

**MODIFIKASI KARBON DARI CANGKANG BUAH KARET
(*Hevea brasiliensis*) DENGAN MAGNETIT DAN (3-AMINOPROPYL)
TRIETHOXYSILANE (APTES) UNTUK ADSORPSI ANION NITRAT DAN
COOMASSIE BRILLIANT BLUE DALAM LARUTAN**

(Skripsi)

Oleh

Mhd. Afif Alim Nasution



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

MODIFICATION OF CARBON FROM RUBBER FRUIT SHELLS (*Hevea brasiliensis*) WITH MAGNETITE AND (3-AMINOPROPYL)-TRIETHOXYSILANE (APTES) FOR NITRATE ANION AND COOMASSIE BRILLIANT BLUE ADSORPTION IN SOLUTION

By

Mhd. Afif Alim Nasution

In this study, had been synthesized and characterized carbon from rubber fruit shells (*Hevea brasiliensis*) modified with magnetite coating to produce carbon-magnet (KM) and further modifications with (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) to produce carbon magnetite silane (KMS) as adsorbent for nitrate anion and Coomassie Brilliant Blue (CBB). Characterization of the adsorbents was carried out using a Fourier Transform Infra-Red (FTIR) spectrophotometer to identify functional groups, X-Ray Diffraction (XRD) to identify crystallinity levels and Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) to determine surface morphology and identify the elemental composition. Mono-component adsorption of nitrate anion on carbon, KM, and KMS adsorbents optimum at pH 7, 9, 9 meanwhile for CBB all three adsorbents optimum at pH 7. Optimum contact time of carbon, KM, and KMS with nitrate anion each optimum at 120, 120, and 15 minutes meanwhile for CBB optimum at 30, 150, and 120 minutes. Adsorption kinetics of nitrate anion and CBB on carbon, KM, and KMS adsorbents tend to follow the pseudo-second order kinetic model and adsorption isotherms tend to follow the Freundlich isotherm model, except for CBB to KMS which tend to follow the Langmuir isotherm model. The adsorption capacity of KMS in bicomponent adsorption system is better to adsorb CBB. The highest desorption percentage of KMS for nitrate and CBB both occurred at 40% ethanol eluent which was dominated by hydrogen bonds. The reusability of KMS up to 3 repetitions is better for nitrate anions adsorption with a decreasing percentage of Q <1%.

Keywords: Adsorption, carbon, rubber fruit shell, CBB, nitrates, magnetite, APTES.

ABSTRAK

MODIFIKASI KARBON DARI CANGKANG BUAH KARET (*Hevea brasiliensis*) DENGAN MAGNETIT DAN (3-AMINOPROPYL) TRIETHOXYSILANE (APTES) UNTUK ADSORPSI ANION NITRAT DAN COOMASSIE BRILLIANT BLUE DALAM LARUTAN

Oleh

Mhd. Afif Alim Nasution

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis dan karakterisasi karbon dari cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) yang dimodifikasi dengan pelapisan magnetit untuk menghasilkan karbon magnetit (KM) dan dilanjutkan dengan modifikasi dengan silan (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) sehingga dihasilkan karbon magnetit silan (KMS) sebagai adsorben anion nitrat dan *Coomassie Brilliant Blue* (CBB). Karakterisasi pada adsorben dilakukan menggunakan instrumen spektrofotometer *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi tingkat kristalinitas, dan *Scanning Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengidentifikasi komposisi unsur. Adsorpsi monokomponen anion nitrat oleh karbon, KM, dan KMS optimum masing-masing pada pH 7, 9, 9 sedangkan pada CBB ke-3 adsorben tersebut optimum pada pH 7. Waktu kontak optimum karbon, KM, dan KMS dengan anion nitrat masing-masing optimum selama 120, 120, dan 15 menit sedangkan untuk CBB, masing-masing selama 30, 150, dan 120 menit. Data kinetika anion nitrat dan CBB pada adsorben karbon, KM, dan KMS cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dan isoterm adsorpsi cenderung mengikuti model isoterm Freundlich, kecuali CBB terhadap KMS yang cenderung mengikuti model isoterm Langmuir. Kapasitas adsorpsi KMS pada sistem bikomponen cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi CBB. Persen desorpsi tertinggi KMS terhadap anion nitrat dan CBB terjadi pada eluen etanol 40% yang didominasi ikatan hidrogen. Kemampuan penggunaan ulang KMS hingga 3 kali pengulangan lebih baik pada adsorpsi anion nitrat dengan persen penurunan $Q < 1\%$.

Kata kunci: Adsorpsi, karbon, cangkang buah karet, CBB, nitrat, magnetit, APTES.

**MODIFIKASI KARBON DARI CANGKANG BUAH KARET
(*Hevea brasiliensis*) DENGAN MAGNETIT DAN (3-AMINOPROPYL)
TRIETHOXYSILANE (APTES) UNTUK ADSORPSI ANION NITRAT DAN
COOMASSIE BRILLIANT BLUE DALAM LARUTAN**

Oleh

Mhd. Afif Alim Nasution

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Penelitian

: **MODIFIKASI KARBON DARI CANGKANG BUAH KARET (*Hevea brasiliensis*) DENGAN MAGNETIT DAN (3-AMINOPROPYL) TRIETHOXYSILANE (APTES) UNTUK ADSORPSI ANION NITRAT DAN COOMASSIE BRILLIANT BLUE DALAM LARUTAN**

Nama

: **Mhd. Afif Alim Nasution**

NPM

: **1917011066**

Jurusan

: **Kimia**

Fakultas

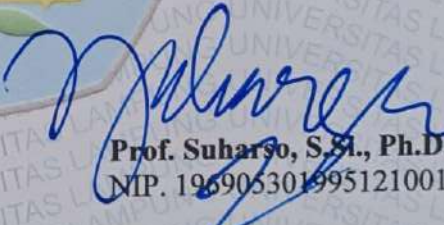
: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. **Komisi Pembimbing**

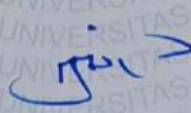

Prof. Dr. Buhani, M.Si.

NIP. 196904161994032003


Prof. Suharso, S.Si., Ph.D.

NIP. 196905301995121001

2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA**

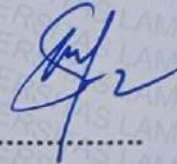

Mulyono, Ph. D.

NIP. 197406112000031002

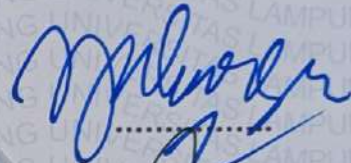
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

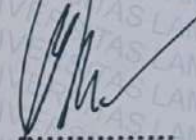
Ketua : Prof. Dr. Buhani, M.Si.



Sekretaris : Prof. Suharso, S.Si., Ph.D.



Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Ing. Heri Satria, M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 5 Juni 2023

**LEMBAR PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mhd. Afif Alim Nasution
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011066
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“Modifikasi Adsorben dari Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) dengan Magnetit dan (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) untuk Adsorpsi Anion Nitrat dan *Coomassie Brilliant Blue* Dalam Larutan”** adalah benar karya saya sendiri dan saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 5 Juni 2023
Yang menyatakan,



Mhd. Afif Alim Nasution
NPM. 1917011066

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada 7 Mei 2001, sebagai anak pertama dari dua bersaudara yang merupakan putra dari Bapak Mhd. Ridjal Nasution dan Ibu Asneti R.

Pada tahun 2013 penulis lulus dari SD Negeri 3 Labuhan Ratu, lalu melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 10 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2016.

Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Kimia Industri SMK-SMTI Bandar Lampung dan berhasil menyelesaikan pendidikan pada tahun 2019 dengan kompetensi keahlian Pemantauan Sistem Pengalir Fluida dan Pengoperasian Peralatan Distilasi oleh BNSP, dan pada tahun yang sama penulis diterima sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Dalam bidang kemahasiswaan, penulis merupakan Anggota Bidang Akademik dan Riset UKM-F Rois FMIPA Unila kepengurusan tahun 2021, bagian dari Himpunan Mahasiswa Kimia FMIPA Unila, dan merupakan *Awardee Smart Scholarship* YMBMRI tahun 2020. Penulis juga merupakan asisten praktikum Kimia Anorganik II pada tahun 2022, asisten praktikum Kimia Anorganik I dan tutor untuk mata kuliah Kimia Anorganik I pada tahun 2023.

Pada periode Januari – Februari 2022 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I di Kelurahan Kangkung, Kota Bandar Lampung, dan pada bulan Juni – Agustus 2022 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan di SBU Laboratorium PT. SUCOFINDO Cabang Bandar Lampung dengan laporan akhir kerja praktik berjudul “Analisis Proksimat dalam Penentuan Kualitas Batubara di

Laboratorium PT SUCOFINDO Bandar Lampung”. Pada tahun 2023 penulis menyelesaikan penelitian tugas akhir yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Unila dengan judul “Modifikasi Karbon dari Cangkang Buah Karet (*Hevea brasilliensis*) dengan Magnetit dan (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) untuk Adsorpsi Anion Nitrat dan *Coomassie Brilliant Blue* Dalam Larutan”.

MOTTO

**Berlelah-lelahlah,
manisnya hidup terasa setelah lelah berjuang**

- Imam Syafii -

**Dan tidak satupun makhluk bergerak (bernyawa) di bumi melainkan
semuanya dijamin Allah rezekinya**

- QS. Hud : 6 -

**What doesn't kill you, makes you stronger
everything happens for a reason
feel the fear and do it anyway
nothing lasts forever
this too shall pass**

- Penulis -

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Atas izin dan ridho Allah SWT yang telah memberikan nikmat, rahmat, dan hidayah-Nya

Kupersembahkan karya sederhana ini sebagai wujud bakti dan terima kasih ku kepada orang yang kukasihi dan kusayangi:

Ibuku Asneti R

Atas segala doa, dukungan, nasihat, dan kasih sayang yang tulus, merawat dan mendidik dengan penuh keikhlasan dan kesabaran.

Adikku M. Khadafi Putra Ansa

Teman dan Sahabatku

Terimakasih atas segala waktu, dukungan, nasihat, dan segala kenangan tak terlupakan yang telah dihabiskan bersamaku selama menjalani perkuliahan.

Dosen Pembimbing Tugas Akhirku

Kepada Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si. terimakasih atas segala arahan, nasihat, kritikan, dan dukungan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

SANWACANA

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga Penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Modifikasi Karbon dari Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) dengan Magnetit dan (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) untuk Adsorpsi Anion Nitrat dan *Coomassie Brilliant Blue* Dalam Larutan”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dengan membaca tulisan ini Penulis berharap dapat membantu pembaca agar dapat mengambil manfaat yang sebesar-besarnya dari tulisan ini. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tulisan ini sepenuhnya tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, pengarahan, kritik, dan saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibuku Asneti R atas segala doa, dukungan, nasihat, dan kasih sayang yang tulus, merawat dan mendidik Penulis dengan penuh keikhlasan dan kesabaran.
2. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, ilmu, nasihat, semangat, motivasi, dan kesabaran kepada Penulis dalam penyelesaian skripsi ini, semoga segala kebaikan dan kemurahan hatinya dibalas oleh Yang Maha Kaya lagi Maha Pemurah.
3. Bapak Prof. Suharso, S.Si., Ph.D., selaku dosen pembimbing II atas segala bimbingan dan ilmu yang diberikan kepada Penulis selama penyelesaian skripsi.

4. Bapak Prof. Drs. Wasinton Simanjuntak, M.Sc., Ph.D., selaku dosen penguji atas segala ilmu, nasihat, kritik, dan saran sehingga Penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan baik.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Yandri A.S., M.S. selaku dosen pembimbing akademik atas segala bimbingan dan nasihat kepada Penulis selama menjalani pendidikan di Jurusan Kimia.
6. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat kepada Penulis selama menjalani perkuliahan.
9. Mba Liza Apriliya, S.Si., selaku PLP Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik atas segala bantuan yang telah diberikan selama Penulis melaksanakan penelitian.
10. Seluruh laboran, staff, dan karyawan FMIPA Universitas Lampung atas semua bantuan yang telah diberikan kepada Penulis selama menjalani perkuliahan.
11. Keluarga besar atas segala doa, dukungan, dan semangat yang telah diberikan kepada Penulis.
12. Teman dan Sahabatku Alyaa Fathia Kesuma, Ayu Paramita, Natasya Nathaniela, Dewa Ayu Putu, Fatur Rohim, Kiky Rizki Nirwana, Ahmad Barep, Alfonsa Maurena, Cici Nurhidayah, Afrilia Anggraini, Novani Aludra, Maudi Cahya, Ify, Nabil, Cindi, Ejak, Hepi, Kipang, Ocha, Kania, dan semua teman-teman yang tak bisa saya sebutkan satu per satu atas segala waktu, dukungan, bantuan, semangat, dan kenangan berharga yang tak terlupakan yang telah diberikan kepada Penulis selama menjalani perkuliahan.
13. Kakak-kakak *adsorption research* 2016, 2017, 2018 dan program magister atas segala bantuan, saran, arahan, kiat-kiat, dan semangat yang telah diberikan kepada Penulis selama menjalani penelitian.

14. Teman-teman Kimia Unila angkatan 2019 atas segala dukungan dan bantuan yang diberikan kepada Penulis selama menjalani perkuliahan.
15. Semua pihak yang telah membantu dan mendoakan Penulis dengan tulus selama proses penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tak luput dari kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Seandainya dalam penulisan skripsi ini ada kekurangan, maka itu adalah bagian dari kelemahan Penulis. Mudah-mudahan melalui kelemahan itulah yang akan membawa kesadaran kita akan kebesaran Tuhan yang Maha Esa. Penulis mengucapkan terima kasih kepada para pembaca yang telah meluangkan waktunya untuk membaca skripsi ini. Penulis berharap pembaca dapat mengambil manfaat yang sebesar-besarnya dari tulisan dalam skripsi ini.

