

TA/TL/2025/1975



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Magnetit Biochar Sekam Padi Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Methylene Blue Pada Limbah Batik Cair Di Kampung Batik Yogyakarta

Ahmmad Azamuddiin

21513075

Dosen Pembimbing:

Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., MSc.ES., Ph.D., IPU.

**Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia**

2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Magnetite Rice Husk Biochar as an Adsorbent for Methylene Blue Removal from Textile Wastewater in Kampung Batik Yogyakarta

Ahmmad Azamuddiin

21513075

Supervisor:

Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., MSc.ES., Ph.D., IPU.

**Environmental Engineering Bachelor Program
Faculty of Civil Engineering and Planning
Universitas Islam Indonesia**

2025

TUGAS AKHIR

MAGNETIT *BIOCHAR* SEKAM PADI SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN *METHYLENE BLUE* PADA LIMBAH BATIK CAIR DI KAMPUNG BATIK YOGYAKARTA

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

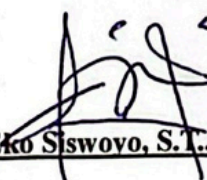


Ahmmad Azamuddiin

21513075

Disetujui:

Dosen Pembimbing


Prof. Ir. Eko Siswovo, S.T., MSc.ES., Ph.D., IPU.

NIK. 025100406

Tanggal : 23 Mei 2025

Mengetahui

Ketua Prodi Teknik Lingkungan UII



Anv Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.

NIK. 025100406

Tanggal : 23/5 -2025

HALAMAN PENGESAHAN

**MAGNETIT *BIOCHAR* SEKAM PADI SEBAGAI
ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN *METHYLENE
BLUE* PADA LIMBAH BATIK CAIR DI KAMPUNG
BATIK YOGYAKARTA**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Kamis

Tanggal: 15 Mei 2025


Disusun Oleh:

Ahmmad Azamudiin


21513075

Tim Penguji:

Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., MSc.ES., Ph.D., IPU.

() 23/5 2025

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

() 22/5 '2025

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.

()

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence, AI*) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 26 Mei 2025
Yang membuat pernyataan,



Ahmmad Azamuddiin
NIM: 21513075

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatulahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir (TA) dengan judul “**Magnetit Biochar Sekam Padi Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Methylene Blue Pada Limbah Batik Cair Di Kampung Batik Yogyakarta**”. Penyusunan laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dorongan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, rezeki, dan kesempatan kepada penulis untuk mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Tanpa kehadiran-Nya, mustahil penulis dapat sampai dititik ini
2. Orang tua dan keluarga penulis, Bapak Drs. Wadiyo, Ibu Suwartingsih dengan berbagai limpahan kasih sayang, doa, dan dukungan tiada henti kepada penulis. Sepertinya tiada kata yang mampu mewakili betapa berterimakasih dan bersyukur penulis atas jasa dan segala pengorbanan bapak dan ibu untuk penulis. Tidak lupa juga kepada adik adik penulis: Fathimah Az-zahro, Fauziah Qonita, dan Muhammad Abdullah Said yang telah mendukung selalu penulis hingga titik ini.
3. Bapak Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.E.S., Ph.D., I.P.U. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan sabar dalam bimbingan, nasihat, dan motivasi demi terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D. selaku dosen penguji yang telah membimbing, memberi saran dan arahan dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
5. Karin Firly Zhafira yang telah menjadi tempat berbagi cerita, semangat, dan hiburan di tengah segala perjuangan. Terima kasih atas doa, perhatian, dan kesabaran yang tidak pernah surut dalam menemani penulis melalui proses panjang penyusunan tugas akhir ini.
6. Semua dosen Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia atas segala ilmu yang diberikan selama penulis menempuh bangku perkuliahan. Staff, karyawan, dan laboran di Program Studi Teknik Lingkungan yang telah

banyak membantu penulis dalam melancarkan hal yang berhubungan dengan Tugas akhir.

7. Teman – teman satu angkatan Teknik Lingkungan angkatan 2021
8. Semua orang yang penulis kenal dan mengenal penulis, terimakasih telah setiap pertemuan pasti telah digariskan, maka bertemu kalian adalah sebuah keberuntungan

Oleh karena itu, dengan berbesar hati, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik maupun saran yang membangun demi kemajuan penulis dan kelayakan laporan tugas akhirini. Penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan, kekhilafan, dan keterbatasan yang ada dalam penelitian ini. Semoga laporan tugas akhir ini memberikan manfaat bagi kita semua. Aamiin.

Wassalamualaikum Warrahmatulahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 6 Maret 2025

Ahmmad Azamuddiin

ABSTRACT

AHMMAD AZAMUDDIIN. Magnetite Rice Husk Biochar as an Adsorbent for Methylene Blue Removal from Textile Wastewater in Kampung Batik Yogyakarta. Supervised by PROF. IR. EKO SISWOYO, S.T., M.SC.ES., PH.D., I.P.U.

Methylene blue ($C_{16}H_{18}N_3SCl$) is a widely used dye in the batik industry, particularly in the Kampung Batik area in Yogyakarta. However, the batik processing often results in methylene blue contamination, which can have adverse effects on health and the environment. Adsorption was chosen as a method due to its effectiveness in reducing methylene blue concentrations in water, with simple operation, low cost, and high efficiency. The primary material used as an adsorbent is rice husk, considering its abundant availability, low cost, and accessibility. Rice husk is then utilized as biochar adsorbent, which is modified with magnetite using iron oxide (Fe_3O_4) to enhance the surface area. This research involves the preparation of three types of adsorbents: rice husk biochar, activated rice husk biochar, and magnetite-modified rice husk biochar. The aim of this study is to determine the adsorbent characteristics, optimum mass, pH, contact time, and the effect of concentration on methylene blue adsorption using rice husk-based adsorbents, as well as to evaluate the adsorption capacity. Adsorbent characterization tests were conducted using FTIR and SEM. FTIR analysis revealed the presence of siloxane (Si-O-Si) and Fe-O functional groups on the modified adsorbent. SEM testing at 5000x magnification observed the pore structure. The results showed that the optimum conditions for all three adsorbents occurred at an adsorbent mass of 150 mg, pH 5, and contact time of 120 minutes. The highest adsorption capacity was achieved by the magnetite-modified rice husk biochar adsorbent, with a removal efficiency of over 99%. The adsorption process was consistent with the Freundlich isotherm model. Data from the Langmuir and Freundlich isotherm models showed significant results, with the maximum adsorption capacity (Q_m) of 3.346 mg/g for activated rice husk biochar and 0.379 mg/g for magnetite-modified rice husk biochar. The high K_f value in the Freundlich model for magnetite-modified rice husk biochar (36.208 1/g) indicates that this adsorbent has excellent adsorption capacity.

Keywords: Adsorption, Biochar, Magnetite, Rice Husk, Methylene Blue, Textile Wastewater.

ABSTRAK

AHMMAD AZAMUDDIIN. Magnetit Biochar Sekam Padi Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Methylene Blue Pada Limbah Batik Cair Di Kampung Batik Yogyakarta. Dibimbing oleh PROF. IR. EKO SISWOYO, S.T., M.SC.ES., PH.D., I.P.U.

Metilen biru ($C_{16}H_{18}N_3SCl$) merupakan salah satu senyawa pewarna yang banyak digunakan dalam industri batik terutama di kawasan Kampung Batik di Yogyakarta. Namun proses pengolahan batik seringkali menimbulkan pencemaran metilen biru yang dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan. Adsorpsi dipilih karena merupakan salah satu metode efektif untuk mengurangi kadar metilen biru dalam air, dengan operasional yang sederhana, biaya yang terjangkau, dan efisiensi tinggi. Material dasar yang digunakan sebagai adsorben berasal dari sekam padi karena pertimbangan ketersediaannya yang melimpah, murah, serta mudah ditemui. Sekam padi kemudian dimanfaatkan sebagai biochar adsorben yang dimodifikasi magnetit dengan besi oksida (Fe_3O_4) yang bertujuan untuk membentuk luas permukaan yang lebih luas. Penelitian ini melibatkan pembuatan tiga jenis adsorben: *biochar* sekam padi, *biochar* sekam padi teraktivasi, dan *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik adsorben; kadar optimum massa, pH, waktu kontak dan pengaruh konsentrasi pada adsorpsi metilen biru menggunakan adsorben sekam padi; dan kapasitas adsorpsi. Uji karakterisasi adsorben dilakukan menggunakan FTIR dan SEM. Hasil uji FTIR menunjukkan adanya gugus siloksan (Si-O-Si) dan gugus Fe-O pada adsorben yang dimodifikasi. Pengujian dengan SEM perbesaran pori-pori 5000 kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum tunggal ketiga adsorben terjadi pada massa adsorben 150 mg, pH 5, waktu kontak 120 menit. Kapasitas adsorpsi tertinggi dicapai oleh adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit dengan efisiensi removal mencapai lebih dari 99%. Proses adsorpsi menunjukkan kecocokan dengan model isoterm Freundlich,. Data pemodelan isoterm Langmuir dan Freundlich menunjukkan hasil yang signifikan, dengan kapasitas adsorpsi maksimum (Q_m) sebesar 3.346 mg/g untuk *biochar* sekam padi teraktivasi dan 0.379 mg/g untuk *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit. Nilai K_f yang tinggi pada model Freundlich untuk *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit (36.208 1/g) menunjukkan bahwa adsorben ini memiliki kapasitas adsorpsi yang baik.

Kata kunci: Adsorpsi, *Biochar*, Magnetit, Sekam Padi, *Methylene Blue*, Limbah Batik.

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I_PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Limbah Batik Metilen Biru	6
2.2 Adsorpsi	6
2.3 <i>Biochar</i>	7
2.4 Magnetit	8
2.5 Sekam Padi.....	8
2.6 Uji Karakteristik Adsorben	9
2.7 Penelitian Terdahulu.....	9
BAB III_ METODE PENELITIAN.....	12
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	12
3.2 Alat, Bahan, dan Instrumen	12
3.3 Variabel Penelitian	13
3.4 Prosedur Penelitian.....	13
3.4.1 Preparasi Adsorben.....	15
3.4.2 Aktivasi <i>Biochar</i> Sekam Padi.....	16
3.4.3 Modifikasi Adsorben <i>biochar</i> sekam padi dengan Besi Oksida	17
3.4.4 Karakterisasi Adsorben	18

3.5 Analisis Sampel.....	18
3.5.1 Persiapan Pengujian	19
3.5.2 Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Metilen Biru.....	21
3.5.3 Pembuatan Kurva Kalibrasi	21
3.5.4 Penentuan Massa Adsorben Optimum	22
3.5.5 Penentuan pH Optimum.....	23
3.5.6 Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	24
3.5.7 Penentuan Konsentrasi Optimum.....	25
3.5.8 Pengujian Kondisi Adsorben Optimum pada Limbah Batik.....	26
3.6 Analisis Data	27
3.6.1 Model Isoterm Adsorpsi	27
3.6.2 Perhitungan Kapasitas dan Efisiensi Adsorpsi.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Karakterisasi Adsorben	30
4.1.2 Karakterisasi Menggunakan FTIR (<i>Fourier Transform Infra-Red</i>).....	30
4.1.3 Karakterisasi Menggunakan SEM.....	34
4.2 Analisis Metilen Biru sebagai Adsorbat.....	36
4.2.1 Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Metilen Biru.....	36
4.2.2 Pembuatan Larutan Standar dan Kurva Kalibrasi.....	37
4.3 Uji Adsorpsi	38
4.3.1 Uji Variasi Massa	38
4.3.2 Uji Variasi pH.....	42
4.3.3 Uji Variasi Waktu Kontak.....	45
4.3.4 Uji Variasi Konsentrasi	48
4.3.5 Uji Adsorpsi Limbah Batik pada Kondisi Optimum	50
4.4 Isoterm Adsorpsi	51
4.4.1 Model Isoterm Langmuir	52
4.4.2 Model Isoterm Freundlich.....	56
4.4.3 Perbandingan Model Isoterm Langmuir dan Freundlich	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1 Kesimpulan	64

5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN.....	71
Lampiran 1. Perhitungan.....	71
Lampiran 2. Data Karakteristik FTIR.....	76
Lampiran 3. Dokumentasi.....	81
RIWAYAT HIDUP	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	14
Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Pembuatan Biochar Sekam Padi.....	16
Gambar 3. 3 Diagram Alir Preparasi Adsorben Biochar Sekam Padi Teraktivasi	17
Gambar 3. 4 Diagram Alir Pembuatan Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	18
Gambar 3. 5 Diagram Alir Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru.....	20
Gambar 3. 6 Diagram Alir Pembuatan Larutan Baku Metilen Biru	21
Gambar 3. 7 Diagram Alir Pembuatan Kurva Kalibrasi Metilen Biru.....	22
Gambar 3. 8 Diagram Alir Penentuan Massa Optimum	23
Gambar 3. 9 Diagram Alir Penentuan pH Optimum.....	24
Gambar 3. 10 Diagram Alir Penentuan Waktu Optimum	25
Gambar 3. 11 Diagram Alir Penentuan Konsentrasi Optimum.....	26
Gambar 3. 12 Diagram Alir Pengujian Adsorben pada Kondisi Optimum Pada Limbah Batik Mengandung Metilen Biru.....	27
Gambar 4. 1 Hasil Uji FTIR Sebelum Adsorpsi	31
Gambar 4. 2 Hasil Uji FTIR Setelah Adsorpsi.....	33
Gambar 4. 3 (a) Permukaan Biochar Adsorben biochar sekam padi (b) Permukaan Biochar Adsorben biochar sekam padi teraktivasi (c) Permukaan Biochar Adsorben biochar sekam padi termodifikasi magnetit.....	35
Gambar 4. 4 (d) Permukaan Biochar Adsorben biochar sekam padi Setelah Adsorpsi (e) Permukaan Biochar Adsorben biochar sekam padi teraktivasi Setelah Adsorpsi (f) Permukaan Biochar Adsorben biochar sekam padi termodifikasi magnetit Setelah Adsorpsi.....	36
Gambar 4. 5 Kurva Kalibrasi Larutan Standar Metilen Biru	38
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Variasi Massa terhadap Adsorpsi.....	40
Gambar 4. 7 (a) Perubahan Warna pada Variasi Massa Adsorben Biochar Sekam Padi (b) Perubahan Warna pada Variasi Massa Adsorben Biochar Sekam padi Teraktivasi (c) Perubahan Warna pada Variasi Massa Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	41
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Nilai pH dengan % Removal.....	44
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Waktu Kontak dengan % Removal	47
Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Variasi Konsentrasi dengan % Removal	49
Gambar 4. 11 Kurva Kalibrasi Isoterm Langmuir Adsorben Biochar Sekam Padi	53

Gambar 4. 12 Kurva Kalibrasi Isoterm Langmuir Adsorben Biochar Sekam Padi Teraktivasi	54
Gambar 4. 13 Kurva Kalibrasi Isoterm Langmuir Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	55
Gambar 4. 14 Kurva Kalibrasi Isoterm Freundlich Adsorben Biochar Sekam Padi	57
Gambar 4. 15 Kurva Kalibrasi Isoterm Freundlich Adsorben Biochar Sekam Padi Teraktivasi	59
Gambar 4. 16 Kurva Kalibrasi Isoterm Freundlich Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	9
Tabel 4. 1 Interpretasi Gugus Fungsi Adsorben biochar sekam padi, Biochar sekam padi teraktivasi, dan Biochar sekam padi termodifikasi magnetit.....	31
Tabel 4. 2 Interpretasi Gugus Fungsi Adsorben biochar sekam padi, Biochar sekam padi teraktivasi, Biochar sekam padi termodifikasi magnetit.....	33
Tabel 4. 3 Data Variasi Massa Adsorben biochar sekam padi.....	39
Tabel 4. 4 Data Variasi Massa Adsorben biochar sekam padi teraktivasi.....	39
Tabel 4. 5 Data Variasi Massa Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	39
Tabel 4. 6 Data Percobaan Variasi pH Adsorben Biochar Sekam Padi.....	42
Tabel 4. 7 Data Percobaan Variasi pH Adsorben Biochar Sekam Padi Teraktivasi.....	43
Tabel 4. 8 Data Percobaan Variasi pH Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	43
Tabel 4. 9 Data Percobaan Variasi pH Adsorben Biochar Sekam Padi.....	46
Tabel 4. 10 Data Percobaan Variasi pH Adsorben Biochar Sekam Padi Teraktivasi.....	46
Tabel 4. 11 Data Percobaan Variasi pH Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	46
Tabel 4. 12 Data Pengujian Variasi Konsentrasi Adsorben Biochar Sekam Padi	48
Tabel 4. 13 Data Pengujian Variasi Konsentrasi Adsorben Biochar Sekam Padi Teraktivasi.....	48
Tabel 4. 14 Data Pengujian Variasi Konsentrasi Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	49
Tabel 4. 15 Data Pengujian Adsorpsi Metilen Biru Pada Limbah Batik Menggunakan Biochar Sekam Padi, Biochar Sekam Padi Teraktivasi, dan Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	50
Tabel 4. 16 Data Perubahan pH Pada Pengujian Adsorpsi Metilen Biru Limbah Batik Menggunakan Biochar Sekam Padi, Biochar Sekam Padi Teraktivasi, dan Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	51
Tabel 4. 17 Data Penentuan Kurva Isoterm Langmuir Adsorben Biochar Sekam Padi.....	52
Tabel 4. 18 Data Penentuan Konstanta Langmuir Adsorben Biochar Sekam Padi.....	53

Tabel 4. 19 Data Penentuan Kurva Isoterm Langmuir Adsorben Biochar Sekam Padi Teraktivasi	53
Tabel 4. 20 Data Penentuan Konstanta Langmuir Adsorben Biochar Sekam Padi Teraktivasi	54
Tabel 4. 21 Data Penentuan Kurva Isoterm Langmuir Adsorben Biochar Sekam Padi Termofifikasi Magnetit.....	55
Tabel 4. 22 Data Penentuan Konstanta Langmuir Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	56
Tabel 4. 23 Data Penentuan Kurva Isoterm Freundlich Adsorben Biochar Sekam Padi.....	57
Tabel 4. 24 Data Penentuan Konstanta Freundlich Adsorben Biochar Sekam Padi	58
Tabel 4. 25 Data Penentuan Kurva Isoterm Freundlich Adsorben Biochar Sekam Padi Teraktivasi	58
Tabel 4. 26 Data Penentuan Konstanta Freundlich Adsorben Biochar Sekam Padi Teraktivasi	59
Tabel 4. 27 Data Penentuan Kurva Isoterm Freundlich Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	60
Tabel 4. 28 Data Penentuan Konstanta Freundlich Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit.....	61
Tabel 4. 29 Hasil Pemodelan Isoterm Langmuir dan Freundlich.....	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Yogyakarta pada tahun 2014, dinobatkan oleh Dewan Kerajinan Dunia (*World Craft Council*) Wilayah Asia Pasifik sebagai Kota Batik Dunia. Keberadaan industri batik di Kota Yogyakarta memiliki sejarah yang panjang, awalnya dimulai dari pakaian yang digunakan untuk mendukung kegiatan budaya kraton, namun saat ini bersamaan dengan perkembangan dan besarnya minat masyarakat, batik telah menjadi pakaian yang sudah banyak dikenal oleh masyarakat luas baik dalam negeri maupun luar negeri. Oleh karena itu batik tidak hanya diproduksi khusus sebagai produk budaya tetapi sudah merupakan produk industri yang diproduksi dalam skala kecil sampai skala yang besar. Namun demikian dengan peningkatan industri batik yang membawa dampak positif perekonomian masyarakat, juga mengakibatkan dampak negatif terutama bagi lingkungan disekitarnya. Permasalahan lingkungan dari proses pembuatan batik salah satunya yang dominan berupa limbah cair (Indrayani, 2018).

Pencemaran limbah cair terutama bersumber dari zat warna yang dihasilkan sisa bahan pewarna, proses pencucian dan pembilasan kain batik. Pada umumnya limbah industri batik terdiri dari dari sisa mori, ceceran lilin, sisa air pewarnaan, sisa lilin dan air pelorodan (Apriyani, 2018). Salah satu zat pewarna batik yang berbahaya bagi Kesehatan dan lingkungan adalah metilen biru (Maryudi dkk, 2021). Metilen biru ($C_{16}H_{18}N_3SCl$) adalah senyawa hidrokarbon aromatik yang mempunyai struktur benzena yang sulit untuk diuraikan, bersifat toksik, karsinogenik dan mutagenik (Nguyen dkk, 2018), serta menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit.

Metode terdahulu yang digunakan dalam pengolahan limbah batik cair diantaranya adalah adsorpsi, koagulasi, elektrokoagulasi, biodegradasi, bioremediasi dan fotodegradasi. Riset yang dilakukan oleh Yulianto, dkk (2009)

menggunakan metode elektrokoagulasi tidak efektif karena membutuhkan arus dan tegangan listrik yang cukup besar untuk mengolah limbah batik. Salah satu metode alternatif yang dapat digunakan untuk menangani limbah zat warna batik adalah dengan adsorpsi. Adsorpsi adalah proses pemisahan komponen tertentu dari satu fasa fluida (larutan) ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Pemisahan terjadi karena perbedaan bobot molekul atau porositas, menyebabkan sebagian molekul terikat lebih kuat pada permukaan dari pada molekul lainnya (Alamsyah & Kalla, 2017).

Adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling efektif, ekonomis serta dapat diaplikasikan oleh industri kecil untuk pengolahan air limbah yang mengandung pewarna. Riset oleh Murti dkk. (2013) menyebutkan bahwa metode adsorpsi merupakan metode yang paling efisien dalam menghilangkan warna, bau, minyak, dan organik dari air limbah. Salah satu adsorben yang bisa digunakan adalah adsorben yang terbuat dari bahan alami. Adsorben bahan alami dapat dipilih karena biaya pembuatannya yang rendah, ketersediaannya melimpah dan lebih ramah lingkungan karena sehingga tidak menimbulkan zat pencemar baru. Bahan alami yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben alami adalah sekam padi.

Dari potensi ketersediaannya, berdasarkan data Pusat Statistik Nasional (BPS Nasional) pada tahun 2023 produksi padi di Indonesia sebesar 53,98 juta ton gabah kering giling (GKG), dengan besarnya produksi padi maka juga akan meningkatkan keberadaan limbah dari sekam padi. Keberadaan sekam padi di Indonesia sendiri belum mendapatkan perhatian dan hanya terbatas untuk beberapa keperluan sederhana misalnya untuk abu gosok atau pakan ternak. Bahkan di sebagian daerah sekam padi dibuang begitu saja dan dianggap sebagai bahan yang kurang bermanfaat. Sekam padi dapat digunakan sebagai adsorben karena selulosa dan hemiselulosa mempunyai potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai penyerap yang memiliki gugus OH yang terikat sehingga dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat (Wardalia, 2016).

Sebagai material adsorben, sekam padi memiliki keunggulan karena mengandung selulosa, hemiselulosa, lignin, dan silika amorf yang akan

memberikan sifat dan karakteristik khusus dalam adsorpsi karena mampu mendukung pembuatan pori-pori dalam karbonisasi. Dalam berat kering sekam padi terdapat 15-20% silika sehingga dalam memberikan peningkatan luas permukaan dan struktur pori yang sangat penting dalam proses penjerapan. Keberadaan gugus fungsi seperti karboksil (-COOH), silanol (Si-OH), dan hidroksil (-OH) juga membuat sekam padi menjadi adsorben yang optimal dalam mekanisme fisik maupun kimia (Foo & Hameed, 2010). Selain itu, menurut Wardalia (2019) proses aktivasi sekam padi, seperti menggunakan asam klorida (HCl) dapat lebih membuka pori-pori karbon aktif dari proses pembakaran sehingga meningkatkan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi.

