

**MODIFIKASI KARBON DARI CANGKANG BUAH KARET (*Hevea brasiliensis*) DENGAN MAGNETIT DAN (3- AMINOPROPYL)-TRIETHOXYSILANE (APTES) UNTUK MENYERAP ZAT WARNA KRISTAL VIOLET DAN ANION FOSFAT DALAM LARUTAN**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**HAPPY YUNIA PUTRI  
NPM 1917011001**



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

## ABSTRACT

### **MODIFICATION OF CARBON FROM RUBBER (*Hevea brasiliensis*) FRUIT CELL WITH MAGNETITE AND (3-AMINOPROPYL)- TRIETHOXYSILANE (APTES) TO ADSORB VIOLET CRYSTAL DYE AND PHOSPHATE ANION IN SOLUTION**

By

**HAPPY YUNIA PUTRI**

In this study, the production of carbon from rubber fruit shells (*Hevea brasiliensis*) were modified by magnetite coating with the addition of  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  compounds to produce carbon magnetite (KM) and modified by 3(*Aminopropyl*)-*triethoxysilane* (APTES) to produce carbon magnetite silane (KMS) as an adsorbent for crystal violet dye and phosphate anion has been successful. Adsorbents were characterized 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 by adsorbent. Monocomponents adsorption of crystal violet optimum at pH 3 (carbon), 8 (KM), and 11 (KMS), while the optimum phosphate anion at pH 6 (carbon), 3 (KM), and 11 (KMS). The optimum contact time between the adsorbent and crystal violet is 120 minutes (carbon, KM) and 60 minutes (KMS), while the optimum time between adsorbent and phosphate anion is 90 minutes (carbon), 150 minutes (KM), and 30 minutes (KMS) with a maximum concentration of 300 mg/ L. The adsorption kinetics of crystal violet and phosphate anion tend to follow pseudo second order kinetics and the adsorption isotherm tends to follow the Freundlich isotherm. Adsorption tests on bicomponent pairs tend to be better at adsorbing crystal violet than phosphate anions. KMS adsorbent is effective for up to 4 repetitions with an adsorption percentage above 65%.

Key words: adsorption, carbon, rubber fruit shell, magnetite, APTES, crystal violet, and phosphate anion.

## ABSTRAK

### **MODIFIKASI KARBON DARI CANGKANG BUAH KARET (*Hevea brasiliensis*) DENGAN MAGNETIT DAN (3- AMINOPROPYL)-TRIETHOXYSILANE (APTES) UNTUK MENYERAP ZAT WARNA KRISTAL VIOLET DAN ANION FOSFAT DALAM LARUTAN**

Oleh

**HAPPY YUNIA PUTRI**

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan karbon dari cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) yang dimodifikasi oleh pelapisan magnetit dengan penambahan senyawa  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  untuk menghasilkan karbon magnetit (KM) dan dimodifikasi dengan (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) untuk menghasilkan karbon magnetit silan (KMS) sebagai adsorben kristal violet dan anion fosfat. Adsorben dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi tingkat kristalinitas, dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengidentifikasi komposisi unsur yang terkandung dalam adsorben. Adsorpsi monokomponen kristal violet optimum pada pH 3 (karbon), 8 (KM), dan 11 (KMS), sedangkan anion fosfat optimum pada pH 6 (karbon), 3 (KM), dan 11 (KMS). Waktu kontak optimum antara adsorben dengan kristal violet adalah 120 menit (karbon, KM) dan 60 menit (KMS), sedangkan waktu kontak optimum antara adsorben dengan anion fosfat adalah 90 menit (karbon), 150 menit (KM), dan 30 menit (KMS) dengan konsentrasi optimum 300 ppm. Kinetika adsorpsi kristal violet dan anion fosfat cenderung mengikuti kinetika pseudo orde dua dan isoterm adsorpsi cenderung mengikuti isoterm Freundlich. Uji adsorpsi pada pasangan bikomponen cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi kristal violet daripada anion fosfat. Adsorben KMS efektif digunakan hingga 4 kali pengulangan dengan persentase adsorpsi di atas 65%.

Kata kunci: adsorpsi, karbon, cangkang buah karet, magnetit, APTES, kristal violet, dan anion fosfat.

**MODIFIKASI KARBON DARI CANGKANG BUAH KARET (*Hevea brasiliensis*) DENGAN MAGNETIT DAN (3- AMINOPROPYL)-TRIETHOXYSILANE (APTES) UNTUK MENYERAP ZAT WARNA KRISTAL VIOLET DAN ANION FOSFAT DALAM LARUTAN**

Oleh

**HAPPY YUNIA PUTRI**

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 Skripsi : **MODIFIKASI KARBON DARI CANGKANG BUAH KARET (*Hevea brasiliensis*) DENGAN MAGNETIT DAN (3- AMINOPROPYL)-TRIETHOXYSILANE (APTES) UNTUK MENYERAP ZAT WARNA KRISTAL VIOLET DAN ANION FOSFAT DALAM LARUTAN**


Nama Mahasiswa : **Happy Yulia Putri**

NPM : **1917011001**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



  
**Prof. Dr. Buhani, M.Si.**  
NIP. 19690416 199403 2 003

  
**Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19720530 200003 2 001

2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA**

  
**Mulyono, Ph.D.**  
NIP. 19740611 200003 1 002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

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



Sekretaris : **Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**



Anggota : **Prof. Dr. Kamisah Delilawati P., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.**  
NIP. 19711001 200501 1 002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Juni 2023**

**LEMBAR PERNYATAAN  
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:


Nama : Happy Yunia Putri  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011001  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul "**Modifikasi Karbon dari Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) dengan Magnetit dan (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) untuk Menyerap Zat Warna Kristal Violet dan Anion Fosfat dalam Larutan.**" adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya tidak berkeberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagai mestinya.

Bandar Lampung, 17 Juli 2023  
Yang menyatakan,



  
Happy Yunia Putri  
NPM. 1917011001

## RIWAYAT HIDUP



Happy Yunia Putri adalah nama penulis skripsi ini. Lahir pada tanggal 13 Juni 2001 di Sindang Anom, Kec. Sekampung Udik, Kab. Lampung Timur. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak M. Soleh dan Ibu Ningsih Nurhasanah. Penulis mengawali jenjang pendidikan di SD Negeri 2 Sindang Anom, Sekampung Udik, Lampung Timur pada tahun 2007 dan tamat pada tahun 2013. Pendidikan sekolah menengah pertama diselesaikan pada tahun 2016 di SMP Negeri 1 Tanjung Sari, Lampung Selatan. Pendidikan sekolah menengah atas diselesaikan di SMA Negeri 15 Bandar Lampung pada tahun 2019 dan pada tahun yang sama penulis diterima sebagai Mahasiswi Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai bidang organisasi kemahasiswaan sebagai anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila kepengurusan tahun 2020 dan Bendahara Umum Himaki FMIPA Unila kepengurusan tahun 2021. Penulis aktif mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan Program Mahasiswa Wirausaha (PMW).

Pada bulan Juni-Juli tahun 2022 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Riset dan Teknologi Pertambangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (P RTPB)-BRIN. Pada tahun 2023 penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Unila.



## MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”  
(Q.S. Al-Baqarah: 286)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai  
(dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain)”  
(Q.S. Al-Insyirah: 6-7)

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan pernah  
menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak pernah melewatkanmu”  
(Umar bin Khattab)

“Permata tidak bisa berkilau tanpa gesekan. Begitu juga manusia, tidak ada manusia yang  
luar biasa tanpa cobaan”  
(Konfucius)

“After all this time? always”  
(Severus Snape)

“Kejarlah hidup yang tenang, bukan hidup yang senang. Mengeluh sekedarnya, bersyukur  
sebanyak-banyaknya. Boleh istirahat, tapi tak boleh berhenti. Pelan-pelan pasti akan  
sampai”  
(Penulis)



*Tak ada kata utama selain "Alhamdulillah"  
Atas kasih dan karuniaMu ya Allah  
Yang telah memberikanku kekuatan hingga dapat menyelesaikan skripsi sederhana ini*

*Ku persembahkan karya sederhana ini sebagai wujud cinta dan baktiku kepada:*

*Ibuku*

*Ibu Ningsih Nurhasanah, wanita terhebat di seluruh dunia.*

*Bapakku*

*Bapak M. Soleh, yang rela banting tulang kesana-kemari.  
Terima kasih telah mengizinkan aku untuk menuai apa yang telah kalian tanam.  
Aku tidak akan sampai di titik ini jika bukan karena doa-doa kalian, bapak ibuku.  
Terimakasih. Aku bersyukur.*

*Adikku yang Kusayangi*

*Zidane Ibrahim*

*Terima kasih telah menjadi alasan Kakak kuat hingga saat ini. Semoga Allah  
permudah segala urusanmu, dik. Aamiin.*

*Kepada orang-orang yang telah mendukung dan menguatkanmu selama ini.*

*Kepada orang-orang yang selalu bertanya "kapan lulus?"*

*Terimakasih. Aku sayang kalian.*

## SANWACANA

*Alhamdulillah* *rabbil'alamin*, segala puji syukur hanyalah milik Allah SWT Rabb semesta alam yang telah melimpahkan segala nikmat, berkat, 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 Menyerap Zat Warna Kristal Violet dan Anion Fosfat dalam Larutan**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW yang semoga kita termasuk umatNya yang mendapatkan syafa'at di Yaumul Akhir kelak.

Penulisan skripsi ini tentu banyak rintangan dan halangan yang dihadapi penulis. Namun, hal tersebut dapat terlewati berkat kerja keras penulis diiringi dengan ridho Allah SWT dan ridho orang tua serta dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT.
2. Diriku sendiri. Terima kasih telah bertahan hingga sejauh ini. Terima kasih sudah mau diajak berkompromi untuk hal-hal yang tidak menyenangkan dan menyakitkan. Terima kasih tetap memilih bertahan, walaupun banyak alasan untuk menyerah. Terima kasih sudah sampai di titik ini. Tetap semangat, ya aku.
3. Ibuku, Ibu Ningsih Nurhasanah. Ibu paling kuat dan sabar sejagad alam semesta yang selalu memberikan dorongan motivasi dan doa-doa yang tak henti dipanjatkan di setiap langkahku. Ketika dunia menutup pintu untukku, lengan ibu siap untuk memelukku. Bapakku, Bapak M. Soleh

yakni bapak yang tidak pernah terlihat lemah di depanku dan yang telah memberikan makna kehidupan sesungguhnya. Semoga Allah SWT selalu melindungi kalian di manapun kalian berada. Adikku, Zidane Ibrahim yang selalu berada di sampingku. Semoga sukses untukmu, dik.

4. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku pembimbing I yang selalu memberikan ilmu, bimbingan, serta motivasi saat hidup sedang tidak baik-baik saja. Semoga Allah SWT membalas kebaikan ibu.
5. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku pembimbing II yang juga selalu memberikan ilmu dan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan sangat sabar. Semoga ibu diberikan kesehatan dan semoga Allah SWT yang membalasnya.
6. Ibu Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si., selaku Penguji penelitian yang telah memberikan ilmu, nasihat, kritik, dan saran yang membangun sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga ibu senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
7. Ibu Dra. Aspita Laila, M.S., selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan nasihat kepada penulis selama kuliah di jurusan kimia.
8. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
9. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
10. Bapak dan Ibu Dosen Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama kuliah. Semoga ilmu yang diajarkan dapat membawa kebaikan dan semoga menjadi ladang pahala untuk Bapak dan Ibu.
11. Mba Liza Apriliya, S.Si., selaku Laboran Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang telah banyak membantu penulis untuk menyediakan alat dan bahan selama penelitian.
12. Seluruh laboran, staff dan karyawan FMIPA Universitas Lampung atas semua bantuannya selama ini.

13. Rekan penelitianku, Afif, Barep, dan Yohana atas segala bantuan dan kerja samanya selama melakukan penelitian hingga akhir.
14. Sahabatku “Madesu”, Cilpik, Muni, Jamil, Virgin, Zahra, Devy, dan Yoan yang telah kebersamai penulis dari mahasiswa baru hingga mahasiswa akhir. Ketika aku kehilangan kepercayaan pada diriku sendiri, kalian disini untuk percaya bahwa aku bisa. Tidak ada kata yang bisa mendeskripsikan betapa bersyukurya aku bertemu kalian.
15. Sahabat dekatku Vina Yesi dan Nabila Azzahra yang telah menyediakan pundak untuk menangis, bersedia menghibur, memelukku kapanpun, dan memberikan bantuan saat aku membutuhkannya. Semoga kita bisa berteman sampai kita tua.
16. Teman-teman KKN Desa Tulus Rejo yang sangat kooperatif dan saling menjaga layaknya keluarga. Aku senang bisa mengenal kalian.
17. Presidium dan Pimpinan Himaki Periode 2021 terima kasih atas kebersamaannya di saat senang dan sedih.
18. Seluruh teman-teman Kimia Unila Angkatan 2019 yang luar biasa hebat karena sudah bertahan hingga akhir.
19. Kakak-kakak dan adik-adik angkatan 2016, 2017, 2018, 2020, 2021, dan 2022 atas segala dukungan dan bantuan yang diberikan.
20. Almamater tercinta Universitas Lampung.
21. Semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT yang membalas segala bentuk kebaikan kalian. Jazakumullah khairan.