Bandar Lampung, Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Cangkang Buah Karet	6
2.2 Karbon.....	7
2.3 Magnetit	8
2.4 Silanisasi	9
2.5 (3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES)	10
2.6 Karakterisasi.....	11
2.6.1 Spektrofotometer UV-Vis.....	11
2.6.2 X-Ray Diffraction (XRD).....	13
2.6.3 Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)	14
2.6.4 Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR)	14
2.7 Adsorpsi	15
2.8 Kinetika Adsorpsi	18
2.9 Isoterm Adsorpsi	20
2.9.1 Isoterm Adsorpsi Freundlich	21
2.9.2 Isoterm Adsorpsi Langmuir	22

2.9.3 Isoterm Adsorpsi Sistem Bikomponen	23
2.10 Penentuan Nilai Zeta Potensial	24
2.11 <i>Coomassie Brilliant Blue</i> (CBB)	25
2.12 Anion Nitrat (NO_3^-).....	25
III. METODE PENELITIAN	27
3.1 Waktu dan Tempat	27
3.2 Alat dan Bahan.....	27
3.3 Prosedur Penelitian.....	28
3.3.1 Preparasi dan Pembuatan Karbon	28
3.3.2 Modifikasi Karbon dengan Magnetit	28
3.3.3 Modifikasi Karbon Magnetit dengan (3- <i>Aminopropyl</i>)- <i>triethoxysilane</i> (APTES).....	29
3.3.4 Karakterisasi	29
3.3.5 Penentuan Nilai Zeta Potensial	29
3.3.6 Uji Adsorpsi Monokomponen	29
3.3.7 Uji Adsorpsi Bikomponen	31
3.3.8 Mekanisme Adsorpsi	32
3.3.9 Uji Penggunaan Ulang Adsorben	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Preparasi dan Pembuatan Karbon	34
4.2 Modifikasi Karbon dengan Magnetit dan (3- <i>Aminopropyl</i>)- <i>triethoxysilane</i> (APTES).....	35
4.3 Karakterisasi.....	36
4.3.1 Karakterisasi dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	36
4.3.2 Karakterisasi dengan Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	37
4.3.3 Karakterisasi dengan <i>Scanning Electron Microscopy with Energy</i> <i>Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX).....	38
4.4 Penentuan Nilai Zeta Potensial	40
4.5 Uji Adsorpsi Monokomponen.....	41
4.5.1 Penentuan pH Optimum.....	42

4.5.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	44
4.5.3 Penentuan Konsentrasi Optimum	48
4.6 Uji Adsorpsi Bikomponen	51
4.7 Mekanisme Adsorpsi.....	53
4.8 Uji Penggunaan Ulang	55
V. KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema silanisasi APTES pada permukaan molekul.....	10
2. Struktur (3-Aminopropyl)-triethoxysilane	11
3. Perbedaan adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika	17
4. Model isoterm adsorpsi Freundlich	21
5. Model isoterm adsorpsi Langmuir	23
6. Struktur zat warna <i>coomassie brilliant blue</i>	25
7. Hasil tahap preparasi dan karbonasi (a) cangkang buah karet, (b) karbon cangkang buah karet, (c) karbon cangkang buah karet halus	34
8. Hasil modifikasi (a) adsorben KM dan (b) adsorben KMS.....	35
9. Difraktogram XRD adsorben karbon, KM, dan KMS.	36
10. Spektrum FTIR dari adsorben karbon, KM, dan KMS.....	37
11. Hasil SEM dengan perbesaran 3000× pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	38
12. Hasil EDX pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	40
13. Kurva nilai pH PZC adsorben karbon, KM, dan KMS.....	41
14. Kurva pengaruh pH pada adsorpsi (a) anion nitrat, dan (b) CBB.....	43
15. Kurva pengaruh variasi waktu kontak pada adsorpsi (a) anion nitrat, dan (b) CBB.....	45
16. Kurva kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon, KM, dan KMS terhadap CBB	46
17. Kurva kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon, KM, dan KMS terhadap anion nitrat dan CBB.....	47
18. Kurva pengaruh konsentrasi pada adsorpsi (a) anion nitrat dan (b) CBB	48

19. Pola isoterm Langmuir adsorben karbon, KM, dan KMS terhadap anion nitrat dan CBB	49
20. Pola isotherm Freundlich adsorben karbon, KM, dan KMS terhadap anion nitrat dan CBB	49
21. Kurva pengaruh konsentrasi adsorpsi larutan bikomponen anion nitrat dan CBB pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	51
22. Grafik persen desorpsi (a) nitrat dan (b) CBB pada adsorben KMS	54
23. Grafik hasil penggunaan ulang adsorben KMS pada adsorpsi anion nitrat dan CBB	55
24. Penentuan panjang gelombang maksimum pada (a) anion nitrat dan (b) CBB	72
25. Kurva standar (a) anion nitrat, dan (b) CBB untuk variasi pH	73
26. Kurva standar (a) anion nitrat, dan (b) CBB untuk variasi waktu	76
27. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon terhadap CBB	79
28. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben KM terhadap CBB.....	80
29. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben KMS terhadap CBB	82
30. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon terhadap anion nitrat dan CBB	83
31. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben KM terhadap anion nitrat dan CBB	85
32. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben KMS terhadap anion nitrat dan CBB	86
33. Kurva standar (a) anion nitrat, dan (b) CBB pada variasi konsentrasi	87
34. Pola isoterm Langmuir adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben karbon	90
35. Pola isoterm Langmuir adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben KM..	91
36. Pola isoterm Langmuir adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben KMS	92
37. Pola isoterm Freundlich adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben karbon	94
38. Pola isoterm Freundlich adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben KM	95

39. Pola isoterm Freundlich adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben KMS	96
40. Kurva standar bikomponen (a) anion nitrat, dan (b) CBB	98
41. Kurva standar mekanisme adsorpsi (a) anion nitrat dan (b) CBB	101
42. Kurva standar uji penggunaan ulang (a) anion nitrat dan (b) CBB	105
43. Penentuan pH PZC dengan variasi pH 3-12 pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	108
44. Adsorpsi anion nitrat dengan variasi pH pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	108
45. Adsorpsi CBB dengan variasi pH pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	109
46. Adsorpsi anion nitrat dengan variasi waktu pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	109
47. Adsorpsi CBB dengan variasi waktu pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	110
48. Adsorpsi anion nitrat dengan variasi konsentrasi pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	111
49. Adsorpsi CBB dengan variasi konsentrasi pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	111
50. Adsorpsi bikomponen anion nitrat dan CBB dengan variasi konsentrasi pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS	112
51. Mekanisme adsorpsi (a) anion nitrat dan (b) CBB pada adsorben KMS dengan variasi eluen	112
52. Uji penggunaan ulang (a) anion nitrat dan (b) CBB pada adsorben KMS hingga 3 kali pengulangan.	112

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi zat kimia cangkang buah karet.....	6
2. Serapan infra merah gugus fungsi senyawa organik.....	15
3. Parameter kinetika adsorpsi anion nitrat dan CBB terhadap adsorben karbon, KM, dan KMS	47
4. Parameter isoterm adsorpsi adsorben pada anion nitrat dan CBB	50
5. Parameter isoterm adsorpsi dua komponen.....	52
6. Data pH PZC adsorben karbon, KM, dan KMS.....	71
7. Data absorbansi larutan standar anion nitrat dan CBB untuk variasi pH.....	73
8. Adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben karbon dengan variasi pH	74
9. Adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben KM dengan variasi pH.....	74
10. Adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben KMS dengan variasi pH	75
11. Data absorbansi larutan anion nitrat dan CBB untuk variasi waktu	76
12. Adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben karbon dengan variasi waktu.....	77
13. Adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben KM dengan variasi waktu....	77
14. Adsorpsi nitrat dan CBB pada adsorben KMS dengan variasi waktu	77
15. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon terhadap anion nitrat	78
16. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon terhadap CBB.....	78
17. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KM terhadap anion nitrat	80
18. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KM terhadap CBB.....	80

19. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KMS terhadap anion nitrat	81
20. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KMS terhadap CBB	81
21. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon terhadap anion nitrat	83
22. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon terhadap CBB	83
23. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KM terhadap anion nitrat	84
24. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KM terhadap CBB.....	84
25. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KMS terhadap anion nitrat	85
26. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KMS terhadap CBB	86
27. Data absorbansi larutan anion nitrat dan CBB untuk variasi konsentrasi.....	87
28. Adsorpsi anion nitrat pada adsorben dengan variasi konsentrasi	88
29. Adsorpsi zat warna CBB pada adsorben dengan variasi konsentrasi	88
30. Data perhitungan isoterm adsorpsi anion nitrat pada adsorben karbon dengan persamaan Langmuir	89
31. Data perhitungan isoterm adsorpsi CBB pada adsorben karbon dengan persamaan Langmuir	89
32. Data perhitungan isoterm adsorpsi anion nitrat pada adsorben KM dengan persamaan Langmuir	90
33. Data perhitungan isoterm adsorpsi CBB pada adsorben KM dengan persamaan Langmuir	91
34. Data perhitungan isoterm adsorpsi anion nitrat pada adsorben KMS dengan persamaan Langmuir	92
35. Data perhitungan isoterm adsorpsi CBB pada adsorben KMS dengan persamaan Langmuir	92

36. Data perhitungan isoterm adsorpsi anion nitrat pada adsorben karbon dengan persamaan Freundlich	93
37. Data perhitungan isoterm adsorpsi CBB pada adsorben karbon dengan persamaan Freundlich	93
38. Data perhitungan isoterm adsorpsi anion nitrat pada adsorben KM dengan persamaan Freundlich	94
39. Data perhitungan isoterm adsorpsi CBB pada adsorben KM dengan persamaan Freundlich	95
40. Data perhitungan isoterm adsorpsi anion nitrat pada adsorben KMS dengan persamaan Freundlich	96
41. Data perhitungan isoterm adsorpsi CBB pada adsorben KMS dengan persamaan Freundlich	96
42. Data absorbansi anion nitrat dan CBB untuk bikomponen.....	98
43. Adsorpsi bikomponen anion nitrat pada adsorben KMS	99
44. Adsorpsi bikomponen CBB pada adsorben karbon, KM, dan KMS	99
45. Perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir biner adsorben KMS.....	100
46. Data perhitungan SPSS dengan persamaan Langmuir biner pada adsorben KMS	100
47. Data absorbansi larutan standar mekanisme adsorpsi.....	101
48. Data perhitungan jumlah anion nitrat yang terdesorpsi pada adsorben KMS.....	102
49. Data perhitungan jumlah CBB yang terdesorpsi pada adsorben KMS.....	103
50. Data absorbansi larutan standar uji penggunaan ulang.....	105
51. Data perhitungan jumlah adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben KMS pada uji penggunaan ulang.....	106

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selama beberapa dekade terakhir, kegiatan perluasan lahan pertanian, industrialisasi dan urbanisasi telah menyebabkan kenaikan penggunaan air dan beragam bahan kimia berbahaya. Laju perkembangan yang cepat ini telah menyebabkan dampak buruk terhadap lingkungan termasuk pencemaran air (Bhavyasree *and* Xavier, 2021; Moosavi *et al.*, 2020). Sebagai contoh di bidang pertanian, dimana meluasnya penggunaan pupuk yang mengandung ion nitrat dan fakta dimana sekitar 40-70% dari nitrogen yang diaplikasikan ke pupuk normal hilang ke lingkungan dan tidak dapat diserap oleh tanaman. Hal ini berdampak pada meningkatnya kadar ion nitrat yang menyebabkan pencemaran lingkungan (Hanafi *and* Azeema, 2016; Syafaat *et al.*, 2013).

Selain penggunaan pupuk pertanian, oksidasi air limbah yang mengandung amonia juga dapat menjadi sumber pencemaran nitrat ke lingkungan (El-Lateef *et al.*, 2022). Sumber air dan makanan yang telah tercemari oleh nitrat dapat menyebabkan methemoglobinemia pada anak dan menyebabkan keterbelakangan mental apabila anak tersebut bertahan hidup. Di dalam tubuh, nitrat dapat direduksi menjadi ion nitrit (NO_2^-) yang selanjutnya akan bereaksi dengan amina menghasilkan nitrosamin yang bersifat karsinogenik (Moshoeshoe *and* Obuseng, 2018).

Konsentrasi ion nitrat yang berlebihan pada suatu badan air juga dapat menjadi penyebab terjadinya *algae bloom*. Banyaknya alga yang disebabkan oleh kehadiran nitrat akan berdampak pada tingginya konsumsi oksigen terlarut di dalam air. Kadar oksigen terlarut dalam air yang berkurang secara drastis menyebabkan kematian tumbuhan dan hewan air. Tumbuhan dan hewan yang

mati membusuk akan berdampak pada penurunan kualitas air (Isiuku *and* Christian, 2020). Oleh karena itu, keperluan konsumsi sehari-hari nitrat dalam air tidak boleh lebih dari 10 mg/L (Herlianti *et al.*, 2016) dan 0,008 mg/L untuk kepentingan biota laut (Putri dkk, 2019).

Selain pencemaran yang disebabkan oleh anion anorganik, menurut Iwuozor *et al.* (2021), sektor industri tekstil merupakan salah satu sektor yang menyumbang limbah di lingkungan perairan. Meskipun perkembangan industri tekstil di Indonesia memberikan dampak positif seperti mampu menyerap lapangan pekerjaan hingga 1,5 juta pekerja dengan pendapatan sebesar Rp138,76 triliun pada tahun 2014 (Apriliyanto dan Rusdarti, 2018), industri tekstil memberikan dampak negatif yang sangat merugikan bagi lingkungan disebabkan oleh limbah zat warna. Hal tersebut didukung dengan data dimana diperkirakan industri tekstil mengkonsumsi sekitar 60% dari total pewarna yang diproduksi, dan sekitar 10-15% perwarna tersebut keluar sebagai limbah (Çelekli *and* Bozkurt, 2013). Keberadaan zat warna bahkan dengan konsentrasi sangat rendah di dalam air dapat mengurangi penetrasi cahaya melalui permukaan air sehingga menghambat fotosintesis tumbuhan akuatik. Banyak dari pewarna ini bersifat karsinogenik, mutagenik, teratogenik, dan beracun bagi manusia, spesies ikan, dan mikroorganisme (Abdel-ghani *et al.*, 2017).

Salah satu zat warna yang dapat menyebabkan efek mutagenik dan teratogenik pada makhluk hidup berasal dari golongan trifenil metana (Priya *et al.*, 2018). Salah satu zat warna yang mengandung senyawa trifenil metana adalah zat warna *Coomassie Brilliant Blue* (CBB) (Ibrahim *et al.*, 2019). Paparan CBB dapat menyebabkan iritasi mata dan iritasi saluran pencernaan pada makhluk hidup (Thamer *et al.*, 2019), sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi dampak negatif daripada zat warna dan anion tersebut terhadap makhluk hidup dan lingkungan.

