SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA XEROGEL DARI ABU KULIT JAGUNG (Zea mays L.) MELALUI METODE SOL-GEL SERTA STUDI ADSORPSI ZAT WARNA MALACHITE GREEN

Skripsi
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1

Nurmasdi Ridhani
22106030030

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2026

HALAMAN PENGESAHAN

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2346/Un.02/DST/PP.00.9/09/2026

Tugas Akhir dengan judul : Sintesis dan Karakterisasi Silika Xerogel dari Abu Kulit Jagung (Zea mays L.) melalui Metode Sol-Gel serta Studi Adsorpsi Zat Warna Malachite Green

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : NURMASDI RIDHANI
Nomor Induk Mahasiswa : 22106030030
Telah diujikan pada : Kamis, 27 Agustus 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR

Ketua Sidang

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6aa7c96eab6f8

Penguji I

Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6aa7b1e7bbd18

Penguji II

Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc
SIGNED

Valid ID: 6aa0b2a92ad86

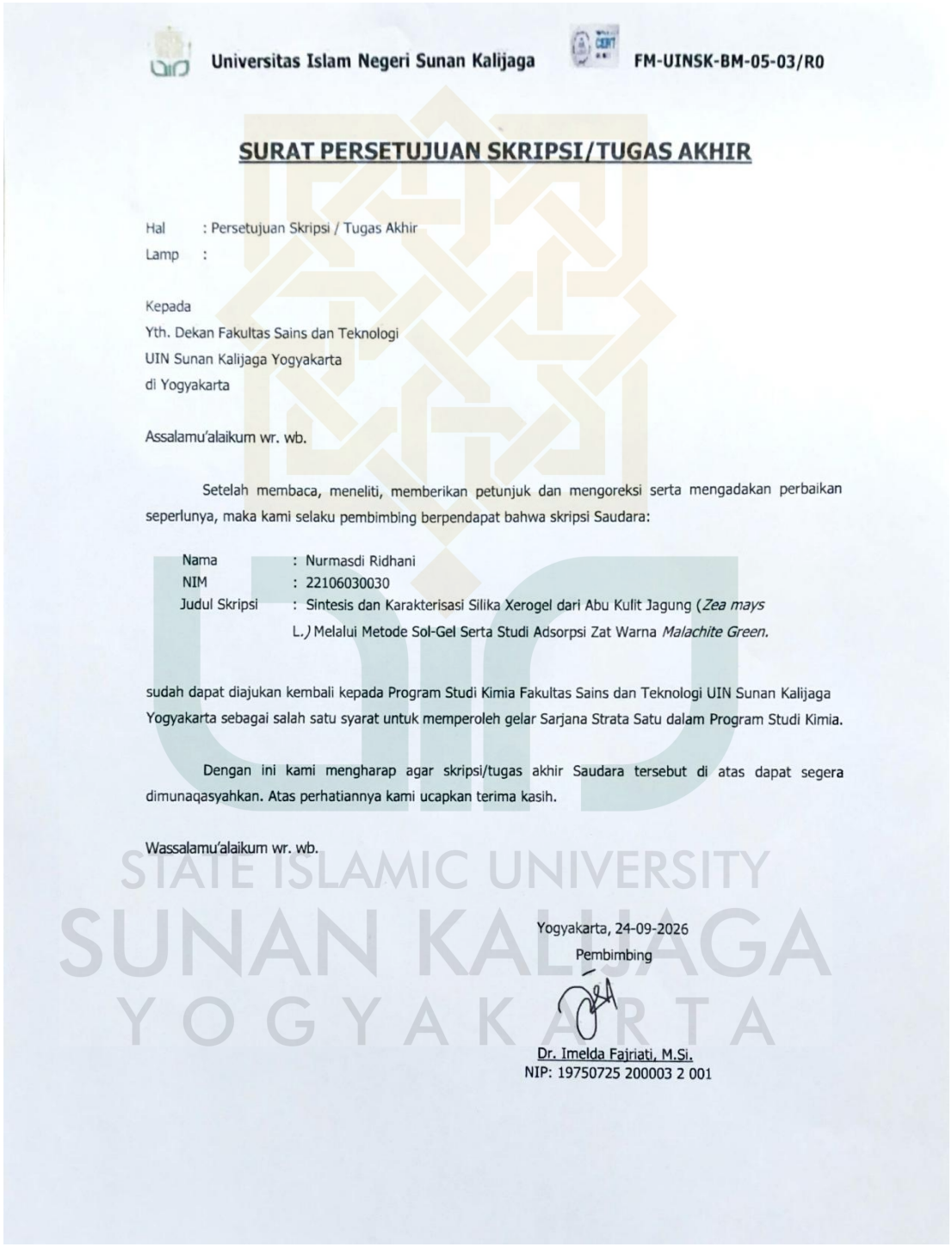
Yogyakarta, 27 Agustus 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6ab0b92fcf5a1

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir
Lamp :

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Nurmasdi Ridhani
NIM : 22106030030
Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi Silika Xerogel dari Abu Kulit Jagung (*Zea mays* L.) Melalui Metode Sol-Gel Serta Studi Adsorpsi Zat Warna *Malachite Green.*

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 24-09-2026
Pembimbing

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.
NIP: 19750725 200003 2 001

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Nurmasdi Ridhani
NIM : 22106030030
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"Sintesis dan Karakterisasi Silika Xerogel dari Abu Kulit Jagung (*Zea mays* L.) melalui Metode Sol-Gel serta Studi Adsorpsi Zat Warna *Malachite Green*"** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memeperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 24 Agustus 2026



Nurmasdi Ridhani
NIM. 22106030030

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah Swt. Karya kecil ini saya persembahkan sebagai rasa terima kasih untuk:

Almamater tercinta
Program Studi kimia
Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta

Bapak, ibu, kakak-kakak, serta orang-orang tercintaku yang selalu memberikan doa, motivasi, dan dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

“Dan janganlah kamu berjalan di muka bumi ini dengan sombong, karena sesungguhnya kamu sekali-kali tidak dapat menembus bumi dan sekali-kali kamu tidak akan sampai setinggi gunung.”

(QS Al-Isra': 37)

“Jiwa yang berani tidak akan mati sebelum ajalnya tiba, dan keberanian tidak akan mengurangi umur seseorang”