Akhir kata, penulis memohon maaf apabila skripsi ini masih kurang dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 17 Juli 2023  
Penulis,

Happy Yunia Putri

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	4
1.3 Manfaat Penelitian .....	4
<b>II. TINJUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Cangkang Buah Karet .....	5
2.2 Karbon .....	6
2.3 Magnetit.....	7
2.4 Silanisasi.....	8
2.4.1 (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES).....	9
2.5 Zat Warna .....	10
2.5.1 Kristal Violet .....	10
2.6 Anion . .....	12
2.6.1 Fosfat.....	12
2.7 Adsorpsi.....	13
2.8 Kinetika Adsorpsi.....	15
2.8.1 Model Pseudo Orde Satu.....	16
2.8.2. Model Pseudo Orde Kedua .....	16
2.9 Isoterm Adsorpsi .....	17
2.9.1 Isoterm Adsorpsi Freundlich.....	17
2.9.2 Isoterm Adsorpsi Langmuir .....	19

2.9.3 Model Langmuir Multikomponen (Isoterm Biner) .....	22
2.10 Penentuan Nilai Zeta Potensial .....	23
2.11 Karakterisasi .....	24
2.11.1 Spektrofotometer UV-Vis .....	24
2.11.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	26
2.11.3 Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) .....	27
2.11.4 <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX) .....	29
<b>III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	31
3.2 Alat dan Bahan .....	31
3.3 Prosedur Penelitian .....	32
3.3.1 Preparasi dan Pembuatan Karbon .....	32
3.3.2 Modifikasi Karbon dengan Magnetit .....	32
3.3.3 Silanisasi Karbon Magnetit dengan ( <i>3-Aminopropyl</i> ) <i>triethoxy-</i> <i>silane</i> (APTES) .....	32
3.3.4 Karakterisasi .....	33
3.3.5 Penentuan Nilai Zeta Potensial .....	33
3.3.6 Uji Adsorpsi Monokomponen .....	33
3.3.7 Uji Adsorpsi Bikomponen .....	35
3.3.8 Mekanisme Adsorpsi .....	36
3.3.9 Uji Penggunaan Ulang Adsorben .....	36
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Preparasi dan Pembuatan Karbon .....	39
4.2 Modifikasi Karbon dengan Magnetit dan ( <i>3-Aminopropyl</i> )- <i>triethoxysilane</i> (APTES) .....	40
4.3 Karakterisasi .....	41
4.3.1 Karakterisasi Adsorben dengan Spektrofotometer <i>Fourier</i> <i>Transform Infra Red</i> (FTIR) .....	41
4.3.2 Karakterisasi Adsorben dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	42
4.3.3 Karakterisasi Adsorben dengan <i>Scanning Electron Microscopy</i> <i>with Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX) .....	43
4.4 Penentuan Nilai Zeta Potensial .....	45
4.5 Uji Adsorpsi Monokomponen .....	46
4.5.1 Penentuan pH Optimum .....	46

4.5.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum .....	48
4.5.3 Penentuan Konsentrasi Optimum .....	52
4.6 Uji Adsorpsi Bikomponen .....	56
4.7 Mekanisme Adsorpsi .....	57
4.8 Uji Penggunaan Ulang .....	59
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>75</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi kimia cangkang buah karet .....	6
2. Serapan infra merah gugus fungsi senyawa organik.....	28
4. Parameter adsorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat terhadap adsorben karbon, KM, dan KMS .....	55
5. Parameter isoterm Langmuir biner.....	57
6. Data pH PZC adsorben Karbon, KM, dan KMS.....	76
7. Data absorbansi larutan zat warna kristal violet dan anion fosfat untuk variasi pH.....	77
8. Adsorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat pada adsorben karbon dengan variasi pH.....	78
9. Adsorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat pada adsorben KM dengan variasi pH.....	78
10. Adsorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat pada adsorben KMS dengan variasi pH .....	79
11. Data absorbansi larutan zat warna kristal violet dan anion fosfat untuk variasi waktu kontak .....	80
12. Adsorpsi zat warna kristal vioet dan anion fosfat pada adsorben karbon dengan variasi waktu.....	81
13. Adsorpsi zat warna kristal vioet dan anion fosfat pada KM dengan variasi waktu.....	81
14. Adsorpsi zat warna kristal vioet dan anion fosfat pada adsorben KMS dengan variasi waktu.....	81
15. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon terhadap kristal violet.....	82

16. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon terhadap anion fosfat.....	82
17. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KM terhadap kristal violet.....	84
18. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KM terhadap anion fosfat.....	84
19. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KMS terhadap kristal violet.....	85
20. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KMS terhadap anion fosfat .....	85
21. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon terhadap kristal violet.....	87
22. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon terhadap anion fosfat.....	87
23. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KM terhadap kristal violet.....	88
24. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KM terhadap anion fosfat.....	88
25. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KMS terhadap kristal violet.....	90
26. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KMS terhadap anion fosfat.....	90
27. Data absorbansi larutan kristal violet dan fosfat untuk variasi konsentrasi ....	92
28. Adsorpsi zat warna kristal violet pada adsorben dengan variasi konsentrasi.	93
29. Adsorpsi anion fosfat pada adsorben dengan variasi konsentrasi .....	93
30. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet terhadap adsorben karbon.....	94
31. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan anion fosfat terhadap adsorben karbon .....	94
32. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet terhadap adsorben KM .....	95
33. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan anion fosfat terhadap adsorben KM.....	96

34. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan anion fosfat terhadap adsorben KMS .....	97
35. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan anion fosfat terhadap adsorben KMS.....	97
36. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi zat warna kristal violet terhadap adsorben karbon .....	98
37. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi anion fosfat terhadap adsorben karbon .....	98
38. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi zat warna kristal violet terhadap adsorben KM.....	99
39. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi anion fosfat terhadap adsorben KM.....	100
40. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi zat warna kristal violet terhadap adsorben KMS.....	101
41. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi anion fosfat terhadap adsorben KMS.....	101
42. Data absorbansi larutan zat warna kristal violet dan anion fosfat untuk bikomponen.....	103
43. Adsorpsi bikomponen zat warna kristal violet pada adsorben karbon, KM, dan KMS .....	104
44. Adsorpsi bikomponen anion fosfat pada adsorben karbon, KM, dan KMS .	104
45. Perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir biner adsorben karbon.....	105
46. Data perhitungan SPSS dengan persamaan Langmuir biner terhadap adsorben Karbon .....	105
47. Perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir biner adsorben KM .....	106
48. Data perhitungan SPSS dengan persamaan Langmuir biner terhadap adsorben KM.....	106
49. Perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir biner adsorben KMS .....	107
50. Data perhitungan SPSS dengan persamaan Langmuir biner terhadap adsorben KMS .....	107
51. Data absorbansi larutan standar mekanisme adsorpsi .....	108
52. Data perhitungan jumlah kristal violet yang terdesorpsi pada adsorben KM.....	109

53. Data perhitungan jumlah anion fosfat yang terdesorpsi pada adsorben KMS.....	109
54. Data absorbansi larutan standar untuk uji penggunaan ulang.....	111
55. Data perhitungan jumlah kristal violet yang teradsorpsi oleh adsorben KMS pada uji penggunaan ulang.....	112
56. Data perhitungan jumlah anion fosfat yang teradsorpsi oleh adsorben KMS pada uji penggunaan ulang.....	112

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Cangkang buah karet.....	5
2. Struktur (3-Aminopropyl)-triethoxysilane.....	9
3. Struktur kristal violet. ....	11
4. Mekanisme biosorpsi menempelnya zat warna ke dalam permukaan sel.....	14
5. Model isoterm adsorpsi Freundlich.....	19
6. Ilustrasi adsorpsi dengan persamaan Langmuir. ....	20
7. Model isoterm adsorpsi Langmuir. ....	21
8. Klasifikasi panjang gelombang untuk warna spektrum tertentu.....	25
9. Hasil SEM dengan perbesaran 3000x pada adsorben KMS.....	30
10. Hasil tahap preparasi dan karbonasi (a) cangkang buah karet, (b) karbon cangkang buah karet, (c) karbon cangkang buah karet halus .....	39
11. Adsorben (a) karbon magnetit dan (b) karbon magnetit silan .....	40
12. Hasil karakterisasi FTIR pada adsorben karbon, KM, dan KMS .....	41
13. Hasil difraktogram pada adsorben karbon, magnetit, KM, dan KMS .....	42
14. Hasil SEM morfologi permukaan perbesaran 3000x pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS. ....	43
15. Hasil EDX adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS .....	45
16. Kurva pH PZC adsorben karbon, KM, dan KMS .....	46
17. Kurva pengaruh pH pada adsorpsi (a) kristal violet dan (b) anion fosfat .....	47
18. Kurva pengaruh waktu kontak pada adsorpsi (a) kristal violet dan (b) anion fosfat .....	49

19. Kinetika adsorpsi pseudo orde satu oleh adsorben karbon, KM, dan KMS terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat .....	51
20. Kinetika adsorpsi pseudo orde dua oleh adsorben karbon, KM, dan KMS terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat .....	51
21. Kurva pengaruh konsentrasi pada adsorpsi (a) kristal violet dan (b) anion fosfat .....	53
22. Pola isoterm Langmuir adsorben karbon, KM, dan KMS terhadap zat warnakristal violet dan anion fosfat.....	54
23. Pola isoterm Freundlich adsorben karbon, KM, dan KMS terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat.....	54
24. Kurva pengaruh konsentrasi terhapat adsorpsi pasangan larutan bikomponen zat warna kristal violet dan anion fosfat oleh adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KMS. ....	56
25. Grafik hasil desorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat terhadap KMS.....	58
26. Grafik hasil penggunaan ulang adsorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat oleh adsorben KMS .....	59
27. Penentuan panjang gelombang maksiiimum pada (a) kristal violet dan (b) anion fosfat.....	76
28. Kurva standar (a) kristal violet dan (b) anion fosfat untuk variasi pH.....	77
29. Kurva standar (a) kristal violet dan (b) anion fosfat untuk variasi waktu.....	80
30. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat.....	83
31. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben KM terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat.....	84
32. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben KMS terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat.....	86
33. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat.....	87
34. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben KM terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat.....	89
35. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben KMS terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat.....	90

36. Kurva standar (a) kristal violet dan (b) anion fosfat pada variasi konsentrasi. ....	92
37. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada adsorben karbon terhadap kristal violet dan anion fosfat. ....	95
38. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada adsorben KM terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat. ....	96
39. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada adsorben KMS terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat. ....	97
40. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada adsorben karbon terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat. ....	99
41. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada adsorben KM terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat. ....	100
42. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada adsorben KMS terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat. ....	102
43. Kurva standar bikomponen (a) kristal violet dan (b) anion fosfat. ....	103
44. Kurva larutan standar (a) kristal violet dan (b) anion fosfat untuk mekanisme adsorpsi. ....	108
45. Kurva larutan standar (a) kristal violet dan (b) anion fosfat untuk uji penggunaan ulang. ....	111
46. Penentuan pH PZC dengan variasi pH 3-12 terhadap adsorben (a) Karbon, (b) KM, dan (c) KMS ....	115
47. Adsorpsi kristal violet dengan variasi pH terhadap adsorben (a) Karbon, (b) KM, dan (c) KMS. ....	115
48. Adsorpsi anion fosfat dengan variasi pH terhadap adsorben (a) Karbon, (b) KM, dan (c) KMS. ....	116
49. Adsorpsi kristal violet dengan variasi waktu terhadap adsorben (a) Karbon, (b) KM, dan (c) KMS ....	117
50. Adsorpsi anion fosfat dengan variasi waktu terhadap adsorben (a) Karbon, (b) KM, dan (c) KMS ....	117
51. Adsorpsi kristal violet dengan variasi konsentrasi terhadap adsorben (a) Karbon, (b) KM, dan (c) KMS ....	118
52. Adsorpsi anion fosfat dengan variasi konsentrasi terhadap adsorben (a) Karbon, (b) KM, dan (c) KMS ....	119

53. Adsorpsi bikomponen kristal violet dan anion fosfat dengan variasi konsentrasi terhadap adsorben (a) Karbon, (b) KM, dan (c) KMS.....	120
54. Mekanisme adsorpsi (a) kristal violet dan (b) anion fosfat terhadap adsorben KMS dengan variasi eluen.....	120
55. Uji penggunaan ulang (a) kristal violet dan (b) anion fosfat terhadap adsorben KMS hingga 4 kali pengulangan .....	121



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang krusial bagi kelangsungan seluruh makhluk hidup di bumi. Pada umumnya, kebutuhan air rata-rata sebesar 60 liter/orang/hari untuk segala keperluannya. Pada tahun 2000, dengan jumlah penduduk dunia sebesar 6,121 milyar dibutuhkan air bersih sebanyak 367 km<sup>3</sup> dan diperkirakan pada tahun 2025 dibutuhkan 611 km<sup>3</sup> air bersih per hari, sehingga air yang bersih dari polutan sangatlah penting (Adawiah dkk., 2020). Namun, pencemaran air menjadi permasalahan besar di Indonesia. Pencemaran tersebut berasal dari limbah rumah tangga, limbah pertanian, maupun limbah industri. Limbah- limbah tersebut akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar jika tidak direduksi dari lingkungan (Buhani *et al.*, 2021).