Adanya limbah zat warna yang masuk ke wilayah perairan akan membentuk struktur kimia yang lebih kompleks sehingga menyebabkan zat warna sulit terurai di dalam air (Buhani *et al.*, 2019). Selain itu anion nitrat juga merupakan ion yang stabil dan sangat larut dalam air. Sehingga, metode pengolahan air secara

tradisional seperti pelunakan dengan kapur dan penyaringan sulit digunakan untuk menghilangkan nitrat dari air (Adawiah dkk, 2021). Namun penanganan limbah-limbah tersebut dapat dilakukan dengan cara adsorpsi (Pohan dkk, 2016). Metode adsorpsi merupakan metode yang paling baik untuk digunakan karena lebih efisien, prosesnya yang murah, metode yang sederhana, tidak menimbulkan efek samping, sehingga aman bagi lingkungan (Buhani *et al.*, 2019). Metode adsorpsi merupakan metode sederhana yang melibatkan pergerakan partikel padatan dari cairan yang akan diadsorpsi ke permukaan adsorben (Dutta *et al.*, 2021).

Adsorben yang baik memiliki karakteristik antara lain tidak larut dalam air dan pelarut organik, luas permukaan spesifik yang besar, kapasitas adsorpsi yang tinggi, dan dapat digunakan berulang kali dan selektif terhadap adsorbat (Buhani dkk, 2017).

Berbagai adsorben telah digunakan oleh beberapa peneliti terdahulu, salah satunya adalah karbon (Pohan dkk, 2016). Karbon dapat dibuat dari hampir semua bahan yang mengandung karbon. Salah satunya adalah dari tumbuhan, khususnya yang mengandung lignin atau zat kayu seperti batang pohon atau bagian tumbuhan yang lain yang mengandung lignin seperti cangkang buah karet yang mengandung lignin sebesar 33,54%. Sementara itu cangkang buah karet merupakan bahan yang selama ini dikenal kurang bermanfaat. Karena itulah cangkang buah karet dapat ditingkatkan nilai gunanya dengan dimanfaatkan untuk diolah menjadi adsorben karbon (Meilianti, 2017; Zulfadhli dan Iriany, 2017).

Sangat besarnya kapasitas adsorpsi pori-pori atau sisi aktif pada karbon membuat karbon banyak digunakan sebagai adsorben. Namun, pada prosesnya sangat sulit memisahkan adsorben dari adsorbat dalam bentuk larutan disebabkan berat molekul ringan yang dimiliki karbon. Untuk itu perlu dilakukan modifikasi lebih lanjut pada karbon untuk meningkatkan performanya sebagai adsorben, salah satunya dengan cara melapisi permukaan karbon menggunakan partikel magnetit agar proses pemisahan adsorben dari adsorbat menjadi lebih mudah disebabkan berat molekul karbon yang dimodifikasi magnetit akan lebih besar dibandingkan dengan karbon yang tidak dimodifikasi magnetit (Buhani *et al.*, 2013).

Dalam prosesnya pelapisan magnetit pada karbon masih memiliki kelemahan karena menyebabkan terjadinya pemblokiran pori karbon sehingga jumlah pori yang terdapat dalam karbon mengalami pengurangan. Jumlah pori yang berkurang menyebabkan sisi permukaan yang aktif menyerap partikel padatan juga ikut berkurang. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi lebih lanjut terhadap karbon magnetit melalui proses silanisasi dengan organosilan (*3-Aminopropyl*)-*triethoxysilane* (APTES) (Wong *et al.*, 2015). Dua gugus aktif yang berbeda pada organosilan menyebabkan organosilan memiliki sifat sebagai agen penggandeng sehingga mampu membentuk ikatan kimia antara material organik dan anorganik (Huang dan Hu, 2008). Setelah proses pelapisan magnetit, APTES membentuk gugus silanol dan siloksan yang diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon terhadap zat warna CBB dan anion nitrat (Liu *et al.*, 2013).

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi karbon dari cangkang buah karet dengan magnetit dan (*3-Aminopropyl*)-*triethoxysilane* (APTES) sebagai adsorben zat warna *Coomassie Brilliant Blue* (CBB) dan anion nitrat. Adsorben karbon yang telah termodifikasi akan dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan adsorben dan komposisi unsur yang terkandung dalam adsorben, XRD untuk mengetahui tingkat kristalinitas adsorben karbon, dan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dalam adsorben karbon. Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi adsorben karbon dari cangkang buah karet termodifikasi terhadap zat warna CBB dan anion nitrat.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan adsorben karbon dari cangkang buah karet yang dimodifikasi magnetit-silanisasi APTES.
2. Mengkarakterisasi adsorben karbon dari cangkang buah karet yang dimodifikasi magnetit-silanisasi APTES.

3. Menentukan pH, waktu kontak, dan konsentrasi optimum dari anion nitrat dan CBB terhadap adsorben karbon dari cangkang buah karet termodifikasi.
4. Menentukan model kinetika dan isoterm adsorpsi anion nitrat dan CBB oleh adsorben karbon dari cangkang buah karet termodifikasi.
5. Mengetahui kemampuan penggunaan ulang adsorben karbon dari cangkang buah karet termodifikasi terhadap adsorpsi anion nitrat dan CBB.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai proses sintesis dan modifikasi adsorben karbon dari cangkang buah karet dengan metode magnetit-silanisasi APTES dan kapasitasnya dalam mengadsorpsi anion nitrat dan CBB.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cangkang Buah Karet

Karet (*Hevea brasiliensis*) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang cukup berkembang di Indonesia. Pemanfaatan karet utamanya berfokus pada getahnya saja, sedangkan untuk buah dan cangkangnya yang tersusun atas 33-54% lignin belum dimanfaatkan secara optimal bahkan menjadi limbah yang tidak memiliki nilai jual (Fadillah *and* Alfiarty, 2015; Pandia *et al.*, 2018). Selain pemanfaatannya yang masih kurang optimal, jika dibandingkan dengan bagian buah lainnya, bagian cangkang termasuk bagian yang mengandung lignin yang cukup banyak, sehingga bagian ini cukup potensial untuk diolah menjadi karbon aktif (Ekebafé *et al.*, 2012). Komponen penyusun cangkang buah karet menurut Ikhwanuddin (2018) disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komponen penyusun cangkang buah karet

Komponen Penyusun	Persentase (%)
Selulosa	48,64
Lignin	33,54
Pentosan	16,81
Silika	0,52
Air	14,30
Abu	0,10
Serat dan berbagai senyawa karbon	85,60

2.2 Karbon

Karbon merupakan suatu material yang apabila didasarkan pada sifat fisika dan kimianya memiliki berbagai keunggulan seperti tidak berbahaya, kapasitas volumetrik dan refersibel tinggi, stabil, murah, dan mudah dikompositkan. Hal ini menjadikan karbon sebagai material dengan aplikasi yang luas. Adapun aplikasi karbon sangat bergantung pada morfologi karbon. Karbon menjadi salah satu material yang memiliki beragam morfologi yang mana salah satunya adalah karbon aktif. Perbedaan morfologi karbon akan berakibat pada luasnya aplikasi dari karbon tersebut salah satunya adalah morfologi karbon berpori yang diaplikasikan sebagai adsorben (Rahman *et al.*, 2015). Karbon merupakan salah satu adsorben yang paling banyak digunakan (Alcaraz *et al.*, 2018). Karbon digunakan sebagai adsorben karena memiliki permukaan yang luas, kapabilitas adsorpsi yang tinggi, mudah digunakan, dan memiliki biaya operasional yang relatif murah (Buhani *et al.*, 2018). Konsep *zero waste* dalam pemanfaatan limbah agro industri untuk mengurangi limbah bahan kimia beracun dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam penggunaan karbon sebagai adsorben (Ozbay and Yargic, 2015).

Karbon dengan luas permukaan yang sangat besar hingga $2800 \text{ m}^2/\text{g}$ atau karbon yang disintesis dengan pelapisan magnetit, banyak diteliti kegunaannya sebagai adsorben untuk menghilangkan ion nitrat dalam air (Hanafi and Azeema, 2016; Kalantary *et al.*, 2015). Karbon juga termasuk adsorben yang berhasil digunakan untuk menghilangkan pewarna pada larutan berair. Luas permukaan spesifik yang dimiliki oleh adsorben karbon menjadikannya sebagai alternatif bahan yang paling banyak digunakan untuk proses adsorpsi dalam sistem pengolahan air limbah industri (Singh and Balomajumder, 2016). Namun keterbatasan karbon dalam regenerasi untuk penggunaan berulang, keterbatasan pemisahan produk samping yang tersisa (Calvete *et al.*, 2010), dan waktu sentrifugasi yang lama disebabkan berat molekul karbon yang ringan menjadi dasar perlunya dilakukan peningkatan kualitas karbon. Peningkatan kualitas karbon dengan karakter yang lebih spesifik diperlukan seiring dengan bertambahnya jumlah dan jenis limbah yang terdapat di lingkungan untuk meningkatkan efektifitas adsorpsi (Buhani *et*

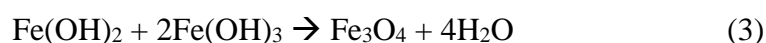
al., 2019) Salah satunya adalah dengan melakukan pelapisan magnetit dengan Fe_3O_4 . Sifat magnetik pada karbon akan mempermudah proses pemisahan adsorbat dalam pada ruang (Wong *et al.*, 2016). Selain itu adsorpsi ion juga tidak hanya bergantung pada luas permukaan spesifik dari adsorben tetapi juga bergantung pada adanya gugus aktif pada permukaan adsorben (Gierak *and* Iwona, 2017).

Penggunaan bahan awal yang tidak terbarukan dan relatif mahal menjadikan karbon yang tersedia secara komersial saat ini termasuk jenis bahan yang mahal di berbagai negara. Hal tersebut menjadikan berbagai produk sisa sampingan industri dari sumber alam dijadikan inovasi terbarukan, salah satunya adalah cangkang buah karet (Khuluk *et al.*, 2019). Tahapan pembuatan karbon menurut Pujiyanto (2010) terdiri atas beberapa langkah mulai dari pemilihan material awal, dehidrasi, karbonisasi, hingga aktivasi. Proses karbonisasi merupakan proses pembentukan karbon dari bahan baku melalui pemanasan pada suhu $400\text{-}600^\circ\text{C}$, sedangkan aktivasi merupakan proses perubahan karbon dari daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi (Dewi, 2020). Menurut Desi *et al.* (2015). Suhu pemanasan 600°C merupakan terbaik untuk membuat karbon dari bahan baku cangkang buah karet.

2.3 Magnetit

Magnetit (Fe_3O_4) merupakan suatu partikel superparamagnetik yang dapat digunakan untuk memodifikasi karbon untuk meningkatkan kemampuannya sebagai suatu adsorben (Zulaicha *et al.*, 2021). Modifikasi magnetit pada karbon diperlukan karena berat molekul karbon yang ringan membuat keterbatasan proses pemisahan dan regenerasi karbon untuk penggunaan ulang (Calvete *et al.*, 2010). Komposit magnetit Fe_3O_4 – karbon aktif memiliki dua sifat yaitu kemampuan untuk menyerap dari karbon aktif dan kemampuan untuk merespon medan magnet, sehingga memudahkan proses pemisahan adsorben-adsorbat (Lestari *et al.*, 2020). Sifat magnetik pada karbon akan mempermudah proses pemisahan adsorbat dalam suhu ruang (Wong *et al.*, 2016). Magnetit Fe_3O_4 dapat dihasilkan

dari campuran $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dalam suasana basa (Lee *et al.*, 2004). Menurut Petcharoen *and* Sirivat (2012), proses pembentukan magnetit dapat dijelaskan berdasarkan persamaan reaksi berikut:

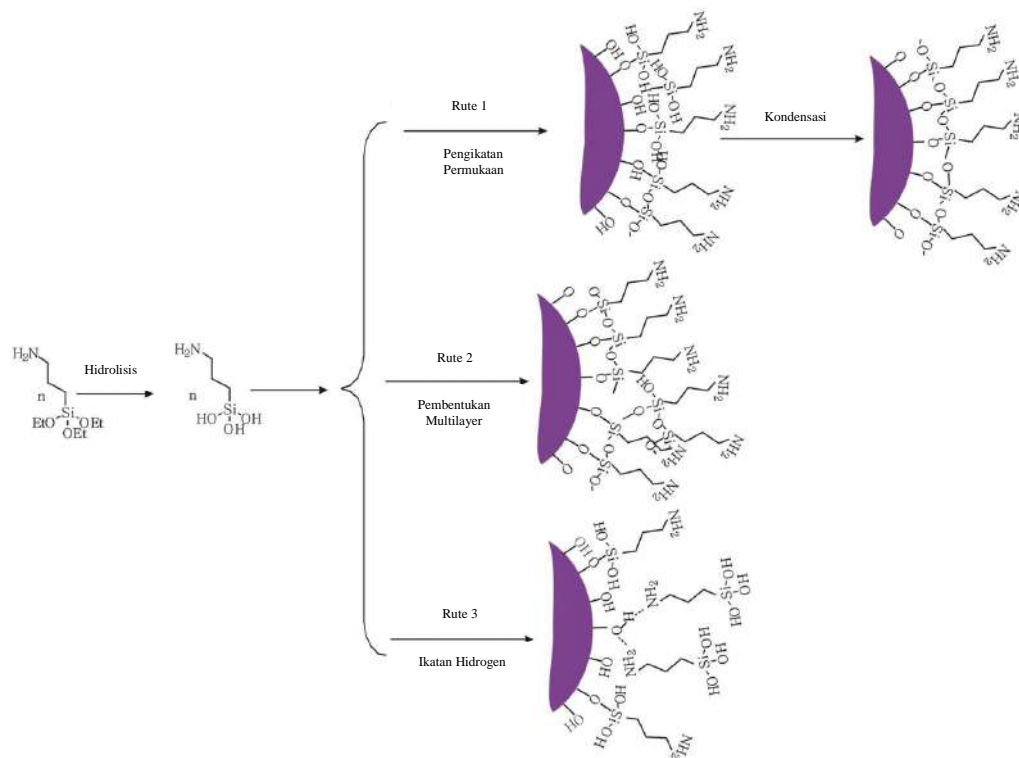


Adsorben magnetit yang disintesis dengan menggabungkan agen magnetit Fe_3O_4 dan adsorben meningkatkan kemudahan pemisahan adsorben dari larutan berair (Kalantary *et al.*, 2015), meningkatkan laju dan kapasitas adsorpsi terhadap adsorbat (Buhani *et al.*, 2017), dan menghasilkan karbon yang stabil dalam kondisi asam (Li *et al.*, 2015).

