

Pembuatan Adsorben Silika dari Daun Bambu dengan Metode Sol-Gel Menggunakan CH_3COOH

Mochammad Hanif Amrulloh*, Raihan Zaky Farrasidi, Nurul Widji Triana,
Sintha Soraya Santi, Nove Kartika Erliyanti

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: 22031010186@student.upnjatim.ac.id

Diterima: 18 Mei 2026

Disetujui: 28 Mei 2026

Abstract

The synthesis of silica adsorbents from biomass waste has gained significant attention due to its potential as an environmentally friendly and cost-effective material for water treatment applications. This study aimed to synthesize silica adsorbents from yellow bamboo leaves using the sol-gel method with variations in CH_3COOH concentration and aging time, as well as to evaluate their adsorption performance toward Mn^{2+} ions in river water. Yellow bamboo leaves were calcined at 600°C for 4 hours to produce ash containing 57% SiO_2 . Silica extraction was conducted using NaOH solution to form sodium silicate, followed by gel formation through acidification using CH_3COOH at concentrations of 3, 4, and 5 M with aging times of 12–16 hours. The synthesized adsorbents were characterized using BET, SEM, and XRF analyses. The results demonstrated that CH_3COOH concentration and aging time significantly influenced the surface area and silica content of the adsorbents. The optimum condition was achieved at a CH_3COOH concentration of 5 M and an aging time of 14 hours, resulting in a surface area of $86.521 \text{ m}^2/\text{g}$ and a silica content of 99.4%. Application of the adsorbent to Pelayaran River water reduced the Mn^{2+} concentration from 0.0266 mg/L to 0.0179 mg/L, corresponding to an adsorption efficiency of 32.70%.

Keywords: yellow bamboo leaves, silica adsorbent, sol-gel, CH_3COOH , Mn^{2+} adsorption

Abstrak

Sintesis adsorben silika berbasis limbah biomassa menjadi salah satu alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai material ramah lingkungan dan ekonomis dalam pengolahan air. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis adsorben silika dari daun bambu kuning menggunakan metode sol-gel dengan variasi konsentrasi CH_3COOH dan waktu aging, serta mengevaluasi kemampuan adsorpsinya terhadap ion Mn^{2+} dalam air sungai. Daun bambu kuning dikalsinasi pada suhu 600°C selama 4 jam hingga diperoleh abu dengan kandungan SiO_2 sebesar 57%. Proses ekstraksi silika dilakukan menggunakan larutan NaOH untuk menghasilkan natrium silikat, kemudian dilanjutkan dengan pembentukan gel melalui penambahan CH_3COOH pada konsentrasi 3, 4, dan 5 M dengan variasi waktu aging selama 12–16 jam. Adsorben yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan analisis BET, SEM, dan XRF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi CH_3COOH dan waktu aging berpengaruh terhadap luas permukaan dan kadar silika adsorben. Kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi CH_3COOH 5 M dan waktu aging 14 jam dengan luas permukaan sebesar $86,521 \text{ m}^2/\text{g}$ serta kadar SiO_2 sebesar 99,4%. Pengaplikasian adsorben pada air Sungai Pelayaran mampu menurunkan konsentrasi Mn^{2+} dari 0,0266 mg/L menjadi 0,0179 mg/L dengan efisiensi adsorpsi sebesar 32,70%.

Kata Kunci: daun bambu kuning, adsorben silika, sol-gel, CH_3COOH , adsorpsi Mn^{2+}

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi, termasuk berbagai jenis tanaman yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, salah satunya adalah bambu. Bambu (*bambusa sp.*) merupakan sumber daya alam yang berpotensi besar sebagai bahan baku material dan energi terbarukan [1]. Salah satu komponen penting dalam bambu adalah silika oksida (SiO_2), yang berperan dalam aplikasi seperti material komposit, keramik, dan adsorben. Daun bambu diketahui mengandung SiO_2 dalam jumlah paling tinggi sebesar 80,28%, dengan kadar yang bervariasi tergantung pada jenis bambu [2]. Daun bambu mengandung silika dalam jumlah yang signifikan melalui proses pembakaran pada suhu tinggi dan silika yang dihasilkan memiliki struktur amorf [3]. Silika amorf memiliki karakteristik struktur yang tidak teratur, yang menyebabkan luas permukaannya menjadi lebih besar dibandingkan dengan silika kristalin. Luas permukaan yang tinggi ini meningkatkan reaktivitasnya, sehingga lebih efektif dalam proses adsorpsi [4].

Silika di ekstraksi dari bahan alam, seperti daun bambu, umumnya dilakukan menggunakan larutan NaOH pada suhu tinggi, menghasilkan natrium silikat (Na_2SiO_3) yang larut dalam air [5].

