198$  dengan nilai regresi sebesar 0,9438. Tipe isoterm ditentukan oleh nilai koefisien korelasi yang paling mendekati 1 (Sulistiyo et al., 2017).



Gambar 11. Kurva Isoterm Adsorpsi Langmuir



Gambar 12. Kurva Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm adsorpsi metilen biru pada silika gel sesuai dengan isoterm Langmuir dengan koefisien linearitas korelasi yang lebih mendekati angka 1 jika dibandingkan dengan isoterm Freundlich, sehingga sifat adsorpsi dari adsorbat hanya membentuk satu lapisan pada permukaan adsorben. Menurut Anggriani et al., (2021), jika adsorpsi mengikuti tipe isoterm Langmuir maka proses penjerapannya terjadi secara kemisorpsi (*monolayer*). Silika gel hanya dapat menyerap metilen biru dengan membuat lapisan homogen pada permukaannya. Ini berarti bahwa setiap gugus aktif hanya dapat menyerap satu molekul metilen biru.

Tabel 2. Nilai Konstanta Isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich

	Isoterm Adsorpsi	Metilen Biru
Langmuir	a (mg/g)	56,818
	b (L/g)	0,354
	R <sup>2</sup>	0,9989
Freundlich	K	16,588
	n	2,225
	R <sup>2</sup>	0,9438

Kapasitas adsorpsi silika gel sebesar 56,818 mg/g. Hal ini memiliki kemiripan dengan penelitian Tigabu, (2017) yang menyatakan bahwa kapasitas adsorpsi untuk pembentukan *monolayer* metilen biru oleh silika gel pada suhu kamar adalah 58,45 mg/g. Berdasarkan hal tersebut, silika gel abu ampas tebu yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat diklasifikasikan sebagai bahan penjerap dengan potensi yang baik. Proses adsorpsi metilen biru dipengaruhi oleh isoterm Langmuir yang menunjukkan bahwa penjerapan terjadi pada satu gugus aktif. Ketika molekul adsorbat sekali menempati suatu gugus aktif selama adsorpsi berlangsung, maka tidak ada adsorpsi lanjutan yang akan terjadi di tempat tersebut dan lapisan tunggal molekul metilen biru akan tersebar merata di atas permukaan silika gel.

### KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa silika gel yang disintesis dari abu ampas tebu memiliki gugus silanol pada bilangan gelombang 3383,93 cm<sup>-1</sup> dan 1635,17 cm<sup>-1</sup> dan gugus siloksan muncul pada bilangan gelombang 1020,83 cm<sup>-1</sup> dan 579,88 cm<sup>-1</sup>. Silika gel hasil sintesis memiliki bentuk permukaan berupa granula yang amorf. Silika gel abu ampas tebu dapat digunakan sebagai adsorben zat warna metilen biru pada kondisi optimum (pH 10, waktu kontak selama 45 menit, bobot silika gel 0,1 g dan konsentrasi metilen biru 100 mg/L) dengan nilai kapasitas adsorpsi yang sebesar 56,818 mg/g dan mengikuti kaidah isoterm Langmuir.

### DAFTAR PUSTAKA

Aisyahlika, A. F., Hati, D. P., Nazriati, & Setyawan, H. (2018). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (*Cerbera odollam*) terhadap Zat Warna Sintesis

Reactive RED-120 dan Reactive Blue-198. 2(2), 148–155.

Akhinov, A. F., Hati, D. P., Nazriati, & Setyawan, H. (2010). Sintesis Silika Aerogel Berbasis Abu Bagasse dengan Pengerangan pada Tekanan Ambient. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, 1–7.

Andriana, N. (2016). Pemanfaatan Silika Gel Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara PLTU Paiton-Probolinggo sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru. Skripsi. Universitas Jember.

Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37.

Channoy, C., Maneewan, S., Punlek, C., & Chirattananon, S. (2018). Preparation and Characterization of Silica Gel from Bagasse Ash. *Advanced Materials Research*, 1145, 44–48. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1145.44>

Fauziyah, N. A. (2015). Karakterisasi Komposit PEG 4000/SiO<sub>2</sub> (SiO<sub>2</sub> = Kuarsa, Amorf, Kristoballit) dengan *Dynamic Mechanical Analyser* (DMA). Tesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

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*, 7(1), 31–38. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2013.v07.i01.p05>

Hermanto, B. M., Noor, E., Arkeman, Y., & Riani, E. (2018). Analisis Kelayakan Produksi Silikon dari Abu Ampas Tebu. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Journal of Natural*