2.4 Silanisasi

Adsorpsi ion tidak hanya bergantung pada luas permukaan spesifik pada adsorben tetapi juga bergantung pada adanya gugus aktif pada permukaan adsorben (Gierak *and* Iwona, 2017). Sifat non spesifik adsorben karbon dalam mengadsorpsi juga menyebabkan kapasitas dan selektivitas adsorpsi menjadi rendah, waktu kesetimbangan relatif lama, dan kurang stabil secara termal (Pérez-Quintanilla *et al.*, 2007). Hal ini menjadi dasar pentingnya penambahan gugus aktif tertentu pada permukaan adsorben, salah satunya dengan memodifikasi permukaan adsorben menggunakan agen silan. Modifikasi permukaan adsorben dengan menggunakan agen silan atau silanisasi dilakukan sebagai upaya untuk mendapatkan kekuatan pelekatan yang maksimal melalui pengembangan ikatan kimiawi menggunakan agen silan sebagai *coupling agent* atau agen penggandeng (Britton, 1990). Silanisasi dapat dilakukan dengan penambahan gugus fungsional organik secara langsung maupun menggunakan perantara suatu senyawa organosilan. Peningkatan kemampuan adsorpsi dari adsorben didapatkan setelah dilakukan modifikasi menggunakan organosilan (Buhani *et al.*, 2010). Urutan silanisasi secara umum diawali dengan hidrolisis gugus trietoksil menjadi gugus

trihidroksil dan kemudian terjadi polikondensasi gugus hidroksil pada permukaan magnetit. Contoh skema silanisasi dapat dilihat pada Gambar 1.



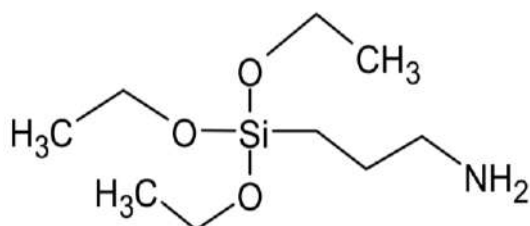
Gambar 1. Skema silanisasi APTES pada permukaan molekul (Liu *et al.*, 2013)

Gunda *et al.* (2014) menjelaskan beberapa faktor yang mempengaruhi proses silanisasi diantaranya adalah konsentrasi silan, waktu silanisasi, suhu larutan, dan kelembaban.

2.5 (3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES)

(3-Aminopropyl)-triethoxysilane atau disingkat sebagai APTES merupakan suatu senyawa organosilan dengan rumus kimia $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$. Senyawa ini mempunyai berat molekul 221,37 g/mol dan termasuk senyawa yang mudah larut dalam larutan air untuk mengurangi agregasi partikel, ikatan non-spesifik, dan membuat partikel menjadi lebih stabil dalam suspensi. Senyawa ini dapat berikatan dengan logam oksida melalui adsorpsi atau ikatan kovalen sehingga dapat digunakan untuk memodifikasi karbon magnetit (Ngouangna *et al.*, 2020; Yamaura *et al.*, 2004). APTES menunjukkan interaksi yang signifikan dengan

adsorben karena adanya bagian sililasi, yang memungkinkan adanya ikatan kovalen antara APTES dan adsorben (Ribeiro *et al.*, 2019) dan menguntungkan untuk perlekatan kovalen gugus fungsi (Arifin *et al.*, 2019). Berdasarkan hal ini, APTES telah diteliti secara progresif untuk mendapatkan kapasitas serapan yang tinggi dan stabilitas pada adsorben padat (Sim *and* Ruhaimi, 2022). Berikut struktur APTES dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (Metwalli *et al.*, 2006)

Dua gugus aktif berbeda yang terikat pada atom silika dalam molekul APTES membuatnya dapat membentuk ikatan kimia antar molekul organik dan anorganik (Huang *and* Hu, 2008), dan mudah bereaksi dengan suatu senyawa yang lebih cenderung bersifat anion, kation, maupun netral (Munguía-Cortés *et al.*, 2017).

2.6 Karakterisasi

Karakterisasi dilakukan untuk mendapatkan informasi yang diperlukan dari sampel yang diuji demi menunjang proses penelitian.

2.6.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis bekerja berdasarkan prinsip apabila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap (I), sebagian dipantulkan (I_r), dan sebagian lagi diteruskan (I_t). Rumus tersebut diaplikasikan dalam pengukuran kuantitatif dengan cara dibandingkan dengan kurva kalibrasi dari hubungan konsentrasi deret larutan alat untuk analisa suatu unsur yang berkadar rendah baik secara kuantitatif maupun secara kualitatif

pada penentuan secara kualitatif berdasarkan puncak-puncak yang dihasilkan spektrum dari suatu unsur tertentu pada panjang gelombang tertentu, sedangkan penentuan secara kuantitatif berdasarkan nilai absorbansi yang dihasilkan dari spektrum dengan adanya senyawa pengompleks sesuai unsur yang dianalisisnya. Adapun yang melandasi pengukuran spektrofotometer ini dalam penggunaannya adalah hukum Lambert-Beer yaitu bila suatu cahaya monokromatis dilewatkan melalui suatu media yang transparan, maka intensitas cahaya yang ditransmisikan sebanding dengan tebal dan kepekaan media larutan yang digunakan seperti ditunjukkan pada Persamaan 4 dan 5 berikut (Yanlinastuti dan Syamsul, 2016).

$$A = \log I/I_0 \text{ atau } A = a.b.c \quad (4)$$

Dimana:

- A = absorbansi
- a = koefisien serapan molar
- b = tebal media cuplikan yang dilewati sinar
- c = konsentrasi unsur dalam larutan cuplikan
- I_0 = intensitas sinar mula-mula
- I = intensitas sinar yang diteruskan

$$Y = ax + b \quad (5)$$

Dimana:

- Y = absorbansi
- a = konstanta
- x = konsentrasi
- b = kemiringan/slope

Spektroskopi UV-Vis memanfaatkan spektroskopi serapan dalam cahaya UV dan cahaya tampak dengan rentang panjang gelombang 180-380 nm dan 380-750 nm. Spektroskopi UV-Vis merupakan teknik dasar dalam mengkarakterisasi analit, dimana kromofor yang menyerap sinar UV maupun sinar tampak akan tereksitasi dari tingkat energi rendah (*ground state*) ke tingkat energi tereksitasi (*excited state*) dan memberikan spektrum untuk identifikasi analit (Rakhee *et al.*, 2018).

2.6.2 X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi dengan menggunakan difraksi sinar-X dilakukan untuk membandingkan pola difraksi antara karbon magnetit dan karbon magnetit silan sehingga dapat diketahui apakah modifikasi adsorben karbon dengan pelapisan magnetit dan magnetit silan berhasil atau tidak. Difraksi sinar-X merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi cuplikan berupa kristal dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut akan memberikan interferensi yang konstruktif (Lukman, 2010). Hasil yang diperoleh dari analisis ini adalah intensitas relatif (I) dan sudut hamburan (2θ). Hamburan sinar-X berasal dari atom-atom yang membentuk bidang kisi kristal dari cuplikan yang diamati (Ghozali dkk., 2012).

Menurut Lukman (2010), dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan pada persamaan Bragg berikut.

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta; \quad n = 1, 2, \dots \quad (6)$$

Dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat atau orde pembiasan.

Berdasarkan penelitian Buhani *et al.* (2020) adsorben karbon cenderung menunjukkan pola difraktogram yang menunjukkan puncak asimetris yang luas dan bentuk amorf yang khas, sementara itu nanokristal Fe_3O_4 yang terdapat pada adsorben yang terlapis magnetit akan tampak dengan adanya puncak difraksi pada sekitar daerah 35° dan 62° .

2.6.3 Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan instrumen berjenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan profil permukaan benda. Dengan dipadukan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDX) yang digunakan untuk observasi, karakterisasi struktur terkecil benda-benda padat dari material organik maupun anorganik yang heterogen. SEM-EDX dapat digunakan untuk melihat permukaan bahan dengan skala mikrometer sampai dengan submikrometer menggunakan sumber medan emisi dan mempunyai resolusi gambar 1,5 nm, serta dapat menentukan sifat bahan yang diuji baik sifat kimia, fisik ataupun mekanis yang dapat mempengaruhi kualitas produk yang diuji, sehingga dapat mengembangkan produk tersebut dengan informasi ukuran partikel dari mikro struktur yang terbentuk dan komposisi unsur yang ada didalamnya (Abdullah dan Khairurrijal, 2009).

Jenis atom dan oksida atom pada permukaan material dapat dikenali dengan menggunakan EDX. Elektron berenergi tinggi yang ditembakkan pada mata atom dalam senyawa mampu menumbuk elektron kulit terdalam pada suatu atom. Tumbukan yang menyebabkan elektron yang dengan energi lebih rendah akan terpental dan meninggalkan kekosongan pada kulit tersebut. Selanjutnya elektron pada kulit yang lebih tinggi akan menempati kekosongan elektron sebelumnya. Proses pengisian elektron akan disertai dengan pelepasan energi dalam bentuk radiasi sinar X yang spesifik dari unsur yang dianalisis. Hasil yang diperoleh berupa gambar dan persentase komponen material sampel. Analisis menggunakan EDX hanya menunjukkan konstituen-konstituen unsur yang terdapat dalam adsorben atau bersifat semi kuantitatif (Buhani *et al.*, 2018).

2.6.4 Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Nilai bilangan gelombang dari suatu sampel merupakan dasar untuk mengetahui gugus atau jenis ikatan dari suatu senyawa menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Noor *et al.*, 2016). Spektrofotometer FTIR mampu menganalisis

suatu material baik secara keseluruhan, lapisan tipis, cairan, padatan, pasta, serbuk, serat, dan bentuk yang lainnya dari suatu material. Aplikasi spektrofotometer FTIR sangat luas baik untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif (Fernandez *and* Rio, 2011).

Pancaran infra merah pada umumnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnetik yang terletak di antara daerah tampak dan daerah gelombang mikro. Sebagian besar kegunaannya terbatas di daerah antara 4000 cm^{-1} dan 666 cm^{-1} ($2,5\text{-}15,0\ \mu\text{m}$) (Silverstain *and* Bassler, 1967). Jika suatu molekul menyerap sinar infra merah, maka molekul itu akan mengalami perubahan tingkat energi vibrasi. Menurut Ikhwanuddin (2018) gugus fungsi yang terdeteksi dari suatu molekul memiliki panjang gelombang yang identik untuk masing-masing gugus fungsi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Serapan infra merah gugus fungsi senyawa organik.

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Gugus fungsi	Nama gugus fungsi
3603	O-H	Hidroksil
3437	N-H	Amina
3051	O-H	Asam karboksilat
2881	C-H	Alkana
2322	O=C=O	Karbon dioksida
1789	C=O	Asam karboksilat
1593	N-O	Komponen nitro
1249	C-O	Alkil, Aril, dan Eter
1048	Si-O-Si	Siloksan
975	C=C	Alkena
584	Fe-O-Si	Silika magnetit
570	Fe-O	Oksida besi

2.7 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses penjerapan yang didasarkan pada transfer massa dan penjerapan molekul dari cairan atau gas ke permukaan suatu padatan seperti karbon aktif. Karbon aktif dibuat sedemikian rupa agar menghasilkan partikel

karbon yang sangat berpori sehingga memiliki luas permukaan yang besar. Struktur berpori pada karbon aktif akan menarik dan menahan molekul organik, molekul anorganik, serta logam. Adapun adsorpsi dapat terjadi disebabkan beberapa faktor diantaranya disebabkan kontaminan memiliki kelarutan yang rendah dalam limbah atau kontaminan memiliki afinitas yang lebih besar pada karbon daripada untuk limbah, maupun kombinasi dari keduanya (Gawande *et al.*, 2017). Proses adsorpsi disebabkan oleh adanya gaya tarik menarik antar molekul atau interaksi kimia atau karena akibat medan gaya pada permukaan adsorben yang menarik molekul adsorbat. Gaya intermolekul yang terlibat dalam proses adsorpsi adalah gaya Van der Waals, ikatan hidrogen, gaya hidrofob, ikatan kovalen, dan gaya elektrostatik (Mahatmanti dan Sumarni, 2003).

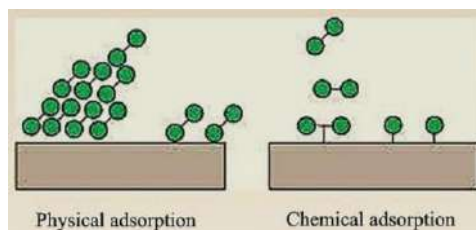
Adapun adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu sebagai berikut:

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika terjadi pada permukaan adsorben melalui gaya tarik alami atau yang disebut sebagai gaya Van der Waals. Jenis adsorpsi ini dapat berupa adsorpsi *multilayer* pada suhu dan tekanan yang sesuai. Adsorpsi ini tidak memerlukan suhu tinggi dan tidak memerlukan energi aktivasi (Aljamali *et al.*, 2021). Jarak antara adsorbat dengan adsorben sangat mempengaruhi adsorpsi fisika karena interaksi yang terjadi pada adsorpsi ini adalah interaksi non-kovalen (Liu *et al.*, 2017)

2. Adsorpsi Kimia

Pada adsorpsi kimia permukaan adsorben cenderung membentuk ikatan kimia dengan atom atau molekul yang telah diadsorpsi. Jenis adsorpsi ini membutuhkan energi aktivasi yang tinggi beserta suhu yang menyertainya juga tinggi. Adsorpsi ini bersifat spesifik dan tidak reversibel (Aljamali *et al.*, 2021), yang disebabkan oleh ikatan kovalen yang terjadi sangat kuat antara adsorben dan adsorbat sehingga sangat sulit untuk dilepaskan kembali (Prabowo A. L., 2009). Ilustrasi perbedaan adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbedaan adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika (Fei *et al.*, 2016)

Widayatno dkk (2017), menjelaskan beragam faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, diantaranya:

1. Karakteristik adsorben

Karakteristik fisik adsorben seperti ukuran partikel dan luas permukaan merupakan sifat penting suatu adsorben karena energi permukaan dan gaya tarik permukaan sangat mempengaruhi proses adsorpsi.