Biochar merupakan suatu zat berpori yang strukturnya kaya akan unsur karbon yang diperoleh setelah proses pirolisis biomassa organik dalam pasokan oksigen yang terbatas. *Biochar* dapat dimodifikasi dengan menggunakan besi oksida (Fe_3O_4) membentuk magnetit *biochar*. Pengaplikasian besi oksida (Fe_3O_4) pada permukaan *biochar* mampu membentuk luas permukaan yang lebih besar yang terkait dengan kontribusi pori-pori yang diperoleh dengan presipitasi kimiawi dan pirolisis. *Biochar* yang termodifikasi besi oksida (Fe_3O_4) menunjukkan kemampuan yang lebih besar untuk menyerap polutan, serta lebih mudah dipisahkan dan didaur ulang (Wang dkk, 2019).

Modifikasi adsorben dengan pengaplikasian senyawa Fe_3O_4 ini dapat meningkatkan proses adsorpsi jumlah metilen biru dalam air karena memiliki keunggulan yaitu ukuran partikel yang kecil, luas permukaan spesifik yang besar, reaktivitas tinggi, dan proses adsorpsi reversibel dan sangat mudah dipisahkan (Zhang dkk, 2020). Penelitian kali ini akan menentukan kondisi optimum pada proses adsorpsi magnetit *biochar* dari sekam padi diantaranya penentuan massa optimum, pH optimum, waktu kontak optimum, dan konsentrasi optimum. Dari hasil uji tersebut maka dapat didapat efisiensi *removal* adsorben pada adsorpsi metilen biru.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil karakterisasi adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* teraktivasi, dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit?
2. Bagaimana pengaruh variasi massa, pH, dan waktu kontak pada adsorpsi metilen biru menggunakan adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* teraktivasi, dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit?
3. Bagaimana kapasitas penyerapan metilen biru oleh adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* teraktivasi, dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang direncanakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui hasil karakterisasi adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* teraktivasi, dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit.
2. Menganalisis pengaruh variasi massa, pH, dan waktu kontak pada adsorpsi metilen biru menggunakan adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* teraktivasi, dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit.
3. Mengetahui kapasitas penyerapan metilen biru oleh adsorben adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* teraktivasi, dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan pengetahuan tentang kemampuan sekam padi sebagai magnetit *biochar* adsorben yang diaktivasi menggunakan besi oksida (Fe_3O_4) dalam menurunkan kadar metilen biru dalam air.

2. Memberikan alternatif teknologi penyerapan metilen biru yang berasal dari limbah sekam padi
3. Memberikan sumbangsih terhadap ilmu pengetahuan terutama dalam mengolah limbah cair batik metilen biru

1.5 Ruang Lingkup

Terkait dengan penelitian yang dilakukan, untuk menghindari penyimpangan, pelebaran fokus, dan memudahkan pelaksanaan penelitian, maka digunakan ruang lingkup sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP Kampus terpadu UII.
2. Sampel air limbah yang digunakan yaitu air limbah yang mengandung pewarna metilen biru yang berasal dari salah satu Kampung Batik di Yogyakarta
3. Aktivasi adsorben dilakukan menggunakan H_3PO_4
4. Adsorben *biochar* sekam padi dimodifikasi menggunakan besi oksida (Fe_3O_4) menjadi *magnetite adsorbent*
5. Pengujian adsorpsi metilen biru dilakukan dengan memperhatikan aspek massa adsorben, pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi metilen biru.
6. Pengujian karakteristik gugus fungsi adsorben pada penelitian ini menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR)
7. Pengujian gambaran permukaan adsorben menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Batik Metilen Biru

Pada tahun 2019, tercatat terdapat 1195 unit usaha batik di Yogyakarta. Sebagai salah satu pusat industri batik di Indonesia, Yogyakarta tentunya juga banyak menghasilkan limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan batik. Dalam proses pembuatan batik, satu meter kain batik membutuhkan air sebanyak 25 m³ - 50 m³. Namun, para pengrajin batik umumnya membuang air yang telah tercemar pewarna tanpa mengolahnya terlebih dahulu (Gala dkk, 2022). Selain itu sebagian besar industri batik juga merupakan industri kecil atau homemade industry sehingga limbah yang dihasilkan tidak banyak dalam satu tempat tetapi menyebar sehingga pengolahan sistem terpusat sulit diaplikasikan dan yang memungkinkan adalah pengolahan di sumber pencemar (Yulianto dkk, 2009).

Dalam proses produksinya, industri batik banyak menggunakan bahan-bahan kimia misalnya zat warna yang digunakan pada proses pewarnaan. Menurut Jatmiko dan Tri Hadi (2022), salah satu pewarna yang banyak digunakan adalah metilen biru. Metilen biru merupakan senyawa aromatik heterosiklik yang memiliki rumus molekul (C₁₆H₁₈N₃SCl). Metilen biru merupakan zat warna dasar yang penting dalam proses pewarnaan kulit, kain mori, dan kain katun. Metilen biru dapat menyebabkan beberapa efek yang merugikan. Apabila terkena paparan metilen biru secara akut dapat meningkatkan detak jantung, muntah, shock, pembentukan heinz body, cyanosis, jaundice, quadriplegia dan jaringan nekrosis pada manusia. Beberapa efek tersebut merupakan alasan yang menyebabkan pentingnya menghilangkan metilen biru dari perairan (Maryudi dkk, 2021).

2.2 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu teknik pemisahan komponen yang ditandai dengan berpindahannya komponen tertentu dari satu fase ke permukaan zat padat sebagai penyerap, adsorpsi merupakan proses dimana suatu fluida, baik cairan maupun gas,

menempel pada permukaan padatan atau cairan (adsorben) dan membentuk lapisan tipis (adsorbat) di permukaannya. Secara umum, adsorpsi adalah proses pengumpulan zat terlarut dalam larutan oleh permukaan adsorben, melalui ikatan kimia fisik antara zat terlarut dengan adsorben (Purwitasari & Tussania, 2022)

Adsorpsi dibagi menjadi dua jenis, yaitu adsorpsi fisik dan kimia. Adsorpsi fisik (Adsorpsi Van Der Waals) terjadi ketika terdapat gaya intermolekuler yang relatif lemah antara adsorbat dan permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisik, adsorben dapat bergerak cepat dari satu bagian permukaan ke bagian lainnya, mampu membentuk lapisan berlemak, dan bersifat reversibel karena membutuhkan energi yang relatif rendah. Di sisi lain, adsorpsi kimia (adsorpsi teraktivasi) melibatkan reaksi antara molekul-molekul adsorbat dan adsorben yang membentuk ikatan kovalen dengan ion. Adsorpsi kimia bersifat tidak reversibel dan hanya dapat membentuk lapisan tunggal (monolayer). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi adalah konsentrasi adsorbat, pH, waktu kontak dan suhu (Saputri, 2020)

2.3 Biochar

Biochar atau biomassa *charcoal* merupakan arang kayu berpori (*porous*) yang dapat diperoleh dari hasil konversi kayu atau bahan organik lain seperti limbah organik (biomas pertanian) melalui pembakaran tidak sempurna atau suplai oksigen terbatas (*pyrolysis*). *Biochar* juga didefinisikan sebagai bahan organik padat yang diproduksi melalui pemrosesan termo-kimia biomassa tanpa adanya atau di bawah lingkungan oksigen tereduksi yang terbatas. Karakteristik umum *biochar* dibandingkan dengan arang pada umumnya adalah terutama terdiri dari karbon aromatik yang stabil, dan, dibandingkan dengan karbon dalam bahan baku pirolisis, tidak dapat dengan mudah dikembalikan ke atmosfer sebagai CO² (Suharyatun dkk, 2021).

Biochar memiliki matriks karbon yang relatif terstruktur dengan tingkat porositas tinggi dan luas permukaan yang luas, menunjukkan hal itu mungkin bertindak sebagai adsorben permukaan yang serupa dalam beberapa aspek dengan karbon aktif dan memainkan peran penting dalam mengendalikan kontaminan di lingkungan. Penggunaan *biochar* teraktivasi untuk adsorpsi dapat dianggap sebagai

teknik kontrol yang ramah lingkungan dan menghilangkan racun lingkungan dengan konsentrasi rendah dari media berair seperti air limbah, limbah dan air minum

2.4 Magnetit

Magnetit adalah jenis oksida besi dengan formula kimia Fe_3O_4 . Partikel berwarna hitam yang bersifat feromagnetik dengan nilai magnetisasi tertinggi yaitu sebesar 92 emu/g. Magnetit merupakan oksida besi campuran yang terbentuk dari reaksi antara oksida besi(II) dan besi(III) dimana hasil pencampuran ini memberikan sifat yang unggul dibandingkan oksida besi (II) dan oksida besi (III) masing-masing. Dalam penggunaannya, magnetit memiliki kemampuan adsorpsi cukup baik. Salah satu kelebihan magnetit sebagai adsorben adalah sifat feromagnetik nya yang memiliki ikatan koordinasi maupun ionik, zat ini juga dapat mengadsorpsi melalui kemagnetan yang dimilikinya. Selain itu, magnetit dapat secara efektif dan mudah dipisahkan dengan menggunakan medan magnet eksternal (Lianasari dkk, 2023).

2.5 Sekam Padi

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua bentuk daun yaitu sekam kelopak dan sekam mahkota, Sekam tersusun dari jaringan serat-serat selulosa yang mengandung banyak silika dalam bentuk serabut-serabut yang sangat keras. Pada keadaan normal, sekam berperan penting melindungi biji beras dari kerusakan yang disebabkan oleh serangan jamur, sehingga secara tidak langsung dapat melindungi biji dan juga menjadi penghalang terhadap penyusupan jamur. Sekam merupakan salah satu bentuk limbah pertanian. dimana pada proses penggilingan padi, sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan (Listiana dkk, 2021).

Sekam padi memiliki kerapatan jenis $1,125 \text{ kg/m}^3$ dan nilai kalori dalam 1 kg sebesar 3300 kkalori. Panjang sekam padi sekitar 5-10 mm dan lebar 2,5 – 5 mm (Siahaan dkk., 2013). Sekam padi sebagian besar tersusun dari 58,85% selulosa, 18,03% hemiselulosa, 0,60-1,00% abu dan 20,90% lignin. Perpaduan kimia sekam

padi diantaranya adalah kandungan air sebesar 9,02%, protein kasar 3,03%, lemak 1,18%, serat kasar 35,68%, kadar abu 17,17% serta karbohidrat dasar 33,71% (Insan, 2020).

2.6 Uji Karakteristik Adsorben

Uji karakteristik dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui struktur, ukuran pori, dan kandungan kimia pada adsorben yang diuji. Beberapa instrumen yang akan digunakan dalam uji karakteristik adsorben ini adalah SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan FTIR (*Fourier Transform Infrared*). SEM merupakan salah satu teknik untuk mengetahui karakteristik dari suatu zat dengan metode X-ray. Pada penggunaan SEM ini, informasi yang diberikan adalah gambar layaknya peta mengenai komposisi unsur permukaan zat. Teknik ini biasa digunakan untuk mempelajari kandungan dan kemampuan disperse logam berat pada permukaan karbon (Khairuzzaman, 2021).

FTIR yaitu instrumen yang berfungsi untuk menentukan simultan komponen organik, termasuk ikatan kimia, serta kandungan organik seperti protein, karbohidrat, lipid, dan lainnya (Nandiyanto dkk, 2019). Prinsip kerja dari FTIR yaitu dengan melewatkan radiasi IR melalui sampel. Radiasi IR akan diserap oleh sampel dan sebagian akan dilewatkan (ditransmisikan). Spektrum yang dihasilkan mewakili penyerapan dan transmisi molekuler menciptakan sidik jari molekuler (*molecular fingerprint*). Layaknya sidik jari, struktur molekul unik dan berbeda tidak akan menghasilkan spektrum IR yang sama (Yasse dkk, 2023).

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dilakukan untuk menyerap metilen biru dijelaskan pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Referensi	Jenis Adsorben	Ringkasan Penelitian
1.	Kajian Isoterm Adsorpsi Metilen Biru pada <i>Biochar</i> Kulit Sagu (Metroxylon sagu)	<i>Biochar</i> Kulit Sagu (Metroxylon sagu)	a. Variasi Suhu - <i>Biochar</i> dibuat dari limbah kulit sagu melalui proses pirolisis dengan variasi suhu 500 °C, 600 °C, dan 700 °C selama 2 jam. b. Variasi pH

	(Amelia dkk., 2023)		<ul style="list-style-type: none"> - Variasi pH yang digunakan adalah 3, 5, 7, 9, dan 11. c. Variasi Konsentrasi Larutan Metilen Biru - Variasi yang digunakan sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm. d. Variasi waktu kontak - Waktu kontak yang diuji adalah 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. e. Adsorpsi mengikuti model isoterm - Adsorpsi metilen biru pada <i>biochar</i> lebih mendekati model isoterm Freundlich dibandingkan model isoterm Langmuir. f. Hasil Penelitian - <i>Biochar</i> yang dihasilkan dari pirolisis limbah kulit sagu menunjukkan peningkatan kemampuan adsorpsi metilen biru dibandingkan sebelum proses pirolisis. - Kondisi optimum adsorpsi terjadi pada pH 9 selama 10 menit. - Kapasitas adsorpsi metilen biru pada <i>biochar</i> hasil pirolisis pada suhu 500 °C, 600 °C, dan 700 °C berturut-turut sebesar 45,86; 46,22; dan 46,90 mg/g. - Persentase penyerapan metilen biru tertinggi pada pH 9 yaitu sebesar 94,6%, 95,7%, dan 97,3% untuk <i>biochar</i> pada suhu pirolisis 500 °C, 600 °C, dan 700 °C. - Adsorpsi optimum terjadi pada waktu kontak 60 menit dengan kapasitas serapan maksimum sebesar 9,64 mg/g
2.	<i>Banana stem based activated carbon as a low-cost adsorbent for methylene blue removal: isotherm, kinetics, and reusability</i> (Misran dkk., 2022)	<i>Activated Carbon from Banana Stem (ACBS)</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Suhu Pirolisis - Pirolisis pada suhu 400°C selama 15 menit dengan aliran nitrogen. b. Variasi dosis adsorben - Variasi dosis adsorben: 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 g dalam 100 mL larutan. c. Variasi konsentrasi awal metilen biru - Variasi konsentrasi awal <i>methylene blue</i>: 25, 50, 100, 150, 200 mg/L.

			<p>d. Aktivasi Adsorben</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aktivasi adsorben menggunakan Impregnasi dengan larutan H₃PO₄ <p>e. Model Isoterm Adsorpsi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adsorpsi mengikuti model isoterm Freundlich <p>f. Hasil Penelitian</p> <ul style="list-style-type: none"> - Efisiensi penghilangan minimal 99.76% pada konsentrasi awal 200 mg/L. - ACBS menunjukkan efisiensi penghilangan tinggi hingga penggunaan berulang keempat (99.712%), menurun sedikit hingga penggunaan keenam (96.479%) dan menurun signifikan pada penggunaan kedelapan (45.051%).
3.	Penggunaan Sabut Kelapa Teraktivasi NaOH sebagai Adsorben Metilen Biru (Baunsele dkk., 2023)	Adsorben Sabut Kelapa Teraktivasi NaOH	<p>a. Aktivasi Adsorben sabut kelapa menggunakan NaOH 1M dengan perendaman selama 24 jam</p> <p>b. Variasi pH</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variasi pH yang diuji: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. <p>c. Variasi waktu kontak</p> <ul style="list-style-type: none"> - Waktu kontak yang diuji: 5, 10, 20, 40, 50, 75, 90, 120 menit. <p>d. Variasi Konsentrasi awal metilen biru</p> <ul style="list-style-type: none"> - Konsentrasi awal metilen biru yang diuji: 5, 10, 20, 30, 45, 60, 75 ppm. <p>e. Model Isoterm Adsorpsi: Hasil Penelitian:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas adsorpsi (q_e) pada kondisi optimum adalah 1,98 mg/g. • Kapasitas adsorpsi terbesar pada konsentrasi metilen biru sebesar 10 ppm. • Waktu kontak optimum adalah 75 menit dengan persentase serapan 99,92%. • pH optimum untuk adsorpsi metilen biru adalah pH 7.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 5 bulan dimulai pada bulan November 2024 sampai bulan Maret 2025. Lokasi penelitian berada di Laboratorium Kualitas Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3.2 Alat, Bahan, dan Instrumen

1. Alat

- a. Oven
- b. Furnace
- c. Ayakan 70 mesh
- d. Gelas beker (100, 1000) mL
- e. Kaca Arloji
- f. Pipet Ukur (1, 5, 10) mL
- g. Erlenmeyer (100, 250) mL
- h. Labu ukur (10, 100, 1000) mL
- i. Corong Kaca
- j. Spatula
- k. Kertas saring whatman 42
- l. Timbangan Analitik
- m. Cawan porselen
- n. Botol vial
- o. Magnetit stirer

2. Bahan

- a. Sekam padi
- b. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- c. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

- d. NaOH
- e. HCL
- f. H_3PO_4
- g. Akuades
- h. Metilen Biru
- i. Limbah tekstil batik mengandung metilen biru

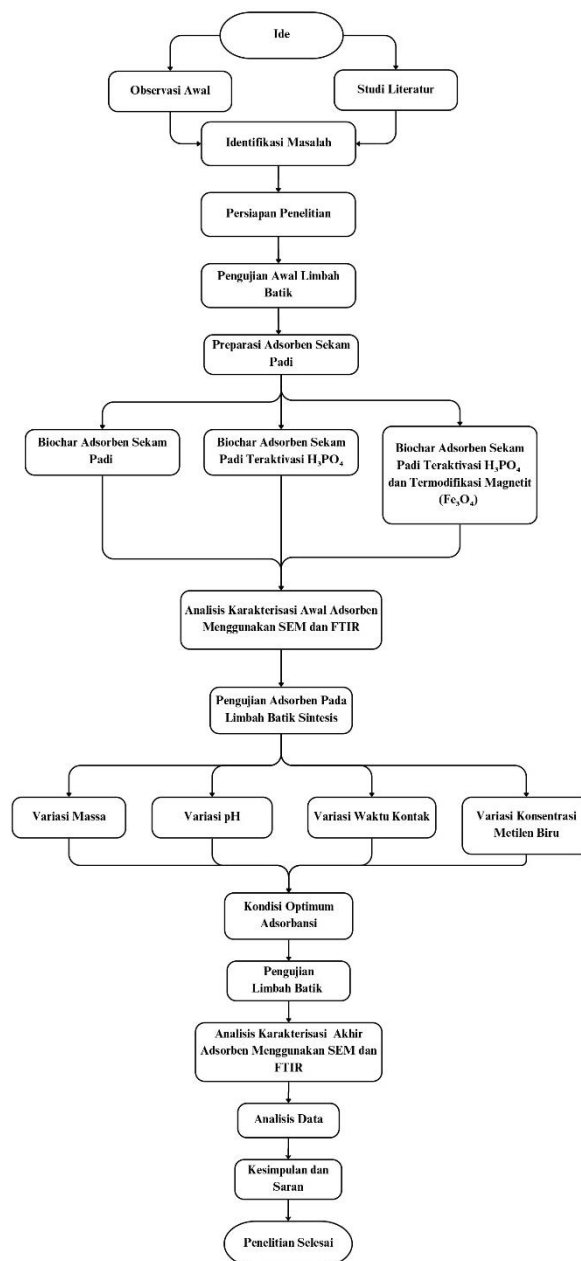
3.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini mempunyai 2 variabel, yaitu variabel terikat dan variabel bebas yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Variabel terikat
 - a. Adsorben *biochar* sekam padi
 - b. Aktivasi *biochar* sekam padi teraktivasi dengan H_3PO_4 10% berdasarkan penelitian oleh Niu dkk., (2021).
 - c. Modifikasi 6,5 gram *biochar* sekam padi teraktivasi dengan 400 mL larutan garam besi yaitu campuran 7,8 gram (28 mmol) $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan 3,9 gram (14 mmol) $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ berdasarkan penelitian oleh Lestari dkk., (2021)
 - d. Limbah batik asli mengandung metilen biru yang telah di filtrasi menggunakan kertas saring
 - e. Volume larutan 20 mL
 - f. Kecepatan pengadukan 150 rpm
 - g. Panjang gelombang 463 nm Spektrofotometri Uv vis.
2. Variabel bebas
 - a. Massa Adsorben sebesar 50 mg, 100 mg, 150 mg dan 200 mg.
 - b. pH yang digunakan adalah 3,5,7 dan 9
 - c. Waktu kontak selama 15, 30, 60, 90 dan 120 menit.
 - d. Konsentrasi Metilen Biru sebesar 5 mg/L, 10 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L

3.4 Prosedur Penelitian

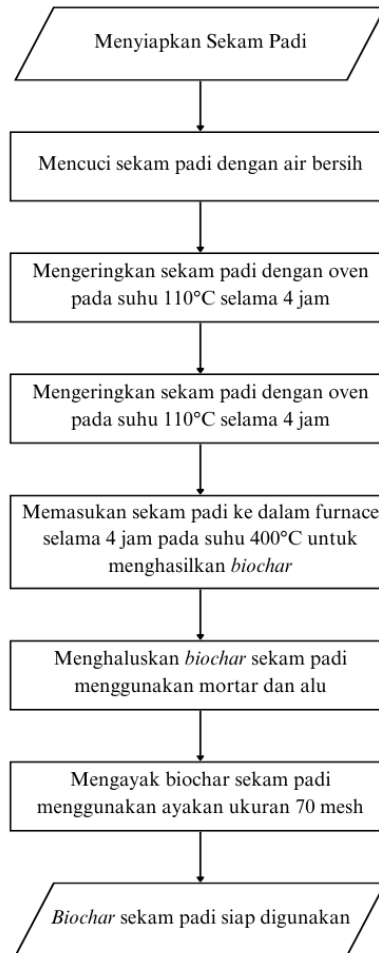
Pada prosedur penelitian ini tahapan mencakup preparasi awal *biochar* dari sekam padi, aktivasi *biochar*, dan modifikasi lebih lanjut menggunakan besi oksida untuk meningkatkan kinerja adsorpsi. Secara umum prosedur penelitian pemanfaatan sekam padi sebagai adsorben metilen biru pada limbah batik digambarkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Preparasi Adsorben

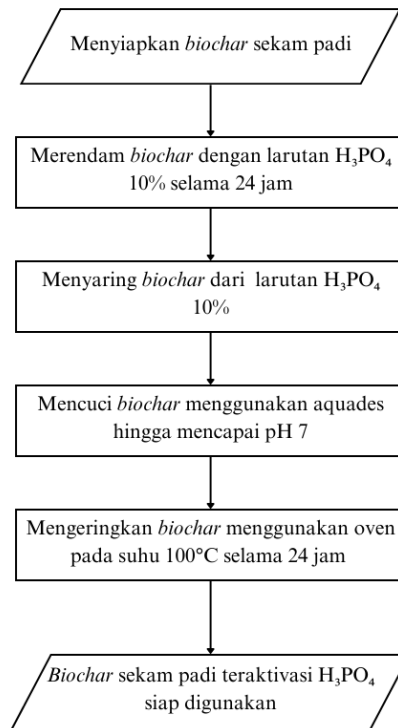
Pembuatan adsorben *biochar* yang berasal dari sekam padi, diperoleh dari penggilingan gabah yang berlokasi di dusun Balong, Desa Donoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Preparasi diawali dengan mencuci sekam padi untuk menghilangkan kotoran yang masih menempel. Kemudian dilanjutkan dengan mengeringkan sekam padi dengan oven pada suhu 110° C selama 4 jam. Selanjutnya sekam padi dimasukkan ke dalam furnace selama 4 jam dengan suhu 400° C agar dihasilkan *biochar*. Selanjutnya sekam padi yang sudah menjadi *biochar* dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan mesh 70 agar didapatkan ukuran partikel yang seragam. Diagram alir preparasi adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Pembuatan *Biochar* Sekam Padi

3.4.2 Aktivasi *Biochar* Sekam Padi

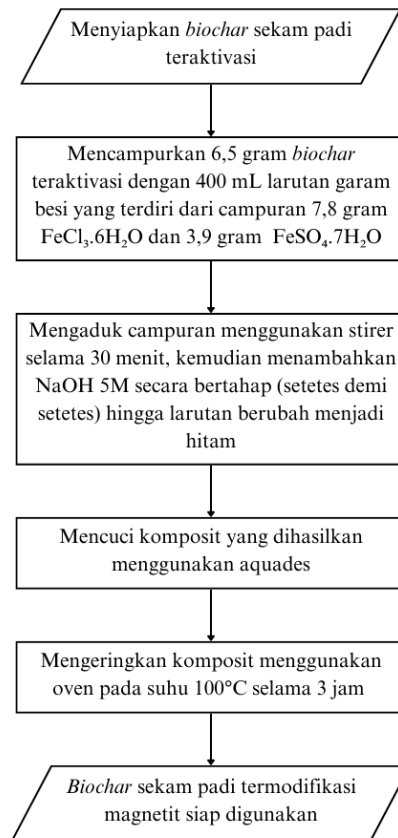
Proses aktivasi dilakukan dengan mencampur *biochar* dengan H_3PO_4 sebanyak 10 persen dengan perbandingan 1:5 selama 24 jam. Selanjutnya campuran tersebut disaring dan endapannya dicuci menggunakan aquades hingga mencapai pH 7. *Biochar* kemudian dikeringkan menggunakan oven ada suhu $100^\circ C$ selama 24 jam (Niu dkk., 2021). Diagram alir aktivasi *biochar* sekam padi dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Preparasi Adsorben *Biochar* Sekam Padi Teraktivasi

3.4.3 Modifikasi Adsorben *biochar* sekam padi dengan Besi Oksida

Pembuatan *biochar* teraktivasi Besi Oksida mengacu pada penelitian sebelumnya (Lestari dkk., 2021). Sebanyak 6,5 gram *biochar* dicampurkan dengan 400 mL larutan garam besi. Larutan garam besi merupakan campuran 7,8 gram (28 mmol) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 3,9 gram (14 mmol) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Campuran *biochar* dan besi oksida diaduk selama 30 menit, kemudian ditambahkan 100 mL NaOH 5M tetes demi tetes sehingga terbentuk endapan komposit berwarna hitam dengan perbandingan bobot *biochar* dan garam besi 1:2. Komposit kemudian disaring dan dicuci dengan aquades lalu dimineralisasi dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 100° C selama 3 jam. Diagram alir modifikasi adsorben *biochar* sekam padi dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pembuatan Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

3.4.4 Karakterisasi Adsorben

Pada riset ini, adsorben dikarakterisasi menggunakan beberapa instrumen di antaranya FTIR pada rentang 4000-400/cm, untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung pada adsorben. Morfologi permukaan diobservasi menggunakan SEM-EDX melalui pemindaian dengan pancaran tinggi elektron.