Sintesis silika dari daun bambu dapat dilakukan melalui tiga metode utama, yaitu presipitasi, hidrotermal, dan sol-gel, dengan hasil yang sangat dipengaruhi oleh kondisi proses. Berdasarkan penelitian [6] tentang silika yang di sintesis dari daun bambu menggunakan metode presipitasi dan aplikasinya terhadap karet butadiena dengan pelarut ekstraksi NaOH 2 N dan zat aktivator H_2SO_4 1 N, 2,5 N, 5 N, dan 10 N pada suhu 70°C diperoleh kemurnian SiO_2 sebesar 49,54% dan memiliki luas permukaan sebesar $451 \text{ m}^2/\text{g}$ hingga $575 \text{ m}^2/\text{g}$. Penelitian menurut [7] tentang sintesis silika dari daun bambu menggunakan metode hidrotermal dengan pelarut ekstraksi NaOH 2,5 N sebagai pelarut ekstraksi yang di ekstrak pada kondisi suhu 80°C lalu dimasukkan kedalam reaktor hidrotermal pada suhu 120°C , 150°C dan 180°C dan variasi waktu 2, 4 dan 6 jam melaporkan hasil rata-rata ukuran partikel silika sebesar 15,40 nm hingga 27,44 nm.

Variasi metode sintesis yang diterapkan dalam pemanfaatan daun bambu sebagai sumber silika menunjukkan bahwa karakteristik serta efisiensi hasil yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh jenis metode dan parameter operasional yang digunakan. Salah satu metode alternatif yang juga banyak dikembangkan dalam sintesis silika dari daun bambu adalah metode sol-gel yang efektif menghasilkan silika dengan kemurnian dan keseragaman morfologi yang tinggi, sehingga cocok untuk ekstraksi dari bahan alami seperti daun bambu [8]. Berdasarkan penelitian [9], metode ini menghasilkan kemurnian sebesar 97,73% hingga 98,86%, dengan luas permukaan mencapai $177,29 \text{ m}^2/\text{g}$. Dengan karakteristik tersebut, silika hasil metode sol-gel sangat potensial untuk diaplikasikan sebagai bahan adsorben.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan baku dalam penelitian ini menggunakan daun bambu kuning dari daerah Gresik, Jawa Timur. *Aquadest*, NaOH, CH_3COOH glasial. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi hot plate magnetic stirrer, thermometer, kertas pH, *beaker glass*, gelas ukur, oven, *furnace*, dan *centrifuge*.

2.2 Preparasi Bahan Baku

Daun bambu kuning dibersihkan dari kotoran yang tercampur. Lalu dihaluskan menggunakan mesin giling dan dikeringkan menggunakan oven hingga beratnya konstan, kemudian dikalsinasi menggunakan *furnace* dengan suhu 600°C selama 4 jam hingga menjadi abu dan di Analisa kandungannya menggunakan uji XRF.

2.2 Metode Penelitian

Sebanyak 25 gram abu daun bambu dicampur dengan 500 mL larutan NaOH 1 M, kemudian dipanaskan selama 1 jam. Larutan yang telah dipanaskan dibiarkan selama 18 jam kemudian disaring. Sebanyak 30 mL larutan natrium silikat ditambahkan CH_3COOH dengan konsentrasi 3; 3,5; 4; 4,5; dan 5 M hingga mencapai pH 7, lalu diaduk hingga membentuk gel. Gel tersebut didiamkan selama 12, 13, 14, 15, 16 jam lalu disaring. Gel yang telah disaring dibilas dengan *aquadest* hingga mencapai pH 7, lalu dikeringkan pada suhu 100°C dalam oven selama 5 jam dan didinginkan di dalam desikator. Adsorben yang telah dibuat di analisa BET untuk mengetahui luas permukaannya. Adsorben dengan luas permukaan terbaik di analisa menggunakan XRF untuk mengetahui kandungannya dan diaplikasikan pada air sungai Pelayaran di Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo.

2.4 Adsorpsi Ion Logam Mn^{2+}

Sebanyak 0,5 gram silika gel daun bambu dicampurkan dengan 50 mL air sungai pelayaran, lalu diaduk selama 90 menit. Setelah itu, campuran dimasukkan ke dalam *centrifuge* dengan kecepatan 2000 rpm selama 30 menit. Filtrat yang dihasilkan dari penyaringan campuran yang telah disentrifugasi kemudian dianalisis menggunakan (AAS) untuk mengukur konsentrasi logam berat dalam sungai pelayaran yang telah diadsorpsi.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian pembuatan adsorben silika dari daun bambu kuning, diawali dengan proses kalsinasi yang dilakukan pada suhu 600°C selama 4 jam. Proses kalsinasi bertujuan sebagai proses dekomposisi dari lignin [10]. Hasil kandungan lignin setelah di kalsinasi adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Kandungan lignin pada daun bambu sebelum dan setelah di kalsinasi menggunakan analisis lignifikasi

Perlakuan	Kandungan lignin (%)
Sebelum di kalsinasi (daun bambu kuning)	25,74
Setelah di kalsinasi (abu daun bambu kuning)	19,81