- Resources and Environmental Management*, 9(3), 818–825. <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.3.818-825>
- Huda, T., & Yulitaningtyas, T. K. (2018). Kajian Adsorpsi *Methylene Blue* Menggunakan Selulosa dari Alang-Alang. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 1(1), 9–19. <https://doi.org/10.20885/ijca.v1i01.11322>
- Ingrachen-Brahmi, D., Belkacemi, H., & Brahem-Mahtout, L. A. (2020). Adsorption of Methylene Blue on silica gel derived from Algerian siliceous by-product of kaolin. *Journal of Materials and Environmental Science*, 11(7), 1044–1057.
- Khadijah, M. (2016). Isoterm Adsorpsi Kation Mg(II) oleh Silika Gel dari Bagasse Tebu. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Lin, W. S., Lin, H. M., Chen, H. H., Hwu, Y. K., & Chiou, Y. J. (2013). Shape Effects of Iron Nanowires on Hyperthermia Treatment. *Journal of Nanomaterials*, 2013, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2013/237439>
- Maknun, L., Nazriati, Farida, I., Kholila, N., & Muyas Syufa, R. B. (2018). Synthesis of Silica Xerogel based Bagasse Ash as a Methylene Blue Adsorbent on Textile Waste. *Journal of Physics: Conference Series*, 1093, 012050. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1093/1/012050>
- Nur'aeni, D., Hadisantoso, E. P., & Suhendar, D. (2017). Adsorpsi Ion Logam  $Mn^{2+}$  dan  $Cu^{2+}$  Oleh Silika Gel dari Abu Ampas Tebu. *Al-Kimiya*, 4(2), 70–80. <https://doi.org/10.15575/ak.v4i2.5087>
- Paramitha, T., Saputra, T. R., Aliah, A. N., Tarigan, A. V., & Ghozali, M. (2019). Karakterisasi Silika Dari Abu Ampas Tebu. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 5(3), 290–298. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2019.v5.i3.14309>
- Riapanitra, A., Setyaningtyas, T., & Riyani, K. (2006). Penentuan Waktu Kontak dan pH Optimum Penyerapan Metilen Biru Menggunakan Abu Sekam Padi. *MOLEKUL*, 1(1), 41–44.
- Riwayat, I., Fikriyyah, N., & Suwardiyono. (2019). Adsorpsi Zat Warna *Methylene Blue* Menggunakan Abu Alang-Alang (*Imperata cylindrica*) Teraktivasi Asam Sulfat. *Inovasi Teknik Kimia*, 4(2), 6–11. <https://doi.org/10.31942/inteka.v4i2.3016>
- Ruthmianingsih, V. (2018). Kompetisi Adsorpsi Metilen Biru dan  $Pb^{2+}$  oleh Silika Gel dari Abu Terbang Batubara PLTU Paiton-Probolinggo. Skripsi. Universitas Jember.
- Sholeh, M., Rochmadi, R., Sulisty, H., & Budhijanto, B. (2021). Nanostructured silica from bagasse ash: The effect of synthesis temperature and pH on its properties. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 97(1), 126–137. <https://doi.org/10.1007/s10971-020-05416-7>
- Singh, B. P., Kumar, A., Areizaga-Martinez, H. I., Vega-Olivencia, C. A., & Tomar, M. S. (2017). Synthesis, Characterization, and Electrocatalytic Ability of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles for Sensing Acetaminophen. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, 55, 722–728.
- Sulistiyo, Y. A., Andriana, N., Piluharto, B., & Zulfikar, Z. (2017). Silica Gels from Coal Fly Ash as Methylene Blue Adsorbent: Isotherm and Kinetic Studies. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis (BCREC)*, 12(2), 263–272. <https://doi.org/10.9767/brec.12.2.766.263-272>
- Tigabu, T. (2017). Production and Characterization of Silica Gel for Textile Wastewater Treatment (*Methylene Blue Dye*). Thesis. Addis Ababa University Ethiopia.
- Wilhan, A. R., Taufiq, A., & Widiastuti, D. (2016). Optimasi Waktu Kontak dan pH terhadap Adsorpsi Biru Metilena dengan Silika Gel Sintesis Abu Tongkol Jagung. *Universitas Pakuan Bogor*, 1–6.
- Yusuf, M., Suhendar, D., & Hadisantoso, E. P. (2014). Studi Karakteristik Silika Gel Hasil Sintesis dari Abu Ampas Tebu dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida. *Jurnal ISTEK*, 8(1), 16–28.
- Zannah, M. (2020). Isoterm Adsorpsi Metilen Biru oleh Biochar dari Kulit Singkong

(*Manihot esculenta crantz*) yang Dimodifikasi Menggunakan Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Skripsi. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Zein, R., Ramadhani, P., Aziz, H., & Suhaili, R. (2019). Biosorben Cangkang Pensi (*Corbicula moltkiana*) sebagai Penyerap Zat Warna *Metanil Yellow* Ditinjau dari pH dan Model Kesetimbangan Adsorpsi. *Jurnal Litbang Industri*, 9(1), 15–22. <https://doi.org/10.24960/jli.v8i2.4661>