Salah satu industri yang menyumbangkan limbah terbesar adalah industri tekstil. Sebanyak 100 ton/tahun zat warna dibuang ke aliran sungai sebagai limbah. Salah satu zat warna yang banyak digunakan yaitu kristal violet karena memiliki kelarutan yang tinggi (Permatasari *et al.*, 2020). Namun, hanya sekitar 5% yang digunakan sedangkan 95% lainnya akan dibuang ke perairan sebagai limbah. Struktur aromatik dengan susunan yang kompleks menjadikan kristal violet sangat sulit untuk didegradasi.

Selain zat warna, limbah yang perlu diperhatikan adalah limbah fosfat yang ditimbulkan dari industri pupuk dan penggunaan deterjen (Onyango *et al.*, 2007). Batas konsentrasi fosfat terlarut yang diizinkan sebesar 10 mg/L. Jika konsentrasi fosfat terlarut melebihi dari batas yang diizinkan maka akan terjadi eutrofikasi yang akan memicu pertumbuhan alga yang sangat pesat dan *cyanobacteriae*. Hal

ini berdampak pada berkurangnya oksigen terlarut, populasi ikan yang menurun, dan mempersulit proses pemurnian air (Awual, 2019). Oleh karena itu, sangat penting dilakukan penghilangan fosfat pada limbah cair sebelum dibuang ke lingkungan perairan.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menghilangkan limbah zat warna diantaranya metode filtrasi, presipitasi, koagulasi, kompleksasi, ekstraksi pelarut, pemisahan membran, pertukaran ion, penghilangan warna (*decoloring*), dan adsorpsi (Buhani *et al.*, 2015). Penghilangan fosfat dapat dilakukan dengan presipitasi kimia dengan garam kalsium, pengendapan kimiawi, pengolahan biologis, dan adsorpsi (Adawiah dkk., 2020). Namun, metode tersebut memiliki kekurangan seperti adanya pembuangan lumpur sisa yang beracun, memerlukan energi dan biaya yang tinggi, keterbatasan teknis, dan penghilangan zat warna dan fosfat yang kurang efektif (Buhani *et al.*, 2019).

Metode adsorpsi merupakan metode yang tepat dikarenakan bersifat sederhana, tidak menghasilkan limbah beracun, reversibel, tidak membutuhkan biaya yang tinggi dikarenakan adsorbennya dapat digunakan kembali, serta tidak menimbulkan produk samping yang berbahaya bagi lingkungan (Buhani *et al.*, 2015; Buhani *et al.*, 2019). Selain itu, anion yang telah teradsorpsi dapat didesorpsi kembali. Adsorben yang efektif untuk adsorpsi adalah adsorben yang ramah lingkungan, dapat digunakan kembali, memiliki kapasitas adsorpsi yang besar, kecepatan dan stabilitas kimiawi (Buhani *et al.*, 2020) seperti adsorben karbon dari cangkang buah karet.

Tanaman karet merupakan salah satu jenis tanaman hasil industri yang banyak ditanam dan dikembangkan di Indonesia. Namun, saat ini pemanfaatan tanaman karet masih terbatas pada getahnya saja, sedangkan bagian yang lain seperti cangkang buah karet belum dimanfaatkan (Zulfadhli dan Iriany, 2017). Cangkang buah karet mengandung 50% karbon, 48,64% selulosa, dan 33,54% lignin sehingga dapat diolah menjadi adsorben yang memiliki daya serap tinggi (Meilianti, 2018). Beberapa penelitian terkait pemanfaatan cangkang buah karet

untuk pembuatan karbon diantaranya oleh (Meilianti, 2018) dan (Zulfadhli dan Iriany, 2017) untuk mengadsorpsi Cr(VI) menggunakan aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

Keunggulan karbon sebagai adsorben ternyata juga memiliki kekurangan yaitu proses filtrasi yang sulit dan lamanya waktu sentrifugasi dalam proses adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh berat molekul yang ringan dan ukuran partikel yang kecil (Buhani *et al.*, 2017). Modifikasi karbon menggunakan pelapisan magnetit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Buhani *et al.*, 2019) perlu dilakukan untuk menghasilkan sifat magnet dan berat molekul menjadi lebih besar dibandingkan dengan karbon biasa sehingga proses filtrasi akan lebih mudah dilakukan (Buhani *et al.*, 2013).

Pemblokiran pori pada karbon magnetit menyebabkan jumlah pori karbon menjadi berkurang. Oleh karena itu, karbon magnetit perlu dimodifikasi lebih lanjut melalui proses silanisasi menggunakan organosilan (*3-Aminopropyl triethoxysilane* (APTES) (Wong *et al.*, 2015). Organosilan berperan sebagai agen penggandeng karena memiliki dua gugus aktif yang berbeda sehingga mampu membentuk ikatan kimia antara material organik dan anorganik (Huang and Hu, 2008) serta membentuk gugus silanol dan siloksan yang diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi. Pada penelitian yang dilakukan, (Dewi, 2022) telah memodifikasi karbon menggunakan APTES untuk menyerap zat warna metilen biru dan *Coomassie Brilliant Blue* (CBB). Namun, pori-pori karbon menjadi hancur karena tertutupi oleh APTES. Oleh karena itu, pada penelitian ini, adsorben yang dimodifikasi oleh APTES yaitu karbon magnetit yang diharapkan mampu memiliki daya serap yang tinggi dibandingkan karbon silan untuk menyerap zat warna kristal violet dan anion fosfat.

Berdasarkan uraian tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan modifikasi karbon cangkang buah karet dengan magnetit dan APTES sebagai adsorben zat warna kristal violet dan anion fosfat. Setelah itu, karbon hasil modifikasi tersebut dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan adsorben dan komposisi yang terkandung, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui

tingkat kristalinitas karbon, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi dalam karbon, dan Spektrofotometer Ultraviolet dan *Visible* (UV-Vis) untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari karbon cangkang buah karet termodifikasi.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan, penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

1. Mempelajari cara memodifikasi karbon dari cangkang buah karet dengan magnetit dan silanisasi APTES dan karakterisasi karbon hasil modifikasi.
2. Menentukan pH, waktu kontak, dan konsentrasi optimum yang digunakan sebagai penentuan model kinetika dan isoterm adsorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat oleh adsorben karbon cangkang buah karet termodifikasi.
3. Menentukan kemampuan adsorpsi karbon cangkang buah karet termodifikasi terhadap pasangan larutan bikomponen.
4. Menentukan mekanisme adsorpsi dan kemampuan penggunaan ulang adsorben karbon cangkang buah karet termodifikasi terhadap zat warna kristal violet dan anion fosfat.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu untuk memberikan informasi mengenai proses, hasil modifikasi, dan karakteristik dari modifikasi adsorben cangkang buah karet dengan magnetit dan silan APTES terhadap adsorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat untuk mengatasi permasalahan lingkungan.

## II. TINJUAN PUSTAKA

### 2.1 Cangkang Buah Karet

Tanaman karet atau dalam bahasa latin *Hevea brasiliensis* merupakan tanaman yang berasal dari lembah sungai Amazon, Brazil, Amerika Selatan. Tanaman ini memiliki nama lain rambung, getah, gota, kejai, atau hivea. Indonesia merupakan negara produsen karet terbesar ke-2 di dunia dengan memproduksi karet sebesar 3,04 juta ton/tahun (Zulfadhli dan Iriany, 2017). Namun, tanaman karet pada umumnya hanya dimanfaatkan getahnya saja, sedangkan bagian lain seperti cangkang buah karet tidak dimanfaatkan dan hanya menjadi limbah. Cangkang buah karet memiliki kandungan lignin yang tinggi yaitu 33,54% (Ikhwanuddin, 2018), selulosa sebesar 61,04%, dan hemiselulosa sebesar 18,00%. Kandungan lignin yang tinggi akan menghasilkan karbon yang semakin baik. Struktur bahan yang tersusun atas selulosa dan lignin akan memberikan struktur berpori yang menjadikan bahan tersebut dapat digunakan sebagai media adsorpsi. Oleh karena itu, cangkang buah karet sangat berpotensi menjadi bahan baku pembuatan karbon. Cangkang buah karet ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Cangkang buah karet

Komposisi kimia yang terkandung dalam cangkang buah karet disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia cangkang buah karet

<b>Komponen Penyusun</b>	<b>Persentase (%)</b>
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

(Ikhwanuddin, 2018).

## 2.2 Karbon

Karbon merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dan dilakukan dengan pemanasan pada suhu tinggi. Karbon memiliki permukaan dalam (*internal surface*) sehingga memiliki daya serap tinggi. Karbon banyak digunakan sebagai adsorben karena memiliki kemampuan adsorpsi yang baik, permukaan yang besar, mudah diaplikasikan, dan biaya yang relatif murah (Buhani *et al.*, 2018).

Karbon memiliki luas permukaan berkisar antara 3000 - 3500 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Gewa dkk., 2017) dengan volume pori-pori sebesar 10,28 x 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup> mg<sup>-1</sup> dan diameter pori rata-rata 21,6 Å. Hal ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan karbon dapat bersifat sebagai adsorben (Gewa dkk., 2018). Secara umum, senyawa yang dapat diserap oleh karbon memiliki nilai kelarutan yang lebih kecil daripada karbon.

Karbon digunakan sebagai zat penyerap (adsorben) dalam berbagai aplikasi, contohnya sebagai pembersih tumpahan minyak, penyaring air minum, penyaring udara, perbaikan tanah, dan penyaring kotoran organik dalam industri minuman

keras. Namun, karbon juga memiliki beberapa keterbatasan kapasitas adsorpsi terhadap beberapa polutan, dan karbon komersil memiliki biaya yang tinggi, sehingga perlu dilakukannya inovasi dalam pembuatan karbon sebagai adsorben. Sejumlah karbon dari biomassa dapat digunakan sebagai adsorben yaitu cangkang kelapa sawit (Nasruddin, 2014), kulit kakao (Pandia *et al.*, 2017), dan cangkang buah karet (Joko *et al.*, 2017). Hal tersebut menunjukkan bahwa limbah pertanian yang mengandung gugus-gugus fungsi dapat diolah lebih lanjut menjadi karbon yang dapat berfungsi sebagai adsorben.

### 2.3 Magnetit

Magnetit atau  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan salah satu fase oksida besi yang memiliki sifat magnet terbesar di antara fase-fase lainnya. Senyawa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat ditemukan di alam dan sudah dikaji dalam beberapa riset penelitian. Senyawa oksida besi memiliki sifat stabilitas tinggi, kelarutan yang rendah, luas permukaan yang besar, dan warna yang mencolok, sehingga dapat dijadikan adsorben yang memiliki efektivitas yang tinggi.

Karbon yang telah dilapisi oleh magnetit memiliki beberapa keunggulan seperti memiliki kapasitas besar, selektivitas terhadap ion logam target, dan proses pemisahan yang cepat karena sifat kemagnetan adsorben (Buhani *et al.*, 2019). Selain itu, setelah proses adsorpsi, komposit magnetit dapat dipisahkan dari medium larutan tanpa menggunakan proses penyaringan, melainkan menggunakan sistem magnet permanen. Hal ini dapat menghemat biaya operasional dan biaya perawatan komponen saringan yang cepat jenuh dan rusak akibat pemakaian (Lestari dkk., 2021).

Karbon dapat dikompositkan dengan magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan cara kopresipitasi untuk meningkatkan performa dari adsorben. Berdasarkan penelitian (Lestari dkk., 2021) larutan garam besi yang terdiri atas 7,8 g  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{Fe}^{3+}$ ) dan 3,9 g  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dicampurkan dalam suasana basa ( $\text{NaOH}$ ) dengan metode kopresipitasi. Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada Persamaan 1.



Modifikasi karbon dengan magnetit menghasilkan karbon dengan luas permukaan yang spesifik, porositas yang tinggi, properti superparamagnetik yang memungkinkan dapat dipisahkan dengan magnet luar dan stabil dalam suasana asam (Lestari dkk., 2021),.

## 2.4 Silanisasi

Struktur kimia dari silan adalah  $(\text{RO})_3\text{SiCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{-X}_1$ , dimana RO adalah gugus alkoksi (metoksi, etoksi, atau asetoksi), X adalah *organofunctional group* (amino, epoksi, dan metakriloksi), sedangkan  $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$  adalah jembatan alkil yang digunakan sebagai penghubung antara Si dengan X. Pada komposit, agen pengkopling silan berinteraksi dengan substrat anorganik maupun polimer organik. Gugus yang berperan adalah gugus-gugus alkoksi seperti metoksi, etoksi, atau asetoksi. Gugus alkoksi akan mengikat baik pada gugus hidroksil logam pada kebanyakan substrat anorganik, terutama jika substrat tersebut mengandung silikon, logam berat, atau aluminium dalam strukturnya. Gugus alkoksi pada silikon akan menghidrolisis ke silanol melalui penambahan air atau dari sisa air pada permukaan anorganik. Kemudian, gugus silanol akan berkoordinasi dengan gugus hidroksil logam pada permukaan anorganik untuk membentuk *oxane* dan menghilangkan air (Permana, 2015).