Sumber : Laboratorium Gizi UNAIR (2026)

Berdasarkan hasil analisis lignifikasi terhadap daun bambu pada **Tabel 1**, terjadi penurunan kandungan lignin dari 25,74% menjadi 19,81% setelah proses kalsinasi, yang menunjukkan bahwa perlakuan termal pada suhu tinggi mampu mendegradasi komponen organik biomassa, khususnya lignin. Pada suhu kalsinasi 600°C, sebagian lignin telah terurai secara signifikan, sehingga kandungannya menurun dalam material akhir, yang sejalan dengan pernyataan [11] bahwa komponen organik biomassa akan terdegradasi pada suhu di atas 500°C dan menghasilkan senyawa anorganik yang terkandung dalam bentuk abu [12]. Hasil kandungan dalam daun bambu kuning yang telah diabukan melalui uji XRF yakni sebagai berikut.

Tabel 2. Komposisi senyawa kimia pada abu daun bambu kuning.

Komponen	Konsentrasi (%)
SiO ₂	57
P ₂ O ₅	2,6
SO ₃	2,9
K ₂ O	22,3
CaO	10,4
TiO ₂	0,11
MnO	0,094
Fe ₂ O ₃	3,61
CuO	0,15
ZnO	0,24
Rb ₂ O	0,034
SrO	0,083
ZrO ₂	0,03
BaO	0,03
Re ₂ O ₇	0,04

Sumber : Laboratorium Energi dan Lingkungan DKPU ITS (2025)

Berdasarkan hasil analisis X-Ray Fluorescence (XRF) pada **Tabel 2**, kandungan utama dalam abu daun bambu kuning adalah silika oksida (SiO₂) yaitu sebesar 57%. Berdasarkan penelitian [13], diketahui bahwa kandungan silika oksida pada daun bambu ori adalah sebesar 55,4%. Pada penelitian [14] daun bambu ampel memiliki kandungan silika oksida sebesar 57,06%. Sedangkan pada penelitian [15] daun bambu petung memiliki kandungan silika oksida sebesar 58,3%. Berdasarkan penelitian sebelumnya abu daun bambu memiliki kandungan silika oksida >50%, dimana kandungan abu daun bambu bergantung pada bahan yang digunakan. Pada penelitian [16], adsorben yang dibuat dari bahan tongkol jagung menggunakan metode sol-gel, abu tongkol jagung hanya memiliki kandungan silika oksida sebesar 47,78%. Sementara itu, kandungan silika oksida yang mencapai >50% pada abu daun bambu kuning berpotensi dijadikan sebagai bahan baku pembuatan adsorben dengan metode yang relatif sederhana. Silika dalam abu daun bambu kuning memiliki bentuk amorf, dimana silika amorf memiliki struktur yang tidak teratur, relatif memiliki luas permukaan yang besar dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar untuk adsorben utama dalam pembuatan material adsorben [17]. Dengan demikian, abu daun bambu dapat menjadi alternatif bahan baku adsorben yang berkelanjutan dan bernilai tambah, sekaligus mendukung pemanfaatan limbah biomassa secara optimal.

Selain kandungan utama berupa SiO₂, hasil analisis juga menunjukkan adanya oksida minor seperti TiO₂, MnO, CuO, ZnO, serta oksida jejak lainnya dalam jumlah yang relatif kecil. Keberadaan senyawa-senyawa ini merupakan bagian dari mineral anorganik alami yang terserap oleh tanaman selama proses pertumbuhan dan tetap terakumulasi setelah proses kalsinasi [11]. Untuk menghilangkan impuritis yang tidak diinginkan, dilakukan tahap ekstraksi untuk melarutkan SiO₂ dan penyaringan untuk menyaring impuritis dari abu daun bambu. Ekstraksi dilakukan menggunakan basa kuat NaOH karena silika amorf akan bereaksi dengan NaOH membentuk natrium silikat (Na₂SiO₃) yang bersifat larut dalam air, sementara sebagian besar oksida logam lain, khususnya oksida minor, memiliki kelarutan yang jauh lebih rendah

dalam kondisi tersebut sehingga tetap berada dalam fase padat [18]. Hal ini menyebabkan pemisahan awal dan kemudian dilanjutkan dengan penyaringan untuk memisahkan pengotor dari larutan Na_2SiO_3 .