2. Konsentrasi zat

Semakin besar konsentrasi suatu zat, maka partikulat terlarut yang dapat diadsorpsi juga akan semakin besar.

3. Luas permukaan

Semakin luas permukaan adsorben berarti semakin luas bidang kontak yang memungkinkan zat menempel pada permukaan adsorben sehingga kapasitas adsorpsinya juga akan semakin besar.

4. Tekanan

Tekanan yang tinggi memungkinkan mudahnya molekul adsorbat teradsorpsi pada permukaan adsorben sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi.

5. Daya larut terhadap adsorben

Daya larut adsorbat terhadap larutan yang tinggi akan menghambat proses adsorpsi.

6. Koadsorpsi

Adsorben yang telah mengadsorpsi zat tertentu akan memiliki daya adsorpsi yang lebih besar terhadap adsorbat daripada daya adsorpsi awalnya.

7. Pengadukan

Kecepatan pengadukan yang cepat akan mempermudah proses adsorpsi.

8. pH larutan

Pada asam organik, apabila terjadi penurunan pH dengan penambahan asam mineral maka proses adsorpsi akan meningkat. Hal ini disebabkan karena asam mineral mampu mengurangi ionisasi asam organik. Tetapi, apabila pH asam organik mengalami peningkatan dengan penambahan alkali maka akan terjadi pembentukan garam sehingga adsorpsi akan berkurang. Hal tersebut dapat terjadi karena senyawa yang terionisasi akan lebih sulit untuk teradsorpsi daripada senyawa yang terdisosiasi. Adsorpsi akan optimum apabila pH asam organik berada pada muatan netralnya.

2.8 Kinetika Adsorpsi

Kajjumba *et al.* (2018), menjelaskan bahwa kinetika adsorpsi merupakan suatu kurva atau garis yang menggambarkan laju retensi atau pelepasan zat terlarut dari lingkungan berair ke antarmuka fase padat pada dosis adsorben tertentu, suhu, laju alir, dan pH.

Pseudo orde satu

Kinetika adsorpsi pseudo orde satu dikenal juga sebagai model Lagergren yang menjelaskan adsorpsi zat terlarut ke permukaan adsorben mengikuti mekanisme orde satu yang ditunjukkan pada Persamaan 7.

$$\frac{dQ_t}{dt} = k_1(Q_e - Q_t) \quad (7)$$

Dimana Q_t adalah adsorbat yang teradsorpsi di adsorben pada waktu t (mg/g), Q_e adalah kesetimbangan kapasitas adsorpsi (mg/g), dan k_1 adalah konstanta laju per menit. Integral dari persamaan 1 dari $t = 0$ ke $t = t$ dan $Q_t = 0$ ke $Q_t = Q_t$ menghasilkan ekspresi linier pseudo orde satu ke Persamaan 8.

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t \quad (8)$$

Nilai k_1 ditentukan dengan memplotkan $\ln(Q_e - Q_t)$ vs. t . Meskipun beberapa studi telah menemukan k_1 meningkat dengan konsentrasi zat terlarut awal (C_0)

atau tidak tergantung pada C_0 , konstanta laju selalu berbanding terbalik dengan konsentrasi awal zat terlarut. Hal ini karena waktu yang lebih lama diperlukan untuk konsentrasi zat terlarut awal yang besar. Untuk menjelaskan perbedaan eksperimental selama penyerapan pewarna pada karbon aktif pseudo orde satu dimodifikasi yang ditunjukkan pada Persamaan 9 dan 10.

$$\frac{dQ_t}{dt} = k_1 \frac{Q_e}{Q_t} (Q_e - Q_t) \quad (9)$$

Dalam bentuk linier

$$\frac{Q_e}{Q_t} + \ln (Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t \quad (10)$$

Plot dari $\frac{Q_e}{Q_t} + \ln (Q_e - Q_t)$ terhadap t memberikan kecocokan adsorpsi pewarna yang lebih baik dibandingkan ke Lagergren pseudo orde satu. Model yang berbeda untuk adsorpsi berbagai zat terlarut telah dikembangkan, tetapi penerapan dan konsistensi bentuk linier dan non-liniernya perlu diuji.

Pseudo orde dua

Kinetika adsorpsi pseudo orde dua mengasumsikan bahwa laju adsorpsi zat terlarut sebanding dengan situs yang tersedia pada adsorben. Dan laju reaksi tergantung pada jumlah zat terlarut pada permukaan adsorben, daya penggerak ($Q_e - Q_t$) proporsional dengan jumlah situs yang tersedia pada adsorben. Bentuk lengkung pseudo orde dua ditunjukkan pada Persamaan 11.

$$\frac{dQ_t}{dt} = k_2 (Q_e - Q_t)^2 \quad (11)$$

k_2 merupakan konstanta laju pseudo orde dua. Menerapkan limit integral untuk t (0, t) dan Q_t (0, Q_t) bentuk linier kinetika adsorpsi pseudo orde dua ditunjukkan oleh Persamaan 12.

$$Q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e}} \quad (12)$$

Persamaan 11 diatur ulang untuk mendapatkan bentuk lain yang ditunjukkan Persamaan 13 - 16.

$$\frac{t}{Q_t} = \left[\frac{1}{k_2 Q_e^2} \right] + \frac{t}{Q_e} \quad (13)$$

$$\frac{1}{Q_t} = \left[\frac{1}{k_2 Q_e^2} \right] \frac{1}{t} + \frac{1}{Q_e} \quad (14)$$

$$Q_t = Q_e - \left[\frac{1}{k_2 Q_e^2} \right] \frac{Q_t}{t} \quad (15)$$

$$\frac{Q_t}{t} = k_2 Q_e^2 - k_2 Q_e Q_t \quad (16)$$

Pseudo orde dua dapat digunakan untuk menentukan serapan zat terlarut awal dan kapasitas adsorpsi daripada adsorben.

Selain itu, untuk menentukan jumlah adsorbat yang teradsorpsi dan rasio distribusi pada proses adsorpsi terhadap adsorben karbon maka dapat digunakan Persamaan 17 dan 18.

$$Q = (C_0 - C_e) \frac{V}{W} \quad (17)$$

$$D = \frac{Q}{Ca} \quad (18)$$

Dimana:

Q = Jumlah adsorbat teradsorpsi (mg/g)

Co = Konsentrasi awal adsorbat sebelum teradsorpsi (mg/L)

Ce = Konsentrasi adsorbat setelah teradsorpsi (mg/L)

W = Massa adsorben (g)

V = Volume larutan adsorbat (L)

D = Rasio distribusi (L/g)

(Buhani, *et al.*, 2019; Buhani dan Suharso, 2010; Buhani, *et al.*, 2019)

2.9 Isoterm Adsorpsi

Secara umum isoterm adsorpsi didefinisikan sebagai fungsi konsentrasi zat terlarut yang terjerap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi (Allen *et al.*,

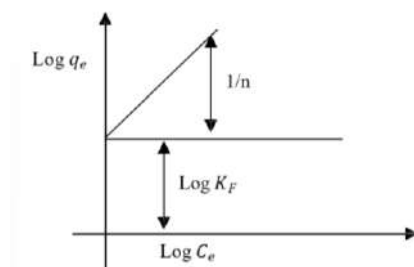
2004). Isoterm adsorpsi dapat berupa kurva yang menggambarkan fenomena mengatur retensi atau pelepasan zat dari media berpori pada lingkungan berair ke fase padat pada pH dan suhu konstan. Perbandingan antara jumlah zat teradsorpsi dengan sisa zat dalam larutan dapat ditetapkan ketika fase yang mengandung adsorbat telah mengalami kontak dengan adsorben pada waktu tertentu, dengan konsentrasi larutan yang mengandung adsorbat berada pada kesetimbangan dinamis (Foo *and* Hameed, 2010). Menurut Buhani *et al.* (2013), isoterm adsorpsi digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Model adsorpsi Langmuir dan Freundlich merupakan isoterm adsorpsi yang umum digunakan pada fase cair-padat.

2.9.1 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm Freundlich berlaku untuk proses adsorpsi pada permukaan yang heterogen. Isoterm ini memberikan ekspresi yang mendefinisikan heterogenitas permukaan dan distribusi eksponensial dari situs aktif dan energinya. Bentuk linier dari isoterm Freundlich ditunjukkan pada Persamaan 19.

$$\log Q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (19)$$

dimana K_F adalah kapasitas adsorpsi (L/mg) dan $1/n$ adalah intensitas adsorpsi; ini juga mengindikasikan distribusi relatif dari energi dan heterogenitas situs adsorbat (Ayawei *et al.*, 2017).



Gambar 4. Model isoterm adsorpsi Freundlich (Husin dan Rosnelly, 2005)

2.9.2 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Adsorpsi Langmuir utamanya didesain untuk menggambarkan adsorpsi fase gas-padat. Adsorpsi ini juga digunakan untuk mengukur dan membedakan kapasitas adsorpsi berbagai adsorben. Isoterm Langmuir menyumbang cakupan permukaan dengan menyeimbangkan tingkat relatif adsorpsi dan desorpsi (keseimbangan dinamis). Adsorpsi sebanding dengan fraksi permukaan adsorben yang terbuka sementara desorpsi sebanding dengan fraksi permukaan adsorben yang tertutup.

Persamaan Langmuir dalam bentuk linier ditunjukkan pada Persamaan 20 berikut.

$$\frac{C}{n} = \frac{1}{nmK} + \frac{C}{nm} \quad (20)$$

Dimana C adalah konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L), K_L adalah konstanta Langmuir yang berkaitan dengan kapasitas adsorpsi (L/mol), yang dapat dikorelasikan dengan variasi area yang sesuai dan porositas adsorben yang menyiratkan bahwa luas permukaan dan volume pori yang besar akan menghasilkan kapasitas adsorpsi yang tinggi.

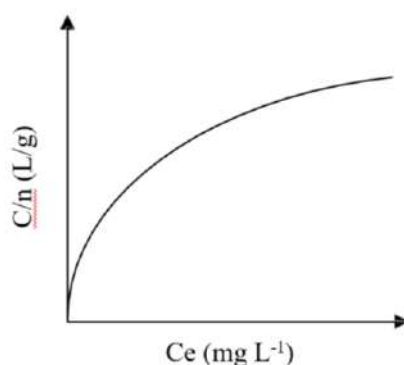
Karakteristik penting dari isoterm Langmuir dapat dinyatakan dengan konstanta tak berdimensi yang disebut faktor pemisahan R_L yang ditunjukkan pada Persamaan 21.

$$R_L = \frac{1}{1+K_L C_0} \quad (21)$$

Dimana K_L adalah konstanta Langmuir (mg/g) dan C_0 adalah konsentrasi awal adsorbat (mg/g). Nilai R_L mengindikasikan adsorpsi tidak menguntungkan saat $R_L > 1$, linier saat $R_L = 1$, menguntungkan saat $0 < R_L < 1$, dan *irreversible* saat $R_L = 0$ (Ayawei *et al.*, 2017).

Model isoterm Langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben. Isoterm Langmuir merupakan proses adsorpsi yang berlangsung secara kemisorpsi satu lapisan. Kemisorpsi adalah adsorpsi yang terjadi melalui ikatan kimia yang sangat kuat antara bagian aktif permukaan dengan molekul adsorbat

dan dipengaruhi oleh densitas elektron. Adsorpsi satu lapisan terjadi karena empat ikatan kimia biasanya bersifat spesifik, sehingga permukaan adsorben dapat mengikat adsorbat dengan ikatan kimia (Handayani dan Sulistyono, 2009). Teori isoterm Langmuir juga menyatakan bahwa laju adsorpsi akan bergantung pada faktor ukuran dan struktur molekul adsorbat, sifat pelarut dan porositas adsorben, situs pada permukaan yang homogen, dan adsorpsi yang terjadi yaitu *monolayer* (Buhani *et al.*, 2017).



Gambar 5. Model isoterm adsorpsi Langmuir (Husin dan Rosnelly, 2005)

2.9.3 Isoterm Adsorpsi Sistem Bikomponen

Persaingan adsorbat pada sistem bikomponen untuk dapat berinteraksi dengan situs aktif pada adsorben menyebabkan kemampuan adsorben-adsorbat mengalami perubahan. Untuk memperhitungkan kedua zat yang teradsorpsi secara bersamaan pada permukaan adsorben dan menganalisis isoterm adsorpsi binernya dapat digunakan persamaan Langmuir (Hashim *et al.*, 2000; Noroozi *et al.*, 2008). Adapun persamaan isoterm Langmuir biner menurut Fagundes-Klen *et al.* (2007) dapat dilihat pada Persamaan 22.

$$Q_1^* = \frac{Q_m C_1^* b_1}{1 + b_1 C_1^* + b_2 C_2^*} \quad (22)$$

Dimana Q_m , b_1 , dan b_2 adalah konstanta isoterm Langmuir biner. Penambahan konstanta baru (k_1 , k_2) dalam bentuk eksponensial ke bentuk penyebut sehingga diperoleh isoterm Langmuir yang ditunjukkan pada Persamaan 23.

$$Q_1^* = \frac{Q_m C_1^* b_1}{1 + b_1(C_1^*)k_1 + b_2(C_2^*)k_2} \quad (23)$$

Penambahan k_1 , k_2 pada pembilang dan penyebut konsentrasi akan diperoleh isotherm adsorpsi Langmuir-Freundlich seperti dituliskan pada Persamaan 24.

$$Q_1^* = \frac{Q_m(C_1^*)k_1 b_1}{1 + b_1(C_1^*)k_1 + b_2(C_2^*)k_2} \quad (24)$$

2.10 Penentuan Nilai Zeta Potensial

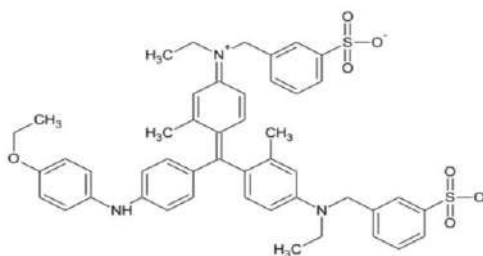
Zeta potensial merupakan nilai potensial elektrostatik pada bidang geser imajiner yaitu permukaan tempat partikel berinteraksi satu sama lain atau dengan permukaan lain. Pengukuran zeta potensial dapat memberikan informasi berharga terkait perilaku dan toksisitas bahan nano dalam sistem lingkungan dan biologis. Besarnya nilai zeta potensial digunakan sebagai stabilitas suatu dispersi terhadap agregasi atau deposisi, apabila nilai zeta potensial di atas ± 30 mV maka dianggap cukup stabil karena tolakan elektrostatiknya cukup besar untuk mencegah agregasi (Lowry *et al.*, 2016). Tingkat tolak menolak dan agregasi antara partikel yang disebabkan muatan partikel yang sama dan saling berdekatan dapat ditunjukkan oleh nilai zeta potensial. Nilai zeta potensial yang tinggi akan memberikan stabilitas larutan untuk menolak agregasi. Nilai zeta potensial yang baik menunjukkan kekuatan partikel untuk saling tolak menolak semakin kuat sehingga menghasilkan dispersi sediaan yang stabil (lebih dari +30 mV atau kurang dari -30 mV). Sedangkan nilai zeta potensial yang tidak baik menunjukkan kekuatan partikel untuk tolak menolak semakin lemah sehingga partikel mengalami kecenderungan agregasi dan menyebabkan dispersi sediaan yang kurang stabil (Prasetiowati *et al.*, 2018).