(Khalid bin Walid)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya. Selawat serta salam tidak lupa kita haturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW teladan agung yang menuntun umat menuju jalan kebaikan dan kebenaran. Alhamdulillah, berkat karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul "Sintesis dan Karakterisasi Silika Xerogel dari Abu Kulit Jagung (*Zea mays L.)* Melalui Metode Sol-Gel Serta Studi Adsorpsi Zat Warna Malachite Green" dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si) Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi banyak rintangan yang dihadapi. Namun segala rintangan tersebut dapat dihadapi secara baik berkat doa, dukungan moral, semangat, serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing Skripsi yang dengan sabar memberikan motivasi dan pengarahan selama proses studi, penelitian serta membantu penyusunan skripsi ini hingga akhir.
4. Bapak dan Ibu Dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membimbing dan mengajarkan banyak hal selama studi terutama dalam bidang kimia.
5. Seluruh Staf Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta terutama Bapak A. Wijayanto, S.Si., Indra Naviyanto, S.Si., dan Ibu Isni Gustanti, S.Si. yang telah membantu dalam penelitian sehingga dapat berjalan dengan lancar.
6. Kedua orang tua, Bapak Sarsono dan Ibu Sri Latifa Lasara, S. Pd.SD, MM, Pd, yang tak pernah lupa mendoakan demi kelancaran penyusunan skripsi ini.
7. Kakak-kakak tercinta Andre Wijayanto, S.Kom, Nurandi Kirani, Nuradi Sasongko, S.Tr.Han. yang selalu pertama mengulurkan tangan dari kecil hingga dewasa. Terima kasih atas kasih dan perhatiannya selama ini sehingga penulis tidak merasa berjuang sendirian dalam hidup.
8. Saudara kembar penulis Nurmasdi Ridloni yang telah menjadi saudara, teman, pengingat seumur hidup yang mendukung dan mendoakan seluruh langkah penulis selama ini tanpa henti sehingga penulis merasa aman dan bahagia selalu.
9. Bapak Bambang Fadjar Rianto dan ibu Ida Djunaedah Muller yang telah menjadi orangtua asuh penulis selama mengenyam pendidikan di Yogyakarta.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

10. Sahabat “Barudak” Aryas Hakim Indrajaya, Azzarkasyi Azka, Arif Ihsanul, Handika Eriksa, Muhammad Ramadhan, Nur Intan Sheila Rahmah, Naiya Yuan Arlita, Della Dewinta, Rini Maulida, dan Nurul Dwi Sapitri yang telah menjadi teman penulis sejak mahasiswa baru hingga sarjana.
11. Rekan-rekan “Markopol Jakal”, Andifada Traktama Putra Rianto, Bryan Alfinov Putra Rianto dan Muhammad Aditya Anugerah Aji. Terima kasih sudah menjadi rumah kedua di saat penulis tidak tahu harus pulang ke mana.
12. Teman-teman “Jakal” Devina, Vita, Muna, Bayu, Malda, Diva, Sondet, Surya, Dapol, Dimas, dan Putra yang telah menemani penulis setiap waktu.
13. Teman-teman penelitian Rahma Tri Cahyani dan Annisa Isniyatur yang telah tanpa pamrih dan sabar membantu penulis dalam penelitian ini.
14. Teman-teman “YTTA” Allan, Dhira, Agil, dan Tama yang telah menjadi pendengar dan pemberi saran yang baik untuk penulis.
15. Seluruh staf dan manajemen “Narawita” (Ando, Rara, Tara, Pak Tris, Dika, Diki, Aca, Arif, Kobar, Ayana, Farah, Jeki) terima kasih telah menemani penulis dan membantu penulis selama proses penyusunan skripsi dari awal hingga akhir.
16. Anak-anak bimbingan Ibu Imelda (Della, Azmi dan Wiwin) telah memberi dukungan dalam penyusunan skripsi.
17. Untuk teman-teman Xenon. Sungguh terima kasih yang sebesar-besarnya.
18. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.

Demi kesempurnaan skripsi ini, kritik dan saran sangat penulis harapkan. Penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan secara umum dan kimia secara khusus.

Yogyakarta, 23 Agustus 2026

Nurmasdi Ridhani
22106030030

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR ..... **iii**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ..... **iv**

HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vi**

KATA PENGANTAR ..... **vii**

DAFTAR ISI ..... **ix**

DAFTAR GAMBAR ..... **xii**

DAFTAR TABEL ..... **xiv**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xv**

ABSTRAK ..... **xvi**

ABSTRACT ..... **xvii**

BAB I PENDAHULUAN **1**

A. Latar Belakang 1

B. Batasan Masalah 4

C. Rumusan Masalah 5

D. Tujuan Penelitian 5

E. Manfaat Penelitian 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI **7**

A. Tinjauan Pustaka 7

B. Landasan Teori 12

1. Kulit Jagung 12

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

2. Metode Sol-gel 13
3. Silika Xerogel 16
4. Malachite Green 17
5. Adosrpsi 20
6. Kinetika Adsorpsi 21
7. Isoterm Adsorpsi 23
8. FTIR (Fourier Transform Infrared) 24
9. XRD (X-ray Diffraction) 26
10. BET (Brunauer Emmett-Teller) 27
11. UV-Visible 28
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis Penelitian 30
BAB III METODE PENELITIAN 33
A. Waktu dan Tempat Penelitian 33
B. Alat-alat Penelitian 33
C. Bahan Penelitian 33
D. Cara Kerja Penelitian 34
1. Preparasi Silika Xerogel dari Kulit Jagung 34
2. Penentuan Panjang gelombang maksimum malachite green 34
3. Pembuatan kurva standar larutan standar malachite green 35
4. Penentuan pH optimum adsorpsi malachite green 35
5. Penentuan waktu kontak optimum adsorpsi malachite green 35
6. Penentuan konsentrasi awal adsorpsi malachite green 36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 37

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

A. Karakterisasi Material Silika Xerogel 37
1. Hasil Karakterisasi FTIR 37
2. Hasil Karakterisasi XRD 39
3. Hasil Karakterisasi BET 41
B. Hasil Uji Aktivitas Adsorpsi 43
1. Puncak Serapan *Malachite Green* 44
2. Uji Adsorpsi Variasi pH 46
3. Uji Adsorpsi Variasi Waktu Kontak 49
4. Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi *Malachite Green* 51
C. Kinetika Adsorpsi 53
D. Isoterm Adsorpsi Larutan Malachite Green pada Silika Xerogel 56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 60
A. Kesimpulan 60
B. Saran 61
DAFTAR PUSTAKA 62
LAMPIRAN 72

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi berbagai tahapan sol-gel dan produk akhir (Brinker, 1994)..... 14

Gambar 2.2 Mekanisme reaksi pembentukan silika xerogel (Gosiamemang et al., 2025; Vallet-Regí et al., 2022)..... 15

Gambar 2.3 Struktur kimia Malachite green (Gaminda et al., 2023)..... 18

Gambar 2.4 Reaksi Malachite green dalam suasana basa (Soria-Lopez et al., 2024). 19

Gambar 2.5 Mekanisme proses adsorpsi (AlAqad et al., 2025) 20

Gambar 2.6 Ilustrasi proses adsorpsi berdasarkan model isotherm (Nandiyanto et al., 2020) 23

Gambar 4.1 Profil spektrum FTIR silika xerogel pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} 38

Gambar 4.2 Hasil analisis XRD silika xerogel 40

Gambar 4.3 Isoterm adsorpsi–desorpsi N2 silika xerogel dari kulit jagung 42

Gambar 4.4 Kurva puncak serapan zat warna Malachite Green yang diukur dengan spektrofotemeter UV-Vis..... 44

Gambar 4.5 Kurva standar malachite green 45

Gambar 4.6 Perubahan visual larutan malachite green pada berbagai pH, (a) sebelum perubahan pH, (b) 15 menit setelah perubahan pH, (c) 60 menit setelah perubahan pH 47

Gambar 4.7 Grafik uji adsorpsi silika xerogel pada variasi ph, (a) efisiensi penyisihan, (b) kapasitas adsropsi 48

Gambar 4.8 Grafik hasil uji variasi waktu kontak malachite green dengan silika xerogel, (a) efisiensi penyisihan, (b) kapasitas adsorpsi..... 50