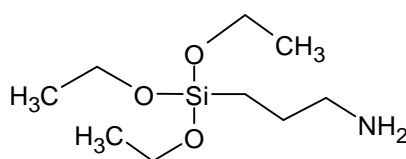
Silanisasi merupakan upaya untuk mendapatkan kekuatan pelekatan yang maksimal melalui pengembangan ikatan kimiawi menggunakan silan sebagai *coupling agent*. Proses silanisasi melibatkan senyawa silan pada permukaan material anorganik yang mengandung silika. Proses silanisasi terdiri dari 4 tahapan yaitu hidrolisis, kondensasi, pembentukan ikatan hidrogen, dan *curing*. Pada tahap pertama terjadi reaksi hidrolisis antara silan dengan molekul air. Keberadaan molekul air ini dapat memungkinkan terbentuknya gugus silanol (Si-OH) yang berperan sebagai situs aktif untuk tahap berikutnya. Pada tahap kedua, gugus silanol mengalami reaksi kondensasi membentuk suatu koordinasi melalui ikatan oksan (Si-O-Si) membentuk jaringan polisilan dengan melepaskan molekul



air (Permana, 2015). Pada langkah ketiga, ikatan hidrogen terbentuk dengan gugus -OH pada substrat. Pada langkah terakhir, ikatan kovalen (Si-O-Si) terbentuk antara silikon dalam organosilan dan silikon pada substrat dengan hilangnya molekul air berikutnya dengan *curing*. Apabila menginginkan spesies yang mengandung gugus amino, maka pereaksi silan yang dipakai juga mengandung gugus amino (-NH<sub>2</sub>), contohnya (*3-Aminopropyl*)-triethoxysilane (APTES).

#### 2.4.1 (*3-Aminopropyl*)-triethoxysilane (APTES)

Senyawa (*3-Aminopropyl*)-triethoxysilane (APTES) adalah suatu senyawa kimia dengan rumus NH<sub>2</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>Si(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub> dengan berat molekul sebesar 221,37 g/mol. APTES termasuk ke dalam jenis organosilan yang bersifat sebagai agen penggandeng karena memiliki dua gugus aktif yang berbeda yang terikat pada atom silika dalam molekul, sehingga mampu membentuk ikatan kimia antara material organik dan anorganik (Huang and Hu, 2008). Selain itu, terdapat gugus fungsi -NH<sub>2</sub> yang memungkinkan untuk menghubungkan ke biomolekul penargetan lainnya. APTES dapat menghasilkan lapisan silan yang tipis dan stabil dan dapat dibentuk dengan menyiapkannya dalam pelarut organik. APTES juga digunakan secara ekstensif untuk imobilisasi biomolekul untuk mengembangkan biosensor. Struktur dari APTES disajikan dalam Gambar 2.



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

APTES memiliki sifat mudah larut dalam larutan air untuk mengurangi agregasi partikel, ikatan non-spesifik dan membuat partikel menjadi lebih stabil dalam suspensi (Ngouangna *et al.*, 2020). APTES memiliki dua tipe gugus aktif yang mudah bereaksi dengan suatu senyawa yang cenderung bersifat kation, anion, ataupun netral.

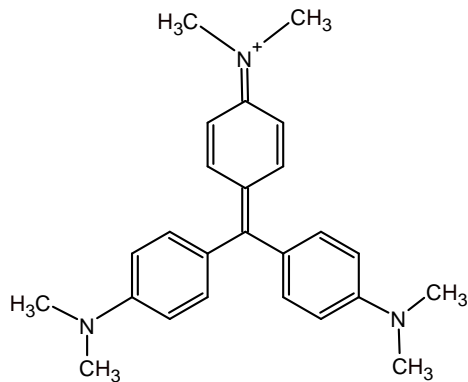
## 2.5 Zat Warna

Zat warna banyak diaplikasikan dalam industri tekstil sebagai salah satu aset dalam negara. Namun, banyak dari zat warna tersebut yang berujung menjadi limbah. Sebanyak 100.000 zat warna yang terdapat secara komersial dengan lebih dari  $7 \times 10^5$  ton warna diproduksi setiap tahun. Secara umum, zat warna yang diproduksi mengandung gugus azo yang memiliki dua atom nitrogen dengan ikatan azo (N=N-) dan tersubstitusi dengan gugus penstabil azo.

Zat warna diklasifikasikan menjadi zat warna kationik, anionik, dan non ionik. Zat warna kationik pada umumnya digunakan sebagai pewarna dasar, dan zat warna non-ionik digunakan sebagai pewarna dispersi. Pada zat warna anionik biasanya digunakan dalam pewarna langsung, asam, dan reaktif. Senyawa yang terkandung di dalam zat warna anionik dan non-ionik sebagian besar merupakan senyawa azo atau jenis antrakuinon. Senyawa azo dapat membentuk amina beracun dalam limbah, sedangkan antrakuinon lebih sulit didegradasi karena memiliki struktur aromatik sehingga berwarna untuk waktu yang lebih lama dalam air limbah. Air limbah yang berasal dari zat warna biasanya diolah dengan proses pengolahan fisik atau kimia karena lebih efisien, contohnya koagulasi kimia / flokulasi, ozonasi, oksidasi, pertukaran ion, iradiasi, presipitasi dan adsorpsi.

### 2.5.1 Kristal Violet

Kristal violet merupakan zat warna tri-fenilmetan dengan rumus molekul  $C_{25}H_{30}N_3Cl$  dan nama IUPAC *tris(4-(dimethylamino)phenyl)methylium chloride*. Zat warna ini termasuk ke dalam golongan zat warna kationik yang dikenal dengan nama gentian violet, metil violet 10B, dan basic violet 3. Berat molekul zat warna ini sebesar  $407,98 \text{ g mol}^{-1}$ . Kristal violet dapat dengan mudah berinteraksi dengan permukaan membran yang bermuatan negatif masuk ke dalam sel dan dapat berkonsentrasi dalam sitoplasma. Struktur kristal violet dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur kristal violet (Benjelloun *et al.*, 2017).

Kristal violet banyak digunakan sebagai agen dermatologis dalam berbagai proses tekstil komersial seperti pewarna tekstil untuk cat, kertas, sutra, dan tinta percetakan. Namun, zat warna ini memiliki sifat *non-biodegradable* yang akan menetap dalam lingkungan dengan jangka waktu yang lama, bersifat karsinogenik (penyebab kanker), teratogenik (penyebab timbulnya kecatatan pada janin selama dalam kandungan), mutagenik (penyebab mutasi gen), sulit dimetabolisme oleh mikroba, dan dapat bertahan di berbagai lingkungan (Benjelloun *et al.*, 2017). Hal ini dapat menyebabkan iritasi kulit dan gangguan saluran pencernaan. Selain itu, kristal violet juga dapat menyebabkan iritasi mata sehingga menyebabkan nyeri sensitisasi terhadap cahaya, menyebabkan cedera permanen pada kornea dan konjungtiva, bahkan menyebabkan kebutaan.

Berdasarkan hal tersebut, dalam mengurangi bahaya yang ditimbulkan dari sisa penggunaan zat warna kristal violet, maka pengurangan penggunaan zat warna harus dilakukan pada pengolahan limbah sebelum zat warna tersebut tersebar ke lingkungan (Buhani *et al.*, 2019). Berbagai metode telah dikembangkan seperti dengan cara biologi, fisika, kimia, ozonitaion, fotokatalisis, ekstraksi pelarut, pertukaran ion, elektrokimia, bioremoval dan filtrasi membran digunakan untuk mempercepat oksidasi dan proses pengolahan yang terintegrasi. Namun, metode tersebut memiliki kelemahan utama yaitu biaya mahal, waktu operasi yang panjang, dan tidak ramah lingkungan.

## 2.6 Anion

### 2.6.1 Fosfat

Fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) merupakan salah satu anion yang memegang peranan penting dalam perairan. Fosfat tidak bersifat beracun, melainkan merupakan salah satu nutrisi penting yang dibutuhkan makhluk hidup. Namun, jika kandungan fosfat berlebih dalam perairan maka akan menyebabkan berbagai masalah. Kadar fosfat secara alami dalam perairan adalah 10% dan sisanya 90% berasal dari aktivitas manusia seperti pemberian pupuk fosfor pada tanaman yang melebihi ambang batas, limbah industri, dan penggunaan detergen yang menyebabkan eutrofikasi (Onyango *et al.*, 2007). Eutrofikasi merupakan kondisi berlebihnya kandungan nutrisi dalam perairan sehingga mendukung pertumbuhan alga, ganggang, dan tumbuhan air lainnya. Eutrofikasi ditandai dengan meledaknya populasi alga dan enceng gondok yang berdampak pada biota laut. Selain itu, hal ini berdampak pada keanekaragaman hayati yang terbatas, berkurangnya oksigen terlarut, populasi ikan yang berkurang dan menyulitkan proses pemurnian air (Awual, 2019). Oleh sebab itu, sangat penting dilakukan penghilangan fosfat yang berasal dari limbah cair sebelum dibuang ke danau dan sungai untuk menjaga ekosistem.

Berbagai metode penghilangan fosfat telah dilakukan, seperti presipitasi kimia dengan garam kalsium, aluminium dan besi yang dianggap metode yang paling efektif dan terkini. Namun, biaya yang tinggi menjadi kendala utama pada metode ini. Selain itu, produk imobilisasi berupa lumpur fosfat dengan kandungan fosfor yang relatif tinggi akan menimbulkan masalah baru karena penanganannya jauh lebih rumit, sehingga metode ini tidak dikembangkan secara luas. Pada umumnya, metode biologis dan presipitasi kimia tidak cocok untuk penghilangan fosfat dengan konsentrasi yang rendah, sedangkan *reverse* osmosis prosesnya membutuhkan biaya yang mahal. Oleh karena itu, perlu dikembangkan metode yang efektif. Metode alternatif yang digunakan salah satunya adsorpsi. Beberapa peneliti terdahulu telah mengadsorpsi fosfat menggunakan berbagai adsorben, di antaranya mesopori silika dengan oksida logam (Delaney, 2011) dan karbon (Öztürk and Bektas, 2004).

## 2.7 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses berpindahannya komponen-komponen tertentu dari suatu fasa fluida ke permukaan zat padat yang digunakan sebagai material berpori. Pada proses adsorpsi dikenal istilah adsorben dan adsorbat. Adsorben adalah zat pengadsorpsi, sedangkan adsorbat adalah zat teradsorpsi (Zulfadhli dan Iriany, 2017). Adsorpsi terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben yang aktif. Mekanisme proses adsorpsi terjadi saat molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben secara kimia maupun fisika.

Banyak proses secara fisika dan kimia yang telah digunakan untuk menghilangkan pewarna sintesis maupun anion yang terkandung dari limbah industri seperti flokulasi, koagulasi, filtrasi membran, degradasi fotokatalitik, iradiasi, dan adsorpsi (Buhani *et al.*, 2019). Dari beberapa metode tersebut, metode adsorpsi cukup banyak digunakan, karena metode adsorpsi bersifat sederhana, relatif murah, dan tidak menimbulkan produk samping yang berbahaya, sedangkan metode yang lainnya kurang efisien karena rumit dan mahal serta dapat menghasilkan produk lain yang beracun (Buhani *et al.*, 2019). Keberhasilan proses adsorpsi suatu zat tergantung pada jenis adsorben yang digunakan. Pemilihan adsorben akan menentukan parameter selektivitas dan kapasitas adsorpsi terhadap zat tersebut. Proses adsorpsi pada umumnya dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

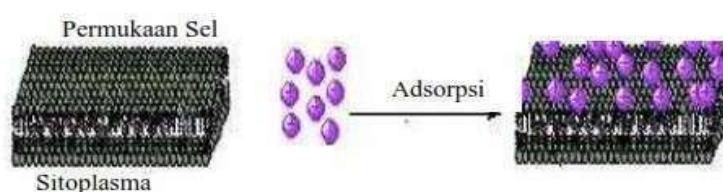
### a. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya Van der Waals yang molekul teradsorpsinya tidak terikat kuat pada adsorben sehingga mengakibatkan terjadinya proses balik yang cepat (*reversible*) sehingga mudah untuk digantikan dengan molekul lain (Atkins, 1999). Proses adsorpsi fisika tidak memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat terputus dengan mudah jika dipanaskan pada temperatur sekitar 150- 200 °C selama 2-3 jam.

## b. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia adalah proses penyerapan yang terjadi akibat terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan kovalen yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk merupakan lapisan monolayer yang sangat sulit untuk dilepaskan kembali (*irreversible*) (Buhani, 2017).

Proses mekanisme biosorpsi menempelnya zat warna ke dalam permukaan sel ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme biosorpsi menempelnya zat warna ke dalam permukaan sel (Bhowal *et al.*, 2010).

Beberapa faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi, di antaranya sebagai berikut:

### a. Sifat Adsorben

Berdasarkan sifat kepolaran dari adsorben dan adsorbatnya sifat adsorben yang mempengaruhi daya serap adsorpsi diantaranya adalah jenis, luas permukaan, dan kemurnian adsorben. Adsorben polar lebih cenderung lebih untuk menyerap adsorbat yang polar dibanding adsorbat non polar. Begitu pula sebaliknya. Luas permukaan juga berhubungan dengan struktur pori. Semakin kecil pori-pori karbon maka luas permukaan semakin besar sehingga kecepatan adsorpsi akan bertambah. Pada umumnya, kemurnian adsorben buatan lebih tinggi jika dibandingkan dengan adsorben alam.