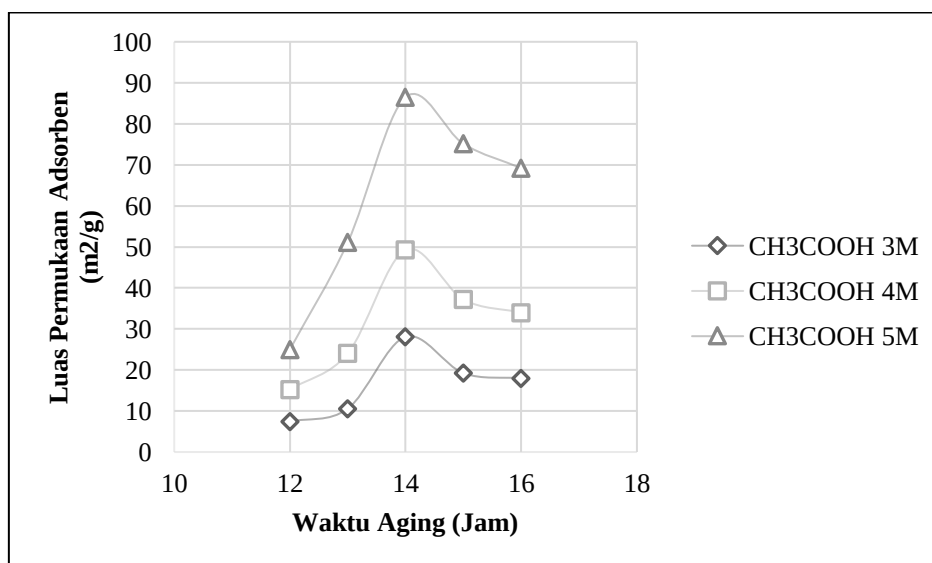
3.1 Luas Permukaan Adsorben

Berdasarkan **Gambar 1** dan **Tabel 3** diperoleh nilai luas permukaan adsorben dari daun bambu kuning. Grafik pada **Gambar 1** mengalami kenaikan, lalu mengalami penurunan. Kenaikan luas permukaan pada awalnya terjadi karena proses aging membantu pembentukan struktur silika yang lebih teratur dan perkembangan pori terbuka pada adsorben [19]. Proses aging pada pembuatan adsorben silika merupakan proses pematangan struktur gel yang terjadi setelah pembentukan gel awal, di mana jaringan silika mengalami reorganisasi secara internal melalui reaksi lanjutan seperti kondensasi dan polimerisasi silanol (Si-OH) menjadi ikatan siloksan (Si-O-Si). Proses ini berlangsung dalam kondisi diam pada waktu dan suhu tertentu, yang bertujuan untuk memperkuat struktur jaringan gel serta mengembangkan porositas material. Proses aging melibatkan reaksi kondensasi lanjutan antara gugus silanol (Si-OH) yang masih tersisa, membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si) disertai pelepasan molekul air [20]. Hal ini didukung dengan uji SEM untuk struktur adsorben. Adsorben silika di uji SEM pada kondisi waktu aging 12, 13, 14, 15, dan 16 jam dengan konsentrasi CH_3COOH 5 M. Adsorben dengan kondisi waktu aging 14 jam menunjukkan permukaan yang relatif kasar, berpori, dan memiliki distribusi pori yang cukup merata.

Tabel 3. Pengaruh waktu aging dan konsentrasi CH_3COOH pada pembuatan adsorben terhadap luas permukaan adsorben menggunakan analisis BET

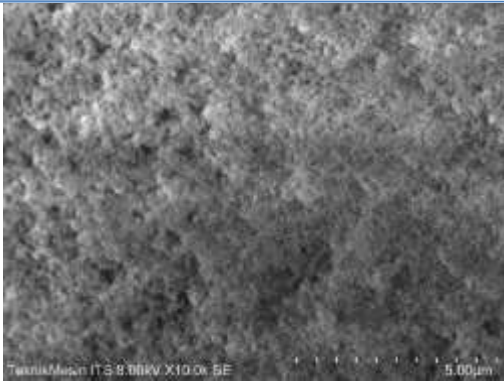
Konsentrasi (M)	Waktu Aging (jam)	Luas Permukaan (m^2/g)
3	12	7,423
	13	10,567
	14	28,105
	15	19,237
	16	17,978
4	12	15,228
	13	24,053
	14	49,296
	15	37,205
	16	34,001
5	12	25,006
	13	51,098
	14	86,521
	15	75,134
	16	69,203

Sumber : Laboratorium Terpadu UII (2025)

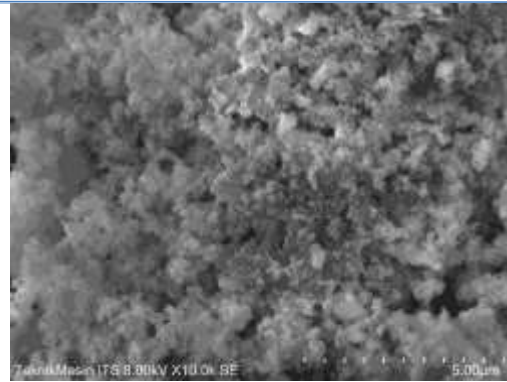


Gambar 1. Pengaruh Waktu Aging dan Konsentrasi CH_3COOH pada Pembuatan Adsorben

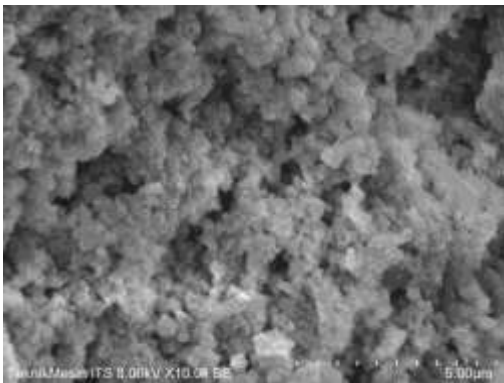
Sumber : Laboratorium Terpadu UII (2025)