Menurut Ai *et al.* (2011), penentuan nilai zeta potensial dapat dilakukan melalui Persamaan 25.

$$\Delta pH = pH_{\text{awal}} - pH_{\text{akhir}} \quad (25)$$

2.11 *Coomassie Brilliant Blue* (CBB)

Coomassie Brilliant Blue (CBB) merupakan salah satu jenis pewarna trifenilmetana yang terdiri dari dua jenis, yaitu *Coomassie Brilliant Blue* R-250 dan *Coomassie Brilliant Blue* G-250. Jenis pewarna CBB R-250 memiliki warna yang kemerahan, sedangkan CBB G-250 memiliki warna kehijauan (Mekaoui *et al.*, 2012). Senyawa trifenilmetana pada zat warna CBB bersifat karsinogenik dan mutagenik sehingga amat berbahaya apabila terlalu lama berada di lingkungan (Priya *et al.*, 2018), trifenilmetana juga berbahaya karena sangat sulit terdegradasi di lingkungan akuatik dan apabila masuk ke lingkungan perairan akan membentuk campuran yang lebih stabil dengan struktur kimia yang lebih kompleks sehingga semakin sulit terurai (Wang *et al.*, 2012). Selain itu keberadaan zat warna di perairan juga dapat mengurangi penetrasi cahaya dan fotosintesis tanaman perairan. Oleh karena itu zat warna CBB harus dikurangi keberadaannya dalam air (Ata *et al.*, 2012). Struktur senyawa zat warna CBB dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur zat warna *coomassie brilliant blue* (Chetankumar *et al.*, 2021)

Spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi CBB G-250 dalam suatu larutan dengan penyerapan maksimum puncak pada panjang gelombang 585 nm (Rauf *et al.*, 2005).

2.12 Anion Nitrat (NO₃⁻)

Senyawa nitrogen diperlukan untuk keberlangsungan lingkungan dan kehidupan. Namun, keberadaan ion nitrogen yang berlebihan dalam bentuk yang berbeda menghasilkan efek negatif pada ekosistem, dan akibatnya dapat merusak kesehatan manusia dan bahkan membunuh. Dalam air, nitrogen membentuk

senyawa anorganik umumnya ion nitrat, nitrit, dan amonium (Gierak *and* Iwona, 2017). Nitrat adalah ion yang sangat larut dan stabil dalam air karena hal tersebut nitrat sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Penyebaran kontaminasi nitrat terjadi karena penggunaan pupuk yang mengandung nitrat. Peningkatan konsentrasi nitrat pada air tanah menyebabkan resiko kesehatan yang serius, penyebab sindrom bayi biru dan prekursor nitrosamin karsinogenik (Hanafi *and* Azeema, 2016). Oleh karena itu konsentrasi kontaminasi nitrat perlu dikurangi, salah satunya adalah dengan menggunakan metode adsorpsi (Adawiah dkk, 2021). Analisis filtrat hasil adsorpsi ion nitrat dalam larutan dapat dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 220 nm dikarenakan ion nitrat berada dalam daerah ultra violet (UV) (Syafaat *et al.*, 2013).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2022 – Maret 2023 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung. Karakterisasi morfologi permukaan adsorben dengan SEM-EDX dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung, karakterisasi fasa kristal adsorben dengan XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Departemen Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada, karakterisasi gugus fungsi pada adsorben dengan FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Departemen Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada, dan Karakterisasi hasil adsorpsi dengan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu antara lain neraca analitik, spatula, peralatan gelas, pengayak (*siever*) ukuran 100 μm , pengaduk magnet (*spinbar*), cawan porselin, oven, desikator, sentrifus, Spektrofotometer UV-Vis merk Agilent Technologies tipe Cary Series, *X-Ray Diffraction* (XRD) tipe X'Pert PRO, *Scanning Electron Microscope-Energy* SEM-EDX tipe JEOL-JSM-6510 LA, Spektrofotometer FTIR tipe IR Prestige 21, dan pH meter.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu diantaranya arang cangkang buah karet, CBB, anion nitrat, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, HCl, NaOH, NaNO_3 , APTES, toluena, larutan *buffer*, kertas saring, pH indikator universal,

aluminium foil, etanol, KNO_3 , KCl , dan akuades.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi dan Pembuatan Karbon

Cangkang buah karet yang diperoleh dari perkebunan karet yang terletak di Kecamatan Margatiga, Kabupaten Lampung Timur, dibersihkan dengan cara dicuci dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Selanjutnya dibakar di dalam drum yang terbuat dari plat besi selama kurang lebih 6 jam sehingga diperoleh karbon cangkang buah karet. Karbon yang diperoleh dari karbonisasi selanjutnya dihaluskan dengan cara digiling lalu diayak dengan pengayakan berukuran 100μ . Karbon cangkang buah karet yang telah halus selanjutnya dimodifikasi lebih lanjut dengan magnetit dan silan.

3.3.2 Modifikasi Karbon dengan Magnetit

Proses pembuatan karbon magnetit dilakukan dengan cara mencampurkan 6,5 g karbon hasil karbonisasi ke dalam 300 mL akuades kemudian dipanaskan sampai suhu 70°C . Setelah itu ditambahkan garam besi yang terdiri dari 7,6 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 3,9 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dalam 300 mL akuades. Campuran kemudian diaduk selama 30 menit sambil ditambahkan 100 mL NaOH 5 M tetes demi tetes sampai terbentuk endapan hitam. Endapan yang dihasilkan disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH netral lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 3 jam, sehingga diperoleh Karbon-Magnetit (KM) (Oliveira *et al.*, 2002).

3.3.3 Modifikasi Karbon Magnetit dengan (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES)

Sebanyak 10 g karbon yang sudah dimodifikasi dengan magnetit ditambahkan ke dalam 100 mL larutan APTES (30% (vol) dalam toluena) dan diaduk selama 3 jam pada suhu 50°C. Kemudian, campuran disaring dan residu padatnya dicuci 4-5 kali dengan akuades. Residu tersebut kemudian dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada suhu 110°C, sehingga diperoleh Karbon-Magnetit-Silan (KMS) (Shirendev *et al.*, 2021).

3.3.4 Karakterisasi

Adsorben karbon, karbon magnetit (KM) dan karbon magnetit silan (KMS) masing-masing dikarakterisasi dengan XRD untuk mengidentifikasi fasa kristalin, spektrofotometer FTIR untuk mengetahui gugus fungsi, serta SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengidentifikasi komposisi unsur.

3.3.5 Penentuan Nilai Zeta Potensial

Adsorben karbon, KM, dan KMS masing-masing sebanyak 0,1 g dimasukkan ke dalam 20 mL NaNO₃ 0,1 M. pH awal divariasikan dengan rentang 3-12 diatur menggunakan larutan standar HCl 0,1 M untuk suasana asam dan NaOH 0,1 M untuk suasana basa. Larutan diaduk menggunakan pengaduk (*shaker*) selama 24 jam. Setelah itu pH akhir diamati dan diukur menggunakan pH meter.

3.3.6 Uji Adsorpsi Monokomponen

a. Pembuatan Larutan Induk Adsorbat Anion Nitrat dan CBB

Serbuk CBB sebanyak 1 g dan 1,629 g KNO₃ dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL yang berbeda, masing-masing labu ukur ditambahkan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 1000 ppm.

b. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Adsorbat

Diukur nilai absorbansi larutan CBB dengan konsentrasi 10 ppm pada rentang panjang gelombang 300-800 nm dan pada rentang panjang gelombang 190-400 nm untuk anion nitrat.

c. Penentuan pH Optimum

Sebanyak 25 mL larutan CBB 10 ppm disiapkan dalam 10 erlenmeyer berbeda dengan variasi pH 3-12. Dilakukan penambahan HCl 0,1 M untuk menurunkan pH dan peningkatan pH dilakukan dengan penambahan NaOH 0,1 M. Lalu ditambahkan larutan *buffer* kemudian ditambah 0,1 g adsorben karbon (dilakukan perlakuan yang sama untuk adsorben KM dan KMS). Setelah itu, larutan diaduk menggunakan alat pengaduk selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Lalu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Dilakukan perlakuan yang sama terhadap anion nitrat 10 ppm. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

d. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Sebanyak 25 mL larutan CBB 10 ppm pada kondisi pH optimum dimasukkan ke dalam 7 erlenmeyer lalu ditambahkan masing-masing 0,1 g adsorben kemudian diaduk menggunakan alat pengaduk dengan variasi waktu yaitu 0, 15, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Dilakukan perlakuan yang sama terhadap anion nitrat 10 ppm. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

e. Penentuan Konsentrasi Optimum

Sebanyak 25 mL larutan CBB pada kondisi pH optimum dengan variasi konsentrasi, yaitu 0, 10, 50, 100, 150, 200, 250, dan 300 ppm masing-masing dimasukkan ke dalam 8 erlenmeyer lalu ditambahkan adsorben 0,1 g. Kemudian diaduk menggunakan alat pengaduk pada waktu kontak optimum. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Dilakukan perlakuan yang sama terhadap anion nitrat dengan variasi konsentrasi 0, 10, 25, 50, 75, 100, 150, dan 200 ppm kemudian filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.7 Uji Adsorpsi Bikomponen

a. Pembuatan Larutan Induk Adsorbat Bikomponen

Sebanyak 1 gram serbuk CBB dan 1,629 gram serbuk KNO_3 dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tanda tera dan dihomogenkan sehingga didapatkan larutan CBB dan NO_3 1000 ppm, kemudian konsentrasi dalam ppm dikonversi ke mmol/L dengan cara membaginya dengan massa molekul relatif masing-masing yaitu 62,0049 g/mol untuk NO_3 dan 854,04 g/mol untuk CBB, sehingga dihasilkan konsentrasi masing-masing larutan induk sebesar 1,16 mmol/L untuk CBB dan 16,13 mmol/L untuk anion nitrat.

b. Pengaruh Konsentrasi

Masing-masing larutan induk anion nitrat dan CBB dilakukan pengenceran dengan variasi konsentrasi 0,01; 0,03; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30; dan 0,35 mmol/L. Setelah itu dicampurkan 12,5 mL anion nitrat dan 12,5 mL CBB dengan konsentrasi yang sama sehingga diperoleh larutan bikomponen dengan volume sebanyak 25 mL. Larutan bikomponen tersebut kemudian diatur pHnya pada pH

optimum dan ditambahkan adsorben sebanyak 0,1 g. Kemudian *shaker* pada waktu kontak optimum. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum masing-masing.

3.3.8 Mekanisme Adsorpsi

Sebanyak 0,1 g adsorben (Karbon, KM, KMS) dimasukkan kedalam erlenmeyer. Kemudian ditambahkan larutan adsorbat (anion nitrat dan CBB) sebanyak 25 mL pada konsentrasi dan pH optimum. Lalu larutan tersebut di-*shaker* pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya larutan dan adsorben disentrifugasi dan dipisahkan dengan cara dekantasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Endapan yang diperoleh digunakan kembali untuk melepaskan zat warna yang teradsorpsi pada adsorben dengan menggunakan eluen berupa 25 mL etanol 40% untuk ikatan hidrogen, 25 mL larutan KNO_3 0,1 M untuk pertukaran ion, 25 mL larutan HCl 0,1 M untuk interaksi elektrostatis, dan larutan Na_2EDTA 0,1 M untuk pembentukan ikatan kompleks (Buhani *et al.*, 2010).

