

**SINTESIS KOMPOSIT KARBON AKTIF DARI SAMPAH
PLASTIK PET (*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*)
DENGAN Fe_3O_4 SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA
METILEN BIRU**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia



Oleh: **NINIK ANDRIANI**

NIM: 2108036071

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

**SINTESIS KOMPOSIT KARBON AKTIF DARI SAMPAH
PLASTIK PET (*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*)
DENGAN Fe_3O_4 SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA
METILEN BIRU**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia



Oleh: **NINIK ANDRIANI**

NIM: 2108036071

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ninik Andriani

NIM : 2108036071

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

SINTESIS KOMPOSIT KARBON AKTIF DARI SAMPAH PLASTIK PET (*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*) DENGAN Fe_3O_4 SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk dari sumbernya.

Semarang, 6 Mei 2025
Pembuat Pernyataan,



Ninik Andriani

Ninik Andriani
NIM. 2108036071

PENGESAHAN

Naskah Skripsi berikut ini:

Judul : Sintesis Komposit Karbon Aktif dari Sampah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_2O_3 Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru

Penulis : Ninik Andriani

NIM : 2108036071

Jurusan : Kimia

Telah diajukan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam ilmu kimia.

Semarang, 28 Mei 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Kholidah, M. Sc.
NIP. 198508112019032008

Sekretaris Sidang

Dr. Ervin Tri Suryandari, S. Si., M. Si.
NIP. 197407162009122001

Penguji I

Dr. Eng. Anissa Adiwena Putri, M. Sc.
NIP. 198504052011012015

Pembimbing

Kholidah, M. Sc.
NIP. 198508112019032008

Penguji II



Dr. Mulyatun, S. Pd., M. Si.
NIP. 198305042011012008

NOTA DINAS

Semarang, 6 Mei 2025

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo

Di Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

Dengan ini memberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Sintesis Komposit Karbon Aktif dari Sampah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru**

Penulis : **Ninik Andriani**

NIM : 2108036071

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum. wr. wb.

Pembimbing,



Kholidah, M. Sc.

NIP. 198508112019032008

ABSTRAK

Judul : **Sintesis Komposit Karbon Aktif dari Sampah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru**

Nama : Ninik Andriani
NIM : 2108036071

Penelitian ini memiliki tujuan membuat komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 untuk pengolahan limbah zat warna metilen biru. Karbon aktif dibuat dengan mengkarbonisasi plastik PET kemudian diaktivasi menggunakan aktivasi fisika dengan memanaskan ke dalam furnace pada suhu 850°C selama 25 menit dan aktivasi kimia dengan merendam ke dalam larutan KOH 4M selama 2 jam. Sintesis komposit karbon aktif- Fe_3O_4 dilakukan menggunakan metode kopresipitasi dengan variasi massa karbon aktif: Fe_3O_4 , yaitu 1:1 (komposit 1), 3:2 (komposit 2) dan 2:1 (komposit). Karbon aktif dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM, sedangkan komposit terbaik dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM-EDX *mapping*. Komposit mengandung fasa kristal yang kemungkinan berasal dari Fe_3O_4 . Morfologi struktur komposit berupa partikel kecil yang halus dan pori permukaan yang banyak. Puncak Fe dan O terdeteksi dalam analisis unsur yang membuktikan bahwa Fe_3O_4 terkandung di dalam sampel. Kapasitas adsorpsi tertinggi didapatkan pada komposit 2 sebesar 3,244 mg/g dengan kondisi optimum pada pH 7 selama 30 menit dengan mengikuti model kinetika adsorpsi pseudo orde dua. Komposit karbon aktif- Fe_3O_4 dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap metilen biru serta mempermudah pemisahan dengan magnet eksternal.

Kata Kunci: Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*), Fe_3O_4 , adsorpsi dan metilen biru.

TRANSLITER ARAB-LATIN

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam skripsi ini berpedoman pada SKB Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan RI Nomor: 158/1987 dan Nomor: 054/U/1987. Penyimpangan penulisan kata sanding [al-] disengaja secara konsisten supaya sesuai teks Arabnya.

ا	A	ط	ṭ
ب	B	ظ	ẓ
ت	T	ع	‘
ث	Ś	غ	Gh
ج	J	ف	F
ح	ḥ	ق	Q
خ	Kh	ك	K
د	D	ل	L
ذ	z	م	M
ر	R	ن	N
ز	Z	و	W
س	S	ه	H
ش	Sy	ء	“
ص	ṣ	ڻ	Y
ض	ḍ		

Bacaan Madd:

a > = a panjang
i > = i panjang
u > = u panjang

Bacaan Diftong:

au = اوُ
ai = ايُ
iy = يُ

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat selesai dikerjakan. Sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat dan para pengikutnya. Penyusunan skripsi dengan judul “Sintesis Komposit Karbon Aktif dari Sampah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru” dimaksudkan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari berbagai pihak yang telah memberikan nasihat, bimbingan, arahan, serta dukungan dan do'a. oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Nizar Ali, M. Ag., Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M. Ag., Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Dr. Mulyatun, S. Pd., M. Si., Ketua Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
4. Kholidah, M. Sc., Dosen Pembimbing serta Dosen Wali tercinta yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, motivasi, bantuan, serta dukungan kepada penulis dengan

penuh pengertian selama menjalani kuliah, riset tugas akhir maupun saat penyusunan skripsi.

5. Segenap Dosen, Pegawai dan Civitas Akademika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan pemahaman.
6. Kedua Orang Tua, Bapak Nur Latif dan Ibu Choirun Niswah, Kakak Atik Khusniati, Kakak Dokles Dadang, Kakak Fina Nur Azizah, Keponakan Muhammad Alif Dhiya'ulhaq serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat, kasih sayang kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studi dengan baik dan lancar sampai akhir.
7. Anita karunia Z, S.Si., Ahmad Mughis, S.Pd.I. dan segenap asisten laboratorium kimia yang telah memberikan kesempatan belajar dan pengalaman berharga bagi penulis sebagai asisten di Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
8. Syifa, Tiwi, Cindy, Putri A, Adinda, Hanik dan Vivi yang telah menjadi tempat berbagi cerita, saling mendukung dalam perkuliahan sampai akhir studi sarjana ini.
9. Defikha, Tasya dan Putri Bintari sebagai teman rasa keluarga yang selalu berbagi segala hal sehingga penulis tetap semangat menjalani kehidupan perkuliahan.

10. Mbak Nadaa dan Mas Qulub yang selalu membantu penulis ketika mengalami kebingungan dan kesulitan dalam menjalani perkuliahan.
11. Teman-teman Kimia 2021 khususnya Kim-C, Keluarga besar UKM Ristek khususnya pengurus periode 2024, dan KKN MMK Kolaboratif 2024 Posko 9 Desa Gandon yang telah berdinamika bersama dan turut membentuk pribadi penulis.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan semangat demi terselesaiannya tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini banyak kekurangan dan jauh dari sekempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran agar penulis dapat memperbaiki skripsi ini. Semoga naskah skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Semarang, 6 Mei 2025

Penulis



Ninik Andriani

NIM. 2108036071

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
ABSTRAK.....	v
TRANSLITER ARAB-LATIN.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	8
D. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
A. Landasan Teori	11
1. Plastik PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	11
2. Karbon aktif.....	13
3. Adsorpsi.....	15
4. Magnetit (Fe ₃ O ₄).....	20
5. Metilen Biru.....	23
6. Spektrofotometer UV-Vis	24
7. <i>X-ray Diffraction (XRD)</i>	26
8. <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	28
B. Kajian Pustaka.....	29
C. Hipotesis.....	34
BAB III METODE PENELITIAN	35
A. Waktu dan Tempat Penelitian	35
B. Alat dan Bahan.....	35
1. Alat	35
2. Bahan.....	35
C. Prosedur Penelitian	36
1. Tahap karbonisasi	36

2. Tahap aktivasi.....	36
3. Uji Proksimat Karbon dan Karbon Aktif.....	37
4. Tahap Sintesis komposit karbon aktif dengan magnetit Fe_3O_4	40
5. Uji Daya Serap Metilen Biru.....	41
6. Karakterisasi.....	43
7. Penentuan pH Optimum pada Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru.....	44
8. Penentuan Kinetika Adsorpsi	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
A. Tahap Karbonisasi.....	49
B. Tahap Aktivasi	50
C. Uji Proksimat Karbon dan Karbon Aktif	52
1. Penentuan Kadar Air	52
2. Penentuan Kadar Abu.....	53
3. Penentuan Kadar Zat Menguap	54
4. Penentuan Kadar Karbon.....	55
D. Tahap Sintesis Komposit Karbon Aktif dengan Magnetit Fe_3O_4	56
E. Uji Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru.....	58
1. Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru.....	58
2. Pembuatan Kurva Standar	59
3. Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru Oleh Karbon, Karbon Aktif serta Komposit 1, 2 dan 3.....	61
F. Karakterisasi.....	64
1. Karakterisasi Karbon Aktif dan Fasa Oksida Besi yang Terbentuk Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	64
2. Karakterisasi SEM-EDX <i>Mapping (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray)</i>	66
G. Penentuan pH Optimum pada Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru	70
H. Penentuan kinetika Adsorpsi.....	72
1. Penentuan Waktu Kontak Optimum	72
2. Penentuan Model Kinetika Adsorpsi <i>Pseudo</i> Orde Satu dan <i>Pseudo</i> Orde Dua	74
BAB V PENUTUP	79

A. Kesimpulan	79
B. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN.....	89
RIWAYAT HIDUP	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur PET (Driedger et al., 2015).....	12
Gambar 2. 2 Kurva TGA PET pada laju pemanasan 10°C/menit dari suhu 30°C hingga 900°C (Nurudeen et al., 2024).....	13
Gambar 2. 3 Struktur Kristal Magnetit (Fe_3O_4) (Cullity dan Graham, 2009).....	22
Gambar 2. 4 Pola difraksi Fe_3O_4 (Rahmayanti, 2020).....	23
Gambar 2. 5 Struktur kimia metilen biru (Hussin et al., 2015)	24
Gambar 2. 6 Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis (Rahma, 2021)	26
Gambar 2. 7 Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang (Jamaludin, 2018).....	27
Gambar 2. 8 Skema instrumen SEM-EDX (Farikhin, 2016).....	29
Gambar 4. 1 (a) Karbon dan (b) Karbon Aktif	52
Gambar 4. 2 Hasil Sintesis Komposit 1, Komposit 2 dan Komposit 3	58
Gambar 4. 3 Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru	59
Gambar 4. 4 Kurva Standar Metilen Biru	60
Gambar 4. 5 Daya Tarik Magnet Eksternal pada Adsorben (a) Karbon, (b) Karbon Aktif, (c) Komposit 1, (d) Komposit 2 dan (e) Komposit 3	64
Gambar 4. 6 Difaktogram Karbon Aktif dan Komposit 2 ...	65
Gambar 4. 7 Hasil SEM (a) Karbon Aktif Perbesaran 500x, (b) Karbon Aktif Perbesaran 5000x, (c) Komposit 2 Perbesaran 500x dan (d) Komposit 2 Perbesaran 5000x.....	68
Gambar 4. 8 Hasil EDX Komposit 2	69
Gambar 4. 9 Hasil Mapping Komposit 2 (karbon aktif- Fe_3O_4 3:2)	70
Gambar 4. 10 Pengaruh pH Terhadap Kapasitas Adsorpsi..	71
Gambar 4. 11 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi	73
Gambar 4. 12 Kurva Model Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu.....	75

Gambar 4. 13 Kurva Model Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde
Dua 76

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Variasi Komposit Karbon aktif dengan Fe_3O_4	41
Tabel 4. 1 Hasil Penentuan Kadar Air	52
Tabel 4. 2 Hasil Penentuan Kadar Abu	53
Tabel 4. 3 Hasil Penentuan Kadar Zat Menguap	54
Tabel 4. 4 Hasil Penentuan Kadar Karbon	55
Tabel 4. 5 Hasil Kapasitas Adsorpsi Adsorben	61
Tabel 4. 6 Komposisi Unsur Komposit	69
Tabel 4. 7 Parameter Kinetika Adsorpsi.....	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Alur Penelitian	89
Lampiran 2 Tahap karbonisasi	90
Lampiran 3 Tahap aktivasi	90
Lampiran 4 Analisa Awal Karakteristik Karbon dan Karbon Aktif	91
Lampiran 5 Tahap Sintesis komposit karbon aktif dengan Fe_3O_4	93
Lampiran 6 Uji Daya Serap Metilen Biru.....	93
Lampiran 7 Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru.....	95
Lampiran 8 Data Hasil Penelitian dan Analisis Data	96
Lampiran 9 Hasil Karbonisasi Sampah Plastik PET dan Aktivasi Karbon Aktif	108
Lampiran 10 Sintesis Komposit Karbon Aktif dengan Fe_3O_4 ..	109
Lampiran 11 Dokumentasi Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru oleh Komposit Terbaik	110
Lampiran 12 Panjang Gelombang Metilen Biru.....	111

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya zaman, kebutuhan sandang manusia juga semakin meningkat, sehingga industri tekstil sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Dalam pembuatan tekstil terdapat proses pewarnaan, namun kebanyakan industri tekstil menggunakan pewarna sintetik dalam proses tersebut. Metilen biru merupakan salah satu pewarna sintetik yang digunakan dalam pewarnaan tekstil, padahal zat warna tersebut dapat menimbulkan sianosis jika terhirup dan iritasi jika terkena kulit (Wismayanti *et al.*, 2015). Pada proses pewarnaan, zat warna yang digunakan tidak seluruhnya meresap ke dalam kain sehingga menghasilkan residu zat warna yang tinggi pada efluen (Ristianingsih *et al.*, 2020).

Limbah zat warna yang dihasilkan industri tekstil tersebut sangat berbahaya bagi lingkungan jika dibuang secara langsung ke perairan karena dapat menutupi permukaan air sehingga cahaya matahari tidak dapat masuk ke dalamnya. Hal ini akan berdampak pada ekosistem air yang akhirnya membuat lingkungan menjadi rusak. Dalam Qs. Ar-Rum ayat 41, Allah berfirman tentang kerusakan alam yang dijelaskan sebagai berikut:

ظَاهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِيُ النَّاسِ لِيُذْنِيَهُمْ بَعْضُ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: *telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).*

Ayat tersebut menjelaskan bahwa sebenarnya manusia bertugas untuk mengelola, memelihara dan memanfaatkan alam. Namun, perbuatan manusia yang lalai menyebabkan kerusakan alam. Dalam tafsir Ibnu Katsir (2015) diterangkan bahwa kerusakan alam yang menyebabkan berkurangnya hasil tanaman dan buah-buahan merupakan perbuatan maksiat yang dikerjakan oleh para penghuninya (manusia). Manusia yang berbuat kerusakan di bumi, berarti telah berbuat durhaka kepada Allah SWT, karena kelestarian bumi dan langit dipelihara dengan ketaatan manusia terhadap Allah SWT.

Pencemaran air akibat pembuangan limbah zat warna metilen biru merupakan salah satu kerusakan alam, sehingga diperlukan pengolahan pada limbah zat warna metilen biru yang dihasilkan oleh industri tekstil sebelum dibuang ke perairan supaya dapat mengurangi pencemaran air. Adsorpsi menggunakan karbon aktif dapat digunakan untuk mengolah limbah zat warna metilen biru. Karbon aktif merupakan suatu bahan yang sebagian besar atom penyusunnya terdiri atas

karbon dengan daya serap yang baik karena mempunyai pori permukaan yang luas. Karbon aktif ini memiliki kemampuan adsorpsi suatu zat dalam bentuk larutan maupun gas yang bersifat anion, kation dan molekul organik atau anorganik (Maulinda *et al.*, 2015).

Karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung unsur karbon seperti kayu, sekam padi, biji dari buah-buahan dan sampah plastik (Kumar *et al.*, 2011; Najib *et al.*, 2020). Karbon dan hidrogen merupakan unsur utama penyusun plastik (Kumar *et al.*, 2011). Selain itu penggunaan plastik pada kehidupan sehari-hari sangat luas, sehingga menyebabkan timbunan sampah plastik. Dilaporkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), bahwa penduduk Indonesia setiap hari menghasilkan sampah sebanyak 0,8 kg per orang, atau jika ditotal jumlahnya mencapai 189 ribu ton sampah per hari. Pada jumlah tersebut 15% atau 28,4 ribu ton berupa sampah plastik (Setiawan *et al.*, 2020).

Plastik dipilih untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain kuat, ringan dan fleksibel (Setiawan *et al.*, 2020). Namun plastik memiliki sifat sulit terurai oleh mikroorganisme dalam tanah karena terbuat dari minyak bumi yang bersifat *non-degradable* (Cundari *et al.*, 2016). Plastik hanya dapat digunakan satu kali kemudian dibuang menjadi sampah,

sehingga penggunaan plastik akan berdampak buruk bagi lingkungan karena menyebabkan pencemaran. Sehingga timbunan sampah plastik yang sangat melimpah ini dapat dimanfaatkan sebagai pembuatan karbon aktif.

Plastik dikelompokkan menjadi dua, yaitu *thermoplast* dan *thermoset*. Plastik *thermoplast* dapat dicetak berulang-ulang dengan proses pemanasan, seperti *polypropylene*, *polyethylene terephthalate* dan *polyacetal*. Plastik *thermoset* tidak dapat dicetak kembali dalam kondisi tertentu karena memiliki struktur polimer berbentuk jaringan tiga dimensi, seperti *polyurethane* dan *urea formaldehyde* (Cundari *et al.*, 2016). Pada penelitian ini digunakan plastik jenis *thermoplast*, yaitu *polyethylene terephthalate* atau sering disebut PET. Pemilihan jenis plastik ini didasarkan pada penelitian Cundari, *et al* (2016), yang melakukan pembuatan karbon aktif dari plastik dengan membandingkan plastik jenis *polypropylene* (PP) dan *polyethylene terephthalate* (PET), namun pada plastik jenis *polypropylene* (PP) tidak dihasilkan karbon karena rantai polimernya terdiri dari atom karbon tersier yang kurang tahan terhadap panas.

Karbonisasi dan aktivasi adalah dua langkah utama dalam pembuatan karbon aktif. Karbonisasi atau pirolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa adanya oksigen. Proses karbonasi dilakukan

pada kisaran suhu 400-600°C atau disebut juga “*High Temperature carbonization*” (Junary *et al.*, 2015). Kemudian proses aktivasi bertujuan untuk mengubah karbon hasil karbonisasi menjadi karbon aktif. Tanpa diaktivasi karbon kurang aktif dalam penyerapan karena proses aktivasi dapat memperbanyak pori-pori sehingga permukaan karbon aktif menjadi lebih luas. Terdapat dua cara yang dapat dilakukan dalam proses aktivasi karbon yaitu dengan metode fisika atau kimia (Tran *et al.*, 2018). Dalam metode fisika, bahan baku dipirolysis dengan bantuan CO₂ dan udara atau campuran keduanya sehingga proses oksidasi di permukaan karbon dapat dioptimalkan (Puspitasari *et al.*, 2022). Dalam metode kimia, proses aktivasi dilakukan dengan mereaksikan karbon dengan *activating agent*. *Activating agent* yang digunakan dapat berupa asam atau basa, yaitu KOH, K₂CO₃, NaOH, H₂SO₄, ZnCl₂ (Puspitasari *et al.*, 2022). Pada penelitian ini digunakan aktivasi kimia dengan aktivator basa, yaitu KOH. Pemilihan KOH didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Cansado *et al.* (2008) bahwa karbon aktif dari PET yang diaktivasi menggunakan KOH menghasilkan volume mikropori tertinggi sebesar 0,75 cm³g⁻¹ jika dibandingkan dengan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan NaOH (0,28 cm³g⁻¹) dan H₃PO₄ (0,34 cm³g⁻¹).

Kelemahan dari proses adsorpsi terletak pada kesulitan dalam memisahkan adsorben dan adsorbat. Untuk mengatasi

hal tersebut, karbon aktif dapat dikompositkan dengan magnetit (Lestari *et al.*, 2021). Tujuan dari penggabungan karbon aktif dengan magnetit supaya karbon aktif dapat tertarik oleh medan magnet eksternal sehingga mempermudah proses pemisahan adsorben dengan zat yang diserap. Selain itu, penggabungan karbon aktif dengan magnetit juga dapat memperbesar daya adsorpsi karena menggabungkan sifat adsorpsi dari material penyusunnya (Suryani *et al.*, 2024). Senyawa oksida besi dengan sifat kemagnetan paling kuat adalah Fe_3O_4 . Karbon aktif yang dikompositkan dengan Fe_3O_4 dapat menghasilkan bahan adsorben dengan permukaan yang luas dan tingkat porositas yang tinggi dengan sifat superparamagnetik sehingga dapat dilakukan pemisahan magnetik menggunakan magnet luar (Lestari *et al.*, 2021).