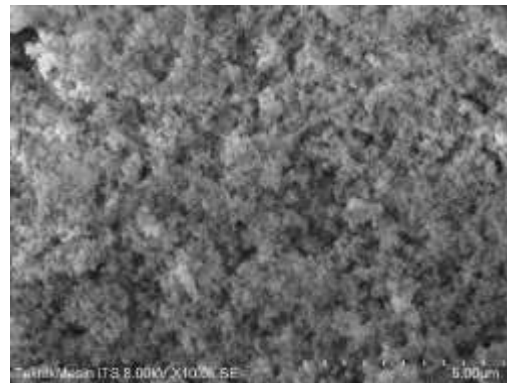
Gambar 2. Hasil uji SEM pada adsorben silika dengan kondisi waktu aging 12 jam dan konsentrasi 5 M



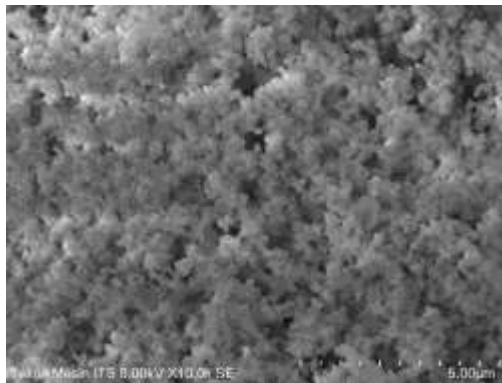
Gambar 3. Hasil uji SEM pada adsorben silika dengan kondisi waktu aging 13 jam dan konsentrasi 5 M



Gambar 4. Hasil uji SEM pada adsorben silika dengan kondisi waktu aging 14 jam dan konsentrasi 5 M



Gambar 5. Hasil uji SEM pada adsorben silika dengan kondisi waktu aging 15 jam dan konsentrasi 5 M



Gambar 6. Hasil uji SEM pada adsorben silika dengan kondisi waktu aging 16 jam dan konsentrasi 5 M

Sumber : Laboratorium Energi dan Lingkungan DKPU ITS (2025)

Struktur ini menunjukkan kondisi optimal pada adsorben saat dibuat dengan kondisi waktu 14 jam. Namun, setelah melewati durasi aging selama 14 jam, grafik menunjukkan penurunan terhadap luas permukaan adsorben. Menurut [21], waktu aging mempengaruhi silika yang dihasilkan dalam pembuatan silika gel. Semakin lama waktu aging, maka semakin tinggi luas permukaan adsorben tetapi jika terlalu lama akan menurunkan luas permukaan adsorben dengan menutupnya pori-pori adsorben dan membuat struktur silika tidak menyatu. Menurut [20], proses ini dinamakan proses densifikasi, yaitu proses pemadatan struktur jaringan silika akibat reaksi kondensasi yang berlanjut secara berlebihan. Struktur gel menjadi semakin rapat, sehingga pori-pori dari adsorben silika mengalami penyempitan. proses ini sering dikaitkan dengan berkurangnya volume pori akibat terbentuknya lebih banyak ikatan siloksan dalam jaringan. Kondisi optimal pada grafik **Gambar 4** ditunjukkan saat konsentrasi 5 M dengan waktu aging 14 jam dan adsorben ini di aplikasikan pada air sungai Pelayaran di Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo

untuk menurunkan kandungan logam pada air Sungai Pelayaran, lalu di analisis kandungannya menggunakan analisa XRF.

3.2 Kandungan Silika pada Adsorben

Berdasarkan **Tabel 4** diperoleh hasil kandungan adsorben pada pembuatan adsorben dari daun bambu kuning. Hasil analisa menunjukkan bahwa adsorben dengan kondisi optimum konsentrasi 5M waktu aging 14 jam memiliki kandungan SiO_2 sebesar 99,4%. Analisa kandungan silika dalam adsorben digunakan untuk mengetahui pengaruh CH_3COOH yang digunakan sebagai larutan aktivasi. Menurut [10] adsorben yang dibuat dengan metode sol-gel menggunakan CH_3COOH memiliki kadar SiO_2 yang tinggi dibandingkan menggunakan HCl atau asam kuat lainnya. Hal ini dikarenakan CH_3COOH membantu dalam pembentukan ikatan siloxane (Si-O-Si) karena memiliki pH yang tidak terlalu rendah, sehingga struktur silika yang terbentuk cenderung lebih stabil [18].