Gambar 4.9 Grafik hasil uji variasi konsentrasi zat warna malachite green dengan silika xerogel, (a) efisiensi penyisihan, (b) kapasitas adsorpsi. 52

Gambar 4.10 Grafik kinetika adsorpsi, (a) pseudo orde satu, (b) pseudo orde dua 54

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Gambar 4.11 Grafik model isotherm Langmuir 57

Gambar 4.12 Grafik model isotherm Frendlich 58

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan FTIR hasil silika xerogel dari abu kulit jagung dengan bebrapa penelitian sebelumnya 38

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian 72
Lampiran 2. Data FTIR 73
Lampiran 3. Diffaktogram XRD silika xerogel 74
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi BET 75
Lampiran 5 Pengukuran Panjang gelombang maksimum 76
Lampiran 6. Pengukuran kurva standar zat warna 77
Lampiran 7. Penentuan pH optimum 78
Lampiran 8. Penentuan waktu optimum 79
Lampiran 9. Penentuan konsentrasi optimum 81
Lampiran 10. Kinetika penentuan orde laju 82
Lampiran 11. Grafik isoterm Langmuir dan Freundlich 83

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ABSTRAK

Sintesis dan Karakterisasi Silika Xerogel dari Abu Kulit Jagung (*Zea mays L.)* Melalui Metode Sol-Gel Serta Studi Adsorpsi Zat Warna Malachite Green

Oleh:

Nurmasdi Ridhani

22106030030

Pembimbing:

Dr. Imelda Fajriati, M.Si

Pertumbuhan industri tekstil menghasilkan limbah cair yang mengandung pewarna kationik beracun seperti malachite green (MG). Upaya penanganan limbah tersebut dapat dilakukan melalui metode adsorpsi menggunakan material ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis silika xerogel dari abu kulit jagung (Zea mays L.) melalui metode sol-gel dan mengaplikasikannya sebagai adsorben zat warna MG. Silika xerogel hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan instrumen Fourier Transform Infrared (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), dan Brunauer-Emmett-Teller (BET), sedangkan aktivitas adsorpsinya dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil karakterisasi FTIR mengonfirmasi terbentuknya kerangka silika dengan keberadaan situs aktif gugus silanol (Si–OH) dan siloksan (Si–O–Si). Analisis XRD menunjukkan bahwa material ini memiliki struktur yang dominan amorf (94,2%) dengan puncak difraksi melebar pada sudut 2θ 22,36°. Hasil uji BET memverifikasi karakteristik mesopori pada silika xerogel, yang ditandai dengan luas permukaan spesifik sebesar 336,45 m²/g, volume pori total 0,7076 cc/g, dan diameter pori rata-rata 8,41 nm. Pada uji aktivitas adsorpsi, kondisi operasional optimum untuk menyisihkan malachite green tercapai pada suasana larutan pH 5 dan waktu kontak selama 15 menit. Peningkatan konsentrasi awal zat warna dari 5 hingga 25 ppm secara linear mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi adsorben dari 4,28 mg/g menjadi 22,25 mg/g, dengan mempertahankan efisiensi penyisihan yang sangat tinggi pada kisaran 92,21% hingga 95,81%. Studi kinetika menunjukkan bahwa laju penyerapan zat warna paling sesuai dengan model pseudo-orde dua ($R^2 = 0,994$), yang mengindikasikan bahwa proses dikendalikan oleh mekanisme kemisorpsi melalui gaya tarik elektrostatik. Sementara itu, pola kesetimbangan adsorpsi mematuhi model isoterm Freundlich ($R^2 = 0,8995$; $n = 1,286$), yang membuktikan terjadinya penyerapan secara berlapis (multilayer) pada permukaan adsorben yang heterogen dengan kondisi favorable. Hasil keseluruhan mengonfirmasi bahwa silika xerogel dari abu kulit jagung memiliki performa struktural dan kapasitas serapan yang unggul, sehingga sangat prospektif digunakan sebagai adsorben alternatif untuk remediasi limbah pewarna kationik.

Kata Kunci: silika xerogel, abu kulit jagung, sol-gel, adsorpsi, *malachite green.*

ABSTRACT

Synthesis and Characterization of Silica Xerogel from Corn Husk Ash (Zea mays L.) through the Sol–Gel Method and Adsorption Study of Malachite Green

By:

Nurmasdi Ridhani

22106030030

Advisor:

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.

The growth of the textile industry generates wastewater containing toxic cationic dyes such as malachite green (MG). Efforts to treat this wastewater can be carried out through the adsorption method using eco-friendly materials. This study aims to synthesize silica xerogel from corn husk ash (Zea mays L.) via the sol-gel method and apply it as an adsorbent for MG dye. The synthesized silica xerogel was characterized using Fourier Transform Infrared (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), and Brunauer-Emmett-Teller (BET) instruments, while its adsorption activity was analyzed using a UV-Vis spectrophotometer. FTIR characterization results confirmed the formation of a silica framework with the presence of active silanol (Si–OH) and siloxane (Si–O–Si) sites. XRD analysis showed that the material has a predominantly amorphous structure (94.2%) with a broad diffraction peak at an angle of 2θ 22.36°. BET testing verified the mesoporous characteristics of the silica xerogel, highlighted by a specific surface area of 336.45 m²/g, a total pore volume of 0.7076 cc/g, and an average pore diameter of 8.41 nm. In the adsorption activity test, the optimum operational conditions for removing malachite green were achieved at pH 5 and a contact time of 15 minutes. Increasing the initial dye concentration from 5 to 25 ppm linearly increased the adsorbent's capacity from 4.28 mg/g to 22.25 mg/g, while maintaining a very high removal efficiency in the range of 92.21% to 95.81%. Kinetic studies revealed that the dye adsorption rate best fitted the pseudo-second-order model ($R^2 = 0.994$), indicating that the process is controlled by a chemisorption mechanism via electrostatic attraction. Meanwhile, the adsorption equilibrium pattern obeyed the Freundlich isotherm model ($R^2 = 0.8995$; $n = 1.286$), demonstrating favorable multilayer adsorption on a heterogeneous adsorbent surface. Overall results confirm that corn husk ash silica xerogel possesses excellent structural performance and adsorption capacity, making it highly prospective as an alternative adsorbent for cationic dye wastewater remediation

Keywords: silica xerogel, corn husk ash, sol-gel, adsorption, malachite green.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Komoditas tekstil merupakan barang yang tidak akan pernah hilang dari kebutuhan dasar bagi manusia. Industri tekstil akan tetap bertahan dan berkembang seiring dengan kebutuhan dan *trend fashion* yang hidup di Indonesia. Industri tekstil menghasilkan air limbah dalam jumlah besar, terutama selama proses pewarnaan dengan konsumsi sekitar 100 – 200 liter air untuk tiap kilogram produk jadi yang memiliki warna mencolok (Nurisni *et al*., 2024). Air limbah dari industri tekstil, khususnya proses pewarnaan umumnya mengandung warna yang kuat, alkalinitas dan senyawa terklorinasi yang tinggi, memiliki konsentrasi kimia organik dan non organik yang tinggi dengan dicirikan dengan kandungan COD, BOD, TDS dan TSS yang tinggi serta pH yang berfluktuasi (Yaseen & Scholz, 2019).