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengurangi pencemaran air dengan cara mengolah limbah zat warna metilen biru dari industri tekstil sebelum dibuang ke perairan. Pengolahan limbah zat warna tersebut dilakukan menggunakan prinsip adsorpsi dengan karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan dua aktivasi, yaitu aktivasi fisika dan kimia. Pada aktivasi kimia menggunakan larutan KOH dengan konsentrasi 4M. Kemudian karbon aktif yang dihasilkan dikompositkan dengan Fe_3O_4 untuk mempermudah pemisahan adsorben dan

adsorbat setelah proses adsorpsi serta memperbesar daya adsorpsi. Selanjutnya, karbon aktif terkomposit Fe_3O_4 akan dikontakkan dengan larutan zat warna metilen biru sebagai adsorbat dengan mempertimbangkan parameter pH optimum dan waktu kontak optimum untuk menentukan model kinetika adsorpsi.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Fe_3O_4 pada karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) terhadap kemampuan adsorpsi dan pemisahan dengan medan magnet eksternal?
3. Berapa rasio komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 yang memiliki kapasitas adsorpsi terbaik?
4. Berapa pH optimum pada adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit yang memiliki kapasitas adsorpsi terbaik?
5. Bagaimana kinetika adsorpsi pada adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit yang memiliki kapasitas adsorpsi terbaik?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 .
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan Fe_3O_4 pada karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) terhadap kemampuan adsorpsi dan pemisahan dengan medan magnet eksternal.
3. Untuk mengetahui rasio komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 yang memiliki kapasitas adsorpsi terbaik.
4. Untuk mengetahui pH optimum pada adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit yang memiliki kapasitas adsorpsi terbaik.
5. Untuk mengetahui kinetika adsorpsi pada adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit yang memiliki kapasitas adsorpsi terbaik.

D. Manfaat Penelitian

1. Mengurangi pencemaran air dengan cara mengolah limbah zat warna metilen biru yang dihasilkan oleh industri tekstil sebelum dibuang ke perairan.
2. Memberikan nilai kebermanfaatan pada sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*).

3. Memberikan sumbangan pemikiran dalam hal pembuatan karbon aktif jenis baru.
4. Memberikan pengetahuan mengenai cara pembuatan komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 .
5. Sebagai bahan rujukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

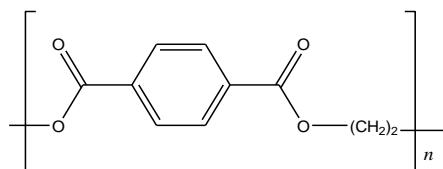
A. Landasan Teori

1. Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)

Plastik adalah suatu polimer yang memiliki kemampuan untuk dibentuk pada suhu dan tekanan tertentu (Lusher *et al.*, 2017). Plastik diklasifikasikan ke dalam dua jenis, yaitu *thermoplast* dan *thermoset*. Plastik *thermoplast* adalah jenis plastik yang dapat dibentuk berulang kali melalui proses pemanasan. Plastik yang termasuk jenis ini adalah *Polyethylene Terephthalate* atau sering disebut dengan PET. *Polyethylene Terephthalate* (PET) biasanya digunakan pada botol minuman (Driedger *et al.*, 2015).

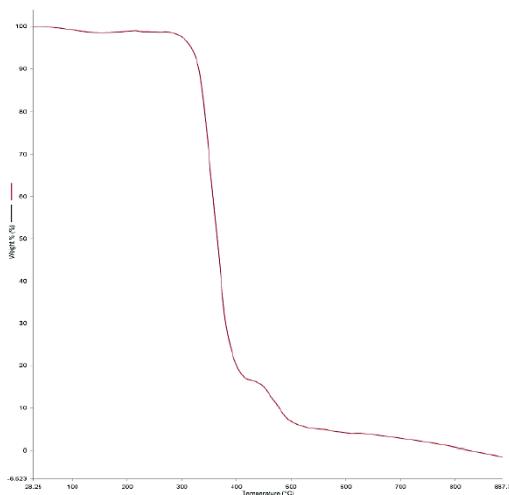
Plastik PET memiliki titik leleh 200-250°C, tetapi plastik ini cenderung dapat mempertahankan sifatnya pada suhu tinggi maupun suhu rendah. Selain itu plastik PET memiliki kekuatan tarik sebesar 50 MPa, modulus tarik sebesar 1700 MPa dan *elongation* sebesar 1%. Plastik PET biasanya digunakan dalam kehidupan sehari-hari sebagai botol minum kemasan, sedotan, kantong plastik, kemasan makanan serta peralatan otomatif seperti tangkai *wiper* dan *headlamp* (Irawan *et al.*, 2022). Plastik PET hanya aman digunakan satu kali, kemudian akan berbahaya jika digunakan berulang kali. Plastik

PET tersusun atas rantai karbon panjang yang berasal dari pengulangan monomer *ethylene terephthalate* ($C_{10}H_8O_4$), dengan kandungan tertinggi yaitu Karbon (62,5%), Oksigen (33,3%) dan Hidrogen (4,2%) (Bhaisare *et al.*, 2015). Struktur PET ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Struktur PET (Driedger *et al.*, 2015)

Plastik PET terdegradasi maksimum pada suhu 450-520°C dengan dekomposisi *single step*. Dekomposisi *single step* menunjukkan adanya ikatan karbon-karbon yang mendorong mekanisme pemisahan acak dengan peningkatan suhu. PET memiliki struktur siklik dan degradasi kehilangan berat maksimumnya dalam kondisi termal melibatkan pemotongan rantai acak dan pemotongan rantai ujung yang meningkatkan proses. Dekomposisi awal dimulai pada suhu 100°C dan mencapai dekomposisi maksimum sebesar 77,4% pada suhu 884°C (Nurudeen *et al.*, 2024). Kurva TGA PET pada laju pemanasan 10°C/menit dari suhu 30°C hingga 900°C ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2 Kurva TGA PET pada laju pemanasan $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dari suhu 30°C hingga 900°C (Nurudeen *et al.*, 2024)

2. Karbon aktif

Karbon aktif adalah bahan padat berpori dengan kandungan karbon antara 85-95%. Karbon aktif dibuat dari bahan yang mengandung karbon dengan memanaskannya pada suhu tinggi. Karbon aktif dihasilkan dari material yang kaya akan karbon melalui proses pemanasan pada temperatur tinggi. Pemanasan bahan yang mengandung karbon melalui proses penambahan oksigen atau tanpa penambahan oksigen atau pereaksi kimia lainnya. Karbon aktif memiliki

komponen yang terikat di dalamnya antara lain abu, air, nitrogen dan sulfur (Nasution, 2021).

Karbon aktif memiliki sifat hidrofobik atau cenderung tidak dapat berinteraksi dengan air. Karbon aktif merupakan produk hasil pengolahan karbon yang diproses untuk meningkatkan daya serapnya. Proses aktivasi merupakan proses yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan karbon aktif dalam penyerapan dengan cara menghilangkan zat yang menutupi pori permukaan karbon aktif. Karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki luas permukaan sebesar $1,95 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{kg}^{-1}$, dengan volume pori-pori sebesar $10,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{mg}^{-1}$ dengan diameter pori rata-rata $21,6 \text{ \AA}$, hal ini membuat karbon aktif memiliki kemampuan penyerapan yang tinggi. Semakin luas permukaan pori-pori karbon aktif, maka akan semakin tinggi daya serapnya (Nasution, 2021).

Proses aktivasi pada karbon aktif terdapat dua cara, yaitu proses aktivasi fisika dan proses aktivasi kimia. Aktivasi fisika berprinsip pada pemutusan rantai karbon dengan uap serta panas sedangkan prinsip dari aktivasi kimia adalah pengikatan senyawa-senyawa pengotor yang menutupi pori dengan menggunakan bahan kimia yang bersifat pengaktif. Bahan-bahan kimia yang digunakan sebagai aktivator dapat bersifat asam maupun

basa (Kusuma *et al.*, 2020; Lestari *et al.*, 2016). Persyaratan karbon aktif menurut Standar Nasional Indonesia (SNI. 06-3730-1995) herus memenuhi kriteria teknis berupa kadar karbon maksimal sebesar 15%, kadar abu maksimal sebesar 10%, kadar zat menguap maksimal sebesar 25%, serta kadar karbon minimal sebesar 65%.

3. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses suatu komponen bergerak dari suatu fasa ke fasa yang lain. Dalam adsorpsi, molekul-molekul atau senyawa akan menempel pada permukaan zat padat atau cair. Hal ini terjadi karena gaya kohesi antar molekul dalam zat padat atau cair lebih besar daripada gaya adhesinya, sehingga tercipta ketidakseimbangan yang mendorong zat tersebut menarik molekul lain ke permukaannya (Hartini, 2014).

Salah satu prosedur yang dapat diterapkan dalam penyerapan logam dan zat warna dari limbah cair adalah adsorpsi. Proses ini berlangsung dalam tiga tahap, yaitu pertama, logam atau zat warna bergerak menuju permukaan adsorben, kedua, terjadi penempelan pada permukaan adsorben dan ketiga, zat yang teradsorpsi masuk ke dalam struktur partikel adsorben (Nurchabibah, 2018).

Adsorpsi dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisik dipengaruhi oleh gaya *Van der Waals* sehingga menyebabkan melemahnya interaksi antara molekul adsorbat. Adsorpsi kimia dipengaruhi oleh adanya ikatan kimia antara adsorben dengan adsorbat (Nurchabibah, 2018).

Kinerja proses adsorpsi dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain:

a. Luas permukaan

Luas permukaan adsorben dipengaruhi oleh ukuran dari adsorben. Semakin kecil ukuran partikel adsorben, semakin besar luas permukaannya. Hal tersebut dapat meningkatkan jumlah adsorbat yang akan diserap. Semakin luas permukaan, maka adsorbat yang diserap akan semakin banyak (Nurchabibah, 2018). Kemudian semakin besar massa adsorben juga dapat meningkatkan kemampuan penyerapan adsorben terhadap adsorbat (Ainiyyah *et al.*, 2022).

b. Ukuran molekul adsorbat

Adsorbat yang memiliki molekul dengan ukuran kecil akan lebih mudah diadsorpsi oleh pori-pori adsorben (Nurchabibah, 2018). Adsorbat yang memiliki ukuran molekul lebih besar dari pada

ukuran pori adsorben akan memiliki kecepatan adsorpsi lebih kecil jika dibandingkan dengan adsorbat yang memiliki ukuran lebih kecil (Sirajuddin & Harjanto, 2018).

c. Suhu

Suhu mempunyai pengaruh terhadap proses adsorpsi. Jika suhu meningkat, maka proses adsorpsi akan meningkat dan sebaliknya jika suhu menurun maka proses adsorpsi akan menurun (Nurchabibah, 2018). Proses pemanasan menyebabkan adsorben lebih aktif karena pori-pori adsorben lebih terbuka sehingga daya serap terhadap adsorbat lebih besar (Syauqiah *et al.*, 2011).

d. pH

pH dapat mempengaruhi perubahan distribusi muatan akibat terjadinya protonasi dan deprotonasi. Pada pH rendah adsorbat cenderung terprotonasi, sedangkan pada pH tinggi adsorbat cenderung terdeprotonasi (Amalia & Priyambodo, 2016). Semakin asam pH adsorbat, maka jumlah ion H^+ akan mendominasi. Kemudian semakin basa pH adsorbat, maka jumlah ion OH^- akan mendominasi (Moniz *et al.*, 2024).

e. Konsentrasi adsorbat

Frekuensi tumbukan antara partikel akan meningkat ketika konsentrasi adsorbat semakin tinggi, yang berarti akan ada lebih banyak zat yang terserap (Syauqiah *et al.*, 2011).

f. Kecepatan pengadukan

Adsorben dapat disebar merata dengan proses pengadukan supaya daya adsorpsi semakin meningkat dan maksimal. Kemudian dengan pengadukan juga dapat mempengaruhi gradien konsentrasi antar muka adsorben dengan adsorbat agar proses adsorpsi tetap berlangsung (Sirajuddin & Harjanto, 2018). Pengadukan yang sangat lambat menyebabkan proses adsorpsi semakin lambat, namun pengadukan yang sangat cepat menyebabkan struktur adsorben akan mengalami kerusakan (Syauqiah *et al.*, 2011).

g. Waktu kontak

Semakin lama kontak antara partikel adsorben dan adsorbat, maka proses difusi dan ketertarikan molekul adsorbat pada permukaan adsorben akan berlangsung lebih efektif (Nurchabibah, 2018). Penyerapan adsorbat akan meningkat hingga mencapai waktu maksimum tertentu kemudian akan menurun, hal itu disebabkan pada waktu maksimum

adsorben telah dalam keadaan jenuh dengan adsorbat (Ainiyyah *et al.*, 2022).

h. Kepolaran zat

Kepolaran suatu zat memengaruhi bagian yang akan diadsorpsi. Adsorbat yang memiliki sifat polar cenderung berinteraksi lebih kuat dengan adsorben yang juga bersifat polar (Nurchabibah, 2018).

Kinetika adsorpsi adalah proses ketika adsorben menyerap adsorbat dalam waktu tertentu. Proses ini dapat diketahui melalui laju adsorpsi yang dapat dilihat melalui konstanta laju dan orde reaksi. Kinetika *pseudo* orde satu dan dua adalah model kinetika adsorpsi yang paling umum digunakan (Anggriani *et al.*, 2021).

Menurut kinetika *pseudo* orde satu, laju penyerapan hanya dipengaruhi oleh satu zat yang bereaksi atau sebanding dengan salah satu pangkat reaktannya (Jatto *et al.*, 2017). Persamaan kinetika *pseudo* orde satu sebagaimana dikemukakan oleh Lagergren dapat dinyatakan melalui Persamaan 2.1.

$$\frac{dq}{dt} = k_1(qe - qt) \quad (2.1)$$

Mengintegralkan persamaan tersebut dengan $qt=0$ pada $t=0$ memungkinkan perubahan persamaan tersebut menjadi persamaan linear, sehingga diperoleh persamaan (Persamaan 2.2).

$$\ln(qe - qt) = \ln qe - k_1 t \quad (2.2)$$

(Zaini & Sami, 2016)

Menurut kinetika *Pseudo* orde dua, kecepatan proses penyerapan adsorbat oleh adsorben berbanding lurus dengan kedua zat yang bereaksi (adsorbat dan adsorben) atau hanya bergantung pada salah satu zat yang berpangkat dua (Jatto *et al.*, 2017). Persamaan *pseudo* orde dua dapat dinyatakan melalui Persamaan 2.3.

$$\frac{dq}{dt} = k_2(qe - qt)^2 \quad (2.3)$$

Mengintegralkan persamaan tersebut dengan kondisi $qt=0$ pada $t=0$ memungkinkan perubahan persamaan tersebut menjadi persamaan linear, sehingga diperoleh Persamaan 2.4.

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2.4)$$

Keterangan: q_e adalah kapasitas adsorpsi pada waktu setimbang (mg/g), qt adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t , k_1 adalah konstanta laju *pseudo* orde satu, sedangkan k_2 adalah konstanta laju *pseudo* orde dua (Zaini & Sami, 2016).

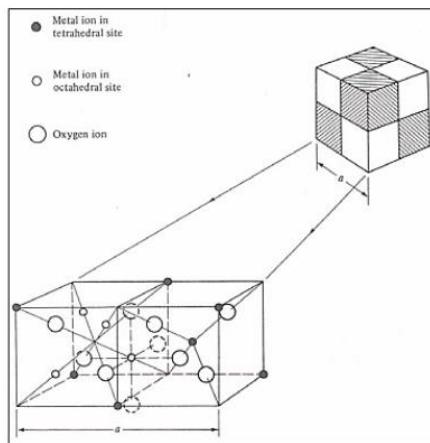
4. Magnetit (Fe_3O_4)

Oksida besi merupakan senyawa yang terbentuk dari unsur besi dan oksigen. Terdapat berbagai macam besi oksida, yaitu hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan

magnetit (Fe_3O_4). Magnetit (Fe_3O_4) banyak digunakan sebagai katalis, superkatalisator dan adsorben karena luas permukaannya yang besar (Nisa', 2018).

Magnetit memiliki warna hitam dan berkilau seperti logam. Magnetit ini memiliki densitas sebesar $5,18 \text{ g/cm}^3$ yang lebih rendah dibandingkan hematit dengan densitas $5,26 \text{ g/cm}^3$, namun lebih tinggi dibandingkan *ferrihydrite* yang memiliki densitas $4,26 \text{ g/cm}^3$. Luas permukaan magnetit ditentukan oleh metode sintesisnya (Nisa', 2018).

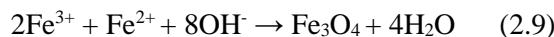
Magnetit merupakan salah satu mineral yang paling stabil sebagai pembawa magnetisasi remanen alami (NRM). Magnetit mudah berinteraksi dengan medan magnet dan listrik karena memiliki sifat ferimagnetik seperti logam. Struktur magnetit berbentuk spinel, dengan situs kubik yang diisi oleh atom yang berukuran besar yaitu oksigen, sementara situs tetrahedral dan oktahedral diisi oleh atom yang berukuran lebih kecil yaitu besi. Pada situs tetrahedral, atom besi dikelilingi oleh empat atom oksigen, sedangkan pada situs oktahedral dikelilingi oleh enam atom oksigen (Adhim, 2018). Struktur kristal magnetit (Fe_3O_4) ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Struktur Kristal Magnetit (Fe_3O_4)

(Cullity dan Graham, 2009).

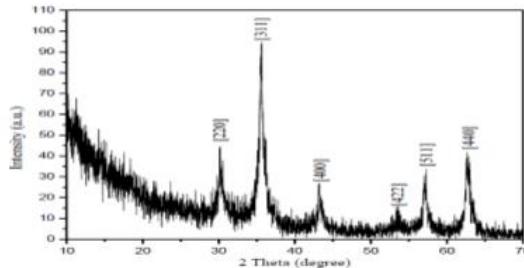
Pembentukan magnetit Fe_3O_4 berasal dari ion logam Fe^{3+} dan Fe^{2+} dengan perbandingan molaritas 2:1. Endapan Fe_3O_4 akan terbentuk setelah mencampurkan kedua larutan ion tersebut dengan bantuan larutan basa pengendap dengan Persamaan reaksi kimia 2.9.



(Adhim, 2018).

Pada penelitian Rahmayanti (2020), dilakukan karakterisasi magnetit Fe_3O_4 menggunakan instrumen XRD. Hasil yang didapatkan yaitu puncak-puncak difraksi yang terdeteksi pada sudut sekitar 30, 35, 43, 57

dan 62° yang masing-masing dikaitkan dengan bidang kristal berindeks Miller masing-masing [220], [311], [400], [422], [511] dan [440] (Rahmayanti, 2020). Pola difraksi Fe_3O_4 dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.

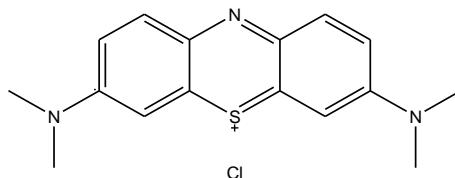


Gambar 2. 4 Pola difraksi Fe_3O_4 (Rahmayanti, 2020)

5. Metilen Biru

Metilen biru adalah senyawa kimia dengan rumus molekul $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{S}\text{Cl}$ yang memiliki struktur seperti **Gambar 2.4**. Metilen biru adalah senyawa hidrokarbon aromatik yang bersifat toksik dan tergolong sebagai zat warna kationik dengan kemampuan adsorpsi yang sangat tinggi. Senyawa ini umumnya dimanfaatkan sebagai zat pewarna dalam industri tekstil. Metilen biru berbentuk kristal berwarna hijau tua yang akan membentuk larutan berwarna biru saat dilarutkan dalam air. Senyawa ini memiliki massa molekul 319,86 g/mol, titik lebur 105°C dan kelarutan sebesar $4,36 \times 10^4$ mg/L (Hussin *et al.*, 2015). Metilen biru bermuatan positif karena

menghasilkan ion H^+ yang sangat banyak pada pH rendah (asam). Pada kondisi pH ini metilen biru mengalami protonasi. Kemudian pada pH tinggi metilen biru bermuatan negatif karena menghasilkan ion OH^- yang sangat banyak karena pada kondisi ini metilen biru mengalami deprotonasi (Moniz *et al.*, 2024; Pathania *et al.*, 2017). Konsentrasi metilen biru dalam larutan dapat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 664 nm (Hussin *et al.*, 2015).