Tabel 4. Komposisi senyawa kimia pada adsorben silika dengan konsentrasi CH_3COOH 5M dan waktu aging 14 jam

Komponen	Konsentrasi (%)
SiO_2	99,4
P_2O_5	0,23
K_2O	0,04
CaO	0,17
Fe_2O_3	0,03
CuO	0,02
ZnO	0,01
ZrO_2	0,07
Re_2O_7	0,03

Sumber : Laboratorium Energi dan Lingkungan DKPU ITS (2025)

Selain itu, CH_3COOH digunakan sebagai agen pengasam dalam proses sol-gel untuk meningkatkan kadar silika dalam adsorben. Reaksi antara Na_2SiO_3 dan CH_3COOH menghasilkan produk samping berupa CH_3COONa yang memiliki kelarutan tinggi dalam air, sehingga lebih mudah dihilangkan pada tahap pencucian dibandingkan garam seperti NaCl yang dihasilkan dari penggunaan asam kuat HCl [22]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan [22], kelarutan natrium asetat dalam air mencapai sekitar 15,2 M, sedangkan natrium klorida hanya sekitar 6,11 M, yang menunjukkan bahwa natrium asetat memiliki kemampuan larut yang jauh lebih tinggi dibandingkan natrium klorida. Nilai kelarutan dalam satuan molaritas (M) ini menunjukkan jumlah mol zat terlarut per liter larutan, sehingga menggambarkan secara kuantitatif kemampuan garam untuk tetap berada dalam fase cair. Oleh karena itu, CH_3COONa lebih mudah terlarut selama proses pencucian, sehingga menghasilkan silika dengan kadar yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan HCl yang menghasilkan NaCl.

3.3 Adsorpsi Ion Logam Mn^{2+}

Berdasarkan **Tabel 5** air di sungai Pelayaran Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo, belum di ujikan kadar logam Mn^{2+} . Logam Mn^{2+} merupakan salah satu logam esensial yang secara alami terdapat di perairan dalam jumlah kecil, namun pada konsentrasi tinggi dapat bersifat toksik dan menurunkan kualitas air [23]. Air sungai Pelayaran di ujikan AAS untuk mengetahui kadar logam Mn^{2+} yang terkandung di dalamnya, lalu diperoleh kandungan air Sungai Pelayaran dari Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo sebelum dan setelah penambahan adsorben pada **Tabel 6**. Sebelum penambahan adsorben diperoleh kandungan Mn^{2+} pada air sungai Pelayaran sebesar 0,0266 mg/L. Sedangkan setelah penambahan adsorben diperoleh kandungan Mn^{2+} pada air sungai Pelayaran sebesar 0,0179 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi Mn^{2+} setelah proses adsorpsi menggunakan adsorben daun bambu kuning. Efisiensi penyerapan yang dicapai sebesar 32,70%, yang menandakan bahwa adsorben memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mengurangi kandungan logam Mn^{2+} dari air sungai Pelayaran di Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo.

Tabel 5. Data kandungan air Sungai Pelayaran dari Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo yang diujikan oleh PDAM Delta Tirta

No	Parameter	Metode pengujian	Unit	Hasil pengujian	Persyaratan
1.	pH	SNI 6989.11:2019	-	7.48	6-9
2.	Suhu	SNI 06-6989.23-2005	°C	28.0	Dev 3
3.	TSS	SNI 6989.03:2019	mg/L	240.0	40
4.	TDS	SNI 06-6989.26-2005	mg/L	191.0	1000
5.	BOD5	SNI 6989.72:2009	mg/L	2.81	2
6.	COD	SNI 6989.2:2019	mg/L	6.99	10
7.	DO	SNI 06-6989.14-2004	mg/L	5.28	Min 6
8.	Tembaga (Cu)	SNI 6989.84:2019	mg/L	<0.0119	0.02
9.	Cobalt (Co)	SNI 6989.68:2009	mg/L	<0.0344	0.2
10.	Cadmium (Cd)	SNI 6989.84:2019	mg/L	<0.0254	0.01
11.	Timbal (Pb)	SNI 6989.84:2019	mg/L	0.131	0.03
12.	Seng (Zn)	SNI 6989.84:2019	mg/L	0.348	0.05
13.	H ₂ S	SNI 6989.75:2009	mg/L	<0.107	0.002
14.	Phosphat (PO ₄)	SNI 06-6989.31-2005	mg/L	0.0400	0.2
15.	Fluorida (F)	SNI 06-6989.29-2005	mg/L	<0.180	1
16.	Nitrat sebagai N	IK-23/06/00	mg/L	1.01	10
17.	Sulfat	SNI 6989.20:2009	mg/L	24.4	300
18.	Nitrit sebagai N	SNI 06-6989.9-2004	mg/L	0.411	0.06

Sumber : UPTD Laboratorium Lingkungan DLHP (2025)

Tabel 6. Kandungan air Sungai Pelayaran dari Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo

Perlakuan	Kandungan ion logam Mn ²⁺ pada air sungai pelayaran (mg/L)	Efisiensi Adsorpsi (%)
Sebelum penambahan adsorben	0,0266	32,70
Setelah penambahan adsorben	0,0179	

Sumber : Laboratorium Energi dan Lingkungan DKPU ITS (2025)

Adsorpsi ion logam Mn²⁺ oleh adsorben silika dari daun bambu terjadi melalui interaksi antara ion dalam larutan dengan gugus aktif silanol (Si-OH) pada permukaan silika yang dapat terdeprotonasi menjadi Si-O⁻, sehingga bermuatan negatif dan mampu menarik Mn²⁺ melalui gaya elektrostatik serta membentuk ikatan kompleks pada permukaan adsorben [24]. Menurut [25] kemampuan adsorpsi Mn²⁺ relatif lebih rendah dibandingkan Cu²⁺ dan Pb²⁺ karena kestabilan kompleks yang terbentuk lebih lemah serta energi hidrasi yang cukup tinggi, sehingga Mn²⁺ cenderung tetap terikat dengan molekul air dan sulit berinteraksi langsung dengan permukaan silika. Ion Pb²⁺ memiliki energi hidrasi sebesar -1572, sedangkan ion Mn²⁺ memiliki energi hidrasi sebesar -1874. Meskipun demikian, Mn²⁺ masih memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan ion Mg²⁺ yang memiliki energi hidrasi sebesar -1949, sehingga lebih sulit berinteraksi dengan permukaan adsorben dan menyebabkan kapasitas adsorpsinya lebih rendah dibandingkan ion Mn²⁺.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pembuatan adsorben silika dari daun bambu menggunakan metode sol-gel dengan variasi konsentrasi CH₃COOH dan waktu aging. Kadar lignin awal pada daun bambu 25,74% dan setelah di abukan sebesar 19,81%. Abu daun bambu kuning yang telah di kalsinasi memiliki kandungan SiO₂ sebesar 57%, kandungan SiO₂ yang lebih dari 50% dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan adsorben silika dengan kadar silika yang cukup tinggi. Variasi konsentrasi CH₃COOH dan waktu aging memberikan pengaruh terhadap karakteristik adsorben yang dihasilkan seperti luas permukaan dan kadar SiO₂ yang dihasilkan. Kondisi optimum dicapai pada konsentrasi CH₃COOH 5 M dengan waktu aging 14 jam, yang menghasilkan luas permukaan adsorben

sebesar 86,521 m²/g. Pada kondisi tersebut, analisis XRF menunjukkan bahwa adsorben memiliki kadar silika sebesar 99,4%. Pada pengaplikasiannya di air sungai Pelayaran Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo adsorben silika memiliki efisiensi adsorpsi sebesar 32,70%.

4.1 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut dapat ditambahkan surfaktan yang ramah lingkungan seperti Pluronic P123 untuk mengoptimalkan luas permukaan dari adsorben silika yang dibuat dari limbah biomassa sekaligus mendukung pengembangan *green technology*.