Salah satu pigmen warna yang umumnya digunakan dalam industri tekstil, percetakan dan fotografi adalah *malachite green* (MG). *Malachite green* adalah zat warna sintetik triphenylmethane bersifat kationik yang juga biasanya dimanfaatkan sebagai antibakteri dan antiparasit di sistem akuakultur (Bian *et al*., 2025). Zat warna ini bersifat karsinogenik, mutagenik, dan teratogenik, serta sangat sulit didegradasi secara biologis sehingga menimbulkan ancaman serius bagi ekosistem perairan dan kesehatan manusia jika dibuang ke sistem perairan. Malachite green memiliki karakteristik berbentuk serbuk kristalin berwarna hijau

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

yang larut dalam udara dengan berat molekul 365 g/mol (Raval *et al*., 2017). MG bersifat genotoksik dan mampu merusak hati, limpa, ginjal, serta sistem saraf, sehingga banyak negara memberlakukan regulasi ketat atau melarang penggunaannya. Pembuangan zat warna ini ke perairan juga dapat mengurangi penetrasi cahaya dan mempengaruhi fotosintesis organisme akuatik (Swan & Zaini, 2019).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menangani pencemaran limbah zat warna, meliputi adsorpsi, pertukaran ion, oksidasi, dan proses elektrokimia, namun sebagian metode tersebut masih dibatasi proses yang lebih kompleks dan biaya relatif tinggi (Yilmaz & Sezgin, 2024). Analisis ini menunjukkan bahwa adsorpsi adalah metode yang paling mudah, ramah lingkungan, ekonomis dan berkelanjutan untuk mengolah air limbah secara bermakna untuk mengurangi limbah air yang mengandung zat warna termasuk *malachite green* (Dutta *et al*., 2024; Swan & Zaini, 2019). Secara mendasar, adsorpsi melibatkan dua komponen utama, yaitu adsorbat (bahan yang diserap) dan adsorben (permukaan aktif yang menyerap) (Ardiyanti *et al.*, 2023). Proses ini mengikat polutan melalui berbagai interaksi permukaan, termasuk gaya elektrostatik, ikatan hidrogen, pertukaran ion dan pengisian pori (*pore filling*) (Aljohani *et al.*, 2023). Proses ini memanfaatkan interaksi antara molekul adsorbat (zat warna kationik) dengan situs aktif pada permukaan adsorben, yang dapat berlangsung melalui mekanisme fisik (fisisorpsi) maupun kimia (kemisorpsi) (Abewaa *et al.*, 2023). Selain interaksi elektrostatik, mekanisme

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

adsorpsi MG juga dapat melibatkan ikatan hidrogen, pertukaran ion, interaksi π–π, dan difusi intrapartikel (Manzar *et al*., 2025). Studi termodinamika secara umum menunjukkan bahwa adsorpsi MG bersifat spontan dan endotermik (Abewaa *et al*., 2023).

Silika xerogel menjanjikan sebagai adsorben *malachite green* karena memiliki luas permukaan dan volume pori tinggi, ukuran pori yang dapat disesuaikan, serta stabilitas dan toksisitas lingkungan yang rendah. (Yilmaz & Sezgin, 2024). Kulit jagung kaya silika dan terbarukan, sehingga silika xerogel berbasis abu kulit jagung berpotensi sebagai adsorben ramah lingkungan sekaligus meningkatkan nilai guna limbah pertanian. (Dahliyanti *et al*., 2022). Silika xerogel kulit jagung berhasil disintesis melalui metode sol-gel dan berpotensi sebagai adsorben berbiaya rendah untuk zat warna kationik. Material ini bersifat amorf dan mesopori, dengan luas permukaan BET 363,72 m^2/g dan diameter pori rata-rata 6,35 nm, yang mendukung adsorpsi molekul zat warna. Gugus silanol (Si–OH) pada permukaannya berperan sebagai situs aktif dalam interaksi dengan zat warna kationik melalui interaksi elektrostatik (Dahliyanti *et al*., 2022).

Berdasarkan pemaparan sebelumnya, penelitian ini difokuskan pada sintesis dan karakterisasi silika xerogel berbahan dasar abu kulit jagung (*Zea mays* L.) melalui metode sol-gel untuk diaplikasikan sebagai adsorben zat warna *malachite green*. Selain melihat karakteristik fisikokimia material yang dihasilkan, penelitian ini juga mengkaji kinerja adsorpsi silika xerogel terhadap

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

variasi kondisi operasional, yakni pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi awal zat warna. Variasi waktu kontak tidak hanya digunakan untuk mencari kondisi waktu optimum, tetapi juga untuk menentukan laju kecepatan reaksi melalui uji kinetika adsorpsi. Sementara itu, data variasi konsentrasi awal akan diaplikasikan untuk menganalisis kapasitas serapan maksimal dan pola distribusi molekul melalui pemodelan isoterm adsorpsi.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Silika xerogel disintesis dari abu kulit jagung (Zea mays L.) menggunakan metode sol–gel.
2. Silika Xerogel dari abu kulit jagung dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared), XRD (X–Ray Diffraction), dan BET (Brunauer–Emmett–Teller).
3. Uji adsorpsi dilakukan dengan menggunakan larutan malachite green sebagai adsorbat dengan parameter variasi waktu kontak, konsentrasi larutan, dan pH larutan.
4. Kajian mekanisme penyerapan difokuskan pada penentuan laju kinetika adsorpsi (model pseudo-orde satu dan dua) serta pemodelan isoterm adsorpsi (model Langmuir dan Freundlich)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik silika xerogel dari abu kulit jagung (Zea mays L.) melalui metode sol–gel menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared), XRD (X–Ray Diffraction), dan BET (Brunauer–Emmett–Teller)?
2. Bagaimana kinerja adsorpsi silika xerogel dalam menyerap *malachite green* yang dipengaruhi oleh variasi pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi awal, serta bagaimana kesesuaian model kinetika dan isoterm adsorpsinya?

D. Tujuan Penelitian

Merujuk pada latar belakang dan rumusan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik silika xerogel dari abu kulit jagung (Zea mays L.) melalui metode sol–gel yang dihasilkan dengan menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared), XRD (X–Ray Diffraction), dan BET (Brunauer–Emmett–Teller).
2. Menganalisis kinerja adsorpsi silika xerogel terhadap *malachite green* pada kondisi variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal, sekaligus mengevaluasi mekanisme penyerapannya melalui pemodelan kinetika dan isoterm adsorpsi

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan tentang preparasi dan karakterisasi silika xerogel dari abu kulit jagung (Zea mays L.) melalui metode sol–gel serta studi adsorpsi malachite green, serta kemampuannya dalam mengadsorpsi zat warna malachite green.
2. Memberi alternatif solusi pengolahan limbah zat warna tekstil yang murah dan berbasis limbah pertanian; menambah nilai guna limbah kulit jagung yang selama ini belum banyak dimanfaatkan.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sintesis silika xerogel dari abu kulit jagung melalui metode sol-gel telah berhasil dilakukan dan menghasilkan material berfasa dominan amorf (94,2%). Keberadaan gugus silanol (Si–OH) dan kerangka siloksan (Si–O–Si) terkonfirmasi melalui spektrum FTIR. Silika xerogel yang disintesis diklasifikasikan sebagai material mesopori dengan luas permukaan spesifik yang tergolong tinggi, yakni sebesar 336,45 m^2/g, volume pori total 0,7076 cc/g, dan rata-rata diameter pori 8,41 nm.
2. Kinerja adsorpsi silika xerogel terhadap malachite green mencapai kondisi optimum pada pH 5 dan waktu kontak selama 15 menit. Peningkatan konsentrasi awal (5 hingga 25 ppm) mampu meningkatkan kapasitas serapan secara linear hingga 22,25 mg/g dan mempertahankan efisiensi penyisihan (92,21%–95,81%). Berdasarkan evaluasi mekanisme penyerapannya, laju reaksi sesuai dengan model kinetika pseudo-orde dua (R^2 = 0,994). Sementara itu, pola kesetimbangan adsorpsinya mematuhi model isoterm Freundlich (R^2 = 0,8995), yang menunjukkan bahwa malachite green diserap secara berlapis (multilayer) pada permukaan silika yang heterogen