### b. Sifat adsorbat

Semakin besar ukuran adsorbat, maka kecepatan adsorpsi akan menurun. Selain itu, konsentrasi adsorbat yang tinggi akan menghasilkan daya dorong yang tinggi bagi molekul adsorbat untuk masuk ke dalam situs aktif adsorben. Adsorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, struktur rantai dari senyawa yang diserap.

c. Derajat Keasaman (pH)

Apabila pH diturunkan pada asam organik yaitu dengan penambahan asam mineral maka adsorpsi akan meningkat yang disebabkan karena kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut, sedangkan bila ditambahkan alkali yang akan menyebabkan pH asam organik naik maka adsorpsi akan berkurang dan akibatnya akan terbentuk garam.

d. Waktu Kontak

Kesetimbangan akan terjadi apabila karbon ditambahkan dalam suatu cairan. Proses tersebut membutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah karbon yang digunakan. Selain itu, waktu kontak juga dipengaruhi oleh pengadukan yang dapat memberi kesempatan pada partikel karbon untuk bersentuhan dengan senyawa yang diserap.

e. Suhu

Pada umumnya reaksi yang terjadi pada adsorpsi bersifat eksoterm. Adsorpsi akan bertambah pada suhu yang lebih rendah dan akan turun pada suhu yang lebih tinggi. Pada senyawa volatil, adsorpsi dilakukan pada suhu kamar bahkan bila memungkinkan pada suhu yang lebih kecil.

## 2.8 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi adalah laju terserapnya suatu fluida oleh adsorben dalam jangka waktu tertentu. Laju reaksi merupakan laju yang didapatkan karena adanya perubahan konsentrasi reaktan dalam suatu satuan waktu pada persamaan reaksi yang setimbang. Faktor yang mempengaruhi laju reaksi yaitu konsentrasi reaktan, tekanan, dan pengaruh katalis. Kinetika dapat digunakan untuk menentukan kecepatan adsorpsi yang berlangsung dan menentukan kapasitas kesetimbangan.

Mekanisme kinetika adsorpsi terjadi dalam tiga tahap sebagai berikut (Husin dan Rosnelly, 2005):

1. Pengangkutan adsorbat dari larutan massal (*bulk*) ke film di sekitar adsorben.

2. Transfer adsorbat dari film ke permukaan adsorben yang mengarah ke permukaan adsorpsi.
3. Difusi adsorbat dari permukaan ke site internal yang diikuti dengan pengikatan adsorbat pada site aktif.

Untuk meneliti mekanisme adsorpsi, konstanta kecepatan reaksi sorpsi kimia untuk ion-ion logam, digunakan persamaan sistem pseudo orde pertama oleh Lagergren dan mekanisme pseudo orde kedua (Buhani dkk., 2010).

### 2.8.1 Model Pseudo Orde Satu

Pada tahun 1898, Lagergren memperkenalkan persamaan untuk adsorpsi cair-padat berdasarkan kapasitas padatan untuk pertama kalinya. Model kinetika pseudo-order-satu diturunkan berdasarkan persamaan laju reaksi Lagergren. Persamaan pseudo order pertama dapat dilihat pada Persamaan 2 (Ho, 2004).

$$dq_t/dt = k_1 (q_e - q_t) \quad (2)$$

Di mana  $q_t$  (mg/g) adalah jumlah adsorbat yang diserap pada waktu  $t$  (min),  $q_e$  (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi kesetimbangan, dan  $k_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ) adalah konstanta laju persamaan pseudo-orde-pertama Lagergren.

### 2.8.2. Model Pseudo Orde Kedua

Model kinetika pseudo-orde-kedua mengasumsikan bahwa kapasitas adsorpsi proporsional terhadap jumlah site aktif pada adsorben yang ditunjukkan pada Persamaan 3 (Ho, 2004).

$$dq_t/dt = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Dimana  $k_2$  (g/mg min) adalah konstanta laju model pseudo-orde-kedua.



## 2.9 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah hubungan antara konsentrasi dalam fasa cair dan konsentrasi dalam partikel adsorben saat terjadi kesetimbangan pada suhu tertentu. Isoterm adsorpsi menggambarkan proses distribusi adsorbat di antara fase cair dan fase padat yang dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Tipe isoterm adsorpsi yang biasa digunakan yaitu Langmuir, Freundlich, dan isoterm Brunnaeur-Emmet-Teller (BET). Pada umumnya, adsorpsi fase cair-padat mengikuti jenis isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir (Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2017; Buhani *et al.*, 2018).

### 2.9.1 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich menjelaskan bahwa adsorpsi yang terjadi bersifat heterogen atau tidak semua permukaan adsorben mampu mengalami adsorpsi, sehingga lapisan yang dihasilkan dari model adsorpsi ini akan bersifat *multilayer* (Buhani *et al.*, 2012). Asumsi yang digunakan pada model ini sebagai berikut:

1. Permukaan bersifat heterogen.
2. Tidak terjadi asosiasi dan disosiasi molekul-molekul adsorbat setelah teradsorpsi pada permukaan padat.
3. Hanya berlangsung adsorpsi fisika tanpa terjadi adsorpsi kimia.

Menurut teori yang diciptakan oleh Freundlich, jika  $y$  diasumsikan sebagai berat zat terlarut per gram adsorben dan  $c$  adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan, maka konsep tersebut dapat diturunkan pada Persamaan 4 dan 5.

$$\frac{X_m}{m} = k.C^{1/n} \quad (4)$$

$$\log \frac{X_m}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad (5)$$

Keterangan:

$X_m$  = Berat zat yang diadsorpsi

$m$  = Berat adsorben

$C$  = Konsentrasi zat

Kemudian,  $k$  dan  $n$  adalah konstanta adsorpsi yang nilainya bergantung pada jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Bila dibuat kurva  $\log x/m$  terhadap  $\log C$  akan diperoleh persamaan linear dengan intersep  $\log k$  dan kemiringan  $1/n$ , sehingga nilai  $k$  dan  $n$  dapat dihitung (Handayani dan Sulistyono, 2009).

Model isoterm Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan yaitu heterogen, dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Model isoterm adsorpsi Freundlich dapat dihitung menggunakan Persamaan 6.

$$\log q_e = \log k_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (6)$$

Dimana:

$q_e$  = Jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g)

$k_F$  = Faktor kapasitas Freundlich (mg/g)(L/mg)<sup>1/n</sup>

$C_e$  = Konsentrasi setimbang adsorbat dalam fase larutan (mg/L)

$n$  = Faktor intensitas Freundlich (mol/g)

(Buhani *et al.*, 2012; Kausar *et al.*, 2020).

Bentuk linear dapat digunakan untuk menentukan kelinearan data dengan cara memplotkan  $C/q$  terhadap  $C_e$ . Konstanta Freundlich  $k_F$  dapat diperoleh dari kemiringan garis lurus nya dan  $1/n$  merupakan harga slop. Konstanta Freundlich  $k_F$  dapat dicari apabila nilai  $n$  diketahui, semakin besar harga  $k_F$  maka daya adsorpsi akan semakin baik dan dari harga  $k_F$  yang diperoleh maka energi adsorpsi akan dapat dihitung.

Selain itu, untuk menentukan jumlah adsorbat yang teradsorpsi, rasio distribusi, dan koefisien selektivitas pada proses adsorpsi terhadap adsorben karbon maka dapat digunakan Persamaan 7 dan 8.

$$Q = (C_0 - C_e) V/W \quad (7)$$

$$D = Q/C_a \quad (8)$$

Keterangan:

$Q$  = Jumlah adsorbat teradsorpsi (mg/g)

$C_o$  = Konsentrasi awal adsorbat sebelum teradsorpsi (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi adsorbat setelah teradsorpsi (mg/L)

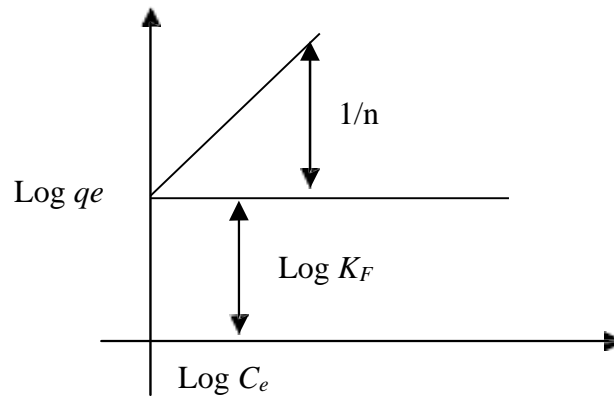
$W$  = Massa adsorben (g)

$V$  = Volume larutan adsorbat (L)

$D$  = Rasio Distribusi (L/g)

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

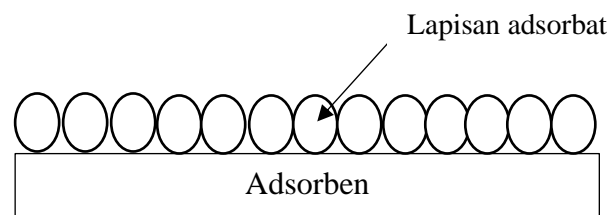
Berdasarkan persamaan tersebut maka didapatkan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



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

### 2.9.2 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menciptakan sebuah teori isoterm adsorpsi menggunakan model yang sederhana, yaitu padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Isoterm Langmuir juga menyatakan bahwa laju adsorpsi 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). Ilustrasi adsorpsi dengan persamaan Langmuir ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi adsorpsi dengan persamaan Langmuir (Handayani dan Sulistyono, 2009).

Model isoterm Langmuir menggunakan pendekatan kinetika dimana kesetimbangan dapat terjadi apabila kecepatan adsorpsi sama dengan kecepatan desorpsi. Pada persamaan ini digunakan asumsi sebagai berikut:

1. Adsorpsi terjadi secara kimia.
2. Adsorbat yang terjerat membentuk lapisan tunggal (*monolayer*).
3. Adsorben adalah suatu sistem yang memiliki tingkat energi homogen sehingga afinitas molekul yang terjerap sama untuk di setiap tempat atau lokasi.
4. Molekul yang sudah terjerap pada permukaan adsorben tidak dapat berpindah tempat.
5. Tidak terjadi interaksi antar molekul yang terjerap.

(Wijayanti dan Kurniawati, 2019).

Secara teoritis persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan dengan menganggap terjadinya kesetimbangan antara molekul-molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben dengan molekul-molekul zat yang tidak teradsorpsi yang ditunjukkan pada Persamaan 9 dan 10.

$$Q = \frac{b \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e} \quad (9)$$

Sehingga menjadi

$$\frac{C_e}{Q} = \frac{1}{Kb} + \frac{1}{b} C_e \quad (10)$$

Keterangan

$C_e$  = Konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L)

$Q$  = Jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g)

$K$  = Konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg)

$B$  = Kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g)

(Wijayanti and Kurniawati, 2019).

Energi adsorpsi merupakan energi yang dihasilkan ketika satu mol zat teradsorpsi dalam adsorben dan jumlahnya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi Gibbs standar ( $\Delta G^\circ$ ) yang dapat dihitung melalui Persamaan 11.

$$E_{\text{ads}} = -\Delta G^\circ_{\text{ads}} = R T \ln K \quad (11)$$

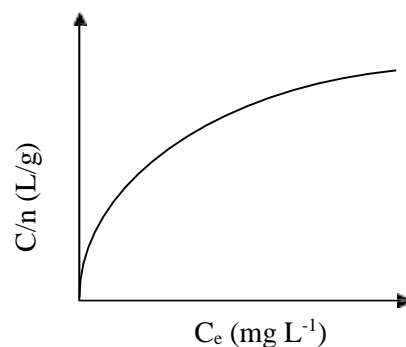
Keterangan:

$R$  = Tetapan gas umum ( $8,314 \text{ J mol}^{-1}$ )

$T$  = Temperatur (K)

$K$  = Konstanta kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Langmuir

Berdasarkan nilai energi adsorpsi, diperkirakan fenomena adsorpsi terjadi karena adanya gaya-gaya yang tidak seimbang pada muka antar permukaan sehingga mengakibatkan perubahan jumlah molekul, atom atau ion. Jika energi adsorpsi kurang dari  $20,92 \text{ kJ mol}^{-1}$ , jenis adsorpsinya adalah adsorpsi fisika. Sedangkan jika energinya melebihi  $20,92 \text{ kJ mol}^{-1}$  maka jenis adsorpsinya adalah adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika melibatkan gaya antarmolekul, termasuk gaya Van der Waals dan ikatan hidrogen, sedangkan adsorpsi kimia melibatkan koordinasi ikatan kovalen karena penggunaan bersama pasangan elektron oleh adsorbat dan adsorben. Grafik isoterm Langmuir ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Model isoterm adsorpsi Langmuir (Husin dan Rosnelly, 2005).