5. Referensi

- [1] D. Nurani Rahmawati and S. Sriyati, "Kajian Etnobotani Tanaman Bambu dan Pemanfaatannya di Kampung Gombong Nyiru Kabupaten Bandung Barat sebagai Implementasi Etnopedagogi Materi Biologi pada Kurikulum Merdeka," *Biodik*, vol. 10, no. 2, pp. 64–79, 2024, doi: 10.22437/biodik.v10i2.33674.
- [2] S. S. Leksikowati and D. Rachmawati, "Distribution of silicon in different organ of bamboo (*Gigantochloa apus* (Schult. & Schult.) Kubz ex Munro)," *BIO Web Conf.*, vol. 94, pp. 1–11, 2024, doi: 10.1051/bioconf/20249406006.
- [3] L. Sukeksi, Iriany, M. Grace, and V. Diana, "Characterization of the Chemical and Physical Properties of Bar Soap Made with Different Concentrations of Bentonite as a Filler," *Int. J. Technol.*, vol. 12, no. 2, pp. 263–274, 2021, doi: 10.14716/ijtech.v12i2.4130.
- [4] Pramudya, Abu Hasan, and Robert Junaidi, "Kinetika Pembentukan Silika Gel dari Bottom Ash Sebagai Adsorben," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, p. 302, 2024.
- [5] A. S. Hanawindy and M. Mawardi, "Ekstraksi Silika (SiO₂) dari Mineral Tanah Napa Pesisir Selatan," *J. Period. Jur. Kim. UNP*, vol. 12, no. 1, p. 31, 2023, doi: 10.24036/p.v12i1.116507.
- [6] P. Dileep and S. K. Narayanankutty, "A novel method for preparation of nanosilica from bamboo leaves and its green modification as a multi-functional additive in styrene butadiene rubber," *Mater. Today Commun.*, vol. 24, no. January, p. 100957, 2020, doi: 10.1016/j.mtcomm.2020.100957.
- [7] Hasri, Muharram, and F. Nadwi, "Sintesis Nanosilika Daun Bambu (*Bambusa* sp.) Menggunakan Metode Hidrotermal," *J. Kartika Kim.*, vol. 3, no. 2, pp. 96–100, 2020, doi: 10.26874/jkk.v3i2.56.
- [8] E. Prihatini, G. D. Laksono, D. Khairunissa, I. Rahayu, and R. Ismail, "Characteristics and Applications of Bionanosilica from Betung Bamboo Leaves," *J. Eng. Technol. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 153–166, 2024, doi: 10.36079/lamintang.jetas-0603.766.
- [9] N. Gautam, Y. Rajesh, N. Kale, M. Jagtap, H. Chaudhari, and S. Pansare, "Silica Extraction from Bamboo Leaves Using Alkaline Extraction Method," *Mater. Today Proc.*, vol. 111, no. 1, pp. 155–160, 2024, doi: 10.1016/j.matpr.2023.12.014.
- [10] D. Dhaneswara, J. F. Fatriansyah, F. W. Situmorang, and A. N. Haqoh, "Synthesis of Amorphous Silica from Rice Husk Ash: Comparing HCl and CH₃COOH Acidification Methods and Various Alkaline Concentrations," *Int. J. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 200–208, 2020, doi: 10.14716/ijtech.v11i1.3335.
- [11] S. V. Vassilev, D. Baxter, L. K. Andersen, and C. G. Vassileva, "An overview of the chemical composition of biomass," *Fuel*, vol. 89, no. 5, pp. 913–933, 2010, doi: 10.1016/j.fuel.2009.10.022.
- [12] H. Yang, R. Yan, H. Chen, D. H. Lee, and C. Zheng, "Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis," vol. 86, no. 1, pp. 1781–1788, 2007, doi: 10.1016/j.fuel.2006.12.013.
- [13] M. Hamawi, N. Trisnaningrum, and I. Mufandi, "Modifikasi Sintesis Silika Seresah Daun Bambu Ori (*Bambusa blumeana*) Menggunakan Natrium dan Kalium dengan Metode Sol-Gel Hidrotermal Sebagai Bahan Pupuk Pertanian," *Agroindustrial Technol. J.*, vol. 7, no. 3, pp. 66–75, 2023.
- [14] A. Muqorrobin, "Sintesis Dan Karakterisasi Daun Bambu Ampel Skala Nano Untuk Meningkatkan Compressive Strength Dan Shear Bond Strength Semen Pemboran," 2021.
- [15] W. Udaibah and A. Priyanto, "Synthesis and Structure Characterization of SiO₂ from Petung Bamboo Leaf Ash (*Dendrocalamus asper* (Schult.f.) Backer ex Heyne)," *J. Nat. Sci. Math. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 215–220, 2017, doi: 10.21580/jnsmr.2017.3.1.1697.
- [16] E. A. Okoronkwo, P. E. Imoisili, S. A. Olubayode, and S. O. O. Olusunle, "Development of Silica Nanoparticle from Corn Cob Ash," *Nanoparticles*, vol. 05, no. 02, pp. 135–139, 2016, doi: 10.4236/anp.2016.52015.
- [17] K. Megasari, H. Herdiyanti, G. Nurliati, A. Kadarwati, and D. Swantommo, "Sintesis Silika Xerogel dari Abu Daun Sambu sebagai Adsorben Uranium," *J. Forum Nukl.*, vol. 13, no. 1, pp. 27–36, 2020.

- [18] R. K. Iler, *The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry of Silica*. New York: John Wiley & Son, 1979.
- [19] S. Iswar, W. J. Malfait, S. Balog, F. Winnefeld, M. Lattuada, and M. M. Koebel, "Effect of aging on silica aerogel properties," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 241, pp. 293–302, 2017, doi: 10.1016/j.micromeso.2016.11.037.
- [20] C. J. Brinker and G. W. Scherer, *Sol-Gel Science The physics and chemistry of sol-gel processing*. London, 1990.
- [21] Rachmayani, Dewi Novita. *Sintesis dan Karakterisasi Silika Xerogel dari Rumput Gajah (Pennisetum Purpureum) dengan Metode Sol-Gel menggunakan Pelarut NaOH*. Diss. UPN Veteran Jawa Timur, 2023.
- [22] A. Mcpherson, "A comparison of salts for the crystallization of macromolecules," *Protein Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 418–422, 2000, doi: 10.1110/ps.32001.
- [23] World Health Organization, *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4th ed. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2011.
- [24] Alsharif, Marwah Ahmed. "Understanding adsorption: theories, techniques, and applications." *Adsorption-Fundamental Mechanisms and Applications*. IntechOpen, 2025.
- [25] Dullinger, Philipp, and Dominik Horinek. "Solvation of nanoions in aqueous solutions." *Journal of the American Chemical Society* 145.45 (2023): 24922-24930.