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

B. Saran

Saran yang diusulkan untuk perbaikan dan pengembangan penelitian selanjutnya terkait penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Disarankan untuk melakukan karakterisasi instrumen pada silika xerogel setelah proses adsorpsi (*post-adsorption*) menggunakan FTIR atau SEM, guna mengonfirmasi secara visual dan struktural terjadinya ikatan antara molekul *malachite green* dengan situs aktif adsorben.
2. Perlu dilakukan uji desorpsi (pelepasan kembali zat warna) serta siklus regenerasi adsorben untuk mengevaluasi stabilitas kerangka material dan kelayakannya untuk digunakan secara berulang (*reusable*).

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR PUSTAKA

Abdulla, N. K., Alzahrani, E. A., Munshi, G. H., AL-Balawi, A. M., Al-Malwi, S. D., Alsebaii, N. M., Hafeez, S., Oh, S., & Chaudhry, S. A. (2026). Manganese Ferrite/Guava Leaf Nano-Bio Composite for Adsorptive Removal of Methylene Blue Dye from Water. *Molecules*, *31*(10), 1–23. https://doi.org/10.3390/molecules31101754

Abewaa, M., Mengistu, A., Takele, T., Fito, J., & Nkambule, T. (2023). Adsorptive removal of malachite green dye from aqueous solution using Rumex abyssinicus derived activated carbon. *Scientific Reports*, *13*(1), 1–16. https://doi.org/10.1038/s41598-023-41957-x

Adnan, Nisar, Shah, R., Zada, F. M., Khan, B., Aziz, S., Ur Rehman, N., Soonmin, H., Ahmad, N., Khan, M., & Hanzala. (2024). Novel Ni/ZnO Nanocomposites for the Effective Photocatalytic Degradation of Malachite Green Dye. *Civil Engineering Journal (Iran)*, *10*(8), 2601–2614. https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-08-011

Akhtar, M. S., Ali, S., & Zaman, W. (2024). Innovative Adsorbents for Pollutant Removal: Exploring the Latest Research and Applications. *Molecules*, *29*(18), 1–37. https://doi.org/10.3390/molecules29184317

Al-Kelani, M., & Buthelezi, N. (2024). Advancements in medical research: Exploring Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy for tissue, cell, and hair sample analysis. *Skin Research and Technology*, *30*(6), 1–13. https://doi.org/10.1111/srt.13733

AlAqad, K. M., Abdelnaby, M. M., Tanimu, A., Abdulazeez, I., & Elsharif, A. M. (2025). Adsorbent materials for water treatment: A review of current trends and future challenges. *Environmental Pollution and Management*, *2*(December 2024), 1–13. https://doi.org/10.1016/j.epm.2024.12.003

Aljohani, M. M., Al-Qahtani, S. D., Alshareef, M., El-Desouky, M. G., El-Bindary, A. A., El-Metwaly, N. M., & El-Bindary, M. A. (2023). Highly efficient adsorption and removal bio-staining dye from industrial wastewater onto mesoporous Ag-MOFs. *Process Safety and Environmental Protection*, *172*, 395–407. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.02.036

Ardiyanti, A., Suprapto, S., & Ni'mah, Y. L. (2023). Malachite Green Adsorption Using Carbon-Based and Non-Conventional Adsorbent Made from Biowaste and Biomass: A Review. *Journal of Renewable Materials*, *11*(11), 3789–3806.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

https://doi.org/10.32604/jrm.2023.031354

Bardestani, R., Patience, G. S., & Kaliaguine, S. (2019). Experimental methods in chemical engineering: specific surface area and pore size distribution measurements—BET, BJH, and DFT. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, *97*(11), 2781–2791. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cjce.23632

Bian, Y., Zhang, Y., Chen, Z. yi, Xu, L., Zhang, C. yu, Shi, D., Feng, X. song, & Wang, X. qing. (2025). Malachite green in environmental samples: Updates on sources, fates, distribution and removal techniques. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *303*(September). https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118978

Boucherdoud, A., Dahmani, K., Seghier, A., Douinat, O., Kherroub, D. E., & Bestani, B. (2024). Experimental exploration and DFT analysis of the kinetics and mechanism of malachite green photodegradation catalyzed by polyaniline-copper oxide nanocomposite. *Journal of Molecular Modeling*, *30*(7), 235. https://doi.org/10.1007/s00894-024-06039-3

Brinker, C. J. (1988). Hydrolysis and condensation of silicates: Effects on structure. *Journal of Non-Crystalline Solids*, *100*(1–3), 31–50. https://doi.org/10.1016/0022-3093(88)90005-1

Brinker, C. J. (1994). Sol—Gel Processing of Silica. In H. E. Bergna (Ed.), *The Colloid Chemistry of Silica* (Vol. 234, pp. 361–401). American Chemical Society. https://doi.org/10.1021/ba-1994-0234.ch018

Chen, X., Hui, Y., Cheng, S., Wen, K., Zhang, J., Zhang, J., Wang, Y., Wang, X., Li, B., & Shao, J. (2022). Constructing a Porous Structure on the Carbon Fiber Surface for Simultaneously Strengthening and Toughening the Interface of Composites. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *15*(1), 2437–2448. https://doi.org/10.1021/acsami.2c18632

Dahliyanti, A., Yunitama, D. A., Rofiqoh, I. M., & Mustapha, M. (2022). Synthesis and characterization of silica xerogel from corn husk waste as cationic dyes adsorbent. *F1000Research*, *11*, 305. https://doi.org/10.12688/f1000research.75979.1

Dubey, S., Mishra, R. K., Kaya, S., Rene, E. R., Giri, B. S., & Sharma, Y. C. (2024). Microalgae derived honeycomb structured mesoporous diatom biosilica for adsorption of malachite green: Process optimization and modeling. *Chemosphere*, *355*(March). https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141696

Dutta, L., Sethi, G. K., & Dey, S. (2024). A Comprehensive and Critical Assessment

on the Efficiency of Natural and Synthetic Adsorbents for the Removal of Recalcitrant Malachite Green from Water: Present Level and Future Perspectives. *Korean Journal of Chemical Engineering*, *41*, 589–607. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:267731847

Eid, M. M. (2021). Characterization of Nanoparticles by FTIR and FTIR-Microscopy. In *Handbook of Consumer Nanoproducts* (pp. 1–30). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6453-6_89-1

Emrie, D. B. (2024). Sol–Gel Synthesis of Nanostructured Mesoporous Silica Powder and Thin Films. *Journal of Nanomaterials*, *2024*(6109770), 1–16. https://doi.org/10.1155/2024/6109770

Ergüt, M., & Özer, A. (2024). Effective adsorption of malachite green with silica gel supported iron-zinc bimetallic nanoparticles. *Turkish Journal of Engineering*, *8*(3), 510–523. https://doi.org/10.31127/tuje.1413970

Fathurrahman, M., Taufiq, A., Widiastuti, D., & Hidayat, F. D. F. (2020). Sintesis dan karakterisasi silika gel dari abu tongkol jagung sebagai adsorben ion logam cu(ii). *Jurnal Kartika Kimia*, *3*(2), 89–95.