### 2.9.3 Model Langmuir Multikomponen (Isoterm Biner)

Model Langmuir multi-komponen atau isoterm biner merupakan isoterm yang paling sering digunakan untuk menyesuaikan data adsorpsi bikomponen (campuran biner). Secara tematik model isoterm Langmuir untuk campuran biner dapat ditulis sesuai dengan Persamaan 12.

$$q_1^* = \frac{q_m C_1 b_1}{1 + b_1 C_1^* + b_2 C_2^*} \quad (12)$$

Keterangan:

$q_m$  = Konstanta Langmuir yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi

$b_1, b_2$  = Konstanta isoterm biner Langmuir.

Kemudian, persamaan tersebut dikembangkan lebih lanjut untuk menggambarkan penghambatan non-kompetitif selama studi kinetik enzimatik. Model ini ditulis sesuai dengan Persamaan 13.

$$q_1^* = \frac{q_m C_1 [1 + (\frac{k}{b_1}) C_2^*]}{1 + b_1 C_2^* + 2K C_1^* C_2^*} \quad (13)$$

Dimana  $q_m, b_1, b_2$  dan  $K$  adalah konstanta model.

Kesetimbangan biosorpsi dalam sistem biner telah dilakukan oleh Sag and Kutsal menggunakan model Freundlich empiris, yang persamaan matematisnya dapat ditulis sesuai dengan Persamaan 14 dan 15.

$$q_1^* = \frac{q_m (C_1^*)^{n_1 + a_{11}}}{(C_1^*)^{a_{11}} + a_{12} (C_2^*)^{a_{12}}} \quad (14)$$

$$q_2^* = \frac{a_2 (C_2^*)^{n_2 + a_{22}}}{a_{21} (C_1^*)^{a_{21}} + (C_2^*)^{a_{22}}} \quad (15)$$

Dimana  $(a_1, n_1)$  dan  $(a_2, n_2)$  adalah konstanta isoterm Freundlich yang diperoleh dari data kesetimbangan komponen individu. Konstanta lain ditentukan menggunakan data kesetimbangan biner.

Dalam menghitung jumlah senyawa yang teradsorpsi, rasio distribusi dan koefisien selektivitas pada proses adsorpsi antara adsorbat terhadap adsorben dapat digunakan persamaan 16, 17, dan 18.

$$Q = (C_o - C_e)V/W \quad (16)$$

$$D = Q/Ca \quad (17)$$

$$A = DM1/DM2 \quad (18)$$

Keterangan:

Q = Jumlah teradsorpsi (mg/g)

$C_o/C_e$  = Konsentrasi awal adsorben sebelum dan setelah adsorpsi (mg/L)

W = Massa adsorben (g)

V = Volume larutan senyawa aktif farmasi (L)

D = Rasio distribusi (L/g)

A = Koefisien selektivitas.

## 2.10 Penentuan Nilai Zeta Potensial

Nilai zeta potensial merupakan nilai yang digunakan untuk memprediksi morfologi permukaan partikel, menentukan muatan permukaan (*surface charge*), dan menentukan kestabilan larutan. Nilai zeta potensial menyatakan derajat tolak-menolak antar partikel bermuatan listrik yang sama yang letaknya berdekatan. Pada sistem koloid, nilai zeta potensial yang tinggi akan memberikan kestabilan larutan terhadap agregasi. Nilai zeta potensial merupakan parameter penting untuk menentukan stabilitas dispersi partikel dalam suspensi. Nilai zeta potensial yang lebih besar menunjukkan suspensi yang stabil dengan tolakan yang kuat antara satu partikel dan partikel lainnya dalam sistem tersuspensi, dan daya dispersi yang tinggi. Sedangkan, nilai zeta potensial yang rendah menunjukkan daya tarik-menarik antara partikel terdispersi melebihi daya tolak-menolak sehingga terjadi flokulasi. Nilai zeta potensial dapat ditentukan melalui Persamaan 19 (Ai *et al.*, 2011).

$$\Delta pH = pH_{awal} - pH_{akhir} \quad (19)$$

Nilai zeta potensial dapat digunakan untuk menghitung besar energi untuk menyatukan partikel pulp. *Zero point charge* (pHpzc) merupakan titik dimana nilai zeta potensial adalah nol. Saat  $pH < pH_{pzc}$  maka muatan permukaannya adalah positif, dan bila  $pH > pH_{pzc}$  maka muatan permukaannya adalah negatif (Ai *et al.*, 2011).

## 2.11 Karakterisasi

Karakterisasi digunakan untuk mengetahui komposisi, ikatan kimia, bidang kristal, kualitas sampel, atau jenis senyawa dari suatu sampel pada proses penelitian. Alat karakterisasi memiliki prinsip dasar yang sama, yaitu spesimen yang ditembak dengan *probe/source* sehingga menghasilkan signal atau gambaran yang kemudian dikumpulkan untuk dilakukan interpretasi agar diperoleh informasi penting. Beberapa contoh alat untuk karakterisasi yang sering digunakan sebagai berikut.

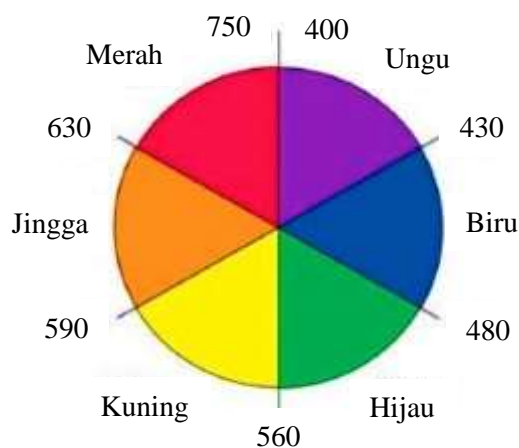
### 2.11.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri Ultraviolet (UV) dan sinar tampak merupakan metode yang digunakan untuk mengukur banyaknya radiasi ultraviolet dan sinar tampak yang dapat diserap oleh senyawa sebagai fungsi dari panjang gelombang radiasi. Adsorbansi atau transmitansi yang diukur dalam spektrofotometer ultra violet dan sinar tampak digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif spesimen kimia. Penyerapan ultra violet dan sinar tampak oleh suatu molekul menyebabkan terjadinya eksitasi molekul dari tingkat dasar (*ground stated*) ke tingkat energi yang lebih tinggi (*excited stated*). Pada umumnya, adsorpsi atau penyerapan ultra violet dan sinar tampak oleh molekul menghasilkan eksitasi elektron ikatan yang mengakibatkan panjang gelombang serapan maksimum dapat dikorelasikan dengan jenis ikatan yang ada dalam molekul yang sedang diamati.

Sinar ultraviolet memiliki rentang panjang gelombang 100-400 nm. Sedangkan sinar tampak (Vis) dengan rentang panjang gelombang 400 nm (ungu) sampai 750 nm (merah). Analisis kualitatif dari UV-Vis dapat digunakan untuk



mengidentifikasi gugus fungsi yang ada pada suatu molekul. Sedangkan analisis kuantitatif dari UV-Vis digunakan untuk menentukan konsentrasi suatu larutan. Menurut (Sastrohamidjojo, 2001) klasifikasi panjang gelombang untuk warna spektrum tertentu ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Klasifikasi panjang gelombang untuk warna spektrum tertentu (Sastrohamidjojo, 2001).

Konsentrasi dari analit di dalam larutan bisa ditentukan dengan pengukuran adsorbansi. Absorbansi sampel tergantung pada konsentrasi larutan ( $c$  dalam  $\text{mg L}^{-1}$ ), panjang sel pada sampel ( $b$  dalam  $\text{cm}$ ), dan karakteristik konstanta fisika dari sampel yang menyerap (absorptivitas,  $a$  dalam  $\text{L mg}^{-1} \text{cm}^{-1}$ ). Ketergantungan ini diekspresikan dalam hukum Lambert-Beer yang ditunjukkan pada Persamaan 20 dan 21 (Harvey, 2000).

$$\text{Log} \frac{P_0}{P} = e \cdot b \cdot C \quad (20)$$

$$A = e \cdot b \cdot C \quad (21)$$

Keterangan:

$P_0$  = Intensitas cahaya yang datang pada larutan

$P$  = Intensitas cahaya yang diteruskan oleh larutan

$A$  = Absorbansi =  $-\log \%T$

$e$  = Absorptivitas molar larutan ( $\text{cm}^{-1}\text{M}^{-1}$ )

$b$  = Tebal kuvet ( $\text{cm}$ )

$C$  = Konsentrasi larutan ( $\text{mol.L}^{-1}$ )

Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengukur panjang gelombang dari larutan zat warna kristal violet dan anion fosfat. Pengukuran tersebut dilakukan pada rentang panjang gelombang 400 – 800 nm untuk kristal violet dan panjang gelombang 500 – 800 nm untuk anion fosfat. Berdasarkan pengukuran tersebut diperoleh panjang gelombang maksimum 590 nm untuk kristal violet dan 719 nm untuk fosfat. Oleh karena itu, dapat ditentukan konsentrasi yang terserap pada saat proses adsorpsi dengan menggunakan kurva kalibrasi.

### 2.11.2 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD adalah teknik analisis yang selalu digunakan untuk mengidentifikasi penampakan fase kristal dalam bahan sampel bubuk. XRD bekerja berdasarkan prinsip bahwa sinar-X memantulkan cahaya ke bidang atom kristalografi bahan yang diuji, dengan demikian dapat menentukan karakteristik dan sifat sampel yang diuji. Pada tahun 1912, Max von Laue menemukan difraksi sinar-X untuk pertama kalinya, dan pada tahun 1913 W. H. Bragg dan W. L. Bragg menemukan penerapan sinar-X dalam penentuan struktur. Penemuan ini membuka jalan bagi keberhasilan penggunaan teknik ini untuk menentukan struktur kristal logam dan paduan mineral, senyawa anorganik, polimer dan bahan organik, dan bahkan semua bahan kristal. Selain itu, penerapan teknik difraksi sinar-X digunakan untuk memperoleh informasi struktur material mengenai regangan kisi, ukuran kristal dan komposisi kimia. Persamaan Scherrer dapat digunakan untuk menentukan ukuran suatu kristal. Bentuk persamaan Scherrer ditunjukkan pada Persamaan 22 (Sihite,2019).

$$D = \frac{0.9 \lambda}{B \cos \theta} \quad (22)$$

Keterangan :

D = Diameter kristal,

$\lambda$  = Panjang gelombang sinar X (nm),

B = Lebar puncak pada setengah intensitas maksimum.

$\theta$  = Sudut difraksi.

Hukum Bragg untuk difraksi kristal menyatakan bahwa apabila material kristal dikenai oleh sinar-X monokromatis, maka setiap bidang kristal akan memantulkan sinar-X ke seluruh arah. Interferensi dapat terjadi jika hanya antara sinar-sinar pantul sefase sehingga hanya terdapat sinar-X pantulan tertentu saja. Apabila sinar-X yang sefase memiliki selisih lintasan kelipatan bulat panjang gelombang maka akan menyebabkan interferensi yang tinggi. Secara matematis dituliskan pada Persamaan 23 (Sihite, 2019).

$$2 d \sin \theta = n\lambda \quad (23)$$

Keterangan:

- d = Jarak antar bidang atom yang berhubungan (Å)
- $\theta$  = Sudut hamburan (°)
- n = Orde difraksi
- $\lambda$  = Panjang gelombang (Å)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Buhani *et al.*, 2020) bahwa pola difraktogram karbon menunjukkan bentuk amorf dan memiliki puncak asimetris yang luas. Pola difraktogram adsorben yang telah dilapisi oleh magnetit menghasilkan puncak pada rentang 35° dan 62° yang berasal dari nanokristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Buhani *et al.*, 2020). Karakterisasi XRD digunakan untuk membandingkan pola XRD antara karbon, karbon magnetit, dan karbon magnetit silan sehingga dapat diketahui apakah karbon berhasil dilapisi oleh magnet dan silan.

### 2.11.3 Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur molekul suatu senyawa dan gugus-gugus fungsi penyusun suatu material. Prinsip kerja spektrofotometer FTIR didasarkan pada penyerapan sinar inframerah pada jangkauan frekuensi 400–4000 cm<sup>-1</sup>. Identifikasi senyawa yang tidak dikenal dapat dilakukan dengan cara membandingkan spektrum inframerah dengan sederat spektrum standar yang dibuat pada kondisi yang sama (Khopkar, 2001).

Sinar dari sumber sinar inframerah merupakan gabungan dari panjang gelombang yang berbeda-beda. Saat suatu molekul menyerap sinar infra merah, maka molekul tersebut akan mengalami perubahan tingkat energi vibrasi dan perubahan energi rotasi. Pada umumnya, vibrasi antar atom diklasifikasikan menjadi vibrasi ulur (*stretching vibration*) dan vibrasi tekuk (*bending vibration*). Vibrasi ulur merupakan perubahan panjang gelombang yang disebabkan oleh adanya pergerakan atom di sepanjang ikatan. Vibrasi tekuk merupakan perubahan sudut ikatan dikarenakan pergerakan atom. Gugus fungsi yang terdeteksi dari suatu molekul memiliki panjang gelombang yang khas yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Serapan infra merah gugus fungsi senyawa organik

Daerah serapan (cm <sup>-1</sup> )	Gugus fungsi	Nama gugus fungsi
3606	O-H	Alkohol
3437	N-H	Amina
3051	O-H	Asam karboksilat
2881	C-H	Alkana
2322	O=C=O	Karbon dioksida
1789	C=O	Asam halida
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

(Ikhwanuddin, 2018).

Spektrofotometer FTIR berbeda dengan spektrofotometer infra merah pada teknik pengoperasiannya. Pada FTIR digunakan suatu interferometer Michelson sebagai pengganti dari monokromator. Interferometer akan meneruskan sinyal ke detektor sesuai dengan intensitas frekuensi vibrasi molekul yang berupa interferogram. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Istiyana dan Prasetya, 2020), pada puncak 2369 dan 2368 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya vibrasi penyusun dasar pembentuk karbon yaitu gugus alkil (C-H). Menurut (Lu *et al.*, 2010) analisis

FTIR untuk magnetit dicirikan dengan adanya vibrasi yang lebar di sekitar bilangan gelombang 590-570  $\text{cm}^{-1}$ . Sementara itu, pada adsorben yang sudah dilapisi oleh silan menunjukkan pita serapan pada bilangan gelombang 1381  $\text{cm}^{-1}$  yang diduga berasal dari gugus N-H dan puncak 1126  $\text{cm}^{-1}$  berhubungan dengan ikatan Si-O-C dari APTES (Ahmad *et al.*, 2017).

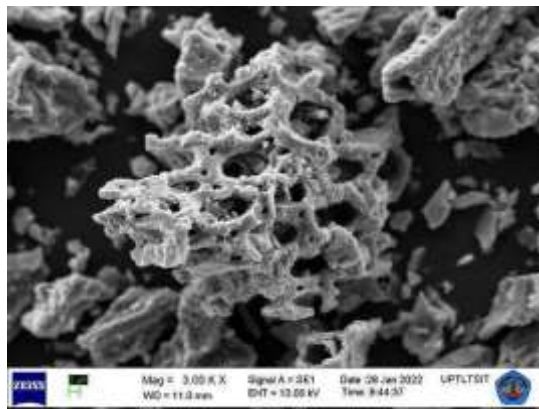
#### **2.11.4 Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)**

SEM-EDX merupakan alat yang berasal dari gabungan antara alat Scanning *Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX). SEM merupakan mikroskop elektron yang menunjukkan permukaan suatu material dengan perbesaran tinggi, sedangkan EDX merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengetahui komposisi dan komponen atom pembentuk material SEM dengan prinsip dasar berupa pengukuran dan pelacakan dari sinar-sinar X yang dibangkitkan oleh elektron-elektron yang dipercepat (Kustomo, 2020). Elektron ini kemudian berinteraksi dengan atom dalam sampel sehingga akan menghasilkan sinyal-sinyal yang berisi informasi mengenai topografi permukaan sampel dan beberapa fitur lainnya seperti daya konduksi.

SEM memiliki prinsip difraksi elektron yang cara kerjanya sama seperti mikroskop optik. Prinsipnya adalah elektron yang dipancarkan akan dibelokkan melalui lensa elektromagnetik di SEM. SEM menggunakan sumber elektron dalam bentuk pemicu elektronik (*electron gun*) daripada sumber cahaya. Elektron-elektron ini akan diemisikan secara termionik dari sumber elektron (Sihite, 2019).

*Energy Dispersive X-ray* (EDX) adalah salah satu teknik analisis sifat unsur atau kimia sampel. Karakterisasi ini tergantung pada interaksi beberapa eksitasi sinar-X dengan sampel. EDX digunakan untuk mengidentifikasi jenis atom atau atom oksida pada permukaan suatu material. Elektron berenergi tinggi yang dipancarkan ke mata atom dalam senyawa mampu menumbuk elektron pada kulit terdalam atom. Tabrakan tersebut menyebabkan elektron berenergi lebih rendah

terpentak dan menyebabkan kekosongan pada kulit. Selanjutnya, elektron pada lapisan yang lebih tinggi akan menempati kekosongan elektron sebelumnya. Proses pengisian elektron disertai dengan pelepasan energi berupa radiasi sinar-X spesifik dari unsur yang dianalisis. Hasil yang diperoleh berupa gambar dan persentase komposisi bahan sampel. Analisis menggunakan EDX bersifat semi-kuantitatif, dengan kata lain hanya menunjukkan komposisi unsur yang terkandung dalam adsorben (Buhani *et al.*, 2018). Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Fajriyah, 2022) yang memodifikasi karbon cangkang buah karet menggunakan magnetit dan silan *Triethoxyphenylsilane* (TEPS) menunjukkan bahwa adsorben KMS memiliki morfologi permukaan karbon telah tertutupi magnetit kemudian terlihat adanya partikel putih yang menandakan adanya silika (Wong *et al.*, 2016). Morfologi permukaan KMS menunjukkan bahwa silika telah terikat pada magnetit yang telah melapisi keseluruhan permukaan karbon ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9. Hasil SEM dengan perbesaran 3000x pada adsorben KMS (Fajriyah, 2022).

### III METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Oktober 2022 hingga Maret 2023 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik, FMIPA, Universitas Lampung. Analisis morfologi permukaan dan komposisi unsur pada adsorben menggunakan *Scanning Electron Microscope* yang dirangkai dengan *Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT), FMIPA, Universitas Lampung. Analisis hasil adsorpsi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik, FMIPA, Universitas Lampung. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dan analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan di Laboratorium Kimia Organik, FMIPA, Universitas Gadjah Mada.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini antara lain peralatan gelas, spatula, neraca analitik, pengayak (*siever*) ukuran 100  $\mu$ , pengaduk magnet, oven, desikator, sentrifus, Spektrofotometer UV-Vis 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 akan digunakan dalam penelitian ini yaitu arang cangkang buah karet, kristal violet,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , HCl, NaOH,  $\text{NaNO}_3$ , APTES, amonium molibdat, toluena, larutan *buffer*, kertas saring, pH indikator universal, aluminium foil, etanol,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , gliserol, 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 dicuci hingga bersih dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Kemudian, cangkang buah karet tersebut dikarbonisasi di dalam drum yang terbuat dari plat besi selama kurang lebih 6 jam sehingga diperoleh karbon cangkang buah karet. Selanjutnya, karbon yang diperoleh dihaluskan dengan cara digiling dan diayak dengan pengayak berukuran  $100 \mu$ . Karbon cangkang buah karet yang telah halus selanjutnya dimodifikasi lebih lanjut dengan menggunakan magnetit dan silan APTES.

#### 3.3.2 Modifikasi Karbon dengan Magnetit

Pembuatan karbon magnetit dilakukan dengan cara mencampurkan 6,5 g karbon hasil karbonisasi ke dalam 300 mL akuades. Kemudian, campuran tersebut dipanaskan hingga mencapai suhu  $70^{\circ}\text{C}$ . Lalu, 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 tersebut diaduk selama 30 menit sambil ditambahkan 100 mL  $\text{NaOH}$  5 M tetes demi tetes sampai terbentuk endapan hitam. Selanjutnya, endapan hitam tersebut disaring dan dicuci menggunakan akuades sampai pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam, sehingga diperoleh Karbon-Magnetit (KM) (Dewi, 2022).

#### 3.3.3 Silanisasi Karbon Magnetit dengan (3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES)

Sebanyak 10 g karbon magnetit ditambahkan ke dalam 100 mL larutan APTES 30% (v/v) dalam toluena dan diaduk selama 3 jam pada suhu  $50^{\circ}\text{C}$ . Kemudian, campuran tersebut disaring dan residu padatnya dicuci 4-5 kali menggunakan akuades. Residu tersebut kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$  selama 4 jam, sehingga diperoleh Karbon-Magnetit-Silan (KMS) (Shirendev *et al.*, 2021).



### 3.3.4 Karakterisasi

Karbon, Karbon Magnetit (KM) dan Karbon Magnetit Silan (KMS) masing-masing dikarakterisasi dengan XRD untuk mengidentifikasi fasa kristalin, spektrofotometer FTIR untuk mengetahui gugus fungsi, dan SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengidentifikasi komposisi unsur.

### 3.3.5 Penentuan Nilai Zeta Potensial

Sebanyak 0,1 g adsorben karbon, KM, dan KMS masing-masing dimasukkan ke dalam 20 mL  $\text{NaNO}_3$  0,1 M. Kemudian, pH awal divariasikan dengan rentang 3 – 12 yang diatur menggunakan larutan HCl 0,1 M untuk suasana asam dan NaOH 0,1 M untuk suasana basa. Lalu, larutan *dishaker* selama 24 jam. Setelah itu, pH akhir diamati dan diukur dengan menggunakan pH meter. Lalu, pH PZC ditentukan berdasarkan Persamaan 18.

### 3.3.6 Uji Adsorpsi Monokomponen

#### a. Pembuatan Larutan Induk Adsorbat

Serbuk kristal violet sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan dan terbentuk larutan dengan konsentrasi 1000 ppm.

Serbuk  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  sebanyak 1,42 g dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan dan terbentuk larutan dengan konsentrasi 1000 ppm.

### **b. Pembuatan Reagen Ammonium Molibdat**

Sebanyak 2,5 g ammonium molibdat dilarutkan dalam 17,5 mL akuades. Asam sulfat pekat dipipet 28 mL dan diencerkan dengan 40 mL akuades, kemudian didiamkan hingga mencapai suhu ruang. Kemudian larutan ammonium molibdat dituang ke dalam larutan asam sulfat dan diencerkan dengan akuades hingga 100 mL (Ngibad, 2019).

### **c. Reagen $\text{SnCl}_2$ 0,1 M**

Reagen  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  sebagai agen pereduksi dibuat dengan melarutkan 2,5 g padatan  $\text{SnCl}_2$  dalam 100 mL gliserol (Ngibad, 2019).

### **d. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Adsorbat**

Larutan kristal violet dan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  yang sudah dikomplekskan dengan reagen ammonium molibdat dan  $\text{SnCl}_2$  masing-masing dengan konsentrasi 10 ppm diukur nilai adsorbansi pada rentang panjang gelombang 400 – 800 nm untuk kristal violet dan panjang gelombang 500 – 800 nm untuk  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

### **e. Penentuan pH Optimum**

Sebanyak 25 mL larutan kristal violet 10 ppm dimasukkan ke dalam Erlenmeyer berbeda dengan variasi pH 3-11. Kemudian, ditambahkan HCl 0,1 M untuk menurunkan pH dan NaOH 0,1 M untuk meningkatkan pH dan larutan *buffer*. Kemudian ditambah 0,1 g adsorben karbon (prosedur yang serupa dilakukan untuk adsorben KM dan KMS). Setelah itu, larutan di *shaker* selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya, larutan disentrifugasi selama 30 menit dan didekantasi. Kemudian, filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  10 ppm dilakukan dengan prosedur yang sama dan filtrat yang sudah dikomplekskan dengan 0,1 mL reagen ammonium molibdat dan 1 tetes  $\text{SnCl}_2$  dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

#### **f. Penentuan Waktu Kontak Optimum**

Sebanyak 25 mL larutan kristal violet 10 ppm pada kondisi pH optimum dimasukkan ke dalam 7 Erlenmeyer. Lalu, ditambahkan masing-masing 0,1 g adsorben kemudian *dishaker* dengan variasi waktu yaitu 0, 15, 30, 60, 90, 120 dan 150 menit. Setelah itu, disentrifugasi selama 30 menit dan didekantasi untuk memisahkan larutan. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  10 ppm dilakukan dengan prosedur yang sama dan filtrat yang sudah dikomplekskan dengan 0,1 mL reagen ammonium molibdat dan 1 tetes  $\text{SnCl}_2$  dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

#### **g. Penentuan Konsentrasi Optimum**

Sebanyak 25 mL larutan kristal 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 *dishaker* pada waktu kontak optimum. Setelah itu larutan disentrifugasi selama 30 menit dan didekantasi. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dengan variasi konsentrasi yaitu 0, 10; 50; 100; 150; 200; 250; dan 300 ppm dilakukan dengan prosedur yang sama dan filtrat yang sudah dikomplekskan dengan 0,1 mL reagen ammonium molibdat dan 1 tetes  $\text{SnCl}_2$  dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### **3.3.7 Uji Adsorpsi Bikomponen**

#### **a. Pembuatan Larutan Adsorbat Bikomponen**

Larutan induk kristal violet dengan konsentrasi  $2,45 \text{ mmol L}^{-1}$  diencerkan menjadi  $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$ . Kemudian larutan induk  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dengan konsentrasi  $10,44 \text{ mmol L}^{-1}$  diencerkan menjadi  $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$ . Selanjutnya, 12,5 mL larutan kristal violet dan 12,5 mL larutan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dengan konsentrasi yang sama dicampurkan sehingga terbentuk larutan bikomponen.

## **b. Pengaruh Konsentrasi**

Larutan induk diencerkan dengan variasi konsentrasi 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; dan 0,35 mmol L<sup>-1</sup>. Setelah itu dicampurkan 12,5 mL kristal violet dan 12,5 mL KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 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 *dishaker* selama 60 menit. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum masing-masing adsorbat.