3.5 Analisis Sampel

Analisis sampel dilakukan untuk menentukan kondisi optimum dari proses adsorpsi methylene blue menggunakan adsorben *biochar* yang telah dimodifikasi. Proses ini mencakup penentuan pH optimum, waktu kontak optimum, dan konsentrasi awal methylene blue yang sesuai untuk memaksimalkan efisiensi adsorpsi. Setiap parameter divariasikan secara sistematis untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap kinerja adsorben dalam menyerap methylene blue.

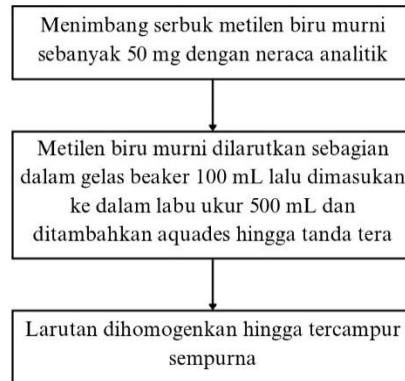
3.5.1 Persiapan Pengujian

a. Pengambilan Sampel Limbah Batik

Pengambilan sampel limbah cair batik dilakukan di salah satu Kampung Batik di Yogyakarta. Selanjutnya limbah cair batik dilakukan pengujian awal kadar dari methylene blue dan pH menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

b. Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru

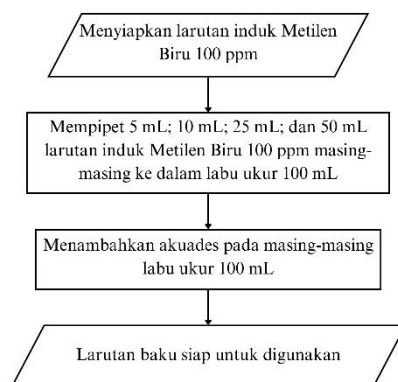
Larutan induk metilen biru disiapkan sebanyak 500 mL dengan konsentrasi 100 ppm. Pembuatan diawali dengan menimbang serbuk metilen biru murni sebanyak 50 mg dengan neraca analitik. Selanjutnya serbuk metilen biru murni dilarutkan sebagian dalam gelas beaker 100 mL lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda tera. Larutan dihomogenkan hingga tercampur sempurna. Larutan ini berfungsi sebagai larutan stok (induk) yang akan digunakan untuk pembuatan larutan dengan konsentrasi lebih rendah sesuai kebutuhan pengujian. Diagram alir pembuatan Larutan induk Metilen Biru dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru

c. Pembuatan Larutan Baku Metilen Biru

Pembuatan larutan baku Metilen Biru dilakukan dengan menggunakan larutan induk berkonsentrasi 100 ppm yang telah disiapkan sebelumnya. Masing-masing larutan baku dengan konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, dan 50 ppm dibuat dengan memipet larutan induk sebanyak 5 mL, 10 mL, 25 mL, dan 50 mL secara berturut-turut ke dalam labu ukur berukuran 100 mL. Setelah itu, masing-masing labu ukur ditambahkan akuades hingga mencapai tanda tera. Larutan kemudian dihomogenkan hingga tercampur sempurna. Diagram alir pembuatan larutan baku Metilen Biru dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Diagram Alir Pembuatan Larutan Baku Metilen Biru

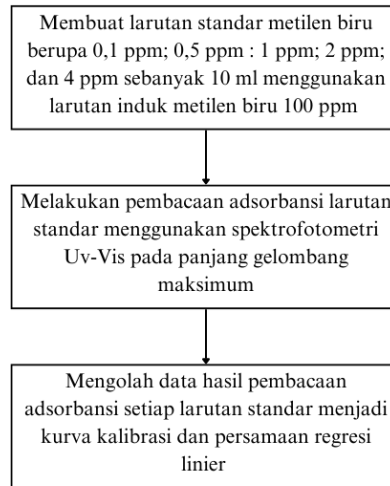
3.5.2 Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Metilen

Biru

Larutan metilen biru 2 ppm disiapkan dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis dalam rentang panjang gelombang 400-800 nm. Selanjutnya, dibuat grafik antara absorbansi dan panjang gelombang untuk menentukan panjang gelombang serapan maksimum metilen biru.

3.5.3 Pembuatan Kurva Kalibrasi

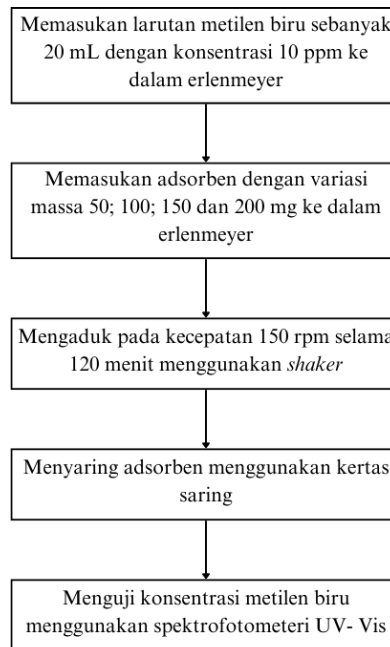
Larutan standar metilen biru berupa 0,1 ppm; 0,5 ppm : 1 ppm; 2 ppm; dan 4 ppm sebanyak 10 ml dibuat menggunakan larutan induk metilen biru 100 ppm menggunakan labu ukur 100 mL. Setelah itu dilakukan pembacaan adsorbansi larutan standar menggunakan spektrofotometeri UV-Vis pada panjang gelombang serapan maksimum yang telah ditentukan. Hasil absorbansi dari setiap larutan standar kemudian digunakan untuk menyusun kurva kalibrasi, yang akan menjadi acuan dalam menentukan konsentrasi metilen biru dalam sampel uji. Diagram alir pembuatan kurva kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Diagram Alir Pembuatan Kurva Kalibrasi Metilen Biru

3.5.4 Penentuan Massa Adsorben Optimum

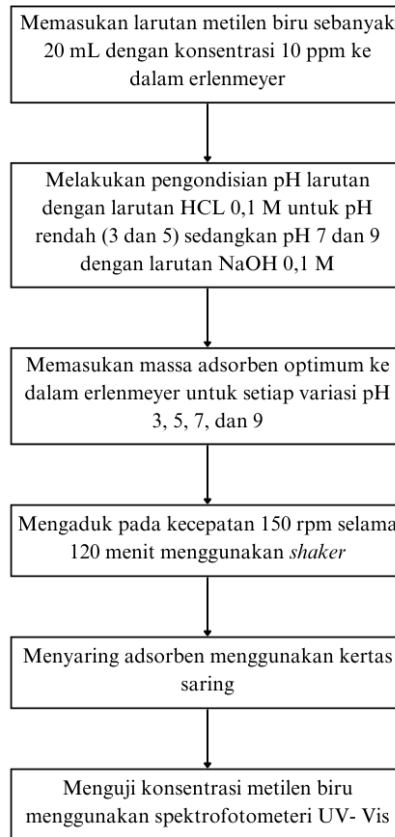
Penentuan massa optimum adsorben dilakukan dengan menggunakan larutan yang mengandung 10 ppm sebanyak 20 mL, kemudian ditambah adsorben dengan variasi massa 50; 100; 150 dan 200 mg. Dalam penentuan massa adsorben optimum juga digunakan larutan initial dan kontrol sebagai pembanding. Larutan kontrol dan variasi massa tersebut di shaker selama 2 jam dengan kecepatan 150 rpm kemudian disaring. Filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Selanjutnya filtrat dianalisis hasil adsorbansinya untuk ditentukan massa asorben optimumnya. Diagram alir penentuan massa optimum adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Diagram Alir Penentuan Massa Optimum

3.5.5 Penentuan pH Optimum

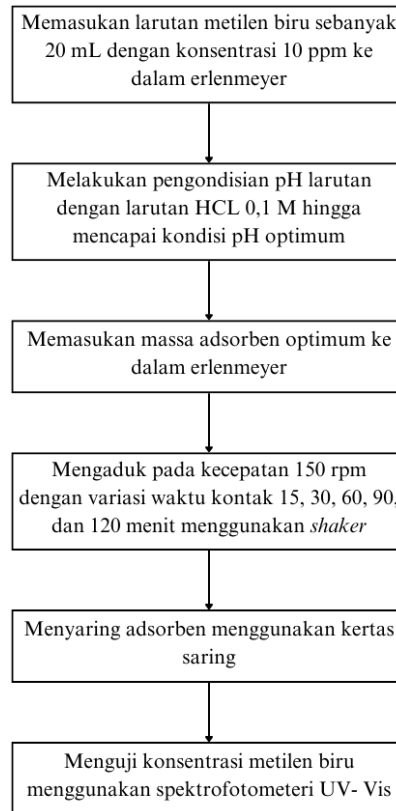
Pada menentukan variasi sebelumnya akan didapat massa optimum, dan selanjutnya akan dilakukan penentuan pH optimum. Sebanyak 20 mL air mengandung metilen biru 10 ppm dimasukan adsorben massa adsorben optimum dengan variasi pH 3,5,7 dan 9. Sebelum dilakukan pengujian pH di cek sebelum dan sesudah pengujian untuk di ketahui apakah terdapat perubahan pH akibat penambahan adsorben. Variasi pH lalu di shaker selama 2 jam dengan kecepatan 150 rpm kemudian diuji menggunakan spektrofotometer Uv vis untuk ditentukan pH optimumnya. Diagram alir penentuan pH optimum adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Diagram Alir Penentuan pH Optimum

3.5.6 Penentuan Waktu Kontak Optimum

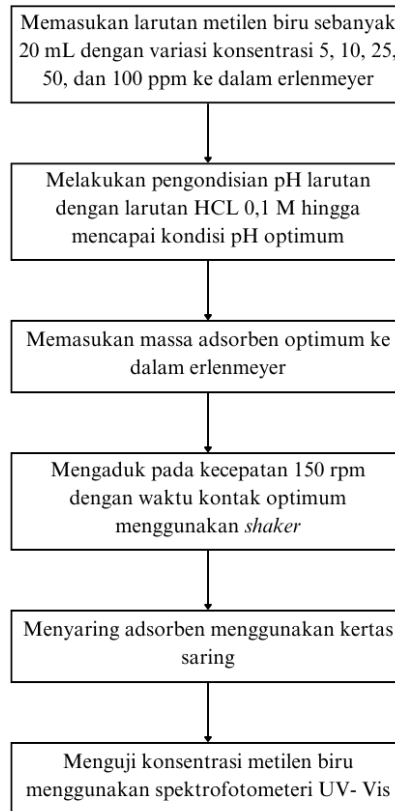
Sebanyak 20 mL larutan metilen biru 10 ppm ditambah adsorben dengan massa optimum dan dengan pengondisian pH optimum menggunakan larutan asam atau larutan basa. Kemudian, dilakukan pengadukan dengan variasi waktu yaitu 15, 30, 60, 90 dan 120 menit. Setelah itu, dilakukan pemisahan filtrat dan residu melalui penyaringan. Selanjutnya filtrat dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum untuk mengetahui waktu kontak optimum. Diagram alir penentuan waktu kontak optimum adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Diagram Alir Penentuan Waktu Optimum

3.5.7 Penentuan Konsentrasi Optimum

Setelah mendapatkan massa adsorben optimum, kondisi pH optimum dan waktu kontak optimum, selanjutnya dilakukan analisis efisiensi kemampuan adsorben dalam menyerap metilen biru dengan variasi konsentrasi tertentu yakni 5; 10; 25; 50; 100 mg/L dengan kecepatan shaker 150 rpm. Selanjutnya dilakukan pemisahan filtrat dan residu untuk melalui penyaringan. Selanjutnya filtrat dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Diagram alir penentuan konsentrasi optimum adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.11.

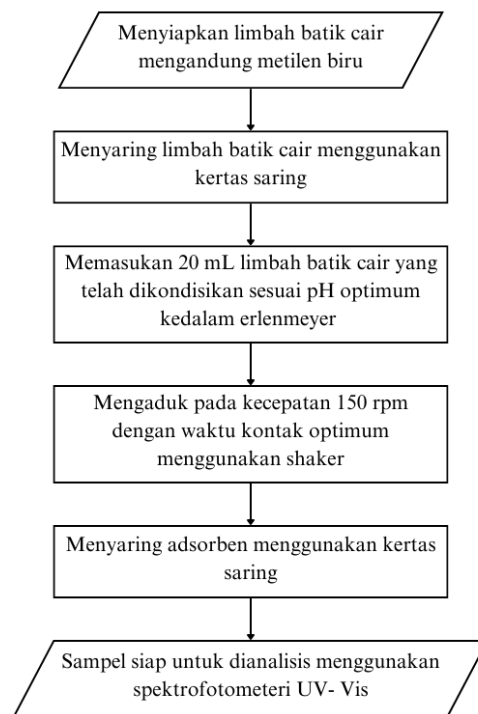


Gambar 3. 11 Diagram Alir Penentuan Konsentrasi Optimum

3.5.8 Pengujian Kondisi Adsorben Optimum pada Limbah Batik

Setelah didapatkan hasil kondisi optimum dari massa adsorben, pH, dan waktu kontak. Selanjutnya adalah melakukan pengujian pada sampel limbah batik asli mengandung metilen biru. Sebelum di gunakan limbah batik terlebih dahulu disaring untuk memisahkan padatan dari proses pembatikan yang mungkin masih tercampur pada limbah batik. Selanjutnya sebanyak 20 ml limbah batik mengandung metilen biru dimasukan massa adsorben optimum dan dilakukan pengondian pH optimum untuk kemudian diaduk menggunakan shaker dengan kecepatan 150 rpm dengan waktu optimum. Selanjutnya dilakukan pemisahan filtrat dan residu melalui penyaringan. Filtrat dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum untuk mengetahui konsentrasi metilen biru

yang tersisa dalam larutan. Diagram alir penentuan kondisi optimum adsorben pada limbah batik dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Diagram Alir Pengujian Adsorben pada Kondisi Optimum Pada Limbah Batik Mengandung Metilen Biru

3.6 Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini bertujuan untuk memahami hasil yang diperoleh dan mengevaluasi kinerja adsorben dalam menyerap methylene blue dari larutan limbah cair tekstil. Model isotermal yang digunakan, yaitu Langmuir dan Freundlich, berfungsi untuk menggambarkan efisiensi penyerapan *biochar* serta menentukan mekanisme interaksi antara adsorben dan adsorbat. Selain itu, juga digunakan perhitungan kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi untuk menganalisis kinerja adsorben.

3.6.1 Model Isoterm Adsorpsi

a. Isoterm Langmuir

Model isoterm Langmuir menggambarkan proses adsorpsi pada permukaan yang homogen, di mana adsorpsi terjadi dalam bentuk monolayer tanpa interaksi antar molekul adsorbat. Model ini mengasumsikan bahwa semua situs adsorpsi memiliki energi yang sama dan setiap situs hanya dapat diisi oleh satu molekul adsorbat. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b} + \frac{C_e}{Q_0} \dots (1)$$

Keterangan:

C_e = konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

q_e = jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g)

q₀ = kapasitas adsorpsi (mg/g)

b = intensitas adsorpsi (L/mg)

b. Isoterm Freundlich

Model isoterm Freundlich menggambarkan adsorpsi pada permukaan yang heterogen, dengan asumsi bahwa energi adsorpsi bervariasi pada setiap situs. Adsorpsi pada permukaan heterogen ini dapat melibatkan interaksi multilayer.

$$\log \frac{X_m}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C_e \dots (2)$$

Keterangan:

x = jumlah zat terlarut yang diserap (mg)

m = massa adsorben yang digunakan (g)

C_e = konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

k = kapasitas adsorpsi (mg/g)

n = intensitas adsorpsi (L/g)

3.6.2 Perhitungan Kapasitas dan Efisiensi Adsorpsi

Nilai konsentrasi dari hasil adsorpsi dianalisis dengan menggunakan rumus kapasitas adsorpsi (Q_e) dan daya adsorpsi (% adsorpsi). Kapasitas adsorpsi dihitung menggunakan rumus berikut (Amelia dkk., 2023).

$$\% \text{ Penyerapan metilen biru} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \dots (3)$$

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \dots (4)$$

Keterangan:

C_0 = konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_t = konsentrasi larutan setelah waktu tertentu (mg/L)

V = volume larutan (L).

m = massa adsorben yang digunakan (g)

BAB IV

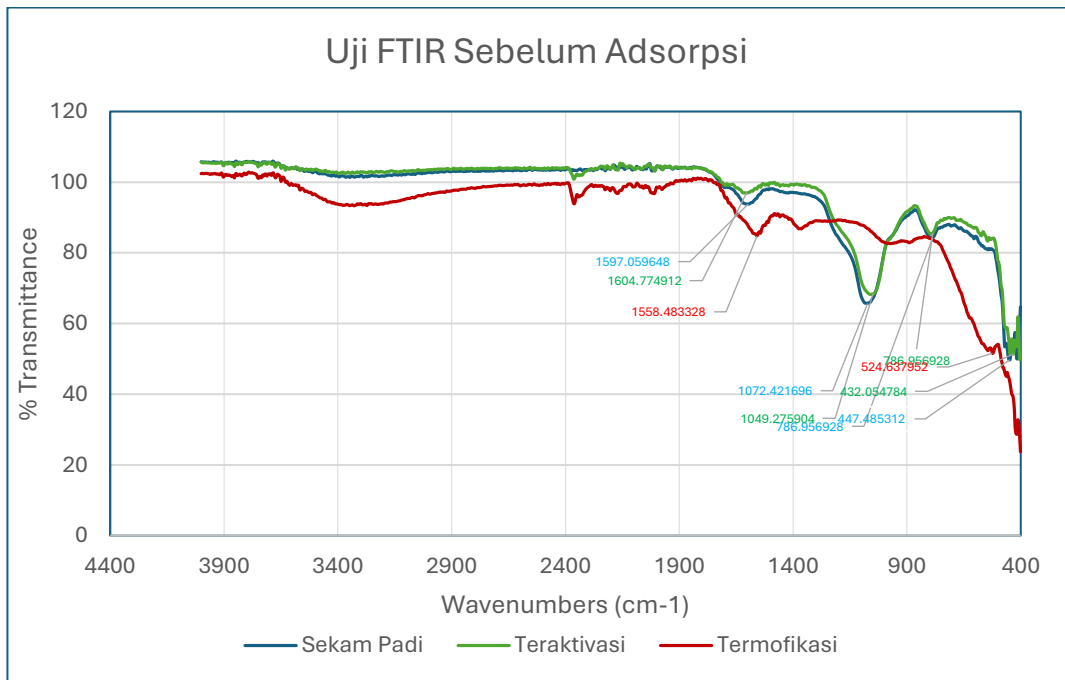
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Adsorben

4.1.2 Karakterisasi Menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*)

Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada setiap jenis adsorben, yaitu adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit. Data yang diperoleh dari pengujian FTIR kemudian dianalisis dengan mengidentifikasi puncak (*peak*) spesifik pada spektrum/Panjang gelombang tertentu (Muharani & Purba, 2023). Hasil uji FTIR pada adsorben *biochar* sekam padi berfokus pada kandungan silika (SiO_2) dengan kelompok gugus fungsi yang menonjol seperti gugus siloksan (Si-O-Si) dan silanol (Si-OH). Menurut Sari dkk., (2023) kadar silika (SiO_2) yang terkandung dalam sekam padi dapat mencapai 77,044%.

Pada Lampiran 2. Dapat dilihat hasil pembacaan FTIR yang kemudian dianalisis puncak spesifiknya. Puncak spesifik tersebut akan merepresentasikan jenis gugus fungsi yang dimiliki adsorben *biochar* sekam padi. Hasil pengujian FTIR disajikan dalam bentuk grafik, dengan sumbu x sebagai panjang gelombang (cm^{-1}) dan sumbu y sebagai persentase (%) *transmittance*. Hasil pengujian FTIR pada adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil Uji FTIR Sebelum Adsorpsi

Dari hasil karakterisasi FTIR dari ketiga jenis adsorben *biochar* sekam padi sebelum pengujian diatas kemudian dapat diidentifikasi titik puncak panjang gelombang spesifik yang terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Interpretasi Gugus Fungsi Adsorben Sebelum Adsorpsi

Puncak	Sekam Padi (cm-1)	Biochar sekam padi teraktivasi (cm-1)	Biochar sekam padi termofikasi magnetit (cm-1)	Panjang Gelombang	Gugus Fungsi
A	1597.06	1558.48	1558.48	1500-1680	C=C
B	1072.42	1049.28	-	1100-1000	Si-O-Si
C	786.96	786.96	-	860-760	Si-C
D	-	-	524.64	520-590	Fe-O
E	447.49	432.05	-	520-430	C-O-C

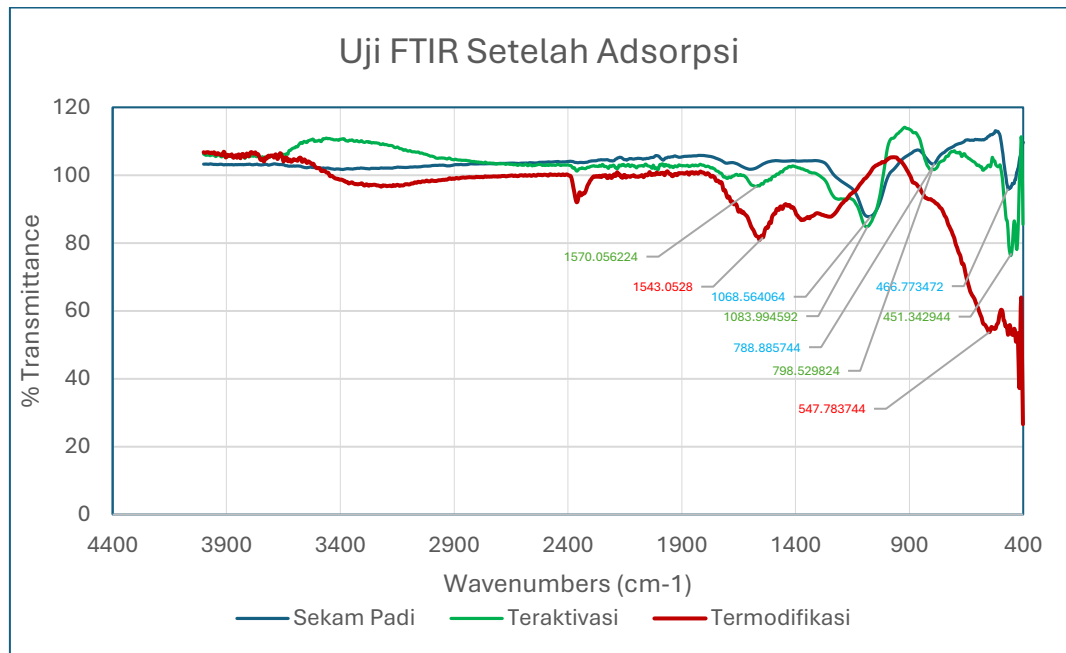
(Sumber : Data Primer, 2025)

Berdasarkan grafik hasil uji, pada ketiga jenis adsorben, yakni adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan adsorben *biochar* sekam padi termofikasi magnetit terdapat gugus fungsi C=C pada Panjang gelombang berturut-turut 1597.06 cm⁻¹, 1558.48 cm⁻¹, dan 1558.48 cm⁻¹. Pada adsorben *biochar* sekam padi dan *biochar* sekam

padi teraktivasi menunjukkan terdapat gugus siloksan (Si–O–Si) pada bilangan 1072.42 cm^{-1} dan 1049.28 cm^{-1} . Selain itu, pada adsorben *biochar* sekam padi dan *biochar* sekam padi teraktivasi juga terdapat gugus fungsi Si-C pada bilangan berturut-turut pada bilangan 786.96 cm^{-1} dan 786.96 cm^{-1} . Selanjutnya pada adsorben *biochar* sekam padi magnetit terdapat gugus fungsi khas yang menunjukkan adanya seraoan Fe-O yaitu pada bilangan 524.64 cm^{-1} .

Gugus fungsi C-O-C juga ditemukan pada adsorben *biochar* sekam padi dan adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi yakni pada bilangan 447.49 cm^{-1} dan 432.05 cm^{-1} . Keberadaan gugus gugus diatas terutama gugus siloksan dan gugus fungsi Si-C menunjukkan bahwa adsorben *biochar* sekam padi dan adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi memiliki kandungan silika serta senyawa organik yang belum sepenuhnya terdekomposisi. Selain itu, gugus fungsi Fe-O juga menandakan bahwa adsorben sudah termodifikasi magnetit.

Selanjutnya adalah hasil pengujian FTIR pada adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit yang telah di aplikasikan pada limbah batik mengandung metilen biru yang bisa dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Hasil Uji FTIR Setelah Adsorpsi

Dari hasil karakterisasi FTIR dari ketiga jenis adsorben *biochar* sekam padi setelah pengujian diatas kemudian dapat diidentifikasi titik puncak panjang gelombang spesifik yang terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Interpretasi Gugus Fungsi Adsorben Setelah Adsorpsi

Puncak	Sekam Padi (cm-1)	Sekam Padi Teraktivasi (cm-1)	Sekam Padi Termodifikasi Magnetit (cm-1)	Panjang Gelombang	Gugus Fungsi
A	-	1570.056224	1543.05	1500-1680	C=C
B	1068.56	1083.99	-	1100-1000	Si-O-Si
C	788.89	798.53	-	860-760	Si-C
D	-	-	547.78	520-590	Fe-O
E	466.77	451.34	-	520-430	C-O-C

(Sumber : Data Primer, 2025)

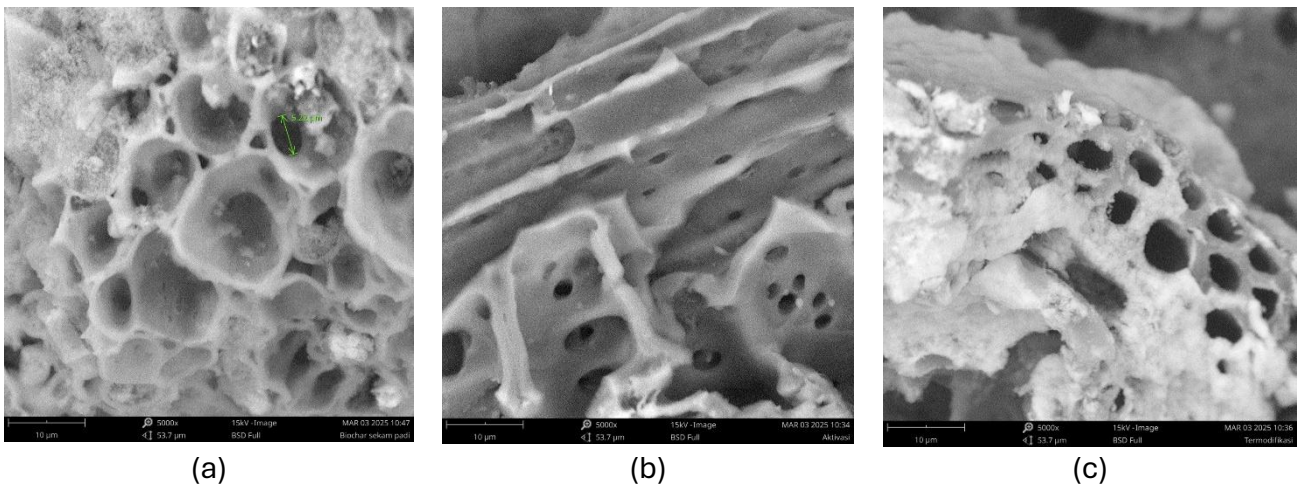
Dari Tabel 4.2 Dapat diidentifikasi gugus fungsi pada serapan spesifik adsorben *biochar* sekam padi setelah pengujian. Pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetitmasi terdapat gugus fungsi C=C pada panjang gelombang berturut-turut 1570.06 cm^{-1} dan 1543.05 cm^{-1} . Gugus fungsi siloksan (Si-O-Si) juga di temukan pada bilangan 1068.56 cm^{-1} pada

adsorben *biochar* sekam padi dan 1083.99 cm^{-1} pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi. Gugus fungsi Si-C juga terdapat pada bilangan 788.89 cm^{-1} pada adsorben *biochar* sekam padi dan bilangan 798.53 cm^{-1} pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi. Kandungan besi dalam adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit dapat diketahui pada bilangan 547.78 cm^{-1} berupa gugus Fe-O. Selain itu gugus fungsi C-O-C ditemukan di ketiga adsorben setelah pengujian pada ketiga adsorben, yakni bilangan 466.77 cm^{-1} pada adsorben *biochar* sekam padi, bilangan 408.91 cm^{-1} pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan bilangan 489.92 cm^{-1} pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit.

Setelah proses adsorpsi metilen biru, karakterisasi FTIR menunjukkan perubahan gugus fungsi pada ketiga jenis adsorben. Pada gugus fungsi C=C terdeteksi pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan termodifikasi magnetit dengan sedikit pergeseran bilangan gelombang, yaitu 1570.06 cm^{-1} dan 1543.05 cm^{-1} . Keberadaan gugus fungsi Si-O-Si pada adsorben *biochar* sekam padi pada bilangan 1068.56 cm^{-1} dan *biochar* sekam padi teraktivasi pada bilangan 1083.99 cm^{-1} menunjukkan struktur silika yang stabil, sementara gugus Fe-O pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit pada bilangan 547.78 cm^{-1} membuktikan keberhasilan proses modifikasi. Selain itu, gugus fungsi C-O-C yang terdeteksi pada ketiga adsorben dengan bilangan gelombang berbeda mengindikasikan adanya perubahan struktur kimia permukaan akibat interaksi dengan metilen biru. Namun pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit tidak ditemukan gugus silika (Si-O-Si dan Si-C) yang sebelumnya ada pada adsorben *biochar* sekam padi dan *biochar* sekam padi teraktivasi. Hilangnya gugus silika ini kemungkinan disebabkan oleh proses sintesis magnetit yang melibatkan perlakuan kimia intensif sehingga dapat menyebabkan dekomposisi dan penghilangan struktur silika dari sekam padi.

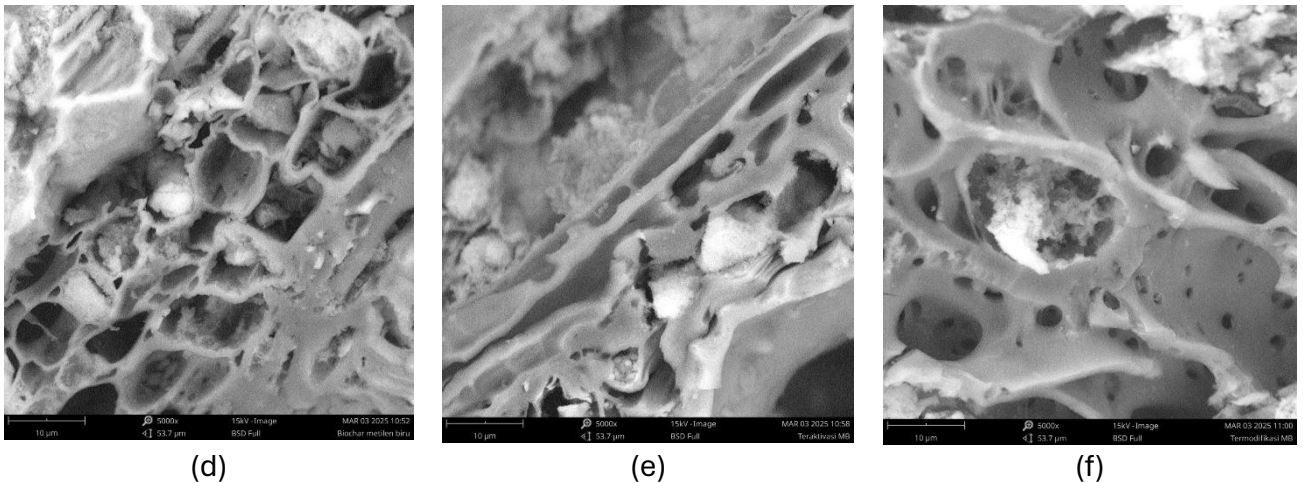
4.1.3 Karakterisasi Menggunakan SEM

Karakterisasi menggunakan SEM dilakukan dengan tujuan untuk mengamati morfologi adsorben *biochar* sekam padi. Pembacaan adsorben menggunakan perbesaran 5000 kali pada ketiga jenis adsorben yakni adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit sebelum dilakukan pengujian pada limbah batik dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 (a) Permukaan *Biochar* Adsorben *biochar* sekam padi (b) Permukaan *Biochar* Adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi (c) Permukaan *Biochar* Adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit

Dari Gambar 4.3 dengan perbesaran 5000 kali, pori-pori adsorben sudah dapat terlihat dengan jelas. Pada pori-pori adsorben *biochar* sekam padi dapat terlihat struktur yang masih alami dengan ukuran yang tidak merata. Sedangkan pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi, terlihat adanya struktur permukaan yang tampak lebih kasar dan terbuka. Selanjutnya pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi, permukaan terlihat lebih kompleks dengan ada nya partikel seperti granula yang melekat di sekitar pori-pori adsorben.



(d) Permukaan *Biochar* Adsorben *biochar* sekam padi Setelah Adsorpsi (e) Permukaan *Biochar* Adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi Setelah Adsorpsi (f) Permukaan *Biochar* Adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit Setelah Adsorpsi

Gambar 4.4 merupakan bentuk morfologi dengan perbesaran 5000 kali di permukaan adsorben pada ketiga jenis adsorben, yaitu adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi, dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit yang sudah dipakai dalam pengujian adsorpsi limbah batik. Pada permukaan ketiga adsorben terdapat pori-pori yang akan menyerap polutan metilen biru.

4.2 Analisis Metilen Biru sebagai Adsorbat

4.2.1 Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Metilen Biru

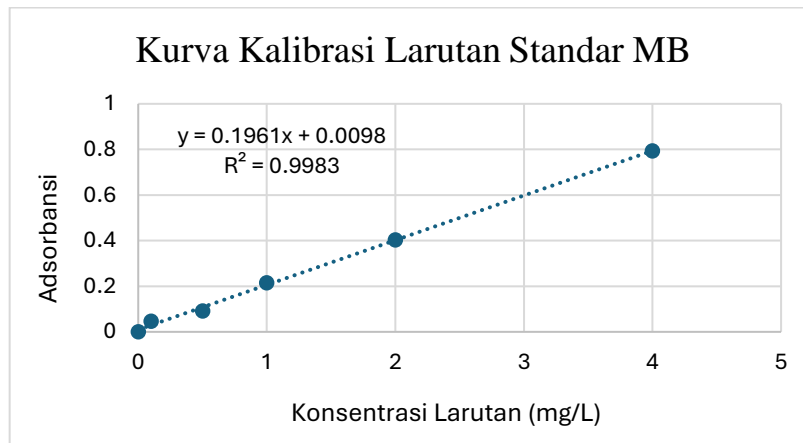
Penentuan panjang gelombang metilen biru menggunakan konsentrasi 2 ppm yang diambil dari larutan induk metilen biru 100 ppm. Larutan induk 100 ppm diencerkan menjadi 10 ppm dalam volume 500 ml dengan cara mengambil larutan induk 50 mL kemudian diencerkan kedalam labu ukur 500 mL. Selanjutnya diambil 2 ml larutan metilen biru 10 ppm dan diencerkan kedalam labu ukur 10 mL. Penentuan Panjang gelombang maksimum metilen biru bertujuan untuk mengetahui penyerapan Cahaya paling maksimum menggunakan instrumen spektrofotometri UV Vis. Dari nilai Panjang gelombang maksimum tersebut bisa ditentukan nilai adsorbansi dan konsentrasi dari suatu larutan.

Larutan metilen biru merupakan larutan berwarna sehingga pengujian dilakukan pada rentang panjang gelombang 400-800 nm. Rentang tersebut dipilih karena mewakili panjang gelombang pada rentang cahaya tampak (*visible light*). Setelah dilakukan pengujian didapatkan kurva hasil perbandingan antara Panjang gelombang sebagai sumbu X dan adsorpsi sebagai sumbu Y, panjang gelombang maksimum metilen biru dari larutan metilen biru 2 ppm adalah 663 nm.

4.2.2 Pembuatan Larutan Standar dan Kurva Kalibrasi

Larutan standar metilen biru dibuat dari larutan induk 100 ppm yang berasal dari 50 miligram indikator metilen biru yang dilarutkan menggunakan aquades 500 ml. Larutan induk kemudian diencerkan untuk membuat deret larutan standar dan dilakukan pengukuran adsorbansi menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Hasil pengukuran adsorbansi kemudian digunakan untuk menyusun kurva kalibrasi. Hasil koefisien determinasi (R^2) mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan konsentrasi larutan metilen biru dan adsorbansi bersifat linier dengan pola data yang membentuk garis lurus.

Konsentrasi metilen biru diukur dengan panjang gelombang maksimum 663 nm yang dapat mengukur konsentrasi dalam rentang 0-10 ppm. Hasil adsorbansi larutan ditampilkan dalam kurva kalibrasi larutan standar yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi larutan dengan adsorbansi terukur. Berdasarkan hasil kalibrasi, larutan standar metilen biru yang dibuat memiliki nilai $R^2 = 0,9983$ dengan koefisien korelasi $R = 0,9991$ dengan persamaan regresi linier $y = 0.1961x + 0.0098$ dengan kurva kalibrasi pada Gambar 4.5. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa persamaan regresi linier dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi metilen biru pada sampel uji.



Gambar 4. 5 Kurva Kalibrasi Larutan Standar Metilen Biru

4.3 Uji Adsorpsi

4.3.1 Uji Variasi Massa

Pengujian variasi massa dilakukan untuk mengetahui jumlah massa optimum dalam menyerap metilen biru dalam larutan. Konsentrasi awal yang digunakan adalah 10 ppm dengan kondisi pH 7 sebanyak 20 ml. Pengkodisian pH 7 larutan dilakukan dengan menambahkan larutan HCL 0,05 M dan NaOH 0,1 M setetes demi tetes sambil dilakukan pengecekan pH menggunakan pH meter. Selanjutnya larutan yang mengandung metilen biru 10 ppm dengan pH 7 dimasukan ke dalam erlenmeyer 100 ml. Variasi massa adsorben yang digunakan adalah 50, 100, 150, dan 200 mg untuk setiap produk adsorben yaitu adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi termodifikasi magnetit. Percobaan dilakukan menggunakan metode batch system, di mana larutan diaduk menggunakan orbital shaker selama 120 menit. Setelah proses pengadukan selesai, adsorben dipisahkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring dan diuji adsorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-Vis.

Hasil dari pembacaan adsorbansi Spektrofotometri Uv-Vis variasi massa pada adsorben *biochar* sekam padi, adsorben teraktivasi dan adsorben termodifikasi magnetit dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 3 Data Variasi Massa Adsorben *biochar* sekam padi

Variasi Massa Adsorben <i>biochar</i> sekam padi						
Sampel (mg)	pH awal	pH akhir	Cin (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi (%)
Kontrol	7.31	7.3	9.07	7.58	1.49	16.4
50	7.31	7.2	9.07	0.94	8.13	89.6
100	7.31	7.23	9.07	0.50	8.57	94.5
150	7.31	7.21	9.07	0.67	8.40	92.6
200	7.31	7.16	9.07	0.70	8.37	92.3

(Sumber : Data Primer, 2025)

Tabel 4. 4 Data Variasi Massa Adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi

Variasi Massa Adsorben <i>biochar</i> sekam padi teraktivasi						
Sampel (mg)	pH awal	pH akhir	Cin (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi (%)
Kontrol	7.31	7.28	9.07	7.44	1.63	18.0
50	7.31	7.26	9.07	0.75	8.32	91.8
100	7.31	7.13	9.07	0.34	8.73	96.2
150	7.31	7.1	9.07	0.15	8.92	98.3
200	7.31	6.98	9.07	0.06	9.01	99.4

(Sumber : Data Primer, 2025)

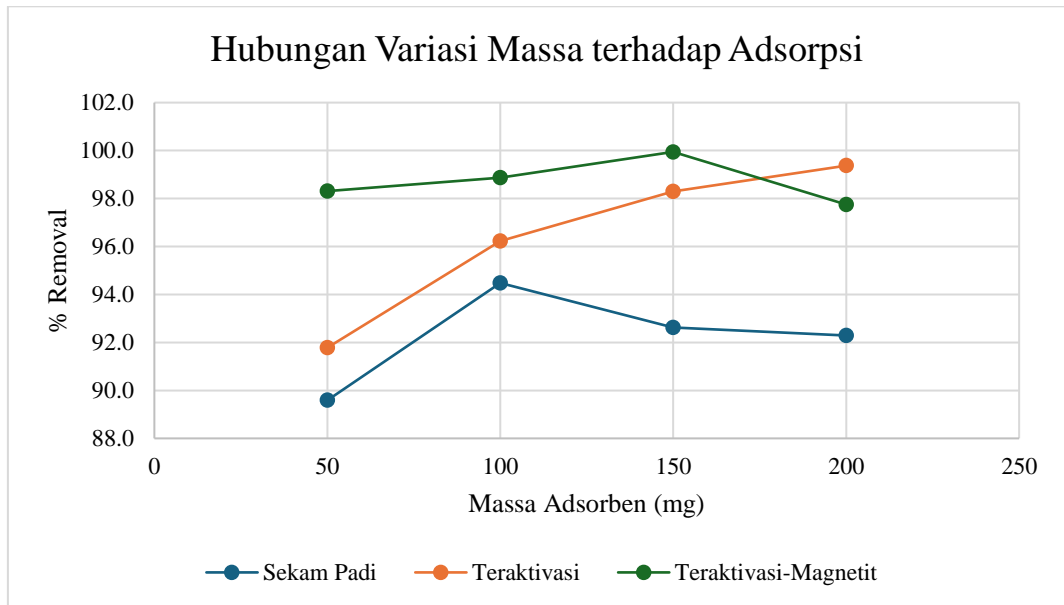
Tabel 4. 5 Data Variasi Massa Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Variasi Massa Adsorben <i>biochar</i> sekam padi teraktivasi Termodifikasi Magnetit								
Sampel (mg)	pH awal	pH akhir	Cin (mg/L)	C eff + C pengotor (mg/L)	C pengotor (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi (%)
Kontrol	7.31	7.31	9.07			8.07	1.00	11.0
50	7.31	7.85	9.07	0.37	0.22	0.15	8.92	98.3
100	7.31	7.92	9.07	0.84	0.74	0.10	8.97	98.9
150	7.31	8.1	9.07	1.17	1.17	0.01	9.06	99.9
200	7.31	8.23	9.07	1.62	1.42	0.20	8.87	97.8

(Sumber : Data Primer, 2025)

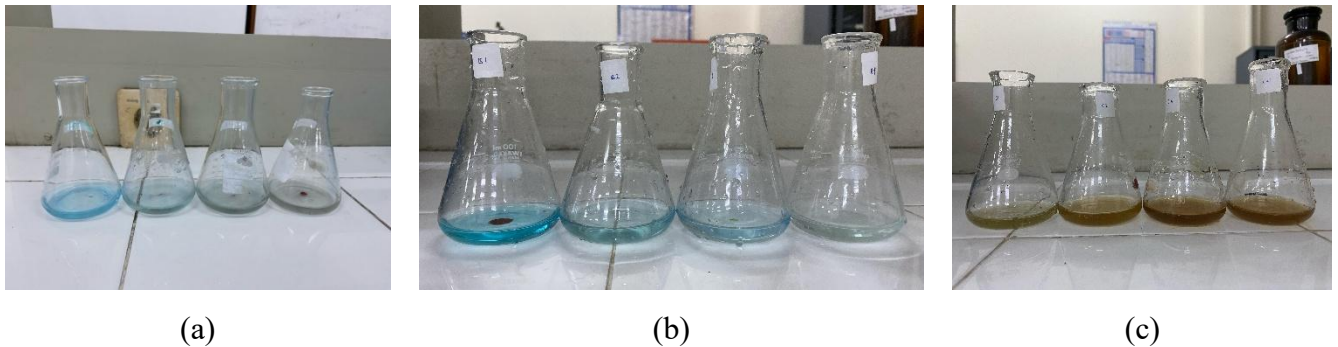
Data dari hasil uji variasi massa yang didapat selanjutnya di olah dalam bentuk grafik untuk mengetahui hubungan persentase (%) *removal*

dengan variasi massa adsorben untuk setiap produk adsorben. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Variasi Massa terhadap Adsorpsi

Berdasarkan hasil pengujian variasi massa yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa persentase *removal* metilen biru oleh jenis adsorben *biochar* sekam padi tergolong baik dan efektif menghilangkan kontaminan. Adsorben *biochar* sekam padi dapat *removal* kadar metilen biru dalam larutan meningkat perlahan dengan minimal presentasi penyerapan 89,6% pada variasi 50 mg hingga maksimal menyerap 94,5% pada variasi massa 100 mg. Setelah melalui fase penyerapan maksimal persentase penyerapan cenderung menurun namun masih di atas 90%. Pada adsorben *biochar* sekam padi, penurunan efisiensi *removal* kemungkinan disebabkan oleh adanya partikel adsorben 70 mesh yang masih menempel setelah proses penghalusan. Partikel-partikel tersebut dapat memperkeruh larutan dan mengganggu efektifitas magnetit seiring peningkatan variasi massa yang bisa dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 (a) Perubahan Warna pada Variasi Massa Adsorben Biochar Sekam Padi (b) Perubahan Warna pada Variasi Massa Adsorben Biochar Sekam padi Teraktivasi (c) Perubahan Warna pada Variasi Massa Adsorben Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi asam fosfat menunjukkan kinerja yang lebih baik dengan presentase minimal penyerapan metilen biru berupa 91,8% pada variasi massa 50 mg dan meningkat hingga mencapai 99,4% pada variasi massa 200 mg. Hal tersebut dikarenakan aktivasi adsorben menggunakan asam fosfat akan membuka mikropori pada adsorben *biochar* yang membuat penyerapan metilen biru akan semakin luas (Lestari dkk., 2021). Sedangkan pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit, terjadi peluruhan kandungan Fe dari magnetit Fe_3O_4 sehingga menjadi kekuningan yang bisa dilihat pada Gambar 4.7. Untuk tetap bisa menghitung kadar *removal* sebenarnya maka dilakukan metode koreksi, yaitu pengurangan konsentrasi larutan mengandung metilen biru dengan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit dikurangi aquade yang ditambahkan dengan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit sebagai kadar pengotor. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa persentase *removal* adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit menunjukkan kinerja yang paling baik dengan kestabilan *removal* diatas 97%. Kemampuan penyerapan maksimum adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit sebesar 99,9% pada variasi massa 150 mg dengan kemampuan penyerapan minimum sebesar 97,8% pada variasi massa 200 mg.

Dari Gambar terlihat bahwa efisiensi *removal* metilen biru pada larutan cenderung naik seiring dengan meningkatnya variasi massa adsorben. Namun terdapat titik dimana terdapat penurunan efisiensi pada adsorben *biochar* sekam padi dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit. Namun penurunan efisiensi pada kedua jenis adsorben tidak terlalu signifikan karena masih berada di atas 90% pada sebagian besar variasi massa yang diuji. Sehingga dari data dan grafik diatas, massa optimum tunggal dalam percobaan kali ini adalah sebesar 150 mg. Pada titik ini, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan termodifikasi magnetit memberikan hasil terbaik dan stabil, dengan efisiensi penghilangan yang stabil di atas 97% hingga 99%. Oleh karena itu, variasi massa adsorben 150 mg merupakan massa adsorben optimum karena mampu memberikan efisiensi penghilangan paling maksimal dengan kestabilan kadar efisiensi yang baik bagi produk adsorben yang lain.

4.3.2 Uji Variasi pH

Pengujian variasi nilai derajat keasaman (pH), dilakukan untuk mengetahui kondisi pH optimum dalam penyerapan metilen biru pada larutan. Pengkodisian kondisi pH dilakukan dengan penambahan larutan asam dan basa berupa larutan HCL 0,05 M dan NaOH 0,1 M. Penambahan dilakukan setetes demi tetes hingga pH yang ingin dicapai sambil dilakukan pengecekan pH menggunakan pH meter. Pada uji variasi pH, adsorben yang digunakan adalah 150 mg sesuai dengan hasil optimum uji variasi massa sebelumnya dengan waktu kontak 120 menit dalam pengadukan menggunakan orbital shaker berkecepatan 150 rpm. Hasil pengujian variasi pH dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 6 Data Percobaan Variasi pH Adsorben *Biochar* Sekam Padi

Variasi pH Adsorben <i>biochar</i> sekam padi							
Massa (mg)	pH rencana	pH awal	pH akhir	Cin (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi (%)
150	3	3.16	2.97	9.07	0.45	8.62	95.0

150	5	5.2	5.02	9.07	0.30	8.77	96.7
150	7	7.35	7.18	9.07	0.60	8.47	93.4
150	9	9.13	8.77	9.07	0.77	8.30	91.6

(Sumber : Data Primer, 2025)

Tabel 4. 7 Data Percobaan Variasi pH Adsorben *Biochar* Sekam Padi Teraktivasi

Variasi pH Adsorben <i>biochar</i> sekam padi teraktivasi							
Massa (mg)	pH rencana	pH awal	pH akhir	Cin (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi (%)
150	3	3.16	3.02	9.07	0.69	8.38	92.4
150	5	5.2	4.93	9.07	0.34	8.73	96.2
150	7	7.35	7.16	9.07	0.13	8.94	98.5
150	9	9.13	8.89	9.07	0.16	8.91	98.2

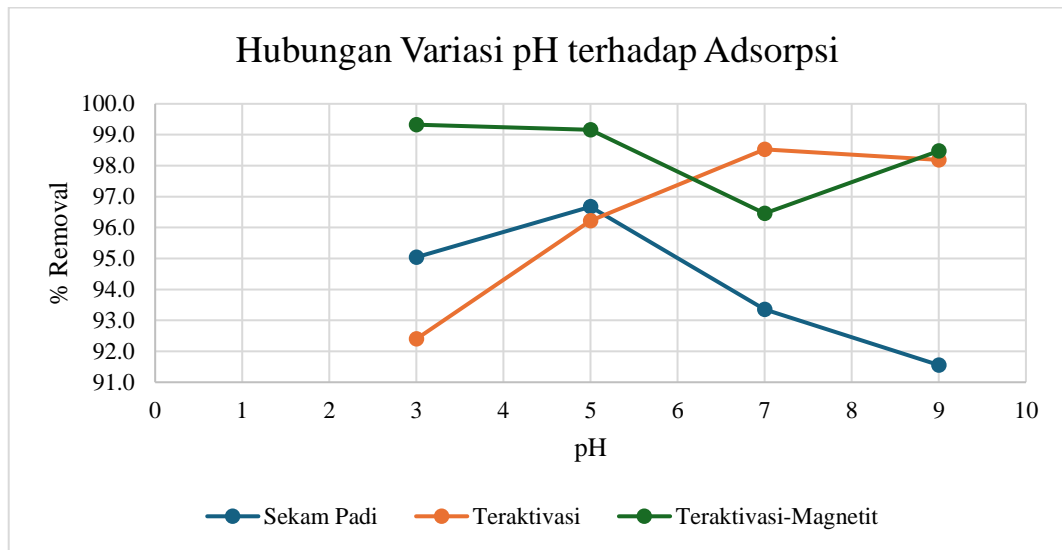
(Sumber : Data Primer, 2025)

Tabel 4. 8 Data Percobaan Variasi pH Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Variasi pH Adsorben <i>biochar</i> sekam padi teraktivasi Termodifikasi Magnetit									
Massa (mg)	pH rencana	pH awal	pH akhir	Cin (mg/L)	C _{eff} + C _{pengotor} (mg/L)	C _{pengotor} (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi/% <i>removal</i>
150	3	3.16	4.2	9.07	0.98	0.92	0.06	9.01	99.3
150	5	5.2	5.84	9.07	1.24	1.16	0.08	8.99	99.2
150	7	7.35	8.1	9.07	1.32	1.00	0.32	8.75	96.5
150	9	9.13	10.2	9.07	1.46	1.32	0.14	8.93	98.5

(Sumber : Data Primer, 2025)

Data dari hasil uji variasi pH yang didapat selanjutnya di olah dalam bentuk grafik untuk mengetahui hubungan persentase (%) *removal* dengan variasi pH untuk setiap produk adsorben. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Nilai pH dengan % Removal

Pengaruh variasi perubahan kondisi pH terhadap kemampuan setiap adsorben pada senyawa metilen biru dapat dilihat pada Gambar 4.8. Pengaruh pH terhadap efisiensi *removal* metilen biru berbeda untuk tiap varian adsorben *biochar* sekam padi karena perbedaan sifat permukaan yang diakibatkan oleh aktivasi dan modifikasi magnetik. Pada adsorben *biochar* sekam padi adsorpsi peningkatan dari pH 3 hingga pH 5. Hal tersebut dikarenakan pada pH yang cenderung asam, ion H^+ akan memprotonisasi senyawa metilen biru pada permukaan *biochar* sehingga menimbulkan tolakan elektostatik pada metilen biru yang merupakan kation (Baunsele dan Missa, 2020). Sedangkan pada pH 5 yang mendekati netral, tolakan elektrostatis mulai berkurang sehingga adsorpsi dapat bekerja optimal hingga mencapai efisiensi tertinggi yakni sebesar 96,7%. Namun menurut Wang dkk (2024), peningkatan pH seharusnya meningkatkan adsorpsi metilen biru karena terjadi gaya tarik elektrostatis yang kuat, namun grafik berbanding terbalik dengan menunjukkan penurunan. Hal ini bisa disebabkan oleh faktor lain seperti penurunan kelarutan MB pada pH sangat basa maupun karena gugus permukaan ekstra negatif dapat menarik anion lain (OH^-) atau mengalami perubahan konfigurasi. Namun, penurunan tersebut

relative kecil karena masih menunjukkan kinerja *removal* tinggi yakni diatas 90%.

Pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi asam fosfat, terjadi peningkatan *removal* metilen biru seiring dengan peningkatan pH. Hal tersebut dikarenakan aktivasi H_3PO_4 menambahkan banyak gugus fungsional asam pada permukaan, sehingga pada pH sangat rendah adsorpsi dapat terhambat karena gugus fungsional asam terprotonisasi sehingga bermuatan terlalu positif. Namun pada pH lebih tinggi adsorpsi mengalami peningkatan karena terdapat gaya tarik elektrostatis yang kuat (Setyawan dkk, 2018). Persentase tertinggi *removal* adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi maksimum sebesar 98.5 % pada pH 7 dan sedikit menurun pada pH 9 dengan *removal* sebesar 98,2%.

Pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit kapasitas adsorpsi tinggi berhasil dipertahankan di seluruh rentang pH, dengan sedikit fluktuasi penurunan kecil pada pH 7. Magnetit bisa bertindak sebagai penyangga muatan permukaan sehingga menurunkan densitas muatan positif ekstrim yang muncul pada *biochar* teraktivasi di pH asam. Hal tersebut membuat metilen biru tidak terlalu terhalang, sehingga tetap dapat teradsorpsi tinggi. Persentase *removal biochar* sekam padi termodifikasi magnetit sangat baik, yaitu sebesar 99.3% pada pH 3 dan sedikit menurun pada pH 5 yakni sebesar 99,2%. Namun secara umum fluktuasi *removal* tetaplh tinggi diatas 96,5 %.

Maka berdasarkan data dan grafik yang diperoleh dari percobaan variasi pH, kondisi pH optimum yang digunakan dalam adsorpsi senyawa metilen biru adalah pH 5. Kondisi pH 5 dipilih karena adsorpsi mencapai efisiensi tinggi pada sebagian besar varian adsorben, dengan minimal tolakan elektrostatis yang menghambat interaksi antara metilen biru dan permukaan adsorben.

4.3.3 Uji Variasi Waktu Kontak

Pengujian variasi waktu kontak bertujuan untuk menentukan waktu kontak optimum untuk mengadsorpsi metilen biru pada larutan hingga mencapai titik kesetimbangan. Massa adsorben dan nilai pH optimum diambil dari hasil pengujian sebelumnya yaitu massa adsorben 150 mg dan nilai pH larutan adalah 5. Variasi waktu kontak yang dipakai adalah selama 15, 30, 60, 90 dan 120 menit untuk setiap produk adsorben yaitu adsorben *biochar* sekam padi, adsorben teraktivasi dan adsorben termodifikasi magnetit. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 9 Data Percobaan Variasi pH Adsorben *Biochar* Sekam Padi

Variasi Waktu Kontak Adsorben <i>biochar</i> sekam padi								
Massa (mg)	Waktu	pH	pH awal	pH akhir	Cin (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi (%)
150	15	5	5.18	5.16	9.31	1.89	7.42	79.7
150	30	5	5.18	5.1	9.31	1.47	7.84	84.2
150	60	5	5.18	5.12	9.31	1.12	8.19	87.9
150	90	5	5.18	4.97	9.31	0.64	8.67	93.1
150	120	5	5.18	5.84	9.31	0.63	8.68	93.3

(Sumber : Data Primer, 2025)

Tabel 4. 10 Data Percobaan Variasi pH Adsorben *Biochar* Sekam Padi Teraktivasi

Variasi Waktu Kontak Adsorben <i>biochar</i> sekam padi teraktivasi								
Massa (mg)	Waktu	pH	pH awal	pH akhir	Cin (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi (%)
150	15	5	5.18	5.07	9.31	0.77	8.54	91.7
150	30	5	5.18	4.92	9.31	0.65	8.66	93.0
150	60	5	5.18	4.84	9.31	0.51	8.80	94.5
150	90	5	5.18	4.64	9.31	0.40	8.91	95.7
150	120	5	5.18	4.57	9.31	0.33	8.98	96.4

(Sumber : Data Primer, 2025)

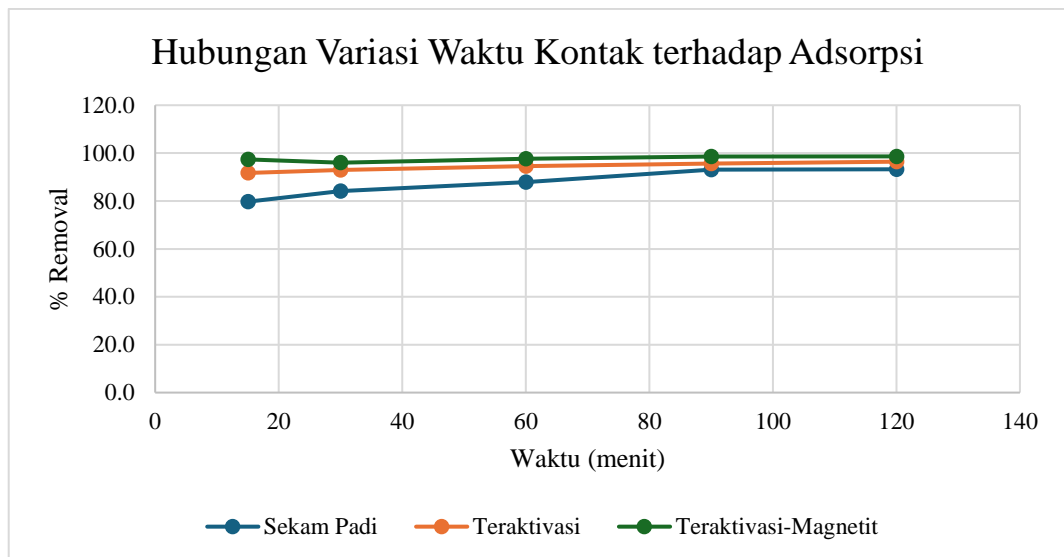
Tabel 4. 11 Data Percobaan Variasi pH Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Variasi Waktu Kontak Adsorben <i>biochar</i> sekam padi teraktivasi Termodifikasi Magnetit										
Massa (mg)	Waktu	pH	pH awal	pH akhir	Cin (mg/L)	C eff + C pengotor (mg/L)	C pengotor (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi (%)

150	15	5	5.18	5.28	9.31	0.86	0.61	0.24	9.07	97.4
150	30	5	5.18	5.41	9.31	1.06	0.68	0.37	8.94	96.0
150	60	5	5.18	5.79	9.31	1.04	0.82	0.22	9.09	97.6
150	90	5	5.18	5.9	9.31	1.08	0.95	0.13	9.18	98.6
150	120	5	5.18	6.11	9.31	1.41	1.28	0.13	9.18	98.6

(Sumber : Data Primer, 2025)

Data dari hasil uji variasi waktu kontak yang didapat selanjutnya di olah dalam bentuk grafik untuk mengetahui hubungan persentase (%) *removal* dengan variasi pH untuk setiap produk adsorben. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Waktu Kontak degan % Removal

Dari hasil percobaan variasi waktu kontak pada adsorben *biochar* sekam padi, ketiga jenis adsorben mencapai *removal* tertinggi pada waktu kontak 120 menit. Pada adsorben *biochar* sekam padi maksimal *removal* sebesar 93,3%, pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi mencapai kemampuan *removal* maksimal sebesar 96,4%, dan pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit berhasil mencapai kemampuan *removal* maksimum sebesar 98,6%. Berdasarkan data tersebut ketiga adsorben mengalami peningkatan *removal* seiring dengan meningkatnya waktu

kontak namun kenaikan presentasi *removal* relative kecil hingga mencapai titik kesetimbangan. Sehingga dari Grafik. dapat disimpulkan bahwa variasi waktu kontak optimum dalam penyerapan metilen biru adalah 120 menit karena peningkatan pada ketiga adsorben relatif di waktu tersebut relative kecil dan menunjukkan titik kesetimbangan.

4.3.4 Uji Variasi Konsentrasi

Pengujian variasi konsentrasi bertujuan untuk mengetahui maksimum penyerapan metilen biru oleh adsorben di dalam larutan. Massa adsorben, nilai pH optimum, dan waktu kontak optimum diambil dari hasil pengujian sebelumnya yaitu massa adsorben 150 mg, nilai pH larutan 5 dan waktu kontak 120 menit. Variasi konsentrasi yang dipakai selama pengujian adalah selama 5 mg/L, 10 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L dan 200 mg/L untuk setiap produk adsorben yaitu adsorben *biochar* sekam padi, adsorben teraktivasi dan adsorben termodifikasi magnetit. Hasil pengujian variasi konsentrasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 12 Data Pengujian Variasi Konsentrasi Adsorben *Biochar* Sekam Padi

Variasi Konsentrasi Adsorben <i>biochar</i> sekam padi									
Massa Adsorben (mg)	Konsentrasi Rencana	Waktu	pH	pH Awal	pH Akhir	Cin (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi (%)
150	5	120	5	5.13	5.24	6.12	0.14	5.98	97.7
150	10	120	5	5.13	5.37	8.91	0.47	8.44	94.7
150	25	120	5	5.13	5.15	25.65	6.44	19.21	74.9
150	50	120	5	5.13	4.01	51.13	23.37	27.76	54.3
150	100	120	5	5.13	5.39	80.89	61.50	19.39	24.0

(Sumber : Data Primer, 2025)

Tabel 4. 13 Data Pengujian Variasi Konsentrasi Adsorben *Biochar* Sekam Padi Teraktivasi

Variasi Konsentrasi Adsorben <i>biochar</i> sekam padi teraktivasi									
Massa Adsorben (mg)	Konsentrasi Rencana	Waktu	pH	pH Awal	pH Akhir	Cin (mg/L)	Ceff (mg/L)	Cterserap (mg/L)	Efisiensi (%)

150	5	120	5	5.13	5.05	6.12	0.12	6.00	98.1
150	10	120	5	5.13	5.19	8.91	0.45	8.46	94.9
150	25	120	5	5.13	5.3	25.65	5.26	20.39	79.5
150	50	120	5	5.13	3.9	51.13	16.69	34.44	67.4
150	100	120	5	5.13	3.14	80.89	61.24	19.65	24.3

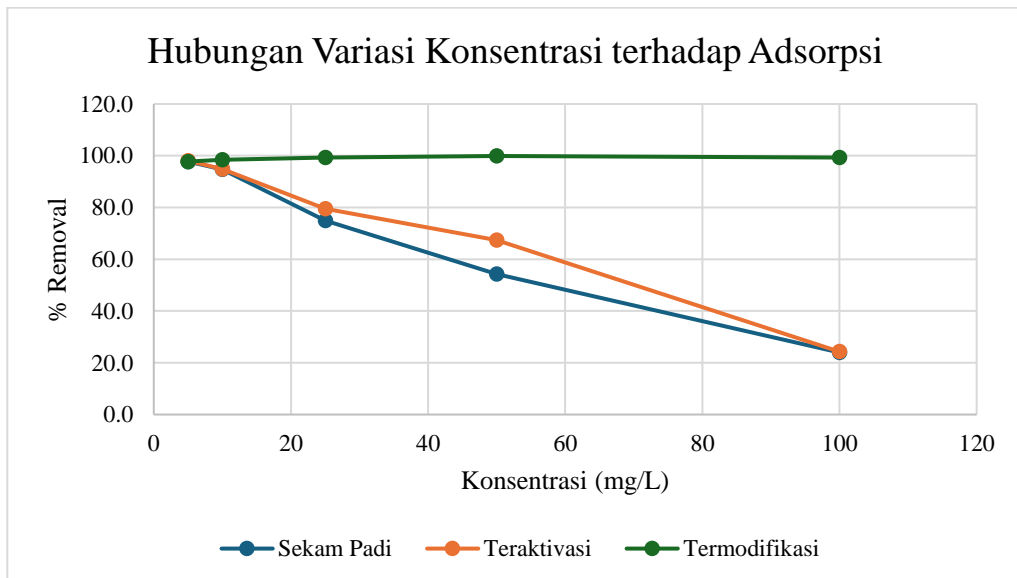
(Sumber : Data Primer, 2025)

Tabel 4. 14 Data Pengujian Variasi Konsentrasi Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Variasi Konsentrasi Adsorben <i>biochar</i> sekam padi teraktivasi Termodifikasi Magnetit											
Massa Adsorben (mg)	Konsentrasi Rencana	Waktu	pH	pH Awal	pH Akhir	Cin (mg/L)	C _{eff} + C _{pengotor} (mg/L)	C _{pengotor} (mg/L)	C _{eff} (mg/L)	C _{terserap} (mg/L)	Efisiensi (%)
150	5	120	5	5.13	5.28	6.12	1.01	0.87	0.14	5.98	97.8
150	10	120	5	5.13	5.37	8.91	1.01	0.87	0.14	8.77	98.5
150	25	120	5	5.13	6.31	25.65	1.04	0.87	0.17	25.48	99.3
150	50	120	5	5.13	6.85	51.13	0.92	0.87	0.05	51.08	99.9
150	100	120	5	5.13	6.91	80.89	1.39	0.87	0.52	80.37	99.4

(Sumber : Data Primer, 2025)

Berdasarkan ketiga tabel diatas, selanjutnya data diolah dalam bentuk grafik untuk mengetahui hubungan antara persentase (%) *removal* terhadap konsentrasi metilen biru di dalam larutan. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Variasi Konsentrasi dengan % Removal

Dari grafik pada Gambar 4.10 terlihat bahwa pada adsorben *biochar* sekam padi dan adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi persentase *removal* akan menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi metilen biru pada larutan. Penurunan persentase *removal* tersebut dikarenakan semakin tinggi konsentrasi metilen biru maka senyawa tersebut akan saling berkompetisi menempati pori-pori pada permukaan adsorben, sehingga kemampuan adsorpsi menjadi terbatas sehingga efisiensi *removal* akan menurun seiring meningkatnya konsentrasi metilen biru. Namun pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit persentase *removal* cenderung stabil.

4.3.5 Uji Adsorpsi Limbah Batik pada Kondisi Optimum

Pengujian adsorpsi pada limbah batik secara langsung dilakukan dengan tujuan untuk menguji kemampuan adsorben terhadap limbah tekstil batik, sehingga data yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi sesungguhnya. Pada pengujian ini, kondisi optimum yang digunakan didapatkan dari pengujian sebelumnya yaitu massa optimum adsorben 150 mg, pH optimum 5, dan waktu kontak optimum 120 menit diaplikasikan secara langsung pada limbah batik yang sudah di saring. Pengujian dilakukan untuk setiap jenis adsorben yaitu adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit. Dengan demikian, diperoleh gambaran menyeluruh mengenai efektivitas adsorben dalam menurunkan kandungan zat warna metilen biru. Hasil pengujian efisiensi adsorpsi limbah batik pada kondisi optimum tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 15 Data Pengujian Adsorpsi Metilen Biru Pada Limbah Batik Menggunakan Biochar Sekam Padi, Biochar Sekam Padi Teraktivasi, dan Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Uji Adsorpsi Limbah Batik								
Jenis Adsorben	Massa (mg)	Waktu	Cin (mg/L)	C _{eff} + C _{pengotor} (mg/L)	C _{pengotor} (mg/L)	C _{eff} (mg/L)	C _{terserap} (mg/L)	Efisiensi/ % <i>removal</i>

Kontrol	150	120	4.95			4.45	0.50	10.2
Sekam Padi	150	120	4.95			0.16	4.79	96.8
Teraktivasi	150	120	4.95			0.03	4.92	99.5
Termodifikasi	150	120	4.95	0.88	0.87	0.01	4.94	99.8

(Sumber : Data Primer, 2025)

Tabel 4. 16 Data Perubahan pH Pada Pengujian Adsorpsi Metilen Biru Limbah Batik Menggunakan Biochar Sekam Padi, Biochar Sekam Padi Teraktivasi, dan Biochar Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Perubahan pH pada Adsorpsi Limbah Batik			
Jenis Adsorben	pH Rencana	pH Awal	pH Akhir
Kontrol	5	5.2	5.3
Sekam Padi	5	5.34	5.81
Teraktivasi	5	5.34	5.67
Termodifikasi	5	5.34	6.4

(Sumber : Data Primer, 2025)

Dari data diatas terlihat bahwa penggunaan adsorben bekerja sangat baik dalam mengadsorpsi metilen biru dari limbah batik asli. Adsorben *biochar* sekam padi menunjukkan peningkatan *removal* hingga 96,8%, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi berhasil mencapai efisiensi *removal* hingga 99,5% dan kemudian peningkatan efisiensi tertinggi di capai adsorben *biochar* sekam padi termodivikasi magnetit dengan *removal* mencapai 99,8%. Hasi *removal* yang baik ini menunjukkan bahwa proses aktivasi dan modifikasi magnetit mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi dan memodifikasi sifat permukaan adsorben menjadi lebih optimal.

4.4 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan model matematis yang menggambarkan hubungan antara konsentrasi adsorbat dalam larutan yang teradsorpsi pada permukaan adsorben saat dalam kondisi kesetimbangan. Model isoterm akan membantu untuk menganalisis interaksi adsorben dan

adsorbat, dikarenakan dalam proses adsorpsi terdapat banyak faktor yang berpengaruh terhadap seberapa banyak zat bisa teradsorpsi, antara lain : jenis adsorben, massa adsorben, konsentrasi adsorbat, jenis adsorbat, dan volume larutan.

4.4.1 Model Isoterm Langmuir

Metode adsorpsi Langmuir didefinisikan sebagai model isoterm yang menjelaskan proses adsorpsi sebagai pembentukan lapisan tunggal (monolayer) dari molekul adsorbat pada permukaan adsorben. Model ini mengasumsikan bahwa setiap sisi aktif pada permukaan adsorben dapat mengikat hanya satu molekul adsorbat, tanpa interaksi antara molekul yang teradsorpsi satu sama lain (Nurhidayati dkk, 2022).

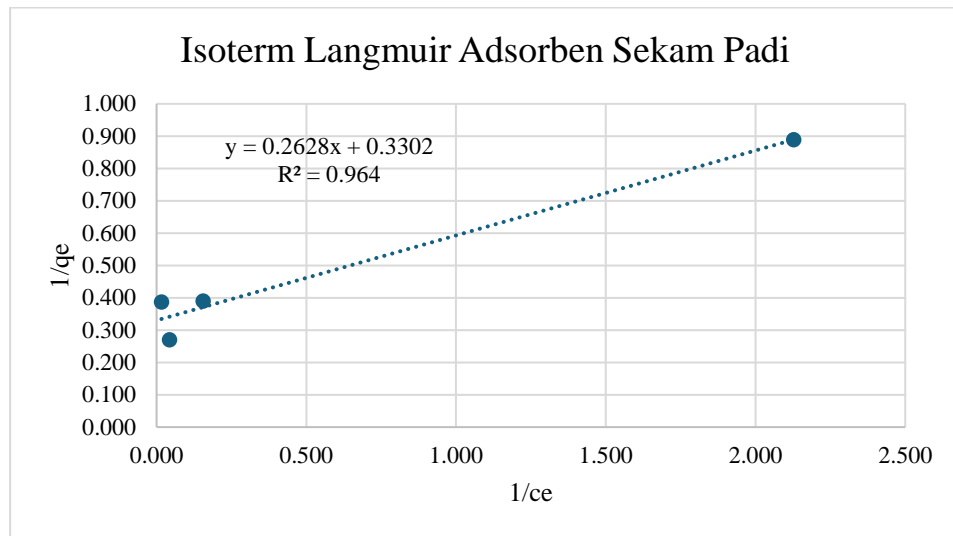
Dari data hasil pengujian variasi konsentrasi larutan dapat dihitung nilai $1/C_e$ dan $1/q_e$ dari adsorben sekam padi pada Tabel 4.17 Dari hasil nilai $1/C_e$ dan $1/q_e$ akan digunakan untuk membuat grafik hubungan persamaan isoterm Langmuir. Dalam membuat kurva kalibrasi terdapat beberapa data konsentrasi yang di eliminasi untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas analisis isoterm Langmuir.

Tabel 4. 17 Data Penentuan Kurva Isoterm Langmuir Adsorben *Biochar* Sekam Padi

Ci (mg/L)	Ce (mg/L)	Ci-Ce (mg/L)	Massa (g)	Volume (L)	Qe (mg/g)	Efisiensi (%)	1/ce	1/qe
8.910	0.470	8.440	0.150	0.020	1.125	94.723	2.127	0.889
25.650	6.435	19.215			2.562	74.910	0.155	0.390
51.130	23.366	27.764			3.702	54.302	0.043	0.270
80.890	61.499	19.391			2.585	23.972	0.016	0.387

(Sumber : Data Primer, 2025)

Grafik persamaan regresi linier isoterm Langmuir sekam padi dapat dilihat pada Gambar 4.11. Dari persamaan regresi linier tersebut kemudian dapat diketahui nilai *slope*, *intercept* dan R^2 .



Gambar 4. 11 Kurva Kalibrasi Isoterm Langmuir Adsorben *Biochar* Sekam Padi

Berdasarkan Gambar 4.11 Diperoleh nilai $y = 0.2628x + 0.3302$ dengan nilai $R^2=0.964$ yang akan digunakan untuk menghitung nilai q_m ($q_{maksimum}$), K_L (konstanta langmuir) dan R_L (faktor pemisahan) dari adsorben. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.18

Tabel 4. 18 Data Penentuan Konstanta Langmuir Adsorben *Biochar* Sekam Padi

Slope	Intercept	Q_{maks} (mg/g)	K_L (/mg)	R_L	R^2
0.2628	0.3302	3.028	1.256	0.082	0.964
				0.030	
				0.015	
				0.010	

(Sumber : Data Primer, 2025)

Selanjutnya data hasil pengujian variasi konsentrasi pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi diolah untuk mencari $1/ce$ dan $1/qe$ yang dapat dilihat pada Tabel 4.19.

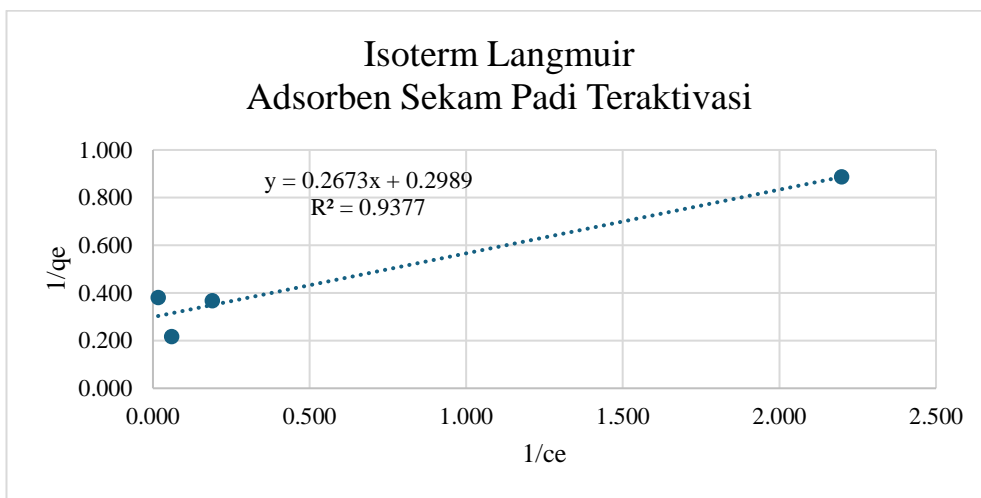
Tabel 4. 19 Data Penentuan Kurva Isoterm Langmuir Adsorben *Biochar* Sekam Padi Teraktivasi

C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	C_i-C_e (mg/L)	massa (g)	Volume (L)	Q_e (mg/g)	Efisiensi (%)	$1/ce$	$1/qe$
8.910	0.455	8.455	0.150	0.020	1.127	94.895	2.198	0.887
25.650	5.263	20.387			2.718	79.483	0.190	0.368

51.130	16.685	34.445			4.593	67.367	0.060	0.218
80.890	61.244	19.646			2.619	24.287	0.016	0.382

(Sumber : Data Primer, 2025)

Grafik persamaan regresi linier isoterm Langmuir *biochar* sekam padi teraktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.12. Dari persamaan regresi linier tersebut kemudian dapat diketahui nilai *slope*, *intercept* dan R^2 .



Gambar 4. 12 Kurva Kalibrasi Isoterm Langmuir Adsorben *Biochar* Sekam Padi Teraktivasi

Berdasarkan Gambar 4.12 Diperoleh nilai $y = 0.2673x + 0.2989$ dengan $R^2 = 0.9377$ yang akan digunakan untuk menghitung nilai q_m ($q_{maksimum}$), K_L (konstanta langmuir) dan R_L (faktor pemisahan) dari adsorben. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4. 20 Data Penentuan Konstanta Langmuir Adsorben *Biochar* Sekam Padi Teraktivasi

Slope	Intercept	Qmaks (mg/g)	K_L (/mg)	R_L	R^2
0.2673	0.2989	3.346	1.118	0.091	0.9377
				0.030	
				0.015	
				0.010	

(Sumber : Data Primer, 2025)

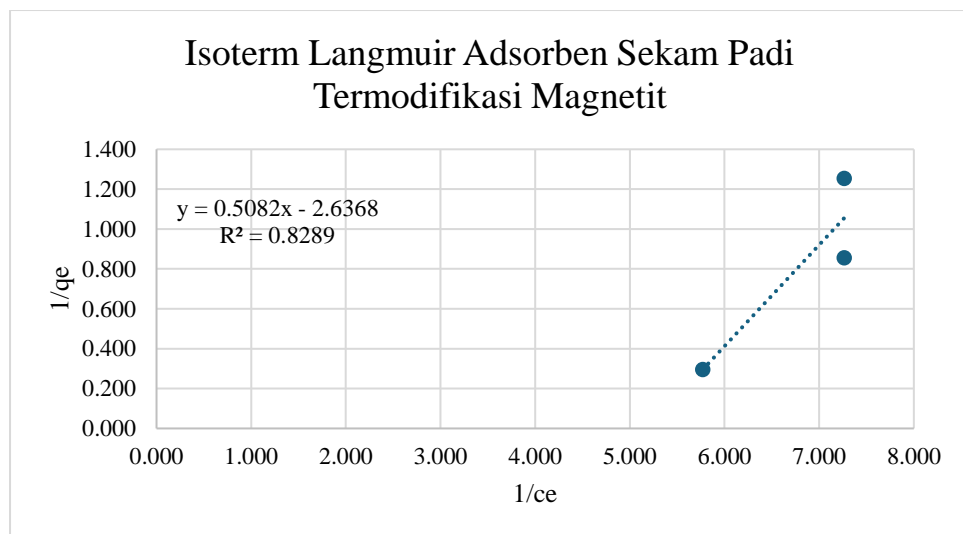
Selanjutnya data hasil pengujian variasi konsentrasi pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit diolah untuk mencari $1/c_e$ dan $1/q_e$ yang dapat dilihat pada Tabel 4.21

Tabel 4. 21 Data Penentuan Kurva Isoterm Langmuir Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termofifikasi Magnetit

Ci (mg/L)	Ce (mg/L)	Ci-Ce (mg/L)	Massa (g)	Volume (L)	Qe (mg/g)	Efisiensi (%)	1/ce	1/qe
6.120	0.138	5.982	0.150	0.020	0.798	97.750	7.263	1.254
8.910	0.138	8.772			1.170	98.455	7.263	0.855
25.650	0.173	25.477			3.397	99.324	5.768	0.294

(Sumber : Data Primer, 2025)

Grafik persamaan regresi linier isoterm Langmuir *biochar* sekam padi teraktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.13. Dari persamaan regresi linier tersebut kemudian dapat diketahui nilai *slope*, *intercept* dan R^2 .



Gambar 4. 13 Kurva Kalibrasi Isoterm Langmuir Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Berdasarkan Gambar 4.13 Diperoleh nilai $y = 0.5082x - 2.6368$ dengan $R^2 = 0.8289$ yang akan digunakan untuk menghitung nilai q_m ($q_{maksimum}$), K_L (konstanta langmuir) dan R_L (faktor pemisahan) dari adsorben. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.22

Tabel 4. 22 Data Penentuan Konstanta Langmuir Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Slope	Intercept	Qmaks (mg/g)	K _L (/mg)	R _L	R ²
0.5082	2.6368	0.379	5.189	0.031	0.8289
				0.021	
				0.007	

(Sumber : Data Primer, 2025)

Jika dibandingkan dari ketiga jenis adsorben, jumlah penyerapan (Q_m) tertinggi adsorben menggunakan model isoterm Langmuir berhasil dicapai adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dengan nilai 3.346 mg/g, kemudian bilangan yang tidak jauh berbeda adsorben *biochar* sekam padi yaitu 3.028 mg/g dan 0.379 mg/g pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi.

4.4.2 Model Isoterm Freundlich

Pada model isoterm Freundlich diasumsikan bahwa adsorpsi fisika terjadi pada permukaan yang heterogen dengan lebih dari satu lapisan permukaan (*monolayer*). Model isoterm Freundlich memiliki persamaan sebagai berikut :

$$q_e = k_f \cdot C_e^{1/n}$$

Di mana q_e adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi per satuan massa adsorben pada kesetimbangan, C_e adalah konsentrasi adsorbat dalam larutan pada kesetimbangan, Sedangkan K_f adalah konstanta yang berkaitan dengan kapasitas adsorpsi, dan n adalah konstanta yang menunjukkan intensitas adsorpsi. Nilai K_f yang lebih tinggi menunjukkan kapasitas adsorpsi yang lebih besar, sementara nilai $n > 1$ menandakan bahwa proses adsorpsi berjalan dengan sangat baik.

Dari data hasil pengujian variasi konsentrasi larutan dapat dihitung nilai log C_e dan log q_e dari adsorben sekam padi pada Tabel 4.23 Dari hasil nilai log C_e dan log q_e akan digunakan untuk membuat grafik hubungan persamaan isoterm Freundlich Dalam membuat kurva kalibrasi terdapat

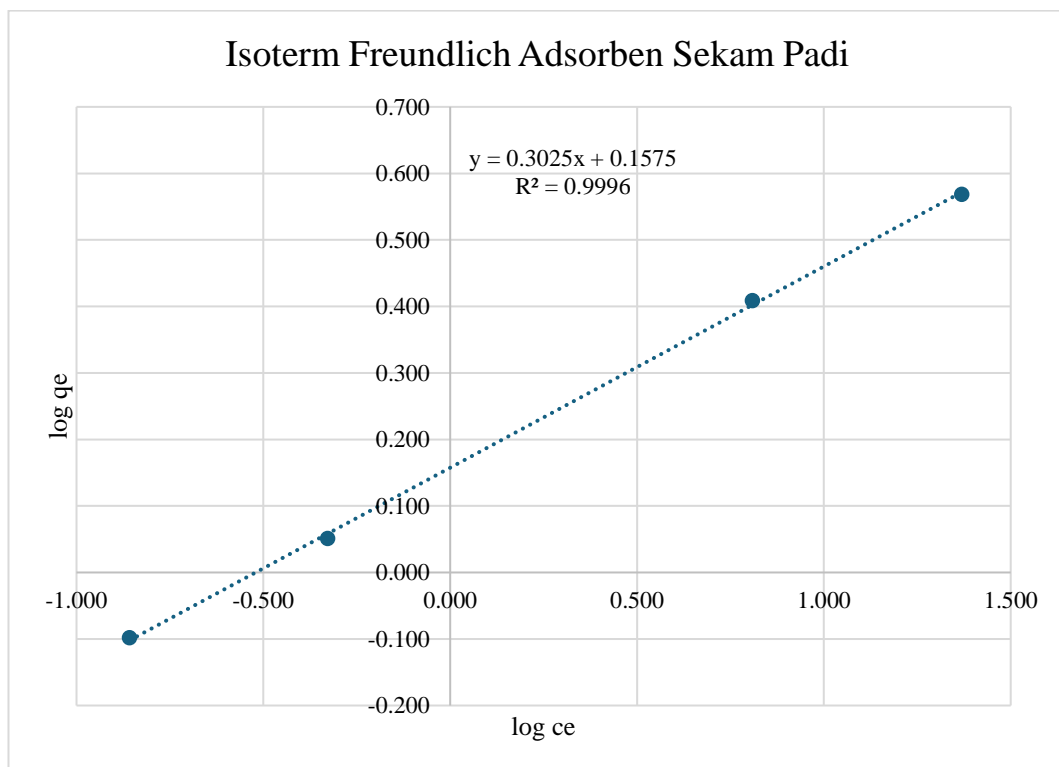
beberapa data konsentrasi yang di eliminasi untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas analisis isoterm Freundlich.

Tabel 4. 23 Data Penentuan Kurva Isoterm Freundlich Adsorben *Biochar* Sekam Padi

Ci (mg/L)	Ce (mg/L)	Co-Ce (mg/L)	massa (g)	Volume (L)	Qe (mg/g)	Efisiensi (%)	log ce	log qe
6.120	0.139	5.981	0.150	0.020	0.798	97.734	-0.858	-0.098
8.910	0.470	8.440			1.125	94.723	-0.328	0.051
25.650	6.435	19.215			2.562	74.910	0.809	0.409
51.130	23.366	27.764			3.702	54.302	1.369	0.568

(Sumber : Data Primer, 2025)

Grafik persamaan regresi linier isoterm Freundlich sekam padi dapat dilihat pada Gambar 4.14. Dari persamaan regresi linier tersebut kemudian dapat diketahui nilai slope, intercept dan R^2 .



Gambar 4. 14 Kurva Kalibrasi Isoterm Freundlich Adsorben *Biochar* Sekam Padi

Berdasarkan Gambar 4.14 Diperoleh $y = 0.3025x + 0.1575$
 $R^2 = 0.9996$ yang akan digunakan untuk menghitung nilai q_m

($q_{maksimum}$), K_f (konstanta freunlich) da parameter n dari adsorben. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.24

Tabel 4. 24 Data Penentuan Konstanta Freundlich Adsorben *Biochar* Sekam Padi

Slope	Intercept	n	K_F	R^2
0.3535	0.2033	2.829	1.597	0.9918

(Sumber : Data Primer, 2025)

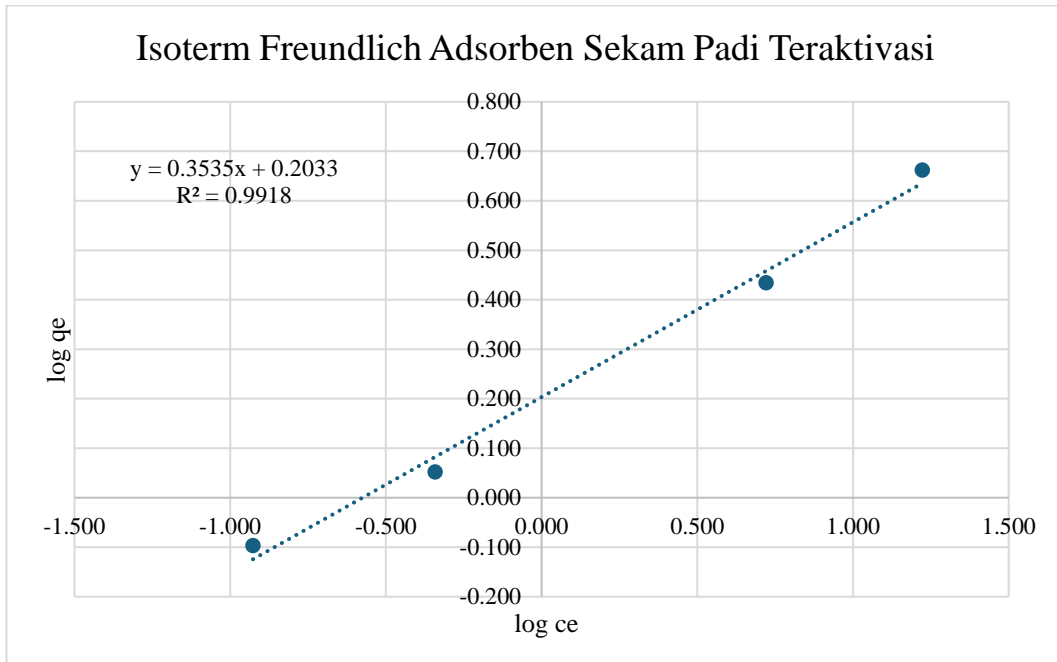
Selanjutnya data hasil pengujian variasi konsentrasi pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi diolah untuk mencari $\log ce$ dan $\log qe$ yang dapat dilihat pada Tabel 4.25

Tabel 4. 25 Data Penentuan Kurva Isoterm Freundlich Adsorben *Biochar* Sekam Padi Teraktivasi

C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	C_0-C_e (mg/L)	massa (g)	Volume (L)	Q_e (mg/g)	Efisiensi (%)	$\log ce$	$\log qe$
6.120	0.118	6.002	0.150	0.020	0.800	98.067	-0.927	-0.097
8.910	0.455	8.455			1.127	94.895	-0.342	0.052
25.650	5.263	20.387			2.718	79.483	0.721	0.434
51.130	16.685	34.445			4.593	67.367	1.222	0.662

(Sumber : Data Primer, 2025)

Grafik persamaan regresi linier isoterm Freundlich sekam padi dapat dilihat pada Gambar 4.15. Dari persamaan regresi linier tersebut kemudian dapat diketahui nilai slope, intercept dan R^2 .