Friese, M. A., Banerjee, S., & Mangin, P. J. (1995). FT-IR Spectroscopy. In T. E. Conners & S. Banerjee (Eds.), *Surface Analysis of Paper* (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780429279997

Gaminda, K. A. P., Thomas, I. B. K., Abeysinghe, D. T., Jayasinghe, C. D., & Senthilnithy, R. (2023). Degradation of Malachite Green using Green Synthesized Iron Nanoparticles by Coffea arabica Leaf Extracts and its Antibacterial Activity. *KDU Journal of Multidisciplinary Studies*, *5*(2), 45–55. https://doi.org/10.4038/kjms.v5i2.76

Gandhi, K., Sharma, N., Gautam, P. B., Sharma, R., Mann, B., & Pandey, V. (2022). Infrared (IR) Spectroscopy. In *Advanced Analytical Techniques in Dairy Chemistry* (pp. 177–198). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1940-7_9

Gosiamemang, T., Law, R. V, & Heng, J. Y. Y. (2025). Effects of base catalyst on the physicochemical properties and surface reactivity of silica nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *707*, 135783. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135783

Guzel Kaya, G., Yilmaz, E., & Deveci, H. (2019). A novel silica xerogel synthesized from volcanic tuff as an adsorbent for high-efficient removal of methylene blue: parameter optimization using Taguchi experimental design. *Journal of Chemical*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Technology and Biotechnology, *94*(8), 2729–2737. https://doi.org/10.1002/jctb.6089

Han, Y., Zhang, L., & Yang, W. (2024). Synthesis of Mesoporous Silica Using the Sol–Gel Approach: Adjusting Architecture and Composition for Novel Applications. *Nanomaterials*, *14*(11), 903. https://doi.org/10.3390/nano14110903

Hoerudin, Setyawan, N., Suismono, Purwaningsih, H., & Apriliani, N. (2022). Morphology, Extraction Yield, and Properties of Biogenic Silica Nanoparticles from Indonesian Rice Husk as Influenced by Solvent Type and Aging Time. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1024*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1024/1/012076

Humelnicu, I., Băiceanu, A., Ignat, M.-E., & Dulman, V. (2017). The removal of Basic Blue 41 textile dye from aqueous solution by adsorption onto natural zeolitic tuff: Kinetics and thermodynamics. *Process Safety and Environmental Protection*, *105*, 274–287. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.11.016

Imoisili, P. E., Ukoba, K. O., & Jen, T. C. (2020). Green technology extraction and characterisation of silica nanoparticles from palm kernel shell ash via sol-gel. *Journal of Materials Research and Technology*, *9*(1), 307–313. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.059

Irwansyah, F. S., Amal, A. I., Diyanthi, E. W., Hadisantoso, E. P., Noviyanti, A. R., Eddy, D. R., & Risdiana, R. (2024). How to Read and Determine the Specific Surface Area of Inorganic Materials using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, *4*(1), 61–70. https://doi.org/10.17509/ajse.v4i1.60748

Jana, Shyamal, & Bhunia, Kamalendu. (2025). Malachite Green Degradation by Photocatalysis: Kinetics and Mechanism Using Sol–Gel Synthesized Nano-Titania. *Environmental Engineering Science*, *42*(8), 340–353. https://doi.org/10.1089/ees.2024.0381

Jaturapiree, A. (2024). *Dye wastewater treatment with rice husk - derived silica xerogel : An eco - friendly process*. *9411*, 1213–1221.

Jomardani, F., shakeri, R., Akbarzadeh, R., & Kokhdan, S. N. (2026). Adsorption kinetics and isotherms of malachite green removal from aqueous solution using TiO2 loaded on f-MWCNTs nanocomposite. *Scientific Reports*, *16*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-026-38582-9

Joseph, C. G., Hwa, T. S., Masjidin, N. N. D., Maruja, S. N., Affandi, N. A., & Anisuzzaman, S. M. (2025). Treatment of Malachite Green Dye-Contaminated

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Wastewater via Photolysis Treatment Process. *Malaysian Journal of Chemistry*, *27*(2), 131–147. https://doi.org/10.55373/mjchem.v27i2.131

Khadijah, M., & Sulastri, S. (2017). Isoterm Adsorpsi Kation Mg(II) oleh Silika Gel dari Bagasse Tebu. *Universitas Negeri Yogyakarta*, *6*(3), 90–97.

Khedkar, M. V, Somvanshi, S. B., Humbe, A. V, & Jadhav, K. M. (2019). Surface modified sodium silicate based superhydrophobic silica aerogels prepared via ambient pressure drying process. *Journal of Non-Crystalline Solids*, *511*, 140–146. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2019.02.004

Kundari, N. A., Megasari, K., & Yusephin, C. (2020). Kinetics Adsorption of Strontium(II) by Silica Xerogel from Fly Ash. *Journal of Physics: Conference Series*, *1494*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1494/1/012024

Lagos, M., Paredes, R., & Retamal, C. (2018). Fourier Transform Spectrometry with Fourier Analysis of the Interferogram as Just an Optional Tool. *ACS Omega*, *3*(12), 18258–18262. https://doi.org/10.1021/acsomega.8b02914

Lee, C. H., Khalina, A., & Lee, S. H. (2021). Importance of interfacial adhesion condition on characterization of plant-fiber-reinforced polymer composites: A review. *Polymers*, *13*(3), 1–22. https://doi.org/10.3390/polym13030438

Lee, Y. C., Kim, J. Y., & Shin, H. J. (2013). Removal of Malachite Green (MG) From Aqueous Solutions by Adsorption, Precipitation, and Alkaline Fading Using Talc. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, *48*(7), 1093–1101. https://doi.org/10.1080/01496395.2012.723100

Lumbanraja, S., Nainggolan, H., & Sitohang, C. (2019). Improving Porosity of Glycerol-plated Silica from Rice Husk Silica. *Journal of Chemical and Natural Resources Improving*, *01*(02), 88–97.