3.3.9 Uji Penggunaan Ulang Adsorben

Sebanyak 0,1 g adsorben (Karbon, KM, KMS) dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berbeda. Kemudian ditambahkan 25 mL larutan (anion nitrat dan CBB) pada konsentrasi optimum dan pH optimum. Lalu larutan tersebut diaduk menggunakan pengaduk pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Filtrat yang diperoleh disentrifugasi selama 30 menit, lalu dipisahkan dengan cara dekantasi, kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Endapan yang diperoleh digunakan kembali untuk melepaskan adsorbat yang teradsorpsi pada adsorben dengan menggunakan eluen etanol lalu diaduk selama 60 menit dan didekantasi. Endapannya kemudian dicuci dengan akuades sampai netral, kemudian dioven pada suhu 40°C selama 3 jam. Adsorben digunakan lagi

untuk mengadsorpsi adsorbat hingga 3 kali penggunaan ulang (Buhani *et al.*, 2011).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Modifikasi adsorben karbon dengan magnetit dan silan telah berhasil dilakukan yang dibuktikan dengan hasil karakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SEM-EDX.
2. Adsorpsi monokomponen nitrat dan CBB oleh karbon, KM, dan KMS optimum pada pH 7, 9, dan 9 untuk nitrat, dan seluruhnya pH 7 pada CBB, optimum pada waktu kontak 120, 120, dan 15 menit untuk anion nitrat dan 30, 150, dan 120 menit untuk CBB, dengan konsentrasi maksimum 200 ppm untuk nitrat dan 300 ppm untuk CBB.
3. Laju adsorpsi anion nitrat dan CBB pada adsorben karbon, KM, dan KMS cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua.
4. Isoterm adsorpsi monokomponen anion nitrat dan CBB terhadap seluruh adsorben cenderung mengikuti model isoterm Freundlich, kecuali adsorpsi CBB dengan KMS yang cenderung mengikuti model isoterm Langmuir.
5. Kapasitas adsorpsi bikomponen adsorben KMS menggunakan persamaan Langmuir biner cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi CBB.
6. Mekanisme adsorpsi adsorben KMS terhadap anion nitrat dan CBB lebih didominasi oleh ikatan hidrogen.
7. Kemampuan 3 kali penggunaan ulang adsorben KMS lebih baik pada adsorpsi anion nitrat dengan persen penurunan Q kurang dari 1% dibandingkan dengan adsorpsi CBB dengan persen penurunan Q tertinggi mencapai 37%.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Melakukan aktivasi fisika maupun kimia pada karbon untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi.
2. Menggunakan adsorbat lain dalam proses adsorpsi karbon cangkang buah karet.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Ghani, N. T., El-Chaghaby, G. A., Rawash, E. S. A., & Lima, E. C. (2017). Adsorption of Coomassie Brilliant Blue R-250 Dye Onto Novel Activated Carbon Prepared from *Nigella sativa* L. Waste: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics Running Title: Adsorption of Brilliant Blue Dye Onto *Nigella sativa* L. Waste Activated Carbon. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 62(2), 3505–3511.
- Abdullah, M. dan Khairurrijal. (2009). Review : Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, 2(1), 1-2.
- Adawiah, S. R., Sutarno, Nur, A., Gani, R., & Andriani T. (2021). Studi Perbandingan Adsorpsi-Desorpsi Anion Nitrat dan Sulfat pada Bentonit Termodifikasi. *Journal of Chemistry*, 4(1), 23-21.
- Ai, L., Zhang, C., Liao, F., Wang, Y., Li, M., Meng, L., & Jiang, J. (2011). Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution with Magnetite Loaded Multi-wall Carbon Nanotube : Kinetic, Isotherm and Mechanism Analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 198, 282–290.
- Aksu, Z. (2005). Application of Biosorption for the Removal of Organic Pollutants: A Review. *Process Biochemistry*, 40(3–4), 997–1026.
- Alcaraz, L., Ana, L. F., Irene, G. D., and Félix, A. L. (2018). Preparation and Characterization of Activated Carbons from Winemaking Wastes and their Adsorption of Methylene Blue. *Adsorption Science & Technology*, 36, 5-6
- Aljamali, N. M., Radhiyah, A. B. A., and Intisar, O. A. (2021). Physical and Chemical Adsorption and its Applications. *International Journal of Thermodynamics and Chemical Kinetics*, 7(2), 1-8.
- Allen, S. J., Mckay, G., and Porter, J. F. (2004). Adsorption Isotherm Models for Basic Dye Adsorption by Peat in Single and Binary Component Systems. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280(2), 322–333.
- Apriliyanto, M. R., & Rusdarti, R. (2018). Analisis Penyerapan Tenaga Kerja Industri Tekstil dan Produk Tekstil di Provinsi Jawa Tengah. *Economics Development Analysis Journal*, 7(4), 374–383.

- Arifin, N. F. T., Nur, A. N. Z., Norhaniza, Y., Ahmad, F. I., Farhana, A., Wan, N. W. S., Juhana, J., Nik, A. H. M. N., and Norazlianie, S. (2019). Preparation and Characterization of APTES-functionalized Graphene Oxide for CO₂ Adsorption. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Science*, 61(2), 297-305.
- Ata, S., Muhammad, I. D., Atta, R., Imran, Q., and Ijaz, U. M. (2012). Equilibrium, Thermodynamics, and Kinetic Sorption Studies for the Removal of Coomassie Brilliant Blue on Wheat Bran as a Low-Cost Adsorbent. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2012, 1-8.
- Ayawei, N., Augustus, N. E., and Donbebe, W. (2017). Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*, 3039817, 1-11
- Bhavyasree, P.G., & T.S. Xavier. (2021). Adsorption Studies of Methylene Blue, Coomassie Brilliant Blue, and Congo Red Dyes onto CuO/C Nanocomposites Synthesized via *Vitex negundo* Linn leaf extract. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 1-13.
- Britton, L. G. (1990). Combustion Hazards of Silane and its Chlorides. *Plant/Operations Progress*, 9(1), 16–38.
- Buhani, Herasari, D., Suharso, & Yuwono, S. D. (2017). Correlation of Ionic Imprinting Cavity Sites on The Amino-Silica Hybrid Adsorbent with Adsorption Rate and Capacity of Cd²⁺ Ion in Solution. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(1), 418–429.
- Buhani, Luziana, F., Suharso, Rilyanti, M., Sumadi, dan Permatasari, D. (2020). Kajian Pola Isoterm Adsorpsi Zat Pewarna Kristal Violet pada Adsorben dari Karbon Cangkang Kelapa Sawit dengan Pelapisan Partikel Fe₃O₄. *Prosiding SINTA 3*, 3, 2655–2914.
- Buhani, Musrifatun, Pratama, D. S., Suharso, and Rinawati. (2017). Modification of *Chaetoceros* sp. Biomass with Silica-Magnetite Coating and Adsorption Studies towards Cu(II) Ions in Single and Binary System. *Asian Journal of Chemistry*, 29(12), 2734–2738.
- Buhani, Narsito, Nuryono, and Kunarti, E. S. (2010). Amino and Mercapto-Silica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*, 9(2), 170–176.
- Buhani, Narsito, Nuryono, Sri Kunarti, E., and Suharso. (2015). Adsorption Competition of Cu(II) Ion in Ionic Pair and Multi-Metal Solution by Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Adsorbent. *Desalination and Water Treatment*, 55(5), 1240–1252.

- Buhani, Puspitarini, M., Rahmawaty, Suharso, Rilyanti, M., and Sumadi. (2018). Adsorption of Phenol and Methylene Blue in Solution by Oil Palm Shell Activated Carbon Prepared by Chemical Activation. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(4), 2043–2050.
- Buhani, Rinawati, Suharso, Yuliasari, D. P., and Yuwono, S. D. (2017). Removal of Ni(II), Cu(II), and Zn(II) Ions From Aqueous Solution Using Tetraselmis sp. Biomass Modified with Silica-Coated Magnetite Nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*, 80, 203–213.
- Buhani, Suharso, Aditiya, I., Al Kausar, R., Sumadi, & Rinawati. (2019). Production of a Spirulina sp. Algae Hybrid with a Silica Matrix as an Effective Adsorbent to Absorb Crystal Violet and Methylene Blue in a Solution. *Sustainable Environment Research*. 1(1), 1–11.
- Buhani, Suharso, & Fitriyani, A. Y. (2013). Comparative Study of Adsorption Ability of Ni(II) and Zn(II) Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Toward Target Metal in Solution. *Asian Journal of Chemistry*, 25(5); 2875–2880.
- Buhani, Suharso, & Partogi, F. A. (2013). Isoterm Adsorpsi Ion Ni (II) dalam Larutan oleh Biomassa Alga Nannochloropsis sp yang Dimodifikasi dengan Silika-magnet. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 61–66.
- Buhani, Suharso, and Satria, H. (2011). Hybridization of Nannochloropsis sp Biomass-Silica Through Sol-Gel Process to Adsorb Cd(II) Ion in Aqueous Solutions. *European Journal of Scientific Research*, 51(4), 467–476.
- Calvete, T., Lima, E. C., Cardoso, N. F., Dias, S. L. P., and Ribeiro, E. S. (2010). Removal of Brilliant Green Dye from Aqueous Solutions Using Home Made Activated Carbons. *Clean - Soil, Air, Water*, 38(5–6), 521–532.
- Çelekli, A., & Bozkurt, H. (2013). Predictive Modeling of an Azo Metal Complex Dye Sorption by Pumpkin Husk. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(10), 7355–7366.
- Desi, Suharman, A., dan Vinsiah, R. (2015). Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Cangkang Kulit Buah Karet (*Hevea brasiliensis*). *Prosiding SEMIRATA 2015 Bidang MIPA BKS-PTN Barat*, 294–303.
- Dewi, R., Azhari, dan Indra N., (2020). Aktivasi Karbon dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2), 12-22.
- Drbohlavara, J., R. Hrdy, V. Adam, R. Kizek, O. Schneeweiss, J. Hubalek. (2009). Preparation and Properties of Various Magnetic Nanoparticles. *Journal of Sensors*, 9, 2352-2362.

- Dutta, S., Bramha G., Suneel K. S., & Ashok K. G. (2021). Recent Advances on the Removal of Dyes from Wastewater Using Various Adsorbents: a critical review. *Material Advances*, 2, 4497-4531.
- Ekebafé, L. O., J. E. Imanah, and F. E. Okieimen. (2012). Effect of Carbonization on the Processing Characteristics of Rubber Seed Shell. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(1), 1878-5352.
- El-Lateef, H. M. A., Khalaf, M. M., Al-Fengary, A. E., Elrouby, M. (2022). Removal of the Harmful Nitrate Anions from Potable Water Using Different Methods and Materials, including Zero-Valent Iron. *Molecules*, 27. 2552.
- Fadillah, H., and Alfiarty, A. (2015). The Influence of Pyrolysis Temperature and Time to the Yield and Quality of Rubber Fruit (*Hevea brasiliensis*) Shell Liquid Smoke. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan," ISSN 1693-4393*, 1–7.
- Fatma, Hariani, P. L., Riyanti, F., and Sepriani, W. (2018). Desorption and Re-adsorption of Procion Red MX-5B Dye on Alumina-Activated Carbon Composite. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(2), 222–228.
- Fei, N., Basilius, S., Dennis, G. (2016). The pKa of Brønsted Acids Controls their Reactivity with Diazo Compounds. *Chem Commun*, 52. 7501-7504.
- Fernandez dan Rio Benny. (2011). *Kimia Material Spektroskopi Infra Merah (IR) dan Sinar Tampak (UV-Vis)*. Universitas Andalas. Padang.
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10.
- Gawande, S. M., Niharika, S. B., and Anuja, A. M. (2017). Adsorption and its Isotherm – Theory. *International Journal of Engineering Research*, 6(6), 312-316.
- Ghosh, S., Badruddoza, A. Z. M., Hidajat, K., and Uddin, M. S. (2013). Adsorptive Removal of Emerging Contaminants from Water using Superparamagnetic Fe₃O₄ Nanoparticles Bearing Aminated β -Cyclodextrin. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(3), 122–130.
- Ghozali, A., W. Sugiyono, dan L. Latifah. (2012). Fotodegradasi Zat Warna Remazol Red Menggunakan Katalis A-Fe₂O₃/Fe₂O₃ Core Shell Nanostruktur. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 1(1):79-84.
- Gierak, A., and Iwona, Ł. (2017). Adsorption of Nitrate, Nitrite, and Ammonium Ions on Carbon Adsorbents. *Adsorption Science & Technology*, 35, 721-727.

- Gunda, N. S. K., Singh, M., Norman, L., Kaur, K., and Mitra, S. K. (2014). Optimization and Characterization of Biomolecule Immobilization on Silicon Substrates Using (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) and Glutaraldehyde Linker. *Applied Surface Science*, 305, 522–530.
- Hanafi, H. A. and Azeema, S. M. A. (2016). Removal of Nitrate and Nitrite Anions from Wastewater Using Activated Carbon Derived from Rice Straw. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 6(1), 1-6.
- Handayani, M., dan Sulistyono, E. (2009). Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom(VI) oleh Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir*, VI, 130–136.
- Herlianti, J., Suryanti, & Soedarsono P. (2016). Hubungan Antara Kandungan Nitrat, Fosfat, dan Klorofil- α di Sungai Kaligarang, Semarang. *Diponegoro Journal of Maquares*, 5(1), 69-74.
- Hijrah, N. N., Anas, M., dan Erniwati. (2020). Analisis Variasi Temperatur Aktivasi terhadap Gugus Fungsi Arang Aktif Tandan Aren (*Arenga Pinnata* Merr.) dengan Agen Aktivasi *Potassium Silicate* (K_2SiO_3). *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*, 5(4), 295-299
- Huang, C., & Hu, B. (2008). Silica-Coated Magnetic Nanoparticles Modified with γ -Mercaptopropyltrimethoxysilane for Fast and Selective Solid Phase Extraction of Trace Amounts of Cd, Cu, Hg, and Pb in Environmental and Biological Samples Prior to Their Determination by Inductively Co. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, 63(3), 437–444.
- Husin, H. dan C. M. Rosnelly. (2005). Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal (Pb) Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*. ISSN: 0215-4609, 1-10.
- Ibrahim, H. K., Al-Da' Amy, M. A., & Kreem, E. T. (2019). Decolorization of Coomassie Brilliant Blue G-250 Dye Using Snail Shell Powder by Action of Adsorption Processes. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 12(10), 4921–4925.
- Ikhwanuddin. (2018). Pembuatan Biosorben dari Cangkang Buah Karet (*Hevea Brasiliensis*) Menggunakan Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) untuk Menurunkan Asam Lemak Bebas dan Bilangan Peroksida pada CPO (Crude Palm Oil). *Skripsi Universitas Sumatera Utara*, 44–48.
- Isiuku, B. O., Christian, E. E. (2020). Pollution and Health Risks Assessment of Nitrate and Phosphate Concentrations in Water Bodies in South Eastern Nigeria. *Environmental Advances*, 2, 100018.

- Istiana, S., dan Prasetya, T. (2020). Preparasi Arang Aktif Trembesi Magnetit untuk Adsorpsi Senyawa Tannin dalam Limbah Cair. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(1), 17–23.
- Jalil, A. A., Triwahyono, S., Adam, S. H., Rahim, N. D., Aziz, M. A. A., Hairom, N. H. H., Razali, N. A. M., Abidin, M. A. Z., and Mohamadiah, M. K. A. (2010). Adsorption of Methyl Orange from Aqueous Solution onto Calcined Lapindo Volcanic Mud. *Journal of Hazardous Materials*, 181(1–3), 755–762.
- Iwuozor, K. O., Joshua, O. I., Ebuka, C. E., Lawal, A. O., Chinenye, A. I. (2021). Adsorption of methyl orange: A review on adsorbent performance. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 1-16.
- Kajjumba, G. W., Serkan, E., Atakan, Ö., H. Kurtulus, Ö., and Serdar, A. (2018). Modelling of Adsorption Kinetic Processes—Errors, Theory and Application. *IntechOpen*. 1-19.
- Kalantary, R. R., Emad, D., Anoushiravan, M. B., Leila, R., Ali, E., Babak, K., and Ali, A. (2015). Nitrate Adsorption by Synthetic Activated Carbon Magnetic Nanoparticles: Kinetics, Isotherms and Thermodynamic Studies. *Desalination and Water Treatment*, 57, 1-11.
- Karpinska, J. (2004). Basic principles and analytical application of derivative spectrophotometry, *Macro to Nano Spectroscopy 1st ed*, Croatia: Intech, 253-268.
- Kausar, R. A., Buhani, and Suharso. (2020). Methylene Blue Adsorption Isotherm on Spirulina sp. Microalgae Biomass Coated by Silica-Magnetite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 857(1), 1–7.
- Kaykhani, M., Sasani, M., & Marghzari, S. (2018). Removal of Dyes from the Environment by Adsorption Process. *Chemical and Materials Engineering*. 6(2), 31–35.
- Khuluk, R. H., Rahmat, A., Buhani, and Suharso. (2019). Removal of Methylene blue by Adsorption Onto Activated Carbon from Coconut Shell (*Cocos Nucifera L.*). *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(2), 229–240.
- Lee, S., J. Jeong, S. Shin, J. C. Kim, and J. D. Kim. (2004). Synthesis and Characterization of Superparamagnetic Maghemite Nanoparticles Prepared by Coprecipitation Technique. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 282, 147-150.
- Lestari, I., E. Kurniawan, D. R. Gusti, and Yusnelti. (2020). Magnetite Fe₃O₄-Activated Carbon Composite as Adsorbent of Rhodamine B dye. *IOP Conference Series*, 483, 1-8.

- Li, Q., Qi, Y., and Gao, C. (2015). Chemical Regeneration of Spent Powdered Activated Carbon Used in Decolorization of Sodium Salicylate for the Pharmaceutical Industry. *Journal of Cleaner Production*, 86, 424–431.
- Liu, Y., Li, Y., Li, X. M., & He, T. (2013). Kinetics of (3-Aminopropyl) triethoxysilane (APTES) Silanization of Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Langmuir*, 29(49), 15275–15282.
- Liu, J., Wei, Y., Li, P., Zhao, Y., & Zou, R. (2017). Selective H₂S/CO₂ Separation by Metal – Organic Frameworks Based on Chemical-Physical Adsorption. *The Journal of Physical Chemistry*. 121, 13249–13255.
- Lowry, G. V, Hill, R. J., Harper, S., Rawle, A. F., Hendren, C. O., Klaessig, F., & 40 Nobbmann, U. (2016). Environmental Science Nano Guidance to improve the scientific value of zeta- potential measurements in nanoEHS. *Environmental Science: Nano*, 3, 953–965.
- Lu, W., Shen, Y., Xie, A., and Zhang, W. (2010). Green Synthesis and Characterization of Superparamagnetic Fe₃O₄ Nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322(13), 1828-1833.
- Lukman, A. K. (2010). Pemanfaatan Admixel g-Al₂O₃/HDTMA-Br sebagai Media untuk Menentukan Kadar Timah melalui Reaksi Reduksi dengan Metil Biru. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Mahatmanti, F. W., & Sumarni, W. (2003). Kajian Termodinamika Penyerapan Zat Warna Indikator Metil Oranye (MO) dalam Larutan Air oleh Adsorben Kitosan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 6(2), 13–18.
- Martínez, M., Miralles, N., Hidalgo, S., Fiol, N., Villaescusa, I., and Poch, J. (2006). Removal of Lead(II) and Cadmium(II) from Aqueous Solutions Using Grape Stalk Waste. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1–3), 203–211.
- Maulana, F., and Budhi, O. (2022). Optimum Conditions of Nitrite Anion Desorption from Dimethylamine Modified Silica Gel using HCl and H₂SO₄. *Journal of Chemistry, Education, and Science*, 6(2), 104-112.
- Meilianti. (2017). Karakteristik Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet Menggunakan Aktivator H₃PO₄. *Distilasi*, 2(2), 1-9.
- Mekaoui, N., Chamieh, J., Dugas, V., Demesmay, C., & Berthod, A. (2012). Purification of Coomassie Brilliant Blue G-250 by multiple dual mode countercurrent chromatography. *Journal of Chromatography A*. 1232, 134–141.
- Moosavi, S., Chin, W. L., Sinyee, G., Golnoush, Z., Omid, A. P., and Mohd, R. J. (2020). Application of Efficient Magnetic Particles and Activated Carbon

- for Dye Removal from Wastewater. *American Chemical Society Omega*, 5(33), 20684-20697.
- Moshoeshoe, M. N., and Obuseng, V., (2018). Simultaneous determination of nitrate, nitrite, and phosphate in environmental samples by high performance liquid chromatography with UV detection. *S. Afr. J. Chem*, 71, 70-85.
- Munguía-Cortés, L., Pérez-Hermosillo, I., Ojeda-López, R., Esparza-Schulz, J. M., Felipe-Mendoza, C., Cervantes-Urbe, A., and Domínguez-Ortiz, A. (2017). APTES-Functionalization of SBA-15 Using Ethanol or Toluene: Textural Characterization and Sorption Performance of Carbon Dioxide. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 61(4), 273–281.
- Ngouangna, E. N., Manan, M. A., Oseh, J. O., Norddin, M. N. A. M., Agi, A., and Gbadamosi, A. O. (2020). Influence of (3–Aminopropyl)-triethoxysilane on Silica Nanoparticle for Enhanced Oil Recovery. *Journal of Molecular Liquids*, 315, 1–47.
- Noor, M. I., E. Y. dan Z. (2016). Identifikasi Kandungan Ekstrak Kulit Buah Naga Merah Menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) dan Fitokimia Identification Content of the Red Dragon Fruit Extract Skin Using Fourier Transform Infrared (FTIR) and Phytochemistry. *Journal of Aceh Physics Society (JAcPS)*, 5(1), 14–16
- Ozbay, N., and Yargic, A. S. (2015). Factorial Experimental Design for Remazol Yellow Dye Sorption Using Apple Pulp/Apple Pulp Carbon-Titanium Dioxide Co-Sorbent. *Journal of Cleaner Production*, 100, 333–343.
- Padmaningrum, R. T., dan Siti, M. (2015). Validasi Metode Analisis Siklamat Secara Spektrofotometri dan Turbidimetri. *Jurnal Sains Dasar*, 4(1), 23-29.
- Pandia, S., M. S. Sinaga, Z. Masyithah, A. Husin, S. Nurfadilla, Fitriani, and B. K. S. Sipahutar (2018). Rubber Fruit Shell (*Hevea brasiliensis*) as bio sorbent to remove FFA (Free Fatty Acid) content in CPO (Crude Palm Oil). *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*, 309, 1-6.
- Pavia, D. L., Gary, M. L., George, S. K., and James, R. V. (2001). *Introduction to Spectroscopy, Fourth Edition*. Brooks/Cole. Belmont USA.
- Pérez-Quintanilla, D., Sánchez, A., del Hierro, I., Fajardo, M., and Sierra, I. (2007). Preparation, Characterization, And Zn²⁺ Adsorption Behavior of Chemically Modified MCM-41 with 5-Mercapto-1-Methyltetrazole. *Journal of Colloid and Interface Science*, 313(2), 551–562.
- Petcharoen, K., and Sirivat, A. (2012). Synthesis and Characterization of Magnetite Nanoparticles Via the Chemical Co-Precipitation Method. *Elsevier*, 177(5), 421–427.

- Pohan, M. S. A., Sutarno, & Suyanta. (2016). Studi Adsorpsi-Desorpsi Anion Fosfat pada Zeolit Termodifikasi CTAB. *Jurnal Penelitian Sains*, 18(3), 123-135.
- Prabowo, A. L. (2009). Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol Serta Aplikasinya untuk Adsorpsi Cu, Pb dan Amonia. *Skripsi Universitas Indonesia*.
- Prasetiowati, A. L., Prasetya, A. T., dan Wardani, S. (2018). Sintesis Nanopartikel Perak dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) Uji Aktivitasnya sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 160–166.
- Priya, Kaith, B. S., Shanker, U., Gupta, B., & Bhatia, J. K. (2018). RSM-CCD Optimized In-Air Synthesis of Photocatalytic Nanocomposite: Application in Removal-Degradation of Toxic Brilliant Blue. *Reactive and Functional Polymers*, 131(July), 107–122.
- Pujiyanto. (2010). Pembuatan Karbon Aktif Super dari Batubara dan Tempurung Kelapa. *Tesis. Universitas Indonesia*.
- Putri, W. A. E., Purwiyanto, A. I. S., Fauziyah, Agustriani, F., & Suteja, Y. (2019). Kondisi Nitrat, Nitrit, Amonia, Fosfat, dan BOD di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(1), 65-74.
- Rahayu, I., Susan, S., Annisa, W., dan Sahrul, H. (2015). Peningkatan Konduktivitas Litium Besi Fosfat Melalui Penambahan Polianilina Terdopan Asam Sulfat. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 5(1), 7-11.
- Rahman, T., Muhammad, A. F., Asep, B. D. N., dan Ahmad, M. (2015). Review: Sintesis Karbon Nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(3), 120-131.
- Rakhee, Jigni, M., Raj, K. S., Kshipra, M. (2018). Characterization Techniques for Herbal Products. *Management of High Altitude Pathophysiology*, 171-202.
- Rauf, M. A., Ashraf, S., & Alhadrami, S. N. (2005). Photolytic oxidation of Coomassie Brilliant Blue with H₂O₂. *Dyes and Pigments*. 66(2005), 197–200.
- Ribeiro, J. O. N., Eduardo, H. M. N., Daniela, C. L. V., Wander, L. V., Jailton, F. N., Wilson, M. G., and Peter, W. J. D. (2019). Role of the Type of Grafting Solvent and its Removal Process on APTES Functionalization onto SBA-15 Silica for CO₂ Adsorption. *Journal of Porous Materials*, 26(6), 1581-1591.
- Seed, B. (2000). *Silanizing Glassware*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Setyamidjaja, D. (1993). *Karet Budidaya dan Pengolahan*. Kanisius. Yogyakarta.

- Shirendev, N., Bat-amgalan, M., Aleksandr, A., Gunchin, B., and Yunden, G. (2021). Cu(II), Pb(II) and Cr(VI) Adsorption on the Modified Activated Carbon. *Atlantis Highlights in Chemistry and Pharmaceutical Sciences*, 2(II), 149–157.
- Silverstein, R.M. and Bassler, G.C. (1967). *Spectroscopic Identification of Organic Compounds*. Wiley, New York.
- Sim, Y. T., Ruhaimi, A. H. (2021). Recent Progress on (3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES) Functionalized-Adsorbent for CO₂ Capture. *Journal of Physics: Conference Series*, 2259, 1-10
- Singh, N., and Balomajumder, C. (2016). Simultaneous Removal of Phenol and Cyanide from Aqueous Solution by Adsorption Onto Surface Modified Activated Carbon Prepared from Coconut Shell. *Journal of Water Process Engineering*, 9, 233–245.
- Sitepu, D. M. B. (2021). Kandungan Nitrat dan Fosfat pada Air di Sungai Telagawaja Kabupaten Karangasem, Bali. *Current Trends in Aquatic Science*, 4(2), 212-218.
- Susanto, Prasdiantika, R. (2018). Pengaruh Rute Sintesis terhadap Keefektifan Pengikatan Gugus PDETA pada Sintesis Fe₃O₄@SiO₂@PDETA. *Jurnal Teknosains*, 8(1), 39-47.
- Syafaat, F., Suseno, A., & Arnelli. (2013). Kinetika Adsorpsi Anion Nitrat dan Fosfat pada Zeolit Alam Termodifikasi Surfaktan Hexadesiltrimetilammonium Klorida. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 16(3), 73-78.
- Widayatno, T., Yuliawati, T., Susilo, A. A., Studi, P., Kimia, T., Teknik, F., & Muhammadiyah, U. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*. 1(1), 17–23.
- Wang, S., Ng, C. W., Wang, W., Li, Q., and Hao, Z. (2012). Synergistic and Competitive Adsorption of Organic Dyes on Multiwalled Carbon Nanotubes. *Chemical Engineering Journal*, 197, 34–40.
- Wong, K. T., Yoon, Y., & Jang, M. (2015). Enhanced Recyclable Magnetized Palm Shell Waste-Based Powdered Activated Carbon for The Removal of Ibuprofen: Insights for Kinetics and Mechanisms. *PLoS ONE*, 10(10), 1–18.
- Wong, K. T., Yoon, Y., Snyder, S. A., and Jang, M. (2016). Phenyl-Functionalized Magnetic Palm-Based Powdered Activated Carbon for The Effective Removal of Selected Pharmaceutical and Endocrine-Disruptive Compounds. *Chemosphere*, 152, 71–80.

- Yamaura, M., Camilo, R. L., Sampaio, L. C., Macêdo, M. A., Nakamura, M., and Toma, H. E. (2004). Preparation and Characterization of (3-Aminopropyl)-Triethoxysilane-Coated Magnetite Nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 279(2–3), 210–217.
- Yanlinastuti dan Syamsul. (2016). Pengaruh Konsentrasi Pelarut Untuk Menentukan Kadar Zirkonium Dalam Paduan U-Zr Dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal BATAN*, 9(17), 22-33.
- Yanti, D. R., and Budhi, O. (2022). Desorption Nitrate (NO_3^-) from Silica Gel Modified by Dimethylamine (DMA) with Acid Eluent. *Journal of Chemistry, Education, and Science*, 6(2), 82-89.
- Zulaicha, A. S., Buhani, & Suharso. (2021). Modification of Activated Carbon from *Elaeis Guineensis* Jacq Shell with Magnetite (Fe_3O_4) Particles and Study Adsorption-Desorption on Ni(II) Ions in Solution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1), 1–11.
- Zulfadhli, M., & Iriany. (2017). Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet (*Hevea Brasilliensis*) Dengan Aktivator H_3PO_4 dan Aplikasinya Sebagai Penjerap Cr(VI). *Jurnal Teknik Kimia*, 6(1), 23-28.