Gambar 4. 15 Kurva Kalibrasi Isoterm Freundlich Adsorben *Biochar* Sekam Padi Teraktivasi

Berdasarkan Gambar 4.15 Diperoleh $y = 0.3535x + 0.2033$ $R^2 = 0.9918$ yang akan digunakan untuk menghitung nilai q_m ($q_{maksimum}$), K_f (konstanta freunlich) dan parameter n dari adsorben. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.26

Tabel 4. 26 Data Penentuan Konstanta Freundlich Adsorben *Biochar* Sekam Padi Teraktivasi

Slope	Intercept	n	K_F	R^2
0.3535	0.2033	2.829	1.597	0.9918

(Sumber : Data Primer, 2025)

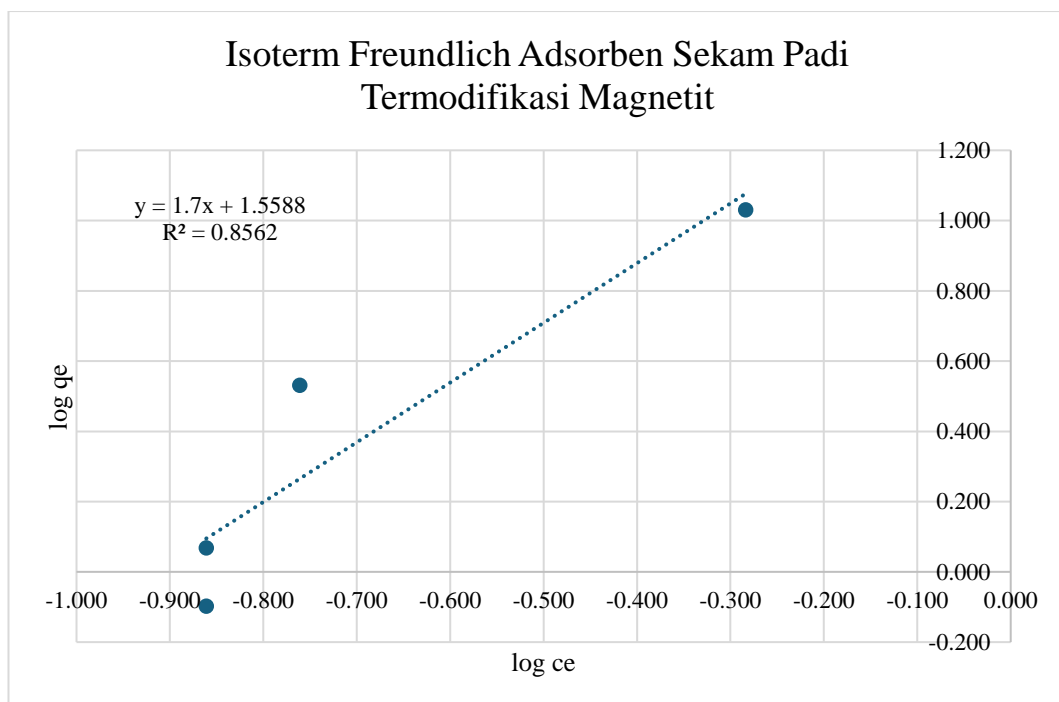
Selanjutnya data hasil pengujian variasi konsentrasi pada adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi magnetit diolah untuk mencari $\log ce$ dan $\log qe$ yang dapat dilihat pada Tabel 4.27

Tabel 4. 27 Data Penentuan Kurva Isoterm Freundlich Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Ci (mg/L)	Ce (mg/L)	Co-Ce (mg/L)	massa (g)	Volume (L)	Qe (mg/g)	Efisiensi (%)	log ce	log qe
6.120	0.138	5.982	0.150	0.020	0.798	97.750	-0.861	-0.098
8.910	0.138	8.772			1.170	98.455	-0.861	0.068
25.650	0.173	25.477			3.397	99.324	-0.761	0.531
80.890	0.520	80.370			10.716	99.357	-0.284	1.030

(Sumber : Data Primer, 2025)

Grafik persamaan regresi linier isoterm Freundlich sekam padi dapat dilihat pada Gambar 4.16. Dari persamaan regresi linier tersebut kemudian dapat diketahui nilai slope, intercept dan R^2 .



Gambar 4. 16 Kurva Kalibrasi Isoterm Freundlich Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Berdasarkan Gambar 4.16 Diperoleh $y = 1.7x + 1.5588$ $R^2 = 0.8562$ yang akan digunakan untuk menghitung nilai q_m ($q_{maksimum}$), K_f (konstanta freunlich) dan parameter n dari adsorben. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.28

Tabel 4. 28 Data Penentuan Konstanta Freundlich Adsorben *Biochar* Sekam Padi Termodifikasi Magnetit

Slope	Intercept	n	K_F	R^2
1.7	1.5588	0.588	36.208	0.8562

(Sumber : Data Primer, 2025)

Berdasarkan analisis model isoterm Freundlich pada tiga jenis adsorben (sekam padi, *biochar* sekam padi teraktivasi, dan *biochar* sekam padi teraktivasi magnetit), dapat diamati perbedaan signifikan dalam karakteristik adsorpsi. Masing-masing adsorben menunjukkan nilai parameter yang berbeda, dengan *biochar* sekam padi teraktivasi magnetit memiliki nilai K_f tertinggi yaitu 36,208 dengan kapasitas adsorpsi maksimum Q_m yang paling tinggi, meskipun memiliki nilai R^2 lebih rendah yaitu 0,8562 dibandingkan dua adsorben lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi dengan magnetit secara nyata meningkatkan kemampuan adsorpsi sekam padi

4.4.3 Perbandingan Model Isoterm Langmuir dan Freundlich

Setelah melakukan pemodelan adsorben menggunakan model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich untuk tiga jenis adsorben yaitu adsorben *biochar* sekam padi, adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi, serta sekam padi yang termodifikasi modifikasi magnetit. Selanjutnya dilakukan perbandingan data yang memuat parameter utama pada kedua model, selain itu nilai R^2 juga disertakan untuk menilai kualitas dan kemampuan model dalam menggambarkan proses adsorpsi. Nilai R^2 digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik model isoterm Langmuir dan Freundlich dapat menjelaskan data pengujian, di mana nilai R^2 yang mendekati 1 dianggap bahwa model tersebut mampu menggambarkan proses adsorpsi yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Data perbandingan hasil pemodelan isoterm Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Tabel 4.29

Tabel 4. 29 Hasil Pemodelan Isoterm Langmuir dan Freundlich

Jenis Adsorben	Langmuir			Freundlich		
	Q _m	K _L	R ²	K _F	n	R ²
Sekam Padi	3.028	1.256	0.964	1.437	3.306	0.9996
<i>Biochar</i> sekam padi teraktivasi	3.346	1.118	0.9377	1.597	2.829	0.9918
<i>Biochar</i> sekam padi termodifikasi magnetit	0.379	5.189	0.8289	36.208	0.588	0.8562

(Sumber : Data Primer, 2025)

Berdasarkan data perbandingan model isoterm Langmuir dan Freundlich pada Tabel 4.29 dapat diamati karakteristik adsorpsi untuk ketiga jenis adsorben. Pertama, sekam padi memiliki kapasitas maksimum adsorpsi (Q_m) sebesar 3,028 mg/g dengan model Langmuir dan memiliki nilai R² sebesar 0,964, sementara model Freundlich menunjukkan R² yang sangat tinggi yaitu 0,9996, mengindikasikan bahwa model Freundlich lebih baik dalam menggambarkan proses adsorpsi untuk adsorben ini. Kedua, *biochar* sekam padi teraktivasi menunjukkan peningkatan kapasitas adsorpsi maksimum menjadi 3,346 mg/g dengan model Langmuir dan memiliki nilai R² 0,9377 pada model Langmuir serta 0,9918 pada model Freundlich, yang masih menunjukkan kesesuaian model yang baik.

Sementara itu, *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit memperlihatkan karakteristik yang berbeda, dengan konstanta Langmuir (K_L) yang tinggi sebesar 5,189, menunjukkan adanya interaksi yang kuat antara adsorben dan adsorbat. Selain itu nilai R² yang relatif rendah yaitu 0,8289 untuk Langmuir dan 0,8562 untuk Freundlich, juga mengindikasikan kompleksitas mekanisme adsorpsi pada *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit. Perbedaan signifikan pada parameter model Freundlich, dengan nilai K_F sangat tinggi (36,208) namun nilai n yang rendah dengan bilangan 0,588, menunjukkan bahwa proses adsorpsi pada

adsorben magnetit memiliki karakteristik heterogenitas permukaan yang kompleks.

Jika dibandingkan dengan penelitian oleh Triana (2015), kapasitas maksimum adsorpsi (Q_m) dalam penelitian ini tergolong lebih rendah. Triana (2015) mencatat perolehan nilai Q_m berdasarkan model Langmuir sebesar 40,816 mg/g dan nilai K_f berdasarkan model Freundlich sebesar 0,559 mg/g. Meskipun demikian, tingkat kesesuaian model terhadap data pengujian yang ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) tercatat lebih rendah. Pada model Langmuir, nilai R^2 hanya sebesar 0,168, menandakan bahwa model tersebut kurang mampu merepresentasikan proses adsorpsi secara akurat dalam penelitian mereka. Sementara itu, model Freundlich memiliki R^2 yang sedikit lebih tinggi, yaitu 0,945, namun masih lebih rendah dibandingkan nilai R^2 model Freundlich dalam penelitian ini yang mencapai 0,9996 untuk adsorben sekam padi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kapasitas adsorpsi maksimum yang dilaporkan oleh Triana (2015) lebih tinggi, model isoterm yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tingkat kesesuaian yang lebih baik terhadap data pengujian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Adsorben *biochar* sekam padi dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM. Didapatkan bahwa pada adsorben *biochar* dari sekam padi dan adsorben *biochar* dari sekam padi teraktivasi menunjukkan adanya gugus siloksan (Si–O–Si) yang dominan, sementara adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit berhasil menampilkan puncak gugus Fe–O, yang menandakan keberhasilan modifikasi dengan besi oksida (Fe_3O_4). Pengamatan SEM memperlihatkan bahwa adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi dan adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit memiliki pori-pori yang lebih besar dan terdistribusi secara merata, sehingga memberikan permukaan yang lebih luas dan optimal.
2. Pengujian menunjukkan bahwa variasi massa adsorben, pH larutan, dan waktu kontak secara signifikan mempengaruhi efisiensi adsorpsi metilen biru. Penelitian ini menemukan bahwa kondisi optimum tunggal untuk ketiga jenis adsorben tercapai pada massa adsorben sebesar 150 mg, pH larutan 5, dan waktu kontak selama 120 menit.
3. Pada model isoterm Langmuir, kapasitas adsorpsi maksimum tertinggi dicapai oleh adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi yaitu sebesar 3.346 mg/g. diikuti oleh *biochar* sekam padi tanpa aktivasi sebesar 3,028 mg/g, dan yang terendah adalah *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit 0,379 mg/g. Namun, meskipun kapasitas maksimum untuk adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit tercatat memiliki efisiensi removal-nya mencapai lebih dari 99%. Selain itu pada model isotherm Freundlich menunjukkan nilai K_f tertinggi pada adsorben *biochar* termodifikasi magnetit yaitu sebesar 36,208

1/g. Nilai K_f yang besar menunjukkan bahwa pada adsorben *biochar* termodifikasi magnetit lebih cocok menggunakan model isoterm Freundlich.

5.2 Saran

Dari penelitian adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit yang telah dilakukan oleh penulis, terdapat beberapa catatan saran sebagai acuan perbaikan penelitian kedepannya yaitu sebagai berikut :

1. Pada pengujian variasi konsentrasi adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit perlu dilakukan pengujian ulang agar mendapatkan data yang lebih valid dan konsisten sesuai dengan teori yang ada
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengatasi peluruhan Fe dari *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit yang menyebabkan perubahan warna larutan menjadi kuning agar tidak mengurangi keakuratan dalam pembacaan spektrofotometri Uv-Vis.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, M., & Kalla, R. (2017). Pemurnian minyak jelantah dengan proses adsorpsi. *Journal of chemical process Engineering*, 2(2), 22-26.
- Amelia, H., Fitria, R., & Sunardi, S. (2023). Kajian isoterm adsorpsi metilen biru pada biochar kulit sagu (metroxylyon sagu). *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 6(1), 135. <https://doi.org/10.31764/justek.v6i1.13746>
- Apriyani, N. (2018). Industri batik: kandungan limbah cair dan metode pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, 3(1), 21-29
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Luas panen padi mencapai sekitar 10,21 juta hektare dengan produksi padi sebesar 53,98 juta ton gabah kering giling (GKG)*. Jakarta: Badan Pusat Statistik. Diakses 14 Mei 2024 pada <https://www.bps.go.id>
- Baunsele, A. B., & Missa, H. (2020). Kajian kinetika adsorpsi metilen biru menggunakan adsorben sabut kelapa. *Akta Kimia Indonesia*, 5(2), 76-85.
- Baunsele, A. B., Boelan, E. G., Kopon, A. M., Taek, M. M., Tukan, G. D., & Missa, H. (2023). Penggunaan sabut kelapa teraktivasi NaOH sebagai adsorben metilen biru. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 9(1), 43-54. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2023.v9.i1.16274>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical engineering journal*, 156(1), 2-10.
- Gala, K. A., Pangaribuan, S. B., Priyabekti, Y. S., Hartanto, D. T., & Eng, M. (2022). *Kumpulan Karya Tulis Ilmiah Tingkat Nasional 2022*.
- Indrayani, L. (2018). Pengolahan limbah cair industri batik sebagai salah satu percontohan IPAL batik di Yogyakarta. *Ecotrophic*, 12(2), 173-185.
- Insan, V. D. N. (2020). Pemanfaatan limbah sekam padi dan minyak jelantah untuk pembuatan bioplastik. *Jurnal TEDC*, 14(1), 15-23.

- Khairuzzaman, H. (2021). Model spasial daerah estuary turbidity maxima di Sungai Krueng Aceh dan korelasinya dengan kelimpahan mikroplastik dan nilai suseptibilitas magnetik (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry Banda Aceh).
- Lestari, I., Prasetyo, E., & Gusti, D. R. (2021). Penggunaan karbon aktif magnetit- Fe_3O_4 sebagai penyerap zat warna remazol yellow. *Journal BiGME*, 1(1), 29–37. <https://doi.org/10.22437/bigme.v1i1.12311>
- Lianasari, I. Y., Koesnarpadi, S., Pratiwi, D. R., & Munandar, A. (2023). Penentuan variasi komposisi dan pH optimum adsorben kitosan- Fe_3O_4 berdasarkan persen penyerapan ion Pb^{2+} . *Jurnal Atomik*, 8(1), 4-8.
- Listiana, I., Bursan, R., Widyastuti, R. A. D., Rahmat, A., & Jimad, H. (2021). Pemanfaatan limbah sekam padi dalam pembuatan arang sekam di Pekon Bulurejo, Kecamatan Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu. *Intervensi Komunitas*, 3(1), 1-5.
- Maryudi, M., Aktawan, A., & Amelia, S. (2021). Pengolahan limbah pewarna metilen biru menggunakan arang aktif dan zeolit aktif dengan katalis Fe dan oksidator hidrogen peroksida. *Jurnal Riset Kimia*, 12(2). <https://doi.org/10.25077/jrk.v12i2.414>
- Misran, E., Bani, O., Situmeang, E. M., & Purba, A. S. (2022). Banana stem based activated carbon as a low-cost adsorbent for methylene blue removal: Isotherm, kinetics, and reusability. *Alexandria Engineering Journal*, 61(3), 1946–1955. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.07.022>
- Muharani, S., & Purba, E. (2023). Mercury (Hg) Adsorption in Traditional Gold Mining Liquid Waste with Activated Carbon from Coffee Ground. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 12(1), 70-80.
- Murti, R. S., Purwanti, C. M. H., & Suyatini, S. (2013). Adsorpsi amonia dari limbah cair industri penyamakan kulit menggunakan abu terbang bagas. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 29(2), 85-90.

- Nguyen, T. M. T., Do, T. P. T., Hoang, T. S., Nguyen, N. V., Pham, H. D., Nguyen, T. D., ... & Pham, T. D. (2018). *Adsorption of anionic surfactants onto alumina: characteristics, mechanisms, and application for heavy metal removal*. *International Journal of Polymer Science*, 2018(1), 2830286.
- Niu, H., Jin, H., Sun, Q., Shi, Y., Zhang, X., & Cai, Y. (2021). *Activation of biochars by waste phosphoric acids: an integrated disposal route of waste acids and solid waste*. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(48), 16403-16414.
- Nurhidayati, I., Mellisani, B., Puspita, F., & Putri, F. A. R. (2022). Penentuan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Ion Besi oleh Sedimen Sebagai Adsorben. *Warta Akab*, 46(1).
- Purwitasari, D. G., & Tussania, R. (2022). Adsorpsi logam kadmium (Cd) pada kadmium sulfat (CdSO₄) menggunakan batang pohon pisang sebagai adsorben. *Jurnal Chemurgy*, 6(1), 52-57.
- Saputri, C. A. (2020). Kapasitas adsorpsi serbuk nata de coco (bacterial cellulose) terhadap ion Pb²⁺ menggunakan metode batch. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*, 14(1), 71-76.
- Sari, S. P., Putri, R. T., & Fabiani, V. A. (2023, December). Ekstraksi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi Asal Bangka. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Terapan* (Vol. 1, No. 1, pp. 78-81).
- Setyawan, M. N., Wardani, S., & Kusumastuti, E. (2018). Arang kulit kacang tanah teraktivasi H₃PO₄ sebagai adsorben ion logam Cu (II) dan diimobilisasi dalam bata beton. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 262-269.
- Suharyatun, S., Warji, W., Haryanto, A., & Anam, K. (2021). Pengaruh kombinasi biochar sekam padi dan pupuk organik berbasis mikroba terhadap pertumbuhan dan produksi sayuran. *Teknotan: Jurnal Industri Teknologi Pertanian*, 15(1), 21-26.

- Triana, G. Y. (2015). Pengaruh aktivasi dan dosis adsorben sekam padi untuk mengurangi konsentrasi methylene blue pada limbah cair industri tekstil. *Disertasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Wang, B., Ma, Y., Cao, P., Tang, X., & Xin, J. (2024). Ball Milling and Magnetic Modification Boosted Methylene Blue Removal by Biochar Obtained from Water Hyacinth: Efficiency, Mechanism, and Application. *Molecules*, 29(21), 5141.
- Wang, Y., Zhu, X., Feng, D., Hodge, A. K., Hu, L., Lü, J., & Li, J. (2019). Biochar-supported FeS/Fe₃O₄ composite for catalyzed fenton-type degradation of ciprofloxacin. *Catalysts*, 9(12), 1062.
- Wardalia, W. (2016). Karakterisasi Pembuatan Adsorben Dari Sekam Padi Sebagai Pengadsorp Logam Timbal Pada Limbah Cair. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(2).
- Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I., & Pravitasari, V. A. (2009). Pengolahan limbah cair industri batik pada skala laboratorium dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti*, 5(1), pp-6.
- Zhang, J., Lin, S., Han, M., Su, Q., Xia, L., & Hui, Z. (2020). Adsorption properties of magnetic magnetite nanoparticle for coexistent Cr(VI) and Cu(II) in mixed solution. *Water (Switzerland)*, 12(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/w12020446>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan

4. Preparasi 500 mL Larutan induk metilen biru 100 mg/L

Massa zat terlarut = konsentrasi × volume larutan

$$\text{Massa metilen biru} = 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,5 \text{ L}$$

$$\text{Massa metilen biru} = 50 \text{ mg} = 0.05 \text{ gram}$$

Jadi, 0.05 gram Metilen biru dilarutkan ke dalam 500 ml aquades akan menjadi larutan induk Metilen Biru 100 mg/L

5. Preparasi 500 mL larutan uji metilen biru 10 mg/L

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ mg/L} \times 500 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}} = 50 \text{ mL}$$

Jadi, 50 mL larutan induk metilen biru 100 mg/L dilarutkan ke dalam 500 ml aquades akan menjadi larutan uji metilen biru 10 mg/L

6. Preparasi larutan standar metilen biru

a. Larutan standar 0,1 ppm

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{0,1 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{10 \text{ mg/L}} = 1 \text{ mL}$$

Jadi, 1 mL larutan uji metilen biru 10 mg/L dilarutkan ke dalam 100 ml aquades akan menjadi larutan standar metilen biru 0,1 mg/L

b. Larutan standar 0,5 ppm

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{0,5 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{10 \text{ mg/L}} = 5 \text{ mL}$$

Jadi, 5 mL larutan uji metilen biru 10 mg/L dilarutkan ke dalam 100 ml aquades akan menjadi larutan standar metilen biru 0,5 mg/L

c. Larutan standar 1 ppm

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{0,5 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{10 \text{ mg/L}} = 10 \text{ mL}$$

Jadi, 5 mL larutan uji metilen biru 10 mg/L dilarutkan ke dalam 100 ml aquades akan menjadi larutan standar metilen biru 1 mg/L

d. Larutan standar 2 ppm

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{2 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{10 \text{ mg/L}} = 20 \text{ mL}$$

Jadi, 20 mL larutan uji metilen biru 10 mg/L dilarutkan ke dalam 100 ml aquades akan menjadi larutan standar metilen biru 2 mg/L

e. Larutan standar 4 ppm

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{4 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{10 \text{ mg/L}} = 40 \text{ mL}$$

Jadi, 40 mL larutan uji metilen biru 10 mg/L dilarutkan ke dalam 100 ml aquades akan menjadi larutan standar metilen biru 4 mg/L

7. Preparasi H₃PO₄ 10% dalam 1000 mL

Larutan stok = H₃PO₄ 85%

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$85\% \times V_1 = 10\% \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1000}{85} \text{ mL} = 117,65 \text{ mL}$$

Jadi, 117,65 mL larutan stok H₃PO₄ 85% dilarutkan ke dalam 1000 ml aquades akan menjadi larutan H₃PO₄ 10%

8. Preparasi larutan HCL 0,05 M

Larutan stok = HCL 37%=HCL 12,06 M

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$12,06 \text{ M} \times V_1 = 0,05 \text{ M} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,05 \times 1000}{12,06} \text{ mL} = 4,15 \text{ mL}$$

Jadi, 4,15 mL larutan stok HCL 37% dilarutkan ke dalam 1000 ml aquades akan menjadi larutan HCL 0,05 M

9. Preparasi larutan NaOH 0,1 M

$$Mr \text{ NaOH} = 40 \text{ g/mol}$$

$$\text{Massa NaOH} = 0,1 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} = 4 \text{ g}$$

Jadi, 4 gram padatan NaOH dilarutkan ke dalam 1000 ml aquades akan menjadi larutan NaOH 0,1 M

10. Data hasil variasi massa adsorben

Adsorben	Massa Adsorben (mg)	pH awal	pH akhir	C _{in} (mg/L)	C _{eff} (mg/L)	C _{terserap} (mg/L)	% Removal
Sekam Padi	0	7.31	7.3	9.07	7.58	1.49	16 %
	50	7.31	7.2	9.07	0.94	8.13	90 %
	100	7.31	7.23	9.07	0.50	8.57	94 %
	150	7.31	7.21	9.07	0.67	8.40	93 %
	200	7.31	7.16	9.07	0.70	8.37	92 %
Teraktivasi	0	7.31	7.28	9.07	7.44	1.63	18 %
	50	7.31	7.26	9.07	0.75	8.32	92 %
	100	7.31	7.13	9.07	0.34	8.73	96 %
	150	7.31	7.1	9.07	0.15	8.92	98 %
	200	7.31	6.98	9.07	0.06	9.01	99 %
Termodifikasi	0	7.31	7.31	9.07	8.07	1.00	11 %
	50	7.31	7.85	9.07	0.15	8.92	98 %
	100	7.31	7.92	9.07	0.10	8.97	99 %
	150	7.31	8.1	9.07	0.01	9.06	100 %
	200	7.31	8.23	9.07	0.20	8.87	98 %

11. Data hasil variasi pH adsorben

Adsorben	Massa Adsorben (mg)	pH rencana	pH awal	pH akhir	C _{in} (mg/L)	C _{eff} (mg/L)	C _{terserap} (mg/L)	% Removal
Sekam Padi	150	3	3.16	2.97	9.07	0.45	8.62	95 %
	150	5	5.2	5.02	9.07	0.30	8.77	97 %
	150	7	7.35	7.18	9.07	0.60	8.47	93 %
	150	9	9.13	8.77	9.07	0.77	8.30	92 %
Teraktivasi	150	3	3.16	3.02	9.07	0.69	8.38	92 %

	150	5	5.2	4.93	9.07	0.34	8.73	96 %
	150	7	7.35	7.16	9.07	0.13	8.94	99 %
	150	9	9.13	8.89	9.07	0.16	8.91	98 %
Termodifikasi	150	3	3.16	4.2	9.07	0.06	9.01	99 %
	150	5	5.2	5.84	9.07	0.08	8.99	99 %
	150	7	7.35	8.1	9.07	0.32	8.75	96 %
	150	9	9.13	10.2	9.07	0.14	8.93	98 %

12. Data hasil uji variasi waktu kontak

Adsorben	Massa Adsorben (mg)	pH	Waktu Kontak (menit)	C _{in} (mg/L)	C _{eff} (mg/L)	C _{terserap} (mg/L)	% Removal
Sekam Padi	150	5	15	9.31	1.89	7.42	80 %
	150		30	9.31	1.47	7.84	84 %
	150		60	9.31	1.12	8.19	88 %
	150		90	9.31	0.64	8.67	93 %
	150		120	9.31	0.63	8.68	93 %
Teraktivasi	150	5	15	9.31	0.77	8.54	92 %
	150		30	9.31	0.65	8.66	93 %
	150		60	9.31	0.51	8.80	95 %
	150		90	9.31	0.40	8.91	96 %
	150		120	9.31	0.33	8.98	96 %
Termodifikasi	150	5	15	9.31	0.24	9.07	97 %
	150		30	9.31	0.37	8.94	96 %
	150		60	9.31	0.22	9.09	98 %
	150		90	9.31	0.13	9.18	99 %
	150		120	9.31	0.13	9.18	99 %

13. Data hasil uji variasi konsentrasi

Adsorben	Massa Adsorben (mg)	pH	Konsentrasi Rencana (mg/L)	C _{in} (mg/L)	C _{eff} (mg/L)	C _{terserap} (mg/L)	% Removal
Sekam Padi	150	5	5	6.12	0.14	5.98	98 %
	150		10	8.91	0.47	8.44	95 %
	150		25	25.65	6.44	19.21	75 %
	150		50	51.13	23.37	27.76	54 %
	150		100	80.89	61.50	19.39	24 %
Teraktivasi	150	5	5	6.12	0.12	6.00	98 %
	150		10	8.91	0.45	8.46	95 %

	150		25	25.65	5.26	20.39	79 %
	150		50	51.13	16.69	34.44	67 %
	150		100	80.89	61.24	19.65	24 %
	150		5	6.12	0.14	5.98	98 %
	150		10	8.91	0.14	8.77	98 %
Termodifikasi	150	5	25	25.65	0.17	25.48	99 %
	150		50	51.13	0.05	51.08	100 %
	150		100	80.89	0.52	80.37	99 %

14. Data hasil uji kondisi optimum ke limbah batik

Adsorben	Massa(mg)	pH	Waktu (menit)	C _{in} (mg/L)	C _{eff} (mg/L)	C _{terserap} (mg/L)	% Removal
Sekam Padi	150	5	120	4.95	0.16	4.79	96.8 %
Teraktivasi	150	5	120	4.95	0.03	4.92	99.5 %
Termodifikasi	150	5	120	4.95	0.01	4.94	99.8 %

15. Isoterm Langmuir Adsorpsi

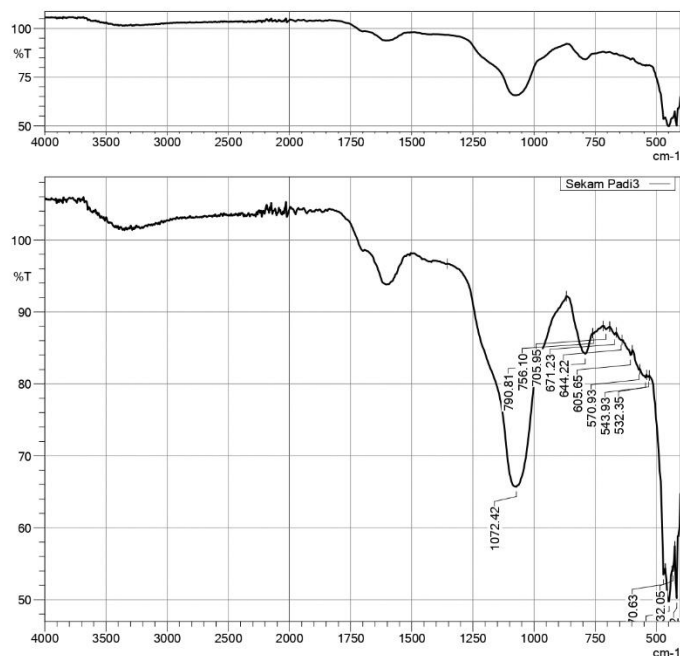
Jenis Adsorben	Q _e (mg/g)	1/c _e	1/q _e	q _{maks}	K _L	R _L	R ²
Sekam Padi	1.13	2.13	0.89	3.028	1.256	0.082	0.964
	2.56	0.16	0.39			0.030	
	3.70	0.04	0.27			0.015	
	2.59	0.02	0.39			0.010	
Teraktivasi	1.13	2.20	0.89	3.346	1.118	0.091	0.9377
	2.72	0.19	0.37			0.030	
	4.59	0.06	0.22			0.015	
	2.62	0.02	0.38			0.010	
Termodifikasi	0.80	7.26	1.25	0.379	5.189	0.031	0.8289
	1.17	7.26	0.85			0.021	
	3.40	5.77	0.29			0.007	

16. Isoterm Freundlich Adsorpsi

Jenis Adsorben	Qe (mg/g)	log ce	log qe	n	K _f	R ²
Sekam Padi	0.80	-0.86	-0.10	3.306	1.437	1.000
	1.13	-0.33	0.05			
	2.56	0.81	0.41			
	3.70	1.37	0.57			
Teraktivasi	0.80	-0.93	-0.10	2.829	1.597	0.9918
	1.13	-0.34	0.05			
	2.72	0.72	0.43			
	4.59	1.22	0.66			
Termodifikasi	0.80	-0.86	-0.10	0.588	36.208	0.8562
	1.17	-0.86	0.07			
	3.40	-0.76	0.53			
	10.72	-0.28	1.03			

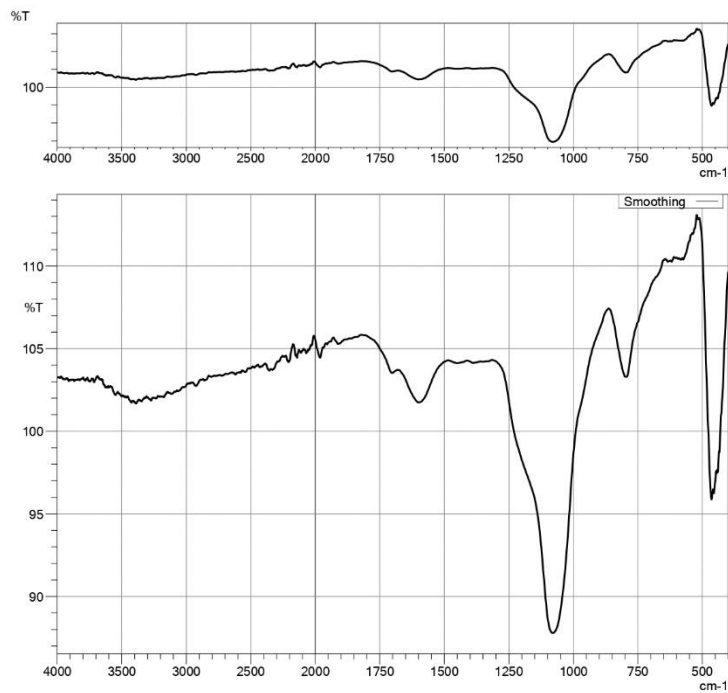
Lampiran 2. Data Karakteristik FTIR

1. Adsorben *biochar* sekam padi sebelum adsorpsi

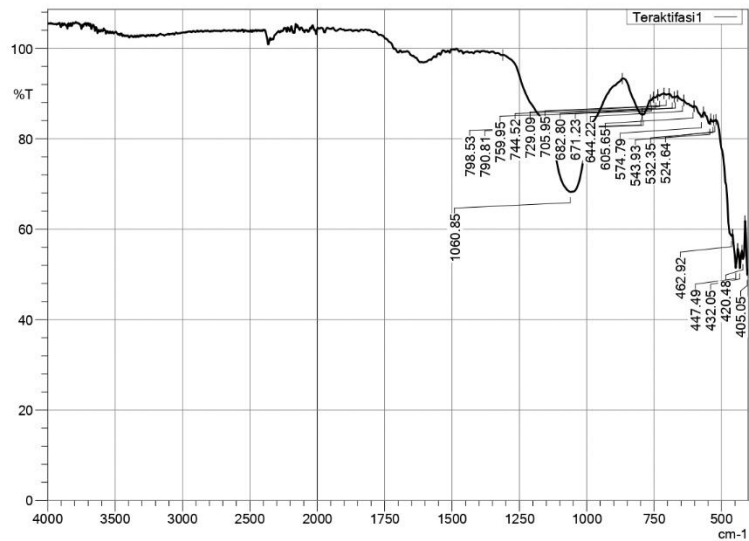
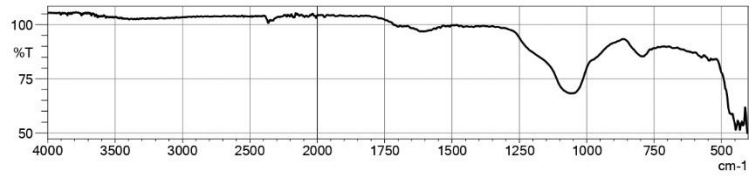


	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	416.62	50.23	9.62	424.34	401.19	997.838	96.707	
2	432.05	54.00	1.15	435.91	424.34	520.743	8.253	
3	447.49	49.77	4.39	462.92	435.91	1303.944	66.843	
4	470.63	53.50	4.01	528.50	462.92	1928.079	-186.399	
5	532.35	80.98	0.21	540.07	528.50	219.095	1.548	
6	543.93	80.88	0.48	567.07	540.07	504.789	9.065	
7	570.93	81.96	0.42	597.93	567.07	521.279	7.956	
8	605.65	84.00	0.95	640.37	597.93	634.183	14.680	
9	644.22	86.09	0.19	663.51	640.37	313.827	4.235	
10	671.23	86.85	0.52	690.52	663.51	343.294	7.035	
11	705.95	87.59	0.42	717.52	690.52	329.212	5.108	
12	756.10	86.99	0.14	759.95	717.52	529.955	1.044	
13	790.81	84.17	4.34	867.97	759.95	1363.213	241.255	
14	1072.42	65.71	28.38	1354.03	867.97	8036.144	5337.680	

2. Adsorben *biochar* sekam padi setelah adsorpsi

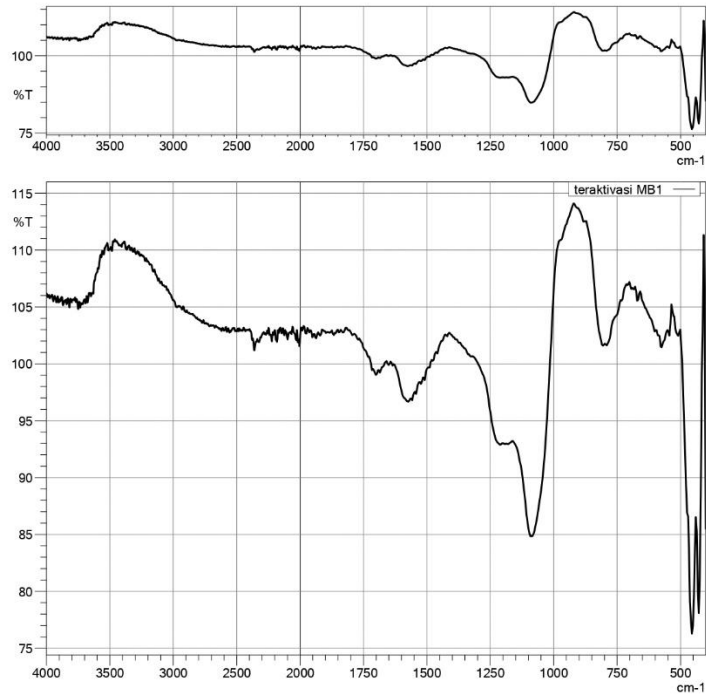


3. Adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi sebelum adsorpsi

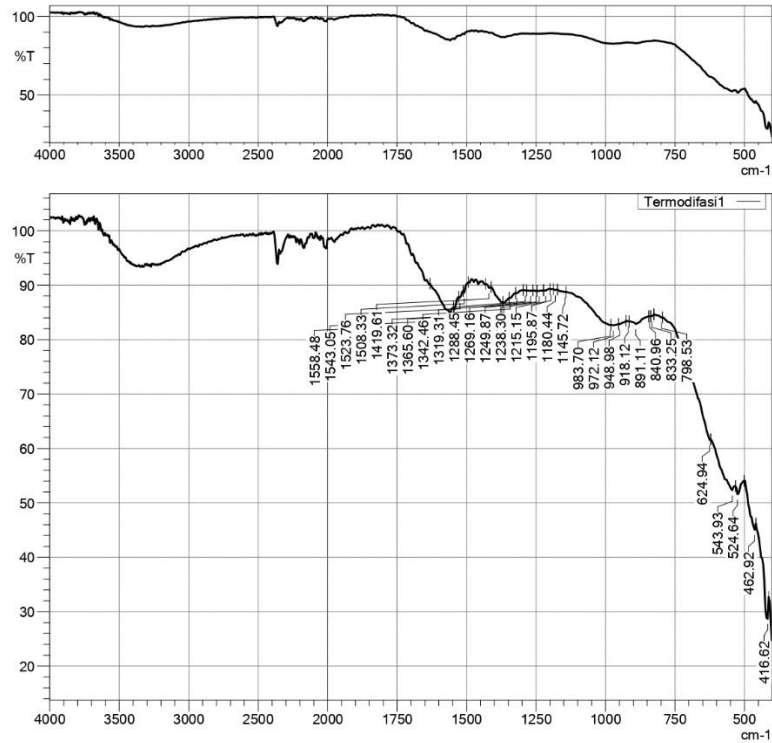


Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	405.05	49.91	4.70	412.77	401.19	523.040	18.593
2	420.48	53.41	4.03	424.34	412.77	516.788	36.946
3	432.05	51.36	4.09	439.77	424.34	712.293	24.865
4	447.49	51.44	5.45	459.06	439.77	876.672	51.241
5	462.92	58.54	1.83	520.78	459.06	1734.859	-24.508
6	524.64	83.96	0.19	528.50	520.78	123.014	0.718
7	532.35	83.79	0.38	540.07	528.50	185.139	2.361
8	543.93	83.38	1.18	567.07	540.07	415.490	13.586
9	574.79	84.84	1.35	601.79	567.07	486.079	18.945
10	605.65	86.97	0.36	640.37	601.79	477.673	9.030
11	644.22	88.50	0.18	663.51	640.37	258.885	4.157
12	671.23	89.19	0.14	675.09	663.51	123.766	0.763
13	682.80	89.17	0.37	694.37	675.09	203.176	2.893
14	705.95	89.76	0.25	713.66	694.37	195.379	2.502
15	729.09	89.56	0.26	736.81	713.66	236.508	2.122
16	744.52	89.14	0.33	752.24	736.81	165.426	2.874
17	759.95	88.55	0.24	763.81	752.24	129.938	1.424
18	790.81	85.34	0.53	794.67	763.81	411.587	11.300
19	798.53	85.44	0.46	867.97	794.67	772.253	-3.344
20	1060.85	68.26	27.36	1311.59	867.97	7002.652	5207.333

4. Adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi setelah adsorpsi

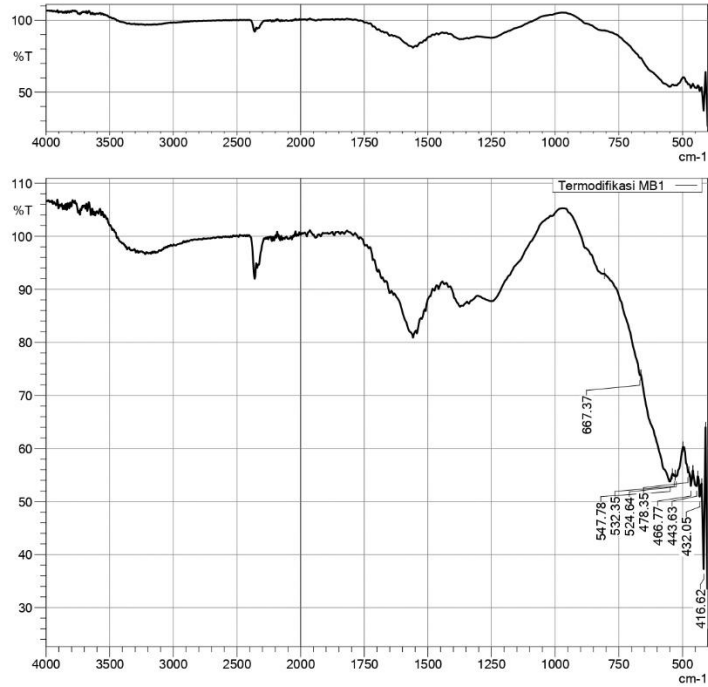


5. Adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit sebelum adsorpsi



Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment	
1	416.62	28.71	5.11	459.06	412.77	2869.980	66.317	
2	462.92	45.06	1.83	501.49	459.06	2164.869	48.352	
3	524.64	51.59	1.74	532.35	501.49	1454.134	21.571	
4	543.93	52.35	1.86	621.08	532.35	3899.721	118.533	
5	624.94	61.58	0.60	794.67	621.08	4365.988	-341.968	
6	798.53	84.07	0.08	825.53	794.67	482.783	0.172	
7	833.25	84.30	0.12	837.11	825.53	180.528	0.924	
8	840.96	84.26	0.04	844.82	837.11	121.299	0.160	
9	891.11	82.86	0.82	914.26	844.82	1146.988	24.254	
10	918.12	83.36	0.05	925.83	914.26	192.326	0.417	
11	948.98	82.85	0.10	952.84	925.83	456.907	2.234	
12	972.12	82.62	0.15	979.84	952.84	466.885	2.357	
13	983.70	82.69	0.17	1141.86	979.84	2276.927	-33.261	
14	1145.72	88.75	0.06	1172.72	1141.86	343.243	3.070	
15	1180.44	89.10	0.14	1188.15	1172.72	167.108	1.023	
16	1195.87	89.26	0.04	1198.72	1188.15	124.107	0.230	
17	1215.15	89.01	0.13	1222.87	1198.72	251.183	0.875	
18	1238.30	88.95	0.05	1246.02	1222.87	254.950	0.684	
19	1249.87	88.95	0.04	1261.45	1246.02	169.929	0.207	
20	1269.16	88.96	0.08	1284.59	1261.45	254.553	0.877	
21	1288.45	89.03	0.05	1296.16	1284.59	126.556	0.258	
22	1319.31	88.54	0.11	1323.17	1296.16	301.394	0.279	
23	1342.46	87.68	0.15	1346.31	1323.17	275.942	1.148	
24	1365.60	86.84	0.20	1369.46	1346.31	297.338	3.299	
25	1373.32	86.80	0.36	1411.89	1369.46	509.296	12.048	
26	1419.61	89.52	0.35	1431.18	1411.89	198.442	2.182	
27	1508.33	88.62	0.62	1512.19	1492.90	198.295	0.240	
28	1523.76	87.71	0.41	1527.62	1512.19	181.681	2.510	
29	1543.05	85.57	0.75	1546.91	1527.62	255.460	2.627	
30	1558.48	84.77	1.75	1631.78	1546.91	1089.339	79.447	

6. Adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit setelah adsorpsi



Lampiran 3. Dokumentasi



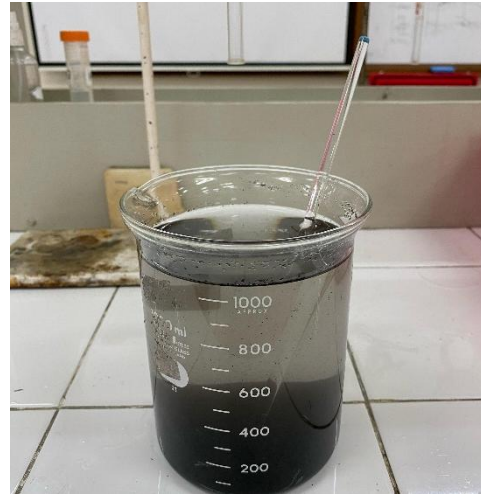
Mengeringkan sekam padi menggunakan oven dengan suhu 110° C



Sekam padi dimasukan ke dalam furnace dengan suhu 400° C



Sekam padi yang sudah menjadi *biochar* setelah di furnace



Proses aktivasi *biochar* sekam padi menggunakan larutan H_3PO_4 10%



Proses modifikasi *biochar* sekam padi menjadi magnetit



Proses pengayakan *biochar* untuk mendapatkan ukuran 70 mesh



Pengujian pH larutan menggunakan pH meter



Proses adsorpsi variasi massa



Adsorben *biochar* sekam padi teraktivasi



Adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit



Adsorben *biochar* sekam padi



Uji kandungan besi pada adsorben *biochar* sekam padi termodifikasi magnetit

RIWAYAT HIDUP



Saya yang bernama Ahmmad Azamuddiin, lahir di Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, pada tanggal 24 Juli 2024. Saya adalah anak pertama dari empat bersaudara, putra dari pasangan Drs. Wadiyo dan Suwartiningsih. Pendidikan formal saya dimulai dari jenjang sekolah menengah pertama hingga sekolah menengah atas di MTs-MA Hidayatullah. Kemudian melanjutkan studi di Program Studi S1-Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia (UII).

Selama masa kuliah, saya menjadi penerima Beasiswa Universitas Islam Indonesia dan lulus dengan memperoleh IPK 3,92/4,00. Selain fokus dalam akademik, saya aktif mengikuti berbagai kegiatan yang mendukung pengembangan diri dan kepemimpinan. Saya aktif di organisasi Laboratorium Mahasiswa UII dan pernah menjabat sebagai Direktur PKM Corner di bawah naungan Direktorat Pembinaan Kemahasiswaan UII. Saya juga beberapa kali terlibat dalam kegiatan kepanitiaan dan *volunteering*, yaitu sebagai Ketua Pelaksana Labma Saintific Fair 2023, Koordinator Perlengkapan dan Dekorasi Labma Saintific Fair 2022, Lintas Lingkungan 2023, Enviro Champions 2023 dan Dusun Binaan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) UII. Di luar itu, saya juga aktif sebagai asisten dosen dan laboran di beberapa mata kuliah seperti Kimia Dasar, Kimia Lingkungan, dan Sistem Penyediaan Air Minum.

Prestasi akademik yang telah saya raih antara lain medali perunggu pada PIMNAS ke-37 tahun 2024, pemenang insentif PKM Gagasan Tertulis, dan penerima pendanaan PKM Riset Eksakta 2023. Seluruh pengalaman ini telah membentuk saya menjadi pribadi yang tekun, komunikatif, dan siap berkontribusi dalam bidang lingkungan secara profesional dan berintegritas.