Manzar, M. S., Zubair, M., Alshabib, M., Khan, A. H., Alhajri, E. G., Alakhras, F., Nawaz, M., Odeh, J. A. S., Çevik, E., Franco, D. S. P., & Georgin, J. (2025). Modification of volcanic ash for enhanced removal of malachite green: a complete batch adsorption study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *22*(7), 5665–5682. https://doi.org/10.1007/s13762-024-05976-z

Maseko, N. N., Enke, D., Iwarere, S. A., Oluwafemi, O. S., & Pocock, J. (2023). Synthesis of Low Density and High Purity Silica Xerogels from South African Sugarcane Leaves without the Usage of a Surfactant. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(5). https://doi.org/10.3390/su15054626

Matinfar, M., & Nychka, J. A. (2024). Process Mapping of the Sol–Gel Transition in

Acid-Initiated Sodium Silicate Solutions. *Gels*, *10*(10), 673. https://doi.org/10.3390/gels10100673

Melde, B. J., Johnson, B. J., & Charles, P. T. (2008). Mesoporous Silicate Materials in Sensing. *Sensors*, *8*(8), 5202–5228. https://doi.org/10.3390/s8085202

Mhalshekar, K., Selvam, S., Sahoo, A., Illa, M. P., Gaydhane, M., & Sontakke, S. (2025). Efficient Photocatalytic Degradation of Malachite Green and Cr(VI) Using Co-MOF and Bacterial Cellulose@Co-MOF Biocomposite: A Green Approach [Research-article]. *ACS Omega*, *10*(39), 45965–45981. https://doi.org/10.1021/acsomega.5c06750

Miftahurrahmi, M., Sanjaya, H., Oktavia, B., & Nizar, U. K. (2023). Degradasi Zat Warna Malachite Green Menggunakan Katalis TiO2 dengan Metode Fotolisis. *Periodic*, *12*(3), 71. https://doi.org/10.24036/periodic.v12i3.118388

Minju, N., Nair, B. N., & Savithri, S. (2021). Sodium silicate-derived aerogels: Effect of processing parameters on their applications. *RSC Advances*, *11*(25), 15301–15322. https://doi.org/10.1039/d0ra09793d

Mortazavi, S., Sillanpää, M., & Najafi, E. (2025). Removal of methylene blue and basic blue 41 from aqueous solutions using silica fume: A central composite design approach. *Results in Chemistry*, *18*(October). https://doi.org/10.1016/j.rechem.2025.102768

Moustafa, M. T. (2023). Preparation and characterization of low-cost adsorbents for the efficient removal of malachite green using response surface modeling and reusability studies. *Scientific Reports*, *13*, 4493. https://doi.org/10.1038/s41598-023-31391-4

Muinde, V. M., Onyari, J. M., Wamalwa, B., Wabomba, J., & Nthumbi, R. M. (2017). Adsorption of Malachite Green from Aqueous Solutions onto Rice Husks: Kinetic and Equilibrium Studies. *Journal of Environmental Protection*, *08*(03), 215–230. https://doi.org/10.4236/jep.2017.83017

Murphy, O. P., Vashishtha, M., Palanisamy, P., & Kumar, K. V. (2023). A Review on the Adsorption Isotherms and Design Calculations for the Optimization of Adsorbent Mass and Contact Time. *ACS Omega*, *8*(20), 17407–17430. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c08155

N., M., Nair, B. N., & S., S. (2021). Sodium silicate-derived aerogels: effect of processing parameters on their applications. *RSC Advances*, *11*(25), 15301–15322. https://doi.org/10.1039/D0RA09793D

Nada, A., Arpy, A., Tsagifa, F. H., Nasra, E., & Gemasih, M. I. S. (2026). Sintesis Dan Karakterisasi Silika Xerogel Dari Abu Cangkang Sawit Serta Penentuan Luas Permukaannya Menggunakan Metode Adsorpsi Metilen Biru. *Masaliq*, *6*(1), 518–531. https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i1.8940

Naifar, A., Oueslati, K., Lima, E. C., Aouaini, F., & Ben Lamine, A. (2025). In-Depth Study of Captopril Adsorption on a Biosourced Adsorbent: Statistical Physics Approach and Pore Characterization, with Modeling of Adsorption Isotherms, Energetic and Steric Analysis [Research-article]. *Langmuir*, *41*(25), 16115–16127. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5c01235

Nandiyanto, A. B. D., Santiuly Girsang, G. C., Maryanti, R., Ragadhita, R., Anggraeni, S., Fauzi, F. M., Sakinah, P., Astuti, A. P., Usdiyana, D., Fiandini, M., Dewi, M. W., & Al-Obaidi, A. S. M. (2020). Isotherm adsorption characteristics of carbon microparticles prepared from pineapple peel waste. *Communications in Science and Technology*, *5*(1), 31–39. https://doi.org/10.21924/cst.5.1.2020.176

Nazriati, N., Azhar, I. M., & Kusumaningrum, I. K. (2026). Adsorption of Malachite Green Dye onto Bagasse Ash-Based Silica Aerogel/MgO Composite: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Studies. *Science and Technology Indonesia*, *11*(3), 1241–1256. https://doi.org/10.26554/sti.2026.11.3.1241-1256

Nurisni, N., Riani, E., & Anwar, S. (2024). Efisiensi Penghilangan Polutan Air Limbah dari Kegiatan Pewarnaan di Industri Tekstil Studi Kasus PT ABC. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *22*(6), 1615–1625. https://doi.org/10.14710/jil.22.6.1615-1625

Obada, D. O., Dodoo-Arhin, D., Dauda, M., Anafi, F. O., Ahmed, A. S., Ajayi, O. A., & Samotu, I. A. (2016). Effect of mechanical activation on mullite formation in an alumina-silica ceramics system at lower temperature. *World Journal of Engineering*, *13*(4), 288–293. https://doi.org/10.1108/WJE-08-2016-039

Onyedika, T. E., Xu, M., Deng, Y., Liu, Y., Li, L., Tremblay, P. L., & Zhang, T. (2023). The Quick Removal of Toxic Dye Molecules by an Efficient Adsorptive BiOI/Bi2MoO6 Heterostructure. *Catalysts*, *13*(3), 1–13. https://doi.org/10.3390/catal13030457

Osterrieth, J. W. M., Rampersad, J., Madden, D., Rampal, N., Skoric, L., Connolly, B., Allendorf, M. D., Stavila, V., Snider, J. L., Ameloot, R., Marreiros, J., Ania, C., Azevedo, D., Vilarrasa-Garcia, E., Santos, B. F., Bu, X. H., Chang, Z., Bunzen, H., Champness, N. R., … Fairen-Jimenez, D. (2022). How Reproducible are Surface Areas Calculated from the BET Equation? *Advanced Materials*, *34*(27). https://doi.org/10.1002/adma.202201502

Parsafard, N., & Shoorgashti, Z. (2024). The effect of transition metal oxides in the

STATE ISLAMIC UNIVERSITY SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

La/TiO2 structure for the photocatalytic degradation of malachite green under UV and visible light irradiation. *Applied Water Science*, *14*(10), 1–12. https://doi.org/10.1007/s13201-024-02285-1

Pasieczna-Patkowska, S., Cichy, M., & Flieger, J. (2025). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles. *Molecules*, *30*(3), 1–36. https://doi.org/10.3390/molecules30030684

Prempeh, C. O., Formann, S., Hartmann, I., & Nelles, M. (2022). An improved method for the production of biogenic silica from cornhusk using sol–gel polymeric route. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(22), 28701–28711. https://doi.org/10.1007/s13399-022-03615-6

Prempeh, C. O., Formann, S., Schliermann, T., Dizaji, H. B., & Nelles, M. (2021). Extraction and characterization of biogenic silica obtained from selected agro-waste in Africa. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(21), 1–24. https://doi.org/10.3390/app112110363

Putri, R. H., & Nasra, E. (2025). Kinetika Adsorpsi Zat Warna Malachite Green Pada Silika Xerogel Hasil Sintesis Abu Terbang. *Masaliq*, *5*(November 2025), 2773–2784.