### **3.3.8 Mekanisme Adsorpsi**

Sebanyak 0,1 g adsorben KMS dimasukkan ke dalam Erlenmeyer. Kemudian, ditambahkan larutan adsorbat (kristal violet dan KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) sebanyak 25 mL 10 ppm pada pH optimum. Lalu, larutan tersebut *dishaker* pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya, disentrifugasi 30 menit dan dipisahkan dengan cara dekantasi. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Endapan yang diperoleh digunakan kembali untuk melepaskan zat warna dan anion yang teradsorpsi pada adsorben dengan menggunakan eluen berupa 25 mL etanol 40% untuk ikatan hidrogen, 25 mL larutan KNO<sub>3</sub> 0,1 M untuk pertukaran ion, 25 mL larutan HCl 0,1 M untuk interaksi elektrostatis, dan larutan Na<sub>2</sub>EDTA 0,1 M untuk pembentukan ikatan kompleks (Buhani *et al.*, 2010).

### **3.3.9 Uji Penggunaan Ulang Adsorben**

Sebanyak 0,1 g adsorben KMS dimasukkan ke dalam Erlenmeyer. Kemudian, ditambahkan larutan adsorbat (kristal violet dan KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) sebanyak 25 mL 10 ppm pada pH optimum. Lalu, larutan tersebut *dishaker* pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya, disentrifugasi selama 30 menit dan

dipisahkan dengan cara dekantasi. Filtrat yang di peroleh 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 yang sesuai, lalu di *shaker* selama 60 menit dan didekantasi. Endapannya kemudian dicuci dengan akuades sampai netral dan dioven pada suhu 40°C selama 3 jam. Adsorben digunakan kembali untuk mengadsorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat hingga 4 kali penggunaan ulang (Buhani *et al.*, 2019).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Modifikasi adsorben karbon dengan magnetit dan silan APTES telah berhasil dilakukan yang dibuktikan dengan hasil karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDX.
2. Adsorpsi monokomponen kristal violet oleh adsorben karbon optimum pada pH 3, KM pH 8, dan KMS pH 11, sedangkan adsorpsi anion fosfat optimum pada pH 6 untuk karbon, KM pH 3, dan KMS pH 11. Waktu kontak optimum untuk kristal violet oleh karbon dan KM yaitu 120 menit dan 60 menit untuk KMS. Waktu kontak optimum untuk anion fosfat yaitu 90 menit untuk karbon, 150 menit untuk KM, dan 30 menit untuk KMS dengan konsentrasi maksimum 300 ppm.
3. Laju adsorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua.
4. Isoterm adsorpsi monokomponen zat warna kristal violet dan anion fosfat terhadap seluruh adsorben cenderung mengikuti model isoterm Freundlich.
5. Kapasitas adsorpsi seluruh adsorben pada sistem bikomponen menggunakan persamaan Langmuir biner cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi kristal violet daripada anion fosfat.
6. Mekanisme adsorpsi KMS terhadap kristal violet lebih didominasi oleh ikatan hidrogen, sedangkan anion fosfat lebih didominasi oleh ikatan hidrogen dan pertukaran ion.

7. Penggunaan ulang adsorben KMS terhadap adsorpsi zat warna kristal violet dan anion fosfat efektif digunakan hingga empat kali pengulangan dengan nilai adsorpsi di atas 65%.

## 5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan:

1. Menggunakan adsorbat yang lain seperti limbah rumah sakit atau limbah organik contohnya industri tahu.
2. Melakukan silanisasi APTES menggunakan karbon lain.
3. Melakukan karakterisasi *Brunaur Emmett and Teller* (BET) pada adsorben untuk mengetahui luas permukaan dan pori-pori masing-masing adsorben.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adawiah, S. R., Sutarno, S. dan Suyanta, S. 2020. Studi Adsorpsi-Desorpsi Anion Fosfat Pada Bentonit Termodifikasi CTAB. *Indonesian Journal Chemistry Research*. 8(2): 125–136.
- Ahmad, A., Razali, M. H., Mamat, M., Mehamod, F. S. B., and Amin, K. A. M. 2017. Adsorption of Methyl Orange by Synthesized and Functionalized-CNTs with (3-Aminopropyl)-triethoxysilane Loaded TiO<sub>2</sub> Nanocomposites. *Chemosphere*. 168: 474–482.
- Ai, L., C. Zhang, F. Liao, Y. Wang, M. Li, L. Meng, and J. Jiang. 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.
- Atkins, P. W. 1999. *Kimia Fisika Edisi Ke-2*. Jakarta: Erlangga.
- Awual, M. R. 2019. Efficient Phosphate Removal from Water For Controlling Eutrophication Using Novel Composite Adsorbent. *Journal of Cleaner Production*. 228: 1311–1319.
- Benjelloun Y., Lahrichi A., Boumchita S., Idrissi M., Miyah Y., Anis Kh., Nenov V., and Zerrouq F., J. 2017. Mater. *Environmental Science*. 8(7): 2259.
- Bhowal, Das, S., Das, A., and Arun K. Guha. 2009. Adsorption Behavior of Rhodamine B on *Rhizopus oryzae* Biomass. *Indian Assn Cultivation of SCIIIndia*. 22 (17): 7265-7272.
- Buhani, Narsito, Nuryono, E.S, Kurnarti 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, D. Herasari, Suharso, S.D. Yuwono. 2017. Correlation of Ionic Imprinting Cavity Sites on The Amino-Silica Hybrid Adsorbent with Adsorption Rate and Capacity of Cd<sup>2+</sup> Ion in Solution. *Oriental Journal of Chemistry*. 33(1) : 418-429.
- Buhani, M. Puspitarini, Rahmawaty, Suharso, M. Rilyanti, 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, F. Hariyanti, Suharso, Rinawati, and Sumadi. 2019. Magnetized Algae-Silica Hybrid from *Porphyridium* sp. Biomass with  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Particle and Its Application as Adsorbent for the Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution. *Desalination and Water Treatment*. 142:331-340.

Buhani, Suharso, F. Luziana, M. Rilyani, and Sumadi. 2019. Production of Adsorbent from Activated Carbon of Palm Oil Shells Coated by  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Particle to Remove Crystal Violet in Water. *Desalination and Water Treatment*. 171 : 281-293.

Buhani dan Suharso. 2010. Modifikasi Silika dengan (3-Aminopropyl) trimetoksisilane Melalui Proses Sol Gel untuk Adsorpsi Ion Cd(II) dari Larutan. *Journal Sains MIPA*. 16(3), 177–183.

Buhani, Suharso, and 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, Miftahza, N., Permatasari, D and Sumadi. 2021. Improved Adsorption Capacity of *Nannochloropsis* sp. through Modification with Cetyltrimethylammonium Bromide on the Removal of Methylene Orange in Solution. *Adsorption Science and Technology*. 1-14.

Delaney, P. 2011. Development of Chemically Engineered Porous Metal Oxides for Phosphate Removal. *Jurnal Hazard*. 185: 382–391.

Dewanto, A. S., dan Munasir. 2016. Core Shell Partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\alpha\text{-SiO}_2$  Berbasis Bahan Alam disintesis dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*. 5(2): 1-4.

Dewi, J. S. 2022. Studi Komparasi Adsorben dari Karbon Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) yang dimodifikasi dengan Agen Magnetit dan (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) terhadap Adsorpsi Metilen Biru dan *Coomassie Brilliant Blue*. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.

Fajriyah, N., S. 2022. Fungsionalisasi Karbon Termodifikasi Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan Silan (*Triethoxyphenylsilane*) dari Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai Adsorben Zat Warna Crystal Violet dan Herbisida Paraquat. *Tesis*. Jurusan Kimia. Universitas Lampung. Lampung.

Firmanto, R. P., Setyowati, R. D. N. dan Suprayogi, D. 2021. Kemampuan Adsorben dari Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati terhadap Penurunan Kandungan Timbal (Pb) pada Limbah Cair dengan menggunakan Sistem

- Batch. *Journal of Research and Technology*. 7(2): 197–206.
- Gewa, H., Seri, M., dan Vidyanova, A.M. 2018. Karakteristik Karbon dari Pemanfaatan Limbah Tanaman Kelapa Sawit dengan Penambahan Aktivator Natrium Karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dan Natrium Klorida ( $\text{NaCl}$ ). *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6(4): 41–44.
- 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*. 130–136.
- Harvey, D. 2000. *Modern Analytical Chemistry*. McGraw-Hill Higher Education. United States of America.
- Ho Y. S. 2004. Citation review of Lagergren Kinetic Rate Equation on Adsorption Reactions. *Scientometrics*. 59: 171–177.
- Huang, C. and Hu, B. 2008. Silica-Coated Magnetic Nanoparticles Modified with  $\gamma$ -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 Rosnelly., C. M. 2005. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal (Pb) Menggunakan Karbon dari Batang Pisang. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*. ISSN: 0215: 1–10.
- 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.
- Istiyana, 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.
- 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.
- Khopkar, S. M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Kustomo. 2020. Uji Karakterisasi dan Mapping Magnetit Nanopartikel Terlapisi Asam Humat dengan Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). *Indonesian Journal of Chemical Science*. 9(3):149–153.
- Lestari, I., Prasetyo, E. dan Gusti, D. R. 2021. Penggunaan Karbon Magnetit-

- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebagai Penyerap Zat Warna Remazol Yellow. *Journal BiGME*. 1(1): 29–37.
- Lu, N. C. and Liu, J. C. 2010. Removal of Phosphate and Fluoride from Wastewater by a Hybrid Precipitation-Microfiltratio Process. *Separation and Purification Technology Journal*. 74: 329-335.
- Meilianti, M. 2018. Karakteristik Karbon dari Cangkang Buah Karet Menggunakan Aktivator  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . *Jurnal Distilasi*. 2(2): 1–9.
- Metwalli, E., Haines, D., Becker, O., Conzone, S., and Pantano, C. G. 2006. Surface Characterizations of Mono-, Di-, and Tri-Aminosilane Treated Glass Substrates. *Journal of Colloid and Interface Science*. 298(2): 825–831.
- Nasruddin, I. 2014. Pembuatan dan Karaktrisasi Karbon Berbahan Dasar Cangkang Sawit dengan Metode Aktivasi Fisika Menggunakan Rotary Autoclave. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*. 1(2): 1–11.
- Ngibad, K. 2019. Analisis Kadar Fosfat dalam Air Sungai Ngelom Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. *Jurnal Pijar MIPA*. 14(3): 197-201.
- Ngouangna, E. N., Manan, M. A., Oseh, J. O., Norddin, M. N.A.M., Agi, A.G., and Afeez, O. 2020. Influence of (3–Aminopropyl) triethoxysilane on Silica Nanoparticle for Enhanced Oil Recovery. *Journal of Molecular Liquids*. 315:1–47.
- Onyango, M. S., Kuchar, D., Kubota, M., and Matsuda, H. 2007. Adsorptive Removal of Phosphate Ions from Aqueous Solution Using Synthetic Zeolite. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 46: 894–900.
- Öztürk, N. and Bektas, T. E. 2004. Nitrate Removal from Aqueous Solution by Adsorption onto Various Materials. *Journal of Hazardous Materials*. 112: 155–162.
- Pandia, S., Siahaan, A. D. Y. and Hutagalung, A. T. 2017. Pemanfaatan Adsorben dari Kulit Buah Kakao ( *Theobroma cacao l.* ) untuk Menurunkan Chemical Oxygen Demand Pada Palm Oil Mill Effluent Utilization Of Adsorbent From Cocoa Peel ( *Theobroma cacao l.* ) to Reduce Chemical Oxygen Demand in Palm Oil Mill Efflu. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6(3): 34–40.
- Permana, D. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Membran Kompleks Komposit Kitosan-Asam Fosfat/ Monmorilonit Termodifikasi Silan untuk Aplikasi DMFC. *Tesis*. Jurusan Kimia. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Permatasari, D., Rilyanti, M., Buhani, and Suharso. 2020. Adsorption Isotherm of

Multicomponent Solution of Cu(II) Ions, Crystal Violet, And Methylene Blue on Silica-Magnetite Porphyridium sp. Algae Hybrid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 857(1) 1-8.

Rezvani, O., Hedeshi, M. H., and Begheri, H. 2020. Immobilization of Synthesized Phenyl-Enriched Magnetic Nanoparticles in A Fabricated Y-Y Shaped Micro-Channel Containing Microscaled Hedges as A Microextraction Platform. *Analytica Chimica Acta*. 1136: 51-61.

Sastrohamidjojo, H. 2001. *Spektroskopi UV-Vis*. Liberty. 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. *Proceedings of the 5th International Conference on Chemical Investigation and Utilization of Natural Resource*. 2(Ii): 149–157.

Sihite, E. 2019. Analisis Pengaruh Penuaan Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Strukturmikro Paduan Cuhfco. *Jurnal Kajian Ilmiah Universitas Bhayangkara Jakarta Raya*. 19(3): 231–238.

Timbal, A., Abu, P. and Padi, S. 2005. Isoterm Kesetimbangan Adsorpsi Timbal pada Abu Sekam Padi. *Ekulibrium*. 4(2): 100–105.

Wijayanti, I. E. dan Kurniawati, E. A. 2019. Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*. 4(2): 175.

Wong, K. T., Yoon, Y. and 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 Journal*. 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 Effective Removal of Selected Pharmaceutical and Endocrine-disruptive Compounds. *Chemosphere*. 152: 71-80.

Zulfadhli, M. dan Iriany. 2017. Pembuatan Karbon dari Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) dengan Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan Aplikasinya Sebagai Penjerap Cr(VI). *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6(1): 23–28.