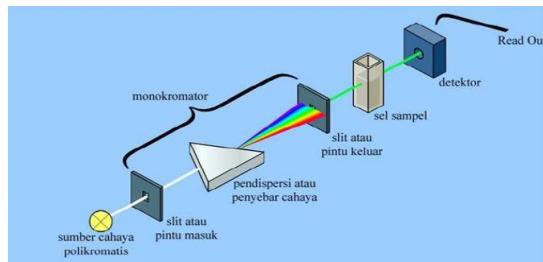
Gambar 2. 5 Struktur kimia metilen biru (Hussin *et al.*, 2015)

6. Spektrofotometer UV-Vis

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis adalah dengan mengukur jumlah cahaya yang diserap atau diteruskan oleh molekul-molekul dalam larutan. Radiasi elektromagnetik ultraviolet (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) adalah sumber dari spektrofotometer ini. Sebagian energi cahaya diserap oleh larutan ketika gelombang cahaya dari sumber radiasi masuk ke dalamnya yang dikenal sebagai adsorpsi.

Kapasitas molekul zat terlarut untuk menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu disebut Absorbansi (A). Nilai absorbansi ini berhubungan dengan konsentrasi larutan dan panjang jalur cahaya yang melewati larutan (biasanya 1 cm dalam spektrofotometer). Persentase cahaya yang diserap diukur menggunakan *phototube* (Sarifudin, 2022).

Cahaya polikromatis diteruskan melalui celah menuju monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer. Monokromator kemudian mengubah cahaya tersebut menjadi cahaya monokromatis. Berkas cahaya dengan panjang gelombang tertentu kemudian diteruskan ke sampel yang mengandung konsentrasi tertentu dari zat yang diuji. Sebagian cahaya akan diteruskan, sementara sebagian lainnya diserap (diabsorpsi). Setelah detektor menerima cahaya yang diteruskan, detektor menghitung cahaya yang diterima untuk menentukan jumlah cahaya yang diserap oleh sampel. Tingkat penyerapan cahaya berhubungan langsung dengan konsentrasi zat dalam sampel, sehingga memungkinkan untuk menentukan konsentrasi zat tersebut secara kuantitatif (Rahma, 2021). Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



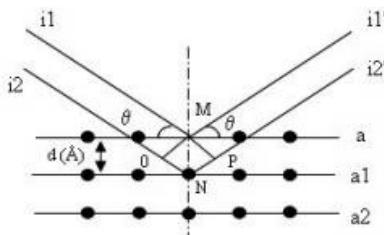
Gambar 2. 6 Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis
(Rahma, 2021)

7. *X-ray Diffraction (XRD)*

Metode analisis yang dikenal dengan Difraksi Sinar-X (*X-ray Diffraction*) digunakan untuk mengidentifikasi fase bahan kristal dan memberikan informasi mengenai dimensi sel satuan. Untuk panjang gelombang sinar-X, kisi-kisi difraksi dari zat kristal berbentuk tiga dimensi. Proses difraksi sinar-X bergantung pada interferensi konstruktif dari sinar-X sampel kristal. Sinar-X dihasilkan oleh tabung sinar katoda, disaring untuk menghasilkan radiasi monokromatik, difokuskan dan kemudian diarahkan ke sampel kristal. Interaksi antara sinar-X dan sampel menghasilkan interferensi konstruktif ketika kondisi sesuai dengan hukum Bragg, yang menghubungkan panjang gelombang radiasi elektromagnetik dengan sudut difraksi kisi dan jarak sampel kristal. Selanjutnya pola difraksi sinar-X dideteksi, diproses dan dihitung. Karena setiap mineral

memiliki jarak unit d yang khas, konversi puncak difraksi dengan jarak d memungkinkan identifikasi mineral, yang biasanya dilakukan dengan membandingkan jarak d dengan pola referensi standar (Rahmatullah, 2014).

Instrumen XRD terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sebuah tabung sinar-X, pemegang sampel dan detektor sinar-X. Dalam tabung sinar katoda, sinar-X dihasilkan ketika filamen dipanaskan untuk melepaskan elektron. Beberapa komponen sinar-X yang paling umum adalah $K\alpha$ dan $K\beta$. $K\alpha$ terdiri dari dua komponen, yaitu $K\alpha 1$ dan $K\alpha 2$, dimana panjang gelombang $K\alpha 1$ lebih pendek dan intensitasnya dua kali lipat dibandingkan dengan $K\alpha 2$ (Rahmatullah, 2014). Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



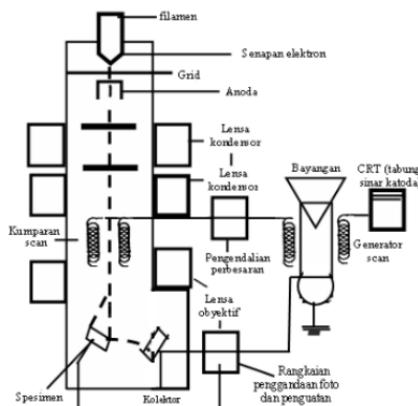
Gambar 2.7 Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang (Jamaludin, 2018)

8. *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah jenis mikroskop yang digunakan untuk menganalisis bentuk, struktur dan distribusi pori pada permukaan material dengan resolusi tinggi yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya (Susmanto *et al.*, 2020). Prinsip kerja SEM yaitu *electron gun* yang terbuat dari tungsten dengan filamen berupa kawat tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Selanjutnya, elektron akan ditarik oleh anoda yang menciptakan gaya untuk mempercepatnya. Elektron kemudian difokuskan pada permukaan sampel menggunakan lensa magnetik. Beras elektron yang terfokus ini diarahkan oleh koil pemindai untuk memindai sampel. Ketika elektron mengenai sampel, sebagian elektron akan terhambur dari permukaannya dan terdeteksi sehingga menghasilkan gambar morfologi yang muncul pada layar monitor CRT (Farikhin, 2016).

Perangkat SEM biasanya dilengkapi dengan fitur *Energy Dispersive X-ray* (EDX), yang mampu menganalisis komposisi unsur dalam sampel dengan mendeteksi sinar-X yang dipancarkan. Panjang gelombang sinar-X yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terdapat dalam

sampel. Proses ini terjadi ketika elektron berenergi tinggi ditembakkan ke atom dalam sampel, menyebabkan elektron tersebut tereksitasi dan kemudian kembali ke tingkat energi yang lebih rendah. Hasil analisis EDX mencakup jenis unsur serta persentase kandungannya dalam sampel yang diperoleh berdasarkan intensitas sinar-X yang terdeteksi (Hartini, 2014). Skema instrumen SEM-EDX dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Skema instrumen SEM-EDX (Farikhin, 2016)

B. Kajian Pustaka

Pham (2023) melakukan variasi suhu pada proses kerbonisasi dan aktivasi fisika dalam pembuatan karbon aktif dari sampah plastik PET untuk menghilangkan pewarna metilen biru di perairan. Pada proses kerbonisasi

digunakan variasi suhu 400°C, 450°C, 500°C, 550°C dan 600°C. Kemudian dipilih suhu 550°C sebagai suhu optimal pada proses karbonisasi karena sebelum suhu 600°C zat-zat volatil dan uap air mudah dilepaskan sedangkan pada suhu 600°C mulai terbentuk struktur berpori pada karbon yang mengakibatkan perubahan massa yang signifikan. Selanjutnya dilakukan variasi juga terhadap waktu karbonisasi, yaitu selama 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit. Kemudian dipilih waktu selama 15 menit karena semakin lama waktu karbonisasi maka semakin cepat juga penguraian struktur dan penguapan, sehingga mengurangi rendemen karbon. Tahap selanjutnya yang dilakukan adalah aktivasi. Pada penelitian ini dilakukan aktivasi fisika dengan cara dipanaskan menggunakan suhu tinggi pada *furnace*. Pada tahap aktivasi ini dilakukan variasi suhu 600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C, 850°C dan 900°C untuk menentukan suhu optimal. Kemudian dipilih suhu 850°C karena pada suhu ini didapatkan nilai efisiensi penyerapan yodium tertinggi oleh karbon. Selanjutnya dilakukan variasi terhadap waktu aktivasi, dengan variasi waktu 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit. Pada variasi waktu tersebut dipilih waktu 25 menit karena pada waktu tersebut didapatkan nilai efisiensi penyerapan yodium tertinggi oleh karbon. Sehingga kondisi optimum pada tahap aktivasi dilakukan pada suhu 850°C dengan waktu 25 menit. Karbon

aktif yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), difraksi sinar-x (XRD), FTIR dan BET. Setelah itu dilakukan pengujian kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap metilen biru dan dihasilkan nilai kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 18,284 mg/g.

Cundari *et al.* (2016) mengkomparasikan tiga metode aktivasi pada karbon dari sampah plastik PET, yaitu aktivasi kimia, aktivasi fisika dan aktivasi kimia fisika. Pada aktivasi kimia, karbon dilakukan perendam dalam larutan KOH 1M selama dua jam kemudian dinetralkan pHnya lalu dikeringkan dalam oven. Pada aktivasi fisika, karbon direndam dalam larutan aseton selama 24 jam kemudian dipanaskan kembali dalam *furnace* dengan suhu 700°C selama 2 jam. Pada aktivasi kimia fisika dikombinasikan antara aktivasi kimia dengan aktivasi fisika, yaitu dengan cara merendam karbon di dalam larutan aseton selama 24 jam kemudian dikeringkan di udara terbuka. Karbon kembali dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 700°C selama 2 jam lalu direndam dengan larutan KOH 1M selama 2 jam. Setelah selesai direndam, karbon kemudian disaring lalu di netralkan pHnya dengan cara dicuci dengan akuades dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C. Penelitian ini menunjukkan bahwa proses aktivasi terbaik terdapat pada aktivasi kimia fisika karena dengan massa karbon aktif

sebesar 30 gram dapat menurunkan nilai COD sebesar 98,41% dan BOD sebesar 98,73% pada limbah cair industri kain jumputan.

Oko *et al.* (2021) membuat karbon aktif dari sampah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) menggunakan aktivator KOH dengan variasi konsentrasi 1M, 2M, 3M dan 4M. Kemudian karbon aktif yang dihasilkan dilakukan pengujian untuk mengetahui konsentrasi KOH yang terbaik. Uji yang dilakukan antara lain uji daya serap iod, uji kadar abu, uji kadar air dan uji kadar *volatile matter*. Berdasarkan hasil yang didapatkan, karbon aktif dengan kualitas terbaik dihasilkan pada konsentrasi KOH tertinggi, yaitu 4 M karena peningkatan konsentrasi agen aktivasi KOH berbanding lurus dengan peningkatan kualitas karbon aktif yang terbentuk.

Dirgayanti *et al.* (2021) mengadsorpsi metilen biru menggunakan magnetit yang dikompositkan dengan karbon aktif dari kertas bekas rak telur. Pengkompositan ini dilakukan karena dalam proses adsorpsi menggunakan karbon aktif memiliki kelemahan yaitu sulitnya proses pemisahan (filtrasi) adsorben dengan adsorbat setelah proses adsorpsi selesai dilakukan. Oleh karena itu, dilakukan pengkompositan karbon aktif dengan magnetit atau Fe_3O_4 yang memiliki sifat kemagnetan yang dapat dimanfaatkan pada proses pemisahan menggunakan medan magnet

eksternal. Hasil adsorpsi metilen biru optimum oleh karbon aktif dan komposit karbon aktif- Fe_3O_4 terdapat pada pH 7 dengan nilai Q_e masing-masing 102,82 mg/g dan 126,043 mg/g. Hasil kinerja komposit karbon aktif- Fe_3O_4 lebih besar dibandingkan dengan kinerja karbon aktif.

Suryani *et al.* (2024) melakukan pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa yang dikompositkan dengan Fe_3O_4 menggunakan metode kopresipitasi. Tujuan dilakukan penggabungan karbon aktif dengan Fe_3O_4 adalah untuk memperbesar daya adsorpsi dan memanfaatkan sifat magnetit dari oksida besi sehingga dapat memudahkan proses pemisahan adsorben dengan adsorbat. Komposit karbon aktif Fe_3O_4 ini digunakan sebagai adsorben ion $\text{Pb}(\text{II})$. Larutan oksida besi terbuat dari campuran $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan rasio mol 2:1. Pada penelitian ini juga dibuat variasi perbandingan massa karbon aktif dan oksida besi, yaitu 1:1, 2:1 dan 3:2. Kemudian komposit tersebut ditentukan karakteristiknya meliputi kadar air, kadar abu dan uji daya serap iod serta *methylene blue*. Dalam aplikasinya sebagai adsorben untuk mengadsorpsi ion $\text{Pb}(\text{II})$, karbon aktif magnetit dengan perbandingan 2:1 menghasilkan nilai % efektivitas tertinggi yaitu 98,444%.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, perbedaan utama dalam penelitian ini terletak pada penggabungan karbon aktif dari sampah plastik PET dengan Fe_3O_4 .

C. Hipotesis

Karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi karena memiliki pori permukaan yang luas. Namun, material tersebut memiliki kelemahan yaitu sulitnya memisahkan adsorben dengan adsorbat setelah proses adsorpsi. Fe_3O_4 juga diketahui memiliki kemampuan dalam menarik medan magnet dan kemampuan adsorpsi karena sifat alamiahnya dan memiliki luas permukaan yang besar. Dengan demikian, jika dibuat komposit antara karbon aktif dan Fe_3O_4 maka pemisahan adsorben dengan adsorbat dapat terjadi lebih mudah dengan pemberian medan magnet eksternal. Pada komposisi tertentu diduga komposit ini akan memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih baik daripada karbon aktif saja.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama empat bulan dengan rentang 24 Oktober 2024 – 12 Februari 2025 di Laboratorium Kimia UIN Walisongo Semarang.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu peralatan gelas, oven, cawan porselein, neraca analitik, *stopwatch*, thermometer, ayakan ukuran 100 *mesh*, desikator, pH universal, botol vial, *furnace* (*Thermo Scientific Thermolyne*), *magnetic stirrer* (*Cimarec*), *shaker* (DLAB), *centrifuge* (PLC Series), Spektrofotometer UV-Vis (*Thermo Scientific Orion AquaMate 8100*), *X-Ray Diffraction* (XRD) (*Panalytical X'pert 3 Powder*) dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Mapping* (SEM-EDX Mapping) (*Phenom Pro X with EDX*).

2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dari botol air mineral merk Le mineral, Aqua dan Kh-Q, aseton (C_3H_6O , merck, p.a), kalium hidroksida 4M

(KOH, merck, p.a), besi(III) klorida heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, merck, p.a), besi(II) sulfat heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, merck, p.a), ammonium hidroksida 25% (NH_4OH , merck, p.a), natrium hidroksida 0,5M (NaOH, merck, p.a), asam klorida 0,5M (HCl, merck, p.a), metilen biru ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$, merck, p.a) dan akuades.

C. Prosedur Penelitian

1. Tahap karbonisasi

Sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dibersihkan dan dibuat menjadi potongan kecil kemudian dijemur hingga kering. Sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang sudah kering diletakkan dalam cawan porselein untuk dikarbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 550°C selama 15 menit. Sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang telah menjadi karbon kemudian didinginkan lalu dihaluskan. Setelah itu karbon yang dihasilkan diayak menggunakan ayakan ukuran 100 *mesh* (Pham, 2023).

2. Tahap aktivasi

Hasil karbonisasi direndam dalam larutan aseton selama 24 jam lalu dikeringkan di udara terbuka kemudian dipanaskan kembali dalam *furnace* pada suhu 850°C selama 25 menit (Cundari *et al.*, 2016; Pham, 2023). Karbon kemudian direndam dalam larutan KOH

dengan konsentrasi 4M selama 2 jam. Setelah itu disaring dan dinetralkan pHnya dengan cara dibilas menggunakan akuades. Kemudian dikeringkan selama 3 jam dalam oven pada suhu 110°C lalu didinginkan (Oko *et al.*, 2021).

3. Uji Proksimat Karbon dan Karbon Aktif

Karbon dan karbon aktif dianalisa karakteristiknya, yaitu kadar air, kadar abu, kadar zat menguap dan kadar karbon.

a. Penentuan Kadar Air

Cawan porselein terlebih dahulu dipanaskan dalam oven pada suhu 110°C selama 30 menit, kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit sebelum ditimbang untuk memperoleh massa kosongnya. Sebanyak 1 gram sampel karbon dan karbon aktif dimasukkan ke dalam cawan porselein yang telah diketahui massanya. Selanjutnya, cawan berisi sampel tersebut dipanaskan kembali dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam, didinginkan dalam desikator selama 30 menit, kemudian ditimbang untuk menentukan massa akhir (Susmanto *et al.*, 2020). Kadar air dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.1.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan: W_1 adalah massa cawan kosong, W_2 adalah massa cawan dan sampel sebelum pemanasan, dan W_3 adalah massa cawan dan sampel setelah pemanasan.

b. Penentuan Kadar Abu

Cawan porselein terlebih dahulu dipanaskan dalam oven pada suhu 110°C selama 30 menit, kemudian didinginkan dan ditimbang untuk menentukan massa kosongnya. Sebanyak 1 gram karbon dan karbon aktif dimasukkan ke dalam cawan, lalu dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 600°C selama 2,5 jam hingga terbentuk abu. Setelah itu, cawan didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang untuk menentukan massa akhirnya (Susmanto *et al.*, 2020). Kadar abu dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.2.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan: W_1 adalah massa cawan kosong, W_2 adalah massa cawan dan sampel sebelum dipanaskan, dan W_3 adalah massa cawan dan abu setelah dipanaskan.

c. Penentuan Kadar Zat Menguap

Cawan porselein dipanaskan terlebih dahulu dalam oven pada suhu 110°C selama 30 menit, kemudian didinginkan dan ditimbang untuk menentukan massa kosongnya. Sebanyak 1 gram karbon dan karbon aktif dimasukkan ke dalam cawan tersebut, kemudian dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 700°C selama 2,5 jam hingga terbentuk abu. Selanjutnya cawan didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang untuk menentukan massa akhirnya (Susmanto *et al.*, 2020). Kadar zat menguap dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.3.

$$\text{Kadar zat menguap (\%)} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\% - \% \text{ kadar air} \quad (3.3)$$

Keterangan: W_1 adalah massa cawan kosong, W_2 adalah massa cawan dan sampel sebelum dipanaskan, dan W_3 adalah massa cawan dan sampel setelah dipanaskan.

d. Penentuan Kadar Karbon

Kadar karbon ditentukan berdasarkan selisih antara persentase total dengan jumlah persentase kadar air, abu dan zat menguap yang terkandung

dalamnya. Penentuan kadar karbon dihitung menggunakan Persamaan 3.4.

$$\text{Kadar karbon (\%)} = 100\% - (\% \text{ kadar air} + \% \text{ kadar abu} + \% \text{ kadar zat menguap}) \quad (3.4)$$

4. Tahap Sintesis komposit karbon aktif dengan magnetit Fe_3O_4

Sintesis komposit karbon aktif dengan Fe_3O_4 dimulai dengan mencampurkan karbon aktif dengan 200 mL akuades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan hingga suhu 70°C. Kemudian dibuat 200 mL larutan campuran $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan rasio mol 2:1. Setelah itu dimasukkan ke dalam larutan karbon aktif yang sedang diaduk dan dipanaskan. Komposit karbon aktif dengan Fe_3O_4 dibuat dengan perbandingan massa karbon aktif dan Fe_3O_4 , yaitu 1:1, 3:2 dan 2:1. Selanjutnya ditambahkan tetes demi tetes 100 mL NH_4OH 25% ke dalam larutan campuran karbon aktif dengan Fe_3O_4 sehingga diperoleh endapan. Setelah itu, partikel komposit disaring dan dinetralkan pHnya dengan cara dicuci menggunakan air demineral lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C selama 3 jam (Reknosari *et al.*, 2020; Suryani *et al.*, 2024). Hasil yang diperoleh dengan perbandingan massa karbon aktif

dan Fe_3O_4 sebesar 1:1 disebut komposit 1, perbandingan massa karbon aktif dan Fe_3O_4 sebesar 3:2 disebut komposit 2 serta perbandingan massa karbon aktif dan Fe_3O_4 sebesar 2:1 disebut komposit 3. Komposisi variasi komposit karbon aktif dengan Fe_3O_4 disajikan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Variasi Komposit Karbon aktif dengan Fe_3O_4

Jenis variasi	Karbon aktif (g)	Fe_3O_4	
		$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (g)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (g)
Komposit 1	3,24	7,8	3,9
Komposit 2	4,86	7,8	3,9
Komposit 3	6,48	7,8	3,9

5. Uji Daya Serap Metilen Biru

a. Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru 1000 ppm

Metilen biru sebanyak 1 gram dilarutkan dengan sedikit akuades dalam gelas kimia berukuran 100 mL, kemudian larutan tersebut dipindahkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan diencerkan dengan akuades hingga mencapai tanda batas.

b. Penentuan Panjang Gelombang (λ) Maksimum

Pengukuran absorbansi larutan metilen biru dengan konsentrasi 6 ppm dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dalam rentang panjang gelombang 400-700 nm (Adelin *et al.*, 2020). Data

yang diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk grafik dengan absorbansi pada sumbu y dan panjang gelombang pada sumbu x. Panjang gelombang yang memberikan nilai absorbansi maksimum disebut panjang gelombang maksimum (Widihati *et al.*, 2011).

c. Pembuatan Kurva Standar

Larutan standar metilen biru dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm masing-masing sebanyak 50 mL dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang telah didapatkan. Setelah itu, kurva kalibrasi standar dibuat antara absorbansi dan konsentrasi. Persamaan regresi linier yang diperoleh digunakan untuk menghitung konsentrasi larutan metilen biru setelah adsorpsi (Moniz *et al.*, 2024).

d. Uji Daya Serap Karbon, Karbon Aktif Serta Komposit 1, 2 dan 3 Terhadap Metilen Biru

Karbon PET, karbon aktif PET dan komposit 1, 2, 3 masing-masing diambil 0,1 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer lalu ditambahkan larutan metilen biru 20 ppm sebanyak 20 mL. Larutan kemudian diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan pengadukan 300 rpm selama 30 menit

hingga homogen. Setelah itu, larutan disentrifugasi untuk memisahkan filtrat dan residunya. Filtrat yang didapat kemudian diukur daya serapnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Meilianti, 2018). Hasil daya adsorpsi komposit 1, 2 dan 3 yang didapatkan kemudian digunakan untuk menentukan komposit terbaik, yaitu komposit yang memiliki kapasitas adsorpsi terbesar.

6. Karakterisasi

Karakterisasi karbon aktif sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) setelah diaktivasi dan komposit terbaik diidentifikasi fasa oksida besi yang terbentuk menggunakan XRD dan ditentukan morfologi permukaan serta persebaran komponen unsur pada permukaan menggunakan instrumen SEM-EDX *mapping*.

a. Karakterisasi Karbon Aktif dan Fasa Oksida

Besi dalam Komposit yang Terbentuk

Karbon setelah diaktivasi dan komposit terbaik dikarakterisasi untuk mengidentifikasi fasa oksida besi yang terbentuk menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan radiasi $\text{Cu } \lambda \text{ K}\alpha = 1,54060 \text{ \AA}$. Analisis dilakukan pada sudut 2θ dari

10-80°. Hasil karakterisasi berupa data difraktogram antara intensitas puncak difraksi dan sudut 2θ.

b. Karakterisasi Struktur Morfologi Permukaan

Karbon yang telah melalui proses diaktivasi dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengamati morfologi permukaannya, sedangkan karakterisasi morfologi dan distribusi unsur pada permukaan komposit terbaik dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray mapping* (SEM-EDX mapping). Preparasi sampel dilakukan dengan menempatkan sedikit material pada permukaan pan yang telah dilapisi *copper tipe*. Selanjutnya, sampel mengalami proses pelapisan (*coating*) agar permukaannya menjadi konduktif. Setelah proses *coating*, sampel dimasukkan ke dalam *chamber* untuk dianalisis oleh detektor. Karakterisasi SEM-EDX mapping dilakukan pada tegangan 15kV dan perbesaran 500x dan 3000x.

7. Penentuan pH Optimum pada Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru

Larutan metilen biru sebanyak 20 mL dengan konsentrasi 20 ppm ditambahkan komposit terbaik dengan massa 0,1 gram, lalu campuran diaduk

menggunakan *shaker* dengan kecepatan pengadukan 300 rpm selama 30 menit pada berbagai pH, yaitu 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10. Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan HCl 0,5M dan NaOH 0,5M. Kemudian campuran tersebut disentrifugasi untuk memisahkan filtrat dan residunya. Filtrat yang didapatkan kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Setelah itu, dihitung kapasitas adsorpsi (Qe) pada masing-masing variasi pH dan dibuat kurva antara kapasitas adsorpsi (Qe) dengan pH. Kapasitas adsorpsi (Qe) ditentukan dengan menghitung menggunakan rumus yang terdapat pada persamaan 3.5:

$$Qe = \frac{(Co - Ce)}{m} \times V \quad (3.5)$$

Keterangan: Co adalah konsentrasi adsorbat mula-mula (ppm), Ce adalah konsentrasi adsorbat akhir (ppm), m adalah massa adsorben yang digunakan (gram) dan V adalah volume total larutan (Liter).

8. Penentuan Kinetika Adsorpsi

a. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Larutan metilen biru sebanyak 20 mL dengan konsentrasi 20 ppm ditambahkan komposit terbaik dengan massa 0,1 gram. Selanjutnya, pH diatur pada pH optimum. Setelah itu diaduk menggunakan *shaker* pada kecepatan pengadukan 300 rpm pada

berbagai waktu, yaitu 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 dan 120 menit, lalu campuran disentrifugasi untuk memisahkan filtrat dan residunya. Filtrat yang didapatkan kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Setelah itu, dihitung kapasitas adsorpsi (Q_e) pada masing-masing variasi waktu dan dibuat kurva antara kapasitas adsorpsi (Q_e) dengan waktu. Kapasitas adsorpsi (Q_e) ditentukan dengan menghitung menggunakan rumus yang terdapat pada persamaan 3.5.

b. Penentuan Model Kinetika Adsorpsi *Pseudo Orde Satu* dan *Pseudo Orde Dua*

Tujuan dari penentuan kinetika adsorpsi adalah untuk mengetahui orde reaksi dalam penelitian ini. Hasil tersebut didasarkan pada koefisien regresi linear (R^2) yang mendekati 1, serta nilai kapasitas adsorpsi (Q_e) teoritis yang hampir sama dengan kapasitas adsorpsi (Q_e) eksperimen (Karbeka, 2024). Persamaan *pseudo* orde satu dan dua digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi dengan menggunakan data variasi waktu kontak optimum. Kurva kinetika adsorpsi *pseudo* orde diperoleh dengan memplotkan waktu kontak pada sumbu x dan $\log Q_e - Q_t$ pada sumbu y. Sementara

itu, untuk kurva kinetika *pseudo* orde dua, waktu kontak juga diplotkan pada sumbu x, namun sumbu y diisi dengan nilai t/Qt . kemudian dari kurva tersebut akan didapatkan nilai persamaan $y = ax + b$ yang dapat digunakan dalam penentuan nilai konstanta laju adsorpsi (K) dan kapasitas adsorpsi (Q_e) teoritis dari masing-masing kurva model kinetika adsorpsi (Do *et al.*, 2025).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 dan pengaruh penambahan Fe_3O_4 terhadap kemampuan adsorpsi dan pemisahan dengan medan magnet eksternal. Kemudian ditentukan kondisi optimum (pH dan waktu kontak) serta kinetika adsorpsi pada adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 . Komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan variasi perbandingan massa karbon aktif dan Fe_3O_4 , yaitu 1:1 (komposit 1), 3:2 (komposit 2) dan 2:1 (komposit 3). Komposit 1, 2 dan 3 terlebih dahulu ditentukan daya serap terhadap metilen biru untuk mendapatkan komposit terbaik. karbon aktif sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM, sedangkan komposit terbaik dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM-EDX *mapping*.

A. Tahap Karbonisasi

Sampah plastik PET dapat diubah menjadi karbon karena plastik PET ini tersusun oleh unsur karbon dan hidrogen di mana ketika dipanaskan menggunakan suhu tinggi unsur hidrogen akan menguap dan yang tertinggal hanya unsur

karbon. Pada proses ini terjadi pembentukan struktur pori dan menghasilkan karbon terikat dengan cara menguapkan unsur non karbon (Urhasanah *et al.*, 2024). Proses karbonisasi plastik PET dilakukan dengan cara memanaskan ke dalam *furnace* pada suhu 550°C selama 15 menit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pham (2023), pada suhu 550°C air dan zat-zat yang mudah menguap sudah terlepas kemudian terbentuk struktur berpori dari karbon. Karbon yang dihasilkan berwarna hitam kemudian dihaluskan dan disaring dengan saringan 100 *mesh* karena semakin kecil ukurannya maka semakin banyak permukaan porinya. Kemudian dari massa plastik PET sebanyak 15 gram didapatkan rendemen sebesar 20%.

B. Tahap Aktivasi

Aktivasi fisika dan aktivasi kimia adalah dua metode yang digunakan dalam penelitian ini pada tahap aktivasi. Hal ini dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Cundari *et al.* (2016), bahwa karbon yang diaktivasi secara fisika kimia mempunyai kemampuan lebih besar dalam mengadsorpsi limbah cair kain jumputan daripada karbon yang diaktivasi dengan aktivasi fisika atau aktivasi kimia saja.

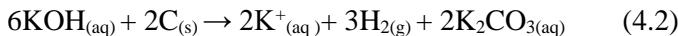
Sebelum tahap aktivasi fisika dilakukan, karbon terlebih dahulu direndam dengan aseton selama 24 jam yang bertujuan menghilangkan pengotor dengan cara melarutkan zat

pengotor yang terdapat pada permukaan karbon. Tahap aktivasi fisika dilakukan dengan memanaskan karbon ke dalam *furnace* pada suhu 850°C selama 25 menit. Hal ini dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pham (2023), bahwa pada suhu 850°C menghasilkan karbon aktif dengan struktur pori yang telah sempurna teraktivasi dan memiliki efisiensi penyerapan iodin tertinggi.

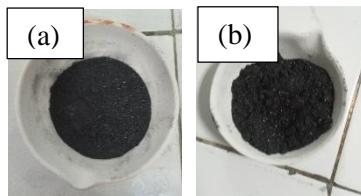
Tahap selanjutnya aktivasi kimia dengan cara merendam karbon hasil aktivasi fisika dengan larutan KOH 4M selama 2 jam. Pemilihan larutan KOH 4M didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Oko *et al.* (2021), yaitu semakin tinggi konsentrasi aktuator maka kemampuan adsorpsi karbon aktif akan meningkat. Selain itu, KOH merupakan basa kuat yang memiliki sifat higroskopis yang mampu mengikat air pada proses aktivasi sehingga dapat mengurangi kadar air dalam karbon. Hal ini menyebabkan kemampuan adsorpsi karbon semakin meningkat karena jumlah pori-pori dalam karbon semakin banyak (Urhasanah *et al.*, 2024).

Karbon aktif kemudian disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Selanjutnya karbon aktif dikeringkan selama 3 jam dalam oven pada suhu 110°C. Karbon aktif yang dihasilkan berbentuk serbuk halus dengan warna hitam yang lebih pekat daripada karbon sebelum diaktivasi. Hasil karbonisasi dan aktivasi ditunjukkan pada **Gambar 4.1.** Berikut merupakan Persamaan reaksi kimia

yang terjadi pada proses aktivasi kimia (Persamaan 4.1, 4.2 dan 4.3).



(Hanum *et al.*, 2017)



Gambar 4. 1 (a) Karbon dan (b) Karbon Aktif

C. Uji Proksimat Karbon dan Karbon Aktif

1. Penentuan Kadar Air

Kadar air adalah jumlah kandungan air yang tersimpan dalam karbon dan karbon aktif setelah bahan bakunya mengalami tahap karbonisasi dan aktivasi. Penentuan kadar air bertujuan untuk mengidentifikasi sifat higroskopis dari karbon dan karbon aktif tersebut (Susmanto *et al.*, 2020). Hasil penentuan kadar air ditunjukkan pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4. 1 Hasil Penentuan Kadar Air

Adsorben	Kadar Air (%)
Karbon	0,8917
Karbon Aktif	0,5288

Nilai kadar air pada karbon sebesar 0,8917% sedangkan pada karbon aktif sebesar 0,5288%. Kadar air karbon dan karbon aktif yang diperoleh dalam penelitian ini telah sesuai dengan batas maksimum yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI), yakni maksimal sebesar 15%. Hasil menunjukkan bahwa nilai kadar air pada karbon aktif lebih rendah dibandingkan dengan karbon sebelum diaktivasi. Penurunan ini disebabkan oleh sifat higroskopis KOH yang digunakan pada tahap aktivasi mampu menyerap dan mengikat air selama proses tersebut, sehingga dapat menurunkan kadar air (Urhasanah *et al.*, 2024).

2. Penentuan Kadar Abu

Abu merupakan hasil penguraian senyawa anorganik akibat pemanasan pada suhu tinggi (Susmanto *et al.*, 2020) Hasil penentuan kadar abu ditunjukkan pada **Tabel 4.2.**

Tabel 4.2 Hasil Penentuan Kadar Abu

Adsorben	Kadar Abu (%)
Karbon	4,6556
Karbon Aktif	0,5621

Nilai kadar abu pada karbon sebesar 4,6556% sedangkan pada karbon aktif sebesar 0,5621%. Kadar abu karbon dan karbon aktif yang diperoleh dalam penelitian ini telah sesuai dengan batas maksimum yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI), yakni

maksimal sebesar 10%. Hasil menunjukkan bahwa nilai kadar abu pada karbon aktif lebih rendah dibandingkan karbon sebelum diaktivasi. kadar abu yang tinggi pada karbon sebelum diaktivasi disebabkan oleh keberadaan senyawa non-karbon yang tidak menguap selama proses karbonisasi. Selama tahap aktivasi, senyawa-senyawa tersebut terlarut oleh larutan aktivator sehingga menghasilkan karbon aktif dengan kadar abu yang lebih rendah (Sailah *et al.*, 2020).

3. Penentuan Kadar Zat Menguap

Penentuan kadar zat menguap bertujuan untuk mengetahui jumlah senyawa yang masih tersisa dan belum menguap selama tahap karbonisasi. Kandungan zat menguap ini dapat bervariasi tergantung pada komposisi kimia dari material karbon yang digunakan (Aisyah *et al.*, 2019). Hasil penentuan kadar zat menguap ditunjukkan pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Hasil Penentuan Kadar Zat Menguap

Adsorben	Kadar Zat Menguap (%)
Karbon	8,0315
Karbon Aktif	7,9416

Nilai kadar zat menguap pada karbon sebesar 8,0315% sedangkan pada karbon aktif sebesar 7,9416%. Kadar zat menguap karbon dan karbon aktif yang diperoleh dalam penelitian ini telah sesuai dengan batas minimal yang ditetapkan oleh Standar Nasional

Indonesia (SNI), yakni minimal sebesar 25%. Hasil menunjukkan bahwa nilai kadar zat menguap pada karbon aktif lebih rendah dibandingkan dengan karbon sebelum diaktivasi. Hal tersebut dikarenakan oleh zat yang menguap larut dan terbuang oleh aktivator pada tahap aktivasi (Oko *et al.*, 2021).

4. Penentuan Kadar Karbon

Kadar karbon mempresentasikan fraksi unsur karbon (C) dalam suatu bahan dengan mengesampingkan kandungan air, abu dan zat menguap. Semakin tinggi nilai kadar karbon, maka semakin tinggi pula tingkat kemurnian bahan terhadap fraksi karbon. Penentuan kadar karbon bertujuan untuk menentukan jumlah karbon murni dalam karbon aktif yang dihasilkan. Fraksi karbon tersebut terbentuk selama proses karbonisasi setelah unsur air, abu dan zat menguap tereliminasi (Susmanto *et al.*, 2020). Hasil penentuan kadar karbon ditunjukkan pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Hasil Penentuan Kadar Karbon

Adsorben	Kadar Karbon (%)
Karbon	86,4213
Karbon Aktif	89,9768

Nilai kadar karbon pada karbon sebesar 86,4213% sedangkan pada karbon aktif sebesar 89,9768%. Kadar karbon pada karbon dan karbon aktif yang diperoleh dalam penelitian ini telah sesuai dengan batas minimal

yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI), yakni minimal sebesar 65%. Kadar karbon tertinggi terdapat pada karbon setelah diaktivasi yang disebabkan rendahnya persentasi kadar air, kadar abu dan kadar zat menguap. Kadar karbon yang tinggi menunjukkan bahwa fraksi karbon yang terikat pada karbon juga semakin tinggi (Lestari *et al.*, 2016).

D. Tahap Sintesis Komposit Karbon Aktif dengan Magnetit

Fe_3O_4

Karbon aktif- Fe_3O_4 disintesis menggunakan metode kopresipitasi. Magnetit Fe_3O_4 dikompositkan pada karbon aktif dengan tujuan memanfaatkan sifat magnetit dari Fe_3O_4 untuk memisahkan adsorben dengan adsorbat (Lestari *et al.*, 2021). Selain itu, Fe_3O_4 merupakan suatu partikel yang memiliki luas permukaan besar sehingga ketika dikompositkan dengan karbon aktif dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi karena menggabungkan sifat adsorpsi dari karbon aktif dan Fe_3O_4 (Fatmawati *et al.*, 2024; Mardianto, 2022).

Pembuatan komposit karbon aktif- Fe_3O_4 dimulai dengan mengaduk karbon aktif dalam 200 mL akuades sambil dipanaskan hingga suhu 70°C. Kemudian larutan Fe_3O_4 dibuat dalam 200 mL dengan prekursor $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan rasio mol 2:1. Setelah itu, larutan Fe_3O_4

dimasukkan ke dalam larutan karbon aktif yang sedang diaduk dan dipanaskan. Komposit karbon aktif dengan Fe_3O_4 dibuat dengan perbandingan massa karbon aktif dan Fe_3O_4 , yaitu 1:1, 3:2 dan 2:1. Selanjutnya ditambahkan tetes demi tetes 100 mL NH_4OH 25% hingga diperoleh endapan. Endapan yang dihasilkan kemudian disaring dan dicuci dengan air demineral lalu dikeringkan ke dalam oven pada suhu 100°C selama 3 jam. Berikut Persamaan reaksi kimia yang terjadi pada pembentukan Fe_3O_4 (Persamaan 4.4).



(Adhim, 2018).

Hasil sintesis komposit 1, 2 dan 3 ditunjukkan pada **Gambar 4.2**. Ketiga komposit yang dihasilkan berbentuk serbuk halus. Komposit 1 berwarna hitam kecoklatan, komposit 2 berwarna hitam dengan sedikit warna coklat sedangkan komposit 3 berwarna hitam. Warna coklat yang dihasilkan ini berasal dari Fe_3O_4 , sehingga semakin banyak massa karbon aktif dibanding massa Fe_3O_4 dalam komposit maka warna komposit akan semakin hitam.



Gambar 4. 2 Hasil Sintesis Komposit 1, Komposit 2 dan Komposit 3

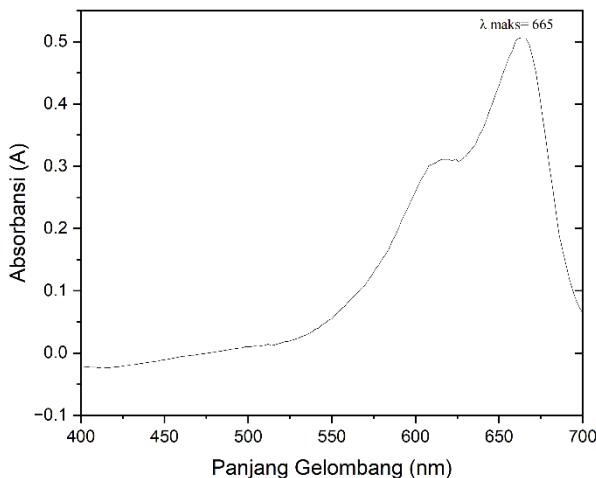
E. Uji Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru

1. Pengukuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

Panjang gelombang tertentu yang memiliki nilai absorbansi tertinggi pada saat pengukuran, digunakan sebagai panjang gelombang maksimum metilen biru. Pengukuran panjang gelombang maksimum bertujuan untuk mendapatkan serapan optimum larutan dan mendapatkan kondisi analisis dengan kepekaan yang maksimal. Panjang gelombang maksimum yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan kurva kalibrasi standar.

Penetapan panjang gelombang dilakukan dengan cara mengukur serapan larutan metilen biru pada panjang gelombang yang berbeda pada rentang 400-700 nm karena metilen biru merupakan senyawa organik tak jenuh yang memiliki sistem konjugasi yang mampu

melakukan penyerapan pada rentang panjang gelombang tersebut (Adelin *et al.*, 2020). Pada penelitian ini didapatkan nilai panjang gelombang maksimum metilen biru yaitu 665 nm. Hasil pengukuran panjang gelombang maksimum ini sesuai dengan data penelitian yang dilakukan oleh Luoyang *et al.* (2024), yaitu didapatkan hasil panjang gelombang maksimum pada 665 nm. Panjang gelombang maksimum metilen biru ditunjukkan pada **Gambar 4.3**.



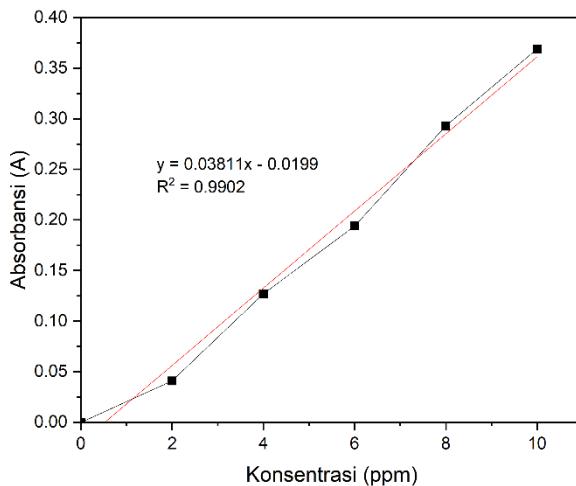
Gambar 4.3 Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

2. Pembuatan Kurva Standar

Berbagai konsentrasi larutan standar metilen biru diukur serapannya menggunakan spektrofotometer UV-

Vis pada panjang gelombang maksimum (665 nm) untuk membuat kurva standar. Konsentrasi larutan standar metilen biru yang diukur adalah 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm. Pembuatan kurva standar menghasilkan hubungan antara nilai absorbansi (A) dengan konsentrasi dalam bentuk persamaan regresi linear sehingga dapat ditentukan nilai konsentrasi terukur larutan metilen biru.

Regresi linear menghasilkan persamaan $y = ax + b$, dimana y menyatakan nilai absorbansi yang terukur pada UV-Vis, kemudian a merupakan nilai slope, b merupakan intersep dan x merupakan konsentrasi metilen biru. Regresi linear yang baik memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati 1. Kurva standar metilen biru ditunjukkan pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Kurva Standar Metilen Biru

Berdasarkan **Gambar 4.4** semakin tinggi konsentrasi larutan maka semakin tinggi nilai absorbansi yang diperoleh. Hasil regresi linear kurva standar larutan metilen biru menunjukkan grafik persamaan $y = 0,0381x - 0,0199$ dengan nilai R^2 mendekati 1 yang menunjukkan hasil yang diperoleh sudah mendekati linear.

3. Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru Oleh Karbon, Karbon Aktif serta Komposit 1, 2 dan 3

Karbon, karbon aktif serta Komposit 1, 2 dan 3 selanjutnya diuji kapasitas adsorpsinya terhadap 20 mL larutan metilen biru 20 ppm dengan waktu kontak selama 30 menit. Hasil kapasitas adsorpsi pada komposit 1, 2 dan 3 selanjutnya digunakan untuk menentukan komposit terbaik dengan nilai kapasitas adsorpsi tertinggi. Hasil penentuan komposit terbaik disajikan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Hasil Kapasitas Adsorpsi Adsorben

Adsorben	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)
Karbon	2,4882
Karbon Aktif	2,6378
Komposit 1	3,0079
Komposit 2	3,4961
Komposit 3	3,3648

Tabel 4.5 menunjukkan hasil kapasitas adsorpsi karbon yang telah diaktivasi lebih besar dibandingkan dengan karbon tanpa aktivasi karena proses aktivasi

dapat memperbanyak pori permukaan karbon sehingga kemampuan daya serapnya semakin meningkat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Aisyah *et al.* (2019), karbon yang telah diaktivasi memiliki pori permukaan lebih banyak daripada karbon sebelum diaktivasi. Selanjutnya, komposit karbon aktif dengan Fe_3O_4 memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi daripada karbon aktif. Hal tersebut disebabkan oleh Fe_3O_4 memiliki kemampuan adsorpsi yang ditunjukkan pada penelitian Pourzamani *et al.* (2017), sehingga Fe_3O_4 berperan penting dalam meningkatkan kemampuan adsorpsi.

Komposit 1, 2 dan 3 kemudian ditentukan komposit terbaik yaitu komposit dengan kemampuan adsorpsi terbesar. Pada komposit 1 dan 2 terjadi kenaikan nilai kapasitas adsorpsi (Q_e), sedangkan pada komposit 3 terjadi penurunan nilai kapasitas adsorpsi (Q_e) yang disebabkan oleh kenaikan massa karbon aktif yang melebihi kapasitas adsorpsi maksimum (Eletta *et al.*, 2018). Penurunan tersebut terjadi karena situs aktif adsorben belum mencapai titik jenuh karena belum terisi seluruhnya oleh adsorbat (Adeyi *et al.*, 2019) . Pada penelitian ini didapatkan komposit terbaik terdapat pada komposit 2 dengan komposisi perbandingan karbon

aktif:Fe₃O₄ 3:2 karena memiliki nilai kapasitas adsorpsi (Q_e) terbesar. Komposit 2 selanjutnya dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX *mapping* untuk mengetahui struktur morfologi permukaan dan persebaran unsur pada permukaan serta XRD untuk mengidentifikasi fasa oksida besi yang terbentuk. Kemudian ditentukan kondisi optimum pada adsorpsi zat warna metilen biru yang meliputi pH dan waktu kontak serta ditentukan kinetika adsorpsinya.

Kelebihan dari komposit karbon aktif dengan Fe₃O₄ selain dapat memperbesar kapasitas adsorpsi, juga dapat mempermudah proses pemisahan adsorben dengan adsorbat menggunakan medan magnet eksternal. Berdasarkan **Gambar 4.5** terlihat pada karbon dan karbon aktif tidak ada tarikan antara adsorben dan medan magnet eksternal karena tidak terdapat material magnetit pada karbon dan karbon aktif. Pada komposit karbon aktif dengan Fe₃O₄ terjadi tarikan antara adsorben dengan medan magnet eksternal karena terdapat Fe₃O₄ yang berhasil dikompositkan pada karbon aktif. Komposit yang memiliki kuat tarik terbesar dengan medan magnet eksternal yaitu komposit 1 dengan perbandingan massa karbon aktif dengan Fe₃O₄ sebesar 1:1, hal tersebut terjadi karena pada komposit ini memiliki massa Fe₃O₄

paling banyak jika dibandingkan dengan komposit 2 dan 3 dengan perbandingan massa karbon aktif dengan Fe_3O_4 berturut-turut sebesar 3:2 dan 2:1 yang memiliki massa karbon aktif lebih banyak dibanding massa Fe_3O_4 . Namun, dalam penelitian ini belum dilakukan pengujian sifat magnetit.

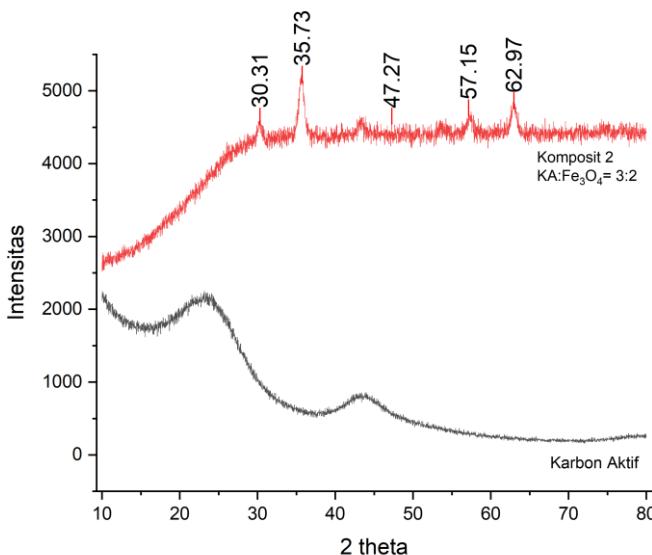


Gambar 4. 5 Daya Tarik Magnet Eksternal pada Adsorben (a) Karbon, (b) Karbon Aktif, (c) Komposit 1, (d) Komposit 2 dan (e) Komposit 3

F. Karakterisasi

1. Karakterisasi Karbon Aktif dan Fasa Oksida Besi yang Terbentuk Menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karbon aktif dan komposit karbon aktif- Fe_3O_4 terbaik dianalisis menggunakan instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui kristalinitas dan fasa oksida besi yang terbentuk pada komposit karbon aktif- Fe_3O_4 (3:2). Pola difraksi sinar-x karbon aktif dan komposit karbon aktif- Fe_3O_4 (3:2) ditunjukkan pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4. 6 Difaktogram Karbon Aktif dan Komposit 2

Fase padatan terbagi menjadi dua, yaitu fase amorf dan fase kristal. Difaktogram fase amorf ditandai dengan intensitas puncak yang melebar, sedangkan fase kristal ditandai dengan intensitas puncak tajam. Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan XRD sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4.6**, karbon aktif memiliki fasa amorf karena puncak-puncaknya melebar yang muncul pada puncak difaktogram 2θ sebesar $23,68^\circ$ dan $42,58^\circ$. Adapun komposit karbon aktif- Fe_3O_4 (3:2) mengandung fasa kristal yang kemungkinan berasal dari

Fe_3O_4 . Pada komposit karbon aktif- Fe_3O_4 (3:2) muncul puncak difaktogram 2θ sebesar $30,32^\circ$; $35,66^\circ$; $43,30^\circ$; $57,37^\circ$ dan $63,00^\circ$ dengan indeks Miller masing-masing [100], [110], [111], [200] dan [210]. Sudut-sudut tersebut mempunyai pola difraksi yang mirip dengan pola difraksi Fe_3O_4 yang disintesis oleh Fisli *et al.* (2012) dengan puncak difaktrogram 2θ tertinggi yaitu $30,32^\circ$; $35,32^\circ$; $43,54^\circ$; $57,44^\circ$ dan $62,98^\circ$.

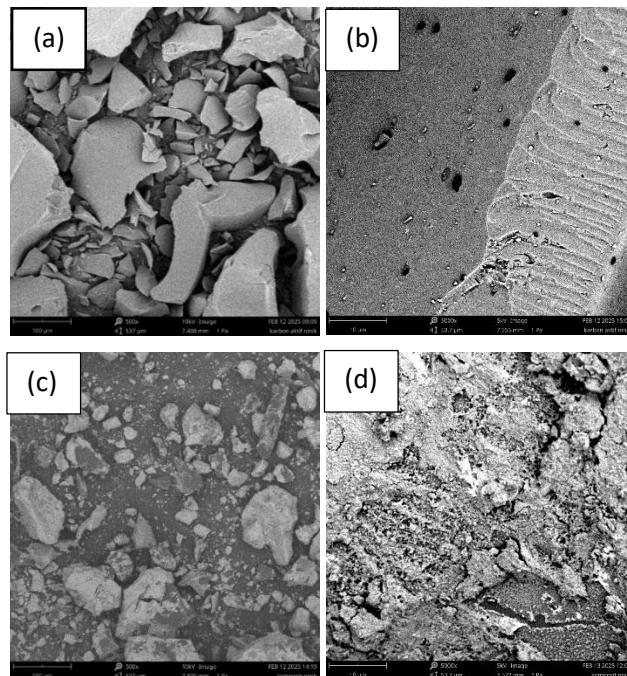
2. Karakterisasi SEM-EDX *Mapping* (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray*)

Morfologi permukaan dari karbon aktif dan komposit karbon aktif- Fe_3O_4 (3:2) dapat diketahui menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Kemudian untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat pada komposit karbon aktif- Fe_3O_4 terbaik dikarakterisasi menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-Ray*). *Mapping* digunakan untuk mengetahui persebaran komponen unsur pada komposit karbon aktif- Fe_3O_4 (3:2).

Hasil karakterisasi menggunakan SEM dari karbon aktif memiliki morfologi bongkahan-bongkahan dengan permukaan halus yang tidak beraturan dan terlihat adanya sedikit pori. Pada perbesaran 5000x terlihat jelas bahwa permukaan karbon aktif relatif halus dan terdapat pori. Hal ini serupa dengan penelitian Pham (2023), yang

melakukan pembuatan karbon aktif dari sampah plastik PET dengan hasil morfologi bongkahan-bongkahan tidak beraturan dengan morfologi relatif halus. Kemudian sejalan juga dengan penelitian Aisyah *et al.* (2019), pada hasil morfologi permukaan karbon aktif terlihat terdapat pori.

Hasil karakterisasi menggunakan SEM dari komposit karbon aktif- Fe_3O_4 (3:2) memiliki morfologi partikel kecil yang halus dan pori permukaan yang lebih banyak terlihat pada perbesaran 5000x. Pori permukaan komposit yang semakin banyak ini menyebabkan kemampuan adsorpsi komposit terhadap metilen biru semakin meningkat. Penelitian Hariani *et al.* (2018) menunjukkan bahwa morfologi komposit karbon aktif- Fe_3O_4 memiliki permukaan tidak rata yang menandakan bahwa Fe_3O_4 terkandung di dalamnya. Adapun data hasil karakterisasi SEM ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.



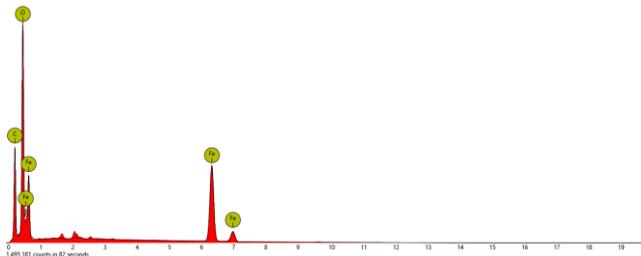
Gambar 4. 7 Hasil SEM (a) Karbon Aktif Perbesaran 500x, (b) Karbon Aktif Perbesaran 5000x, (c) Komposit 2 Perbesaran 500x dan (d) Komposit 2 Perbesaran 5000x

Data karakterisasi EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) membuktikan bahwa hasil sintesis komposit karbon aktif- Fe_3O_4 (3:2) mengandung unsur besi (Fe), Oksigen (O) dan Karbon (C). Adanya unsur Fe dan O pada komposit karbon aktif- Fe_3O_4 membuktikan bahwa Fe_3O_4 terkandung di dalam sampel. Adapun data hasil

karakterisasi EDX dijelaskan pada **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.8**.

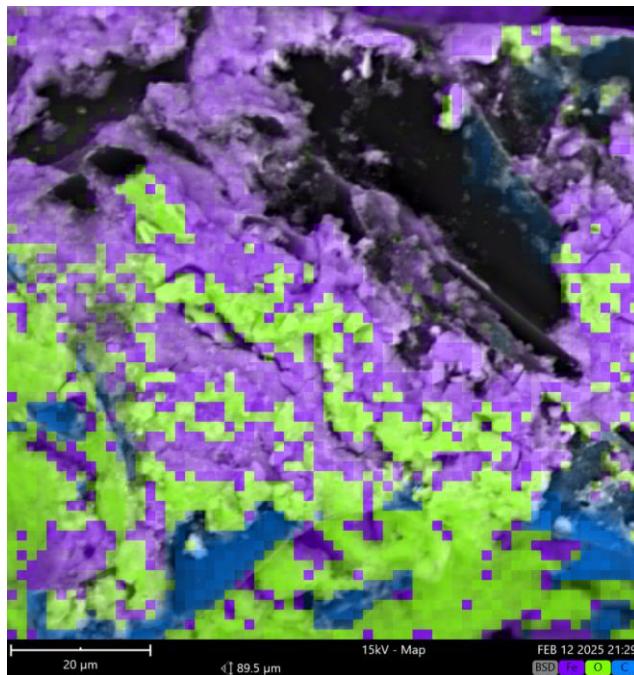
Tabel 4.6 Komposisi Unsur Komposit

Nama Unsur	% Atom	% Berat
Besi (Fe)	17,86	46,73
Oksigen (O)	37,77	28,31
Karbon (C)	44,36	24,96



Gambar 4.8 Hasil EDX Komposit 2

Berdasarkan hasil *mapping* pada **Gambar 4.9** menunjukkan komposit karbon aktif- Fe_3O_4 (3:2) memiliki komponen berupa unsur Fe, unsur O dan unsur C. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa di dalam sampel mengandung karbon aktif dan oksida besi dipermukaannya.



Gambar 4.9 Hasil *Mapping* Komposit 2 (karbon aktif- Fe_3O_4 3:2)

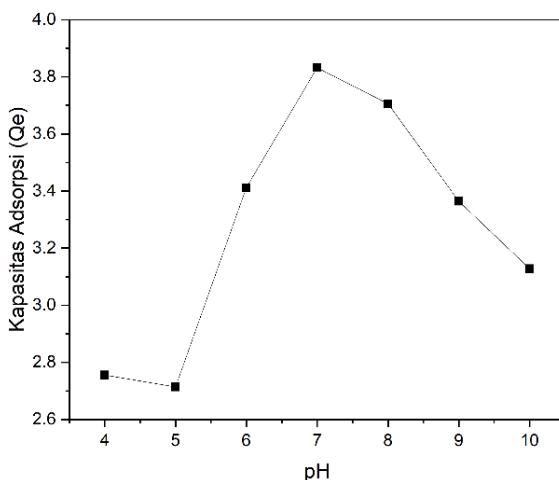
Keterangan: Fe berwarna ungu, O berwarna hijau dan C berwarna biru.

G. Penentuan pH Optimum pada Adsorpsi Zat Warna

Metilen Biru

pH optimum ditentukan untuk mengetahui pengaruh pH terhadap proses penyerapan zat warna metilen biru. Optimasi pH dilakukan dengan mengubah tingkat pH larutan metilen biru 20 ppm dengan variasi pH 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10. Larutan dalam kondisi asam dibuat dengan penambahan HCl 0,5M.

Sedangkan larutan dalam kondisi basa dibuat dengan penambahan NaOH 0,5M. Hasil optimasi pH disajikan pada **Gambar 4.10.**



Gambar 4. 10 Pengaruh pH Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Gambar 4.10 menunjukkan bagaimana kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh pH adsorbat. Kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan peningkatan pH antara pH 5 hingga 7. Pada pH 7, pH optimum tercapai dengan kapasitas adsorpsi sebesar 3,832 mg/g. kemudian kapasitas adsorpsi turun setelah pH 7 hingga 10. Pada kondisi pH < 7 (asam) terjadi dua keadaan, yaitu jumlah ion H^+ yang sangat banyak dan metilen biru yang terprotonasi. Ion H^+ yang sangat banyak membuat permukaan adsorben bermuatan positif. Oleh karena itu, terjadi tolakan antara adsorben yang bermuatan positif

dengan metilen biru yang bersifat kationik, sehingga kapasitas adsorpsinya rendah (Pathania *et al.*, 2017).

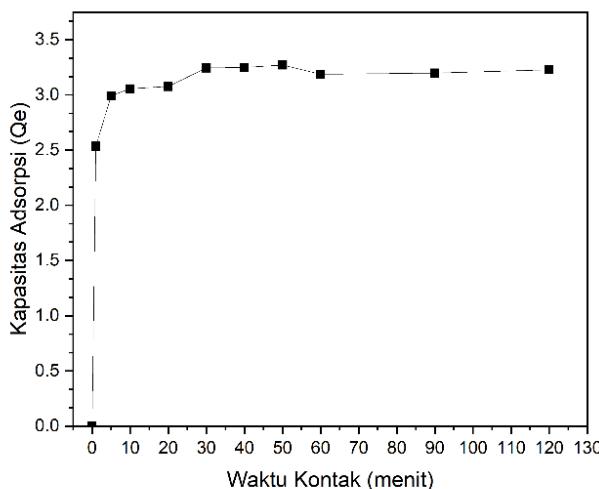
Pada kondisi $\text{pH} > 7$ (basa), ion OH^- sangat banyak dan metilen biru mengalami deprotonasi. Pada kondisi ini kapasitas adsorpsi juga menurun yang disebabkan oleh ion OH^- dari larutan yang berinteraksi dengan ion H^+ yang dilepaskan metilen biru, sehingga adsorben sulit untuk berinteraksi dengan metilen biru (Moniz *et al.*, 2024).

Metilen biru teradsorpsi paling tinggi pada $\text{pH} 7$. Hal tersebut dapat terjadi karena pada $\text{pH} 7$ metilen biru dapat langsung teradsorpsi oleh adsorben sebab tidak ada persaingan antara ion H^+ dan OH^- (Dirgayanti *et al.*, 2021).

H. Penentuan kinetika Adsorpsi

1. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak optimum didapatkan dengan cara memvariasikan waktu kontak, yaitu 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 dan 120 menit. Waktu kontak optimum dilakukan pada kondisi pH optimum yaitu pada $\text{pH} 7$ dengan konsentrasi larutan metilen biru 20 ppm. Hasil optimasi waktu kontak disajikan pada **Gambar 4.11**.



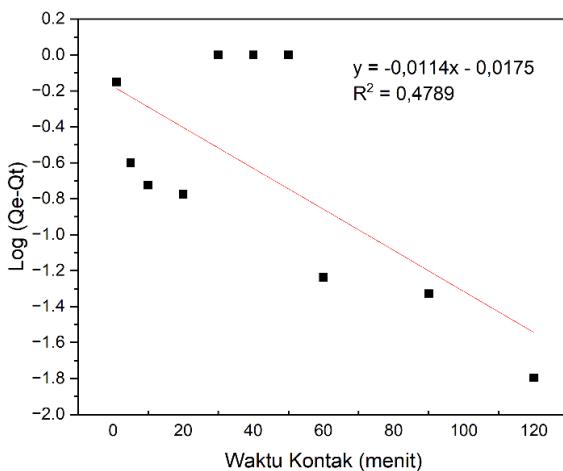
Gambar 4. 11 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi ditunjukkan Pada **Gambar 4.11**. Pada durasi 1 menit hingga 30 menit kapasitas adsorpsi meningkat karena semakin lama waktu kontak akan menyebabkan banyak tumbukan antara adsorben dengan adsorbat zat warna metilen biru. Sehingga semakin lama waktu kontak, semakin besar kapasitas adsorpsi yang dihasilkan. Sementara itu, pada waktu kontak 60 menit hingga 120 menit kapasitas adsorpsi menurun. Hal ini disebabkan oleh molekul metilen biru yang menutupi situs aktif adsorben. Keadaan ini menunjukkan bahwa adsorben dalam keadaan jenuh serta adsorpsi telah mencapai titik

kesetimbangan (Moniz *et al.*, 2024). Waktu kontak optimum pada penelitian ini adalah 30 menit dengan nilai kapasitas adsorpsi (Q_e) sebesar 3,244 mg/g. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hanum *et al.* (2017) dengan hasil waktu kontak optimum selama 30 menit dan nilai kapasitas adsorpsi (Q_e) sebesar 3,4 mg/g.

2. Penentuan Model Kinetika Adsorpsi *Pseudo Orde Satu* dan *Pseudo Orde Dua*

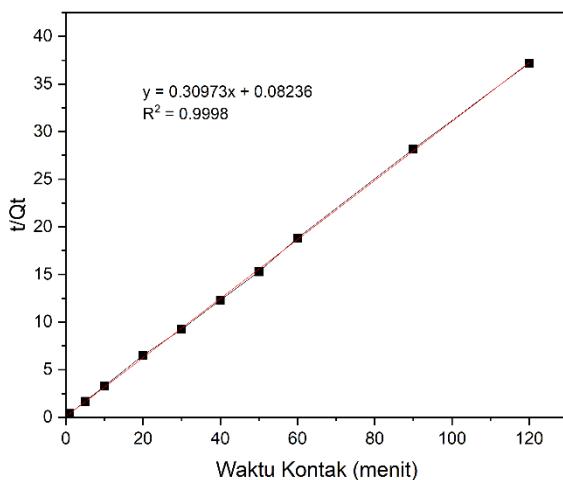
Laju penyerapan zat warna metilen biru oleh adsorben terhadap perubahan waktu dapat dilihat dari kinetika adsorpsinya. Data hasil optimasi waktu kontak yang didapat kemudian digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi dengan menggunakan kurva model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua. Pada kurva model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu, sumbu x menunjukkan waktu kontak dan sumbu y menunjukkan nilai $\log (Q_e - Q_t)$. Sedangkan kurva model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua, sumbu x menunjukkan waktu kontak dan sumbu y menunjukkan nilai t/Q_t . Hasil kurva model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu ditunjukkan pada **Gambar 4.12**.



Gambar 4. 12 Kurva Model Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Satu

Berdasarkan **Gambar 4.12** kurva model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu diperoleh persamaan regresi linear $y = -0,0114x - 0,0175$ dengan nilai R^2 sebesar 0,4789. Persamaan linear tersebut dapat digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju adsorpsi *pseudo* orde satu (K_1) dan kapasitas adsorpsi (Qe) teoritis. Nilai K_1 yang diperoleh ialah $-0,0263 \text{ menit}^{-1}$ dan nilai Qe sebesar 0,6683 mg/g. Sementara itu, pada kurva model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua diperoleh persamaan regresi linear $y = 0,30973x + 0,08236$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9998 sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4.13**.

Kemudian didapatkan nilai K_2 sebesar 1,1538 $\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{menit}^{-1}$ dan Q_e teoritis sebesar 3,229 mg/g. Nilai konstanta adsorpsi yang didapatkan pada model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua yaitu 1,1538 $\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{menit}^{-1}$, berarti setiap proses adsorpsi yang berlangsung selama satu menit akan terjadi penyerapan 1,1538 mg adsorbat kesetiap gram adsorben (Nurhidayati et al., 2022).



Gambar 4. 13 Kurva Model Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Dua

Nilai Q_e teoritis yang hampir sama dengan nilai Q_e eksperimen dan nilai R^2 yang mendekati 1 digunakan sebagai syarat dalam penentuan model kinetika adsorpsi yang sesuai. Pada model kinetika *pseudo* orde dua diperoleh nilai Q_e teoritis hampir sama dengan nilai Q_e eksperimen dengan nilai $Q_e = 3,229 \text{ mg/g}$ serta nilai R^2

yang mendekati 1 dengan nilai $R^2 = 0,9998$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian ini mengikuti model kinetika *pseudo* orde dua. Hal ini berarti laju adsorpsi pada waktu t sebanding dengan kuadrat kapasitas adsorpsi (Do *et al.*, 2025). Hasil penentuan model kinetika adsorpsi pada penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Do *et al.* (2025) dengan nilai Q_e yang diperoleh pada model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua hampir mendekati nilai Q_e eksperimen. Data parameter masing-masing model kinetika adsorpsi disajikan pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Parameter Kinetika Adsorpsi

Q _e eksperi men (mg/g)	Model kinetika adsorpsi <i>pseudo</i> orde satu			Model adsorpsi <i>pseudo</i> orde dua			kinetika 1.men it ⁻¹)
	Q _e (mg/g)	K ₁ (meni t ⁻¹)	R ²	Q _e (mg /g)	K ₂ (g.mg - 1)	R ²	
3,244 3	0,668 0,026 3	- 9 8	0,478 9 8	3,22 9 8	1,153 8 8	0,999 8	

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 mengandung puncak yang menunjukkan keberadaan karbon aktif dan Fe_3O_4 . Puncak Kristal sesuai dengan 2θ Fe_3O_4 , yaitu $30,32^\circ$; $35,66^\circ$; $43,30^\circ$; $57,37^\circ$ dan $63,00^\circ$. Karakterisasi dengan SEM menunjukkan morfologi partikel kecil yang halus dan pori permukaan yang banyak, serta hasil EDX *mapping* menunjukkan adanya unsur Fe dan O yang berada pada permukaan karbon aktif.
2. Penambahan Fe_3O_4 terhadap karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi karena menggabungkan sifat adsorpsi dari karbon aktif dan Fe_3O_4 . Selain itu, penambahan Fe_3O_4 dapat mempermudah pemisahan adsorben dengan adsorbat menggunakan medan magnet eksternal.
3. Rasio komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 yang memiliki kapasitas adsorpsi terbaik berada pada rasio 3:2.

4. Kondisi optimum adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 diperoleh pada pH 7.
5. Proses adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 mengikuti model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua dengan nilai $k = 1,1355 \text{ g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{menit}^{-1}$ dan $Q_e = 3,228 \text{ mg/g}$.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan tersebut, maka penelitian terkait dapat ditambahkan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan karakterisasi menggunakan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) untuk mengetahui sifat magnet pada komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 .
2. Perlu dilakukan optimasi konsentrasi dan massa serta penentuan isotherm adsorpsi pada adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit karbon aktif dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan Fe_3O_4 .

DAFTAR PUSTAKA

- Adelin, M. A., Gunawan, G., Nur, M., Haris, A., Widodo, D. S., & Suyati, L. (2020). Ozonation of methylene blue and its fate study using LC-MS/MS. *Journal of Physics: Conference Series*, 1524(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1524/1/012079>
- Adeyi, A. A., Abayomi, T. G., Purkait, M. K., & Mondal, P. (2019). Adsorptive Removal of Phosphate from Aqueous Solution by Magnetic-Supported Kaolinite: Characteristics, Isotherm and Kinetic Studies. *Open Journal of Applied Sciences*, 09(07), 544–563. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2019.97043>
- Adhim, M. S. (2018). Sintesis Nanopartikel Fe3O4 (Magnetit) dari Batu Besi Menggunakan Metode Kopresipitasi dengan Variasi PH. 4, 1–59.
- Ainiyyah, N., Anwar, F., Meicahayanti, I., & Rahayu, E. (2022). Pengaruh Variasi Waktu Kontak dan Massa Adsorben Kulit Jeruk Siam (*Citrus Nobilis*) Terhadap Penyisihan Kadmium (Cd) dan Merkuri (Hg). 6(1), 35–43.
- Aisyah, S., Alimuddin, & Sitorus Saibun. (2019). Pengaruh Variasi Waktu pada Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif dari Limbah Batang Pisang (*Musa Paradisiaca L.*) Terhadap Benzene. 90–95.
- Amalia, A., & Priyambodo, E. (2016). Studi Faktor pH pada Adsorpsi Kation Ca (II) oleh Silika Termodifikasi Sulfonat. *Jek*, 1(5), 1–10.
- Anggriani, M. U., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Universitas Sriwijaya*, 12(02), 29–37. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Bhaisare, M. L., Talib, A., Khan, M. S., Pandey, S., & Wu, H. F. (2015). Synthesis of fluorescent carbon dots via microwave carbonization of citric acid in presence of tetraoctylammonium ion, and their application to cellular

- bioimaging. *Microchimica Acta*, 182(13–14), 2173–2181. <https://doi.org/10.1007/s00604-015-1541-5>
- Cansado, I. P. P., Carrott, M. M. L. R., Carrott, P. J. M., & Mourão, P. A. M. (2008). Textural development of activated carbon prepared from recycled PET with different chemical activation agents. *Materials Science Forum*, 587–588, 753–757. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.587-588.753>
- Cullity, B. D. dan Graham, C. D. (2009). Introduction to Magnetic Materials, 2nd ed. IEEE/Wiley, Hoboken, N. J.
- Cundari, L., Yanti, P., & Syaputri, K. A. (2016). Pengolahan Limbah Cair Kain Jumputan Menggunakan Karbon Aktif Dari Sampah Plastik. 22(3), 26–33.
- Dirgayanti, D. S., Koesnarpadi, S., & Hindryawati, N. (2021). Synthesis and characterization of Fe₃O₄-Activated carbon and it's application to adsorb methylene blue. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 623(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/623/1/012070>
- Do, T. T., Van, H. T., Pham, Q. H., & Nguyen, T. H. (2025). Adsorption of ammonium from aqueous solution using coffee husk-derived activated charcoal composite with Fe₃O₄. *Results in Surfaces and Interfaces*, 18(February), 100471. <https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2025.100471>
- Driedger, A. G. J., Dürr, H. H., Mitchell, K., & Van Cappellen, P. (2015). Plastic debris in the Laurentian Great Lakes: A review. *Journal of Great Lakes Research*, 41(1), 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.12.020>
- Eletta, O. A. A., Mustapha, S. I., Ajayi, O. A., & Ahmed, A. T. (2018). Optimization of Dye Removal from Textile Wastewater Using Activated Carbon from Sawdust. *Nigerian Journal of Technological Development*, 15(1), 26. <https://doi.org/10.4314/njtd.v15i1.5>
- Farikhin, F. (2016). Analisa Scanning Electron Microscope Komposit Polyester Dengan Filler Karbon Aktif Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Program Studi Strata I Pada Jurusan Teknik Polyester Dengan Filler Karbon Aktif. *Publikasi Ilmiah. Program Studi Teknik Mesin*.

- Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.*
- Fatmawati, R. A., Koesnarpadi, S., & Wirawan, T. (2024). Adsorpsi Ion Logam Kadmium (Ii) Menggunakan Magnetit (Fe_3O_4) -Arang Aktif Dari Kulit Buah Tarap (*Artocarpus Odoratissimus*). 9(2), 110–119.
- Fisli, A., Ariyani, A., Wardiyati, S., & Yusuf, S. (2012). Adsorben Magnetik Nanokomposit Fe_3O_4 -Karbon Aktif untuk Meyerap Thorium. *Indonesian Journal of Material Science*, 13(3), 192–197.
- Hanum, F., Gultom, R. J., & Simanjuntak, M. (2017). Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru dengan Karbon Aktif dari Kulit Durian Menggunakan KOH dan NaOH Sebagai Aktivator. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(1), 53.
- Hariani, P. L., Faizal, M., Ridwan, Marsi, & Setiabudidaya, D. (2018). Removal of Procion Red MX-5B from Songket's Industrial wastewater in South Sumatra Indonesia Using Activated Carbon- Fe_3O_4 Composite. *Sustainable Environment Research*, 28(4), 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.01.004>
- Hartini, L. (2014). Karakterisasi Karbon Aktif Teraktivasi NaCl dari Ampas Tahu. *10630041*.
- Hussin, Z. M., Talib, N., Hussin, N. M., Hanafiah, M. A. K. M., & Khalir, W. K. A. W. M. (2015). Methylene Blue Adsorption onto NaOH Modified Durian Leaf Powder: Isotherm and Kinetic Studies. *American Journal of Environmental Engineering*, 5(3A), 38–43. <https://doi.org/10.5923/c.ajee.201501.07>
- Irawan, R., Mesin, J. T., Teknik, F., Sultan, U., & Tirtayasa, A. (2022). Kekuatan Tarik Material Plastik Jenis PP dan PET pada Mesin Pengolah Plastik PET pada Mesin Pengolah Plastik. *Skripsi*.
- Jamaludin. (2018). X-RD (X-Ray Diffractions). Makalah Fisika Material, *Alc3* 06066, 14. <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/technoscientia/article/download/109/56/105>
- Jatto, E.O; Asia, I.O.; Ogbebor, C; Ewansiha, J. . (2017). Adsorption and Kinetic Studies of Lead (Ii) Ion Using

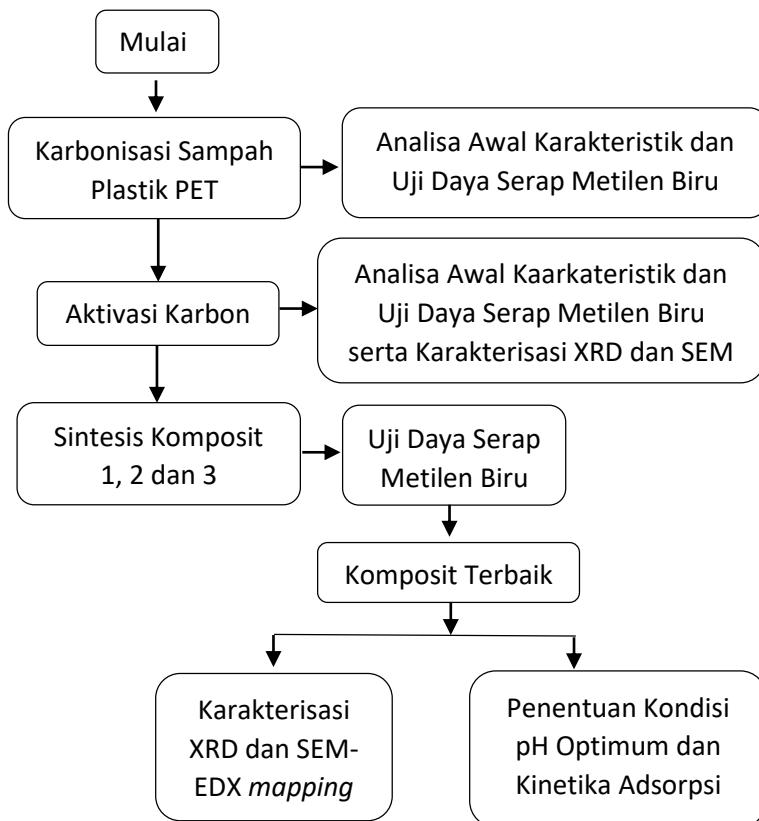
- Powdered. *SAU Sci-Tech. J*, 2(1), 60–68.
- Junary, E., Prasetya, J. P. & Herlina, N. (2015). Pengaruh Suhu dan Waktu Karbonisasi Terhadap Nilai Kalor dan Karakteristik pada Pembuatan Bioarang Berbahan Baku Pelepas Aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(2), 46–52. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i2.147>.
- Karbeka, M. (2024). Kinetika Adsorpsi Pb (II) oleh Adsorben Pasir Teraktivasi NaOH dengan Variasi Konsentrasi. *Lantanida Jurnal*, 12 (1): 16-28.
- Kumar, S., Panda, A. K., & Singh, R. K. (2011). A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 893–910. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.005>
- Kusuma, A. A., Lathifaturrohmah, B., & Dyah Lestari, E. E. (2020). Pengaruh Penambahan Arang Aktif Limbah Tongkol Jagung Untuk Mengurangi Kadar Kesadahan Total. *Walisongo Journal of Chemistry*, 3(1), 31. <https://doi.org/10.21580/wjc.v3i1.6128>
- 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>
- Lestari, R. S. D., Sari, D. K., Rosmadiana, A., & Dwipermata, B. (2016). Pembuatan Dan Karaktersasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Dengan Aktivator Asam Fosfat Serta Aplikasinya Pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 12(2), 419. <https://doi.org/10.36055/tjst.v12i2.6607>
- Luoyang, Y., Wang, H., Yong, W., Li, J., Li, X., Shenghu, H., Ying, N., & Guotao, Z. (2024). Blue coke-based activated carbon adsorbents: Insights into the efficiency and mechanism of methyl blue removal. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(9), 105898. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105898>
- Lusher, A. L., Welden, N. A., Sobral, P., & Cole, M. (2017). Sampling, Isolating and Identifying Microplastics Ingested by Fish and Invertebrates. *Analytical Methods*, 9(9), 1346–

1360. <https://doi.org/10.1039/c6ay02415g>
- Mardianto, R. D., Koesnarpadi, S., & Sari, I. (2022). Studi Perbandingan Adsorpsi Ion Logam Cd²⁺ Pada AF, Fe₃O₄ dan Fe₃O₄-AF. 3–6.
- Maulinda, L., Nasrul, Z., & Sari, D. N. (2015). Jurnal Teknologi Kimia Unimal Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 4(2), 11–19.
- Meilanti, M. (2018). Karakteristik Karbon Aktif Dari Cangkang Buah Karet Menggunakan Aktivator H3PO₄. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 1. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1146>
- Moniz, L., Baunsele, A. B., Boelan, E. G., Kopon, A. M., Maria, A. U., Tukan, M. B., & Komisia, F. (2024). Optimasi Adsorpsi Metilen Biru Memanfaatkan Sabut Buah Lontar Teraktivasi Asam. 12, 17–31.
- Najib, F. A., Kurniaty, N., & Rusnadi. (2020). Potensi Biji dari Beberapa Jenis Buah Menjadi Karbon Aktif Sebagai Alternatif Adsorben. *Prosiding Farmasi*, 1024–1031.
- Nasution, J. A. (2021). Pembuatan Filter Berbasis Karbon Aktif Biji Durian, Zeolit, dan Pasir untuk Penjernihan Air. *Skripsi*, 1–42. <http://repository.uinsu.ac.id/>
- Nisa', C. K. (2018). Sintesis Komposit Fe 3 O 4 /Graphene-Like Sebagai Elektrokatalis Katoda Pada Zn-Air Battery. *Skripsi*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Nurchabibah, V. (2018). Penentuan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Terhadap Larutan Hipoklorit. *Skripsi*, 1–43. http://repository.ub.ac.id/id/eprint/168739/1/VERA_NURCHABIBAH.pdf
- Nurhidayati, I., Mellisani, B., Puspita, F., & Rahmawati Putri, F. A. (2022). Penentuan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Ion Besi oleh Sedimen Sebagai Adsorben. *Warta Akab*, 46(1). <https://doi.org/10.55075/wa.v46i1.98>
- Nurudeen, A., Nwosu, F. O., & Soliu, M. (2024). Kinetic Studies of Effects of Heat on PET Plastics: TGA, DTA, XRD and DSC Analysis. *International Research Journal of Pure and*

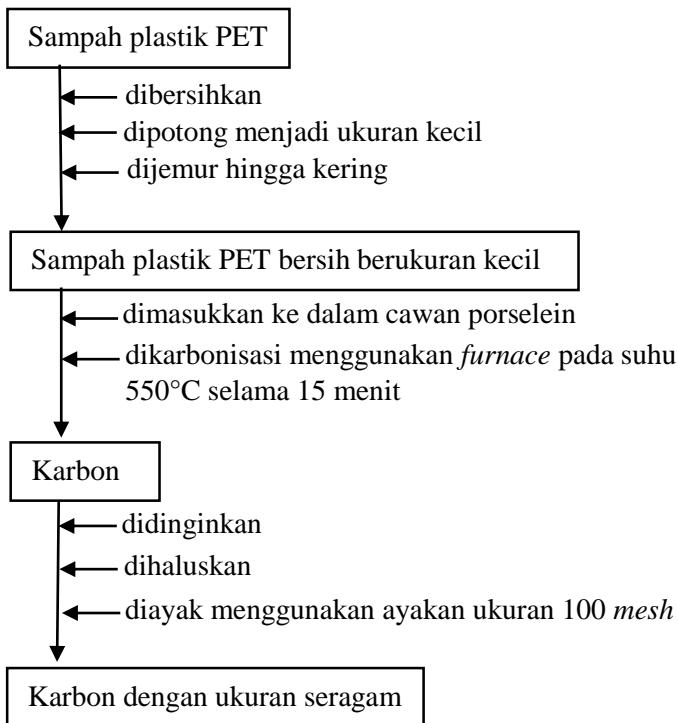
- Applied Chemistry, 25(1), 61–72.
<https://doi.org/10.9734/irjpac/2024/v25i1845>
- Oko, S., Mustafa, M., Kurniawan, A., & Norfitria, L. (2021). Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Plastik PET (*Polyethylene terephthalate*) Menggunakan Aktivator KOH. Metana, 17(2), 61–68.
<https://doi.org/10.14710/metana.v17i2.40204>
- Pathania, D., Sharma, S., & Singh, P. (2017). Removal of methylene blue by adsorption onto activated carbon developed from *Ficus carica* bast. Arabian Journal of Chemistry, 10, S1445–S1451.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.04.021>
- Pham, T. H. T. (2023). Synthesis of Activated Carbon from Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Waste and Its Application for Removal of Organic Dyes from Water. Non-Metallic Material Science, 5(1), 27–37.
<https://doi.org/10.30564/nmms.v5i1.5663>
- Pourzamani, H. R., Mengelizadeh, N., & Jalil, M. (n.d.). Nitrate Removal from Aqueous Solutions by Magnetic Nanoparticle. *Environmental Health and Sustainable Development*.
- Puspitasari, M., Nandari, W. W., & Hadi, F. (2022). Perbandingan Penggunaan Aktivator NaOH dan KOH pada Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Singkong (*Manihot utilissima*). 19(2), 58–62.
- Rahma, D. C. (2021). Analisis Penetapan Kadar Beta Karoten Pada Ekstrak Buah Rambusa (*Passiflora foetida L.*) dengan Spektrofometri UV-Vis. Skripsi.
<http://repo.upertis.ac.id/1442/>
- Rahmatullah, M. (2014). Sintesa dan Karakterisasi Partikel Nanokomposit ZnO-Silika Sebagai Fotokatalis Dengan Metode Sonikasi. ITS. Surabaya, 3–5.
- Rahmayanti, M. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Magnetit (Fe_3O_4): Studi Komparasi Metode Konvensional dan Metode Sonokimia. Al Ulum: Jurnal Sains Dan Teknologi, 6(1), 26.
<https://doi.org/10.31602/ajst.v6i1.3659>
- Reknosari, E., Wirawan, T., & Koesnarpadi, S. (2020). Phenol Adsorption Using Composite Adsorbent Fe_3O_4 -Activated

- Charcoal Coffee Grounds. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 18(1), 30. <https://doi.org/10.30872/jkm.v18i1.923>
- Ristianingsih, Y., Istiani, A., & Irfandy, F. (2020). Kesetimbangan Adsorbsi Zat Warna Metilen Blue dengan Adsorben Karbon Aktif Tongkol Jagung Terimpregnasi Fe₂O₃. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 7(1), 47–55. <https://doi.org/10.34128/jtai.v7i1.115>
- Sarifudin, K. (2022). Penggunaan Karbon Aktif Kayu Kesambi (*Schleicera oleosa MERR*) dalam Pengolahan Air Sadah. *Haumeni Journal of Education*, 2(1), 197–207. <http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/haumeni/article/view/7555> <http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/haumeni/article/download/7555/3888>
- Setiawan, R., Dharma, U. S., Andriyansyah, N., Irawan, D., & Yanto, R. (2020). Pembuatan Minyak Plastik dengan Metode Destilasi Bertingkat. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 1(1), 35–40. <https://doi.org/10.24127/armatur.v1i1.188>
- Sirajuddin, & Harjanto. (2018). Pengaruh Ukuran Adsorben dan Waktu Adsorpsi Terhadap Penurunan Kadar COD pada Limbah Cair Tahu Menggunakan Arang Aktif Tempurung Kelapa. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*, 2018, 42–46.
- Suryani, E., Destiarti, L., Program, N. *, Kimia, S., Matematika, F., Ilmu, D., Alam, P., Tanjungpura, U., Prof, J., & Nawawi, H. H. (2024). Sintesis Karbon Aktif Magnetik dari Tempurung Kelapa menggunakan Aktivator Soda Kue dengan Variasi Perbandingan Massa Karbon Aktif dan Oksida Besi. *Chimica et Natura Acta*, 12(1), 19–27. <https://doi.org/10.24198/CNA.V12.N1.42382>
- Susmanto, P., Yandriani, Y., Dila, A. P., & Pratiwi, D. R. (2020). Pengolahan Zat Warna Direk Limbah Cair Industri Jumputan Menggunakan Karbon Aktif Limbah Tempurung Kelapa pada Kolom Adsorpsi. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 4(2), 77. <https://doi.org/10.30595/jrst.v4i2.7309>
- Syauqiah I., Amalia M., & Kertini H. A. (2011). Analisis Variasi Waktu Dan Kecepatan Pengaduk Pada Proses Adsorpsi

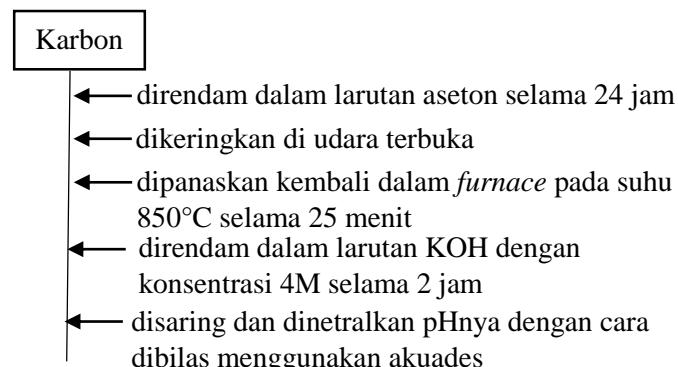
- Limbah Logam Beratdengan Arang Aktif. *Info Teknik*, 12(1), 11–20.
- Tran, H. N., Chao, H. P., & You, S. J. (2018). Activated Carbons from Golden Shower Upon Different Chemical Activation Methods: Synthesis and Characterizations. *Adsorption Science and Technology*, 36(1–2), 95–113. <https://doi.org/10.1177/0263617416684837>
- Urhasanah, A. N. N., Upriatna, A. D. I. M. S., & Itriyani, D. A. N. R. I. F. (2024). Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Manggis (*Garcina Mangostana*) dengan Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) sebagai Adsorben untuk Reduksi Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) pada Limbah Cair Industri Tahu.
- Widihati, I. A. G., Diantariani, N. P., & Yuliana, N. F. (2011). Fotodegradasi Metilen Biru Dengan Sinar UV Dan Katalis Al₂O₃. *Jurnal Kimia*, 1, 31–42.
- Wismayanti, D., Diantariani, N., & Santi, S. (2015). Pembuatan komposit ZnO-arang aktif sebagai fotokatalis untuk mendegradasi zat warna metilen biru. *Jurnal Kimia*, 9(1), 109–116.
- Zaini, H., & Sami, M. (2016). Kinetika Adsorpsi Pb (II) dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, November 2016*, 1–9.

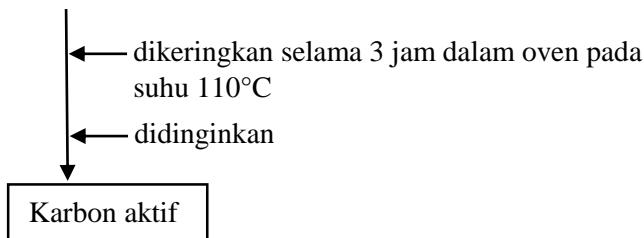
LAMPIRAN**Lampiran 1 Alur Penelitian**

Lampiran 2 Tahap karbonisasi



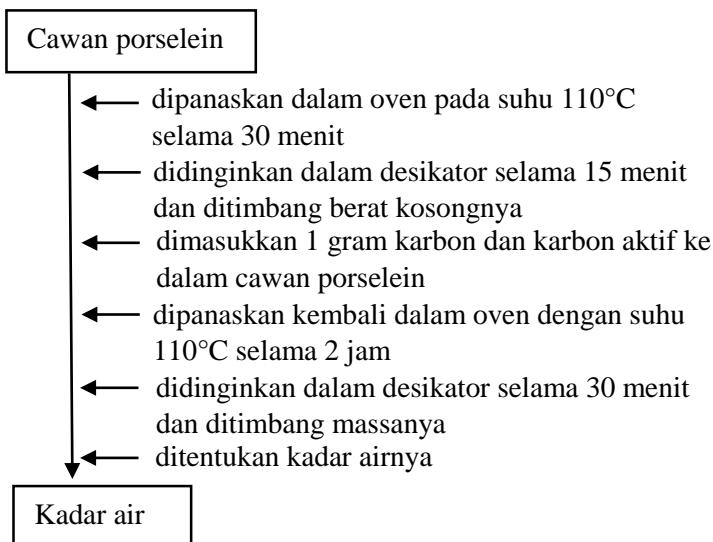
Lampiran 3 Tahap aktivasi



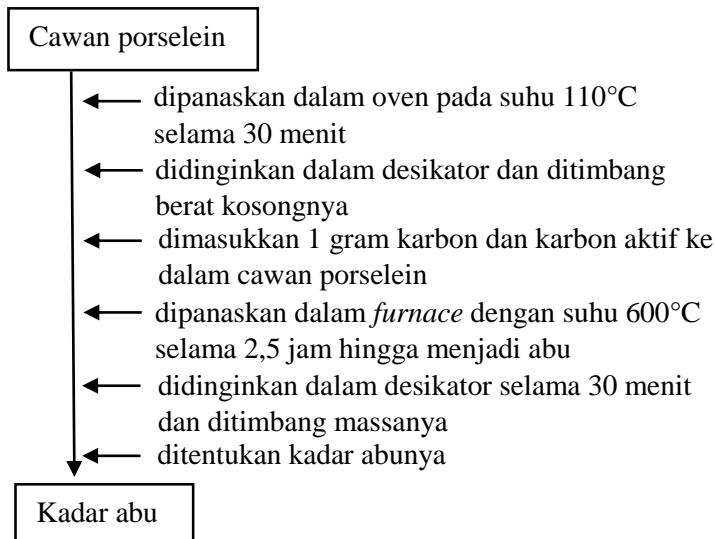


Lampiran 4 Analisa Awal Karakteristik Karbon dan Karbon Aktif

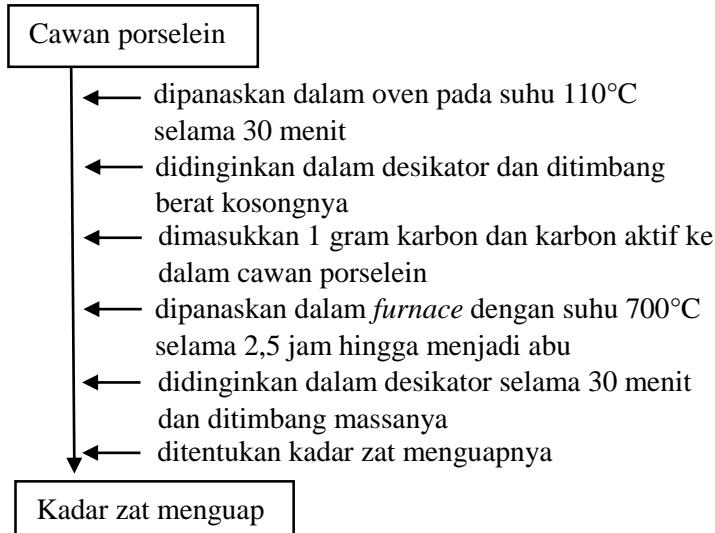
a. Penentuan Kadar Air



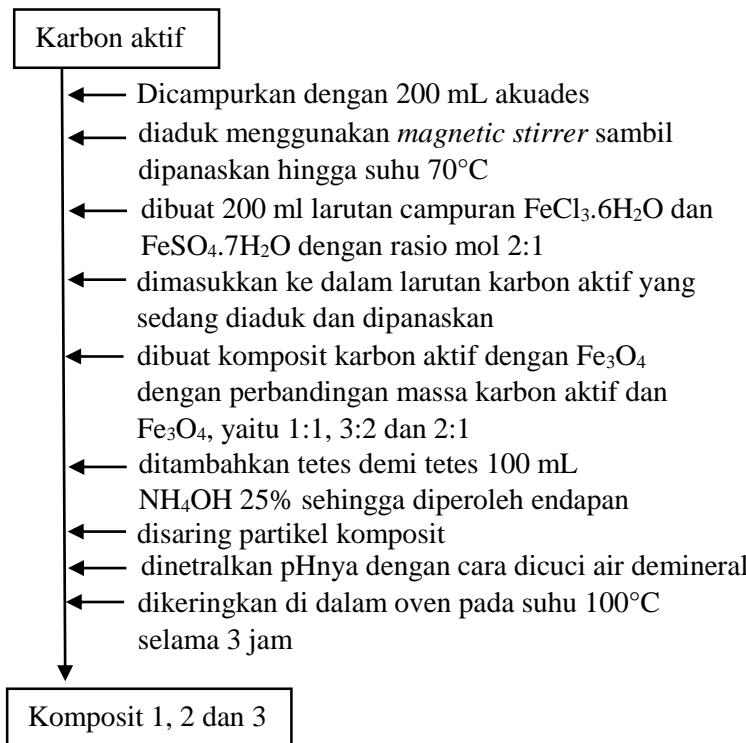
b. Penentuan Kadar Abu



c. Penentuan Kadar Zat Menguap

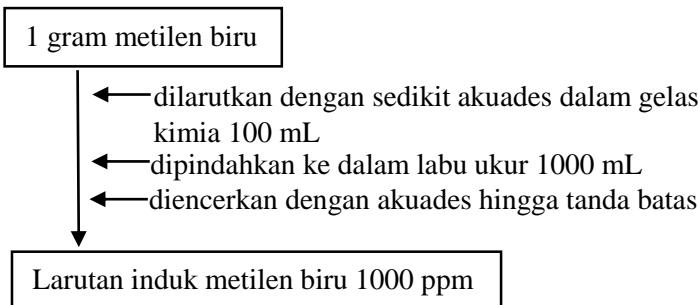


Lampiran 5 Tahap Sintesis komposit karbon aktif dengan Fe_3O_4

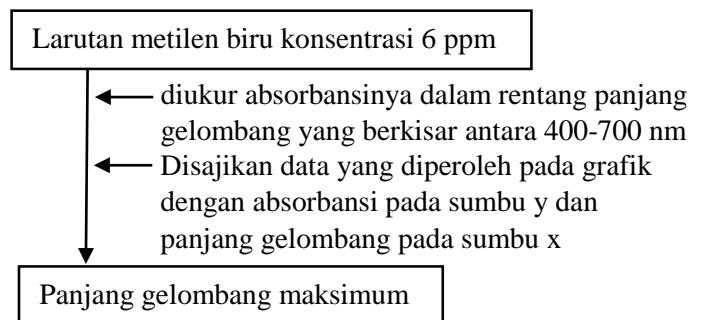


Lampiran 6 Uji Daya Serap Metilen Biru

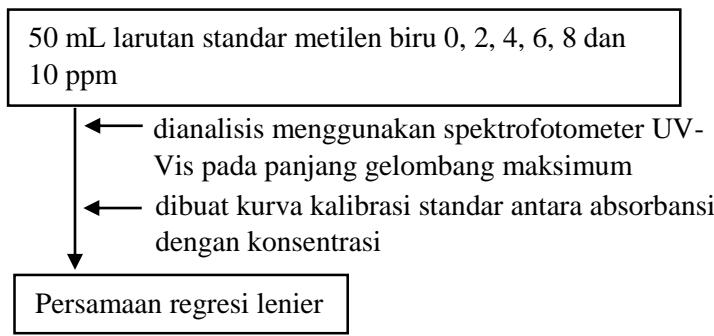
a. Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru 1000 ppm



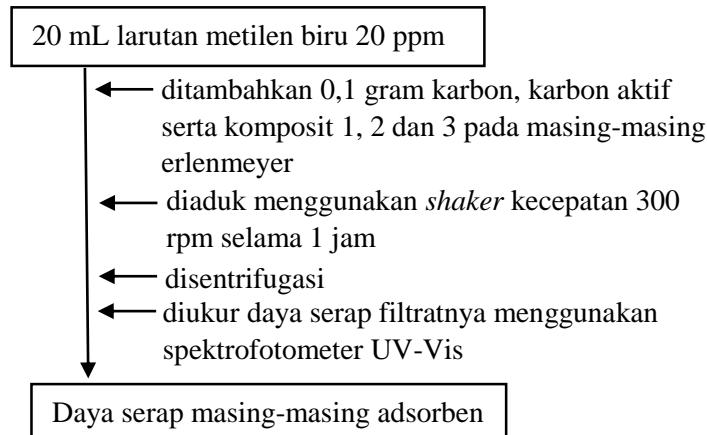
b. Penentuan Panjang Gelombang (λ) Maksimum



c. Pembuatan Kurva Standar

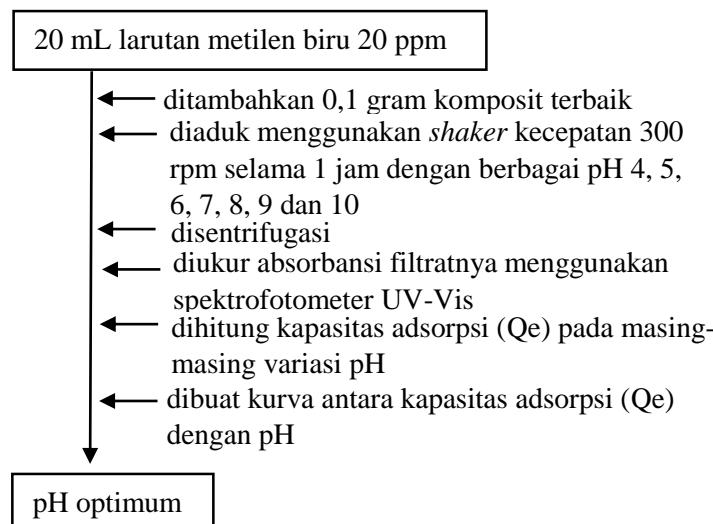


d. Uji Daya Serap Karbon, Karbon Aktif Serta Komposit 1, 2 dan 3 Terhadap Metilen Biru

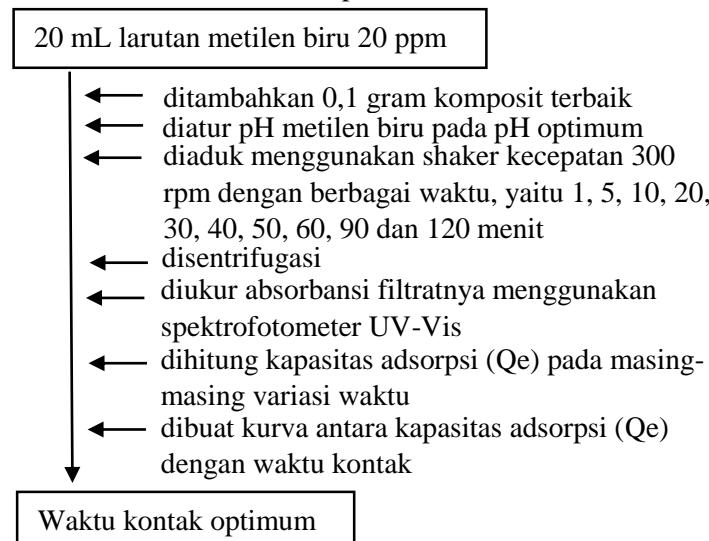


Lampiran 7 Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru

a. Penentuan pH Optimum



b. Penentuan Waktu Kontak Optimum



Lampiran 8 Data Hasil Penelitian dan Analisis Data

A. Perhitungan variasi komposit karbon aktif dengan Fe_3O_4

Stoikiometri pembutan Fe_3O_4 :

	2Fe^{3+}	+	Fe^{2+}	+	8OH^-	\rightarrow	Fe_3O_4	$+ 4\text{H}_2\text{O}$
m	28 mmol		14 mmol		-		-	-
r	28 mmol		14 mmol		-		14 mmol	-
s	-		-		-		14 mmol	-

Perhitungan komposisi komposit 1:

$$\text{Mol FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 28 \text{ mmol} = 0,028 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \text{mol FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \times \text{BM FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \\ &= 0,028 \text{ mol} \times 270,33 \text{ gram/mol} \\ &= 7,8 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 14 \text{ mmol} = 0,014 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} &= \text{mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \times \text{BM FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \\ &= 0,014 \text{ mol} \times 278,02 \text{ gram/mol} \\ &= 3,9 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Mol Fe}_3\text{O}_4 = 14 \text{ mmol} = 0,014 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Fe}_3\text{O}_4 &= \text{mol Fe}_3\text{O}_4 \times \text{BM Fe}_3\text{O}_4 \\ &= 0,014 \text{ mol} \times 231,533 \text{ gram/mol} \\ &= 3,24 \text{ gram} \end{aligned}$$

Sehingga massa karbon aktif = 3,24 gram

Perhitungan komposisi komposit 2:

$$\text{Mol FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 28 \text{ mmol} = 0,028 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \text{mol FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \times \text{BM FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \\ &= 0,028 \text{ mol} \times 270,33 \text{ gram/mol} \\ &= 7,8 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 14 \text{ mmol} = 0,014 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} &= \text{mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \times \text{BM FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \\ &= 0,014 \text{ mol} \times 278,02 \text{ gram/mol} \\ &= 3,9 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Mol Fe}_3\text{O}_4 = 14 \text{ mmol} = 0,014 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Fe}_3\text{O}_4 &= \text{mol Fe}_3\text{O}_4 \times \text{BM Fe}_3\text{O}_4 \\ &= 0,014 \text{ mol} \times 231,533 \text{ gram/mol} \\ &= 3,24 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,24 \text{ gram} \times 1,5 \\
 &= 4,86 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Sehingga massa karbon aktif = 4,86 gram

Perhitungan komposisi komposit 3:

$$\text{Mol FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 28 \text{ mmol} = 0,028 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \text{mol FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \times \text{BM FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \\
 &= 0,028 \text{ mol} \times 270,33 \text{ gram/mol} \\
 &= 7,8 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 14 \text{ mmol} = 0,014 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} &= \text{mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \times \text{BM FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \\
 &= 0,014 \text{ mol} \times 278,02 \text{ gram/mol} \\
 &= 3,9 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mol Fe}_3\text{O}_4 = 14 \text{ mmol} = 0,014 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Fe}_3\text{O}_4 &= \text{mol Fe}_3\text{O}_4 \times \text{BM Fe}_3\text{O}_4 \\
 &= 0,014 \text{ mol} \times 231,533 \text{ gram/mol} \\
 &= 3,24 \text{ gram} \\
 &= 3,24 \text{ gram} \times 2 \\
 &= 6,48 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Sehingga massa karbon aktif = 6,48 gram

B. Perhitungan pembuatan larutan metilen biru

1. Pembuatan larutan induk metilen biru 1000 ppm

$$\text{ppm} = \frac{\text{massa zat terlarut (mg)}}{\text{volume larutan (l)}}$$

$$\text{Massa zat terlarut} = 1000 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L}$$

$$\text{Massa zat terlarut} = 1000 \text{ mg} = 1 \text{ gram}$$

2. Pengenceran larutan induk 1000 ppm menjadi 20 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 500 \text{ mL} \times 20 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

3. Pengenceran larutan 20 ppm menjadi 2 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 20 \text{ ppm} = 50 \text{ mL} \times 2 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

4. Pengenceran larutan 20 ppm menjadi 4 ppm
- $$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 20 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 4 \text{ ppm} \\ V_1 &= 10 \text{ mL} \end{aligned}$$
5. Pengenceran larutan 20 ppm menjadi 6 ppm
- $$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 20 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 6 \text{ ppm} \\ V_1 &= 15 \text{ mL} \end{aligned}$$
6. Pengenceran larutan 20 ppm menjadi 8 ppm
- $$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 20 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 8 \text{ ppm} \\ V_1 &= 20 \text{ mL} \end{aligned}$$
7. Pengenceran larutan 20 ppm menjadi 10 ppm
- $$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 20 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 10 \text{ ppm} \\ V_1 &= 25 \text{ mL} \end{aligned}$$

Keterangan:

V_1 = volume awal (mL)

V_2 = volume akhir (mL)

M_1 = konsentrasi awal (ppm)

M_2 = konsentrasi akhir (ppm)

C. Data Absorbansi Larutan Standar

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi (A)
0	0.000
2	0.041
4	0.127
6	0.194
8	0.293
10	0.369

D. Data kapasitas adsorpsi (Qe) adsorben karbon, karbon aktif serta komposit 1, 2 dan 3

Adsorben	Konsentrasi awal (Co) (mg/L)	Konsentrasi akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas adsorpsi (qe) (mg/g)
Karbon	22,5171	10,0761	2,4882
Karbon aktif	22,5171	9,3281	2,6378
Komposit 1	22,5171	7,4777	3,0079
Komposit 2	22,5171	5,0367	3,4961
Komposit 3	22,5171	5,6929	3,3648

E. Data penentuan kondisi optimum

1. Data absorbansi pH optimum

pH	Absorbansi (A)
4	0,283
5	0,291
6	0,158
7	0,078
8	0,102
9	0,142
10	0,187

2. Data penentuan kapasitas adsorpsi pH optimum

pH	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
4	21,730	7,950	2,750
5	21,730	8,160	2,714
6	21,730	4,669	3,412
7	21,730	2,570	3,832
8	21,730	3,199	3,706
9	21,073	4,249	3,365
10	21,073	5,430	3,129

3. Data absorbansi waktu kontak optimum

Waktu kontak (menit)	Absorbansi (A)
1	0,315
5	0,228
10	0,216
20	0,212
30	0,180
40	0,179
50	0,175
60	0,191
90	0,189
120	0,183

4. Data penentuan kapasitas adsorpsi waktu kontak optimum

Waktu kontak (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
1	21,467	8,790	2,535
5	21,467	6,507	2,992
10	21,467	6,192	3,055
20	21,467	6,087	3,076
30	21,467	5,247	3,244
40	21,467	5,220	3,249
50	21,467	5,115	3,270
60	21,467	5,535	3,186
90	21,467	5,483	3,197
120	21,467	5,325	3,228

F. Perhitungan penentuan kapasitas adsorben karbon, karbon aktif serta komposit 1, 2 dan 3

1. Perhitungan konsentrasi awal metilen biru (Co)

$$y = 0,0381x - 0,0199$$

$$0,838 = 0,0381x - 0,0199$$

$$0,0381x = 0,838 + 0,0199$$

$$x = 22,5171$$

Sehingga konsentrasi awal metilen biru (Co) adalah 22,5171 ppm.

2. Perhitungan kapasitas adsorpsi adsorben (Qe)

- a. Karbon

$$Qe = \frac{Co - Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(22,5171 - 10,0761) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 2,4882 \text{ mg/g}$$

- b. Karbon aktif

$$Qe = \frac{Co - Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(22,5171 - 9,3281) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 2,6378 \text{ mg/g}$$

- c. Komposit 1

$$Qe = \frac{Co - Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(22,5171 - 7,4777) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,0079 \text{ mg/g}$$

- d. Komposit 2

$$Qe = \frac{Co - Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(22,5171 - 5,0367) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,4961 \text{ mg/g}$$

- e. Komposit 3

$$Qe = \frac{Co - Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(22,5171 - 5,6926) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,3648 \text{ mg/g}$$

Keterangan:

Qe = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

Co = konsentrasi awal metilen biru (mg/L)

Ce = konsentrasi akhir metilen biru (mg/L)

M = massa adsorben (gram)

V = Total volume larutan (Liter)

G. Perhitungan pH optimum

1. Perhitungan konsentrasi awal metilen biru (Co)

$$y = 0,0381x - 0,0199$$

$$0,808 = 0,0381x - 0,0199$$

$$0,0381x = 0,808 + 0,0199$$

$$x = 21,730$$

Sehingga konsentrasi awal metilen biru (Co) adalah 21,730 ppm.

2. Perhitungan kapsitas adsorpsi pada optimasi pH

- a. pH 4

$$Qe = \frac{Co - Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,730 - 7,950)mg/L}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 2,756 \text{ mg/g}$$

- b. pH 5

$$Qe = \frac{Co - Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,730 - 8,160)mg/L}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 2,714 \text{ mg/g}$$

- c. pH 6

$$Qe = \frac{Co - Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,730 - 4,669)mg/L}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,412 \text{ mg/g}$$

- d. pH 7

$$Qe = \frac{Co - Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,730 - 2,570)mg/L}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,832 \text{ mg/g}$$

e. pH 8

$$Q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$Q_e = \frac{(21,730 - 3,199) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Q_e = 3,706 \text{ mg/g}$$

f. pH 9

$$Q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$Q_e = \frac{(21,073 - 4,249) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Q_e = 3,365 \text{ mg/g}$$

g. pH 10

$$Q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$Q_e = \frac{(21,073 - 5,430) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Q_e = 3,129 \text{ mg/g}$$

H. Perhitungan waktu kontak optimum

1. Perhitungan konsentrasi awal metilen biru (Co)

$$y = 0,0381x - 0,0199$$

$$0,798 = 0,0381x - 0,0199$$

$$0,0381x = 0,798 + 0,0199$$

$$x = 21,467$$

Sehingga konsentrasi awal metilen biru (Co) adalah 21,467 ppm.

2. Perhitungan kapsitas adsorpsi pada optimasi waktu kontak

a. 1 menit

$$Q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$Q_e = \frac{(21,467 - 8,790) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Q_e = 2,535 \text{ mg/g}$$

b. 5 menit

$$Q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$Q_e = \frac{(21,467 - 6,507) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 2,992 \text{ mg/g}$$

c. 10 menit

$$Qe = \frac{Co-Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,467 - 6,192) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,055 \text{ mg/g}$$

d. 20 menit

$$Qe = \frac{Co-Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,467 - 6,087) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,076 \text{ mg/g}$$

e. 30 menit

$$Qe = \frac{Co-Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,467 - 5,247) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,244 \text{ mg/g}$$

f. 40 menit

$$Qe = \frac{Co-Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,467 - 5,220) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,249 \text{ mg/g}$$

g. 50 menit

$$Qe = \frac{Co-Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,467 - 5,115) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,270 \text{ mg/g}$$

h. 60 menit

$$Qe = \frac{Co-Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,467 - 5,535) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,186 \text{ mg/g}$$

i. 90 menit

$$Qe = \frac{Co-Ce}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,467 - 5,483) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,197 \text{ mg/g}$$

j. 120 menit

$$Qe = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V$$

$$Qe = \frac{(21,467 - 5,325) \text{mg/L}}{0.1 \text{ gram}} \times 0,02 \text{ Liter}$$

$$Qe = 3,228 \text{ mg/g}$$

3. Perhitungan kinetika adsorpsi

a. Kinetika adsorpsi *pseudo* orde Satu

t (menit)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/ L)	Q _t (mg/g)	Q _{e-Q_t} (mg/g)	Log (Q _{e-Q_t})
1	21,467	8,790	2,535	0,709	-0,149
5	21,467	6,507	2,992	0,252	-0,599
10	21,467	6,192	3,055	0,189	-0,724
20	21,467	6,087	3,076	0,168	-0,775
30	21,467	5,247	3,244	0	0
40	21,467	5,220	3,249	- 0,005	0
50	21,467	5,115	3,270	- 0,026	0
60	21,467	5,535	3,186	0,058	-1,237
90	21,467	5,483	3,197	0,047	-1,328
120	21,467	5,325	3,228	0,016	-1,796

Berdasarkan data kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dapat dibuat kurva hubungan antara waktu kontak sebagai sumbu x dan log (Q_{e-Q_t}) sebagai sumbu y seperti pada gambar (atas). Berdasarkan kurva model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu diketahui persamaan regresi linear $y = -0,0114x - 0,175$ dengan nilai $R^2 = 0,4789$. Adapun nilai K₁ dan Q_e diperoleh melalui perhitungan berikut ini.

$$y = ax + b$$

$$y = -0,0114x - 0,175$$

$$R^2 = 0,4789$$

$$\frac{K_1}{2,303} = a$$

$$\frac{K_1}{2,303} = -0,0114$$

$$K_1 = -0,0263$$

$$\log Q_e = b$$

$$\log Q_e = -0,175$$

$$Q_e = 0,6683$$

- b. Kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua

t (menit)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_t (mg/g)	t/Q_t
1	21,467	8,790	2,535	0,394
5	21,467	6,507	2,992	1,671
10	21,467	6,192	3,055	3,273
20	21,467	6,087	3,076	6,502
30	21,467	5,247	3,244	9,248
40	21,467	5,220	3,249	12,311
50	21,467	5,115	3,270	15,291
60	21,467	5,535	3,186	18,832
90	21,467	5,483	3,197	28,151
120	21,467	5,325	3,228	37,175

Berdasarkan data penentuan kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua dapat dibuat kurva hubungan antara waktu kontak sebagai sumbu x dan t/Q_t sebagai sumbu y. Berdasarkan kurva model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua persamaan regresi linear $y = 0,30973x + 0,08236$ dengan nilai $R^2 = 0,9998$. Adapun nilai K_2 dan Q_e diperoleh melalui perhitungan berikut ini.

$$y = ax + b$$

$$y = 0,30973x + 0,08236$$

$$R^2 = 0,9998$$

$$\frac{1}{Qe} = a$$
$$\frac{1}{Qe} = 0,30973$$
$$Qe = 3,229$$

$$\frac{1}{K_2 \cdot Qe^2} = b$$
$$\frac{1}{K_2 \cdot 3,270^2} = 0,08236$$
$$K_2 = 1,1538$$

Lampiran 9 Hasil Karbonisasi Sampah Plastik PET dan Aktivasi Karbon Aktif

Perlakuan	Dokumentasi
Karbonisasi Plastik PET	
Perendaman karbon dengan Aseton selama 24 jam	
Aktivasi Fisika	

Aktivasi Kima	
---------------	--

Lampiran 10 Sintesis Komposit Karbon Aktif dengan Fe_3O_4

Sintesis Komposit Akrbon Aktif dengan Fe_3O_4	Dokumentasi
<p>a. Komposit 1: Perbandingan 1:1</p> <p>b. Komposit 2: Perbandingan 1,5:1</p> <p>c. Komposit 3: Perbandingan 2:1</p>	 

Lampiran 11 Dokumentasi Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru oleh Komposit Terbaik

Variasi	Sebelum Adsorpsi	Setelah Adsorpsi
pH		
Waktu Kontak		

Lampiran 12 Panjang Gelombang Metilen Biru

λ (nm)	Abs (A)	λ (nm)	Abs (A)	λ (nm)	Abs (A)
400	-0,01666	462	0,00136	524	0,03807
402	-0,01789	464	0,00245	526	0,04
404	-0,01899	466	0,00384	528	0,04265
406	-0,0201	468	0,00539	530	0,04537
408	-0,02087	470	0,00654	532	0,04894
410	-0,02177	472	0,00813	534	0,05206
412	-0,02218	474	0,00957	536	0,05686
414	-0,02204	476	0,01109	538	0,06042
416	-0,02227	478	0,01291	540	0,06682
418	-0,02203	480	0,01458	542	0,07147
420	-0,02157	482	0,01622	544	0,07901
422	-0,02109	484	0,01744	546	0,0846
424	-0,02044	486	0,01923	548	0,09129
426	-0,01937	488	0,02032	550	0,09806
428	-0,0189	490	0,0222	552	0,10635
430	-0,0182	492	0,0233	554	0,11352
432	-0,01728	494	0,02436	556	0,12329
434	-0,01659	496	0,02695	558	0,13117
436	-0,01528	498	0,02726	560	0,14118
438	-0,01443	500	0,02804	562	0,1528
440	-0,01316	502	0,02734	564	0,16189
442	-0,01198	504	0,02917	566	0,17113
444	-0,01101	506	0,02748	568	0,18132
446	-0,00989	508	0,02901	570	0,19101
448	-0,0084	510	0,0297	572	0,20392
450	-0,00713	512	0,03121	574	0,2186
452	-0,00582	514	0,03119	576	0,23126
454	-0,00432	516	0,03086	578	0,24744
456	-0,00287	518	0,03262	580	0,26444
458	-0,00144	520	0,03414	582	0,28201
460	0,00017	522	0,0362	584	0,30233

λ (nm)	Abs (A)	λ (nm)	Abs (A)		
586	0,32484	644	0,83295		
588	0,34627	646	0,86599		
590	0,3724	648	0,90444		
592	0,40123	650	0,94151		
594	0,42384	652	0,9823		
596	0,45452	654	1,01239		
598	0,47703	656	1,04579		
600	0,50599	658	1,0757		
602	0,53176	660	1,10213		
604	0,55316	662	1,11442		
606	0,57304	664	1,11831		
608	0,59331	666	1,11655		
610	0,60624	668	1,09559		
612	0,61294	670	1,05049		
614	0,61951	672	0,99151		
616	0,62493	674	0,90903		
618	0,62579	676	0,82222		
620	0,62611	678	0,73419		
622	0,62526	680	0,63795		
624	0,63005	682	0,55491		
626	0,62946	684	0,46312		
628	0,63866	686	0,38582		
630	0,64706	688	0,32323		
632	0,66385	690	0,26818		
634	0,6867	692	0,22187		
636	0,70462	694	0,18105		
638	0,73024	696	0,1481		
640	0,76153	698	0,11889		
642	0,79689	700	0,10318		

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Ninik Andriani
2. Tempat & Tanggal Lahir : Jombang, 23 Oktober 2002
3. Alamat : Dusun Dempok RT/RW 02/02 Desa Grogol, Kec. Diwek, Kab. Jombang, Jawa Timur
4. No. Telepon : 085546244360
5. E-mail : ninikandriani203@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. RA Muslimat 1 Dempok Lulus 2009
2. MI Nurul Iman Dempok Lulus 2015
3. MTs Nurul Iman Dempok Lulus 2018
4. MAN 1 Jombang Lulus 2021