Raval, N. P., Shah, P. U., & Shah, N. K. (2017). Malachite green "a cationic dye" and its removal from aqueous solution by adsorption. *Applied Water Science*, *7*(7), 3407–3445. https://doi.org/10.1007/s13201-016-0512-2

Rocha, F. S., Gomes, A. J., Lunardi, C. N., Kaliaguine, S., & Patience, G. S. (2018). Experimental methods in chemical engineering: Ultraviolet visible spectroscopy—UV-Vis. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, *96*(12), 2512–2517. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cjce.23344

Rudzinski, W., & Plazinski, W. (2006). Kinetics of Solute Adsorption at Solid/Solution Interfaces: A Theoretical Development of the Empirical Pseudo-First and Pseudo-Second Order Kinetic Rate Equations, Based on Applying the Statistical Rate Theory of Interfacial Transport. *The Journal of Physical Chemistry B*, *110*(33), 16514–16525. https://doi.org/10.1021/jp061779n

Samiey, B., & Toosi, A. R. (2010). Adsorption of malachite green on silica gel: Effects of NaCl, pH and 2-propanol. *Journal of Hazardous Materials*, *184*(1–3), 739–745. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.08.101

Setyaningsih, L. W. N., Mutiara, T., Hapsari, C. Y., Kusumaningtyas, N., Munandar, H., & Pranata, R. J. (2020). Karakteristik dan Aplikasi Selulosa Kulit Jagung Pada

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Pengembangan Hidrogel. *Journal of Science and Applicative Technology*, *4*(2), 61. https://doi.org/10.35472/jsat.v4i2.252

Sharma, P., Sharma, S., Sharma, S. K., Yifei, S., Guo, F., Ichikawa, T., Jain, A., & Shrivastava, K. (2024). Evaluation of optimized conditions for the adsorption of malachite green by SnO2-modified sugarcane bagasse biochar nanocomposites. *RSC Advances*, *14*(40), 29201–29214. https://doi.org/10.1039/d4ra05442c

Sikanna, R., Rajmah, D. N. A., Ramadani, K., Musafira, M., Nur, A., & Febryanti, A. (2021). Synthesis and Characterization of Bagasse (Saccharumofficinarum L.) Silica Gel Modified Diphenylcarbazone. *Elkawnie*, *7*(1), 146. https://doi.org/10.22373/ekw.v7i1.9239

Simonin, J.-P. (2016). On the comparison of pseudo-first order and pseudo-second order rate laws in the modeling of adsorption kinetics. *Chemical Engineering Journal*, *300*(September), 254–263. https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.079

Soria-Lopez, A., Rodriguez-Fernández, R., & Mejuto, J. C. (2024). Alkaline Fading of Malachite Green in β-Cyclodextrins. *Compounds*, *4*(2), 351–360. https://doi.org/10.3390/compounds4020019

Sriram, G., Uthappa, U. T., Kigga, M., Jung, H.-Y., Altalhi, T., Brahmkhatri, V., & Kurkuri, M. D. (2019). Xerogel activated diatoms as an effective hybrid adsorbent for the efficient removal of malachite green. *New Journal of Chemistry*, *43*(9), 3810–3820. https://doi.org/10.1039/c9nj00015a

Starke, A., Pasel, C., Bläker, C., Eckardt, T., Zimmermann, J., & Bathen, D. (2022). Investigation of the Adsorption of Hydrogen Sulfide on Faujasite Zeolites Focusing on the Influence of Cations. *ACS Omega*, *7*(48), 43665–43677. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04606

Swan, N. B., & Zaini, M. A. A. (2019). Adsorption of Malachite Green and Congo Red Dyes from Water: Recent Progress and Future Outlook. *Ecological Chemistry and Engineering S*, *26*(1), 119–132. https://doi.org/10.1515/eces-2019-0009

Taharchaouche, D., Latelli, N., Merouani, H., Wahiba, B., Mechehoud, N., Ouddai, N., Morell, C., Merzoud, L., & Chermette, H. (2023). Degradation by hydrolysis of three triphenylmethane dyes: DFT and TD-DFT study. *Theoretical Chemistry Accounts*, *142*(1). https://doi.org/10.1007/s00214-022-02950-1

Tchanang, G., Djangang, C. N., Abi, C. F., Moukouri, D. L. M., Djabo, G. T. N., Kepdieu, J. M., & Blanchart, P. (2022). Nano-silica from kaolinitic clay used as adsorbent for anionic and cationic dyes removal: linear and non-linear regression isotherms and kinetics studies. *Annals of Civil and Environmental Engineering*,

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

6(1), 008–018. https://doi.org/10.29328/journal.acee.1001034

Teweldebrihan, M. D., Gnaro, M. A., & Dinka, M. O. (2025). Adsorptive removal of malachite green dye from aqueous solution using Cordia africana leaf as biosorbent. *Modeling Earth Systems and Environment*, *11*(2), 1–15. https://doi.org/10.1007/s40808-025-02289-z

Thommes, M., Smarsly, B., Groenewolt, M., Ravikovitch, P. I., & Neimark, A. V. (2006). Adsorption hysteresis of nitrogen and argon in pore networks and characterization of novel micro- and mesoporous silicas. *Langmuir*, *22*(2), 756–764. https://doi.org/10.1021/la051686h

Vallet-Regí, M., Schüth, F., Lozano, D., Colilla, M., & Manzano, M. (2022). Engineering mesoporous silica nanoparticles for drug delivery: where are we after two decades? *Chemical Society Reviews*, *51*(13), 5365–5451. https://doi.org/10.1039/d1cs00659b

Wilayat, S., Fazil, P., Khan, J. A., Zada, A., Ali Shah, M. I., Al-Anazi, A., Shah, N. S., Han, C., & Ateeq, M. (2024). Degradation of malachite green by UV/H2O2 and UV/H2O2/Fe2+ processes: kinetics and mechanism. *Frontiers in Chemistry*, *12*(October), 1–15. https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1467438

Wu, Z., Joo, H., & Lee, K. (2005). Kinetics and thermodynamics of the organic dye adsorption on the mesoporous hybrid xerogel. *Chemical Engineering Journal*, *112*(1–3), 227–236. https://doi.org/10.1016/j.cej.2005.07.011

Xie, X., Zhu, Z., Meng, Y., Wang, L., Zhao, F., Chen, L., Jiang, L., Yan, M., & Zhou, X. (2025). Ambient-Dried Silica Xerogels with Enhanced Strength and Thermal Insulation via Calcium Ion-Glycerol Synergistic Crosslinking. *Gels*, *11*(6), 1–14. https://doi.org/10.3390/gels11060462

Yaseen, D. A., & Scholz, M. (2019). Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. In *International Journal of Environmental Science and Technology* (Vol. 16, Issue 2). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/s13762-018-2130-z

Yilmaz, M. S., & Sezgin, D. (2024). Xerogel of fast kinetics and high adsorption capacity for cationic dye removal. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences – Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, *5*(1), 189–197. https://doi.org/10.14744/sigma.2022.00019

Yuan, N., Cai, H., Liu, T., Huang, Q., & Zhang, X. (2019). Adsorptive removal of methylene blue from aqueous solution using coal fly ash-derived mesoporous silica material. *Adsorption Science and Technology*, *37*(3–4), 333–348.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA